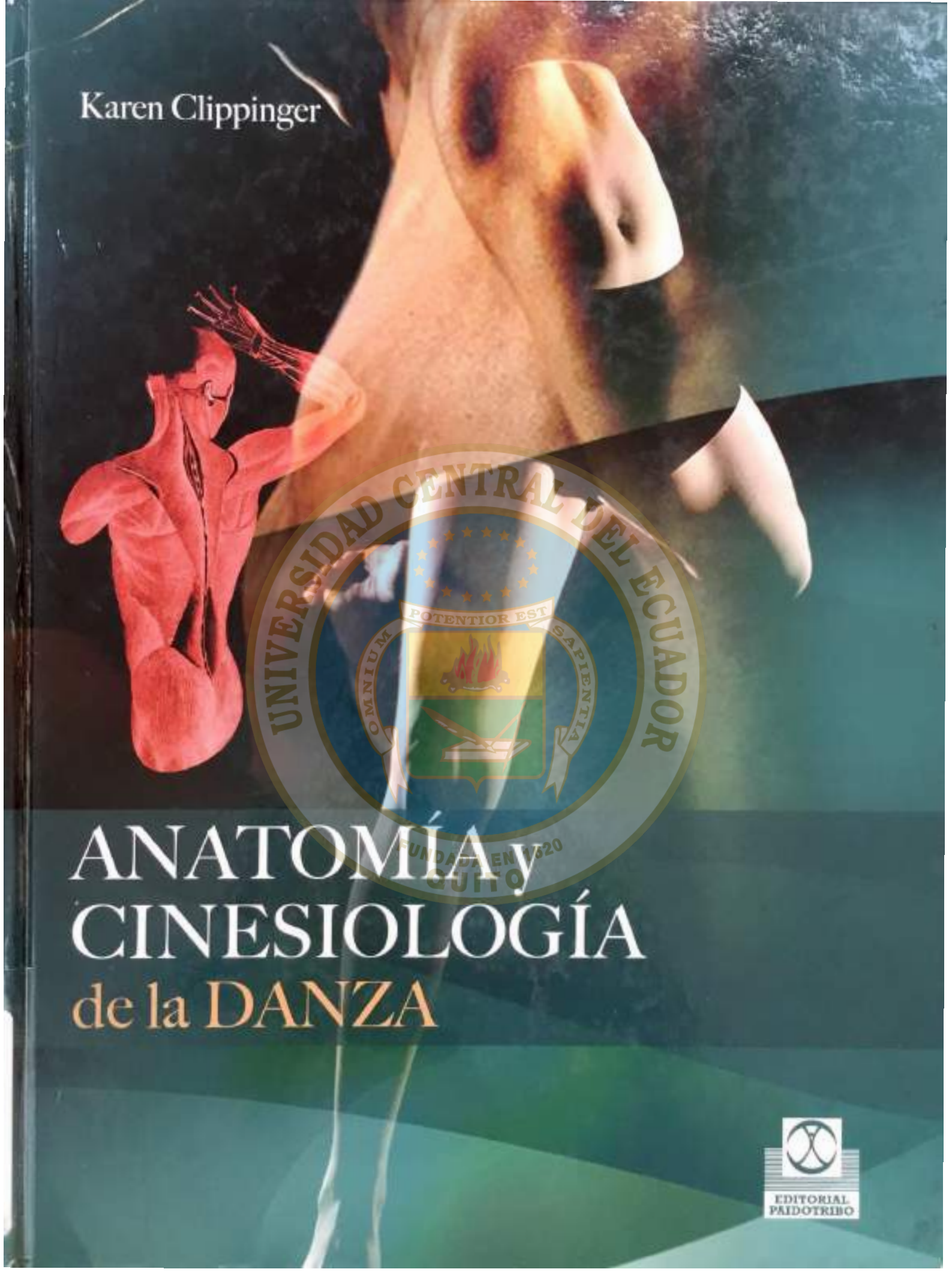
Karen Clippinger



# ANATOMÍA y CINESIOLOGÍA de la DANZA

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

EDITORIAL PAIDOTRIBO

Sistema Integrado de Bibliotecas
Biblioteca digital UCE
Calle Jerónimo Leyton y Gato Sobral – Cdla. Universitaria
+593 2230757 ext: 808 biblioteca.general@uce.edu.ec

# BASE LEGAL PARA DIGITALIZACIÓN DE LIBROS CON DERECHOS DE AUTOR

El Sistema Integrado de Bibliotecas de la Universidad Central del Ecuador, digitalizará su acervo bibliográfico siempre y cuando sea para fines educativos y de investigación. No se permite la reproducción y distribución para la comercialización directa e indirecta del mismo.

La digitalización del material bibliográfico se lo realiza de acuerdo al Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación Art. 212 numeral 9, Literal ii "(…) Una biblioteca o archivo podrá, además, realizar los siguientes actos (…) La reproducción electrónica y comunicación pública de obras de su colección para ser consultadas gratuita y simultáneamente hasta por un número razonable de usuarios, sólo en terminales de redes de la respectiva institución o para usuarios de esa institución bajo su control, en condiciones que garanticen que no se puedan hacer copias electrónicas de esas reproducciones" y literal vii "La reproducción, adaptación, traducción, transformación, arreglo, distribución y comunicación de una obra protegida por derechos de autor o una prestación protegida por derechos conexos, en uno o más formatos accesibles para el uso exclusivo de personas con discapacidad".

Este material se considera un producto intelectual a favor de su autor; por tanto, la titularidad de sus derechos se encuentra protegida por el Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. La violación a dichos derechos constituye un delito que será responsabilidad del usuario.

Este libro está disponible físicamente en:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **BIBLIOTECA** | Sistema integrado de bibliotecas | | | **PISO** | |
| | | | | **ESTANTE** | |
| | | | | **BANDEJA** | |
| **CONVENIO INTERINSTITUCIONAL** | | **UNIVERSIDAD** | | | |

# Anatomía y cinesiología de la danza

Principios y ejercicios
para mejorar la técnica
y evitar las lesiones más corrientes

Karen Clippinger

Facultad de Artes
BIBLIOTECA

EDITORIAL
PAIDOTRIBO

**España**

*Editorial Paidotribo*
Les Guixeres
C/ de la Energía,19-21
08915 Badalona
Tel.: 00 34 93 323 33 11
Fax: 00 34 93 453 50 33
www.paidotribo.com
paidotribo@paidotribo.com

**Argentina**

*Editorial Paidotribo Argentina*
Adolfo Alsina, 1537
C1088 AAM Buenos Aires
Tel.: 00 54 11 4383 64 54
Fax: 00 54 11 4383 64 54
www.paidotribo.com.ar
paidotribo.argentina@paidotribo.com

**México**

*Editorial Paidotribo México*
Lago Viedma, 81
Col. Argentina
11270 Delegación Miguel Hidalgo
México D.F.
Tel.: 00 52 55 55 23 96 70
Fax: 00 52 55 55 23 96 70
www.paidotribo.com.mx
paidotribo.mexico@paidotribo.com

Publicado según acuerdo con Human Kinetics Publishers, Inc.

Copyright de la edición original: © 2007 by Karen Sue Clippinger
Todos los derechos reservados. Excepto para la utilización en una revisión, la reproducción o utilización de esta obra en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico u otros, ahora conocidos o inventados más adelante, incluyendo reprografía, fotocopia y grabación, y en cualquier sistema informativo de almacenaje y recuperación, está prohibida por escrito del editor.

Título original: *Dance Anatomy and Kinesiology*

Traducción: Pedro González del Campo Román

Revisión técnica: Dra. Anna Germán Romero

Diseño cubierta: David Carretero

© 2011, Karen Clippinger

Editorial Paidotribo
Les Guixeres
C/ de la Energía, 19-21
08915 Badalona (España)
Tel.: 93 323 33 11 – Fax: 93 453 50 33
http://www.paidotribo.com
http://www.paidotribo-ebooks.com
E-mail: paidotribo@paidotribo.com

Primera edición:
ISBN: 978-84-9910-064-7

Fotocomposición: Editor Service, S.L.
Diagonal, 299 – 08013 Barcelona

Impreso en España por Sagrafic, S.L.

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

Dedicado a mis padres, Delphine y Everett,
por inculcarme el amor por el conocimiento;

a mi hijo, Shawn, por seguir haciendo
del aprendizaje algo fresco y vivo;

a mis numerosos profesores y colegas,
por compartir generosamente sus conocimientos, y

a los bailarines de todo el mundo,
por dar inspiración a mi vida.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

# Índice


***Prefacio*** ..... ***IX***
***Agradecimientos*** ..... ***XII***

***Capítulo 1 El sistema esquelético y sus movimientos*** ..... ***1***

Principales tejidos del cuerpo ..... 2
Composición y estructura óseas ..... 2
Desarrollo y crecimiento óseos ..... 5
El esqueleto humano ..... 9
Arquitectura articular ..... 11
Terminología sobre la orientación del cuerpo ..... 15
Terminología sobre el movimiento articular ..... 22
Consideraciones sobre el esqueleto respecto al movimiento corporal ..... 27
Resumen ..... 31
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 31

***Capítulo 2 El sistema muscular*** ..... ***33***

Estructura y función del músculo esquelético ..... 34
Microestructura del músculo esquelético y contracción muscular ..... 37
Arquitectura muscular ..... 40
Inserciones musculares en el hueso ..... 41
Músculos, palancas y movimiento angular ..... 44
Tipos de contracción muscular ..... 50
Consideraciones sobre los músculos respecto al movimiento corporal ..... 53
Aprendizaje de los nombres y acciones de los músculos ..... 58
Resumen ..... 68
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 69

***Capítulo 3 La columna vertebral*** ..... ***71***

Huesos y puntos óseos de referencia de la columna vertebral ..... 72
Estructura articular y movimientos de la columna vertebral ..... 74
Descripción y funciones de los músculos específicos de la columna ..... 81
Alineación ideal de la columna y desviaciones habituales ..... 81
Mecánica de la columna vertebral ..... 106
Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la columna ..... 108
Consideraciones clave sobre la columna respecto al movimiento del cuerpo ..... 112
Consideraciones especiales sobre la columna en la danza ..... 113
Ejercicios de acondicionamiento para la columna ..... 119
Lesiones de espalda en los bailarines ..... 147
Resumen ..... 154
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 155


UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Capítulo 4 La cintura pélvica y la articulación coxofemoral ..... 157**

Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la cadera ..... 158
Estructura articular y movimientos de la cintura pélvica ..... 159
Estructura articular y movimientos de la cadera ..... 161
Descripción y funciones de los músculos específicos de la cadera ..... 164
Alineación y desviaciones habituales de la región de la cadera ..... 164
Mecánica de la pelvis y la cadera ..... 182
Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la cadera ..... 188
Consideraciones clave sobre la cadera respecto al movimiento del cuerpo ..... 194
Consideraciones especiales sobre la cadera en la danza ..... 195
Ejercicios de acondicionamiento para la cadera ..... 214
Lesiones de cadera en los bailarines ..... 232
Resumen ..... 237
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 238

**Capítulo 5 Las articulaciones de la rodilla y femororrotuliana ..... 239**

Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la rodilla ..... 240
Estructura articular y movimientos de la rodilla ..... 240
Descripción y funciones de los músculos específicos de la rodilla ..... 246
Alineación y desviaciones habituales de la rodilla ..... 252
Mecánica de la rodilla ..... 256
Estructura y movimientos de la articulación femororrotuliana ..... 258
Alineación femororrotuliana y ángulo Q ..... 259
Mecánica femororrotuliana ..... 260
Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la rodilla ..... 263
Consideraciones clave sobre la rodilla respecto al movimiento del cuerpo ..... 265
Consideraciones especiales sobre la rodilla en la danza ..... 266
Ejercicios de acondicionamiento para la rodilla ..... 275
Lesiones de rodilla en los bailarines ..... 284
Resumen ..... 294
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 295

**Capítulo 6 El tobillo y el pie ..... 297**

Huesos y puntos óseos de referencia del tobillo y el pie ..... 298
Estructura articular y movimientos del tobillo y el pie ..... 300
Descripción y funciones de los músculos específicos del tobillo y el pie ..... 309
Alineación y desviaciones habituales del tobillo y el pie ..... 324
Mecánica del tobillo y el pie ..... 330
Análisis muscular de los movimientos fundamentales del tobillo y el pie ..... 331
Consideraciones clave sobre el tobillo y el pie respecto al movimiento del cuerpo ..... 333
Consideraciones especiales sobre el tobillo y el pie en la danza ..... 336
Ejercicios de acondicionamiento para el tobillo y el pie ..... 340
Lesiones de tobillo y pie en los bailarines ..... 359
Resumen ..... 370
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 371

**Capítulo 7 La extremidad superior ..... 373**

Huesos y puntos óseos de referencia del complejo del hombro ..... 374
Estructura articular y movimientos de la cintura escapular ..... 375
Estructura articular y movimientos del hombro ..... 378
Descripción y funciones de los músculos específicos del complejo del hombro ..... 380

Alineación y desviaciones habituales del complejo del hombro ..... 395
Mecánica del hombro ..... 397
Análisis muscular de los movimientos fundamentales del hombro ..... 401
Consideraciones especiales sobre el complejo del hombro en la danza ..... 408
Otras articulaciones de la extremidad superior ..... 412
Descripción y funciones de los músculos específicos del codo ..... 415
Estructura y movimientos de las articulaciones radiocubitales ..... 415
Consideraciones clave sobre la extremidad superior respecto al movimiento del cuerpo ..... 431
Ejercicios de acondicionamiento para la extremidad superior ..... 432
Lesiones de la extremidad superior en los bailarines ..... 452
Resumen ..... 460
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 463

***Capítulo 8 Análisis del movimiento humano ..... 465***

Análisis anatómico de los movimientos del cuerpo ..... 466
Otros métodos de análisis del movimiento ..... 487
Análisis de movimientos respaldado por estudios ..... 489
Modelos de ejecución óptima ..... 500
Claves del movimiento ..... 501
Resumen ..... 501
Preguntas de repaso y aplicaciones ..... 502

***Bibliografía ..... 503***

***Índice alfabético ..... 517***

***Sobre la autora ..... 533***

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

# Prefacio

La danza es una actividad físicamente muy exigente que abarca muchos estilos de movimiento. La danza requiere un tremendo grado de versatilidad, fuerza, amplitud de movimiento, equilibrio, coordinación neuromuscular y percepción cinestésica. Medir el éxito de una actuación es complicado; no se trata simplemente de lo alto que salta un bailarín o de lo rápido que corre, sino que comprende cualidades elusivas como la expresividad, la conexión, coordinación y fraseo de los movimientos, las exigencias estéticas en la posición de segmentos corporales específicos, o la versatilidad dinámica y la presencia en el escenario. Esto viene a querer decir que el bailarín es tanto un artista como un técnico. Sin embargo, el cuerpo humano sigue siendo su instrumento de expresión, sobre el que se aplican los principios biomecánicos y anatómicos básicos para conseguir un rendimiento óptimo. Por tanto, la finalidad de este libro es aportar información científica que los bailarines puedan aplicar para conocer mejor su cuerpo y, en consecuencia, para reducir el riesgo de lesiones y aumentar la longevidad y calidad de sus actuaciones.

Este libro es producto de los problemas que muchos colegas y yo hemos tenido a la hora de hallar un único manual que pudiéramos usar en las clases de anatomía y cinesiología para bailarines. Muchos bailarines aprenden visualmente y a menudo piden libros en que abunde el material gráfico. También existía el deseo de que el material escrito fuera lo más profundo y científicamente preciso posible, así como que fuera específico para bailarines. Este libro se ha escrito para cumplir estos criterios y ofrecer muchos ejercicios prácticos a los bailarines, para que los apliquen en sus propios cuerpos.

## Alcance, estructura y organización

El objetivo de este libro es el movimiento en la danza, por lo que se incluyen ciertos aspectos concretos de las disciplinas de anatomía y cinesiología vitales para el conocimiento y desarrollo de la danza. Por ejemplo, la anatomía humana es la ciencia que estudia la estructura del cuerpo humano y, tradicionalmente, comprende todos los sistemas corporales; sin embargo, el objetivo de este libro es más concreto y cubre sólo los sistemas esquelético y muscular. Igualmente, la cinesiología se considera la ciencia del movimiento humano, y tradicionalmente abarca el estudio de los principios de la anatomía y la mecánica en relación con el movimiento humano. Aunque el uso de la cinesiología en su sentido más amplio también incluye principios anatómicos, la anatomía se cita por separado en el título de este libro dado el mayor interés atribuido a la anatomía respecto a otros textos de cinesiología. El término cinesiología se incluye en el título porque se alude a aspectos mecánicos y su aplicación de forma más amplia que en textos de anatomía tradicionales. La mecánica es una rama de la física que trata tanto de la energía y las fuerzas como de su efecto sobre los cuerpos y el movimiento. Cuando la mecánica se aplica al estudio de la estructura anatómica y a la función de los organismos vivos, como el hombre, se denomina biomecánica. Este libro incorpora selectivamente aspectos de la biomecánica relacionados con los movimientos articulares, la técnica de la danza y la prevención de lesiones.

### Capítulos del libro

Este libro contiene ocho capítulos. Los primeros dos capítulos establecen las bases para el resto del manual, ya que presentan la terminología y los conceptos anatómicos y cinesiológicos particularmente relevantes para la danza y que se emplearán en el resto del libro. El capítulo 1 describe los huesos, las articulaciones y la terminología sobre la orientación del cuerpo y los movimientos articulares. El capítulo 2 se centra en la estructura muscular, las palancas del cuerpo, los tipos de contracciones musculares y su función en el movimiento humano, y ofrece una introducción al aprendizaje de los nombres y acciones de los músculos.

Los capítulos 3 a 7 abordan las distintas regiones del cuerpo. El primero de estos capítulos (capítulo 3) se centra en la columna vertebral por su importante papel estructural y funcional en el movimiento. Los siguientes tres capítulos (capítulos 4 a 6) cubren la extremidad inferior, de proximal a distal, de la cadera a la rodilla, y luego al tobillo y al pie. Un solo capítulo (capítulo 7) trata la extremidad superior. La extremidad inferior se aborda primero y con más detalle por la preponderancia de las lesiones en esta área, por la importancia del uso de la extremidad inferior para soportar el peso del cuerpo y generar fuerza en muchos tipos de danza, y por la tendencia, por razones de tiempo, a dar

más importancia a la columna vertebral y a la extremidad inferior en los cursos de anatomía y cinesiología aplicados a la danza.

Estos cinco capítulos estudian los principales huesos, articulaciones, músculos, desviaciones en la alineación y la mecánica de cada región del cuerpo, con especial consideración para la danza. También aparecen ejercicios de muestra para mejorar la fuerza y la flexibilidad. Se incluyen estos ejercicios para que el lector entienda mejor la función y localización de los músculos, así como ejercicios clásicos con el objetivo de mejorar la fuerza y la flexibilidad en la técnica de la danza y prevenir lesiones habituales. En la sección final de estos capítulos se describen lesiones habituales que se producen en la danza. El propósito de estas secciones dedicadas a las lesiones no es el autodiagnóstico ni el autotratamiento, sino conocer mejor la base anatómica de las lesiones para que profesores y bailarines tengan una base sólida con que evaluar riesgos, decidir sobre modificaciones temporales o diseñar progresiones secuenciales para las clases, que permitan desarrollar el repertorio de baile con la gracia estética deseada y el menor riesgo de lesiones. Con el material que aparece en las secciones sobre lesiones, el bailarín estará mejor informado cuando, en caso de lesión, busque el tratamiento de un profesional médico cualificado.

El capítulo final de este libro presenta un esquema que ayudará a los lectores a analizar los movimientos practicados con todo el cuerpo. El propósito de este capítulo es proporcionar una herramienta con que entender mejor los aspectos de la fuerza, flexibilidad y técnica, y su influencia en la ejecución óptima de los movimientos de danza. Este conocimiento permitirá al bailarín y al profesor de baile ser más específicos en la determinación y empleo de ejercicios suplementarios para mejorar el rendimiento.

### *Elementos especiales*

Distintos elementos especiales aparecen en casi todos los capítulos para proporcionar aplicaciones prácticas de conceptos clave tratados en el capítulo correspondiente. Algunos de estos elementos especiales se pueden usar fácilmente con formato de laboratorio en un marco académico. Los elementos especiales comprenden los siguientes:

- En **Demostración de conceptos** se seleccionan conceptos clave, que a menudo son difíciles de entender, y experiencias de movimiento que el lector puede aplicar para ayudar a su aprendizaje.

- Las **Pruebas y mediciones** ofrecen ejemplos de pruebas que se emplean para la evaluación de lesiones ligamentarias, o de la fuerza muscular y la flexibilidad. Aunque muchas de estas pruebas requieran una preparación especializada para practicarlas y no se espera que el lector sin preparación las realice, se han incluido porque ejemplifican con claridad la función o restricción que aporta una estructura dada.

- Las **Órdenes en la danza** reflexionan sobre la base anatómica potencial de algunos aspectos que se suelen usar al enseñar una técnica de danza.

- Las **Tablas de inserciones musculares** enumeran las inserciones proximales y distales, así como las acciones clave, de los principales músculos tratados en este libro. Este apartado especial aparece en los capítulos 3 a 7, próximo a la figura y a la descripción escrita del músculo dado para ayudar al lector a deducir la línea de tracción y sus acciones potenciales.

- Con las **Preguntas de repaso y aplicaciones** se intenta ayudar a asentar los conocimientos aparecidos en el capítulo, y a comprobar si se han entendido dichos conceptos clave.

### *Terminología en la danza*

En el texto, los movimientos de baile a menudo se describen utilizando terminología de ballet. Esto se explica porque dicha terminología está más estandarizada. Pero también se usan versiones simplificadas de la terminología sin referencia a la orientación del cuerpo, para que dicha información sea más accesible a los profesionales de la medicina y a los bailarines de otras disciplinas, que suelen usar los términos de ballet menos formalmente. Este uso común de términos de ballet no significa que la aplicación de esta información se limite a la técnica de ballet; los bailarines pueden aplicarla de forma paralela a movimientos similares en la disciplina de baile de su elección.

## Cómo usar este libro para distintos objetivos

Aunque el empeño original de este libro fue crear un manual para cursos universitarios, también está destinado a otros bailarines, profesores de baile y profesionales sanitarios que brindan sus servicios a bailarines. Las ventajas potenciales para el profesor son el disponer de una imagen clara de los factores anatómicos y cinesiológicos que le ayudarán a comunicar mejor los requerimientos técnicos; orientar mejor a los estudiantes en la identificación de problemas potenciales técnicos, y contar con ejercicios que permitan a los estudiantes alcanzar el éxito téc-

nico. Son ventajas potenciales para los bailarines el mayor conocimiento de los desafíos de la técnica, como los *en dehors* y la correcta alineación, y un entendimiento más claro de los puntos fuertes y débiles individuales, así como de la manera de mejorar dichas áreas débiles. Las ventajas potenciales para los profesionales sanitarios son un mayor conocimiento sobre cómo la prevención de lesiones y los tratamientos se relacionan con la técnica de baile.

Con el fin de cubrir las distintas necesidades de estos lectores potenciales, este libro está concebido para satisfacer distintos niveles e intereses. Por ejemplo, el estudiante para quien la anatomía sea nueva se puede centrar en las ilustraciones y las tablas de resumen sobre los músculos principales y sus funciones, usando sólo como referencia las secciones sobre ejercicios de potenciación y flexibilidad, y lesiones. Por el contrario, los lectores con más conocimientos se pueden centrar en detalles como las acciones secundarias de los músculos, las implicaciones de la mecánica articular en la técnica y las lesiones, y en la bibliografía para un estudio más profundo.

Análogamente, al encuestar a colegas que dan cursos de anatomía y cinesiología aplicadas a la danza en un marco académico, descubrí que los cursos se daban de formas muy distintas. Por ejemplo, algunos profesores confieren poca importancia o ninguna a las extremidades superiores, mientras que otros incluyen un estudio básico de esta área. Algunos profesores enseñan sobre todo anatomía, mientras que otros se centran más en las lesiones y la mecánica, al tiempo que otros dan preferencia a las claves y ejercicios correctivos. Por tanto, este libro se ha concebido con distintos enunciados en cada capítulo para que los profesores seleccionen las secciones que quieren tocar en sus cursos, dejando las otras secciones como lectura opcional suplementaria.

En resumen, abrigo la esperanza de que este libro se convierta en una valiosa fuente de consulta, que se use y se emplee a distintos niveles según los conocimientos y circunstancias. En el pasado, en cierta medida se enseñaba a bailar mediante la imitación de profesores y bailarines consumados, y las claves se basaban a menudo en la intuición y derivaban de las experiencias y suposiciones personales. Este libro pretende aportar más conocimientos científicos sobre la danza para que las suposiciones se puedan evaluar de modo que reflejen una mezcla ideal de ciencia y arte. También se ha diseñado para mostrar el valor de la perspectiva científica, de forma que los nuevos estudios y conocimientos hagan evolucionar la danza, y para que los lectores tengan un marco en el que aplicar esta información. Esta combinación de ciencia y arte puede hacer que la enseñanza sea más eficaz y permita a los bailarines desarrollar su potencial individual de modo que la perfección técnica limite menos su visión artística.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM SCIENTIARUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

# Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a los numerosos colegas cuya valiosa aportación se ha incorporado a este libro, especialmente a Katherine Daniels (Cornish College of the Arts), Scott E. Brown (Sinai Hospital de Baltimore y Universidad de Johns Hopkins), Terese Freedman (Mount Holyoke College) y Ralph Rozenek (California State University, Long Beach), por su revisión de este libro. Mi más honda gratitud a Skip Clippinger y Mario Zemann por las incontables horas que pasaron creando las ilustraciones para este libro, elemento esencial para enriquecer y aclarar los conceptos teóricos presentados en este manual. Gracias sinceras de corazón a Francia Russell (directora de la Pacific Northwest Ballet School), por su apoyo a mi trabajo, sobre todo durante los primeros años, y por el papel primordial que ella y el Pacific Northwest Ballet desempeñaron en la evolución de mi trabajo con bailarines.

Mi reconocimiento también por el talento de los fotógrafos que aportaron sus imágenes tan inspiradoras de bailarines en movimiento, así como a otras personas que contribuyeron con fotografías o me ayudaron a adquirir las fotografías de este libro. Mi gratitud particular a Francia Russell y a Lia Chiarelli por su ayuda para adquirir fotografías de los bailarines del Pacific Northwest Ballet, y a Angela Sterling (fotógrafa del Pacific Northwest Ballet) por suministrarme las fotografías del Pacific Northwest Ballet que aparecen en la portada, en la primera hoja de cada capítulo y en el interior de algunos capítulos. Quiero también manifestar mi gratitud a los fotógrafos Keith Ian Polakoff y Patrick Van Osta por utilizar sus fotografías en el montaje al comienzo del libro y en cada capítulo, así como por su contribución con otras fotografías en el interior de los capítulos. Expreso también mi aprecio al Lines Ballet de Alonzo King y Robert Rosenwasser, por su ayuda en la adquisición de fotografías.

También quiero dar las gracias a los bailarines que aparecen en las fotografías, especialmente a (1) el personal del Pacific Northwest Ballet; (2) Maurya Kerr (en la actualidad en el Lines Ballet de Alonzo King) y Jennifer Owen (en la actualidad en el BalletMet Columbus), por las fotografías que muestran los ejercicios y la técnica correcta, tomadas cuando eran estudiantes de la Pacific Northwest Ballet School, y a (3) Jennifer Fitzgerald (bailarina de CSULB), Merett Miller (bailarina del Sacramento Ballet) y Dwayne Worthington (bailarín de CSULB MFA), por servir de modelos en los ejercicios de fuerza, flexibilidad y técnica. También doy las gracias a Shawn Robertson por su ayuda en la edición y catalogación de mis fotografías.

Para concluir, doy las gracias a la California State University, Long Beach, y en particular a Judy Allen (directora del Departamento de Danza) y a Donald Para (Dean, College of the Arts), por su apoyo a este trabajo, así como a todas las personas de Human Kinetics que me ayudaron a que el manuscrito se convirtiera en una realidad.

FUNDADA EN 1620
QUITO

# El sistema esquelético y sus movimientos

© Angela Sterling Photography, Ballarina, Patricia Barker, de Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

Iniciamos en este libro la exposición sobre anatomía y cinesiología aplicadas a la danza con el estudio del sistema esquelético. El sistema esquelético proporciona un armazón estructural al cuerpo humano, y sus articulaciones permiten los variados movimientos que se exploran en el lenguaje de la danza. En movimientos como el *battement*, que se muestra en la fotografía de la primera página, los huesos actúan tanto para sostener como para permitir el movimiento. Los huesos y articulaciones asociadas de la pierna que realiza el gesto permiten que este amplio movimiento ocurra en la cadera derecha, mientras que los de la pierna de apoyo son elementos clave para aportar estabilidad de modo que la bailarina se mantenga de pie a pesar de tan escasa base de sustentación. La función de soporte de los huesos exige que sean resistentes, y conocer el proceso de la remodelación ósea es clave para prevenir la pérdida de su resistencia, algo bastante frecuente entre las bailarinas. El papel de los huesos en las articulaciones es clave para comprender y describir el movimiento humano. Los temas tratados en este capítulo son los siguientes:

- Principales tejidos del cuerpo.
- Composición y estructura óseas.
- Desarrollo y crecimiento óseos.
- El esqueleto humano.
- La arquitectura articular.
- Terminología sobre la orientación del cuerpo.
- Terminología sobre el movimiento articular.
- Consideraciones sobre el esqueleto respecto al movimiento corporal.

Los conceptos y la terminología aportados expuestos en este capítulo se utilizarán y aplicarán con más profundidad en los siguientes capítulos. Este capítulo, por tanto, servirá de introducción y de referencia cuando se vuelva a retomar esta información.

## Principales tejidos del cuerpo

El cuerpo se compone de cuatro tipos principales de tejidos, cada uno con una estructura particular para poder desarrollar las funciones encomendadas. Estos cuatro tejidos principales son el tejido muscular, el tejido nervioso, el tejido epitelial y el tejido conjuntivo. El **tejido muscular** se caracteriza por su capacidad de contraerse y se encuentra en el corazón, en distintos órganos (p. ej., el músculo liso del tubo digestivo) y en los músculos esqueléticos del cuerpo. El **tejido nervioso** se compone de células (neuronas) capaces de generar y conducir mensajes eléctricos, así como de otras células (neuroglia) que ayudan a sostener estas neuronas. El **tejido epitelial** se compone de células que se agrupan para formar láminas continuas o membranas, que revisten y tapizan superficies del cuerpo, o forman glándulas. Los **tejidos conjuntivos** suelen unir, sostener, aislar y proteger estructuras, y se subdividen en **tejido conjuntivo propiamente dicho, cartílago, hueso y sangre.**

Mientras que los tres primeros tipos de tejidos se componen sobre todo de células, el tejido conjuntivo se caracteriza por la presencia de grandes cantidades de material inerte en el espacio intermedio entre las células **(matriz extracelular),** el cual contiene distintas fibras y otros elementos que determinan su forma y función. Por ejemplo, el hueso contiene sales de calcio en su matriz extracelular que le confieren la consistencia necesaria para soportar el peso del cuerpo. Algunos tipos de tejido conjuntivo contienen haces muy apretados de fibras proteínicas (colágeno), que le confieren la fuerza necesaria para su función de unir hueso con hueso (ligamentos) o músculos con huesos (tendones). La sangre, un tejido conjuntivo atípico, contiene plasma en su matriz extracelular; sus fibras sólo son evidentes durante el proceso de coagulación.

Estos tejidos principales del cuerpo se pueden agrupar en unidades anatómicas o funcionales llamadas **órganos.** Un órgano es una estructura que realiza una función especial en el cuerpo y se compone de dos a cuatro tejidos principales. Ejemplos de órganos son el corazón y el encéfalo. Además, los órganos que actúan en cooperación para un propósito común se agrupan de acuerdo con una función común en sistemas, como el sistema esquelético, el sistema muscular y el sistema nervioso. El sistema esquelético se tratará en este capítulo, y el sistema muscular en el capítulo 2. El **sistema esquelético** se compone de todos los huesos del cuerpo, los cartílagos y ligamentos, y las articulaciones que conectan estos huesos entre sí.

## Composición y estructura óseas

En una persona normal, el hueso supone en torno al 15-20% del peso corporal total (Huwyler, 1999). El hueso se caracteriza por su resistencia y rigidez, y es uno de los tejidos conjuntivos más fuertes del cuerpo. A diferencia de otros tejidos, la matriz extracelular del hueso contiene **sales de calcio.** Estos minerales componen en torno al 60-70% del peso óseo (Hall, 1999; Rasch, 1989) y confieren al hueso su enorme resistencia a la **compresión** (L. *pressus*, presionar conjuntamente): la capacidad para resistir una fuerza que tiende a comprimir o aplastar un hueso. Esta matriz extracelular también contiene **fibras colágenas** (G. *koila*, pegamento + *gen*, que produce). El colágeno confiere al hueso su enorme **resistencia a la tracción** (la capacidad de oponer resistencia a una fuerza que tiende a separar el hueso) y su flexibilidad. La composición del hueso se puede comparar con la del cemento reforzado, desempeñando el colágeno el papel del acero, y los cristales de calcio, el papel de la arena y piedra. La resistencia a la compresión del hueso es en realidad mayor que la del cemento reforzado (Guyton, 1976) y se calcula que la resisten-

cia a la tracción del hueso compacto es 230 veces superior a la del músculo de una sección transversal similar (Rasch y Burke, 1978).

## Funciones del hueso

La composición del hueso le permite cumplir las siguientes funciones clave:

- Sustentación. Los huesos aportan una estructura interna al cuerpo, esencial para conferirle forma y estabilidad.
- Protección. Algunos huesos protegen las estructuras frágiles que rodean. Por ejemplo, el cráneo protege el encéfalo; la caja torácica, el corazón y los pulmones, y la cintura pélvica, los órganos internos vitales.
- Movimiento. Muchos huesos actúan como palancas para mejorar la capacidad de movimiento (véase Músculos, palancas y movimiento angular en el capítulo 2, pág. 44 para más información). Las largas palancas del cuerpo permiten a las extremidades desplazarse sobre largas distancias, a gran velocidad o ambas cosas.
- Producción de hematocitos. Algunos huesos contienen médula roja responsable de la producción de hematíes. Los hematíes son vitales para el transporte de oxígeno y dióxido de carbono.
- Almacenamiento de minerales. Distintos minerales importantes, como el calcio, el fósforo y el magnesio, se almacenan en los huesos. Cuando es necesario, las hormonas estimulan la liberación de algunos de estos minerales a la sangre para que el cuerpo los utilice. Estos minerales son vitales para procesos importantes como la coagulación de la sangre, la transmisión nerviosa, la contracción muscular y el metabolismo energético.

## Tipos de hueso

Los huesos adoptan variedad de formas y tamaños. Se clasifican de acuerdo con su forma en cinco tipos, que se describen a continuación y se ilustran en la figura 1.1.

- Los **huesos largos** tienen forma tubular y son mucho más largos que anchos. Se hallan en las extremidades, donde actúan como palancas para incrementar el movimiento. Por ejemplo, el hueso del muslo, el fémur, es un hueso largo (figura 1.1). Otros ejemplos comprenden la clavícula, el húmero, el radio, el cúbito y los metacarpianos y falanges de la extremidad superior, y la tibia, peroné y los metatarsianos y falanges de la extremidad inferior (figura 1.4). Los huesos largos de la extremidad inferior son por lo general más grandes y fuertes para poder soportar el peso en carga del cuerpo, mientras que los de la extremidad superior son por lo general más pequeños y ligeros para cumplir su papel de alcanzar y manipular objetos.
- Los **huesos cortos** tienen forma cúbica y se encuentran en la porción superior de la mano (huesos del carpo; véase la figura 1.4) y el pie (huesos del tarso; véanse las figuras 1.1 y 1.4). Estos huesos ayudan a amortiguar los golpes, a transmitir fuerzas y a generar pequeños movimientos complejos.
- Los **huesos planos** son relativamente finos y planos, pero a menudo ligeramente curvos. Estos huesos suelen proteger importantes estructuras blandas subyacentes (como el encéfalo) y su forma también ofrece una gran superficie para la inserción de músculos. Encontramos ejemplos en la porción superior de la pelvis

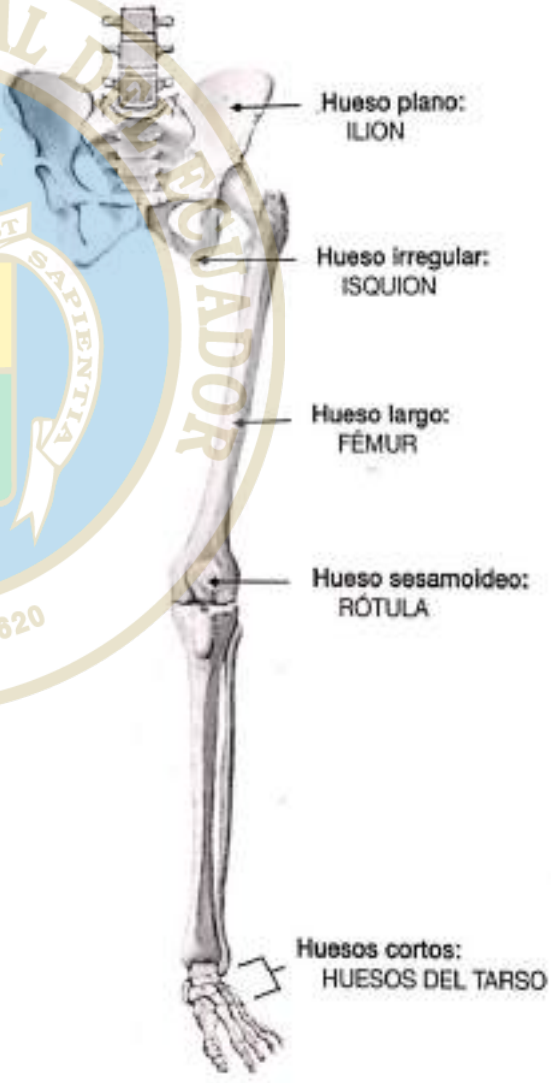



FIGURA 1.1. Tipos de huesos del esqueleto (vista anterior).

POTENTIOR EST SAPIENTIA FUNDADA EN 1620 QUITO

(ilion) como se aprecia en la figura 1.1, y las costillas, esternón, escápulas y algunos de los huesos del cráneo que aparecen en la figura 1.4.

- Los **huesos irregulares** no pertenecen a ninguna de las tres clasificaciones precedentes y muestran formas complejas y variadas. Su forma se adapta a propósitos especiales, y cumplen distintas funciones como proteger la médula espinal, soportar el peso del cuerpo, transmitir cargas, ofrecer puntos de inserción a los músculos y facilitar movimientos. Son ejemplos las vértebras y las porciones inferiores de la pelvis (isquion y pubis), que aparecen en las figuras 1.1 y 1.4.
- Los **huesos sesamoideos** (G. *sesamoeides*, parecidos al sésamo) son huesos que se forman dentro de un tendón. Ayudan a proteger el tendón de un desgaste excesivo por el rozamiento contra el hueso subyacente, y modifican el ángulo del tendón para que el músculo pueda generar una fuerza más eficaz. Son ejemplos la rótula (figura 1.1), encapsulada en el tendón del cuádriceps femoral, y los dos huesecillos dentro del tendón del músculo flexor corto del dedo gordo, localizados debajo de la base del dedo gordo y de los que se habla en el capítulo 6. Como estos huesos sesamoideos son relativamente planos, muchos manuales los incluyen en la categoría de «huesos planos», mientras que otros les otorgan una clase propia.

## Estructura del hueso

El hueso no posee una composición uniforme. Por ejemplo, el porcentaje relativo de mineralización varía de uno a otro, así como en un mismo hueso, para favorecer sus funciones. En general, los huesos presentan una lámina externa de hueso muy densa, llamada **hueso compacto**, y una lámina interna de hueso menos denso, llamada **hueso esponjoso** o trabecular. El hueso compacto aporta resistencia y rigidez. El hueso esponjoso (L. *terja*, reja) contiene muchos espacios abiertos entre finas láminas de hueso (trabéculas). Estas **trabéculas** (L. *trabs*, viga) forman un tipo de retícula que se corresponde con las líneas de tensión que soporta el hueso. Esta arquitectura proporciona a los huesos resistencia y amortiguación adicionales, al tiempo que les permite ser mucho más ligeros que si estuvieran compuestos sólo de hueso compacto.

### Estructura de un hueso largo típico

El hueso compacto, el hueso esponjoso y otras estructuras presentes en un hueso largo típico aparecen en la figura 1.2. Conocer estas estructuras es clave para comprender la salud y el crecimiento óseos. El tramo con forma de tallo, llamado **diáfisis** (G., crecimiento entre), presenta paredes gruesas de hueso compacto y una cavidad hueca, llamada **cavidad medular** (L., tuétano). La lámina de hueso compacto se adelgaza hacia los extremos. Los extremos, de mayor tamaño, se llaman **epífisis** (G. *epi*, encima + *physis*, cuerpo). Estas epífisis engrosadas ofrecen una amplia área para la inserción de los músculos. También ofrecen un área superficial mayor para la articulación con los huesos adyacentes, mejorando así la estabilidad articular. Las superficies de las epífisis que realmente entran en contacto con los huesos en oposición están revestidas de una fina capa de tejido conjuntivo especializado o **cartílago articular.** El cartílago articular ayuda a mitigar las fuerzas y permite a las articulaciones moverse con más suavidad (véase Articulaciones sinoviales, págs. 12 y 13 para más información). En vez de albergar una cavidad hueca, las epífisis están rellenas de hueso esponjoso. Los espacios del hueso esponjoso y de la cavidad medular están llenos de una sustancia blanda y grasa llamada **médula ósea.** Parte de esta sustancia (médula roja) es vital para la producción de hematíes.

En el hueso todavía en crecimiento, hay una lámina de cartílago que separa cada epífisis de la diáfisis. Se denomina **lámina epifisaria** (G. *epi*, encima + *physis*, cuerpo) o «**lámina de crecimiento**» (véase Desarrollo y crecimiento

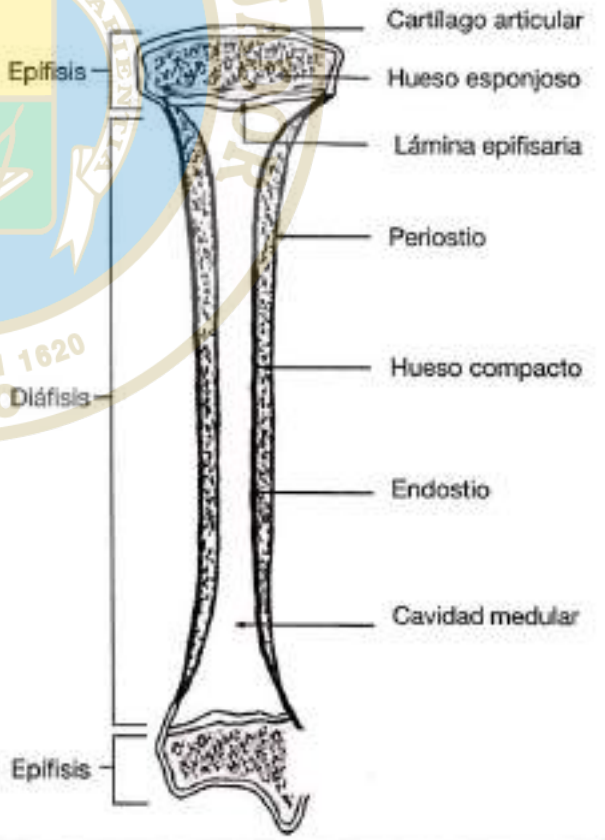



FIGURA 1.2. Estructura de un hueso largo típico (sección longitudinal).

óseos para más información). En el adulto, estas láminas epifisarias se han reemplazado por hueso, y la diáfisis se ha fusionado con las epífisis. El hueso empleado en esta fusión es muy denso y visible como una línea epifisaria en las radiografías.

Con la excepción de la porción de las epífisis cubierta de cartílago articular, todo el exterior del hueso está revestido de una membrana fibrosa llamada **periostio** (G. *peri*, alrededor + *osteon*, hueso). La lámina interna del periostio contiene células capaces de depositar hueso nuevo (osteoblastos). El periostio cuenta con una nutrida red de vasos sanguíneos, esenciales para la nutrición ósea. También ofrece un lugar para la inserción de músculos y ligamentos en el hueso. Los músculos, por lo general, no se insertan directamente en el hueso, sino que sus extensiones de tejido conjuntivo, como los tendones, se insertan en el periostio, que a su vez cuenta con pequeñas fibras que penetran en el hueso (fibras de Sharpey). El periostio puede resultar dañado con facilidad y, debido a su abundante inervación, puede ser el responsable de gran parte del dolor asociado con síndromes compartimentales tibiales, contusiones y fracturas.

El **endostio** (G. *endon*, dentro + *osteon*, hueso) es una membrana que tapiza las superficies internas del hueso, como la cavidad medular y los conductos que discurren a través del hueso compacto. Como el periostio, contiene células que intervienen en el crecimiento y reparación del hueso. Estas células, localizadas en el endostio y periostio de los huesos en crecimiento, son especialmente importantes para el aumento del diámetro de los huesos en comparación con su crecimiento longitudinal (véase Desarrollo y crecimiento óseos para más información).

### Estructura de otros tipos de huesos

De forma parecida a los huesos largos, los huesos cortos, irregulares y planos presentan una lámina externa de hueso compacto cubierta de periostio. Bajo esta lámina de hueso compacto se encuentra el hueso esponjoso revestido por el endostio. Estos tipos de huesos no son cilíndricos y por tanto no tienen epífisis, diáfisis ni cavidad medular, a pesar de lo cual contienen médula ósea entre sus trabéculas. Algunos huesos planos contienen médula roja, es decir, el tuétano capaz de producir hematíes.

## Desarrollo y crecimiento óseos

Durante el desarrollo fetal, cierto tejido conjuntivo especializado (mesénquima) se transforma directamente en hueso, lo cual se denomina **osificación intramembranosa** (L., dentro de la membrana; *os*, hueso + *facio*, construir), aunque lo más normal es que se convierta en los modelos cartilaginosos de los huesos que más tarde son reemplazados por hueso a medida que el niño se desarrolla. Este último tipo de osificación se denomina **osificación endocondral** (G. *endon*, dentro + *chondros*, cartílago), y es este tipo de osificación el responsable del aumento de longitud de los huesos largos. La osificación endocondral se origina en un lugar cercano al centro del tallo del modelo cartilaginoso y este origen se denomina **centro de osificación primaria.** Esta osificación comienza al final del segundo mes de vida intrauterina (Hall-Craggs, 1985) y avanza en ambas direcciones alejándose del centro para formar la diáfisis. Poco antes o después del parto, aparecen uno o más **centros de osificación secundaria** en las extremidades del hueso largo, los cuales osifican las epífisis.

A medida que continúa el crecimiento, se conserva una lámina de cartílago entre la diáfisis y las epífisis; la lámina epifisaria o «lámina de crecimiento» antes descrita. Esta lámina epifisaria conserva su espesor manteniendo un equilibrio entre el crecimiento del cartílago por el lado epifisario y el reemplazo por tejido óseo en su lado diafisario. Este proceso impide la fusión y permite que prosiga el crecimiento en longitud del hueso hasta el tamaño adulto de ese hueso concreto. Llegado ese momento, la producción de nuevo cartílago declina; las láminas epifisarias cartilaginosas son reemplazadas por hueso, y la diáfisis se fusiona con las epífisis. Las «láminas de crecimiento» se consideran ahora «cerradas». Este **cierre de las láminas epifisarias** suele ocurrir progresivamente desde la pubertad hasta la madurez. Aunque existe mucha variabilidad individual, la mayoría de los huesos largos de las extremidades se cierran entre los 15 y los 25 años (Goss, 1980); se produce hasta cuatro años antes en las mujeres que en los hombres (Kreighbaum y Barthels, 1996).

Además de crecer en longitud, los huesos largos también experimentan remodelación y crecimiento circunferenciales, lo cual se denomina **crecimiento aposicional.** Los osteoblastos de la lámina profunda del periostio depositan nuevo hueso (osificación intramembranosa), mientras que las células del endostio (osteoclastos) reabsorben hueso. Este proceso permite al hueso crecer «hacia fuera», aumentando su diámetro y expandiendo ligeramente la cavidad medular para que el hueso sea más grueso y resistente, al tiempo que se evita que se vuelva demasiado pesado. Aunque este crecimiento en diámetro alcanza un ritmo máximo antes de la madurez, se prolonga en la edad adulta. Un resumen de este crecimiento de los huesos largos en diámetro y longitud aparece en la figura 1.3.

### *Remodelación ósea*

Además de crecer en longitud y anchura, el hueso experimenta una continua remodelación. Aproximadamente el 5-7% de nuestra masa ósea se recicla cada semana, y hasta medio gramo de calcio puede entrar o salir del es-

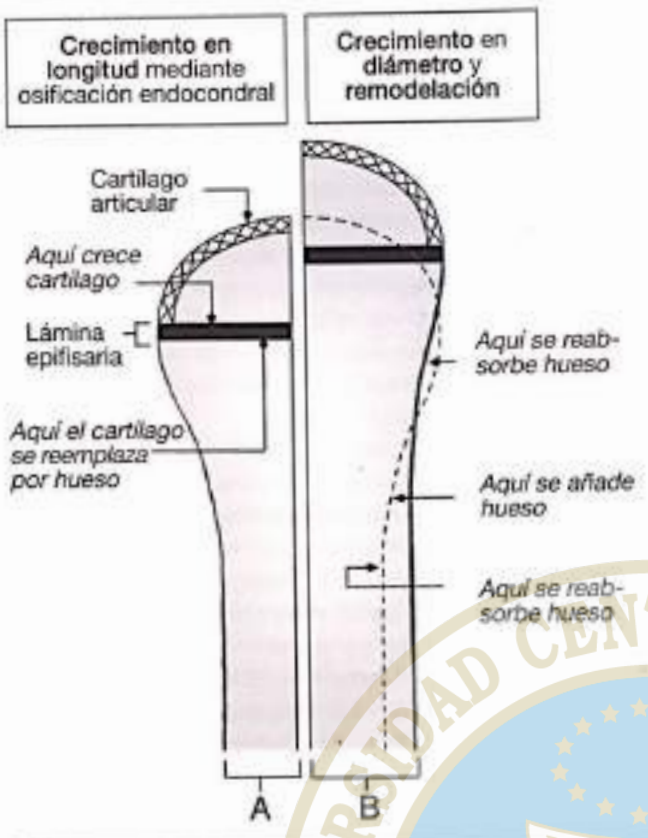



FIGURA 1.3. Crecimiento óseo en la juventud. (A) Crecimiento en longitud mediante la osificación endocondral; (B) crecimiento en diámetro mediante crecimiento apositional y mantenimiento de las proporciones por medio de remodelación.

queleto adulto en un solo día (Marieb, 1995). Por tanto, aunque el hueso sea muy duro, está muy vivo y en continuo cambio como respuesta a muchos factores, como las tensiones mecánicas a las que está expuesto. Esta relación entre tensión y desarrollo óseo ya se puso en evidencia hace mucho tiempo (en 1892) por Juliuos Wolff. La **ley de Wolff** establece que los cambios en la arquitectura interna y en la conformación externa del hueso ocurren de acuerdo con leyes matemáticas y como respuesta a las fuerzas que actúan sobre los huesos. Se cree que las principales fuerzas que actúan sobre los huesos están relacionadas con la contracción de los músculos y la carga de los huesos durante las actividades que implican soporte del peso corporal.

Parece que las tensiones longitudinales (compresión) relacionadas con el peso en carga son especialmente poderosas para provocar la deposición de hueso, tal vez por el **efecto piezoeléctrico** (G. *piez*, presionar + electricidad). En la década de 1950 se demostró que, cuando el hueso se somete a tensión, se genera un gradiente eléctrico. El lado del hueso sometido a compresión se vuelve electronegativo mientras que el lado bajo tensión se torna electropositivo, creando un potencial eléctrico que parece estimular la deposición de hueso (Enoka, 2002; Mercier, 1995). Aunque la ley de Wolff ha experimentado varias modificaciones en años más recientes para incorporar factores adicionales, el concepto sigue vigente. Los huesos sanos se remodelan como respuesta a las demandas mecánicas; depositan nuevo hueso donde lo necesitan y lo reabsorben donde no es necesario.

Teniendo presente la ley de Wolff, no sorprende que la actividad influya mucho en la densidad ósea. Las tensiones mecánicas asociadas con caminar, correr y bailar aportan un estímulo importante que favorece el mantenimiento de la densidad del hueso sano, y se ha demostrado que la densidad ósea aumenta diferencialmente en relación con las tensiones asociadas con esas actividades. Por ejemplo, algunos corredores pueden mostrar un aumento de la densidad ósea de los huesos de las piernas; los tenistas, en los huesos del brazo dominante, y los bailarines de ballet pueden mostrar un espesamiento de la diáfisis del segundo metatarsiano del pie.

Aunque el efecto más importante sobre la densidad ósea parezca estar relacionado con actividades físicas en carga de alto impacto, las contracciones musculares enérgicas en descarga también influyen positivamente en la densidad ósea; y también se ha demostrado que una mayor densidad ósea se asocia con músculos más poderosos y con una mayor masa muscular (Andreoli *et al.*, 2001; Frost, 2000; Stewart y Hannan, 2000). Por el contrario, los niños hospitalizados, personas de cualquier edad con extremidades inmovilizadas en yesos, y personas jóvenes sanas que participan en vuelos espaciales (Hall, 1999; Roy, Baldwin y Edgerton, 1996; Zernicke, Vailas y Salem, 1990) experimentan pérdida de densidad ósea (osteopenia) que puede terminar en un debilitamiento estructural importante de los huesos (aumento de la porosidad de los huesos, es decir, **osteoporosis**), probablemente debido a que las fuerzas que soporta el hueso son inadecuadas. Por ejemplo, estar encamado de cuatro a seis semanas puede causar una pérdida significativa de densidad ósea que no se invierte por completo tras seis meses de actividad normal en carga, y los astronautas pierden hasta un 19% de masa ósea durante misiones largas en el espacio.

En la densidad y remodelación óseas también influyen la raza, la edad, la disponibilidad de calcio, las hormonas y el sexo. Por ejemplo, por lo que a las etnias se refiere, los afroamericanos tienden a tener más densidad ósea que los caucasianos, lo cual se conjetura que esté relacionado con su mayor masa muscular (Burr, 1997; Hall, 1999). En términos de edad, la deposición de hueso supera a la resorción en los niños sanos, lo que deriva en un crecimiento neto de los huesos. En adultos jóvenes, la resorción y deposición óseas manifiestan tasas parecidas. En los adultos de mayor edad, predomina la resorción ósea, lo cual deriva en pérdida de densidad ósea y en osteoporosis. Sin embargo, para que el crecimiento de los huesos de los niños sea normal, y para desarrollar una masa mineral máxima en la juventud, es esencial una ingesta dietética adecuada de calcio y otros nutrientes. Además, incluso

si se dispone de suficiente calcio y se alcanza una densidad ósea normal, la osteoporosis se desarrolla antes, suele ser más grave y es cuatro veces más habitual en las mujeres que en los hombres (Dudek, 1997). Respecto al sexo, las mujeres adultas suelen empezar con aproximadamente un 30% menos de masa ósea que los hombres (Rasch, 1989); la pérdida de densidad ósea se inicia a edad más temprana y lo hace a un ritmo mayor que en los hombres. La osteoporosis afecta aproximadamente al 40% de las mujeres de más de 50 años (Hall, 1999); y en las ancianas, la densidad ósea de las vértebras es a menudo un 40% de lo que era a los 20 años (Abernethy *et al.*, 2005). A los 80 años, las mujeres tienen una posibilidad entre cinco (Kenney, 1982) de sufrir una fractura de cadera (del cuello del fémur), y las fracturas causadas por la osteoporosis y otras complicaciones asociadas están entre las principales causas de muerte en los ancianos (Hall, 1999).

Por desgracia, esta vulnerabilidad de las mujeres a la osteoporosis también se ceba con las bailarinas, y no sólo en la vejez. Aunque se ha demostrado que la actividad moderada aumenta la densidad ósea, la actividad física agotadora combinada con otros factores todavía objeto de estudio, como la disponibilidad de poca energía, un porcentaje muy bajo de grasa corporal o la supresión de la menstruación normal, pueden causar más pérdida que aumento de la densidad ósea (Myszkewycz y Koutedakis, 1998; Williams, 1998). Los estrógenos parecen proteger la densidad ósea, y por eso las bailarinas cuya producción de estrógenos es baja o que no menstrúan (amenorrea de la atleta) corren riesgo de tener menor densidad ósea. Este riesgo de una pérdida prematura de hueso se incrementa por la tendencia habitual de las bailarinas a fumar y consumir grandes cantidades de bebidas con cafeína, incluidos refrescos (Clippinger, 1999). Esta pérdida de densidad ósea, que forma parte de la tríada de las deportistas (American College of Sports Medicine, 1997), se puede dar hasta en bailarinas adolescentes, observándose pérdidas de densidad ósea que no se suelen dar hasta pasada la quinta década de vida, lo cual incrementa mucho la posibilidad de sufrir fracturas por sobrecarga (Khan *et al.*, 1999). Parte de esta pérdida en la densidad ósea puede ser irreversible, especialmente en el caso de las bailarinas jóvenes, dado que aproximadamente el 50% de la mineralización ósea y el 15% de la altura del adulto se establecen durante la adolescencia (Hall, 1999).

Por tanto, las bailarinas deben ser especialmente conscientes y seguir una dieta rica en nutrientes con un contenido apropiado de calorías y calcio. La ingesta recomendada diaria de calcio varía según la fuente, el sexo y la edad entre 800 y 1.500 miligramos; y un grupo de consenso de la Seguridad Social de 1994 recomienda de 1.200 a 1.500 miligramos diarios para los adultos jóvenes entre 11 y 24 años (Beck y Shoemaker, 2000; Clark, 1997). Una de las formas más sencillas de obtener niveles adecuados de calcio es ingerir regularmente tres o cuatro raciones de productos lácteos al día. Cualquiera de los siguientes alimentos aporta unos 300 miligramos de calcio: 0,2 litros de leche, una taza de yogur o 28 gramos de queso suizo. Por tanto, es fácil obtener 1.200 miligramos de calcio consumiendo alguno de estos alimentos 4 veces al día, o tres veces añadiendo otros ingredientes para lograr los 300 miligramos adicionales (véase la tabla 1.1). Para no engordar, se puede optar por variedades desnatadas o bajas en grasa de estos productos lácteos (para recomendaciones más específicas, véase *Sports Nutrition Guidebook* de Nancy Clark [1997]). Para los bailarines que no toleren o no les gusten los productos lácteos, puede verse en la tabla 1.1 que es complicado cubrir los valores recomendados. En tales casos, se recomienda consultar a un nutricionista y hablar de la suplementación con el médico del bailarín.

PRUEBAS Y MEDICIONES 1.1

### *Medición de la densidad ósea*

Se emplean varias pruebas para detectar la osteoporosis mediante la medición de la densidad ósea. En la década de 1940, se usaban radiografías simples (Kaufman, 2000), pero, como la desmineralización del hueso no es aparente hasta que se ha perdido en torno al 40% del hueso, se han desarrollado otros métodos más sensibles que detectan cambios en estadios mucho más tempranos. Una de las pruebas más precisas usada actualmente es la absorciometría por rayos X de doble energía (densitometría fotónica dual). Este método emplea rayos X con dos picos distintos de energía: uno que absorben más los tejidos blandos y otro que penetra más en el hueso. Esto permite sustraer el componente de los tejidos blandos para determinar la densidad mineral ósea. No obstante, también hay otras muchas pruebas, algunas de las cuales son más baratas y más accesibles. Para los bailarines, se recomiendan pruebas en múltiples puntos, ya que los resultados obtenidos de distintos huesos pueden diferir (Khan *et al.*, 1996). Por ejemplo, debido a la carga frecuente sobre las extremidades inferiores en la danza, la densidad ósea del fémur puede parecer normal, mientras que en algún punto de la extremidad superior puede ser baja. Las bailarinas con amenorrea o con algún otro motivo de preocupación deberían hablar de ello con su médico para saber si en su caso están indicadas estas pruebas y cuál sería la mejor para ellas.

### *Fracturas por sobrecarga*

Si bien el ejercicio suele actuar de estímulo para incrementar la densidad ósea, en ocasiones la destrucción de hueso supera el ritmo de reparación y remodelación, y en esos casos se produce una fractura por sobrecarga. Una **fractura por sobrecarga** es una fractura microscópica del hueso que causa la aparición de una grieta fina, tan pequeña que al principio no es evidente en la radiografía. Cuando un hueso soporta una excesiva tensión submáxima repetitiva, éste responde con un aumento de la actividad de los osteoclastos. Estos osteoclastos reabsorben hueso como primer paso antes de la deposición de una nueva matriz más resistente. En el proceso, el hueso es temporalmente más débil. Si la tensión es excesiva, la porción externa del hueso (la corteza) se puede agrietar y derivar en una fractura por sobrecarga.

Teóricamente, el riesgo de fractura por sobrecarga aumenta por factores que influyen negativamente en la salud ósea, y por eso todos los factores expuestos referidos a la densidad ósea, como el ser mujer, antecedentes de trastornos de la menstruación, menor masa magra en las extremidades inferiores, una ingesta insuficiente de calcio, una dieta baja en grasa y el tabaquismo, aumentan el riesgo de fracturas por sobrecarga (Bennell *et al.*, 1996; Clarkson, 1998; Hershman y Mailly, 1990; Taube y Wadsworth, 1993). Las deportistas corren un riesgo de 1,5 a 3,5 veces mayor de sufrir fracturas por sobrecarga que los deportistas varones (Browning, 2001), y un estudio con

**Tabla 1.1. Contenido (aproximado) de calcio en alimentos escogidos**

| | Tamaño de la ración | Calcio (mg) | Calorías |
|---|---|---|---|
| **Productos lácteos** | | | |
| Yogur desnatado | | | |
| Normal | 1 taza | 415 | 145 |
| Con sabor a fruta | 1 taza | 340 | 230 |
| Queso ricotta (semi) | ½ taza | 335 | 170 |
| Leche descremada | 1 taza | 300 | 120 |
| Queso suizo | 28 gramos | 270 | 105 |
| Queso Cheddar | 28 gramos | 205 | 110 |
| Queso americano | 28 gramos | 175 | 105 |
| Requesón descremado | ½ taza | 70 | 100 |
| Queso para untar | 2 cucharadas | 20 | 100 |
| **Alimentos ricos en proteínas** | | | |
| Tofu procesado con sulfato cálcico | 200 gramos | 145 | 70 |
| Huevos | 2 grandes | 56 | 160 |
| Lentejas cocidas | 1 taza | 50 | 210 |
| Almendras | 12-15 | 40 | 90 |
| Mantequilla de cacahuete | 2 cucharadas | 20 | 190 |
| Empanada de hamburguesa | 150 gramos | 10 | 200 |
| Pollo | 150 gramos | 10 | 140 |
| **Verduras y frutas** | | | |
| Berza | ½ taza | 180 | 30 |
| Bok choy, cocido | ½ taza | 125 | 15 |
| Brécol | ½ taza | 70 | 20 |
| Naranja | 1 mediana | 55 | 70 |
| Judías verdes | ½ taza | 30 | 15 |
| Zumo de naranja | 1 taza | 27 | 110 |
| Zumo de naranja enriquecido con calcio | 1 taza | 300 | 110 |
| Puré de patatas | ½ taza | 25 | 100 |
| Zanahorias | ½ taza | 24 | 24 |
| Lechuga | ¼ de cabeza | 20 | 27 |
| Manzana | 1 mediana | 10 | 80 |
| **Cereales** | | | |
| Pan integral | 2 rebanadas | 40 | 130 |
| Arroz cocido | ½ taza | 10 | 80 |

Fuentes: Clark (1997) y U.S. Department of Agriculture (1981).

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST FUNDADA EN 1620 QUITO

estudiantes de ballet llegó a la conclusión de que las jóvenes corren el doble de riesgo de desarrollar fracturas por sobrecarga que los varones jóvenes y que este riesgo se incrementa durante la adolescencia; el 70% de las fracturas por sobrecarga en las bailarinas ocurre al final de la adolescencia, entre los 15 y los 19 años (Lundon, Melcher y Bray, 1999). Además, un estudio con bailarinas observó que los casos de inicio tardío de la menstruación (menarquía) o de interrupción de la menstruación (amenorrea secundaria) eran el doble entre las bailarinas con fracturas por sobrecarga que en las bailarinas sin estas fracturas (Warren *et al.*, 1986). Otro estudio con bailarinas profesionales de ballet obtuvo resultados más espectaculares si cabe: el riesgo de sufrir una fractura por sobrecarga en las bailarinas con amenorrea durante más de 6 meses es 93 veces mayor que el de las bailarinas sin amenorrea (Kadel, Teitz y Kronmal, 1992).

Los errores en el entrenamiento, como aumentar la intensidad o duración del ejercicio por encima de lo aconsejable, también son importantes (Brukner, Bradshaw y Bennell, 1998), y un estudio sobre corredores con fracturas por sobrecarga halló que el 27% de los casos se producían cuando el inicio del entrenamiento era demasiado rápido (Taunton, Clement y Webber, 1981). Otro estudio con corredores determinó que había errores en el entrenamiento en el 22,4% de los 320 casos de fracturas por sobrecarga (Matheson *et al.*, 1987). Aunque no se haya comprobado en el mundo de la danza, un aumento repentino en la carga de trabajo (sobre todo *pointé* y saltos); cambios bruscos en el estilo de danza, en la técnica o en las superficies del suelo, y una fatiga excesiva pueden contribuir a aumentar el riesgo de fracturas por sobrecarga. Un estudio con bailarines de ballet profesionales demostró que el riesgo era 16 veces mayor en el caso de los que bailaban más de 5 horas al día en comparación con los que bailaban menos de 5 horas (Kadel, Teitz y Kronmal, 1992).

Se ha documentado que la prevalencia de fracturas por sobrecarga alcanza hasta el 61% en los bailarines profesionales de ballet (Warren *et al.*, 1986), pero se necesitan nuevos estudios que ahonden en la importancia relativa de los distintos factores responsables entre los bailarines. Entre tanto, los estudios realizados sugieren que la aplicación de unos principios seguros al entrenamiento, la derivación rápida a un médico cuando se inicia la amenorrea, una dieta nutricional sana con una ingesta adecuada de calcio y dejar de fumar ayudan a la prevención y tratamiento de las fracturas por sobrecarga.

## El esqueleto humano

En el esqueleto del hombre adulto hay 206 huesos, 177 de los cuales intervienen en los movimientos voluntarios (Hamilton y Luttgens, 2002). Los principales huesos del esqueleto aparecen en la figura 1.4.

### *El esqueleto axial y el apendicular*

El esqueleto presenta dos divisiones principales: el **esqueleto axial** (L., relativo a un eje) y el esqueleto apendicular. Como su nombre implica, la porción axial forma el «eje» central y vertical del esqueleto, y comprende el cráneo, la columna vertebral, el esternón y las costillas (figura 1.4A). El **cráneo** contiene 28 huesos, que forman la cara (huesos faciales) y el resto de la calavera (huesos craneales). En este libro, dicha área se simplifica hablando de los huesos del cráneo como una unidad. El cráneo desempeña una función esencial de protección para el vulnerable encéfalo y desempeña un papel importante al acoger los sentidos de la vista, el olfato, el gusto y el oído. El **esternón** (G. *sternon*, el pecho) y las 12 costillas con sus cartílagos conforman el **tórax**, que ofrece protección a los pulmones y el corazón. Treinta y tres **vértebras** forman la **columna vertebral**. El carácter segmentario de la columna le confiere flexibilidad y la hace capaz de gran variedad de movimientos. Las vértebras adyacentes forman un conducto que acoge y protege la importantísima y frágil médula espinal.

El **esqueleto apendicular** se compone de los huesos de las extremidades (apéndices), que penden o se unen al esqueleto axial, como se ve en la figura 1.4B. El esqueleto apendicular contiene dos divisiones adicionales, el par de extremidades superiores y el par de extremidades inferiores. La **extremidad superior** está compuesta por los huesos de la **cintura escapular**, el brazo, el antebrazo, la muñeca y la mano. La cintura escapular está formada por un par de **clavículas** y **escápulas** (también llamadas omoplatos). El hueso del brazo se llama **húmero** (L., hombro), mientras que los huesos del antebrazo son el **radio** (en el lado del pulgar; L., bastón) y **cúbito** (L., brazo). La porción superior de la mano contiene dos filas de huesecillos llamados **carpianos** (ocho huesos); les siguen cinco radios presentes en la «palma» de la mano, llamados **metacarpianos**, y los catorce huesos de los dedos, que se llaman **falanges**.

La extremidad inferior se compone de los huesos de la cintura pélvica, el muslo, la pierna y el tobillo-pie. La **cintura pélvica** se compone de un par de huesos coxofemorales, llamados huesos innominados o coxales, que se conectan por delante entre sí y con el sacro por detrás. En los niños pequeños, estos huesos están formados por tres huesos distintos: el **ilion** (porción superior de la pelvis en forma de ala), el **isquion** (porción inferior) y el **pubis** (porción anterior). Estos huesos se fusionan más adelante. El hueso del muslo se llama **fémur**, y los huesos de la pierna son la **tibia** y el **peroné**. La tibia es el hueso más grande de estos dos, y es el que más soporta el peso del cuerpo. El peroné actúa de puntal en la cara externa de la tibia. La **rótula** se localiza en la cara anterior de la porción inferior del fémur. La región del tobillo y el pie contiene siete huesos localizados en el área del tobillo y porción superior del pie, que reciben el nombre de huesos del **tarso**; cinco radios óseos componen el cuerpo principal del pie, llamados **metatarsianos**, y catorce huesos localizados en los dedos se deno-

minan falanges. Fijémonos en la similitud de la arquitectura del pie y la mano; la diferencia estriba en que la mano cuenta con un hueso más en el carpo que el pie en el tarso.

## Puntos óseos de referencia

Además de estos nombres ya mencionados para describir los huesos del esqueleto, a menudo se usan otros para puntos específicos de un hueso dado. Estos términos son útiles para describir la localización específica de los vasos sanguíneos y nervios, o las inserciones de tendones, ligamentos y fascias. Estos lugares suelen adoptar la forma de depresiones, orificios, protuberancias o apófisis, como se describen en la tabla 1.2. Estos términos se aplicarán cuando se describan con más detalles las articulaciones individuales en los capítulos siguientes de este libro.

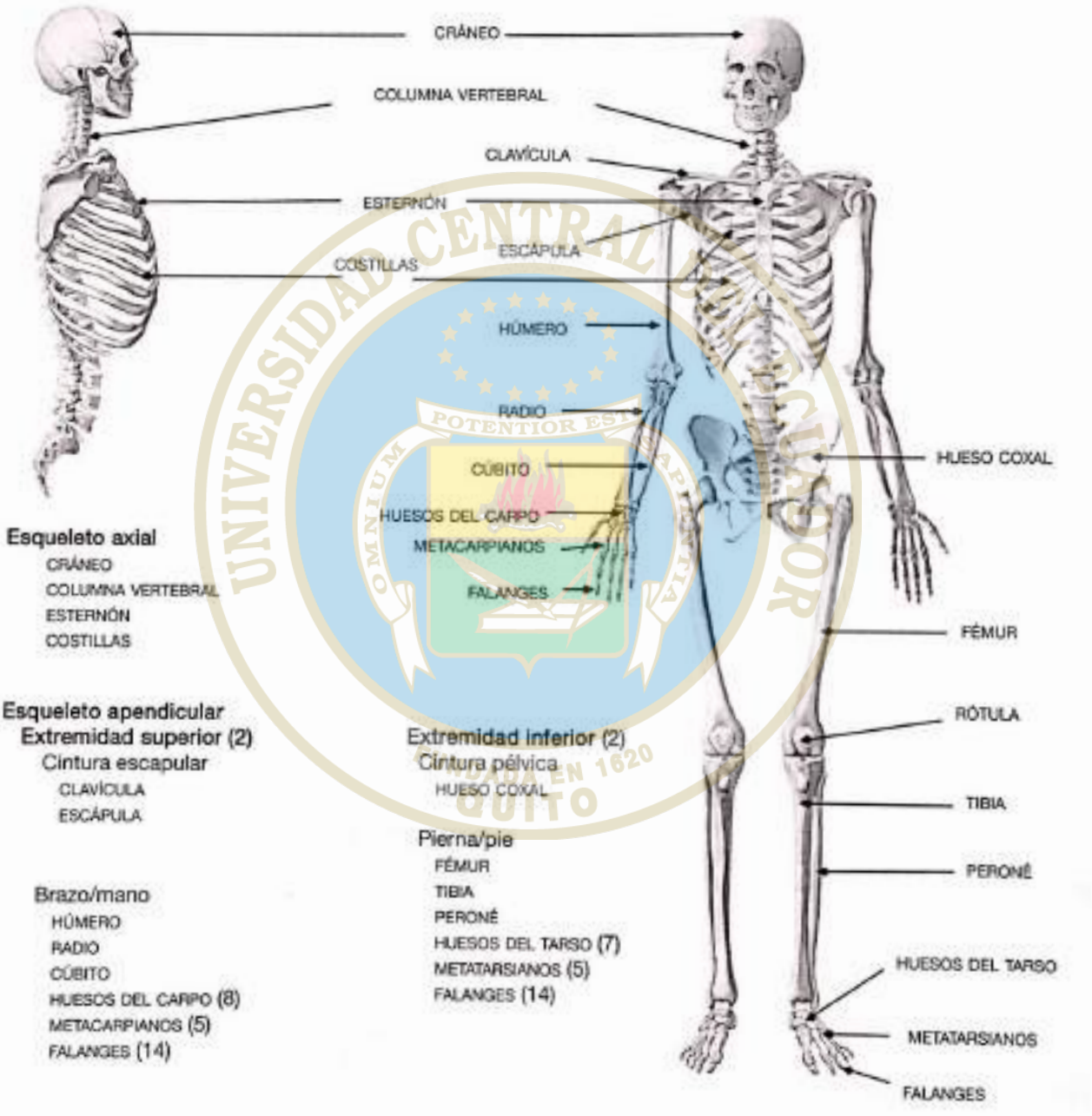



FIGURA 1.4. Huesos principales del esqueleto humano. (A) Vista de perfil del esqueleto axial; (B) vista anterior del esqueleto completo.

**Tabla 1.2. Puntos óseos de referencia**

| Nombre | Definición | Ejemplo |
|---|---|---|
| Depresiones y orificios | | |
| Fosa | Un hueco o depresión | Fosa ilíaca |
| Agujero | Un orificio o conducto en un hueso | Agujero obturado de la pelvis |
| Seno | Cavidad o espacio espongiforme en un hueso | Seno del tarso en el pie |
| Protuberancias y apófisis que ayudan a formar articulaciones | | |
| Cóndilo | Protuberancia redondeada en el extremo de un hueso que interviene en la formación de una articulación | Cóndilos de la tibia |
| Carilla | Área plana y lisa mediante la cual un hueso entra en contacto con otro | Carillas de las vértebras |
| Cabeza | Relieve esférico en el extremo de una porción estrecha, con forma de cuello, de un hueso que interviene en la formación de una articulación | Cabeza del fémur |
| Proyecciones y apófisis en que se insertan músculos | | |
| Cresta | Un gran reborde | Cresta ilíaca |
| Epicóndilo | Eminencia localizada encima de un cóndilo | Epicóndilos del fémur |
| Línea | Una excrecencia menos pronunciada | Línea áspera del fémur |
| Maléolo | Una apófisis redondeada | Maléolo lateral del peroné |
| Apófisis espinosa o espina | Una protuberancia afilada con forma de espina | Espina escapular |
| Trocánter | Protuberancia de gran tamaño | Trocánter mayor del fémur |
| Tubérculo | Pequeña protuberancia redondeada | Tubérculo lateral del astrágalo |
| Tuberosidad | Protuberancia redondeada | Tuberosidad isquiática |

## Arquitectura articular

El esqueleto humano está compuesto por distintos huesos que se unen y forman segmentos o eslabones. La conexión entre huesos adyacentes o cartílagos se llama **articulación.** Estas articulaciones cumplen dos funciones principales pero divergentes: mantener unido el esqueleto y dotarlo de movilidad. Hay muchas clases de articulaciones, con variedad de conexiones y movimientos posibles.

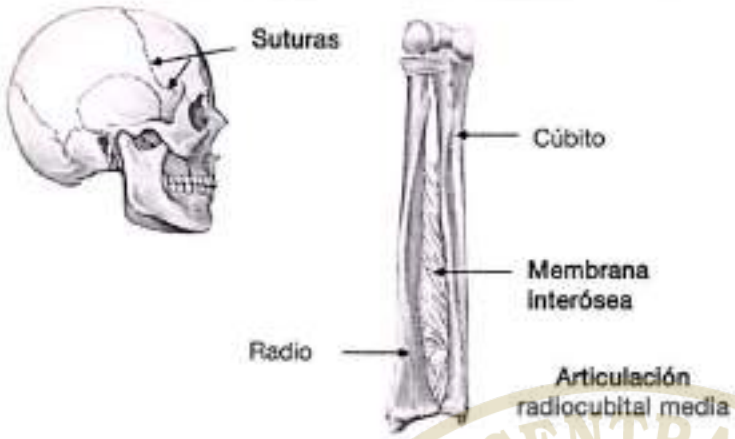
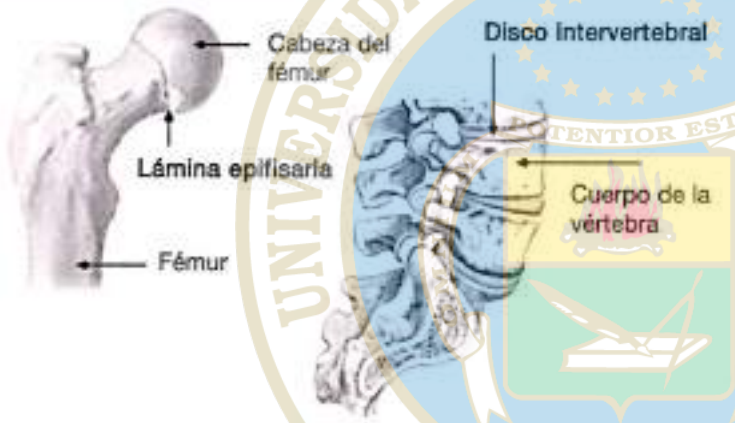
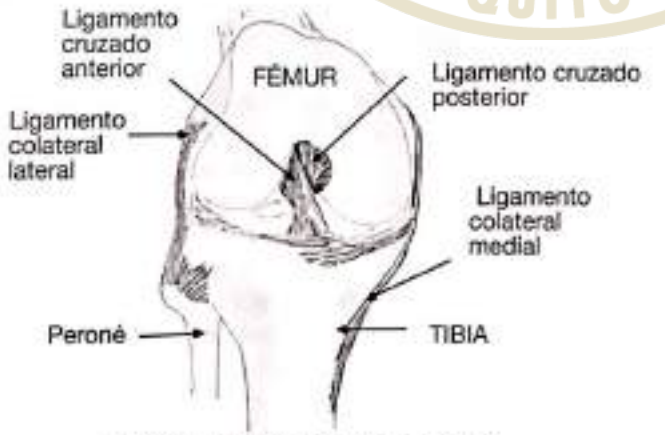
### *Clasificación de las articulaciones*

Las articulaciones se clasifican de acuerdo con el tipo de tejido conjuntivo que las mantiene unidas y por la presencia o ausencia de una cavidad articular (Marieb, 1995). En este sistema de clasificación basado en la estructura, se diferencian tres clases de articulaciones: fibrosas, cartilaginosas y sinoviales (ver tabla 1.3).

#### Articulaciones fibrosas

Las **articulaciones fibrosas** mantienen su cohesión mediante fibras muy cortas (suturas), bridas (ligamentos) u hojas (membranas interóseas) de tejido conjuntivo fibroso. En cada caso, el tejido conjuntivo fibroso conecta directamente los huesos adyacentes y no queda espacio intermedio entre los huesos. Las suturas no permiten un movimiento real, sino que «ceden», mientras que los otros dos tipos de articulaciones fibrosas sí permiten un grado variable de movilidad dependiendo de la longitud de sus fibras. El tipo de tejido conjuntivo implicado (tejido conjuntivo regular denso) soporta grandes tensiones. Son ejemplos de articulaciones fibrosas las suturas del cráneo, la articulación entre los huesos del antebrazo (membrana interósea radiocubital) y dos

**Tabla 1.3. Tipos de articulaciones**

| Ejemplos | Descripción |
|---|---|
| **Articulaciones fibrosas** | |
|  | En las articulaciones fibrosas, los huesos se unen directamente con tejido fibroso y no hay ningún espacio articular intermedio. Las suturas del cráneo son ejemplos de articulaciones fibrosas que emplean fibras muy cortas, por lo que apenas permiten movimiento. Las membranas interóseas son ejemplos de articulaciones fibrosas que emplean fibras más largas, de modo que se aprecia un movimiento mínimo. En el caso de la articulación tibioperonea, este ligero cambio acompaña a los cambios en la posición del complejo del tobillo-pie, y es esencial para una biomecánica óptima. |
| **Articulaciones cartilaginosas** | |
|  | En las articulaciones cartilaginosas, los huesos se unen directamente con cartílago hialino o fibrocartílago. Las láminas epifisarias que conectan las epífisis con las diáfisis de los huesos largos son ejemplos de articulaciones cartilaginosas con cartílago hialino. Esta estructura les permite «ceder», pero no hay movilidad real, y, con la madurez, estas «láminas de crecimiento» se osifican y el cartílago se reemplaza por hueso. Los discos intervertebrales son ejemplos de articulaciones cartilaginosas que emplean discos de fibrocartílago. Este diseño permite más movilidad y una capacidad amortiguadora esencial. |
| **Articulaciones sinoviales** | |
|  <br>ARTICULACIÓN DE LA RODILLA | En las articulaciones sinoviales, los huesos no se unen directamente, sino que están separados por una cavidad articular que contiene líquido sinovial. Una cápsula articular y ligamentos mantienen unidos los huesos. Este diseño facilita la movilidad, y estas articulaciones son esenciales para los movimientos funcionales de las extremidades. Hay seis tipos de articulaciones sinoviales que difieren respecto a los movimientos que permiten. La articulación de la rodilla es un ejemplo de diartrosis, considerada una articulación troclear modificada, y que sobre todo permite el movimiento en un plano y alrededor de un eje. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

de las articulaciones entre los huesos de la pierna (membrana interósea tibioperonea y articulación tibioperonea distal).

### Articulaciones cartilaginosas

Las articulaciones cartilaginosas (anfiartrosis) se unen directamente mediante cartílago (fibrocartílago o cartílago hialino), y, de forma parecida a las articulaciones fibrosas, no media espacio entre los huesos adyacentes. Como en el hueso, las células de cartílago están rodeadas por una matriz extracelular que contiene fibras colágenas. Sin embargo, a diferencia de la del hueso, esta matriz no está calcificada y presenta la consistencia de un gel sólido. Esto confiere al cartílago menos rigidez y más capacidad amortiguadora. Son ejemplos de anfiartrosis las articulaciones entre los cuerpos de las vértebras (los discos intervertebrales) y los huesos del pubis (sínfisis púbica). Este tipo de articulación se compone de una almohadilla o disco de fibrocartílago, un diseño que permite poca movilidad y confiere poca capacidad amortiguadora. Las láminas epifisarias, de las que hemos hablado al referirnos a los huesos largos, también son anfiartrosis, pero de tipo hialino. Estas articulaciones no permiten movimientos de verdad, pero «ceden» a la presión de los huesos que unen.

### Articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales o diartrosis difieren de las articulaciones fibrosas y cartilaginosas en que los huesos adyacentes no contactan directamente entre sí: existe un espacio entre las superficies articulares. Este espacio se llama **cavidad articular.** Aunque dicho espacio es muy pequeño, suele permitir un amplio grado de movilidad. Las diartrosis son el tipo de articulación más corriente en el cuerpo humano, y casi todas las articulaciones de las extremidades son de naturaleza sinovial. Las diartrosis son especialmente importantes para el estudio del movimiento humano, y, por tanto, son el centro de atención de este libro. Son ejemplos de diartrosis el hombro, el codo, la muñeca, la cadera, la rodilla y el tobillo. La estructura típica de una diartrosis se describe a continuación y aparece en la figura 1.5.

Una característica de las articulaciones sinoviales es que los extremos de los huesos que se unen para formar la articulación están recubiertos de cartílago articular. El cartílago articular es una capa fina de cartílago hialino que reviste las superficies articulares y ayuda a reducir la fricción y amortiguar los choques. La matriz extracelular del cartílago hialino presenta características intermedias entre sólido y líquido, y posee la capacidad de adaptarse a la presión, exudando parte de este líquido como respuesta a las cargas (Whiting y Zernicke, 1998), distribuyendo la carga y reduciendo un 50% o más la presión en cualquier punto de contacto (Hall, 1999). Según los cálculos, también reduce la fricción en las articulaciones hasta aproximadamente un 17-33% de la fricción de un patín sobre hielo bajo la misma carga. El cartílago articular no recibe riego sanguíneo propio y depende para su nutrición del líquido sinovial y del hueso vascular subyacente. En algunas áreas donde este cartílago es grueso (como en la cara posterior de la rótula), la nutrición puede no ser suficiente y derivar en degeneración. En general, una vez que cesa el crecimiento, la división de las células cartilaginosas (condrocitos) es infrecuente, y los daños se suelen reparar con tejido fibroso.

Las articulaciones sinoviales están rodeadas por una estructura con forma de vaina y compuesta de tejido fibroso, llamada **cápsula articular.** Esta cápsula varía mucho en espesor y composición entre articulaciones para favorecer, según los casos, la movilidad o la estabilidad. El tejido fibroso que compone la cápsula contiene fibras colágenas de disposición irregular y algunas fibras elásticas en su matriz (tejido conjuntivo irregular denso), lo que le confiere resistencia y le permite soportar la tensión aplicada en distintas direcciones. La cápsula se suele insertar en los huesos, por medio del perostio, en los bordes del cartílago articular.

La cápsula está tapizada por dentro con una **membrana sinovial.** Esta membrana es un tejido vascular, frágil y liso (tejido conjuntivo laxo) que produce **líquido sinovial.** Este líquido sinovial (G. *syn*, con + L. *ovum*, huevo) tiene una consistencia similar a la de la clara de huevo y ayuda a lubricar la articulación y reducir el desgaste. Los estudios indican que el líquido sinovial puede cambiar sus características (viscosidad); así, cuando la temperatura o la velocidad del movimiento articular son bajas, ofrece más resistencia al movimiento (Levangie y Norkin, 2001). Por el contrario, cuando la temperatura es más elevada (como después de un calen-

FIGURA 1.5. Estructura de una articulación sinovial típica (sección longitudinal).

tamiento) o la velocidad de movimiento es mayor, ofrece menos resistencia al movimiento. El líquido sinovial también es importante para nutrir el cartílago articular, y contiene células que responden a la presencia de un cuerpo extraño o a una infección. Cuando se produce una lesión o irritación, sobreviene una abundante secreción de líquido sinovial, lo cual puede causar una hinchazón apreciable. Es la presencia de la membrana sinovial y la sinovia la que da nombre a este tipo de articulación.

Las diartrosis suelen estar reforzadas por **ligamentos.** Los ligamentos (L., *ligamentum,* banda) son bandas resistentes de tejido fibroso que mantienen unidos los huesos de la articulación. Contienen abundantes fibras colágenas dispuestas longitudinalmente (tejido conjuntivo regular denso), que les confieren resistencia a la tracción. Los ligamentos sirven de anclajes pasivos que previenen las luxaciones y aumentan la estabilidad de las articulaciones. También tienden a limitar la dirección y el grado de movilidad de una articulación dada. Estos ligamentos se pueden hallar a nivel profundo (intracapsular), o bien como parte de la cápsula articular (capsulares) o estar por fuera de ella (extracapsulares). Los ligamentos cruzados de la rodilla son ejemplos de ligamentos intracapsulares, y los ligamentos colaterales de la rodilla (véase la figura 5.3, pág. 242) son ejemplos de ligamentos extracapsulares. Los ligamentos glenohumerales del hombro (véase la figura 7.7, pág. 380) son ejemplos de ligamentos capsulares.

Algunas diartrosis contienen otra estructura especializada llamada **disco fibrocartilaginoso** (también llamada **disco articular**). Como el nombre sugiere, esta estructura está compuesta de cartílago fibroso. El cartílago fibroso contiene más fibras colágenas en su matriz extracelular y, por tanto, es más resistente que el cartílago hialino. En algunas articulaciones, esta estructura de fibrocartílago adopta más la forma de un anillo circunferencial que la de un disco y se llama **rodete.** Estas estructuras de fibrocartílago se localizan dentro de la articulación y actúan mejorando la congruencia articular, la estabilidad articular y la amortiguación de choques. Están presentes sólo en algunas articulaciones sinoviales selectas, como la rodilla (meniscos), el hombro (rodete glenoideo) y la cadera (rodete acetabular). En la figura 1.6 aparecen dos ejemplos.

Muchas articulaciones sinoviales poseen otras estructuras asociadas que colaboran en su función, como las bolsas adiposas, las bolsas serosas, las vainas tendinosas y los retináculos. Como su nombre indica, las bolsas adiposas son una acumulación de tejido adiposo encapsulado. Ayudan a amortiguar y absorber choques en lugares como la cadera, la rodilla y debajo del talón. Las **bolsas** serosas son sacos de tejido conjuntivo tapizados por una membrana sinovial y que contienen una película fina de sinovia que reduce la fricción. Las bolsas a menudo protegen tejidos blandos, como tendones o la piel, del hueso subyacente, y hay unas 150 en el cuerpo humano (McCarthy, 1989). Por ejemplo, hay una bolsa entre el dorso del calcáneo y el tendón superpuesto, y otra entre la rótula y la piel que la cubre. El tejido sinovial

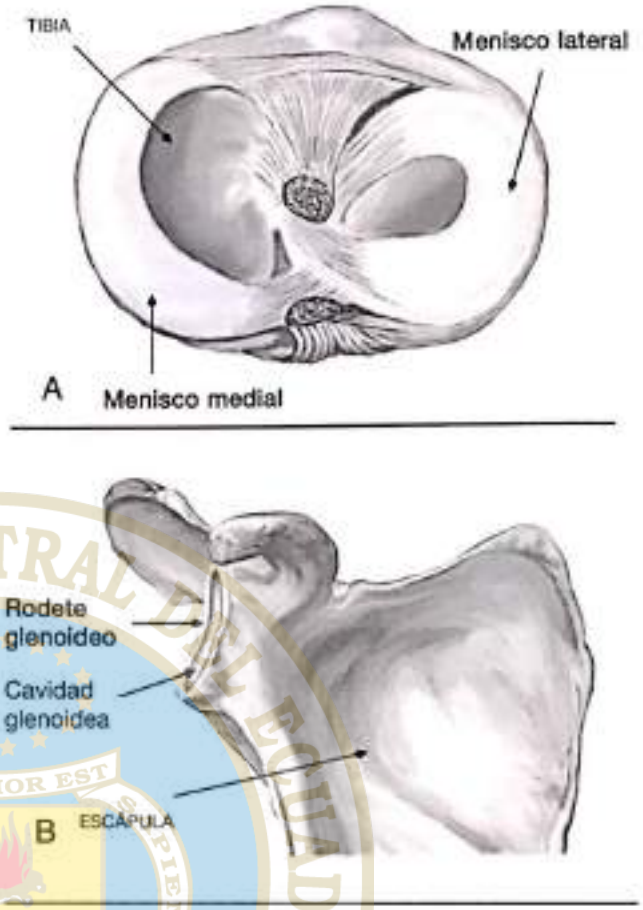



FIGURA 1.6. Estructuras de fibrocartílago asociadas con las articulaciones sinoviales. (A) Meniscos de la rodilla (rodilla derecha, vista superior); (B) rodete glenoideo del hombro (escápula derecha, vista anterior).

también sirve para proteger tendones mediante un revestimiento sacciforme de doble capa llamado **vaina tendinosa.** Estas vainas tendinosas se suelen encontrar rodeando tendones que están en estrecha vecindad con huesos, como los tendones largos de la mano y el pie. Un **retináculo** (L., banda) es una banda engrosada de tejido conjuntivo que mantiene los tendones en su sitio. Los retináculos también abundan en torno al tobillo y el pie. Ejemplos de estas estructuras asociadas con el pie aparecen en la figura 1.7.

## Subclasificación de las articulaciones sinoviales

A pesar de compartir la estructura común antes descrita, las diartrosis varían considerablemente en la forma y los movimientos que permiten. La tabla 1.4 muestra un sistema de clasificación muy usado para diferenciar los tipos básicos de articulaciones sinoviales y sus movimientos asociados. Aquí,

FIGURA 1.7. Estructuras asociadas del pie.

los seis tipos de diartrosis se describen atendiendo sólo a su forma, que tiene implicaciones importantes en la capacidad de movimiento (señalada entre paréntesis en la tabla 1.4) y se tratará, después de exponer la terminología necesaria, en las siguientes dos secciones de este capítulo.

- Las **articulaciones planas** o **artrodias** presentan superficies articulares que, por lo general, son planas o ligeramente curvas. Son ejemplos de artrodias las presentes entre algunos huesos del carpo (articulaciones intercarpianas), entre los huesos del tarso (articulaciones intertarsianas) y entre las apófisis articulares de las vértebras (articulaciones cigapofisarias).
- Las **articulaciones trocleares** se componen de una superficie cilíndrica que encaja en una superficie cóncava. Son ejemplos de trócleas el tobillo, el codo y la rodilla (esta última es una trocleartrosis modificada).
- Las **articulaciones trocoides** se componen de una superficie con forma de arco o anillo que gira alrededor de una superficie redondeada que actúa de eje. Ejemplos de articulaciones trocoides los hallamos en el antebrazo (articulación radiocubital proximal) y entre la primera y segunda vértebras cervicales (articulación atlantoaxoidea).
- Las **articulaciones elipsoideas** o **condíleas** se componen de un cóndilo ovalado que encaja en una cavidad elíptica. Un ejemplo de articulación condílea se encuentra en la muñeca (articulación radiocarpiana) y en los nudillos de las manos (II-V articulaciones metacarpofalángicas) y los pies (articulaciones metatarsofalángicas).
- Las **articulaciones sellares** se componen de un hueso en forma de silla de montar que encaja en una cavidad, que es cóncavo-convexa en dirección opuesta. Un ejemplo de articulación sellar se encuentra en el pulgar (primera articulación carpometacarpiana).
- Las **articulaciones esferoideas** se componen de una cabeza con forma esférica que encaja en una cavidad. Las articulaciones esferoideas son, entre las del cuerpo, las que permiten más movilidad. Son ejemplos la articulación escapulohumeral y la articulación coxofemoral.

## Terminología sobre la orientación del cuerpo

Antes de abordar los movimientos específicos de las articulaciones sinoviales descritas, es útil aprender algunos términos básicos de anatomía. Estos términos se emplean para describir la localización de estructuras anatómicas, de segmentos corporales o del cuerpo en conjunto. Son términos clave el centro de masas, la línea de gravedad, la posición anatómica, las direcciones anatómicas, los planos anatómicos y los ejes anatómicos.

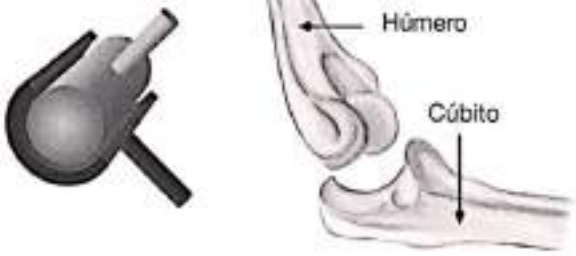
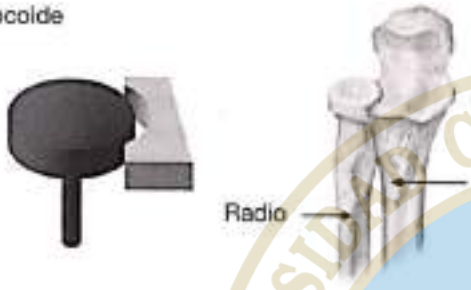
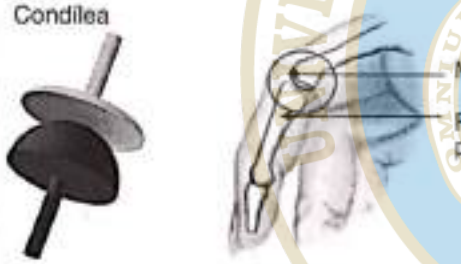
### *El centro de masas y la línea de gravedad*

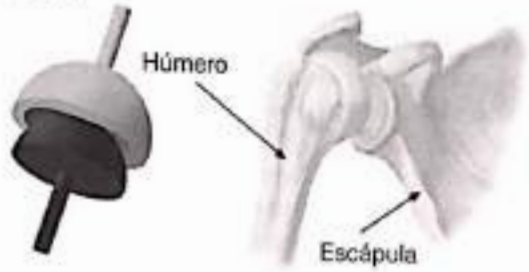
El **centro de masas** del cuerpo es el punto alrededor del cual cualquier partícula de la masa de un cuerpo se distribuye homogéneamente. Se puede concebir como el punto del cual el cuerpo se puede suspender o en el que se puede apoyar estando totalmente equilibrado en cualquier dirección. Al estudiar los cuerpos sometidos a la acción de la gravedad (como el movimiento humano en la Tierra), el centro de masas puede llamarse **centro de gravedad** (CG). En ortostatismo con los brazos junto a los costados del cuerpo, el centro de masas o centro de gravedad del cuerpo se localiza aproximadamente justo delante de la II vértebra sacra y en torno al 55% de la altura de una persona (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

La **línea de gravedad** es una línea imaginaria que discurre verticalmente desde el centro de masas del cuerpo hacia el suelo. La gravedad es la atracción que la masa de la Tierra ejerce sobre la masa de otros objetos, y, debido al efecto de la gravedad, toda partícula del cuerpo presenta un vector de fuerza vertical. Sin embargo, estos vectores de fuerza individuales se pueden simplificar en un solo vector para todo el cuerpo. Este único vector de fuerza que actúa sobre todo el cuerpo se denomina línea de gravedad del cuerpo. Como la línea de gravedad del cuerpo debe pasar por el centro de masas del cuerpo, su posición en el espacio cambia constantemente cuando el cuerpo modifica su posición y configuración durante el movimiento.

Estos conceptos –del centro de masas y la línea de gravedad– se aplican a los segmentos corporales y al cuerpo en conjunto. Por ejemplo, es posible calcular el centro de masas de segmentos como el tronco, el muslo, la pierna y el pie.

**Tabla 1.4. Tipos de articulaciones sinoviales**

| Ejemplos | Descripción |
|---|---|
| **Articulaciones uniaxiales** | |
| Troclear   | En las articulaciones trocleares, una superficie cilíndrica encaja en una superficie cóncava permitiendo el movimiento en un solo plano (flexión-extensión en el plano sagital). Ejemplo: articulación del codo. |
| Trocoide   | En las articulaciones trocoides, una superficie arqueada o anular gira sobre un eje redondeado que permite el movimiento en un plano (rotación en el plano horizontal). Ejemplo: articulación radiocubital proximal. |
| **Articulaciones biaxiales** | |
| Condílea   | En las articulaciones condíleas, un cóndilo ovalado encaja en una cavidad elíptica que permite el movimiento en dos planos (flexión-extensión en el plano sagital y abducción-aducción en el plano frontal). Ejemplo: los nudillos (articulaciones metacarpofalángicas) de las manos. |
| Sellar | En las articulaciones sellares, un hueso con forma de silla de montar encaja en una cavidad que es cóncavo-convexa en la dirección opuesta y permite el movimiento en dos planos (por lo general requiere una terminología de movimiento especializada). Ejemplo: el pulgar (primera articulación carpometacarpiana). |

| Ejemplos | Descripción |
|---|---|
| **Articulaciones triaxiales** | |
| Esferoidea   | En las articulaciones esferoideas, una cabeza esférica encaja en una cavidad que permite el movimiento en tres planos (flexión-extensión en el plano sagital, abducción-aducción en el plano frontal, y rotación externa-rotación interna en el plano transversal). Ejemplo: articulación escapulohumeral. |
| Artrodial | En las articulaciones artrodiales, las superficies planas o ligeramente curvas se unen permitiendo ligeros movimientos deslizantes que no se dan sobre un eje. Ejemplo: articulación acromioclavicular. |

Entonces se establece la línea de gravedad de cada uno de estos segmentos dejando caer una plomada desde el centro de masas del segmento dado. Estos conceptos de centro de masas y línea de gravedad son clave para el análisis de la alineación, las fuerzas y los movimientos. Se emplearán en los siguientes capítulos, incluido el cálculo del torque de la resistencia al levantar una mancuerna o a una bailarina (véase la figura 2.12, pág. 48).

## *Posición anatómica*

La posición anatómica es una posición inicial o de referencia que se emplea en la terminología referente al movimiento. La **posición anatómica** es una postura erguida en ortostatismo; los pies miran hacia delante (juntos o ligeramente separados), y los brazos están junto a los costados del cuerpo con las palmas hacia delante de modo que los pulgares miren hacia fuera y los dedos estén extendidos. La postura anatómica aparece en la figura 1.8. Esta posición de los brazos permite movimientos como flexión y extensión del codo, la muñeca y los dedos en la misma dirección (plano) espacial que las otras articulaciones principales del cuerpo, a saber, el hombro y la cadera. Esto facilita el aprendizaje de los movimientos y lo vuelve más lógico.

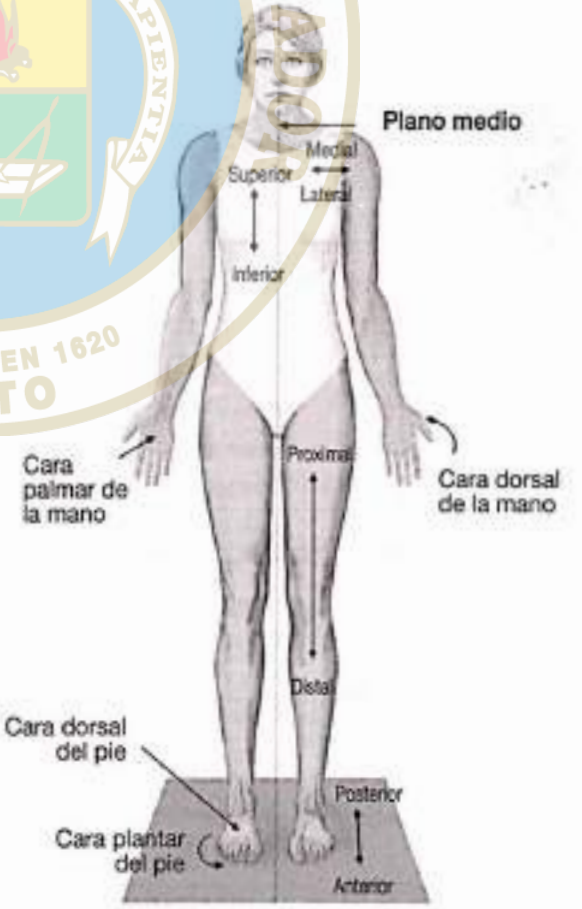



FIGURA 1.8. Posición anatómica y terminología direccional.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

Los otros dos términos más usados para describir las posturas del cuerpo son decúbito prono y decúbito supino. Como se ve en la tabla 1.5, **decúbito prono** significa tumbado boca abajo sobre el estómago, mientras que **decúbito supino** significa tumbado boca arriba sobre la espalda. Estos dos términos son muy útiles para describir ejercicios.

## *Términos direccionales*

Los otros términos clave definidos en la tabla 1.5 y mostrados selectivamente en la figura 1.8 se emplean para describir la relación entre partes del cuerpo en posición anatómica, o la localización de una estructura dada en relación con otras estructuras. Pensemos que estos términos se entienden como parejas de significado opuesto. Así, **superior** significa más cerca de la cabeza o «encima», mientras que **inferior** significa más lejos de la cabeza o «abajo». Anterior o ventral significa hacia la cara anterior del cuerpo, mientras que **posterior** o dorsal significa hacia el dorso del cuerpo. Por ejemplo, el relieve óseo utilizado para la evaluación de la alineación pélvica se denomina espina ilíaca anterosuperior (EIAS); la que se halla en la cara posterior de la pelvis se llama espina ilíaca posterosuperior (EIPS). **Medial** se refiere a lo que está más cerca de la línea media, mientras que **lateral** alude a lo que está más lejos de la línea media. Por ejemplo, el relieve óseo redondeado de la porción inferior del fémur, localizado en la parte interna de la rodilla, se denomina cóndilo medial; la proyección localizada en la parte externa de la rodilla se denomina cóndilo lateral. **Proximal** significa más cerca de la raíz de la extremidad o tronco, mientras que **distal** significa más lejos de la raíz de la extremidad o tronco. Por ejemplo, la articulación entre el radio y el cúbito situada cerca del codo se denomina articulación radiocubital proximal, mientras que la articulación localizada cerca de la muñeca se denomina articulación radiocubital distal. **Superficial** remite a lo que está más cerca de la superficie del cuerpo, mientras que **profundo** se refiere a lo que está alejado de la superficie del cuerpo. Por ejemplo, el músculo recto del abdomen es superficial respecto a otro músculo abdominal profundo llamado transverso del abdomen.

Se emplean algunos términos especializados adicionales por razones de claridad en algunas partes del cuerpo como las manos y los pies. Por ejemplo, en bipedestación en la posición anatómica, la cara posterior de la mano se denomina **cara dorsal**, mientras que la cara anterior se llama cara **palmar**. En el caso de la extremidad inferior, en bipedestación en la posición anatómica, la cara superior del pie se llama cara dorsal, mientras que la inferior se denomina cara **plantar**.

**Tabla 1.5. Posición anatómica y terminología direccional**

| Término | Definición |
|---|---|
| **Terminología posicional** | |
| Posición anatómica | En bipedestación con los pies y palmas mirando hacia delante |
| Decúbito supino | Tumbado sobre la espalda (boca arriba) |
| Decúbito prono | Tumbado boca abajo |
| **Terminología direccional** | |
| Superior (craneal) | Encima/hacia la cabeza |
| Inferior (caudal) | Abajo/hacia los pies |
| Anterior (ventral) | Delante de |
| Posterior (dorsal) | Detrás de |
| Medial | Más cerca del plano medio/hacia la línea media |
| Lateral | Alejado del plano medio/hacia el lado |
| Proximal | Más cerca de la raíz de una extremidad, del tronco o del centro del cuerpo |
| Distal | Alejado de la raíz de la extremidad, del tronco o del centro del cuerpo |
| Superficial | Más cerca o sobre la superficie del cuerpo |
| Profundo | Alejado de la superficie del cuerpo |
| Palmar | Cara anterior de la mano en la posición anatómica |
| Dorsal (para manos y pies) | Cara posterior de la mano en la posición anatómica, cara superior del pie en la posición anatómica |
| Plantar | Cara inferior del pie en la posición anatómica |

## Planos anatómicos

El concepto de los planos se usa para describir los movimientos básicos del cuerpo y sus segmentos. En este contexto, un plano se concibe como una superficie plana imaginaria como un cartón que atraviesa el cuerpo en una dirección dada. En la posición anatómica hay tres planos de referencia imaginarios que son perpendiculares entre sí y dividen el cuerpo por la mitad. Estos **planos cardinales** o planos principales atraviesan el centro de masas del cuerpo. Estos planos cardinales se corresponden con las tres dimensiones del espacio y se denominan plano sagital, frontal y horizontal, como se ve en la figura 1.9. El **plano sagital** también se llama plano **medio** o sagital medio, y es un plano vertical que divide el cuerpo en las porciones equivalentes derecha e izquierda. El plano **frontal** o coronal es un plano vertical que discurre perpendicular al plano sagital y divide el cuerpo en las porciones anterior y posterior de masas equivalentes. El plano **horizontal** o transversal atraviesa transversalmente el cuerpo de modo que resulta perpendicular a los planos sagital y frontal. En bipedestación, el plano horizontal es paralelo al suelo. Divide el cuerpo en las porciones superior e inferior de masas equivalentes.

Además de estos planos cardinales, puede haber otros planos –sagital, frontal u horizontal– que discurren paralelos a sus pares cardinales, pero difieren en que no atraviesan el centro de masas del cuerpo y no dividen la masa del cuerpo por la mitad. Estos otros planos sirven para describir muchos movimientos funcionales en que distintos segmentos del cuerpo se mueven en planos paralelos a un plano cardinal dado. Mientras algunos libros los consideran **planos secundarios** (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996) o planos segmentarios (Kreighbaum y Barthels, 1996), por razones de simplicidad este libro se refiere tanto a los planos cardinales como a los no cardinales con la terminología de planos sagital, frontal y horizontal, tal y como se describen en la tabla 1.6.

## Ejes anatómicos y movimientos asociados

Cuando se produce un movimiento en un plano, siempre ocurre sobre un eje que es perpendicular a este plano. Por tanto, hay tres **ejes** anatómicos e imaginarios **de referencia**, todos ellos asociados con uno de los tres planos básicos –sagital, frontal y horizontal– previamente descritos. Cuando se describe el movimiento sobre estos ejes en sus planos respectivos, el movimiento puede ser de todo el cuerpo o de un segmento corporal. Ejemplos de estos movimientos en el plano sagital aparecen en la figura 1.10. En el caso de movimientos de todo el cuerpo, el eje suele discurrir por el centro de masas, como en un salto mortal hacia delante (figura 1.10A), o a través de un punto de apoyo externo. Ejemplos de un punto de apoyo externo son las manos sobre una barra paralela durante un movimiento de balanceo; las manos

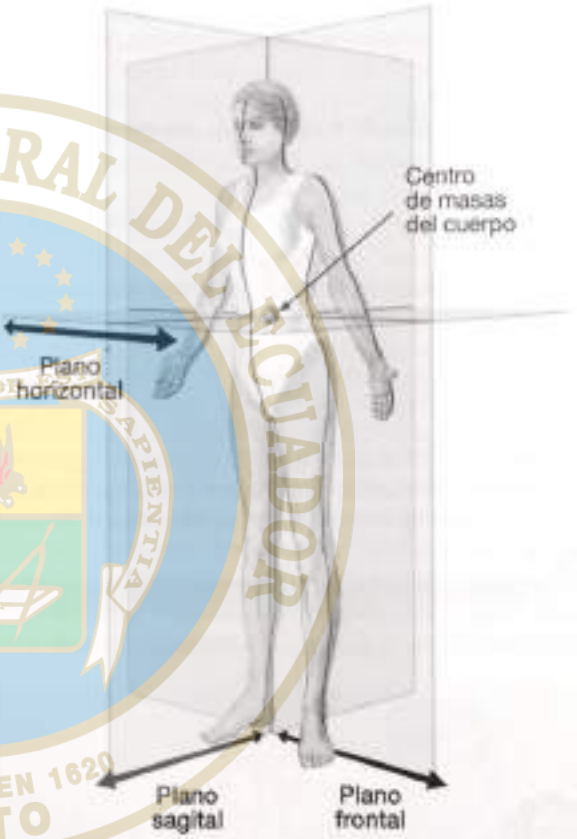



FIGURA 1.9. Los tres planos cardinales del cuerpo y sus ejes.

**Tabla 1.6. Planos anatómicos básicos**

| Término | Definición |
|---|---|
| Plano(s) sagital(es) | Plano vertical que divide el cuerpo en las porciones derecha e izquierda |
| Plano medio | Plano sagital medio que divide el cuerpo en las porciones similares derecha e izquierda |
| Plano(s) frontal(es) | Plano vertical que divide el cuerpo en las porciones anterior y posterior |
| Plano(s) horizontal(es) | Plano transverso que divide el cuerpo en las porciones superior e inferior |

sobre el suelo al realizar el puente hacia atrás (figura 1.10B), y los pies sobre el suelo durante la fase de preparación de un salto. En los movimientos de segmentos corporales, el eje discurre a través de la articulación, de nuevo en una dirección perpendicular al plano en que tiene lugar el movimiento. Para describir la relación entre un eje y el movimiento que permite, imaginemos un lápiz que atraviesa la articulación en la dirección de un eje dado. Luego, intenta imaginar qué tipo de movimiento permitiría y en qué plano ocurriría este movimiento (tabla 1.7). Los ejes mediolaterales de las articulaciones de la muñeca, codo, hombro, cadera, rodilla y tobillo aparecen en la figura 1.10C, y permiten movimientos en un plano sagital.

- Eje mediolateral (eje frontal). Un eje **mediolateral** (ML) discurre en dirección laterolateral en un plano frontal, perpendicular a un plano sagital y permite el movimiento en un plano sagital. Un eje ML que atraviese la rodilla permitirá flexionar la rodilla en un plano sagital, como en un *plié* paralelo en primera posición. Ejemplos de danza que se producen principalmente en planos sagitales (L. *sagitta*, flecha, en la línea de una flecha lanzada por un arco; p. ej., en dirección anteroposterior) son ejercicios de *brush* adelante *(dégagé en avant)*; «contracciones» del torso; elevar el brazo que descansa junto al costado hacia delante hasta quedar encima de la cabeza (flexión del hombro); el «bajar en redondo»; un *jeté en avant*, y un *tripplette en avant*. Se pueden considerar como movimientos de segmentos corporales (un ejemplo sobre el torso aparece en la figura 1.11A) o de todo el cuerpo principalmente hacia delante o atrás.

ÓRDENES EN LA DANZA 1.1

### «Flexionad las rodillas lateralmente»

Durante la apertura (giro hacia fuera), algunos profesores dan órdenes direccionales para que los estudiantes se esfuercen durante este movimiento. En bipedestación con los pies paralelos, las rodillas se flexionarán «hacia delante» en un plano sagital. Sin embargo, en una apertura ideal, las caderas rotan externamente lo bastante como para que las rodillas se flexionen «lateralmente» y que el movimiento ocurra en un plano más cercano al frontal. A veces se usa esta orden verbal «dirigid las rodillas hacia el lado» o «flexionad las rodillas lateralmente» para que los bailarines aumenten más la apertura y empleen músculos que les ayuden a incrementar este movimiento. No obstante, como se dirá más tarde (véanse los capítulos 4 y 5), es importante que la posición de la rodilla sea adecuada a la apertura de cada bailarín y se haga hincapié en la rotación externa del fémur en la articulación coxofemoral y no en la rotación excesiva de la tibia en la articulación de la rodilla.

Facultad de Artes
BIBLIOTECA

FIGURA 1.10. Movimiento del cuerpo en un plano sagital sobre un eje mediolateral que atraviesa (A) el centro de masas de todo el cuerpo; (B) un punto de apoyo externo; (C) una articulación.

**Tabla 1.7. Ejes anatómicos básicos**

| Nombre | Definición | Plano de movimiento | Ejemplo de movimiento (eje que atraviesa la articulación coxofemoral) |
|---|---|---|---|
| Mediolateral (ML) | Atraviesa el cuerpo de lado a lado | Sagital | *Dégagé* paralelo (frente) |
| Anteroposterior (AP) | Atraviesa el cuerpo de delante atrás | Frontal | *Dégagé* paralelo (lateral) |
| Vertical | Atraviesa el cuerpo de arriba abajo | Horizontal | Apertura de pie en primera posición |

- Eje anteroposterior (eje sagital). Un eje **anteroposterior** (AP) cursa de delante atrás en un plano sagital, perpendicular a un plano frontal, y permite el movimiento en un plano frontal. Por ejemplo, el eje AP que atraviesa el hombro permite levantar el brazo lateralmente (abducción del hombro) en un plano frontal. Ejemplos de movimientos de ballet que ocurren sobre todo en un plano frontal son el *dégagé* paralelo hacia el lado, la lateroflexión del torso (figura 1.11B), el *grand jeté de côté*, la rueda y el *split* ruso. Se pueden considerar movimientos de segmentos corporales o de todo el cuerpo en dirección lateral o laterolateralmente.
- Eje vertical (eje longitudinal). Un **eje vertical** discurre en dirección superoinferior, perpendicular a un plano horizontal, y permite el movimiento en un plano horizontal. Por ejemplo, el eje vertical que atraviesa la columna vertebral (de arriba abajo) permite la rotación del tronco en el plano horizontal. Ejemplos de movimientos de ballet sobre todo en los planos horizontales son la torsión (figura 1.11C) y el salto con *pirouette*. Éstos se pueden considerar como movimientos de giro o torsión de distintos segmentos corporales o de todo el cuerpo.

Los estudiantes que se inician en los términos sobre anatomía a menudo interpretan bien estos planos respecto a la posición anatómica como se ve en la figura 1.9; sin embargo, tienen problemas para comprender la correlación entre estos planos y el movimiento funcional. Para facilitar la comprensión, es importante recordar que estos planos se definen en relación con el cuerpo. Por tanto, si giras todo el cuerpo, estos planos se desplazan con el mismo sin tener en cuenta el espacio en que te hallas. Por tanto, una *attitude en arrière* paralela tiene lugar en el plano sagital ya estés mirando al frente, hacia un lado o hacia la diagonal de la habitación. Además, es importante darse cuenta de que, en la mayoría de las articulaciones clave para el estudio del movimiento humano, el movimiento implica la rotación de un hueso respecto a otro (movimiento angular). Como los huesos se hallan conectados a través de las articulaciones, los huesos giran sobre un eje articular cuando se les aplica una fuerza (véase Músculos, palancas y movimiento angular pág. 44 para más información). Así, para establecer el plano de movimiento, imagínate la superficie sobre la que se desplaza todo el segmento óseo en rotación. A veces sirve imaginar que el segmento va trazando una línea y adivinar el plano que dibujaría. Por ejemplo, de pie en la posición

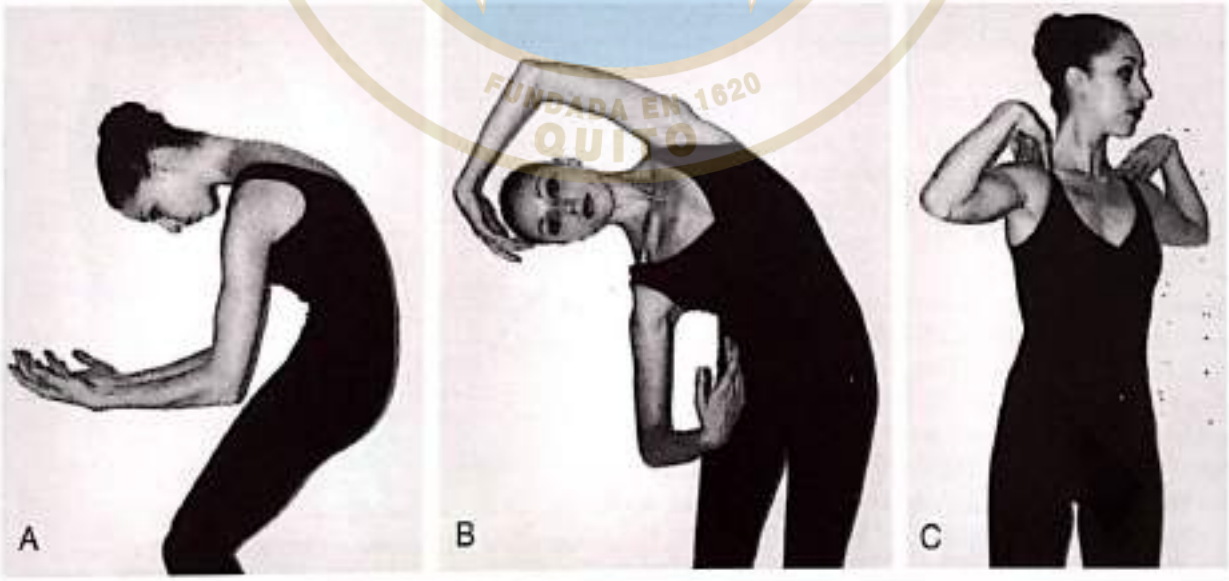



FIGURA 1.11. Lenguaje de la danza que muestra el movimiento del tronco en el plano (A) sagital; (B) frontal; (C) horizontal.

anatómica, cuando se levanta el muslo adelante para luego bajarlo, el segmento del muslo «traza una línea» en un plano sagital, como se ve en la figura 1.13. En contraste, cuando se eleva la pierna lateralmente y luego se baja, el segmento del muslo «traza una línea» en un plano frontal, como se ve en la figura 1.14. Finalmente, cuando se gira la pierna sobre el eje longitudinal del fémur, el extremo de la pierna (p. ej., el pie) «traza una línea» en un plano horizontal, como se ve en la figura 1.16.

### *Planos y ejes en movimientos complejos*

Asimilar estos tres planos de referencia y los ejes asociados resulta muy útil para analizar el movimiento, si bien es importante darse cuenta de que estos ejes articulares a menudo son complejos e implican sutiles desplazamientos durante el arco de movimiento. Por tanto, el concepto de ejes de referencia no es exacto, sino una útil aproximación para imaginarse los movimientos. Además, muchos movimientos complejos de danza emplean varios planos y distintos segmentos corporales, y a menudo implican planos que median entre los planos sagital, frontal y horizontal. Por ejemplo, el efecto estético suele mejorar mediante la rotación del tronco cuando éste se arquea o inclina en vez de quedar vertical (figura 1.12). Los planos que no son los básicos (sagital, frontal y horizontal) se denominan **diagonales** u oblicuos. En tales casos, el eje es perpendicular al plano diagonal y distinto a los tres ejes de referencia previamente descritos.

## Terminología sobre el movimiento articular

Los movimientos de las articulaciones sobre los ejes y en los planos descritos tienen nombres específicos. Con la excepción de las articulaciones artrodiales, todas las articulaciones sinoviales permiten dos o más de los siguientes seis movimientos articulares básicos: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación externa y rotación interna. La lógica de estos términos se aprecia mejor teniendo como referencia la posición anatómica. Al igual que con los términos sobre la postura, estos términos se pueden agrupar en parejas con significados opuestos. Estas parejas de términos sobre el movimiento son flexión-extensión, abducción-aducción, y rotación externa-rotación interna. Cada uno de estos pares refleja los movimientos que ocurren en un mismo plano y sobre un mismo eje, pero en dirección opuesta. Por ejemplo, la flexión-extensión se puede reflejar desplazando los brazos hacia delante (flexión del hombro) o hacia atrás (extensión del hombro), produciéndose ambos movimientos en el plano sagital sobre el eje ML. En la tabla 1.8 aparece un resumen y la descripción de estos movimientos fundamentales.

- **Flexión** implica aproximar las superficies anteriores hacia las superficies anteriores de huesos adyacentes, o las superficies posteriores hacia las superficies posteriores adyacentes. En la mayoría de las articulaciones, como la columna vertebral, la cadera, el codo o la muñeca, o en las articulaciones entre los dedos de la mano (articulaciones interfalángicas), son las superficies anteriores las que se acercan o «aproximan» durante el movimiento de flexión. Por ejemplo, para acercar la cara anterior del antebrazo hacia la cara anterior del brazo, se flexiona el codo. Sin embargo, en ciertas articulaciones, como la rodilla, son las superficies posteriores de los segmentos las que se aproximan con la flexión. La flexión a veces también se describe como la disminución del ángulo entre dos huesos de una articulación. La flexión ocurre en el plano sagital sobre el eje ML, como se ve en la figura 1.13.
- **Extensión** es el movimiento opuesto a la flexión, aunque se produce en el mismo plano sagital y sobre un eje ML, como se ve en la figura 1.13. La extensión se describe como el alejamiento de las superficies anteriores de huesos adyacentes, el alejamiento de las superficies posteriores o la vuelta a la posición anatómica. También se puede concebir como el aumento del ángulo entre

FIGURA 1.12. El lenguaje de la danza muestra que el movimiento del tronco no se produce en los planos básicos, sino en planos diagonales.
Bailarina: Jennifer Fitzgerald, del CSULB.

huesos adyacentes o «enderezamiento» de una articulación flexionada. Estirar la rodilla flexionada al elevarse de un *plié* o al ejecutar un *développé* son ejemplos de extensión de la rodilla. La extensión de una articulación más allá de la posición anatómica se denomina hiperextensión. En algunas articulaciones (como la rodilla, el codo o los dedos de la mano), la extensión desde la posición anatómica (hiperextensión) no es posible excepto en personas muy flexibles. La hiperextensión no es un movimiento nuevo, sino sólo la continuación de la extensión más allá de la posición anatómica, y, en el análisis del movimiento, el término *extensión* incluye también la hiperextensión. La flexión-extensión ocurre en algunas articulaciones uniaxiales (trocleares), en todas las biaxiales (condíleas y sellares) y en todas las triaxiales (esferoideas).

- **Abducción** indica el alejamiento de un segmento del cuerpo respecto al plano o línea media del cuerpo. Este movimiento se sigue considerando abducción en toda su amplitud, incluso si parece volver a la línea media en su excursión más allá de 90° (p. ej., levantar el brazo lateralmente y llegar a una posición por encima de la cabeza al poner los brazos en quinta posición.) La abducción ocurre en el plano frontal sobre un eje AP, como se ve en la figura 1.14.
- **Aducción** es el movimiento opuesto a la abducción, aunque se produce en el mismo plano frontal sobre un eje AP, como se ve en la figura 1.14. La aducción se

**Tabla 1.8. Terminología sobre los movimientos articulares**

| Nombre | Definición |
|---|---|
| **Movimientos básicos** | |
| Flexión | Acercamiento de la superficie anterior o posterior de un segmento corporal hacia la superficie anterior o posterior respectivamente del segmento corporal adyacente |
| Extensión | Movimiento de una posición flexionada hacia la posición anatómica |
| (Hiperextensión) | Movimiento de extensión más allá de la posición anatómica |
| Abducción | Alejamiento de la línea media del cuerpo |
| Aducción | Acercamiento hacia la línea media del cuerpo |
| (Circunducción) | Se describe como un cono con el vértice en la articulación; combina flexión, abducción, extensión y aducción |
| Rotación externa | Giro hacia fuera de la superficie anterior |
| Rotación interna | Giro hacia dentro de la superficie anterior |
| **Movimientos especializados** | |
| Lateroflexión derecha (columna) | Flexión lateral del tronco hacia la derecha o vuelta desde una flexión lateral izquierda hacia la posición anatómica |
| Lateroflexión izquierda (columna) | Flexión lateral del tronco hacia la izquierda o vuelta desde una flexión lateral derecha hacia la posición anatómica |
| Rotación derecha (columna) | Giro a la derecha de la superficie anterior de la cabeza o el tronco |
| Rotación izquierda (columna) | Giro a la izquierda de la superficie anterior de la cabeza o el tronco |
| Pronación (antebrazo) | Giro de la palma hacia atrás |
| Supinación (antebrazo) | Giro de la palma hacia delante |
| Abducción horizontal (hombro y cadera) | Alejamiento de la extremidad de la línea media en un plano horizontal cuando la extremidad se halla flexionada a 90° |
| Aducción horizontal (hombro y cadera) | Acercamiento de la extremidad hacia la línea media en un plano horizontal cuando la extremidad se halla flexionada a 90° |
| Flexión dorsal (tobillo-pie) | Acercamiento de los dedos del pie y empeine hacia la espinilla (flexionando el pie) |
| Flexión plantar (tobillo-pie) | Descenso de los dedos del pie y de la planta del pie |
| Inversión (pie) | Elevación de la porción medial del pie |
| Eversión (pie) | Elevación de la porción lateral del pie |

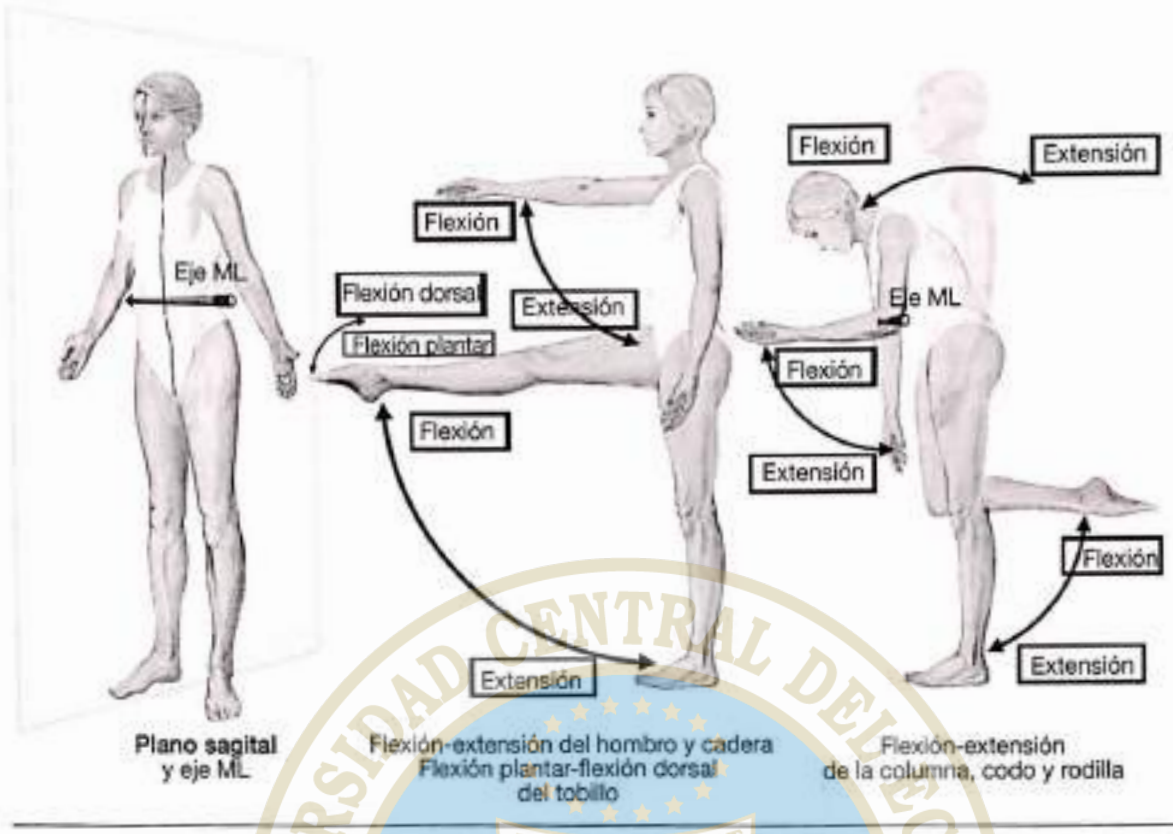



FIGURA 1.13. Movimientos articulares en el plano sagital sobre un eje mediolateral (ML): flexión-extensión y flexión plantar-flexión dorsal.

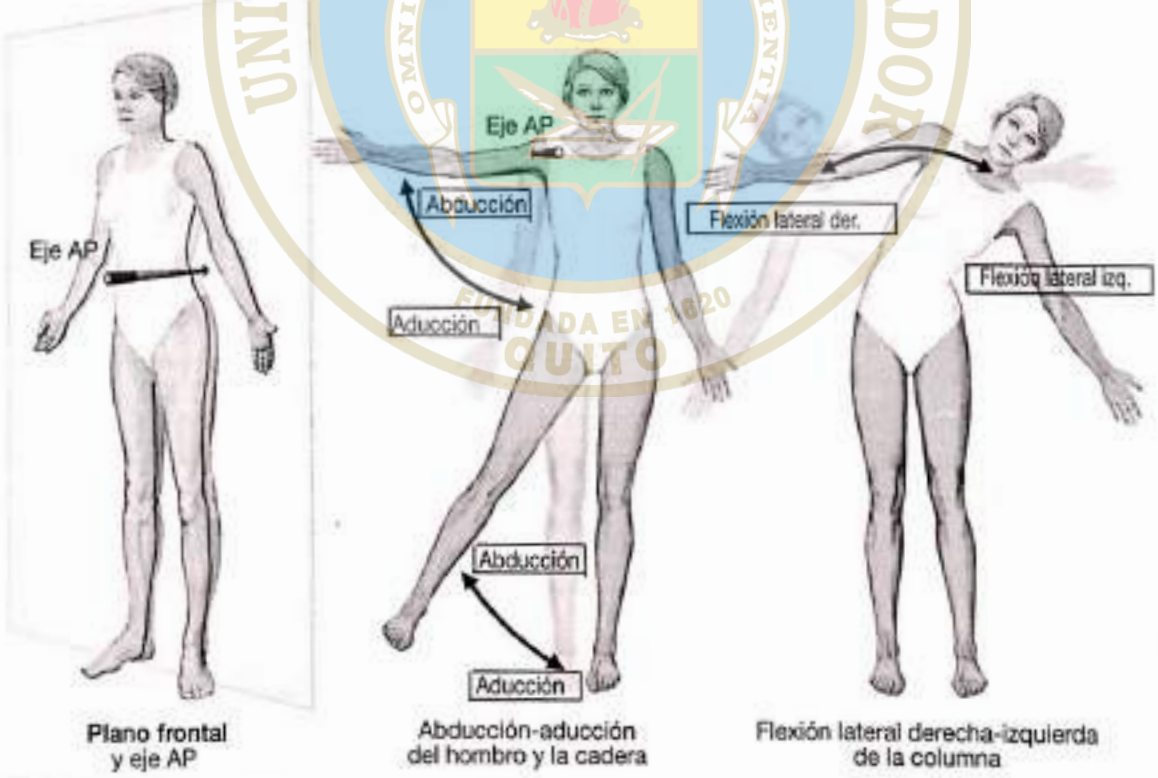



FIGURA 1.14. Movimientos articulares en el plano frontal sobre un eje anteroposterior (AP): abducción-aducción y flexión lateral derecha e izquierda.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

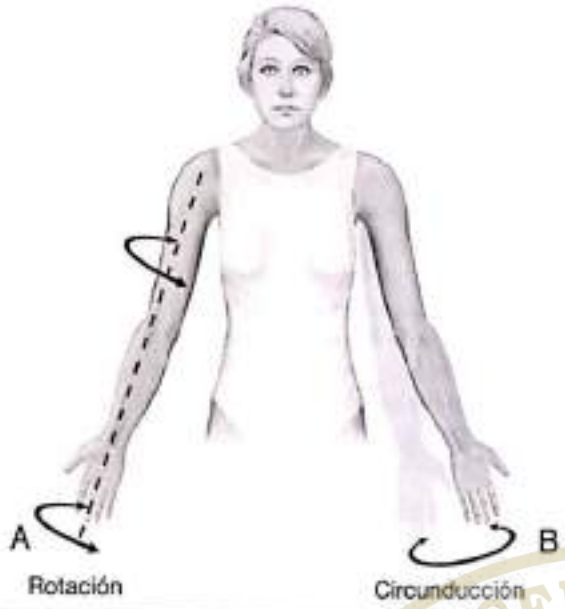



FIGURA 1.15. Distinción entre rotación y circunducción del hombro. (A) La rotación implica giro sobre el eje longitudinal de la extremidad con giro del dedo corazón en el mismo sitio, mientras que (B) la circunducción consiste en un movimiento conoidal en que el dedo corazón traza un círculo.

puede describir como la vuelta del segmento corporal a la posición anatómica y a la línea media del cuerpo. Por ejemplo, la aducción implica bajar el brazo hasta el costado desde una posición por encima de la cabeza. La abducción-aducción se da en todas las articulaciones biaxiales (condíleas y sellares) y triaxiales (esferoideas), pero no es posible en las uniaxiales. La abducción-aducción ocurre en articulaciones como el hombro y la cadera.

- **Circunducción** no es un movimiento nuevo en sí, sino uno compuesto y que combina los cuatro movimientos básicos descritos al tiempo que emplea múltiples planos. La circunducción es una combinación secuencial de flexión, abducción, extensión y aducción (en este orden o en el inverso). En la circunducción, el segmento corporal describe un cono, con un extremo del segmento trazando un círculo (la base del cono) mientras el otro se mantiene estático (vértice del cono). Por ejemplo, la circunducción del hombro ocurre cuando se traza un círculo con el dedo corazón, como se ve en la figura 1.15B.
- La **rotación externa** implica mover la superficie anterior de una extremidad hacia fuera o lejos de la línea media del cuerpo. También se denomina rotación lateral y es el movimiento principal de la cadera al practicar un *en dehors*. La rotación externa ocurre en un plano horizon-

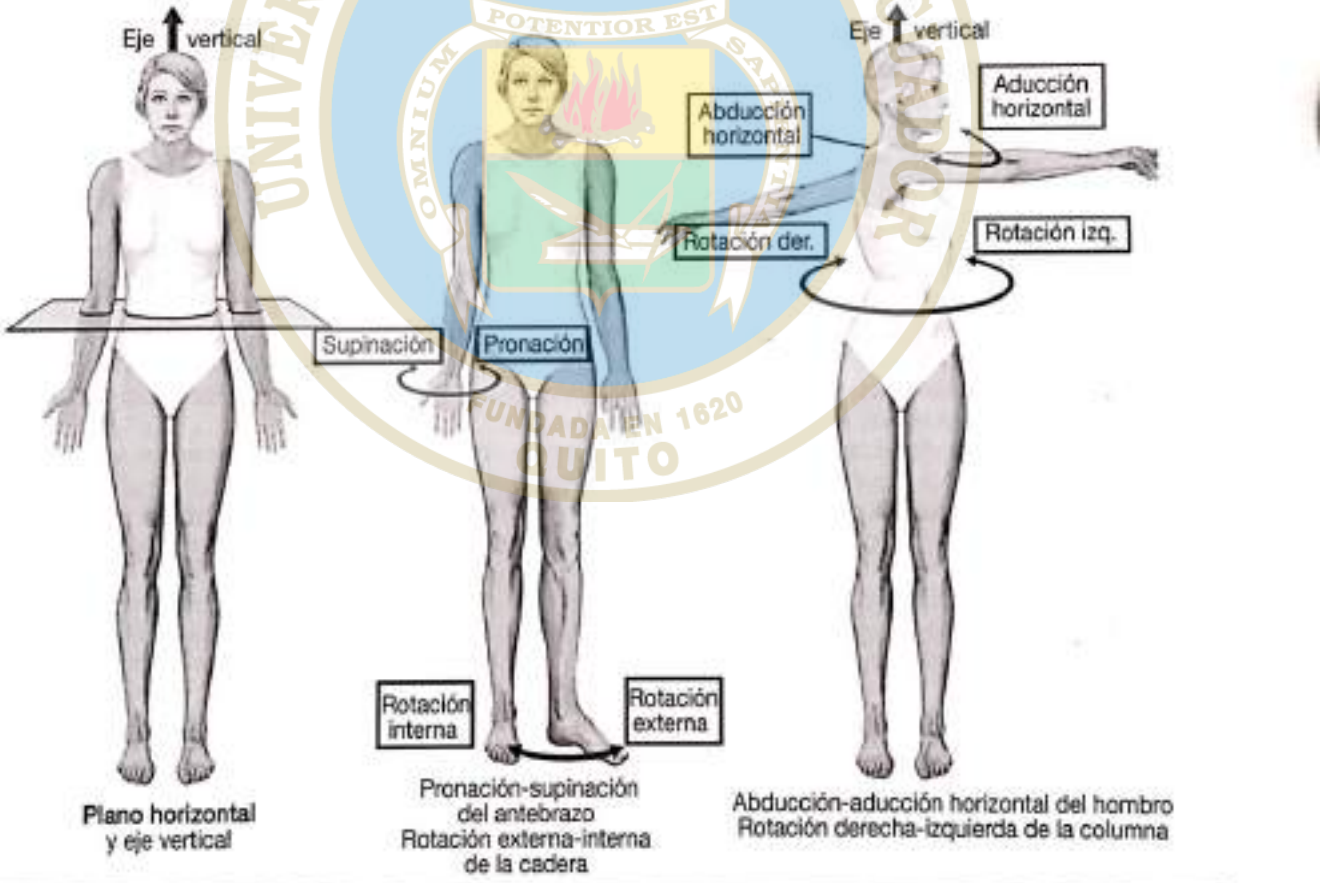



FIGURA 1.16. Movimientos articulares en el plano horizontal sobre un eje vertical: rotación interna-rotación externa, pronación-supinación, rotación derecha-izquierda y abducción-aducción horizontal.

tal alrededor de un eje vertical (longitudinal) a través del segmento corporal, como se ve en la figura 1.16. El hecho de que intervenga el eje longitudinal es importante para entender la rotación, así como la diferencia entre rotación y circunducción. Para la rotación, ambos extremos del segmento se mantienen en el mismo punto en el espacio y el segmento se limita a girar sobre su eje mayor. Por ejemplo, la rotación del hombro ocurre cuando todo el brazo gira mientras el dedo corazón se mantiene en el mismo sitio en vez de trazar un círculo (circunducción), como se ve en la figura 1.15A. En danza, la rotación externa de la cadera ocurre durante el giro hacia fuera desde la primera posición (paralela). En contraste, la circunducción de la cadera se emplea cuando el bailarín realiza un movimiento circular con el pie sobre el suelo (porción circular del *rond de jambe à terre*).

- La **rotación interna** es el movimiento opuesto a la rotación externa, aunque se produce también en el plano horizontal sobre un eje longitudinal que atraviesa un segmento corporal, como se ve en la figura 1.16. La rotación interna implica mover la superficie anterior de la extremidad hacia dentro hacia la línea media del cuerpo, como en la danza jazz cuando el muslo rota hacia dentro de modo que la rodilla se orienta medialmente. También se denomina rotación medial. A diferencia de lo que ocurre con otros pares de movimientos expuestos, la extremidad puede rotar interna o externamente desde la posición anatómica, y a menudo esta posición se considera como la posición neutra. La rotación externa-interna se da en algunas articulaciones uniaxiales (trocoides) y en todas las triaxiales (esferoideas). Las rotaciones interna y externa ocurren en articulaciones como el hombro y la cadera.

### *Términos específicos sobre los movimientos articulares*

En algunas articulaciones, se emplean términos adicionales para describir los movimientos. Estos términos

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 1.1

### *Movimientos articulares básicos*

De pie en la posición anatómica, practica los siguientes movimientos:

- **Movimientos en el plano sagital.** Flexiona las articulaciones de los dedos, la muñeca, el codo, el hombro y la cadera de modo que el segmento distal sea el que se mueva. Fíjate en que ello implica el movimiento hacia delante del segmento distal de la articulación desde la posición anatómica en un plano sagital de modo que las superficies anteriores de los segmentos articulares se aproximen. Luego, extiende estas articulaciones, volviendo a la posición anatómica. Fíjate en que esto ocurre hacia atrás en un plano sagital. Se pueden extender estas articulaciones desde la posición anatómica. Ahora flexiona la articulación de la rodilla. Fíjate en que, aunque el movimiento ocurre en un plano sagital, la flexión de la rodilla implica un movimiento hacia atrás del segmento distal, con aproximación de las superficies posteriores de los segmentos adyacentes, mientras que la extensión implica un movimiento hacia delante. En algunos casos, como cuando la mano o el pie están en carga y fijos, el segmento proximal se mueve solo o al mismo tiempo que el distal. Flexiona la cadera de modo que el segmento proximal se mueva y el segmento distal esté estático.
- **Movimientos en el plano frontal.** Abduce las articulaciones del hombro y la cadera de modo que se mueva el segmento distal de la extremidad (mano y pie). Fíjate en que estos movimientos implican el alejamiento desde la posición anatómica de la línea media del cuerpo en un plano frontal. A continuación, aduce estas articulaciones volviendo a la posición anatómica. Fíjate en que la aducción de estas articulaciones implica un movimiento hacia la línea media del cuerpo en el plano frontal. ¿Se pueden mover estas articulaciones en aducción desde la posición anatómica? Ahora practica la abducción y aducción de la articulación coxofemoral de la extremidad cuyo pie está fijo, siendo la pelvis el segmento móvil. ¿Qué relación guardan estos movimientos con el término de danza «sentarse sobre la cadera»?
- **Movimientos en el plano horizontal.** Practica la rotación interna de las articulaciones del hombro y la cadera de modo que el segmento distal (mano o pie) tenga libertad de movimiento. Fíjate en que ello implica el movimiento de la superficie anterior de la extremidad hacia la línea media en un plano horizontal. A continuación, mueve estas articulaciones en rotación externa volviendo a la posición anatómica. ¿Se puede practicar la rotación externa desde la posición anatómica? Fíjate en los grados similares de rotación interna y externa a partir de la posición anatómica en contraste con los otros pares de movimientos. ¿Qué relación guardan estos movimientos con el término de danza *«en dehors»*? Ahora practica la rotación de la articulación de la cadera de modo que la pelvis se mueva mientras el pie está fijo.

especiales se suelen usar en ciertas articulaciones con el fin de aclarar la dirección del movimiento o de describir el movimiento cuando éste difiere ligeramente de los seis movimientos básicos previamente descritos. Por ejemplo, como la línea media atraviesa los segmentos de la cabeza y el tronco, parte de la terminología básica no describe bien los movimientos de la columna vertebral. Por tanto, durante la flexión lateral del torso en el plano frontal, la abducción-aducción no describe con claridad lo que ocurre, y por eso se usa alternativamente flexión lateral derecha o izquierda. Así, **lateroflexión derecha** es el movimiento de flexión del torso a la derecha, mientras que la vuelta a la posición anatómica o la inclinación a la izquierda se denominan **lateroflexión izquierda**, como se ve en la figura 1.14. De forma parecida, la rotación externa e interna en el plano transversal no son adecuadas para hablar de la columna o la cabeza, y la rotación se describe como derecha o izquierda desde la perspectiva del bailarín en movimiento. Así, la **rotación derecha** es el movimiento de la superficie anterior de la cabeza o el tronco hasta quedar orientados a la derecha, mientras que la **rotación izquierda** es el movimiento de la superficie anterior de la cabeza o el tronco hasta quedar orientados a la izquierda, como se ve en la figura 1.16.

En la extremidad superior, se usan un par de términos específicos para describir los movimientos en el plano horizontal sobre un eje vertical: pronación-supinación y abducción-aducción horizontal (figura 1.16). La **pronación** describe la rotación interna del antebrazo de modo que la palma mira hacia atrás, mientras que la **supinación** describe la rotación externa del antebrazo de modo que la palma mira hacia delante. En la posición anatómica, el antebrazo está en supinación. La abducción-aducción horizontal sirve para explicar el uso habitual de los brazos a la altura del hombro durante los movimientos funcionales. Si el brazo se flexiona 90° en la articulación del hombro, el movimiento lateral del brazo en el plano horizontal se denomina **abducción horizontal** o extensión horizontal. El movimiento en la dirección opuesta desde una posición lateral en sentido anterior (hacia la línea media del cuerpo) se denomina **aducción horizontal** o flexión horizontal.

En la extremidad inferior, los mismos términos de abducción-aducción horizontal se pueden usar para los movimientos del muslo en el plano horizontal con la cadera flexionada 90°. En el pie, los términos flexión plantar y flexión dorsal reemplazan a los de flexión y extensión debido a la controversia sobre qué lado del pie se debe considerar «anterior». La **flexión plantar** del pie en la articulación tibioperoneoastragalina (tobillo) corresponde a lo que los bailarines llaman «apuntar» el pie, mientras que la **flexión dorsal** corresponde a lo que los bailarines llaman «flexionar» el pie. Por tanto, recuerda que «P» durante el *pointé* corresponde a flexión plantar. Estos movimientos ocurren en el plano sagital sobre un eje ML, como se ve en la figura 1.13. En los capítulos dedicados a las distintas articulaciones se aportan términos adicionales específicos para la extremidad superior e inferior.

### Movimientos articulares asociados con tipos específicos de articulaciones sinoviales

Ahora que se han explicado los planos, ejes y términos sobre los movimientos articulares, podemos hablar de la movilidad de las articulaciones sinoviales respecto a su descripción morfológica. Las diartrosis se clasifican de acuerdo con si tienen uno, dos, tres o ningún eje, es decir, si son respectivamente uniaxiales, biaxiales, triaxiales o no axiales. El número de ejes de una articulación también guarda relación con el número de planos de movilidad de esa articulación, lo que se conoce como **grados de libertad** (gl), y determinan el tipo de movimientos permitidos desde la posición anatómica.

Las articulaciones planas se consideran no axiales porque sólo permiten un ligero deslizamiento que no ocurre alrededor de ningún eje. Las articulaciones trocleares y trocoides son uniaxiales y permiten el movimiento en un plano (1 gl). Las articulaciones trocleares permiten flexión-extensión en el plano sagital, mientras que las trocoides permiten rotación en el plano horizontal. Las articulaciones condíleas y sellares son biaxiales y permiten movimientos en dos planos (2 gl). Las articulaciones condíleas suelen permitir flexión y extensión en el plano sagital y abducción y aducción en el plano frontal (aunque se usan términos especiales para algunos de estos movimientos). En el caso de las articulaciones sellares (primera articulación carpometacarpiana), se usan términos especiales de los que se hablará en el capítulo 7. Las articulaciones esferoideas son las únicas articulaciones triaxiales que permiten movimientos en los tres planos (3 gl). Los movimientos son flexión-extensión en el plano sagital, abducción-aducción en el plano frontal y rotación interna-externa en el plano horizontal. Fíjate en que las articulaciones triaxiales difieren de las biaxiales en la adición de la rotación. La asociación de capacidad de movimiento y tipo de articulación aparece resumida en la tabla 1.4 (págs. 16 y 17).

## Consideraciones sobre el esqueleto respecto al movimiento corporal

Cuando se estudia la contribución de huesos y articulaciones a los movimientos funcionales, como los que se practican en danza, intervienen conceptos adicionales. Tres consideraciones especiales son la estabilidad y movilidad articulares, las posiciones de bloqueo *(close-packed position)* y de reposo *(loose-packed position)* de las articulaciones, y los movimientos en cadena cinética abierta y cerrada.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 1.2

### *Tipos de articulación sinovial y sus movimientos*

De pie en la posición anatómica, identifica las siguientes articulaciones y practica sus movimientos. Remítete a la figura 1.9 si es necesario.

- **Articulaciones uniaxiales.** Practica los movimientos del antebrazo que permite la articulación del codo. ¿Qué tipo de articulación sinovial es? ¿En qué plano y sobre qué eje se produce el movimiento de esta articulación? Ahora, practica los movimientos del antebrazo que permite la articulación radiocubital proximal. ¿En qué plano y sobre qué eje se produce el movimiento en esta articulación?
- **Articulaciones biaxiales.** Practica los movimientos de la mano que permite la articulación de la muñeca. ¿En qué planos y sobre qué dos ejes se produce el movimiento de esta articulación? Ahora, practica movimientos del pulgar y fíjate en los parecidos y diferencias con la articulación de la muñeca. ¿Se puede rotar activamente cualquiera de estas articulaciones?
- **Articulaciones triaxiales.** Practica los movimientos del brazo que permite la articulación del hombro. ¿Qué tipo de articulación sinovial es? ¿En qué tres planos y sobre qué tres ejes se produce el movimiento en esta articulación? ¿En qué difiere la rotación de la circunducción? ¿Qué plano se emplea en las articulaciones triaxiales que falta en las biaxiales? ¿Cómo mejora esta combinación de articulaciones uniaxiales, biaxiales y triaxiales la estabilidad y movilidad de la extremidad superior en los movimientos gestuales y en los movimientos en carga de la danza?

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 1.3

### *Posiciones articulares de bloqueo y reposo*

- **Posición de reposo de los dedos.** En sedestación, flexiona 90° los codos con las palmas hacia arriba y los dedos alineados con los metacarpianos. Separa los dedos y luego vuelve a juntarlos. Fíjate en el grado de abducción y aducción de los dedos en esta posición de reposo de la articulación metacarpofalángica.
- **Posición de bloqueo de los dedos.** Apunta con los dedos hacia el techo mientras el resto de la mano se mantiene quieta (90° de flexión metacarpofalángica). A continuación, intenta separar los dedos y fíjate en lo limitada que es la abducción y aducción en esta posición de las articulaciones metacarpofalángicas. ¿Qué ventajas presenta el cambio en la movilidad en distintas posiciones para las funciones de la mano?

## *Estabilidad y movilidad articulares*

La **estabilidad articular** se define como la capacidad de una articulación para soportar fuerzas y evitar separarse (desarticulación) sin lesionarse. Ésta es una propiedad muy importante de las articulaciones tanto a la hora de definir la capacidad de movimiento como de fomentar la seguridad articular. Cuando las fuerzas superan la estabilidad de una articulación, se pueden lesionar distintos tejidos. Dos tipos habituales de lesión son los daños ligamentarios, llamados **esguinces,** y las lesiones musculares, llamadas **distensiones.**

En contraste con la estabilidad articular, la **movilidad articular** se puede definir como el grado de movilidad permitido antes de manifestarse la acción restrictiva de los tejidos. La capacidad funcional de las articulaciones para moverse en toda su amplitud, también llamada **flexibilidad,** es un aspecto importante de la forma física y esencial para el efecto estético de la danza. Los factores clave que influyen en la relativa estabilidad articular frente a la movilidad son la arquitectura articular (tipo de articulación, forma y congruencia de la articulación); la disposición de los ligamentos y cápsula; el vacío creado en la articulación por la presión atmosférica negativa; la extensibilidad de los músculos, tendones y fascias que cruzan la articulación; los factores neurales que influyen en la resistencia al movimiento; los efectos de la gravedad, y, en algunos casos, la aposición de los tejidos blandos adyacentes o la compresión de hueso contra hueso. Estos factores se abordan con más detalle, por su vinculación con articulaciones específicas, en los siguientes capítulos. No obstante, es importante reparar en que, aunque los bailarines a menudo imaginan que el objetivo es seguir aumentando la movilidad articular, la movilidad excesiva se

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST SAPIENTIA FUNDADA EN 1620 QUITO

asocia con una disminución de la estabilidad y un aumento del riesgo de lesión. Por tanto, el objetivo debe ser un equilibrio entre estabilidad y movilidad articulares, que brinde protección a las articulaciones a la vez que permite el efecto estético deseado.

## Posiciones articulares de bloqueo y de reposo

En la estabilidad articular también influye la posición específica de una articulación dada, y las superficies articulares de las diartrosis presentan una posición que ofrece la de máxima estabilidad mecánica. Esta posición se denomina **de bloqueo** y a menudo se da en los grados extremos de movilidad, como en la extensión completa del codo, la rodilla, la muñeca y los dedos de la mano (articulaciones interfalángicas); en la flexión de las articulaciones metacarpofalángicas, y en la flexión dorsal del tobillo. En esta posición de bloqueo se suelen producir las siguientes condiciones: (1) las superficies articulares ofrecen un área de contacto y ajuste máximos (congruencia); (2) la mayoría de los ligamentos clave están bajo tensión; (3) la cápsula está tensa, y (4) la articulación está comprimida y es difícil de separar (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). En las posiciones de bloqueo, la estabilidad está facilitada, y a menudo se requiere poca o ninguna contracción muscular para mantener la postura en carga. Esto ofrece ventajas en términos de gasto energético que son muy valiosas en posturas como el ortostatismo. En el resto de posiciones, llamadas **de reposo**, el contacto entre las superficies articulares es menor. En estas posiciones **de reposo**, las estructuras capsulares y ligamentarias clave están laxas y se prima la movilidad a expensas de la estabilidad.

## Movimientos en cadena cinética abierta y cerrada

En el cuerpo humano muchas articulaciones se estructuran en serie y a menudo sus movimientos se producen juntos y no aislados. Esto ha llevado a usar el término de ingeniería «cadena cinética cerrada», donde una serie de eslabones rígidos están conectados por una serie de articulaciones de modo que el movimiento de un eslabón producirá un movimiento predecible en las otras articulaciones del sistema (Levangie y Norkin, 2001). En el cuerpo humano, una **cadena cinética** (G. *kinematica*, cosas que se mueven) está representada por una serie de articulaciones que unen segmentos o huesos adyacentes del cuerpo. El concepto de **cadena cinética cerrada**, o cadena cinética cerrada, se manifiesta cuando el segmento distal está fijo y el segmento proximal se mueve, como cuando estamos erguidos en bipedestación y en carga. En este caso, al flexionar la rodilla, se produce el movimiento simultáneo del tobillo y la cadera. En contraste, cuando se mueve el segmento distal en el espacio, como al practicar *dégagés*, el movimiento de la cadera puede darse de forma aislada, sin que implique necesariamente el movimiento de la rodilla, y se denomina movimiento **en cadena cinética abierta**, o en cadena cinética abierta. En este tipo de movimiento, el movimiento de articulaciones adyacentes no es predecible, porque se pueden mover juntas o con independencia.

En danza, la extremidad superior se suele usar en cadena cinética abierta, como cuando el bailarín hace movimientos gestuales. Sin embargo, en cadena abierta, a menudo se necesita la participación de varios segmentos para lograr el efecto estético deseado de los brazos. Este efecto estético a menudo varía mucho según el tipo de danza,

ÓRDENES EN LA DANZA 1.2

### «De pie de modo que sean los huesos los que soporten el peso del cuerpo»

En algunos tipos de danza moderna se anima a los estudiantes a que adopten una alineación en bipedestación que favorezca el que sean los huesos los que soporten el peso del cuerpo minimizando la contracción muscular necesaria para el mantenimiento de dicha postura. Aunque permanecer de pie implica la acción de muchas articulaciones, por razones de simplicidad en este punto nos centraremos en la rodilla. En ortostatismo con las rodillas extendidas, las rodillas están en posición de bloqueo, con lo que la estabilidad depende sobre todo de los huesos y anclajes pasivos. En cambio, si las rodillas se flexionan en ortostatismo o para iniciar un movimiento, la contracción muscular es necesaria de inmediato para prevenir que las rodillas sigan doblándose. Mientras algunas escuelas de danza que priman la eficacia favorecen esta orden y una actitud más pasiva en bipedestación, otras escuelas prefieren una postura más activa («haced fuerza con las rodillas») usando niveles de contracción muscular básicos, como se expone en el capítulo 5.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 1.4

### *Movimientos en cadena cinética abierta y cerrada*

Se empieza de pie en quinta posición con los brazos abajo, y se practican los siguientes movimientos, diferenciando entre cadenas cinéticas abiertas y cerradas.

- **Movimiento de la extremidad inferior.** *Plié* y luego levanta el pie izquierdo hasta que quede en contacto con la rodilla derecha *(retiré)*. La pierna derecha trabaja así en cadena cinética cerrada. ¿Cómo trabaja la pierna izquierda? ¿Qué relación guarda el concepto de cadena cinética cerrada y abierta con los términos pierna de apoyo y pierna que trabaja usados en danza?
- **Movimiento de la extremidad superior.** Levanta los brazos por encima de la cabeza de quinta posición baja a alta. ¿Qué tipo de cadena cinética establece el brazo en movimiento? ¿Cómo se cambia el movimiento de los brazos en la danza para que el segmento distal esté fijo?

e incluso entre distintas coreografías en un mismo tipo de danza. Con menor frecuencia, los brazos se usan en cadena cinética cerrada, como cuando se apoyan las manos en el suelo al hacer el pino. En danza, la extremidad inferior se suele usar de ambas formas, como un sistema en cadena cinética cerrada y abierta, a menudo cambiando de una a otra en las distintas fases del movimiento o entre uno y otro lado del cuerpo. Un ejemplo de lo primero se da en el *salto del ciervo*: antes de la fase de despegue, la extremidad inferior trabaja en cadena cinética cerrada, mientras que, en el aire, las piernas actúan en cadena cinética abierta. Un ejemplo de lo segundo ocurre en la barra: la pierna de apoyo trabaja en cadena cinética cerrada, mientras que la pierna que realiza el gesto suele moverse en cadena cinética abierta, como se ve en la figura 1.17.

El concepto de las cadenas cinéticas tiene implicaciones importantes para conocer los movimientos, las lesiones y su rehabilitación. En términos de movimiento, una implicación importante se refiere a la movilidad potencial de toda la extremidad. Los grados de movilidad total para la ejecución de movimientos multiarticulares son la suma de todos los grados de movilidad de las articulaciones de la cadena. Así, por ejemplo, se considera que dar una patada a una pelota implica un sistema de 11° de libertad relativos al tronco, donde 3° corresponden a la cadera, 2° a la rodilla, 1° al tobillo, 3° a los huesos del tarso, y 2° a los dedos del pie (Hamill y Knutzen, 1995). Este concepto de suma de grados de libertad es esencial para permitir los movimientos complejos y los ajustes requeridos por la danza. Las implicaciones para las lesiones y su rehabilitación se abordan en los capítulos siguientes.

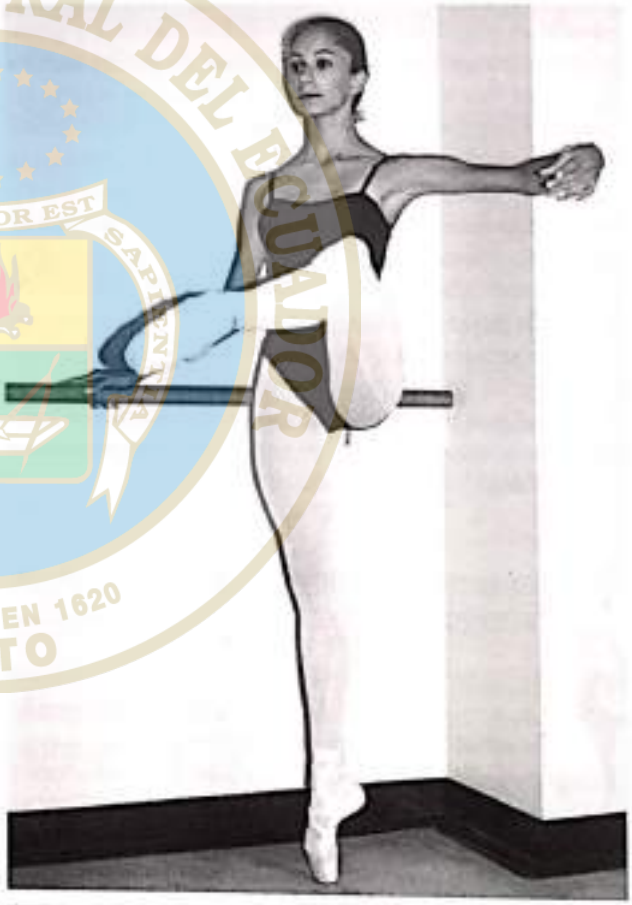


FIGURA 1.17. Movimientos en cadena cinética abierta y cerrada. El pie de la pierna de apoyo está fijo en el suelo, y la pierna derecha actúa en cadena cinética cerrada. En contraste, el pie y la mano izquierdos tienen libertad de movimiento, y por eso actúan en cadena cinética abierta.
Maurya Kerr de estudiante en la Pacific Northwest Ballet School.

CENTRAL DEL ECUADOR QUITO EN 1620

## Resumen

El sistema esquelético está compuesto por los huesos del cuerpo, por los ligamentos y cartílagos afines, y por las articulaciones que conectan estos huesos entre sí. Los huesos se pueden clasificar por su forma en largos, cortos, planos e irregulares. Su forma se adecua a las funciones que ejercen de servir de sujeción, protección y puntos de inserción de los músculos, así como de palancas para el movimiento. Aunque los huesos tienen mucha resistencia a la compresión y tracción, se remodelan constantemente en función de las tensiones que soportan y de la disponibilidad de calcio y otros nutrientes clave.

Un total de 206 huesos conforman el esqueleto. Éste se puede dividir en el esqueleto axial y el esqueleto apendicular (extremidades superiores e inferiores), y los huesos adyacentes dentro de estas divisiones están unidos por articulaciones fibrosas, cartilaginosas y sinoviales. Las articulaciones sinoviales presentan una cavidad articular y principalmente dan lugar a los movimientos que asociamos con las extremidades. Estas diartrosis se clasifican a su vez por su forma y por el número de ejes y planos de movimiento que permiten. Se han acuñado unos términos estándar para describir con claridad los planos, ejes y movimientos articulares asociados. En los movimientos funcionales, las articulaciones cumplen la doble función de aportar estabilidad y movilidad. Las exigencias de estas funciones opuestas se cumplen en parte por el cambio en la estabilidad de las posiciones de bloqueo y de reposo. En los movimientos funcionales, las articulaciones a menudo actúan juntas en vez de aisladas. Los conceptos de cadena cinética abierta y cerrada ayudan a describir el acoplamiento potencial de articulaciones adyacentes.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Describe el crecimiento en anchura y longitud de los huesos largos.
2. Enumera y localiza, en tu propio cuerpo, los huesos que conforman (a) el esqueleto axial, (b) la extremidad superior, y (c) la extremidad inferior.
3. Clasifica los huesos que forman la extremidad inferior en largos, cortos, planos e irregulares.
4. De pie en la posición anatómica, ejecuta tres movimientos de danza que se den en cada uno de los siguientes planos: sagital, frontal y horizontal.
5. Repasa los movimientos articulares descritos en la tabla 1.8 y selecciona dos movimientos de danza que sirvan de ejemplo a los tipos de movilidad articular.
6. Dibuja una articulación sinovial típica y pon nombre a sus componentes. A continuación, describe la función de estos componentes.
7. Contrasta y compara los tipos de articulaciones presentes en la extremidad superior e inferior.
8. Describe la forma en que las posiciones de bloqueo y de reposo de las articulaciones ayudan a generar los distintos movimientos articulares requeridos por la danza.
9. Crea una secuencia de movimientos en cadena cinética abierta y cerrada con la cadera, rodilla y tobillo. Identifica cuándo estas articulaciones trabajan en cadena cinética abierta o cerrada.
10. Una bailarina tiene problemas para generar un movimiento de empuje con el brazo y crear el efecto estético deseado. Su profesora ha reparado en que el movimiento es brusco y carece de la coordinación fluida deseada.
    a. Describe qué movimientos articulares se deben producir en el hombro, codo y muñeca.
    b. Describe la conexión entre la idea de cadena cinética y este movimiento.
    c. Describe el modo en que difiere el efecto estético de este movimiento en las siguientes condiciones:
        1. Secuencia que se inicia en la articulación distal y continúa en la articulación proximal.
        2. Secuencia que se inicia en la articulación proximal y continúa en la articulación distal.
        3. Movimiento que comienza en el codo y sigue en las otras dos articulaciones.
        4. Movimiento simultáneo de las tres articulaciones, de modo que la posición final de cada una se alcanza al mismo tiempo.
    d. Identifica las órdenes apropiadas para introducir los ajustes deseados en la técnica.

# *El sistema muscular*

© Angela Sterling Photography. Ballarina, Carrie Imler, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIORES SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

En este capítulo se procede al estudio del sistema muscular. Es el sistema que genera los movimientos del sistema esquelético. No podríamos andar ni bailar sin la fuerza motriz de nuestros músculos. Los músculos tienen la capacidad única de generar tensión que se transmite a los huesos para generar movimientos articulares. Además, los músculos restringen el movimiento cuando se alcanzan los límites de su extensibilidad. Por tanto, un grado suficiente de fuerza y flexibilidad es esencial para la amplitud de los movimientos que acompañan a la danza. El *large leap (grand jeté en avant)* que aparece en la fotografía de la página 33 es un ejemplo de estas exigencias de fuerza y flexibilidad para proyectar el cuerpo por el espacio y lograr las líneas deseadas de los segmentos corporales. Saber cómo trabajan los músculos es clave para comprender y describir el movimiento humano. Los temas tratados en este capítulo son los siguientes:

- Estructura y función del músculo esquelético.
- Microestructura del músculo esquelético y contracción muscular.
- Arquitectura muscular.
- Inserciones musculares en el hueso.
- Músculos, palancas y movimiento angular.
- Tipos de contracción muscular (tensión).
- Consideraciones sobre los músculos respecto al movimiento corporal.
- Aprendizaje de los nombres y acciones de los músculos.

## Estructura y función del músculo esquelético

Los miocitos son las únicas células capaces de producir tensión activa y contraerse. La **contractilidad** es la capacidad única del tejido muscular para acortarse. Algunos libros recientes sustituyen «capacidad para generar tensión» por «contractilidad», ya que la tensión generada por los músculos no siempre produce el acortamiento de los músculos (véase Tipos de contracción muscular, pág. 50 para más información). Es esta propiedad de la contractilidad la que genera los movimientos del cuerpo humano, así como permite los movimientos del corazón y otros órganos internos. Hay tres tipos de tejido muscular: músculo liso, músculo cardíaco y músculo esquelético, que aparecen en la tabla 2.1. El **músculo liso** forma parte de las paredes de los órganos huecos (p. ej., la vejiga urinaria, el útero o el estómago) y de distintos sistemas de tubos (p. ej., en los sistemas circulatorio, digestivo, respiratorio y reproductivo). La contracción de los músculos lisos ayuda a que pasen sustancias por los órganos (como la comida por el estómago) y tubos (como la sangre por las arterias). Bajo un microscopio óptico, las células de músculo liso tienen forma ahusada, larga y estrecha, con un único núcleo central. Las células se alinean muy juntas para formar hojas y, como el nombre sugiere, carecen de estrías transversales. La contracción del músculo liso no depende del control voluntario; de ahí que este tipo de músculo también se llame involuntario. Igualmente tiene capacidad para mantener el tono y contraerse automáticamente, sin estimulación del sistema nervioso.

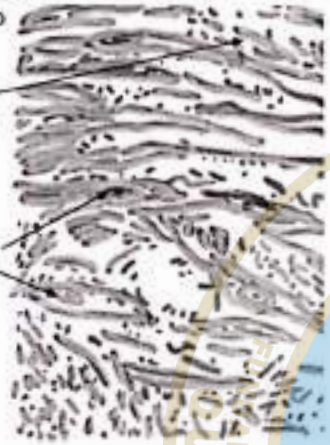
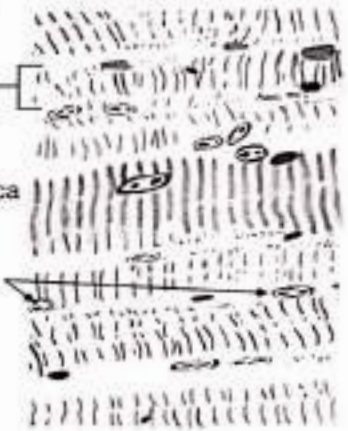
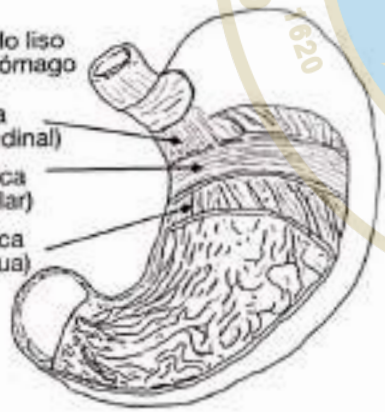
El **músculo cardíaco** es el tipo de músculo presente en las paredes del corazón. La contracción del músculo cardíaco sirve para bombear sangre por los vasos sanguíneos, los pulmones y otras partes del cuerpo. Bajo el microscopio óptico, las fibras de músculo cardíaco presentan bandas, llamadas estrías, que atraviesan transversalmente las células. Las fibras de músculo cardíaco también son cortas y ramificadas con uniones singulares, llamadas discos intercalados, en el límite de los extremos de células adyacentes. Las células de músculo cardíaco suelen contener un solo núcleo (uninucleadas) aunque a veces son dos (binucleadas). Parecido al músculo liso, el músculo cardíaco no está bajo control voluntario y, debido a células especializadas (células marcapaso), es capaz de contraerse automáticamente sin estimulación del sistema nervioso.

El **músculo esquelético** es el tipo de músculo que se inserta en los huesos del esqueleto y genera movimientos en las articulaciones. Aunque varía en función del sexo, el somatotipo y la actividad, el músculo esquelético constituye aproximadamente el 40-45% del peso corporal de los adultos (Hall, 1999). Bajo el microscopio óptico, las células de músculo esquelético son muy largas, estrechas y cilíndricas, con muchas estrías transversales y muchos núcleos (multinucleadas). A diferencia de los músculos liso y cardíaco, que por lo general trabajan con poco control consciente, los músculos esqueléticos se llaman voluntarios porque muchos se controlan a voluntad. A diferencia de los músculos liso y cardíaco, no se pueden contraer de forma automática y dependen de la estimulación de un nervio. Los músculos esqueléticos también son importantes para mantener posturas y gestos, estabilizar las articulaciones, amortiguar choques, sostener y proteger tejidos internos, controlar la presión en las cavidades, y producir calor corporal. Más del 75% de la energía utilizada en las contracciones musculares se libera en forma de calor (McGinnis, 2005). Dada su importancia para el movimiento humano, este libro se centra en el músculo esquelético, y cualquier referencia futura a los músculos se referirá a los músculos esqueléticos.

### *Propiedades del tejido muscular esquelético*

Además de por la contractilidad, el músculo esquelético se caracteriza por las siguientes propiedades: irritabilidad, extensibilidad y elasticidad. La **irritabilidad** es la capacidad de recibir y responder a un estímulo, generalmente procedente de un nervio asociado. La respuesta clásica del músculo

**Tabla 2.1. Tres tipos de tejido muscular**

| | A. Músculo liso | B. Músculo cardíaco | C. Músculo esquelético |
|---|---|---|---|
| **Aspecto** | Células con un núcleo central, ahusadas, largas y estrechamente alineadas, con un núcleo central<br>No estriado<br>Célula muscular lisa<br>Núcleos<br>  | Células uninucleadas cortas y por lo general ramificadas que se interdigitan en los discos intercalados<br>Estriado<br>Célula miocárdica<br>Disco intercalado<br>Núcleo<br> | Células multinucleadas, cilíndricas y muy largas<br>Estriado<br>Célula muscular esquelética<br>Núcleo<br>  |
| **Localización** | Paredes de los órganos huecos y tubos<br>Músculo liso del estómago<br>(Túnica longitudinal)<br>(Túnica circular)<br>(Túnica oblicua)<br>  | Paredes del corazón<br>Músculo cardíaco del corazón<br> | Se insertan principalmente en los huesos y, en ocasiones, en la piel<br>Músculo esquelético del gastrocnemio<br> |
| **Función** | Impulsa sustancias u objetos a través de los órganos o tubos | Impulsa la sangre a través de los vasos sanguíneos | Movimientos, posturas, estabilidad articular, amortiguación de choques, expresiones faciales |
| **Control** | Involuntario<br>Contracciones automáticas | Involuntario<br>Contracciones automáticas | Voluntario<br>Precisa estimulación nerviosa para contraerse |

a este estímulo es generar tensión o contraerse. Las propiedades de extensibilidad y elasticidad se entienden mejor si observamos un modelo mecánico del músculo.

## Modelo mecánico de un músculo

Se ha creado un modelo mecánico compuesto de tres partes para explicar el comportamiento del músculo (figura 2.1). La capacidad del músculo para contraerse depende de estructuras proteicas muy pequeñas presentes en el miocito y de las cuales se habla con más detalle en la siguiente sección de este capítulo. Estas estructuras se denominan **componente contráctil** (CC) o **componente activo** del músculo. Sin embargo, el músculo también contiene dos **componentes elásticos:** el componente elástico en paralelo y el componente elástico en serie. La contribución de estos componentes elásticos no requiere una contracción activa, por lo que también se llaman **componentes pasivos.** Como el nombre sugiere, el componente elástico en paralelo (CEP) se extiende en paralelo al componente contráctil y se compone de muchas estructuras, como el tejido conjuntivo del músculo, membrana celular (sarcolema) y una proteína elástica estrechamente asociada con las proteínas contráctiles del músculo (titina). Por el contrario, el componente elástico en serie (CES) se distribuye en serie con el componente contráctil y se compone sobre todo de tendón (en torno al 85%), con una contribución mucho menor de algunas estructuras del componente contráctil (Alter, 2004; Enoka, 2002; Kreighbaum y Barthels, 1996; Levangie y Norkin, 2001).

Estos componentes elásticos se pueden representar como un muelle (figura 2.2): la energía mecánica que se almacena en el componente elástico del músculo cuando se aplica un estiramiento se recupera una vez que finaliza éste (deformación recuperable), al igual que un muelle se retrae hasta su posición inicial cuando desaparece la tensión. Estos componentes elásticos confieren al músculo elasticidad. La **elasticidad** es la capacidad de un músculo para recuperar su longitud en reposo tras haberse estirado. Además, el tejido conjuntivo asociado con el músculo tiene otra propiedad, llamada viscosidad. Las propiedades plásticas o **viscosas** se suelen representar como un cilindro hidráulico (amortiguador), como aparece en la figura 2.2, que muestra un comportamiento como el de la masilla, donde la elongación producida por una fuerza se mantiene cuando ésta desaparece (deformación permanente). Juntas, estas propiedades elástica y viscosa del tejido conjuntivo se denominan **viscoelásticas,** y es esta respuesta viscoelástica la que confiere al músculo la propiedad de la extensibilidad, como se aprecia en la figura 2.2. La **extensibilidad** es la capacidad del músculo para estirarse o aumentar de longitud por encima de su longitud en reposo. Una fibra muscular normal se estira 1,5 veces su longitud en reposo (Hamilton y Luttgens, 2002). El músculo no se puede elongar sólo, sino que requiere una fuerza como la gravedad o la contracción de otro músculo para generar esta elongación. Esta característica de la extensibilidad es

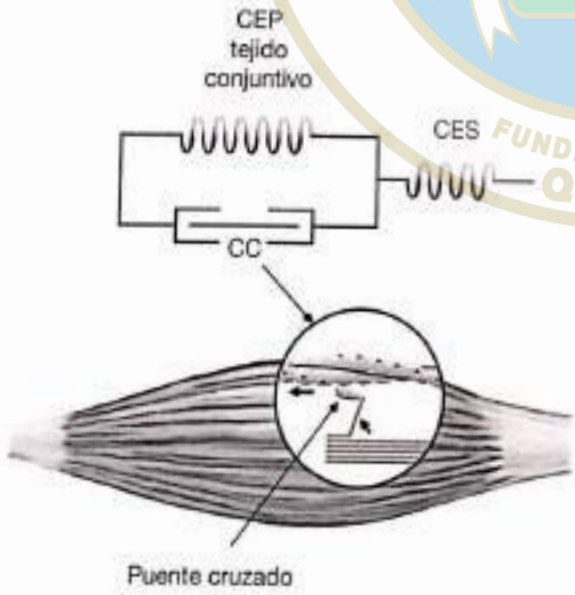



FIGURA 2.1. Modelo mecánico del músculo con tres componentes.

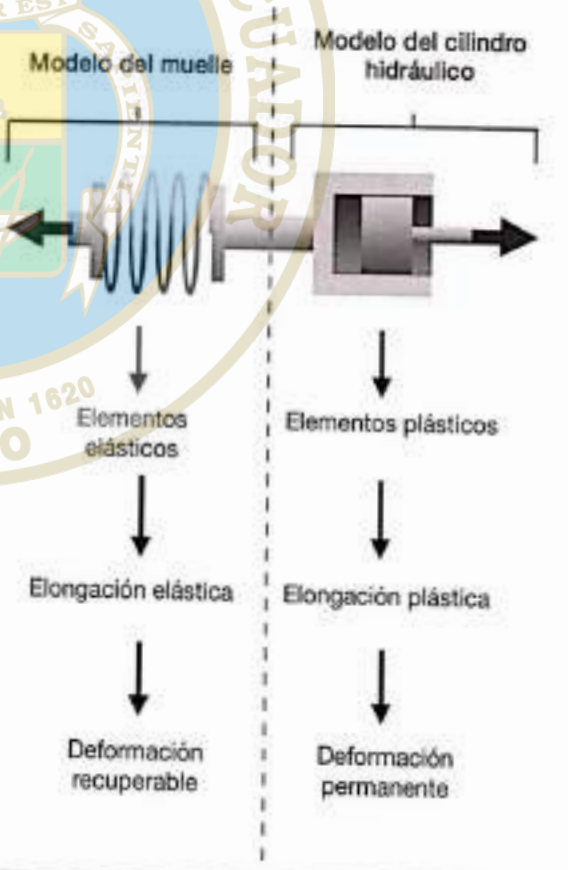



FIGURA 2.2. Propiedades viscoelásticas del tejido conjuntivo.

clave para que los bailarines mejoren la amplitud de movimiento de una articulación, es decir, la flexibilidad.

El estudio de esta característica viscoelástica del músculo ha sido el instrumento para elaborar las teorías actuales sobre el comportamiento del músculo y para las recomendaciones de los programas de preparación física muscular, como los dedicados a mejorar la flexibilidad. Cuando se estiran un músculo y su tejido conjuntivo afín, se produce la elongación de los elementos viscosos y elásticos. Sin embargo, cuando se interrumpe el estiramiento, se invierte la elongación elástica, y sólo se mantiene la elongación plástica (Taylor *et al.*, 1990). Mientras que en los elementos elásticos sólo influye la magnitud de la fuerza aplicada, en los elementos viscosos influye la temperatura, así como la proporción y duración de las fuerzas aplicadas. El comportamiento de este componente se puede comparar al del boligoma *Silly Putty* o *stiff taffy*. Una fuerza aplicada lentamente y durante mucho tiempo (como al estirar la masilla caliente) genera más elongación con menos tendencia a la ruptura. Así, para mejorar la flexibilidad y que dure en el tiempo, el objetivo es potenciar la elongación plástica. Esto se consigue mediante estiramientos lentos, con poca fuerza y larga duración, aplicados a músculos ya calientes. En términos de duración, 3 repeticiones de 30 segundos parecen conseguir la máxima elongación potencial asociada con un estiramiento dado (Garrett, 1991). Por el contrario, para potenciar la producción de fuerza de un músculo, el objetivo es favorecer la elongación elástica. Para ello se aplican un estiramiento rápido y con más fuerza, inmediatamente seguido por una contracción concéntrica (acortamiento) del mismo músculo (véase Ciclo de estiramiento-acortamiento, pág. 54 para más información).

## Microestructura del músculo esquelético y contracción muscular

La unidad estructural del músculo es el miocito. Se ha calculado que el cuerpo humano contiene aproximadamente 270 millones de miocitos (Wells y Luttgens, 1976). Como estas células musculares son largas y muy finas, a menudo se llaman fibras musculares. Un miocito suele tener un diámetro de entre 0,01 y 0,1 milímetros. En contraste, muchos miocitos promedian entre 2,5 y 7,6 centímetros de longitud, y ciertos músculos miden hasta 60-70 centímetros de longitud (Hamilton y Luttgens, 2002; Rasch y Burke, 1978; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Las fibras de músculo esquelético crecen en longitud y diámetro desde el nacimiento hasta la edad adulta, pudiendo llegar a multiplicar por cinco su diámetro en este período (Hall, 1999). El entrenamiento de la fuerza con resistencias elevadas y pocas repeticiones también consigue grandes incrementos en el diámetro de los miocitos, lo cual se denomina **hipertrofia** (G. *hiper*, exceso, + *trophy*, nutrición).

Para entender la forma en que los miocitos se contraen, es necesario observar una célula muscular a nivel microscópico. Cada fibra muscular contiene protoplasma especializado, llamado sarcoplasma, en el cual se hallan embebidas fibras muy finas, llamadas **miofibrillas** (G. *myo*, músculo), que recorren la longitud del miocito, pero sólo miden 1-2 micrómetros de ancho (Hamill y Knutzen, 1995). Estas miofibrillas adoptan una formación en paralelo dentro del miocito y se componen de filamentos aún más finos, llamados **miofilamentos**, que pueden ser **gruesos** (contienen sobre todo la proteína **miosina**) o **delgados** (contienen sobre todo la proteína **actina**). Estos filamentos de actina y miosina exhiben distintas propiedades ópticas bajo un microscopio de luz polarizada y se intercalan de forma que generan bandas alternantes oscuras y claras, dotando a las fibras de músculo esquelético de su aspecto estriado característico. Como se aprecia en la figura 2.3, la banda I, más clara, contiene sólo filamentos delgados (de actina), mientras que la banda A, más oscura, contiene filamentos gruesos por toda ella y filamentos delgados sólo hasta la zona H. La zona H de la banda A sólo contiene filamentos gruesos (miosina) y es más clara que la otra porción de la banda A. Las bandas I están bisecadas transversalmente por una línea Z, y un extremo de los filamentos de actina presentes en esta banda I se une a esta línea Z. Estos filamentos de actina y miosina se organizan en segmentos repetidos longitudinalmente que se denominan sarcómeras. La **sarcómera** (G. *sarco*, sustancia muscular, + *meros*, parte) es un compartimiento entre líneas Z consecutivas y es la unidad funcional de la contracción muscular.

### *La teoría de los filamentos deslizantes*

La teoría más consolidada sobre la contracción muscular es la **teoría de los filamentos deslizantes** (Huxley, 1969). Como su nombre implica, esta teoría sostiene que los filamentos antes explicados son el mecanismo por el cual los músculos se contraen. Cada filamento de miosina está rodeado por seis filamentos de actina. Los filamentos de miosina contienen puentes cruzados, y los filamentos de actina contienen puntos activos, como muestra la figura 2.3. Cuando el músculo está en reposo, los puntos activos de la actina están bloqueados. La teoría de los filamentos deslizantes afirma que la activación de un músculo provoca la liberación de calcio del interior de la fibra muscular. Este calcio liberado cambia la configuración de moléculas proteicas (troponina y tropomiosina), de modo que los puntos activos en la actina quedan expuestos y permiten la unión con los puentes cruzados de miosina. Esta unión, denominada acoplamiento, desencadena la liberación de energía procedente de la hidrólisis del adenosintrifosfato (ATP), provocando una «flexión» rápida del puente cruzado de mio-

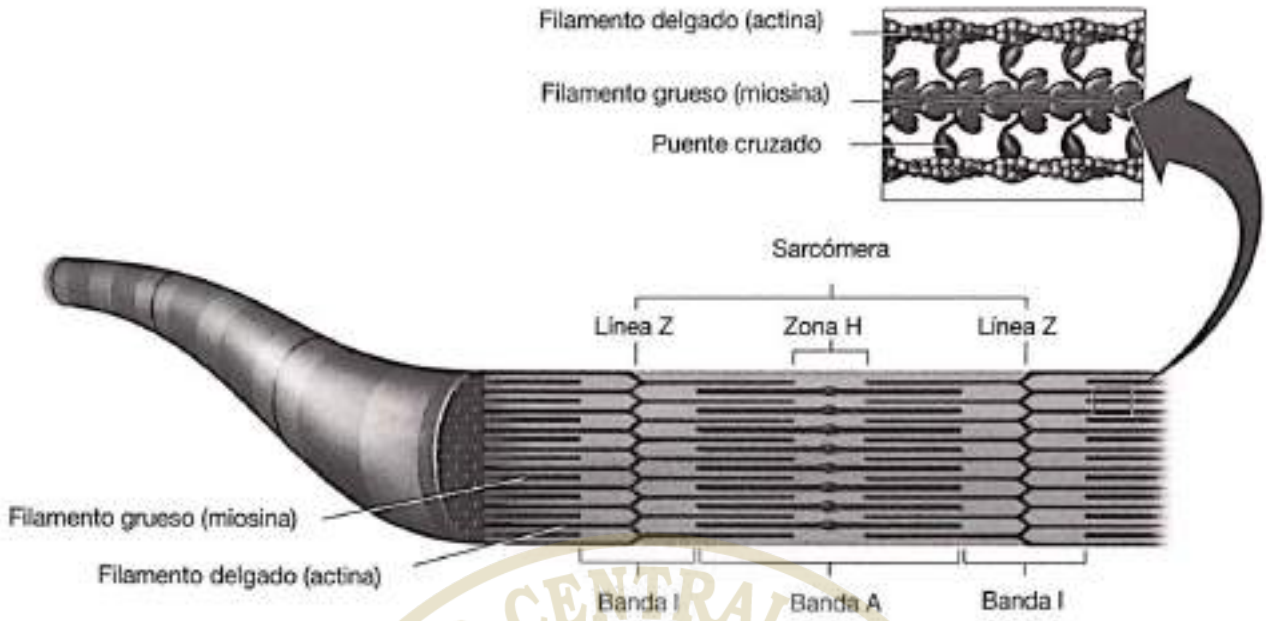



FIGURA 2.3. Microestructura de una fibra de músculo esquelético.
Reproducido, con autorización, de R. S. Behnke, 2006, *Kinetic anatomy*, 2ª ed. (Champaign, IL, Human Kinetics), pág. 14.

sina, que tira un poco de los filamentos de actina hacia el centro de la sarcómera. Entonces, el puente cruzado se desacopla y retrae, y la miosina se recarga con otra molécula de ATP. Ahora está lista para reaccionar con otro punto activo en la actina. En este proceso de acoplamiento de los puentes cruzados, flexión y desacoplamiento, las líneas Z se retraen hacia las bandas A, y la zona H se encoge o incluso desaparece, como se aprecia en la figura 2.4.

Aunque el grado de acortamiento de cada sarcómera es pequeño, el efecto acumulado del acortamiento de muchas sarcómeras en serie puede ser grande. Por ejemplo, se ha calculado que una fibra muscular de longitud similar a la del bíceps braquial contiene unas 40.000 sarcómeras en serie, y la suma del efecto de su acortamiento equivale aproximadamente a 4 centímetros, es decir, casi el 40% de la longitud del músculo respecto a su posición en reposo (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Estos procesos de acoplamiento, flexión, desacoplamiento, retracción y recarga, conocidos como **ciclo de los puentes cruzados**, se repiten cientos de veces por segundo para producir el acortamiento de las sarcómeras asociado con las contracciones musculares. Y el grado de tensión generado por un músculo depende del promedio de enlaces entre actina y miosina en un momento dado.

En cuanto termina la activación de la fibra muscular, se bombea rápidamente el calcio de la vecindad de los miofilamentos. Este descenso en la concentración de calcio restablece el bloqueo de los puntos activos en la actina, devolviendo los filamentos a su estado relajado «en reposo».

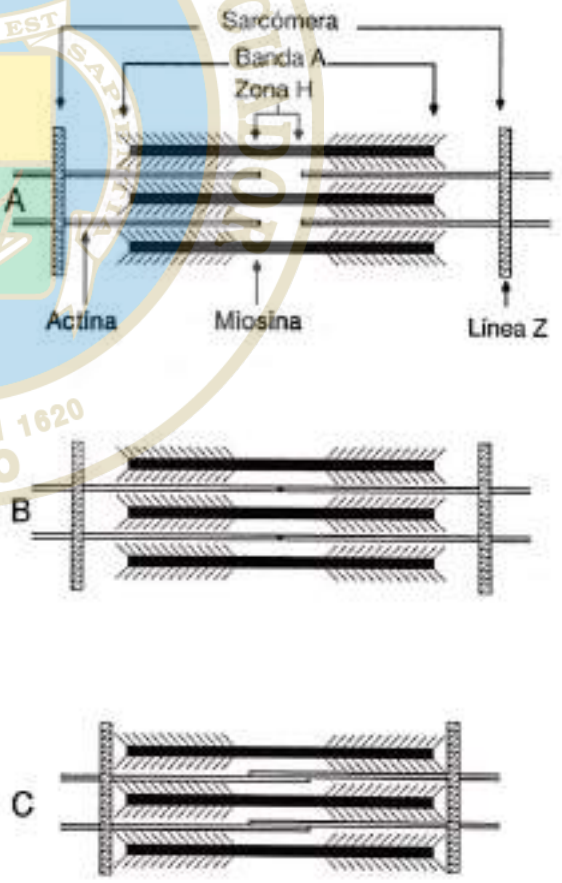



FIGURA 2.4. Esquema de una contracción muscular. (A) En reposo; (B) contracción ligera; (C) contracción más fuerte.

## Tipos de fibras musculares

Aunque todas las fibras musculares son capaces de contraerse tal y como se ha descrito, existen algunas diferencias importantes en sus propiedades contráctiles y en el uso de energía, lo cual se refleja en su clasificación en dos tipos básicos: fibras de contracción lenta (tipo I) y fibras de contracción rápida (tipo II) (American College of Sports Medicine [ACSM], 2001). Las fibras tipo II se dividen a su vez en dos: tipo IIa y tipo IIb. Se ha identificado un tercer grupo, pero que no aparece con frecuencia, cuyas características siguen siendo objeto de estudio (Wilmore y Costill, 2004). Por tanto, no se volverá a hablar de ellas en este libro. Las fibras **tipo I** dependen más de los sistemas de energía que utilizan oxígeno (metabolismo aeróbico), permitiéndoles mantenerse activas durante largos períodos. Las fibras tipo I tienen un tiempo de contracción más lento y un área de sección transversal menor, y producen menos tensión, aunque presentan más resistencia a la fatiga que las fibras tipo II. Estas fibras son especialmente importantes para generar contracciones sostenidas o contracciones musculares repetitivas de baja intensidad, como las usadas para mantener posturas, caminar o en pruebas de fondo (p. ej., correr un maratón).

En contraste, las fibras **tipo IIb** favorecen los sistemas de energía que no dependen del oxígeno (vías anaeróbicas) y se caracterizan por un tiempo de contracción más rápido, por su mayor diámetro y por una mayor producción de fuerza, aunque son las fibras que más se fatigan. Estas fibras son especialmente importantes para generar contracciones musculares de corta duración y gran intensidad, como las que se usan para entrenar con pesas, o en esprines y pruebas de potencia como las carreras de 100 metros lisos. Finalmente, las propiedades de las fibras tipo IIa están a medio camino entre las de las fibras tipo I y tipo IIb, presentando un tiempo de contracción ligeramente más lento, pero una mayor resistencia a la fatiga, que las fibras tipo IIb. Las fibras tipo IIb son clave cuando a la actividad se le añade un elemento de resistencia limitada, como al correr 1.600 metros. Como las características de las fibras tipo IIa están a medio camino entre las de los tipos I y IIb, algunos manuales consideran sus características como intermedias. Sin embargo, como muchas de estas características están más próximas a las de las fibras tipo IIb que a las de las fibras tipo I, otros libros consideran muchas de sus características iguales a las de las fibras tipo II. En este libro se combinan ambos puntos de vista para reflejar las características más afines a las fibras tipo IIb (de ahí su nombre), pero también las diferencias más acordes con las fibras tipo I, como se aprecia en la tabla 2.2.

Aunque la mayoría de los músculos del hombre contienen fibras de contracción lenta y rápida, su proporción varía de acuerdo con las demandas funcionales. Por ejemplo, el músculo gastrocnemio se emplea predominantemente para actividades de potencia como saltos y contiene en torno a un 50% de fibras de contracción rápida y otro 50% de contracción lenta en las personas normales. En contraste, en el músculo sóleo, que se emplea para actividades más sostenidas y sirve para funciones ortostáticas clave, la proporción de fibras de contracción lenta llega hasta el 85% (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La diferencia en el papel de estos músculos ha llevado a emplear los términos **tónicos** o **posturales** para describir los músculos con predominio de fibras de contracción lenta, y **fásicos** o **no posturales** para los músculos con una mayor presencia de fibras de contracción rápida.

Además de variar entre los músculos, los porcentajes de fibras de contracción lenta y rápida difieren de una a otra persona. La mayoría de las personas sedentarias tienen una proporción similar de estos tipos de fibras en muchos músculos; sin embargo, como las fibras de contracción rápida son importantes para generar contracciones musculares rápidas y poderosas, deportistas como los velocistas suelen presentar una proporción más elevada de fibras de contracción rápida (55-75%). En contraste, como las fibras de contracción lenta son importantes para generar contracciones repetitivas

**Tabla 2.2. Características de las fibras del músculo esquelético**

| | Tipo de fibra muscular | | |
|---|---|---|---|
| Características | Tipo I | Tipo IIa | Tipo IIb |
| Diámetro de las fibras | Pequeño | Intermedio/grande | Grande |
| Color | Rojo (oscuro) | Rojo | Blanco (pálido) |
| Velocidad de contracción | Lenta | Rápida | Rápida |
| Producción de fuerza | Baja | Intermedia/alta | Alta |
| Tolerancia a la fatiga | Alta | Moderada | Baja |
| Eficacia energética | Alta | Intermedia/baja | Baja |
| Capacidad aeróbica | Alta | Moderada | Baja |
| Capacidad anaeróbica | Baja | Alta | Máxima |

sin entrar en fatiga, los deportistas de fondo, como corredores, tienen una mayor proporción (60-90%) de estas fibras (Powers y Howley, 1990; Takashi, Kumagai y Brechue, 2000). Por ejemplo, el músculo gastrocnemio de algunos velocistas de elite está compuesto de un 73% de fibras de contracción rápida, mientras que el gastrocnemio de corredoras de fondo de elite contiene un 69% de fibras de contracción lenta (Wilmore y Costill, 2004). La etnia tal vez también sea un factor. Por ejemplo, se ha demostrado que las personas de origen afroamericano tienen un porcentaje más elevado de fibras de contracción rápida que las personas de origen caucásico (ACSM, 2001).

El grado en que la composición de las fibras está determinado genéticamente y hasta qué punto puede modificarse con el entrenamiento son preguntas que siguen siendo objeto de controversia. En este punto parece que la genética es el determinante principal de la cantidad y distribución de las fibras, aunque el entrenamiento intenso tal vez altere algunas de las propiedades de determinadas fibras para cubrir mejor las demandas impuestas por un régimen específico de entrenamiento (Gordon y Pattullo, 1993; Nieman, 1999; Wilmore y Costill, 2004). Así, por ejemplo, los bailarines que genéticamente presentan un porcentaje más elevado de fibras de contracción rápida podrán generar de forma natural más fuerza y saltar más alto, mientras que los bailarines con un mayor porcentaje de fibras de contracción lenta tal vez gocen de ventaja en el *adagio* o en movimientos repetitivos como *relevés*. Sin embargo, con entrenamiento adecuado, todos los bailarines mejoran su capacidad en cierto grado para cubrir las demandas específicas de la danza.

## Arquitectura muscular

Además del tipo de fibra, la arquitectura de un músculo dado es importante para cubrir demandas específicas. Dos características arquitectónicas de especial importancia son el área transversal y la disposición de las fibras.

### Área de sección transversal de los músculos

Básicamente, un músculo con más fibras musculares será capaz de generar más fuerza que otro con menos fibras. Las fibras musculares se suelen disponer en paralelo, y, por tanto, el área transversal refleja en cierto grado el número de fibras y la producción de fuerza. Aunque esta idea de la existencia de una relación directa entre el área de sección transversal y el número de fibras musculares se complique por la distinta disposición de las fibras y por el hecho de que distintas fibras presentan diámetros diferentes debido al tipo de fibra y a la hipertrofia, se mantiene el concepto de que un músculo más grande con un área de sección transversal mayor podrá producir más fuerza que otro músculo más pequeño con un área de sección transversal menor. Así, por ejemplo, el músculo glúteo mayor puede producir más fuerza que uno de los músculos isquiotibiales, en parte debido a su mayor área de sección transversal. Además, el entrenamiento de la fuerza suele causar un incremento del área de sección transversal de un mismo músculo (hipertrofia) y permitirá una mayor producción de fuerza.

### Disposición de las fibras

Las fibras musculares de un músculo entero adoptan dos disposiciones principales: estructura fusiforme o estructura penniforme, con muchas variaciones en cada uno de estos tipos. En los músculos **fusiformes,** en los que también se habla de disposición longitudinal, las fibras musculares se extienden en paralelo al eje mayor del músculo, como se aprecia en la figura 2.5A. Esta estructura permite la presencia de relativamente pocas fibras por unidad de superficie, por lo que supone una desventaja en términos de capacidad de producción de fuerza. Sin embargo, mediante esta estructura, las fibras de los músculos son por lo general más largas y ofrecen una ventaja respecto a la capacidad de acortamiento del músculo. Cuando las sarcómeras se contraen por completo, pueden reducir la longitud de la fibra muscular un 30-70% respecto a su longitud original en reposo, acortándose las fibras musculares un promedio del 50% (Hamill y Knutzen, 1995; Levangie y Norkin, 2001; Pitt-Brooke, 1998). Así, por ejemplo, un acortamiento del 50% de una fibra muscular del sartorio, que tiene unos 448 milímetros de longitud (Enoka, 2002), representaría unos 224 milímetros de acortamiento; un acortamiento del 50% de las fibras de los músculos vastos (músculos penniformes), que tienen unos 72 milímetros de largo, sólo representaría una disminución de longitud de 36 milímetros. Además, debido a la disposición longitudinal de las fibras, su acortamiento se traduce en un acortamiento casi equivalente del músculo fusiforme en conjunto. Por tanto, los músculos con esta estructura favorecen el movimiento de las extremidades en el espacio con mayor velocidad. Son ejemplos de músculos fusiformes el bíceps braquial, el pectíneo, el aductor corto, y el larguísimo y delgado músculo sartorio.

Por el contrario, en los músculos **penniformes,** las fibras se extienden adoptando un ángulo respecto al eje longitudinal del músculo, como se aprecia en la figura 2.5B. Esta disposición oblicua, parecida al diseño de una pluma, permite la presencia de más fibras en un volumen dado de músculo (una mayor área de sección transversal fisiológica) y, por tanto, una mayor capacidad para generar fuerza. Sin embargo, como estas fibras tienden a ser más cortas y también adoptan un ángulo respecto al eje longitudinal del músculo, un acortamiento del 50% de una fi-

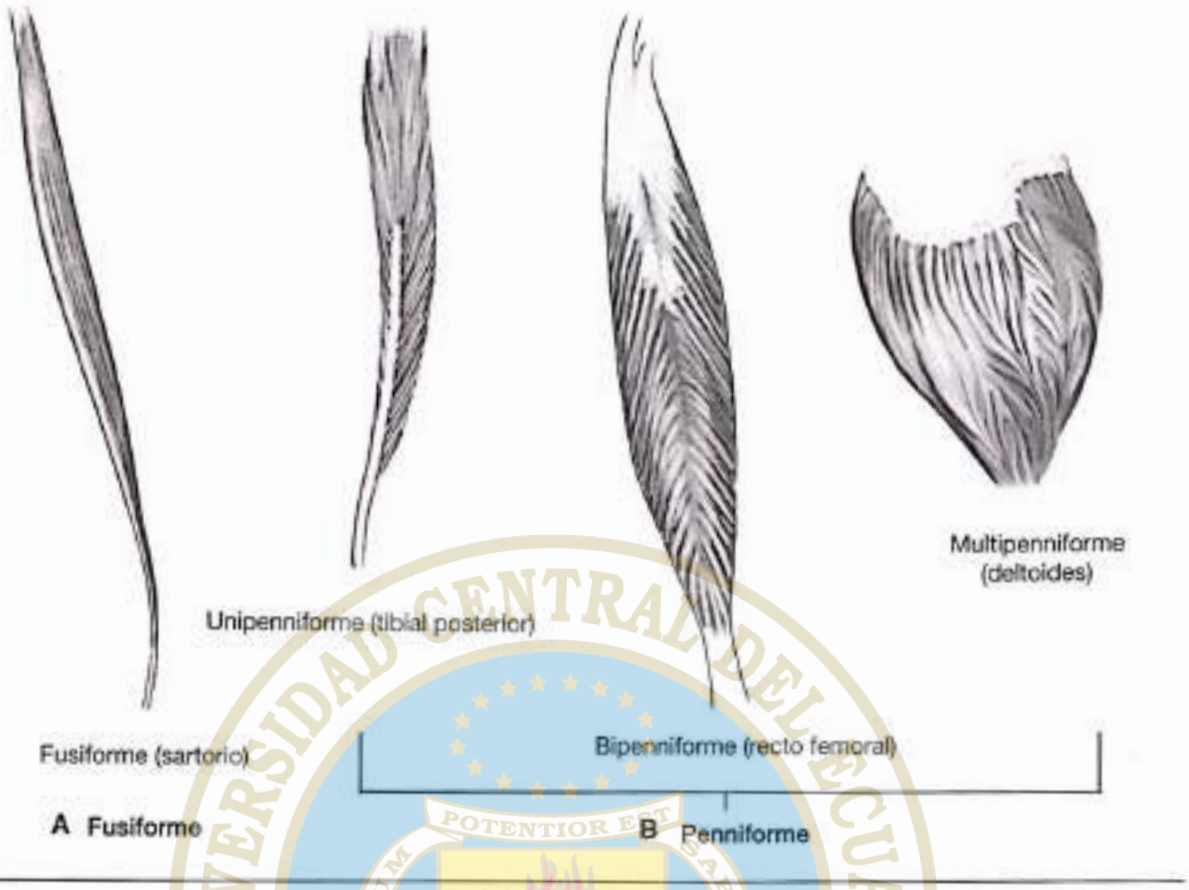



FIGURA 2.5. Disposición de las fibras musculares. (A) Fusiforme; (B) penniforme.

bra en estos músculos supone un acortamiento inferior del músculo en conjunto. Por tanto, la mayor producción de fuerza se consigue a expensas de una velocidad y una amplitud de movimiento menores. Aproximadamente las tres cuartas partes de los músculos del cuerpo humano adoptan esta estructura penniforme, como muchos músculos de las extremidades, sea el glúteo mayor, el cuádriceps femoral, el deltoides, el tibial posterior o el gastrocnemio.

## Inserciones musculares en el hueso

El tejido conjuntivo, que incluye el endomisio, el perimisio y el epimisio, está íntimamente relacionado con el tejido muscular y es clave para darle forma e insertar los músculos en sus huesos respectivos. Como se aprecia en la figura 2.6, los miocitos individuales están cubiertos por una vaina muy fina llamada **endomisio** (G. *endon*, dentro, + *mys*, músculo), mientras que los haces, formados por unas 100 a 200 fibras musculares (fascículos), están envueltos en una vaina densa de tejido conjuntivo llamada **perimisio** (G. *peri*, alrededor, + *mys*, músculo), y el músculo en conjunto está cubierto por otra membrana llamada **epimisio** (G. *epi*, encima, + *mys*, músculo). La porción central de un músculo, que tiende a ser más gruesa y en la que predominan las células contráctiles, se llama vientre **muscular**. Hacia los extremos del vientre muscular, terminan los miocitos, si bien el tejido conjuntivo que lo reviste se prolonga e inserta el músculo en uno o más huesos: directamente (p. ej., el trapecio, figura 2.7A), a través de un cordón o una banda plana llamado tendón (p. ej., el bíceps braquial, figura 2.7B), o mediante una estructura laminar de tejido fibroso llamada **aponeurosis** (p. ej., el dorsal ancho, figura 2.7C). Los tendones (G. *tendo*, extender) son la forma más habitual de inserción y sirven para concentrar la tracción del músculo en un área pequeña de hueso. Los tendones son muy fuertes. Se ha calculado que su resistencia a la tracción es 1.891 kilogramos por pulgada cuadrada en el adulto (Rasch y Burke, 1978), y que el tendón de Aquiles resiste cargas de tracción equivalentes o mayores que una barra de acero de dimensiones similares (Hamill y Knutzen, 1995). Debido a las grandes fuerzas transmitidas por los tendones y aponeurosis (G. *apon*, de, + *neurin*, tendón), la inserción de un tendón a menudo da origen a una protuberancia o tubérculo, mientras que la inserción de una aponeurosis genera una línea o cresta en el hueso en el que se inserta.

FIGURA 2.6. Estructura del músculo esquelético y del tejido conjuntivo afín.
Reproducido, con autorización, de R. S. Behnke, 2006, *Kinetic anatomy*, 2ª ed. (Champaign, IL, Human Kinetics), pág. 14.

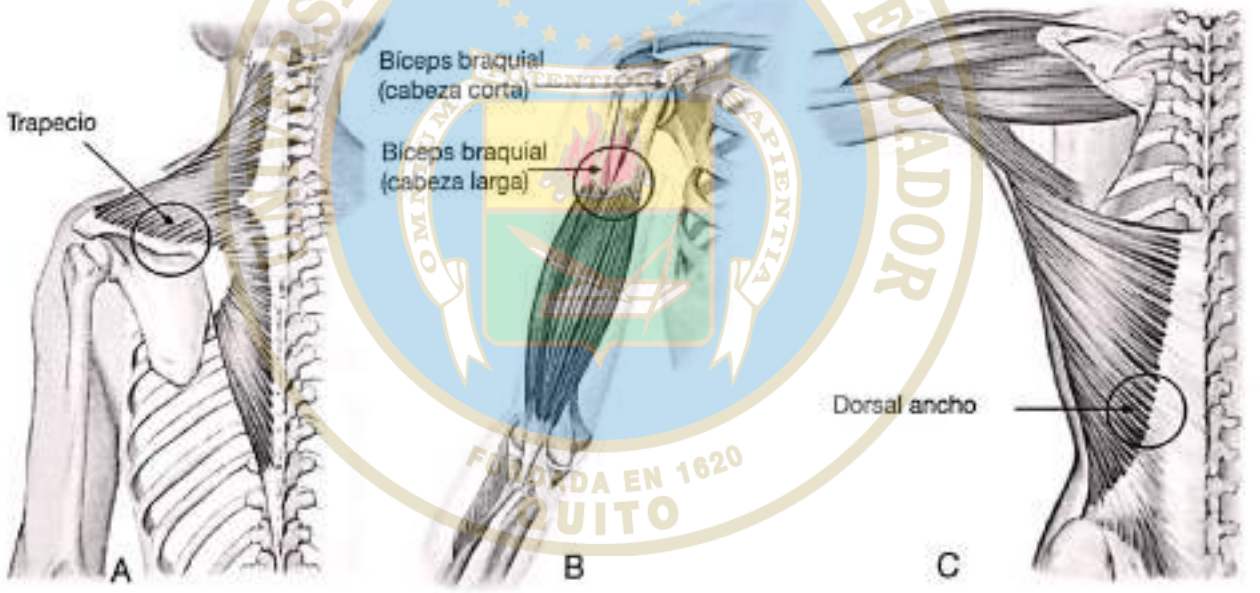



FIGURA 2.7. Inserciones musculares en los huesos (A) directamente, o indirectamente mediante (B) un tendón o (C) una aponeurosis.

## *Origen e inserción*

Estas inserciones de tejido conjuntivo con que se unen los músculos a los huesos se han denominado históricamente **origen** e **inserción**; el origen suele mantenerse estático mientras el segmento de la inserción se mueve; sin embargo, libros más recientes, incluido éste, han optado por sustituirlos por los términos **inserción proximal** e **inserción distal.** Aunque esta terminología es clara al hablar de las extremidades, a veces es necesaria terminología adicional para referirse al cuello, cabeza y tronco, como inserciones inferior y superior o inserciones medial y lateral. El empleo de estos términos alternativos a origen e inserción refleja mejor el concepto de que, cuando un músculo se contrae, ejerce la misma fuerza sobre todas las inserciones y tiende a ejercer tracción sobre ambas para apro-

ximarlas. El extremo que realmente se mueve depende de las fuerzas que intervengan, al igual que de la masa relativa de los segmentos adyacentes, o de la acción estabilizadora de los músculos adyacentes, y de si el segmento distal de la extremidad está fijo o en movimiento. Por ejemplo, cuando se flexiona un codo al levantar un peso (flexión de bíceps), la inserción proximal se mantiene estática, y son el antebrazo y la inserción distal del bíceps braquial los que se mueven. En muchos movimientos diarios de las extremidades (sobre todo de las superiores), este patrón se da cuando el segmento distal se mueve mientras los segmentos proximales están estabilizados debido a su mayor masa. Por lo general, es la forma más fácil de entender las acciones de un músculo dado y se denomina **acción habitual** de un músculo. Sin embargo, hay casos en el movimiento funcional en que el segmento distal está estático y son los segmentos proximales los que se mueven, o en que ambos segmentos se mueven a la vez. Cuando el segmento proximal se mueve, se denomina **inversión de una acción habitual** de un músculo. El *pull-up* es un ejemplo de inversión de una acción habitual del músculo bíceps braquial, porque los segmentos e inserciones proximales (húmero y tronco) se mueven mientras el segmento distal (antebrazo) se mantiene estático con las manos fijas en la barra. De forma parecida, elevar el muslo hacia delante mientras el tronco está inmóvil (figura 2.8A) refleja una acción habitual, mientras que elevar el tronco mientras el muslo está inmóvil refleja una inversión de una acción habitual del músculo psoasilíaco (figura 2.8B).

## Línea de tracción de un músculo

La localización de las inserciones proximal y distal de un músculo respecto al eje de la articulación es fundamental para determinar el tipo de movimiento articular que ocurrirá. Aunque técnicamente la línea de acción, o **línea de tracción**, de un músculo es el efecto neto (resultante) de las fuerzas aplicadas sobre un punto común de inserción de todas las fibras de un músculo dado (Levangie y Norkin, 2001), se puede calcular *grosso modo* esta fuerza resultante o «tracción» dibujando una flecha imaginaria de dos puntas con la base en cada inserción y apuntando hacia el centro del músculo, como se aprecia en la figura 2.9A. En los casos en que los músculos presentan inserciones amplias, la flecha se dibuja de modo que biseque la inserción ancha. En algunos casos con inserciones proximales o distales múltiples o muy anchas, se necesitan múltiples flechas, y distintas porciones del músculo pueden ejercer distintas acciones debido a las diferentes líneas de tracción respecto a los ejes de movimiento. En tales casos, la forma habitual de reflejar esta diferencia en las acciones consiste en dividir el músculo en porciones, como las porciones superior (clavicular) e inferior (esternal) del músculo pectoral mayor (figura 2.9A). Aunque sea simplista y no tenga en cuenta todos los factores implicados en un análisis matemático exacto de la línea de tracción de un

FIGURA 2.8. Acciones habitual e inversa del músculo psoasilíaco. (A) Elevación del muslo; (B) elevación del tronco.
Bailarina: Merett Millar, del Sacramento Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1826
QUITO

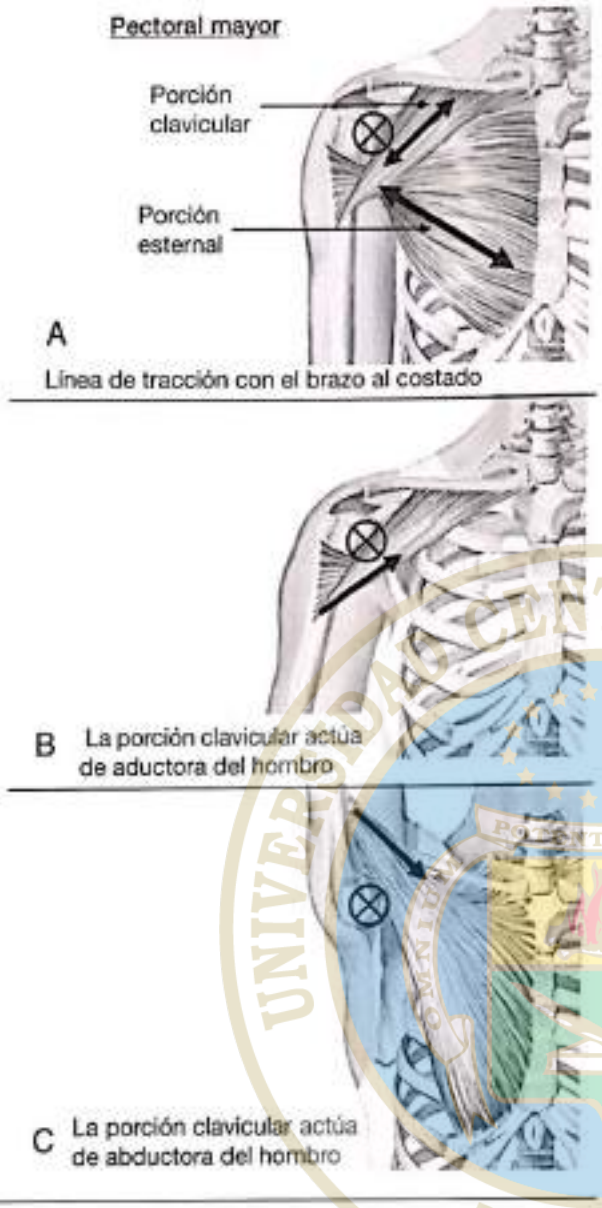



FIGURA 2.9. Cambio en la línea de acción del músculo pectoral mayor con distintos ángulos de abducción del hombro.

músculo, es una herramienta eficaz para deducir las acciones de un músculo dado según la tradición de Platzer (1978) y Kreighbaum y Barthels (1996). Animo a los lectores a que inicien el aprendizaje de las acciones de los músculos de este modo en vez de memorizándolas con el fin de facilitar el aprendizaje, dotar de un medio de autoexamen y favorecer la retención de los datos. Si sólo se aprende la localización y línea de tracción de un músculo, las acciones son fáciles de imaginar aplicando la lógica, o bien se pueden evaluar acciones conjeturadas. Para facilitar este proceso, en los capítulos 3 a 7 aparecen figuras de resumen donde se muestran las líneas aproximadas de tracción de los principales músculos y sus respectivas articulaciones.

Cuando se aplique el análisis de la línea de tracción a un movimiento específico, en vez de a un músculo concreto, la flecha de dos puntas se reemplaza por otra con una sola punta. La dirección de esta flecha refleja la tracción del músculo sobre el segmento corporal que se mueve en un momento dado.

También es importante darse cuenta de que la línea de tracción de un músculo puede cambiar su relación con el eje de rotación de una articulación dada en distintas amplitudes de movimiento, causando que el músculo cambie su acción. Por ejemplo, la porción superior (clavicular) del pectoral mayor actúa como aductora del hombro cuando el brazo está abajo, como se aprecia en la figura 2.9B; pero, cuando el brazo se lleva arriba por encima de la altura del hombro (90° de abducción del hombro), la línea de tracción se desplaza por encima del eje de rotación del hombro, y la porción clavicular del pectoral mayor se convierte en abductora del hombro, como se ve en la figura 2.9C. En danza, el mismo cambio en la línea de tracción ocurre cuando se elevan los brazos a la quinta posición, y el bailarín puede palpar la contracción del músculo pectoral mayor en los grados finales de amplitud del movimiento.

## Músculos, palancas y movimiento angular

Cuando se aplica fuerza sobre un sistema que no ofrece oposición alguna en ningún punto, el movimiento se produce en línea recta; es decir, es un **movimiento lineal**. Sin embargo, como se ha dicho con anterioridad, en el cuerpo humano los huesos están sujetos en las articulaciones, y por tanto, cuando un músculo se contrae, sus inserciones generan la rotación del hueso o de segmentos corporales asociados sobre su eje o ejes articulares. Esta forma de movimiento se llama **movimiento angular**, y se da en todo tipo de articulaciones sinoviales (diartrosis), excepto en las anfiartrosis. Conocer el movimiento angular y las palancas es importante para asumir lo cambiante que resulta la configuración del cuerpo, pues pasar de tener la rodilla flexionada a extendida influye profundamente en las fuerzas necesarias para ejecutar un movimiento.

Es más fácil comprender el movimiento angular si nos fijamos en la forma de trabajar de una palanca. En resumidas cuentas, una **palanca** es una barra rígida que se mueve sobre un punto fijo llamado **eje**, pivote o fulcro. En el cuerpo humano, los huesos actúan de palancas, y la articulación interpuesta sirve de eje (A). Los músculos se insertan en las palancas o huesos y, cuando se contraen, suelen generar movimientos angulares sobre el eje fijo o relativamente fijo de la articulación (en realidad, el eje de las articulaciones tiende a desplazarse ligeramente según los distintos grados de amplitud). Esta tendencia de los músculos a generar rotación en una dirección, llamada **esfuerzo** (E), se contrarresta con la ten-

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.1

### *Distintas acciones del músculo pectoral mayor*

Las distintas funciones de las porciones clavicular y esternal del músculo pectoral mayor se muestran en el siguiente ejercicio.

- **Flexión y extensión de los hombros.** Siéntate con las manos entrelazadas a la altura del hombro con ambos codos extendidos. Tira al mismo tiempo del brazo derecho hacia abajo (extensión del hombro) y del brazo izquierdo hacia arriba (flexión del hombro) de modo que no haya un movimiento neto de los hombros. Fíjate en la porción esternal del pectoral mayor, que se contrae en el lado derecho del pecho, y en la porción clavicular del mismo músculo, que se contrae en el lado izquierdo del pecho.
- **Aducción horizontal de los hombros.** Ejerce presión con ambas manos y brazos uno contra otro de modo que no haya movimiento neto en los hombros (aducción horizontal isométrica). Fíjate en la contracción de las porciones clavicular y esternal del pectoral mayor a ambos lados del pecho.

dencia de la **resistencia (R)** a producir una rotación en la dirección opuesta. El componente –esfuerzo, eje o resistencia– situado entre los otros dos determina a cuál de los tres tipos pertenece una palanca, como se muestra en la figura 2.10. Es más sencillo recordar las diferencias entre palancas si se recuerda que las letras de los componentes centrales medios forman la palabra «ARE» (*axis-resistance-effort*) cuando se pasa de las palancas de primera a tercera clase. Por tanto, en una **palanca de primera clase**, el eje se halla en el medio, y el esfuerzo y la resistencia se encuentran en los lados opuestos de este eje. Esta disposición sirve para mantener el equilibrio, o para generar una fuerza eficaz o alcanzar gran movilidad, dependiendo de las distancias relativas desde el esfuerzo y la resistencia al eje. Los balancines, las tijeras y las palancas de pie de cabra funcionan como palancas de primera clase. En el cuerpo, la articulación atlantooccipital (A) actúa como palanca de primera clase, donde el peso de la cabeza (R) se equilibra con la fuerza de los músculos extensores de la cabeza/cuello (E).

En una **palanca de segunda clase**, la resistencia se encuentra entre el eje y el esfuerzo, haciendo que la distancia entre el esfuerzo y el eje siempre sea mayor que la distancia entre el eje y la resistencia. Esta disposición multiplica la eficacia del esfuerzo, refiriéndose a la aplicación de menos fuerza para vencer una resistencia dada. La carretilla, el cascanueces y la llave para apretar y aflojar tuercas funcionan como palancas de segunda clase. Probablemente este tipo de palanca no exista en estado puro en el cuerpo humano, si bien hay casos en los movimientos en cadena cinética cerrada en que el músculo actúa sobre el segmento proximal mientras el segmento distal (p. ej., el pie o la mano) está fijo, de modo que la porción distal del cuerpo actúa como una palanca de tercera clase. Por ejemplo, en un *relevé*, la bailarina se pone de puntillas (articulaciones metatarsofalángicas) (A), y el peso del cuerpo (R) es superado por la contracción de los músculos de la pantorrilla (E).

En una **palanca de tercera clase**, el esfuerzo se halla entre la resistencia y el eje, siendo mayor la distancia entre la resistencia y el eje que la distancia entre el eje y el esfuerzo. Esta disposición favorece la amplitud del movimiento y la velocidad a expensas de la eficacia de la fuerza. Las pinzas y muchos implementos deportivos (bates, raquetas, palas) se utilizan como palancas de tercera clase. La mayoría de los músculos del cuerpo humano, cuando actúan en movimientos en cadena cinética abierta, funcionan como palancas de tercera clase. Un ejemplo es el músculo deltoides (E), que produce abducción del brazo (R) en la articulación glenohumeral (A).

## *Torque (momento de una fuerza)*

Vamos a exponer este concepto con más detalle: la capacidad o eficacia de una fuerza para generar rotación se denomina torque (L. *torque*, torsión) o **momento de fuerza.** El grado de torque que actúa para hacer rotar un sistema dado se calcula multiplicando la fuerza por la distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación o de rotación potencial. Esta última cantidad (la distancia perpendicular entre la línea de fuerza y el eje de rotación) se denomina brazo de fuerza o **brazo de palanca.** El punto clave aquí es que no es sólo la magnitud de la fuerza, sino también la distancia al eje (p. ej., la articulación) sobre el que actúa, lo que determina su efecto. Así, cuando se analiza el movimiento articular, la fuerza resultante de la contracción muscular se denomina esfuerzo (E); la línea de esta fuerza sería la línea de tracción del músculo, y el punto de aplicación de esta fuerza sería la inserción del músculo en el hueso. Por tanto, como se aprecia en la figura 2.11, el torque del músculo (T) = potencia (P) x brazo de potencia (BP). No obstante, a este torque generado por la contracción de los músculos que intentan producir un

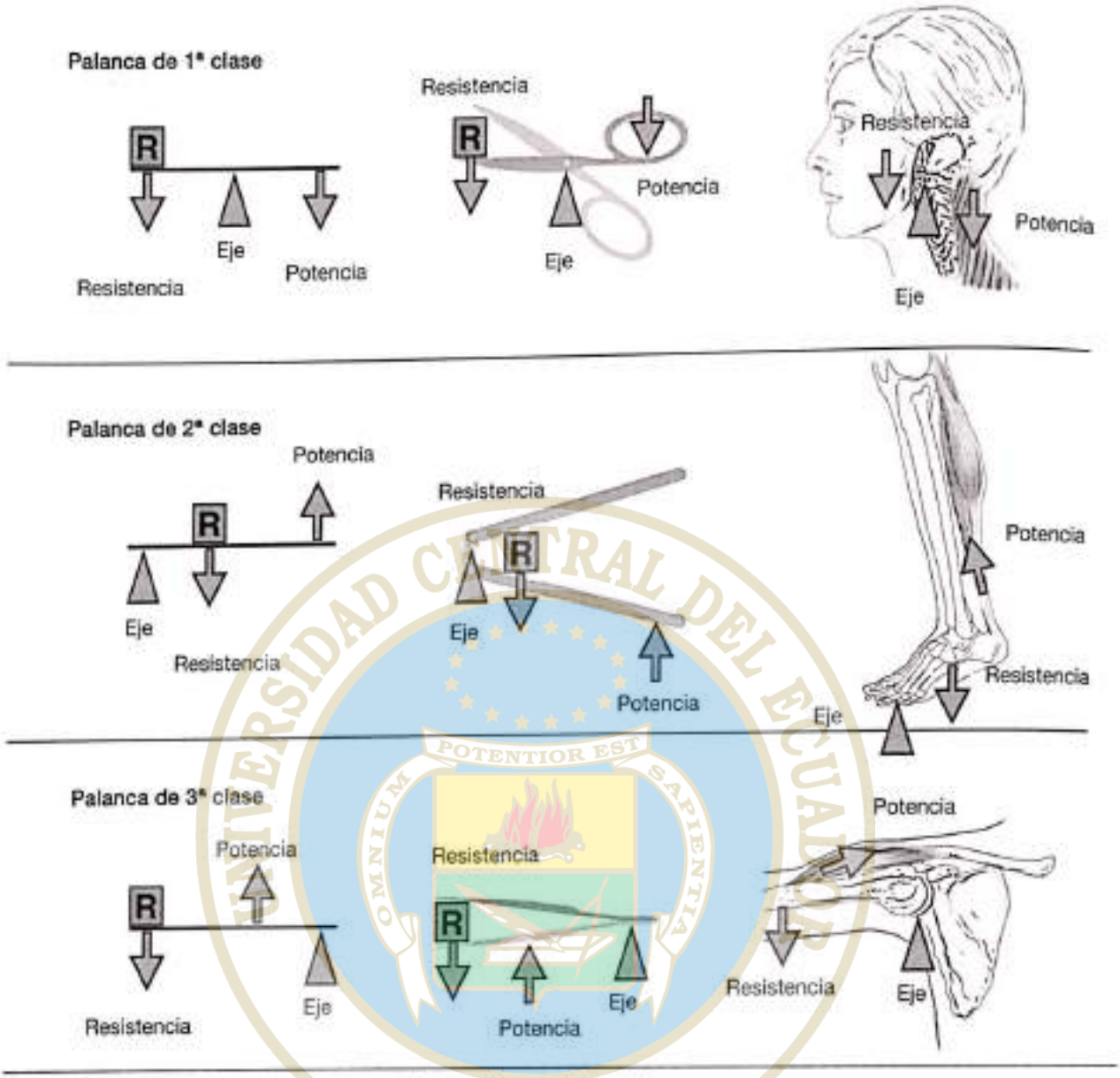


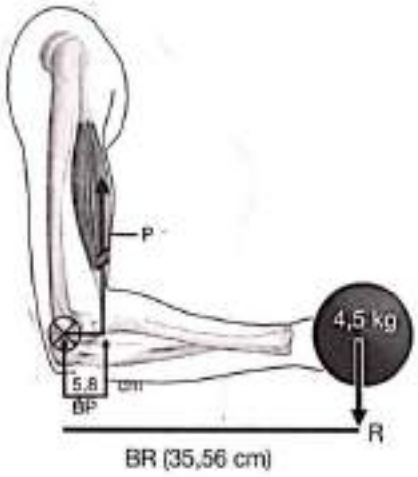

FIGURA 2.10. Las tres clases de palancas usadas en el movimiento del cuerpo.

movimiento dado se opone el torque generado por la resistencia a dicho movimiento. Cuando el torque de la resistencia se debe a fuerzas externas, como el efecto de la gravedad sobre una mancuerna o un segmento corporal, entonces el torque de la resistencia = resistencia (R) x brazo de resistencia (BR).

## *Ventaja mecánica*

La relación entre el brazo de palanca de la potencia y el brazo de palanca de la resistencia tiene importantes consecuencias para poder vencer la resistencia y se llama **ventaja mecánica** (BP/BR). Si los brazos de palanca de la potencia y de la resistencia fueran de la misma longitud, la ventaja mecánica sería 1, es decir, para sostener un peso de 6,8 kilogramos, necesitaríamos 6,8 kilogramos de fuerza muscular para contrarrestar este peso. Sin embargo, en la mayoría de las extremidades humanas predominan las palancas de tercera clase, donde el BP es mucho menor que el BR, como se aprecia en la figura 2.11A. Dado que, en las palancas de tercera clase, la potencia se localiza entre el eje y la resistencia, el BR siempre es mayor que el BP y la ventaja mecánica siempre es inferior a 1 (figura 2.11B). Además, las inserciones musculares suelen estar muy cerca de la articulación (eje), por lo que el BP es muy pequeño en relación con el BR, por lo que la ventaja mecánica a menudo es 0,1 o incluso menor (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

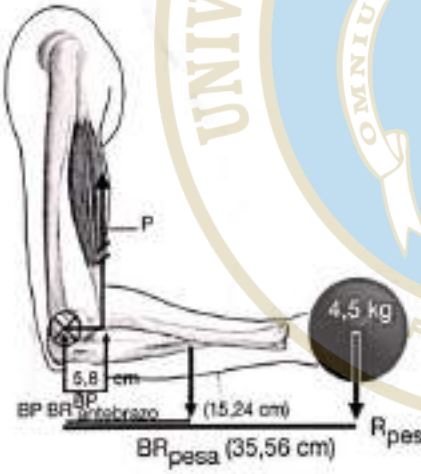
Esto confiere a las extremidades muy poca ventaja mecánica, por lo que hay que generar grandes fuerzas muscu-




$$P \times BP = R \times BR$$

$$P = \frac{R \times BR}{BP} = \frac{4{,}5\ kg \times 35{,}56}{5{,}8} = 31{,}75\ kg$$

$$\text{Ventaja mecánica} = \frac{BP}{BR} = \frac{5\ cm}{35{,}56\ cm} = \frac{1}{7}$$ B




$$P \times BP = R_1 \times BR_1 + R_2 \times BR_2$$

$$P = \frac{R_{antebrazo} \times BR_{antebrazo} + R_{pesa} \times BR_{pesa}}{BP}$$

$$P = \frac{(1{,}361\ kg \times 15{,}24\ cm) + (4{,}5\ kg \times 35{,}56\ cm)}{5{,}8\ cm} = 35{,}83\ kg$$

FIGURA 2.11. Palancas y torque. (A) Fuerza del bíceps necesaria para vencer el torque de la mancuerna; (B) ventaja mecánica; (C) fuerza del bíceps requerida para vencer el torque de la mancuerna y el antebrazo.

lares para vencer resistencias relativamente bajas. Por ejemplo, como se ve en la figura 2.11C, el bíceps braquial tiene que ejercer unos 351 N de fuerza para sostener en la mano un peso de 4,5 kilogramos. Este cálculo, al contrario que el de la figura 2.11A, tiene en cuenta la contribución del peso del antebrazo, así como el peso de la mancuerna. Cuando se hace un cálculo y el peso externo es grande (p. ej., levantar a una bailarina), el peso del brazo se puede ignorar para simplificar la operación, dado que su contribución al torque generado por la resistencia es relativamente pequeña. Sin embargo, en otros casos, como al levantar una extremidad inferior en una clase de danza (p. ej., una extensión lateral), tener en cuenta el peso de esta extremidad es vital, y es sobre todo el torque producido por el peso de la pierna lo que deben vencer los músculos de la cadera para lograr el movimiento deseado.

No obstante, tanto si el peso de la extremidad es o no clave, lo importante sigue siendo que los músculos tienen que generar grandes fuerzas para superar resistencias mucho más pequeñas, y que el tríceps braquial debe generar unos 987 N de fuerza para que la mano aplique 89 N de fuerza en una báscula. En casos en que el codo está extendido y el brazo de resistencia es mayor, el torque producido por un peso de 4,5 kilogramos es aproximadamente de 89 N a la altura del hombro –como se ve en la figura 2.12A–, y se necesitarán unos 1.335 N de tensión en el deltoides para elevar el brazo hasta esa altura (Rasch y Burke, 1978). Por tanto, en las extremidades del hombre, este predominio de las palancas de tercera clase representa una grave desventaja en lo que a la ventaja mecánica se refiere, y tiene implicaciones importantes para la predisposición a sufrir lesiones. Sin embargo, esta arquitectura favorece una gran movilidad al final de la palanca y supone una ventaja potencial en la velocidad de movimiento de este segmento distal. En consecuencia, aunque se necesitaría que el músculo deltoides generara mucha fuerza para sostener la mancuerna de 4,5 kilogramos, un ligero acortamiento del deltoides se traduce en una excursión mucho mayor de la mano. Esta capacidad de mover la mano o el pie en una gran amplitud y, si se desea, a gran velocidad, se suele emplear en danza y en muchos otros movimientos humanos.

## Equilibrio frente a movimiento

En último término, la relación entre el torque neto del músculo y la resistencia conlleva implicaciones importantes para el movimiento de las articulaciones. En esencia, si el torque del músculo es exactamente igual al torque de la resistencia, el sistema se halla en **equilibrio** y no se produce ningún movimiento neto. Si el torque del músculo (potencia) es mayor que el torque de la resistencia, se producirá rotación articular en la dirección de la tracción del músculo. Y si el torque de la resistencia es mayor que el del músculo, la ro-

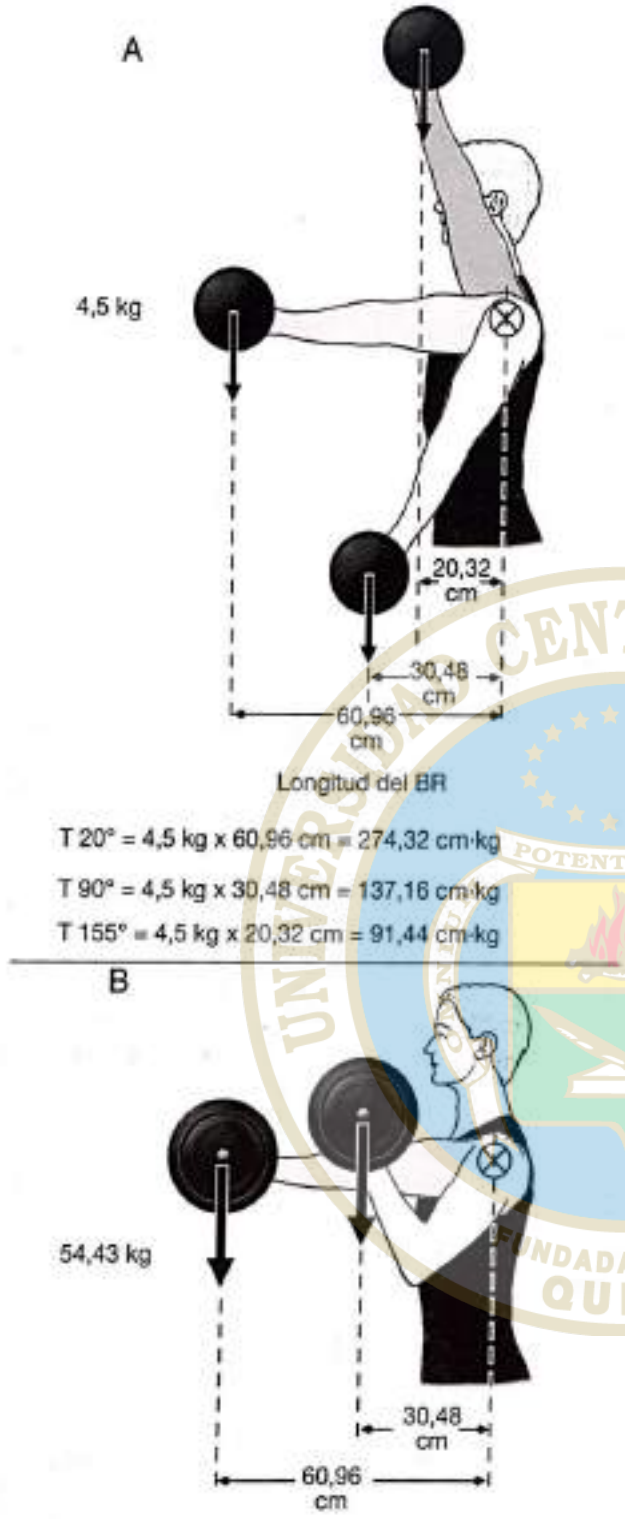



FIGURA 2.12. Cambio en el torque (T) de la resistencia cuando (A) cambia la posición angular del hombro, y (B) cambia la posición angular del codo y el hombro.

tación articular se producirá en la dirección de la resistencia (tabla 2.3).

Si aplicamos estos conceptos a la danza, cuando se levanta a una bailarina a la altura de los hombros, el torque de los músculos debe ser igual al torque de la bailarina (p. ej., peso de la bailarina x distancia perpendicular al eje articular de los hombros).

Cuando se levanta a la bailarina, el torque muscular es mayor que el torque de la resistencia (bailarina); y cuando se la hace descender, el torque muscular es inferior al torque producido por la bailarina. Además, como se muestra en la figura 2.12B, si el peso de la bailarina es de 54,43 kilogramos, y acercas su cuerpo al tuyo cuando la levantas, se reduce en grado sumo el torque de la bailarina y la cantidad de fuerza necesaria para levantarla. Por el contrario, el alejar de ti el cuerpo de la bailarina al levantarla aumenta de forma espectacular la fuerza muscular necesaria para generar el movimiento.

Teniendo en cuenta este concepto, es fácil comprender cómo los movimientos funcionales del ser humano a menudo incorporan la flexión de las extremidades (codos y rodillas) para acortar los brazos de palanca cuando la reducción del torque de la resistencia resulta ventajosa. También explica por qué una persona de extremidades muy largas tiene que hacer esfuerzos mucho mayores que otra de extremidades cortas para levantar a una bailarina de determinado peso.

## Ángulo de inserción (o tracción) muscular

Aunque el brazo de palanca de la resistencia es clave para determinar el torque de resistencia, en la eficacia de la fuerza muscular para producir la rotación deseada influye mucho el ángulo de inserción del músculo en el hueso. La fuerza muscular (o esfuerzo) adopta una dirección determinada por su ángulo de inserción y una magnitud determinada por el grado de contracción muscular, y por tanto es un vector. Una propiedad básica de los vectores es que se pueden descomponer en los componentes vertical o perpendicular y horizontal o paralelo.

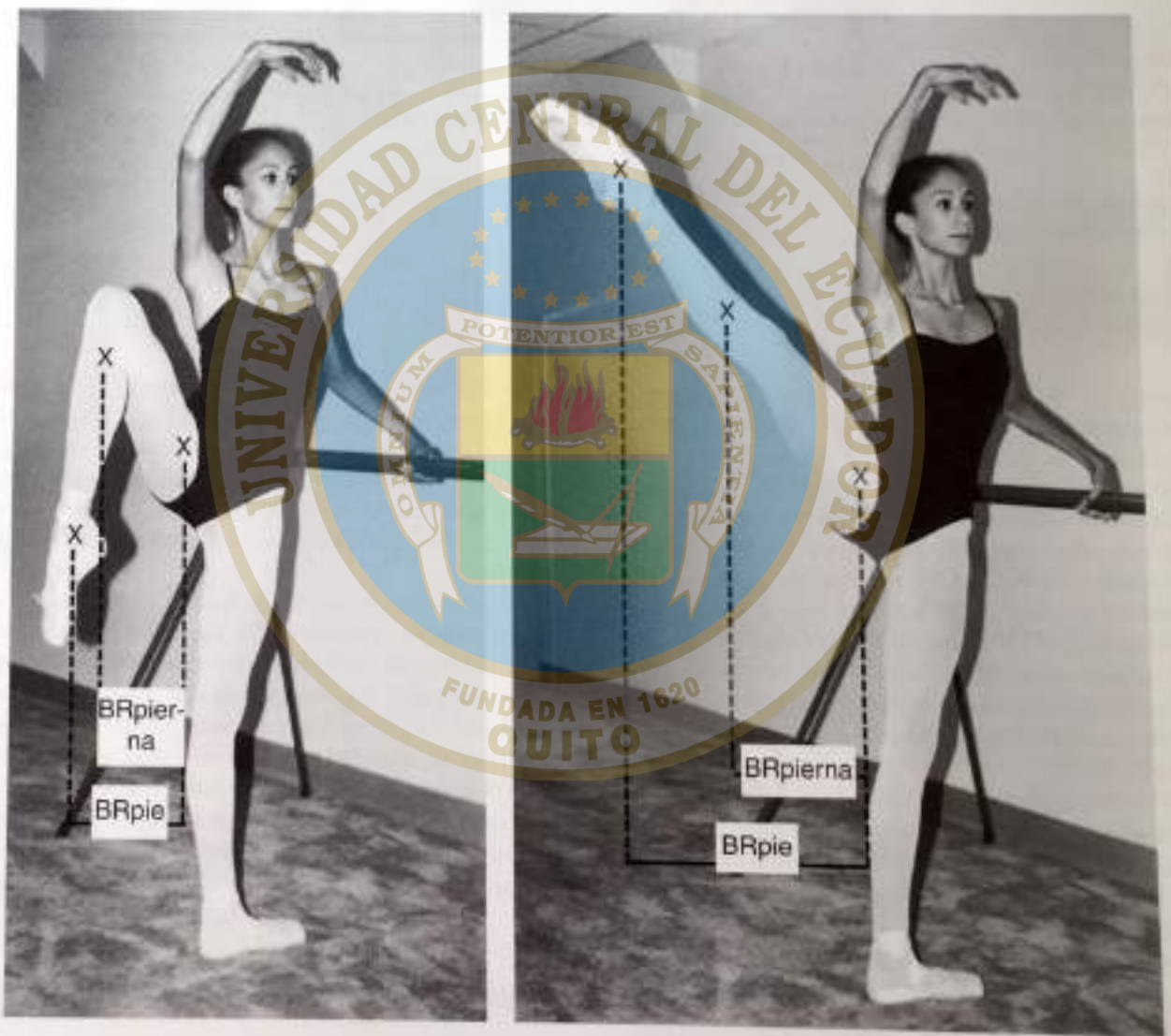
En el cuerpo humano, el componente perpendicular del esfuerzo muscular tiende a producir rotación de la articulación, y por tanto, se denomina **componente rotatorio**, como se ve en la figura 2.13. En cualquier otro ángulo de tracción distinto de 90°, el **componente paralelo** (que discurre en paralelo al hueso distal y a través del eje de la articulación) del esfuerzo muscular tenderá a empujar el hueso distal hacia la articulación (estabilizándola) o alejándolo de la articulación (luxándola), dependiendo de la posición angular de la articulación. Así, en ángulos inferiores a 90°, sólo parte del esfuerzo muscular generará rotación (componente rotatorio), mientras que otra parte contribuirá a la estabilidad articular (componente paralelo), como se

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.2

## *La influencia de los brazos de palanca sobre el torque*

Practica los siguientes movimientos sentado o de pie.

- **Empleo de un brazo de palanca.** Sostén la bolsa de deporte u otro objeto pesado a la altura del hombro con los codos extendidos. Piensa en la distancia a la que la bolsa está del hombro, es decir, en el brazo de **palanca** de la resistencia, y en el gran torque que esta bolsa ejerce. Fíjate en el esfuerzo muscular que necesitas para mantener la bolsa a esa altura y distancia.
- **Acortamiento del brazo de palanca.** Flexiona los codos y acerca la bolsa al pecho a la altura de los hombros. Fíjate en el cambio en el brazo de **palanca** de la resistencia. ¿Por qué resulta más ligera la bolsa, y por qué necesitas menos esfuerzo muscular para mantenerla a la altura de los hombros?
- **Aplicación a otros movimientos de baile.** Ahora considera el peso de la pierna como resistencia. ¿Cómo facilita el levantar más alto la pierna en un *développé* el tener la rodilla flexionada respecto a estirada?




$BR_{pierna}$ = brazo de palanca de la pierna
$BR_{pie}$ = brazo de palanca del pie

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 2.3. Relación entre el torque neto, el movimiento articular y el tipo de contracción muscular**

| Tipo de contracción muscular | Concéntrica | Isométrica | Excéntrica |
|---|---|---|---|
| | | | |
| Relación con el torque | P x BP > R x BR | P x BP = R x BR | R x BR > P x BP |
| Movimiento neto | Movimiento angular *sinistrosum* en la dirección de la tracción muscular | No hay movimiento | Movimiento angular *dextrosum* en la dirección de la resistencia |

*Sinistrosum* = levogiro
*Dextrosum* = dextrogiro

aprecia en la figura 2.13A. Esto supone una desventaja para el movimiento pero una ventaja para la estabilidad articular, que es particularmente útil cuando las extremidades están en carga. Cuando el ángulo de tracción de un músculo es perpendicular (90°) al hueso sobre el cual actúa, virtualmente todo el esfuerzo del músculo contribuirá a la rotación articular (figura 2.13B), una situación óptima para el movimiento. Finalmente, cuando el ángulo de tracción del músculo es mayor de 90°, de nuevo sólo una parte del esfuerzo muscular producirá rotación articular (componente rotatorio), mientras que otra parte actuará luxando la articulación (componente paralelo), como se ve en la figura 2.13C.

Por este motivo, una articulación sometida a una carga en flexión extrema, como durante el trabajo de suelo en danza, corre mayor riesgo de lesionarse. Sin embargo, la utilización cuidadosa de los músculos que tienden a luxar la articulación en la dirección opuesta ayuda a proteger y estabilizar la articulación.

## Tipos de contracción (tensión) muscular

La relación entre el torque neto del músculo y la resistencia neta de la que se ha hablado previamente también se puede asociar con los tipos de contracción o tensión muscular. Antes de estudiar los posibles tipos de contracción muscular, es importante recordar la teoría de los filamentos deslizantes y que esta tensión muscular sólo puede acercar los extremos de los músculos entre sí (la llamada ley de aproximación) y no puede separarlos. Esto hace afirmar que «los músculos sólo pueden ejercer tracción y no presión».

Sin embargo, aunque en un miocito se dé el mismo proceso interno de la formación de puentes cruzados, el músculo en conjunto puede acortarse, elongarse o mantener la misma longitud, dependiendo de si el torque producto de la contracción del músculo es mayor, menor o igual que el torque de la resistencia. Estas diferencias se han descrito tradicionalmente como tipos de contracciones musculares. Sin embargo, dado que contracción implica «acortamiento», algunos autores prefieren la fórmula «tipos de tensión muscular».

### *Contracción muscular dinámica*

Hay una **contracción** (o tensión) **muscular dinámica** cuando se produce un cambio en la longitud del músculo implicado y un movimiento articular observable. Hay dos tipos de contracciones dinámicas (antes llamadas **isotónicas**): concéntricas y excéntricas.

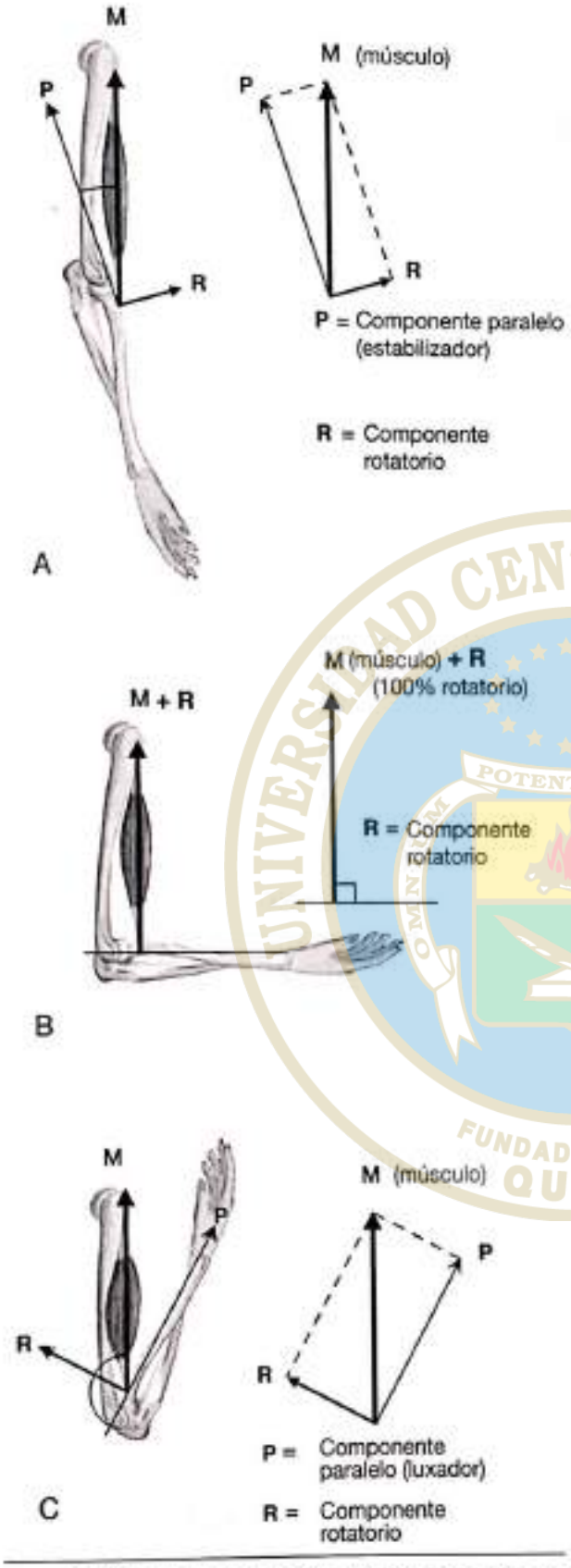



FIGURA 2.13. Influencia del ángulo de inserción del músculo sobre los componentes rotatorio y paralelo de la fuerza muscular.

### Contracción concéntrica

Una **contracción concéntrica** implica un acortamiento del músculo y, como resultado, un movimiento articular visible (p. ej., flexión, abducción) en la dirección de la acción del músculo principal. "Concéntrica" significa *grosso modo* «hacia el centro», y con este tipo de contracción, ambas inserciones del músculo tienden a acercarse la una a la otra mientras el músculo se acorta. En las sarcómeras, la actina se desplaza hacia el centro de las mismas cada vez que se forma un puente cruzado. Ésta es la forma clásica en que pensamos la contracción muscular, y la contracción concéntrica constituye la base sobre la que se construyen las listas de acciones de los músculos.

En las contracciones concéntricas, el torque del músculo o grupo muscular es mayor que el de la resistencia, y el movimiento articular adopta la misma dirección que el torque generado por el músculo o grupo muscular. Por ejemplo, se da una contracción concéntrica del bíceps en un ejercicio de flexión durante la fase ascendente del movimiento (tabla 2.3A), porque el torque de los músculos flexores del codo (incluido el bíceps braquial) es mayor que el torque de la resistencia ofrecida por el peso de la mancuerna y el antebrazo.

Las contracciones concéntricas se suelen usar en la fase ascendente de los movimientos de danza, como al levantarse tras un *plié*, en la fase de despegue de un salto o al levantar los brazos por encima de la cabeza.

### Contracción excéntrica

Una **contracción excéntrica** implica la «elongación» del músculo (es decir, aumento de la distancia entre origen e inserción) durante un movimiento articular visible. "Excéntrica" significa *grosso modo* «lejos del centro», y en las contracciones excéntricas, la resistencia elonga el músculo mientras éste se está contrayendo para controlar el efecto de dicha resistencia. En las sarcómeras, la actina se aleja del centro de la sarcómera, y los puentes cruzados se destruyen y reforman a medida que el músculo se elonga (Levangie y Norkin, 2001). En la mayoría de los casos, el músculo no se elonga por encima de su longitud en reposo, sino que reduce gradualmente el grado de contracción desde el estado de acortamiento (posición contraída) hasta la longitud en reposo.

En las contracciones excéntricas, el torque producido por la resistencia es mayor que el torque producido por el músculo, y la dirección del movimiento es opuesta a la del torque muscular y en la misma dirección que la resistencia.

En el movimiento humano, este tipo de contracción se emplea a menudo para controlar los efectos de la gravedad, para desacelerar segmentos corporales y para amortiguar las cargas por impacto (Dye y Vaupel, 2000). Por ejemplo, en la fase descendente de una flexión de codo (tabla 2.3C), la

ÓRDENES EN LA DANZA 2.1

### «Levanta las rodillas»

Aunque algunas escuelas prefieren una postura más relajada, otras escuelas de danza animan a los bailarines a «levantar las rodillas» sobre la pierna de apoyo durante el trabajo en la barra o en el suelo en el centro de la sala. Esta indicación se ejercita mejor animando a los estudiantes a no dejar que los músculos del muslo se «relajen», ni que las rótulas queden «sueltas», ni que la rodilla de apoyo se doble u «oscile». Desde una perspectiva anatómica, tensar el músculo cuádriceps femoral puede ejercer tracción sobre la rótula hacia arriba, crear la tensión deseada en el muslo, ofrecer estabilidad articular (gran componente paralelo estabilizador) y prevenir que la rodilla se doble. Aunque no se recomienda en muchas clases de danza una contracción máxima por razones estéticas, con el fin de evitar el hiperdesarrollo de los muslos, para lograr la eficacia de movimientos deseada, una ligera contracción del cuádriceps ayuda a estabilizar la rodilla de la pierna de apoyo y prepara los músculos para los ligeros y rápidos ajustes necesarios mientras se mueve la pierna que realiza el gesto. La tensión de los músculos alrededor de una articulación mejora la sensibilidad al estiramiento de algunos receptores musculares, y potencia mucho la propiocepción en esa articulación (Irrgang y Neri, 2000). También corrige la tendencia de algunos bailarines a depender demasiado de elementos pasivos de sustentación, como los ligamentos, para la estabilidad.

No obstante, algunos bailarines tienden a adoptar una postura en hiperextensión de la rodilla al contraer el cuádriceps. En estos casos, suele ser útil pedir en voz alta que «relaje un poco la tracción sobre la rótula» o que «tense suavemente tanto la cara anterior como posterior de las rodillas». En este último caso, se busca generar una ligera cocontracción del cuádriceps y los isquiotibiales para lograr una estabilidad equilibrada, a la vez que los isquiotibiales (flexores de la rodilla) quedan preparados para impedir una posible hiperextensión de la rodilla, que a veces se asocia con una contracción excesiva del músculo cuádriceps femoral. Algunos ejemplos de registro electromiográfico del cuádriceps femoral, los isquiotibiales y los aductores de ciertos bailarines –que aparecen más adelante en este capítulo– demuestran la existencia de diferencias individuales en la activación muscular asociada con la «preparación» de pie en *en dehors* (véase Pruebas y mediciones 2.1, pág. 64).

gravedad es la fuerza externa que genera el movimiento, y son los músculos flexores del codo los que trabajan excéntricamente para controlarla. Si los flexores del codo no se activaran, la gravedad haría que el peso descendiera demasiado rápido, con el riesgo potencial de causar una lesión articular. En este caso, el torque de la resistencia es mayor que el de los músculos. Es importante reparar en que, aunque se produzca la extensión del codo (por efecto de la gravedad), son los flexores del codo y no los extensores los que se usan para controlar esta extensión. Por tanto, el mismo grupo muscular trabaja durante las fases ascendente y descendente, sólo con una contracción concéntrica y excéntrica, respectivamente. Las contracciones excéntricas se suelen usar en la fase descendente de los movimientos de danza, como en el descenso de un *plié*, en la recepción de un salto o al bajar hacia los costados los brazos que estaban por encima de la cabeza.

## Contracción muscular estática (isométrica)

Una **contracción estática** o **isométrica** (G. *iso*, igual, + *metron*, medida) significa *grosso modo* «de igual longitud» y comprende una contracción parcial o completa de un músculo sin que se aprecie ningún movimiento articular visible. En las sarcómeras, hay un ligero desplazamiento inicial de la actina hacia el centro de la sarcómera hasta *que se llega al límite de la movilidad* del complejo musculotendinoso en conjunto, instante en que se produce la formación cíclica de puentes cruzados en los mismos puntos. Por tanto, aunque el músculo implicado genere tensión activa, el torque generado por el músculo se contrarresta en igual medida por el torque de la resistencia, por lo que no se produce ningún movimiento neto.

La resistencia puede proceder de fuerzas internas generadas por la contracción de músculos con acciones opuestas o de una fuerza externa como otra persona, un peso o la gravedad. Por ejemplo, una contracción isométrica de los músculos flexores del codo sería operativa cuando se sostiene una mancuerna en un ángulo dado y no se permite que se modifique ese ángulo (tabla 2.3B).

Las contracciones isométricas también se usan posturalmente para mantener la posición de partes del cuerpo o de éste en conjunto. Por ejemplo, en ortostatismo, el músculo sóleo se suele contraer isométricamente para impedir que el cuerpo se precipite hacia delante.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.3

### *Contracciones musculares concéntricas, excéntricas e isométricas*

Practica con mucha lentitud un *développé en avant*.

- **Análisis del tipo de contracción.** Analiza si se usa una contracción isométrica, concéntrica o excéntrica de los músculos flexores de la cadera en las siguientes fases del movimiento:
  - –Fase ascendente
  - –Fase de mantenimiento
  - –Fase descendente
- **Influencia del tempo.** Practica el mismo movimiento con más rapidez y determina los cambios que se producen en la acción de los músculos, en especial durante la fase descendente.

ÓRDENES EN LA DANZA 2.2

### *«Relajación y recuperación del peso»*

Algunos estilos y coreografías potencian que los bailarines «se dejen caer» o «relajen el peso» de su cuerpo para a continuación «alzarse» o «recuperar» el peso y crear una pausa o cambio en la dirección del movimiento. Cuando el centro de masas de un segmento corporal, como la cabeza, un brazo o el torso, se desequilibra, como al desplazar el segmento hacia delante, la gravedad tiende a provocar su caída hacia el suelo. En la danza, este dilema se resuelve de muchas formas. Una es usar los músculos que contrarrestan excéntricamente la acción de la gravedad de forma constante y controlada, de modo que el movimiento pueda detenerse en cualquier momento. Otra forma consiste en dejar momentáneamente que los segmentos corporales «se sometan» al influjo de la gravedad, para usar a continuación y con rapidez los músculos que se oponen excéntricamente a la gravedad para desacelerar los segmentos de acuerdo con el curso deseado del movimiento. Aunque la apariencia y percepción de los movimientos sean muy distintas, es importante darse cuenta de que los músculos necesitan modular el movimiento y oponerse a la gravedad. Por tanto, hay que tener cuidado y evitar dar órdenes que sugieran que los músculos no se usan, o que el movimiento puede proceder sólo de los huesos. Si no usáramos los músculos, nos derrumbaríamos en el suelo y no seríamos capaces de incorporarnos.

En la danza, las contracciones isométricas desempeñan un papel vital en la prevención de compensaciones indeseables del cuerpo, así como en el mantenimiento de las posturas deseadas del cuerpo y sus segmentos. Por ejemplo, cuando el bailarín trabaja en la barra, las contracciones isométricas se utilizan para mantener las posturas deseadas de la pierna de apoyo, el torso y el brazo sobre la barra.

## Consideraciones sobre los músculos respecto al movimiento corporal

Gran parte de este capítulo se ha centrado en los principios aplicados a un solo músculo; sin embargo, en la mayoría de los movimientos funcionales se produce una contribución orquestada de muchos músculos y articulaciones. Para entender estos movimientos corporales, hay que tener en cuenta elementos adicionales importantes, como el *ciclo de estiramiento-acortamiento*, el distinto papel de los músculos cuando actúan de forma simultánea, el papel de los músculos cuando actúan como pares de fuerza, y los retos singulares a que se enfrentan los músculos que cruzan múltiples articulaciones.

### *Ciclo de estiramiento-acortamiento*

En algunos movimientos, se usa un músculo excéntricamente justo antes de usarlo de forma concéntrica. Esto se llama **ciclo de estiramiento-acortamiento** (CEA) o pre-

estiramiento. Cuando un músculo activo se estira, se almacena energía mecánica en el componente elástico del músculo, que a continuación se libera de inmediato durante la contracción de acortamiento, lo cual se traduce en la producción de una fuerza mayor (Asmussen y Bonde-Petersen, 1974; Bosco y Komi, 1979; Komi, 1979). Recuerda que los componentes elásticos del músculo se pueden modelar como un muelle. Por tanto, imagina este proceso como si estiraras un muelle. Cuando lo sueltas, el muelle se retrae y los extremos se vuelven a aproximar. Es probable que factores adicionales –de tipo neural o como la energía química procedente de la precarga del músculo– también contribuyan a mejorar la producción de fuerza, si bien la relativa contribución potencial de estos y otros factores sigue siendo todavía objeto de estudio (Cronin, McNair y Marshall, 2000; Enoka, 2002; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Sea cual fuere el mecanismo, esta mejora de la fuerza puede ser acusada; se calcula que durante la ejecución de saltos pequeños muy rápidos con ambos pies sólo el 40% de la fuerza necesaria se debe a la contracción concéntrica de los músculos, mientras que el otro 60% de la fuerza responde a factores elásticos y de otros tipos (Thys, Cavagna y Margaria, 1975). Además, la velocidad de liberación y la altura del salto mejoran un 12-18%, mientras que la producción de potencia en un ejercicio de entrenamiento de la fuerza mejora un 8-16% con el uso del CEA (Cronin, McNair y Marshall, 2000). Además, se ha demostrado que el empleo del CEA permite disminuir los requerimientos energéticos (una mayor eficacia) de un determinado movimiento.

Un ejemplo de aplicación del CEA a la danza es la ejecución de un rápido *demi-plié* antes de un salto. Los músculos glúteo mayor, isquiotibiales, cuádriceps femoral y los músculos de la pantorrilla trabajan excéntricamente durante la fase descendente del *plié* y luego de forma concéntrica en la fase ascendente. Este principio se aplica con frecuencia a la danza, para mejorar la eficacia del movimiento y ayudar a conseguir esa estética «sin esfuerzo» propia de algunos estilos de danza, así como para generar más fuerza en los movimientos explosivos. Para potenciar la aplicación de esta propiedad, el preestiramiento debe ser de una magnitud relativamente pequeña (p. ej., descenso de 20-30 centímetros del cuerpo en el *plié*), efectuarse con rapidez con un mínimo retraso (menos de 0,4-1 segundo) y sin pausa ni relajación del músculo entre la contracción excéntrica y la concéntrica al final del estiramiento (p. ej., al final del *plié*). Si bien algunos bailarines parecen utilizar de forma natural una sincronización que facilita el incremento de fuerza con el uso del CEA, otros pueden obtener beneficios de pequeños cambios en sus movimientos preparatorios. Son errores corrientes dudar en vez de usar una rápida inversión de la dirección al final del *plié* y alcanzar una profundidad subóptima en el *plié* preparatorio. Los regímenes de entrenamiento que se centran en esta respuesta del músculo (p. ej., ejercicios pliométricos) han demostrado que mejoran el rendimiento y reducen la incidencia de lesiones en músculos como los isquiotibiales, que tienen que desarrollar fases de estiramiento-acortamiento rápidas durante movimientos como el salto y la carrera (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

## Función de los músculos

Cuando los músculos trabajan juntos y simultáneamente, pueden realizar cuatro funciones potenciales principales: agonista, antagonista, sinergista y estabilizadora. Estas acciones son específicas de un movimiento dado y no del músculo en sí. Por tanto, el mismo músculo puede ejercer distintas funciones en movimientos distintos.

### Motor (agonista)

Un músculo **agonista** (G. *agon*, esfuerzo) es aquel cuya contracción es la que produce el movimiento articular deseado. Puede haber varios músculos capaces de producir este movimiento deseado. Tradicionalmente, el término **músculo principal** se reserva a los músculos más importantes o eficaces en la producción del movimiento, y el término **músculo accesorio** se aplica a los que son menos eficaces o se activan en circunstancias específicas, como cuando se necesita mucha fuerza. No obstante, estas distinciones a menudo son controvertidas y complejas, por lo que la consideración de si un músculo agonista es motor principal o accesorio difiere según la fuente consultada. Al elevar la pierna hacia la espalda (p. ej., una *attitude* paralela), los agonistas son los músculos extensores de la cadera, incluidos los isquiotibiales, como se aprecia en la figura 2.14.

### Antagonista

Un **antagonista** (G. *anti*, en contra, + *agon*, esfuerzo) es un músculo o grupo muscular cuya acción es opuesta a la del motor principal. Los antagonistas con frecuencia se hallan en el lado de la articulación opuesto al de los agonistas. Al levantar la pierna hacia la espalda, los antagonistas son los flexores de la cadera, como el recto femoral, tal y como se aprecia en la figura 2.14. Por lo general, los antagonistas se relajan mientras los agonistas se contraen; sin embargo, los antagonistas a veces trabajan junto con los agonistas –lo cual se denomina **cocontracción**– cuando una parte se tiene que mantener rígida, cuando se requiere un movimiento muy preciso y durante la desaceleración de partes del cuerpo. Un ejemplo de lo último ocurre en la carrera, donde los antagonistas (extensores de la cadera) se relajan inicialmente para que los agonistas (flexores de la cadera) muevan el muslo hacia delante durante la fase de oscilación, para luego contraerse excéntricamente para desacelerar el muslo antes de que alcance la máxima altura hacia delante.

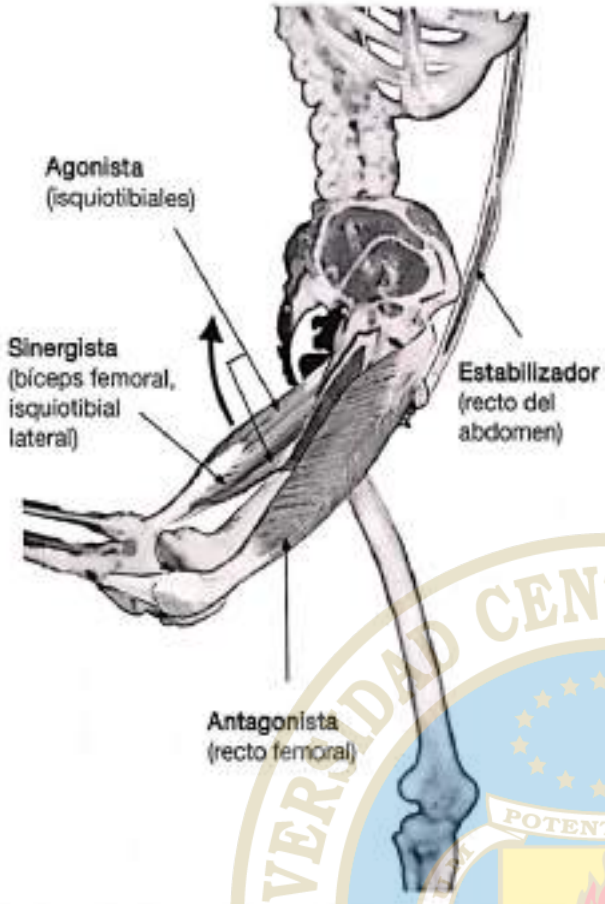



FIGURA 2.14. Papel de los músculos en el movimiento corporal (vista de perfil).

### Sinergista (neutralizador)

Un **sinergista** (G. *syn*, con, + *ergon*, esfuerzo) es un músculo que trabaja con el agonista(s) para lograr el movimiento deseado. El papel del sinergista se describe de distintas formas según la fuente bibliográfica. Este libro limita el significado de sinergista a todo músculo cuya acción sirva para neutralizar una acción secundaria no deseada del agonista(s). Al elevar la pierna hacia la espalda en una *attitude* paralela, los isquiotibiales mediales (músculos semimembranoso y semitendinoso) actúan como rotadores internos a la vez que como extensores de la cadera. Para lograr la postura paralela de la pierna, el isquiotibial lateral (músculo bíceps femoral) puede actuar de sinergista, con la acción secundaria de generar rotación externa de la cadera y neutralizar así la rotación interna no deseada por parte de los otros isquiotibiales, como se aprecia en la figura 2.14.

Otra distinción útil es hablar de sinergistas verdaderos y colaboradores. Si el sinergista sólo neutraliza la acción no deseada y no interviene en la acción deseada, se llama **sinergista verdadero**. Sin embargo, si ayuda a generar la acción deseada y neutraliza la no deseada, se denomina **sinergista colaborador**. La sinergia de la *attitude en arrière* que acabamos de describir es un ejemplo en que interviene un sinergista colaborador, porque el músculo isquiotibial lateral ayuda a conseguir la acción deseada de extender la cadera mientras neutraliza la rotación interna indeseable de la cadera.

### Estabilizador (fijador)

Un **estabilizador** o fijador es un músculo que se contrae isométricamente para sostener o equilibrar una parte del cuerpo frente a fuerzas generadas por la contracción muscular, la gravedad, las restricciones de los tejidos blandos y el momento o retroceso del movimiento. La primera de estas funciones potenciales, la estabilización frente a fuerzas relacionadas con la contracción muscular, ocurre en la mayoría de los movimientos. Recuerda que, cuando un músculo se contrae, tiende a tirar de ambos extremos hacia el centro. Sin embargo, a menudo lo deseable es que el movimiento ocurra sólo en un extremo del músculo, y, por eso, los estabilizadores actúan anclando el hueso o la parte del cuerpo para que eso así suceda. Por ejemplo, en una elevación al frente (*grand battement*), los músculos estabilizadores (músculos abdominales) actúan previniendo que la inserción proximal del músculo psoasilíaco (un flexor de la cadera que se inserta proximalmente en la porción inferior de la columna) arquee la región lumbar mientras la inserción distal del psoasilíaco en el fémur genera la acción deseada de elevar el muslo (flexión de cadera).

Un ejemplo en que la gravedad es el factor principal son las flexiones de brazos. Los músculos abdominales se contraen para estabilizar la pelvis y la columna, y prevenir así la tendencia de la región lumbar a arquearse y la del cuerpo a hundirse por efecto de la gravedad. Un ejemplo en que las restricciones de los tejidos blandos son instrumentales ocurre al elevar una pierna hacia la espalda en una *attitude* paralela. Al llevar la pierna hacia atrás, los flexores de la cadera ofrecen resistencia pasiva mientras se estiran y tiran de la pelvis en anteversión, arqueando la región lumbar, a menos que los músculos abdominales estabilicen la pelvis, como se ve en la figura 2.14. La sincronización apropiada y la magnitud de la estabilización son elementos importantes para el virtuosismo en la danza, y se precisan posturas y movimientos muy específicos de muchas articulaciones.

## Los músculos como pares de fuerzas

La definición técnica de un **par de fuerzas** es la de dos fuerzas de la misma magnitud y en direcciones opuestas que

se localizan a cierta distancia del eje, de modo que generan rotación. Un ejemplo de un par de fuerzas es el uso de las manos sobre el volante del coche para hacerlo girar, como se ve en la figura 2.15A. En danza, un par de fuerzas es el formado por los pies, que generan rotación del cuerpo para giros como una *pirouette*. Cuando nos referimos a los músculos del cuerpo, los «pares de fuerzas» se usan para referirse a músculos localizados en distintas posiciones respecto a un eje articular, pero que actúan juntos generando rotación en la misma dirección. En el caso de estos pares de fuerzas anatómicos, las líneas de tracción de los músculos no se dirigen necesariamente en direcciones opuestas ni son de la misma magnitud. Ejemplos de pares de fuerzas que se usan cuando se elevan los brazos por encima de la cabeza se muestra en la figura 2.15B. La porción superior del trapecio y el serrato anterior, así como las porciones superior e inferior del trapecio, pueden trabajar como pares de fuerzas para generar la rotación externa escapular necesaria para levantar los brazos por encima de la cabeza (véase Ritmo escapulohumeral, pág. 397 para una exposición más detallada sobre la función de estos músculos concretos).

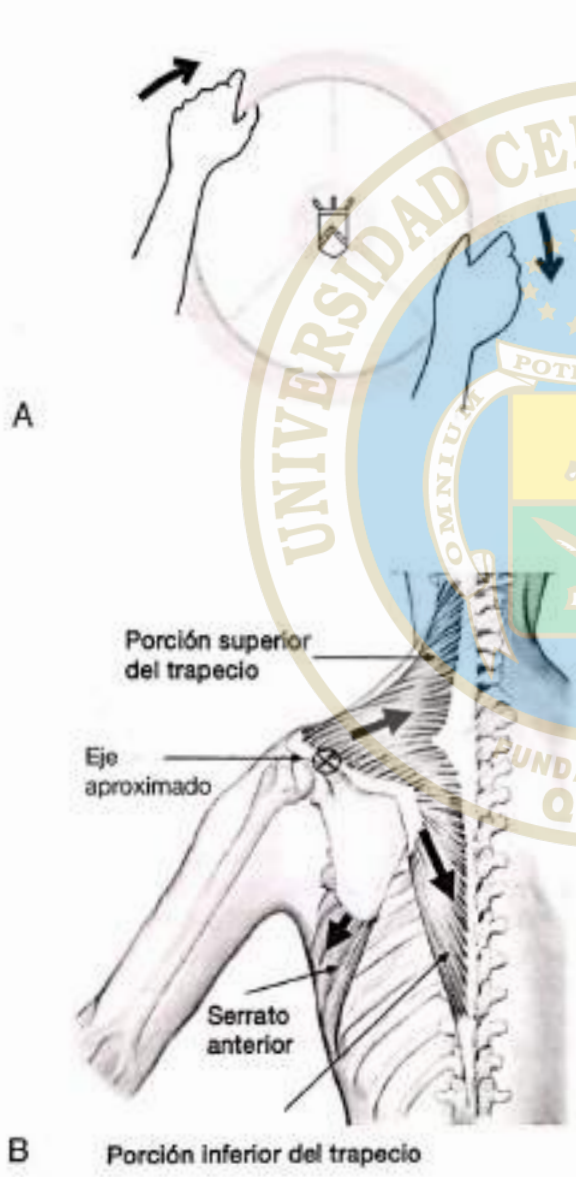



FIGURA 2.15. Pares de fuerzas. (A) Manos sobre un volante, y (B) músculos escapulares (vista posterior).

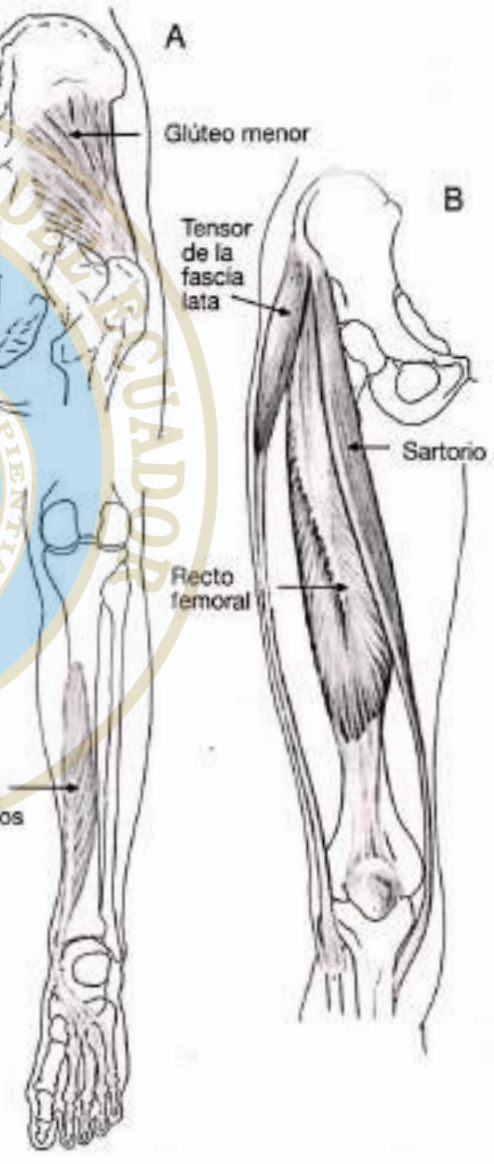



FIGURA 2.16. Número de articulaciones que cruzan los músculos. (A) Músculo uniarticular (vista posterolateral); (B) músculos biarticulares (vista anterior); (C) músculo multiarticular (vista posterior).

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620 QUITO

## Consideraciones especiales sobre los músculos multiarticulares

Los músculos pueden cruzar una o múltiples articulaciones, y el número de articulaciones cruzadas influye mucho en la contribución de los músculos al movimiento. Como sus nombres sugieren, según la ilustración de la figura 2.16, un **músculo uniarticular** cruza sólo una articulación, mientras que un **músculo biarticular** cruza dos y un **músculo multiarticular** cruza dos o más articulaciones. Un músculo uniarticular sólo genera movimiento en la articulación que cruza. Por ejemplo, el músculo glúteo menor, que aparece en la figura 2.16A, cruza sólo la articulación coxofemoral y por eso sólo genera movimiento en dicha articulación. En contraste, un músculo multiarticular puede generar movimiento en todas las articulaciones que cruza. En el caso de un músculo biarticular, sus tendones experimentan tracción no selectiva hacia el vientre muscular, lo que resulta en una tendencia a que se muevan ambas articulaciones. Esto puede ser ventajoso desde el punto de vista de la eficacia cuando ambas acciones se desean al mismo tiempo, como cuando ambas funciones (flexión coxofemoral y extensión de rodilla) (figura 2.16B) del recto femoral (biarticular) se requieren para dar una patada.

El empleo simultáneo de una función del músculo concéntricamente y de la otra excéntricamente también supone una ventaja para los músculos biarticulares. Por ejemplo, durante la locomoción, cuando las piernas inician la oscilación (flexión concéntrica de la cadera), la rodilla a menudo está flexionada (mediante el trabajo excéntrico de los extensores de la rodilla). Esta combinación estira el músculo recto femoral sobre la rodilla al tiempo que se produce su acortamiento sobre la cadera. En esencia, esto mejora la eficacia del músculo al mantenerlo en una longitud en la que puede generar más tensión muscular, así como más fuerza por el uso del ciclo de estiramiento-acortamiento. Otros ejemplos de músculos que cruzan dos articulaciones o más –es decir, músculos multiarticulares– son el sartorio, el tensor de la fascia lata (figura 2.16B), los isquiotibiales, los gastrocnemios, el bíceps braquial, la cabeza larga del tríceps braquial y muchos músculos de la mano y el pie, como el flexor largo de los dedos, que aparece en la figura 2.16C.

### Insuficiencia activa y pasiva

No obstante, a pesar de esta ventaja en términos de eficacia, los músculos multiarticulares tienen la desven-

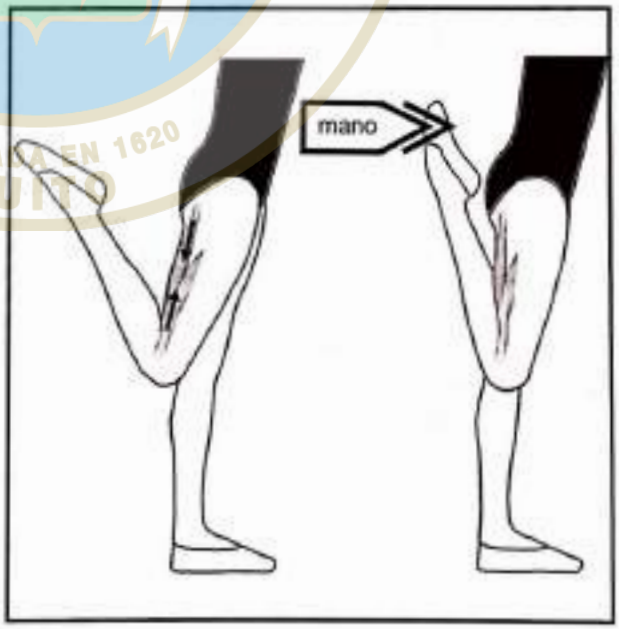
DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.4

### Insuficiencia activa

- **Establecimiento de la insuficiencia activa.** Crea una insuficiencia activa de los músculos isquiotibiales practicando sus dos acciones articulares (flexión de rodilla y extensión de cadera) a la vez. En monopedestación sobre el pie izquierdo, levanta el derecho del suelo y flexiona la rodilla todo lo posible. Entonces con la rodilla completamente flexionada, intenta elevar la pierna al máximo hacia la espalda (hiperextensión de la cadera) como si adoptaras una *attitude en arrière* paralela.
- **Ángulo de flexión de la rodilla.**

–Descubrirás que comienza un calambre en alguno de los isquiotibiales o que la rodilla comienza a reducir su grado de flexión cuando el muslo se eleva cada vez más hacia el techo. ¿Por qué?

–Mantén la postura final, usa la mano para acercar el talón derecho hacia las nalgas. ¿Por qué se dobla más la rodilla cuando usas la mano?



DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.5

### *Insuficiencia pasiva*

- **Establecimiento de la insuficiencia pasiva.** Crea una insuficiencia pasiva de los músculos isquiotibiales adoptando una postura opuesta a las acciones que generan estos músculos (p. ej., flexión coxofemoral y extensión de rodilla) o túmbate boca arriba y usa los brazos para llevar una pierna hacia el hombro manteniendo la rodilla extendida hasta sentir un estiramiento leve en el dorso de la pierna (véase la figura 2.23B en la página 67). Fíjate en este punto final.
- **Adición de flexión de rodilla.** A continuación, flexiona ligeramente la rodilla y fíjate en que ahora la pierna se puede elevar más.

–¿Por qué se puede levantar más la pierna con la rodilla flexionada?

- **Aplicación a otros movimientos de danza.**

–Reparando en el grado de movilidad pasiva que muestra el cuerpo con la rodilla extendida, ¿cómo afecta esto tu capacidad para practicar *battements en avant* o *grand jetés*?

–Si un bailarín flexiona la cadera menos de 90° debido a una insuficiencia pasiva, ¿cómo influye esto en su capacidad para estirar los isquiotibiales sentado con las piernas extendidas hacia delante o en segunda posición?

taja de no alcanzar el grado máximo de movilidad activa o pasiva en dos o más articulaciones al mismo tiempo. La **insuficiencia activa** ocurre cuando la contracción activa del músculo no consigue producir la misma amplitud de movimiento que produciría una fuerza externa (p. ej., la gravedad, la inercia, otra parte del cuerpo, otra persona). Esta limitación se debe a que la mayoría de las fibras musculares sólo se acortan la mitad de su longitud en reposo, y este límite de acortamiento se alcanza fácilmente cuando un músculo se acorta sobre dos o más articulaciones a la vez. Además, el músculo tiene dificultad para generar una fuerza contráctil elevada cuando está muy acortado (relación de longitud-tensión), por lo que la fuerza de ese músculo influirá en el grado de movilidad alcanzable. La insuficiencia activa se pone en evidencia al practicar simultáneamente las dos acciones de un músculo biarticular, como flexión de cadera y extensión de rodilla en el caso del músculo recto femoral, como se ve en la figura 2.17A.

#### Paradoja de Lombard

Otro aspecto especial de los músculos biarticulares interviene cuando el movimiento requerido en una articulación es en la dirección opuesta a la generada por ese músculo. Este fenómeno se denomina **paradoja de Lombard** (Rasch, 1989). El ejemplo clásico de la paradoja de Lombard es la cocontracción de los isquiotibiales y del cuádriceps femoral, como al alzarse tras un *plié* o al levantarse de una silla. Los isquiotibiales producen la acción deseada de extensión de cadera, pero también otra no deseada de flexión de rodilla. Por otra parte, el músculo recto femoral genera la acción deseada de extender la rodilla, y la no deseada de flexión de cadera. Entonces, ¿cómo se produce la acción deseada de extensión de cadera y extensión de rodilla mediante su cocontracción? Se podría pensar que, si se usan a la vez, neutralizarán sus acciones y no se producirá movimiento alguno. Sin embargo, éste no es el caso. La explicación de esta paradoja aparente es que los músculos multiarticulares a menudo tienen un efecto más pronunciado, por gozar de un mayor brazo de palanca y generar más torque, en una de las articulaciones que cruzan, como se muestra en la figura 2.18. En el caso de los isquiotibiales, presentan un brazo de palanca más largo y por eso generan más torque en la cadera que en la rodilla, predominando así su acción de extensión de la cadera. Por el contrario, el músculo recto femoral tiene un brazo de palanca más largo y genera más torque en la rodilla que en la cadera, predominando así su acción de extensión de la rodilla. Por tanto, su cocontracción genera el movimiento deseado en vez de otros no deseados o ausencia de movimiento. Por eso un músculo biarticular se puede utilizar de modo que su acción principal coincida con la acción deseada en una articulación, mientras otro músculo trabaja de forma sinergista para vencer el movimiento no deseado y generar la acción deseada en la segunda articulación.

## Aprendizaje de los nombres y acciones de los músculos

Ahora que se han expuesto algunos principios clave sobre la función de los músculos, el siguiente paso para entender los movimientos consiste en aprender los nombres, localización y acciones de músculos específicos. Hay aproximadamente 434 músculos en el cuerpo humano,

FIGURA 2.17. Insuficiencia activa y pasiva de los músculos biarticulares. (A) Insuficiencia activa del músculo recto femoral; (B) insuficiencia pasiva de los músculos isquiotibiales.

FIGURA 2.18. Paradoja de Lombard.

siendo unos 75 pares los responsables de los movimientos del cuerpo y la postura (Hall, 1999). En las figuras 2.19 y 2.20 aparece una revisión de los principales músculos y una o dos de las acciones más importantes y conocidas de estos músculos principales. Estos y otros músculos aparecen más adelante y con más detalle al tratar regiones específicas, con un dibujo, una descripción de sus inserciones y una explicación más detallada de sus acciones en los capítulos 3 a 7. El capítulo 8 presenta figuras más completas y tablas de resumen de los músculos principales, útiles para el análisis de los movimientos. Aunque el proceso de aprendizaje de los músculos pueda parecer insuperable a los que se inicien en la anatomía, resultará más fácil si se aplica la lógica y no sólo la memorización. El siguiente es un método recomendado para aprender los músculos individuales.

1. **Las raíces latinas y griegas aportan información.** Fíjate en que muchas palabras usadas en anatomía, incluidos los nombres de los músculos, tienen raíces latinas o

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN EL AÑO
QUITO

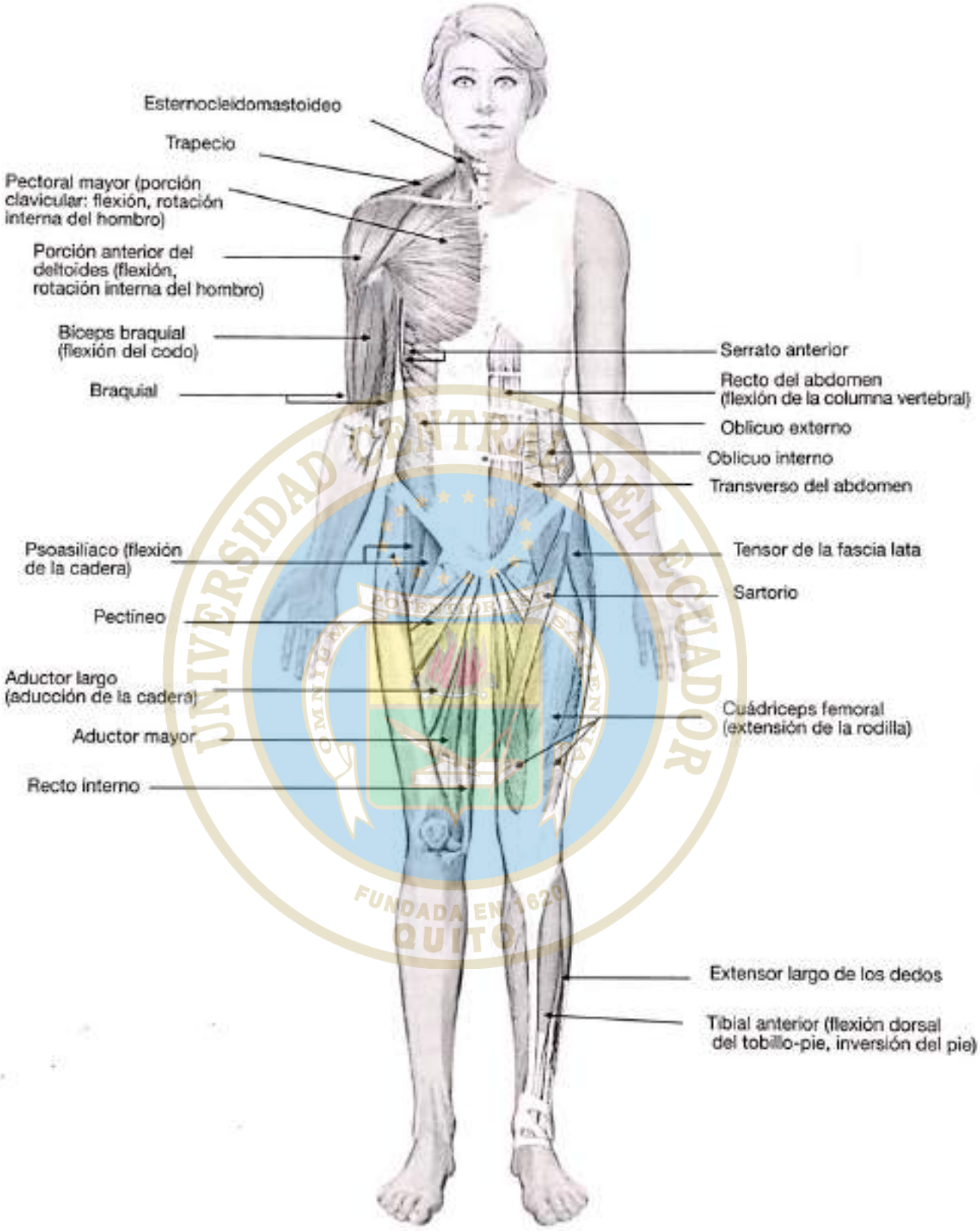



FIGURA 2.19. Selección de músculos principales y sus acciones clave: vista anterior.

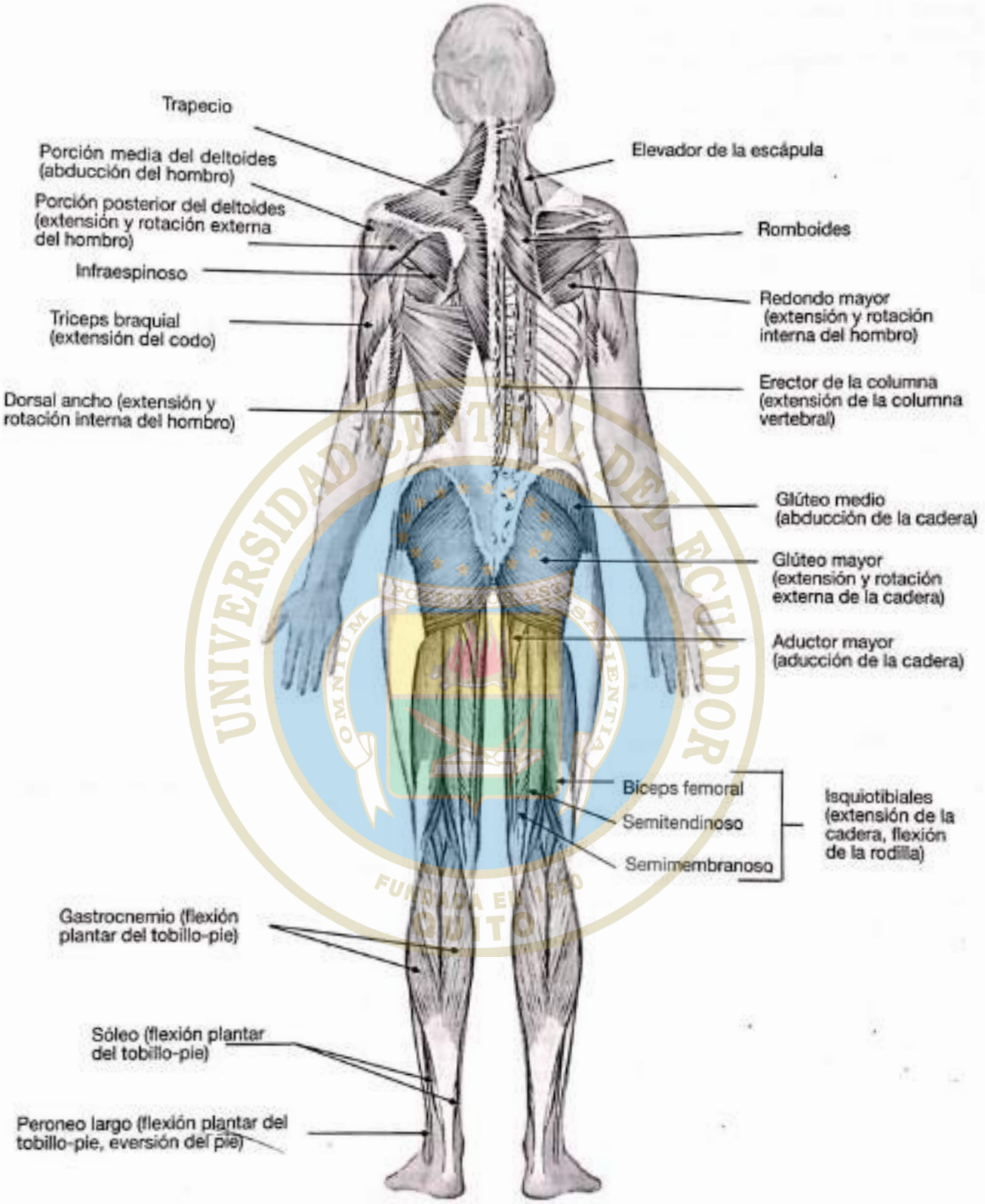



FIGURA 2.20. Selección de músculos principales y sus acciones clave: vista posterior.

griegas. Cuando se estudian músculos específicos, a menudo es útil conocer el significado de estas raíces. El significado de las raíces escogidas aparece en la tabla 2.4 y está incluida en los capítulos 3 a 7 para los músculos clave. Si se entiende el significado de estas raíces, el nombre del músculo a menudo aportará información útil sobre sus características.

Las raíces latinas y griegas proporcionan la siguiente información sobre un músculo:

- Su acción: aductor largo (que mueve hacia la línea media), elevador de la escápula (que levanta).
- La dirección de las fibras: recto del abdomen, oblicuo interno del abdomen.
- La localización: tríceps braquial (braquial = referido al brazo), pectoral mayor (*pectoris* = pecho).
- Número de divisiones/inserciones proximales (cabezas): cuádriceps femoral (*quadriceps* = que tiene cuatro cabezas), tríceps braquial (*triceps* = que tiene tres cabezas), bíceps braquial (*biceps* = que tiene dos cabezas).
- La forma: deltoides (delta = con la forma de esta letra, triangular).
- El tamaño/tamaño relativo: glúteo mayor, aductor corto.

2. **Aprende el nombre y localización del músculo.** A la vez que retienes el significado de las raíces útiles de las palabras, aprende el nombre y localización de un músculo específico.

3. **Deduce la línea de tracción del músculo y sus acciones.** Una vez conocida la localización e inserciones aproximadas del músculo, deduce su línea de tracción. Fíjate en

**Tabla 2.4. Raíces de las palabras y nombres de los músculos**

| Raíz o nombre latinos | Significado | Nombre en español |
|---|---|---|
| *Abducens* | Que aleja de | Abductor del dedo gordo |
| *Biceps* | De dos cabezas | Bíceps femoral |
| *Brachium* | Brazo | Braquial |
| *Brevis* | Corto | Aductor corto |
| *Delta* | Triángulo | Deltoides |
| *Gracilio* | Delgado | Grácil (recto interno) |
| *Latissimus* | El más ancho | Dorsal ancho |
| *Levator* | Que levanta | Elevador de la escápula |
| *Longissimus* | El más largo | Longísimo |
| *Longus* | Largo | Aductor largo |
| *Major* | Más grande | Redondo mayor |
| *Maximus* | El más grande | Glúteo mayor |
| *Minimus* | El más pequeño | Glúteo menor |
| *Minor* | Más pequeño | Pectoral menor |
| *Obliquus* | Oblicuo | Oblicuo interno del abdomen |
| *Pectoris* | Pecho | Pectoral mayor |
| *Peroneus* | Perteneciente al peroné | Peroneo largo |
| *Piriformis* | Con forma de pera | Piriforme |
| *Quadriceps* | Que tiene cuatro cabezas | Cuádriceps femoral |
| *Rectus* | Recto | Recto del abdomen |
| *Rhomboids* | Con forma de rombo | Romboides |
| *Serratus* | Con forma de sierra | Serrato anterior |
| *Sterno* | Esternón | Esternocleidomastoideo |
| *Tensor* | Que estira | Tensor de la fascia lata |
| *Triceps* | De tres cabezas | Tríceps braquial |
| *Vastus* | Grande | Vasto medial |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR FUNDADA EN 1826 QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 2.6

## *Deducción de las acciones musculares a partir de sus inserciones*

Emplea las figuras 2.19 y 2.20 como referencia.

- **Acción de la porción media del músculo deltoides.** Busca la porción media del deltoides en la figura 2.20 y úsala para localizar el músculo en tu cuerpo o esqueleto. Pon el pulgar en el punto medio de la inserción proximal y el meñique de la misma mano en el punto medio de la inserción distal para establecer la línea de tracción del músculo. Ahora acerca la inserción distal a la inserción proximal y observa qué tipo de movimiento articular se produce en el hombro. Compara esta acción con la que aparece en la figura 2.20.
- **Acción de las porciones anterior y posterior del músculo deltoides.** Repite este procedimiento con las porciones anterior (figura 2.19) y posterior (figura 2.20) del deltoides.
- **Inversión de la acción habitual.** Este procedimiento pone de manifiesto las acciones habituales de los músculos (mediante contracciones concéntricas), en las que el segmento distal es el extremo que se mueve. Ésta es la forma más fácil de aprender las acciones musculares. No obstante, recuerda que en casos como cuando la mano está fija (cadena cinética cerrada) estos músculos generan movimiento en el segmento proximal (inversión de la acción habitual) o en ambos segmentos a la vez (p. ej., *push-up, pull-up, dips,* etc.).

**Inserciones y acciones principales del músculo deltoides**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Deltoides | Anterior: clavícula (cara lateral)<br>Media: escápula (acromion)<br>Posterior: escápula (espina) | Húmero (tuberosidad deltoidea) | Anterior: Flexión del hombro<br>Aducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro<br>Media: Abducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Posterior: Extensión del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Rotación externa del hombro |

que la línea de tracción se traza respecto al eje de la articulación con el fin de determinar el tipo de movimiento que produce en ella cuando el músculo se acorta (p. ej., contracción concéntrica). Intenta desentrañar la lógica, en vez de memorizar sólo las acciones. Por ejemplo, en muchos casos, los músculos de localización anterior a la articulación generan flexión; los músculos laterales a articulaciones biaxiales o triaxiales producen abducción, y los músculos mediales a estos tipos de articulación producen aducción (son excepciones los músculos de la articulación de la rodilla y la escápula). Los músculos que generan rotación externa a menudo se localizan posteriormente, y los que producen rotación interna a menudo se hallan en localización anterior, si bien esta relación no es tan consistente.

Inicialmente, es útil tratar de deducir sólo una o dos acciones primarias de los músculos más conocidos, para luego comprobar estas deducciones con las acciones enumeradas en las figuras 2.19 y 2.20. Sin embargo, un conocimiento más profundo de los músculos exige una apreciación de sus acciones accesorias y su aplicación en movimientos funcionales. El conocimiento de muchas de estas acciones más complejas de los músculos ha derivado de distintos métodos de investigación, como la electromiografía (EMG). La **electromiografía** (G. *electron,* ámbar [electricidad], + *mys,* músculo, + *graphō,* escribir) emplea electrodos que se insertan en el músculo (p. ej., electrodos de aguja) o se aplican en la piel sobre un músculo dado (p. ej., electrodos de superficie) para registrar la actividad eléctrica de los músculos durantes diversos movimientos o situaciones (véase Basmajian y DeLuca, 1985). Cuanto mayor sea la contracción del músculo, mayor será la frecuencia y amplitud de los potenciales registrados. Los resultados de algunos de estos estudios se tratarán en los capítulos siguientes, y se abordarán métodos adicionales de investigación, útiles para el análisis del movimiento, en el capítulo 8.

4. **Determina los músculos que pueden generar un movimiento articular dado.** Además de aprender las acciones de un músculo dado, es importante invertir ese proceso y aprender qué músculos podrían producir un movi-

miento articular determinado. Esto es importante para el análisis de los movimientos. Una tabla de resumen de cada región aparece en los capítulos 3 a 7 para facilitar este proceso. También aparece un resumen general en el capítulo 8. Cuando procedas a hacerlo, céntrate por ahora sólo en los músculos principales. Un análisis más detallado podrá abarcar también los músculos accesorios, sinergistas y estabilizadores; este enfoque más detallado se reserva para el capítulo 8. Además, simplifica este proceso de análisis identificando primero el grupo funcional de músculos que generan el movimiento (p. ej., flexores, extensores, abductores de la cadera), como se aprecia en la tabla 2.5, y luego selecciona de uno a tres músculos principales específicos que generan este movimiento articular deseado.

5. **Ten presente la influencia de la gravedad y el tipo de contracción muscular.** Cuando se analiza un movimiento, es

PRUEBAS Y MEDICIONES 2.1

### *Electromiografía*

Ejemplos de registros EMG de tres grupos musculares de bailarinas a las que se pide que se pongan de pie en primera posición, «preparadas», como si estuvieran en clase. Se eligieron los registros de dos bailarinas de ballet profesionales y de dos bailarinas avanzadas en danza moderna para mostrar el grado de respuesta en la misma postura. Con esta versión de la prueba, se compara la magnitud del trazado de un músculo durante un movimiento dado con la de una contracción voluntaria máxima del mismo músculo y para una misma localización de electrodos.

Clave:
A = aductor de la cadera (aductor largo)
Q = cuádriceps femoral (vasto medial)
H = isquiotibiales (bíceps femoral)

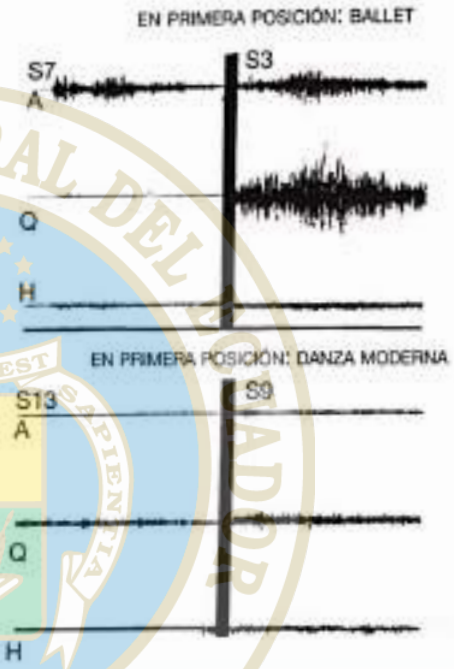



**Tabla 2.5. Análisis simplificado del movimiento *demi-plié* en primera posición paralela**

| Fase | Movimiento de la articulación coxofemoral | Grupo de músculos de la cadera | Tipo de contracción (músculos ejemplo) | Movimiento de la articulación de la rodilla | Grupo de músculos de la rodilla | Tipo de contracción (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fase ascendente | Extensión de la cadera | Extensores de la cadera | Concéntrica (glúteo mayor, isquiotibiales) | Extensión de la rodilla | Extensores de la rodilla | Concéntrica (cuádriceps femoral) |
| Fase descendente | Flexión de la cadera | Extensores de la cadera | Excéntrica (glúteo mayor, isquiotibiales | Flexión de la rodilla | Extensores de la rodilla | Excéntrica (cuádriceps femoral) |

UNIVERSIDAD GENERAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST QUAM OMNIUM SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

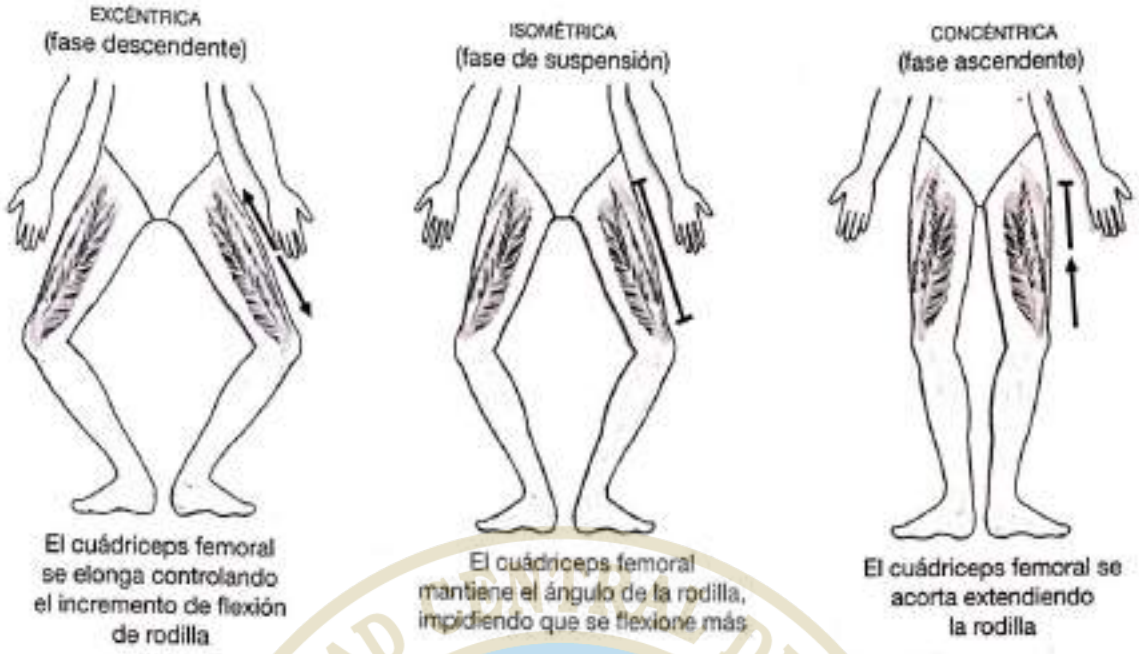



FIGURA 2.21. Tipos de contracción muscular en que la gravedad desempeña un papel principal.

importante recordar que la influencia de la gravedad también se debe tener en cuenta. En muchas fases de los movimientos de danza, la gravedad es fundamental para generar el movimiento, y los músculos se emplean para controlar este movimiento iniciado por la gravedad. Para los estudiantes que se inicien en la anatomía, se trata de un concepto difícil de asimilar. Es útil plantearse si el movimiento del cuerpo o sus segmentos es sobre todo (1) opuesto a la dirección de la gravedad (ascendente), o (2) en la misma dirección que las fuerzas gravitacionales (descendente). En el caso de movimientos lentos y controlados, los movimientos opuestos a la dirección de la gravedad se suelen producir mediante contracciones musculares concéntricas cuya acción es en la misma dirección del movimiento, mientras que los movimientos en la misma dirección que la gravedad son generados por ésta y controlados mediante la contracción excéntrica de los músculos cuya acción es en dirección opuesta al movimiento articular.

Por ejemplo, en un *plié* en primera posición *en dehors* (figura 2.21), la fase ascendente ocurre contra la gravedad, y los músculos extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) trabajan concéntricamente para generar la extensión de la rodilla. En contraste, la fase descendente la provoca la gravedad, y los músculos extensores de la rodilla trabajan excéntricamente para controlar la flexión de la rodilla y prevenir que la bailarina se precipite al suelo. Así, incluso si ocurre el movimiento opuesto en la articulación (extensión de la rodilla en la fase ascendente y flexión de la rodilla en la fase descendente), el mismo grupo muscular se emplea en ambas fases (concéntricamente en la fase ascendente para generar el movimiento, y excéntricamente en la fase descendente para controlar y oponerse a la tendencia a la flexión generada por la gravedad). Así, una aproximación al análisis cinético pasa por determinar qué grupo muscular está trabajando durante la fase concéntrica del movimiento; esto te dirá el grupo muscular responsable del movimiento en las fases ascendente (concéntricamente) y en la fase descendente (excéntricamente). Un esquema básico de este método aparece en la tabla 2.5 con el *plié* en paralelo; el análisis se ha limitado a las articulaciones de la cadera y la rodilla por razones de simplicidad. Otra forma es fijarse en que, cuando hay contracciones excéntricas, actúan los músculos que generan la acción opuesta a la dirección del movimiento que se observa. También hay que recordar que, cuando la gravedad tiende a producir un movimiento dado y éste no se produce, por lo general hay en juego contracciones musculares isométricas.

Durante movimientos lentos de los segmentos corporales perpendiculares a la gravedad (en horizontal o en paralelo respecto al suelo), la gravedad no tiene el mismo efecto, y a menudo los músculos se usan concéntricamente para generar movimientos y mantener la extremidad en el plano horizontal en ambas direcciones del movimiento (p. ej., abducción y aducción horizontales). Durante movimientos rápidos, la interacción de los músculos y la gravedad se vuelve más compleja, ya que a menudo entran en juego el empleo concéntrico de los músculos para acelerar segmentos, la cocontracción de los antagonistas para controlar el movimiento y las contracciones excéntricas

para desacelerar segmentos corporales, junto con las fuerzas gravitacionales. Asumir la importancia de la gravedad sobre la función de los músculos es esencial para un análisis cinemático preciso, y de ello se hablará más en el capítulo 8.

6. **Aplicación al diseño de ejercicios.** Otra forma de reforzar los conocimientos sobre las acciones y localización de un músculo es diseñar ejercicios para fortalecerlo, estirarlo o prevenir lesiones en ese músculo o en estructuras relacionadas. Los capítulos 3 a 7 contienen muestras de estos ejercicios. Cuando se diseña un ejercicio para desarrollar la fuerza, al menos una de las acciones principales del músculo se debe ver opuesta por la resistencia. Para que el ejercicio sea eficaz, este músculo se debe trabajar (sobrecarga) lo suficiente como para que se llegue a la insuficiencia muscular con relativamente pocas repeticiones, pero se evite una lesión. Las recomendaciones del American College of Sports Medicine (1998) son practicar de 8 a 12 repeticiones de distintos ejercicios. Algunos de los ejemplos más difíciles de ejercicios de fuerza que aparecen en los siguientes capítulos tal vez requieran –inicialmente– que se practiquen menos repeticiones (de cuatro a seis) para evitar una tensión excesiva de los músculos.

La resistencia empleada en los ejercicios para desarrollar la fuerza puede adoptar muchas formas, como el peso corporal, tobilleras lastradas, mancuernas, muelles, bandas elásticas o máquinas de pesas. En el caso de las tres primeras formas de resistencia, la eficacia del ejercicio también depende de la postura apropiada del cuerpo para que la gravedad se oponga a la acción del músculo. Por ejemplo, cuando se ejecuta una rotación externa del hombro con los codos a los lados, la postura erguida del torso permitirá una oposición eficaz si se usa una banda para generar resistencia, pero no si la resistencia es una mancuerna. Adoptar una postura en decúbito lateral permitirá a la gravedad oponer mayor resistencia a la acción de rotación externa del hombro. Igualmente, si se intentan fortalecer los músculos extensores de la cadera, bajar la pierna desde 90° evocará la extensión de la cadera pero no será eficaz para fortalecer los extensores de la cadera. Como se ve en la figura 2.22A, este movimiento sigue la misma dirección que la gravedad y requiere la contracción excéntrica del grupo muscular opuesto, los flexores de la cadera, para controlar el descenso de la pierna. Para que los extensores de la cadera sean los agonistas, la pierna se elevará hacia la espalda para trabajar contra la gravedad, como se ve en la figura 2.22B. No obstante, en ortostatismo, el grado de movilidad está muy limitado sin necesitar una acusada inclinación anterior de la pelvis ni la hiperextensión de la columna lumbar, lo cual puede interesar si se utiliza una resistencia intensa. Además, el desafío para los extensores de la cadera es mayor cuando las elevaciones de las piernas son lo bastante altas como para que el brazo de palanca de la resistencia sea más largo. Para permitir una mayor amplitud de movimiento con un brazo de palanca largo trabajando contra la gravedad, pero con menos tensión para la espalda, el fortalecimiento de los músculos extensores de la cadera se puede practicar con anteroflexión del torso (con los antebrazos so-

FIGURA 2.22. Influencia de la postura del cuerpo en el fortalecimiento de los músculos extensores de la cadera. (A) Relación ineficaz con la gravedad; (B) relación eficaz con la gravedad, pero con un grado de movilidad reducido; (C) postura eficaz con énfasis en los isquiotibiales; (D) postura eficaz con énfasis en el glúteo mayor.

bre la «barra») o de rodillas con las manos en el suelo, como se ve en la figura 2.22C.

En el diseño de ejercicios para desarrollar la fuerza de músculos biarticulares, el ejercicio puede incorporar el movimiento de una sola de las articulaciones o combinar los movimientos de ambas articulaciones. En este último caso, la posición de una articulación puede influir en qué músculo concreto de un grupo funcional se potencia. Por ejemplo, los isquiotibiales se pueden fortalecer con un ejercicio que use sólo la flexión de las rodillas, o un ejercicio sólo de extensión de la cadera como las elevaciones de piernas hacia atrás, o un ejercicio que combine ambas acciones, como se aprecia en la figura 2.22C. En este último ejercicio, la rodilla se flexiona un poco para ayudar a la bailarina a «encontrar» los isquiotibiales. Entonces, se levanta más alto la pierna (extensión coxofemoral), centrándose en usar este mismo grupo muscular para elevar la pierna. Este método se usa para ayudar a la bailarina a potenciar el uso de los isquiotibiales y no el del glúteo mayor. En contraste, si la rodilla se flexiona hasta un grado extremo, como se ve en la figura 2.22D, los isquiotibiales se habrán acortado tanto en la articulación de la rodilla que será difícil que generen con eficacia fuerza para la extensión de la cadera. Esta producción intencionada de insuficiencia activa de los isquiotibiales sirve para practicar extensiones de cadera con un uso mayor del músculo glúteo mayor.

Al diseñar un ejercicio de estiramiento para un músculo dado, el método es diferente. La postura que se emplea en este caso es la opuesta a al menos una de las acciones principales del músculo, de modo que éste se elongue. Como se describió antes, 3 repeticiones de 30 segundos del estiramiento, aplicado con lentitud y una intensidad de baja a moderada, parecen ser eficaces para mejorar la flexibilidad. Este método de estiramiento, en que se mantiene una postura, se denomina **estiramiento estático**. Otro método eficaz, llamado contracción-relajación de FNP (facilitación neuromuscular propioceptiva), aplica una contracción de 5 a 10 segundos en el músculo deseado, seguida de inmediato por un estiramiento de 10 a 20 segundos, y esta secuencia se repite tres veces (Shrier y Gossal, 2000; Tanigawa, 1972; Tallin *et al.*, 1985). Si bien se usan con fre-

FIGURA 2.23. Influencia de la postura del cuerpo en el estiramiento de los isquiotibiales. (A) En sedestación; (B) en decúbito supino; (C) de pie.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

cuencia para practicar estiramientos fuera de clase, se emplean menos repeticiones de estos estiramientos y de duración más corta en las clases de danza para la mayoría de los grupos musculares, debido a otros aspectos de la programación como la fluidez de las clases, el mantenimiento de la temperatura elevada del cuerpo y la falta de tiempo por la necesidad de abordar muchos otros objetivos esenciales de la clase.

Con músculos biarticulares, la postura deseada para el estiramiento a menudo se consigue mediante la elongación del músculo en las dos articulaciones, al menos en cierto grado. Por ejemplo, cuando se estiran los isquiotibiales, un bailarín más flexible es probable que use una postura de flexión de cadera y extensión de rodilla que genere una intensidad eficaz de estiramiento, como se ve en la figura 2.23A. No obstante, este empleo combinado podría generar una intensidad demasiado grande durante el estiramiento o no permitir una postura adecuada del cuerpo en el caso de una persona menos flexible. En tales casos, la rodilla se puede flexionar ligeramente para adoptar una postura correcta y generar la intensidad adecuada del estiramiento en sedestación o en decúbito supino, como se aprecia en la figura 2.23B. La gravedad se puede utilizar de muchas formas durante el estiramiento de los músculos. No obstante, se emplearán con frecuencia posturas en que la gravedad tienda a aproximar el segmento proximal o el distal de forma que aumente la intensidad del estiramiento. En el estiramiento de isquiotibiales en sedestación de la figura 2.23A, la gravedad tiende a acercar el tronco (segmento proximal) hacia el muslo para aumentar la flexión coxofemoral y la intensidad del estiramiento. En el estiramiento de isquiotibiales en decúbito supino que aparece en la figura 2.23B, la gravedad tiende a aproximar el muslo (segmento distal) hacia el tronco para aumentar la flexión coxofemoral y la intensidad del estiramiento. En el estiramiento avanzado de isquiotibiales en monopedestación que aparece en la figura 2.23C (practicado con el pie de la pierna levantada apoyado en una pared), la gravedad potenciará el estiramiento (flexión coxofemoral) cuando el tronco se incline hacia delante. No obstante, a medida que la flexibilidad mejore y la bailarina se acerque a la pared, la gravedad desempeñará un papel cada vez menor y los brazos se utilizarán para impulsar el torso más hacia delante.

Cuando se piensa en los ejercicios apropiados para la prevención de lesiones y el tratamiento, es esencial conocer la mecánica subyacente y los principios que se asocian con una lesión dada. Por ejemplo, tal y como se expondrá en el capítulo 5, se cree que el desplazamiento (trayectoria) erróneo de la rótula está detrás de ciertas lesiones de este hueso. El músculo cuádriceps femoral, específicamente el músculo vasto medial, es vital para corregir la trayectoria de la rótula y por eso se recomienda el fortalecimiento específico del cuádriceps femoral como ejercicio para la prevención de estos problemas. La adición de secciones sobre lesiones en los capítulos 3 a 7 no sugiere que los lectores que no sean profesionales sanitarios diagnostiquen y traten sus propias lesiones, o las de sus estudiantes/asociados. El diagnóstico y tratamiento de lesiones corresponde sólo a profesionales médicos cualificados. La intención de estas secciones ha sido elucidar algunas de las relaciones que teóricamente se han establecido entre las lesiones y la anatomía y mecánica expuestas en el capítulo correspondiente, de modo que los bailarines puedan prevenir con más eficacia las lesiones y conozcan más a fondo por qué se recomiendan ciertos ejercicios en los programas de rehabilitación con prescripción médica.

## Resumen

El músculo esquelético genera los movimientos de las articulaciones. El músculo esquelético contiene componentes elásticos y contráctiles. Los componentes elásticos desempeñan un papel importante en el estiramiento del músculo y en la contribución pasiva a la fuerza muscular. Los componentes contráctiles son los elementos activos del músculo. Según la teoría de los filamentos deslizantes, el acoplamiento de pequeños filamentos en el músculo genera tensión o contracción del músculo. Los músculos esqueléticos se insertan en los huesos mediante tendones o aponeurosis, y por eso la contracción de los músculos se traduce en movimientos rotatorios de las articulaciones. Dependiendo del equilibrio entre el torque relacionado con el esfuerzo muscular y el torque relacionado con la resistencia en una articulación dada, las contracciones musculares son dinámicas (concéntricas o excéntricas) o estáticas (isométricas). Estos tipos diferentes de contracciones musculares permiten a los músculos desempeñar funciones tan variadas como las de motores principales, antagonistas, sinergistas y estabilizadores.

Los músculos individuales varían en su porcentaje relativo de fibras de contracción lenta y rápida, en su área transversal y en la disposición fusiforme o penniforme de las fibras, según las demandas funcionales en producción de fuerza, velocidad/movilidad o control postural. Al estudiar los músculos individuales es útil tener presente el significado de la raíz latina o griega de sus nombres y localizaciones. La localización de las inserciones proximales y distales de un músculo establece una «línea de tracción», y a partir de la relación de esta línea con el eje de la articulación, se pueden deducir las posibles acciones de un músculo. El conocimiento de las acciones de los músculos también se emplea para analizar los movimientos y predecir los músculos que intervendrán como agonistas en un movimiento dado. Para ser precisos, este análisis debe tener en cuenta el papel de la gravedad y los tipos de contracciones musculares que se producen en las distintas fases del movimiento. Conocer las acciones musculares también sirve para el diseño eficaz de ejercicios de flexibilidad y de fuerza, y para conocer mejor por qué ciertos ejercicios son valiosos para prevenir y tratar lesiones habituales en la danza.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Cita las cuatro propiedades del músculo esquelético y explica su importancia práctica en la danza.
2. Haz un diagrama sobre el mecanismo contráctil de un miocito, y etiqueta y define las siguientes estructuras: banda A, banda I, zona H, línea Z, actina, miosina y sarcómera.
3. Describe la teoría de los filamentos deslizantes y su relación con las contracciones musculares concéntricas, excéntricas e isométricas.
4. Estudia una pirueta y describe el momento en que los músculos de la pantorrilla (gastrocnemio y sóleo) trabajan concéntrica, isométrica y excéntricamente.
5. ¿Qué diferencia habría que esperar en los tipos de fibras musculares de un maratoniano de clase mundial y de un saltador de altura?
6. Si el BE de un músculo mide 3,8 centímetros y el BR mide 38 centímetros, ¿cuál será la ventaja mecánica? ¿Cuál es la importancia de esta ventaja mecánica respecto a la fuerza muscular necesaria para generar movimiento contra una resistencia?
7. Describe la forma en que la relación del torque asociado con el esfuerzo muscular y el torque asociado con la resistencia cambia con las contracciones concéntricas, excéntricas e isométricas.
8. Distingue entre un músculo sinergista y otro estabilizador, y cita dos ejemplos en la danza.
9. Usando las figuras 2.19 y 2.20 como referencia, identifica un músculo que sirva de antagonista de los siguientes músculos: pectoral mayor, glúteo mayor, erector de la columna, bíceps braquial y cuádriceps femoral.
10. Describe el modo en que el serrato anterior y el trapecio actúan como un par de fuerzas.
11. Usando la figura 2.14 como referencia, localiza las inserciones proximales y distales del músculo recto femoral en el esqueleto. Emplea estas inserciones para trazar mentalmente la línea de tracción del recto femoral, y deducir las acciones que el recto femoral puede desempeñar en la articulación coxofemoral y en la rodilla. Emplea la figura 2.19 para comprobar la veracidad de tus deducciones.
12. Aplica el concepto de la insuficiencia activa y pasiva al músculo recto femoral. Cita dos ejemplos de movimientos de danza en que estos fenómenos sean operativos y qué se puede hacer para disminuir las restricciones que imponen a la movilidad.
13. Usando el esquema de la tabla 2.5, practica un análisis simplificado del movimiento de levantar los brazos hacia delante de quinta posición baja a alta.
14. Una bailarina quiere mejorar su estilo en un *grand jeté*. Su profesora se fija en que la rodilla retrasada tiende a flexionarse y que ambas piernas no alcanzan la altura adecuada para generar el trazado deseado en el salto.

a. Describe los movimientos que se producen en la cadera y la rodilla de la pierna adelantada y de la pierna retrasada.

b. Describe en qué modo elevar la pierna adelantada extendida para desarrollar el movimiento afectará el brazo de palanca de la pierna y la altura potencial de la pierna adelantada.

c. Teniendo presente el concepto de la insuficiencia activa, identifica los músculos que se deben fortalecer para aumentar la altura a la que se levanta la pierna adelantada. Teniendo en cuenta la movilidad deseada en la articulación coxofemoral de la pierna atrasada, identifica los músculos que hay que fortalecer para aumentar la altura a la que se eleva la pierna atrasada. ¿Cuál de estos músculos también tiende a flexionar la rodilla de la pierna retrasada, y qué grupo muscular sirve de sinergista para neutralizar esta flexión genicular indeseada? Observando la postura deseada durante el salto, identifica los músculos que necesitan niveles muy altos de flexibilidad. Establece una orden para que la bailarina alcance la línea deseada con su pierna atrasada.

# La columna vertebral

© Angela Sterling, Baleares, Lisa Apple y Christophe Maraval, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

La columna vertebral es la estructura organizadora central del esqueleto y el elemento más importante del esqueleto axial. Por este motivo es la primera región anatómica que se aborda en este libro. La columna vertebral en conjunto se articula con la cabeza, las costillas y la pelvis, mientras que las vértebras individuales se articulan entre sí. Estas distintas articulaciones permiten los movimientos de la cabeza, el tronco y la pelvis. Debido a su localización central, la columna también ofrece un soporte vital para mantener una postura erguida y para transmitir fuerzas a las extremidades superiores e inferiores. En danza, se imponen grandes demandas sobre la columna para mantener las posturas deseadas del torso y para sostener a bailarinas durante el *porté*, como se aprecia en la fotografía de la página 71. Además de fuerza, los movimientos de danza como los *arabesques* y *layouts* de jazz requieren una flexibilidad excepcional de la columna y una coordinación neuromuscular completa para lograr el efecto estético deseado con el movimiento. En la danza, al contrario que en muchos deportes, también se presta mucha atención a la postura o alineación de la columna siempre que las extremidades están en movimiento. Por tanto, entender mejor cómo se mueve y estabiliza la columna mejorará la destreza de los bailarines en la danza.

En este capítulo se expone la anatomía básica y la mecánica de la columna porque influyen en el rendimiento óptimo y en la vulnerabilidad a las lesiones. Los temas tratados en este capítulo son los siguientes:

- Huesos y puntos óseos de referencia de la columna vertebral.
- Estructura articular y movimientos de la columna vertebral.
- Alineación ideal de la columna y desviaciones habituales.
- Descripción y funciones de los músculos específicos de la columna.
- Mecánica de la columna vertebral.
- Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la columna.
- Consideraciones clave sobre la columna respecto al movimiento del cuerpo.
- Consideraciones especiales sobre la columna en la danza.
- Ejercicios de acondicionamiento para la columna.
- Lesiones de espalda en los bailarines.

## Huesos y puntos óseos de referencia de la columna vertebral

La columna vertebral se extiende desde el cráneo hasta la punta del hueso caudal (cóccix). Se compone de 33 huesos consecutivos llamados **vértebras** (L., articulación) y por eso se suele llamar **columna vertebral**. Estas vértebras constituyen cinco regiones contiguas y se numeran consecutivamente según la región, como se ve en la figura 3.1. Siete vértebras se localizan en la región del cuello y se denominan **vértebras cervicales** (C1-C7) (L. *cervix*, cuello); doce están en la región del pecho o tórax y se llaman vértebras **dorsales** o torácicas (T1-T12) (G. *thorax*, pecho); cinco se encuentran en la región lumbar y por eso se llaman **vértebras lumbares** (L1-L5) (L. *lumbus*, lomo); cinco forman el **sacro** (L., hueso sagrado) en el dorso de la pelvis, y las cuatro inferiores (de tres a cinco) están formadas sólo parcialmente y constituyen el **cóccix** o hueso caudal. Como en el adulto las cinco vértebras sacras están fusionadas formando el sacro, y las cuatro vértebras coccígeas se fusionan para formar el cóccix, sólo las 24 vértebras superiores (7 cervicales, 12 dorsales y 5 lumbares) son móviles. Aunque el número de vértebras cervicales tiende a ser constante, existen variaciones numéricas en las vértebras dorsales, lumbares y sacras en casi el 5% de las personas por otra parte normales (Moore y Agur, 1995).

Las vértebras presentes en estas regiones difieren de forma y tamaño de acuerdo con su función. Por ejemplo, la columna vertebral en conjunto tiene forma de pirámide extendida, de modo que las vértebras se vuelven progresivamente más grandes desde las regiones cervical a lumbar. Esta arquitectura tiene importancia funcional porque las vértebras deben soportar el peso de todas las partes del cuerpo situadas por encima de ellas, hasta que la columna descansa sobre el sacro, al cual se transfiere el peso del cuerpo. Como el peso del cuerpo se transfiere a la cintura pélvica a través del sacro, los huesos del cóccix no tienen que soportar el peso del hemicuerpo superior y son mucho menores.

Aunque existe variabilidad en la estructura según las regiones, una vértebra típica se compone de un cuerpo, un arco y siete apófisis, como se ve en la figura 3.2A. El **cuerpo vertebral** es la porción anterior cilíndrica y grande de la vértebra, a través de la cual se transmite la mayor parte del peso del cuerpo. En sentido posterior se extiende un anillo hueco llamado **arco vertebral,** formado por dos pedículos y dos láminas. Los **pedículos** (L. *pes*, pie) son protuberancias cortas y anchas que se extienden hacia atrás desde el cuerpo de la vértebra para insertarse en las placas planas y anchas de hueso llamadas **láminas.** Este arco vertebral y la superficie posterior del cuerpo de la vértebra forman las paredes de un orificio muy importante, el **agujero vertebral.** El agujero vertebral de las vértebras sucesivas de la columna forma el **conducto vertebral,** que aloja y protege la médula espinal y sus membranas, vasos y raíces nerviosas. Pequeñas muescas situadas en las porciones superior (escotadura vertebral superior) e inferior (escotadura vertebral inferior) de los pedículos de vértebras adyacentes forman pequeños orificios llamados **agujeros intervertebrales,** como se ve en la figura 3.2B, que permiten el paso a los nervios que salen de la médula espinal.

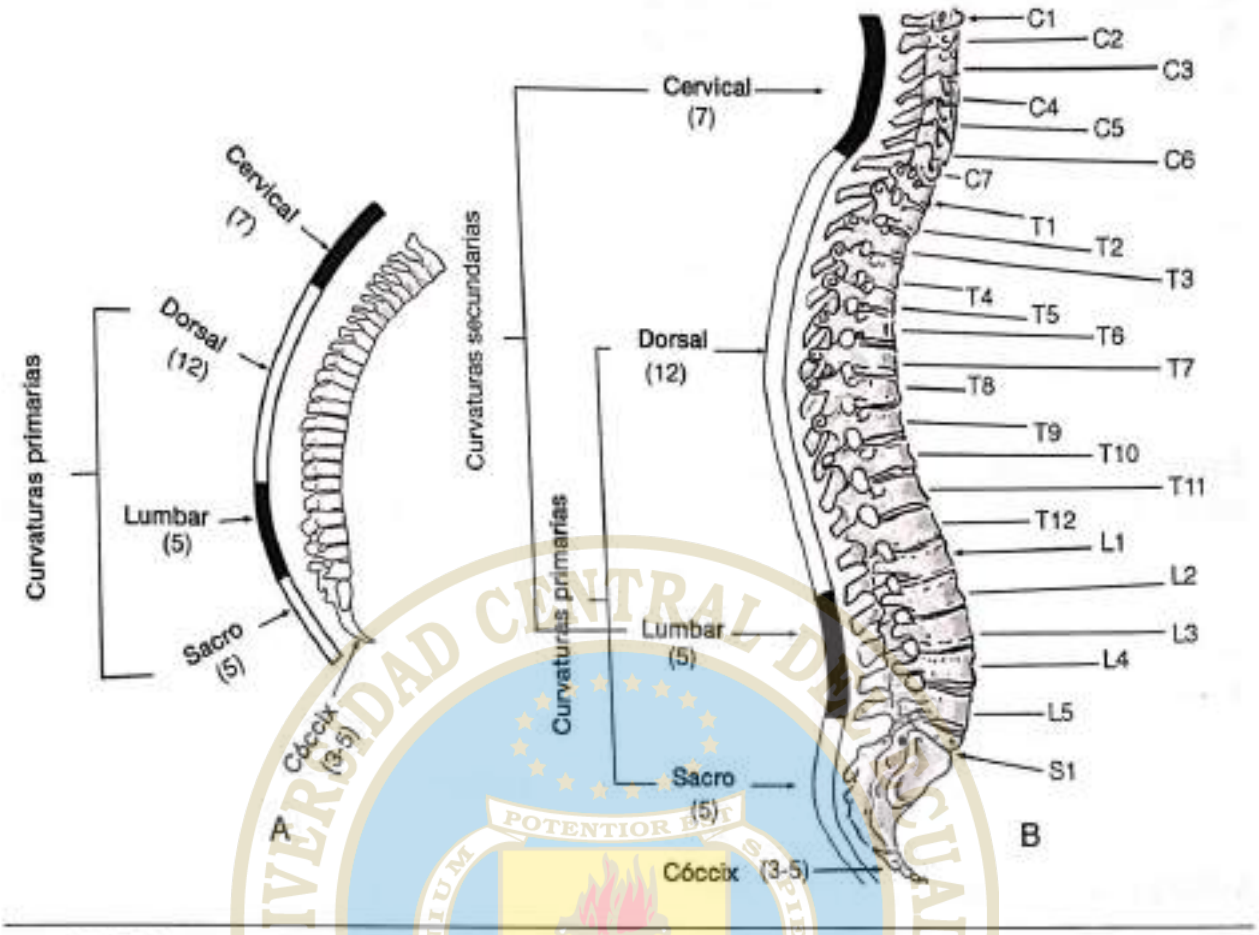



FIGURA 3.1. Regiones y curvaturas de la columna vertebral (vista de perfil). (A) Al nacer; (B) en la edad adulta.

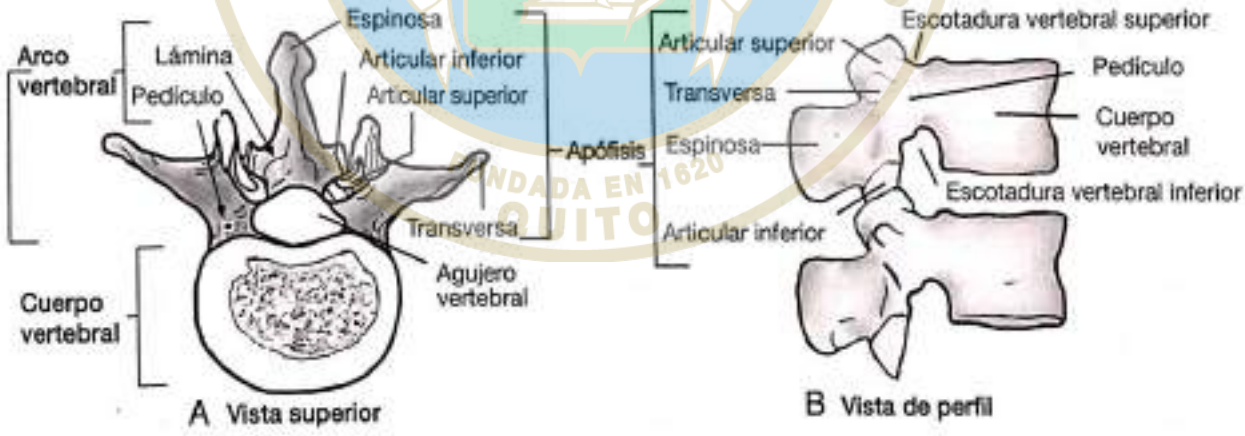



FIGURA 3.2. Vértebra lumbar típica. (A) Vista superior; (B) vista de perfil.

El arco vertebral también es el origen de siete apófisis: una espinosa, dos transversas, dos articulares superiores y dos articulares inferiores. La **apófisis espinosa** se proyecta hacia atrás y abajo desde la unión de las láminas emparejadas. Las apófisis espinosas son las proyecciones que se perciben o **palpan** cuando se desplazan los dedos por la nuca y dorso del tronco. La apófisis espinosa particularmente grande en la base del cuello pertenece a la vértebra C7, y de-

bido a su forma distintiva, se denomina **vértebra prominente** (L., que sobresale). La pareja de **apófisis transversas** se proyectan posterolateralmente desde la unión de los pedículos y las láminas. Las apófisis espinosa y transversas forman puntos importantes de inserción para los ligamentos y músculos de la columna vertebral, y actúan aumentando la ventaja mecánica de estas estructuras al permitir que las inserciones se encuentren alejadas del eje de rotación. El par de **apófisis articulares superiores e inferiores** se localizan en las uniones de los pedículos y láminas. Como su nombre sugiere, estas apófisis forman articulaciones con las vértebras situadas inmediatamente encima y debajo.

## Estructura articular y movimientos de la columna vertebral

Las vértebras se suelen unir a las vértebras adyacentes por el cuerpo vertebral y por el arco vertebral. Estas articulaciones reciben el nombre colectivo de articulaciones intervertebrales. También hay algunas articulaciones adicionales especializadas en regiones específicas de la columna vertebral, que sirven para conectar el cráneo, las costillas y la pelvis con la columna.

### *Articulaciones entre los cuerpos vertebrales*

Los cuerpos de las vértebras adyacentes desde la segunda vértebra cervical hasta la primera vértebra sacra se conectan mediante articulaciones cartilaginosas, y el cartílago interpuesto se denomina disco **intervertebral.** Cada disco intervertebral se compone de un anillo externo, llamado **anillo fibroso,** y de una masa interna gelatinosa, llamada **núcleo pulposo,** como se aprecia en la figura 3.3. El anillo fibroso se compone de hojas o laminillas concéntricas de fibrocartílago. Las fibras discurren aproximadamente en la misma dirección formando una banda, pero en dirección opuesta respecto a cualquiera de las dos bandas adyacentes, como se ve en la figura 3.3A. Esta arquitectura estructural confiere resistencia al disco para soportar las fuerzas y limitar la movilidad excesiva en muchas direcciones. El núcleo pulposo es un centro deformable gelatinoso compuesto por casi un 80% de agua en un disco sano (Deckey y Weidenbaum, 1997) y permite el balanceo y rodamiento entre vértebras adyacentes, además de ser esencial para absorber las fuerzas compresivas que soportan las vértebras.

En carga, el núcleo pulposo se ve comprimido y ejerce una gran fuerza centrífuga sobre las fibras del anillo, como se ve en la figura 3.3B. El núcleo pulposo contiene moléculas cargadas (proteoglucanos) que tienden a proyectar el agua dentro del disco, proceso importante para contrarrestar la tendencia del agua a salir del disco por la compresión asociada con el peso en carga. Sin embargo, con cargas repetitivas, se pierde una pequeña cantidad de agua del disco, de modo que la columna vertebral pierde unos 2 centímetros de altura a lo largo del día (Hall, 1999), cantidad que se restablece cuando se relaja la presión durante el sueño o al tumbarnos. Por el contrario, cuando la compresión disminuye debido a la ausencia de gravedad durante los vuelos espaciales, los astronautas experimentan un aumento temporal en la longitud de la columna de unos 5 centímetros.

Cada extremo del disco está cerrado centralmente por una lámina cartilaginosa (**cara terminal** vertebral) que se adhiere firmemente al cuerpo de las vértebras adyacentes (figura 3.3). La zona interna de las fibras del anillo se inserta en esta cara terminal, mientras que la zona externa periférica se inserta directamente en el tejido óseo del cuerpo vertebral **(anillo epifisario).** Cuando la columna vertebral soporta fuerzas compresivas muy grandes, estas caras terminales vertebrales a veces se fracturan (Panjabi, Tech y White III, 1980).

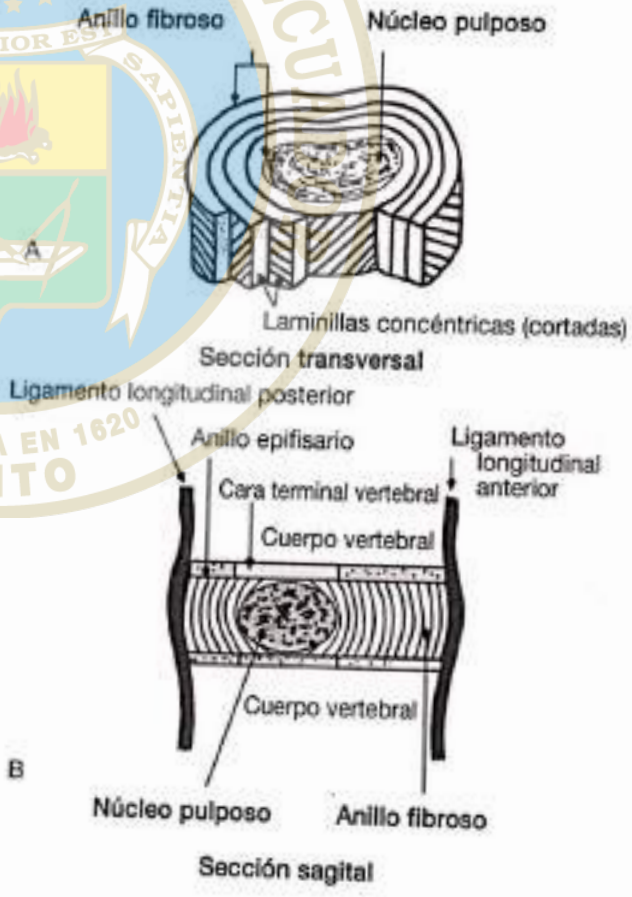



FIGURA 3.3. El disco intervertebral. (A) Sección transversal; (B) sección sagital.

Los discos intervertebrales constituyen del 20% al 33% de la altura total de la columna vertebral (White III y Panjabi, 1978), variando el espesor de los discos según las diferentes regiones entre 3 milímetros en la región cervical y 9 milímetros en la región lumbar (Levangie y Norkin, 2001). En las regiones cervical y lumbar los discos son más gruesos anteriormente y ayudan a formar las curvaturas convexas anteriores presentes en estas regiones. En la región torácica, los discos son incluso más gruesos, y la curvatura posteriormente convexa en esta región responde más a la forma en cuña de los discos vertebrales.

Los cuerpos de las vértebras y los discos intervertebrales están también conectados por ligamentos: el ligamento longitudinal anterior y el ligamento longitudinal posterior, como se ve en la figura 3.4. El **ligamento longitudinal anterior** es una banda fibrosa ancha y resistente que se extiende desde la superficie interior (pélvica) del sacro hasta el cráneo. Este ligamento recubre y conecta las caras anteriores de los cuerpos vertebrales y los discos intervertebrales. Su función es ayudar a limitar el grado de hiperextensión vertebral, mantener la estabilidad y prevenir la protrusión anterior del anillo del disco intervertebral, como se ve en la figura 3.5A. El **ligamento longitudinal posterior** es una banda fibrosa más estrecha, que tiene la mitad de la resistencia del ligamento longitudinal anterior (Levangie y Norkin, 2001). Este ligamento discurre a lo largo de la cara posterior de los cuerpos vertebrales, dentro del conducto vertebral. Se inserta en los discos intervertebrales y en los bordes posteriores de los cuerpos desde C2 hasta el sacro. El ligamento longitudinal posterior ayuda a limitar la flexión extrema de la columna y la protrusión posterior de los discos intervertebrales, como se ve en la figura 3.5B. No obstante, la esquina posterolateral del anillo está un tanto descubierta y es un área débil donde se suelen producir casos de protrusión discal.

## Articulaciones entre los arcos vertebrales

La apófisis articular superior de una vértebra se articula con la apófisis articular inferior de la vértebra de inmediatamente por encima para formar las articulaciones cigapo-

FIGURA 3.4. Ligamentos primarios de la columna (el ligamento intertransverso no se ve en esta sección).

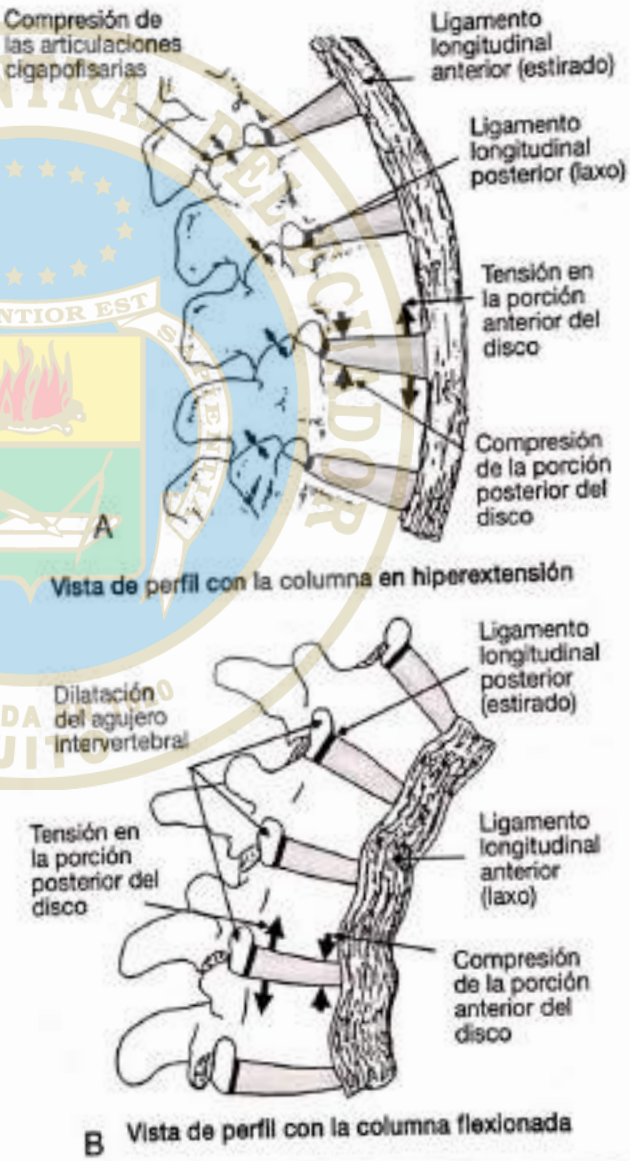



FIGURA 3.5. Influencia de (A) la hiperextensión y (B) la flexión sobre las estructuras clave de la columna.

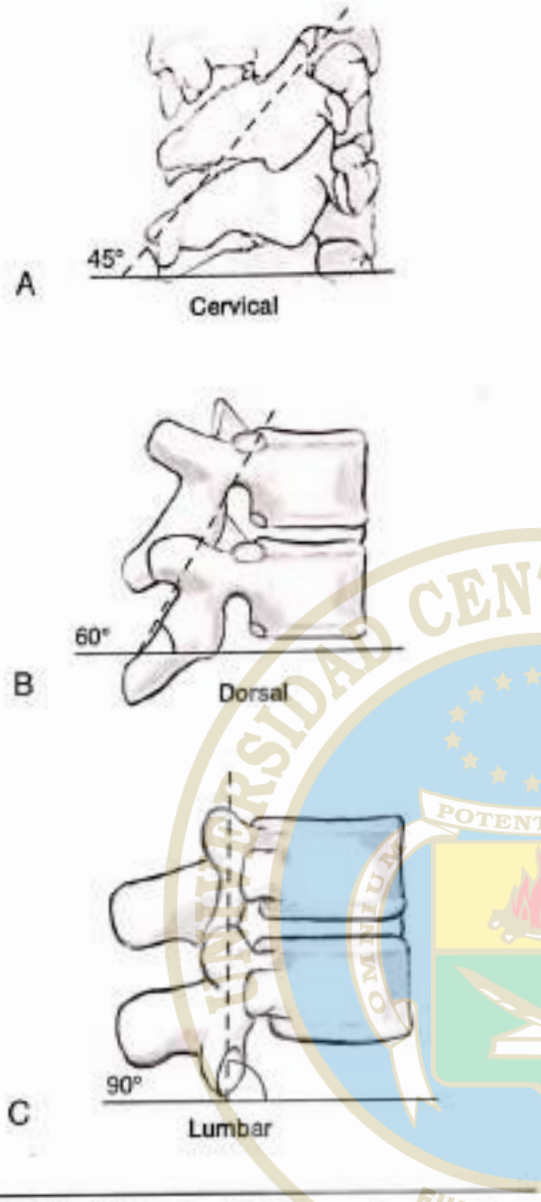



FIGURA 3.6. Función de las articulaciones cigapofisarias en el movimiento vertebral (vista de perfil). La orientación de las articulaciones en las regiones (A) cervical y (B) dorsal permite mayor libertad de rotación, mientras que (C) la orientación en la región lumbar limita la rotación.

fisarias (figuras 3.2 y 3.5A). Estas **articulaciones cigapofisarias** son diartrosis de tipo anfiartrodial; de ahí que permitan mínimos movimientos deslizantes en distintas direcciones. La forma y la orientación de las apófisis articulares son claves para determinar la extensión y dirección del movimiento posible entre vértebras adyacentes, y tienden a variar significativamente entre las regiones de la columna, como se ve en la figura 3.6. Por ejemplo, en la región lumbar, la alineación más vertical de las articulaciones cigapofisarias limita el grado de rotación posible (figura 3.6C), mientras que en las regiones dorsal (figura 3.6B) y cervical (figura 3.6A), su orientación permite mayor libertad de rotación. Mientras que las fuerzas sobre las articulaciones cigapofisarias son relativamente pequeñas en bipedestación y sedestación, durante la flexión del tronco y los levantamientos de peso las articulaciones cigapofisarias lumbares desempeñan un mayor papel en la estabilidad de la columna al ayudar a prevenir que unas vértebras se deslicen sobre otras (Fiorini y McCammond, 1976). Estas articulaciones cigapofisarias también pueden soportar fuerzas mayores en hiperextensión, lateroflexión y rotación; se ha demostrado que aportan en torno al 40% de la capacidad de la columna para resistir la torsión rotacional y soportan un 30% de las fuerzas compresivas que se generan en hiperextensión (Hall, 1999).

Las articulaciones cigapofisarias cuentan con el apoyo adicional de una delgada cápsula articular y de ligamentos más distantes de distinta anchura y resistencia, como se ve en la figura 3.4. Estos ligamentos se extienden entre apófisis transversas adyacentes (**ligamentos intertransversos**), entre láminas (**ligamento amarillo**), entre las porciones más profundas de las apófisis espinosas (**ligamentos interespinosos**) y entre las puntas de las apófisis espinosas (**ligamento supraespinoso**). En la región del cuello, el ligamento supraespinoso emerge junto con el **ligamento nucal** y ofrece un punto de inserción a los músculos (Moore y Agur, 1995). El ligamento amarillo también es único por su contenido elástico relativamente elevado (que le confiere ese color amarillento) y ayuda a enderezar la columna después de haberse flexionado.

Los distintos ligamentos de la columna, incluidos los presentes entre los cuerpos y arcos vertebrales, soportan tensión durante las posturas erguidas y son muy importantes para aportar estabilidad a la columna vertebral en conjunto. La pretensión de estos ligamentos, junto con la presencia de los discos intervertebrales, ayuda a oponer resistencia a la tendencia de la columna vertebral a hundirse. Además, los músculos, de los que se hablará brevemente, son fundamentales para la integridad y los movimientos de la columna vertebral.

## *Articulaciones vertebrales especializadas*

Hay varias articulaciones especializadas que se asocian con la columna vertebral. Estas articulaciones establecen vínculos entre la cabeza, las costillas, la pelvis y la columna.

### Articulaciones craneovertebrales

Las **articulaciones craneovertebrales** –atlantooccipital y atlantoaxial– abarcan el cráneo y las dos vértebras cervicales superiores (C1 y C2). Estas vértebras carecen de un disco intervertebral interpuesto, su forma no es la habitual y es-

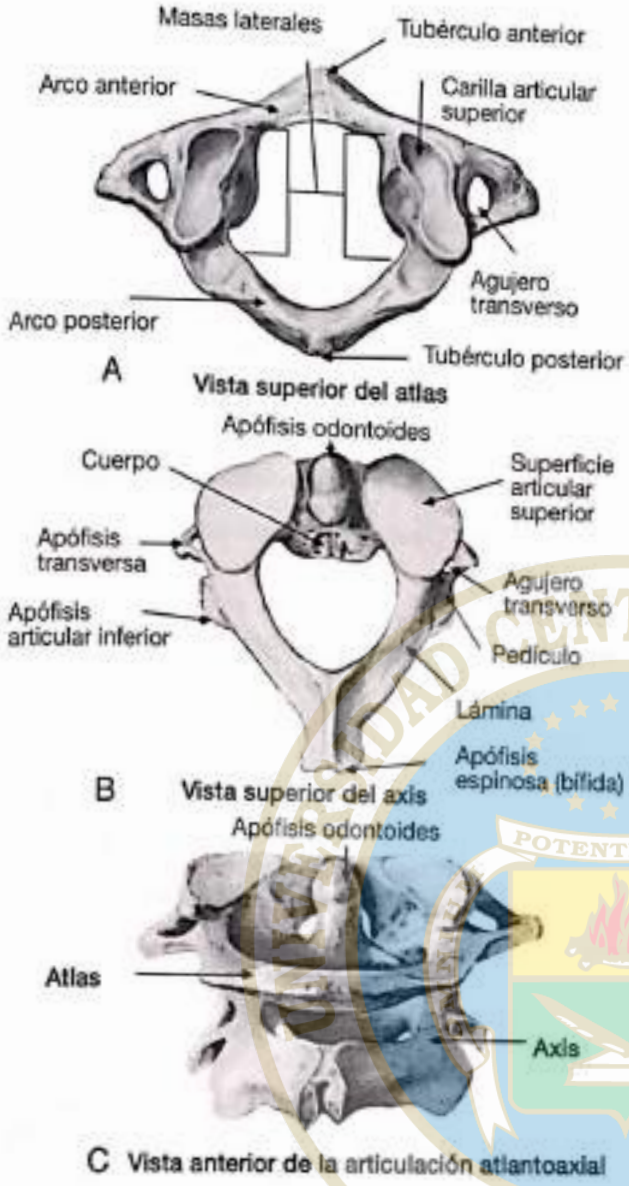



FIGURA 3.7. Vértebras cervicales especializadas. (A) El atlas y (B) el axis se articulan para formar (C) la articulación atlantoaxial.

tán especializadas para cumplir su función de ayudar a sostener y mover la cabeza. La primera vértebra cervical tiene forma anular, sin un cuerpo ni apófisis espinosa, como se ve en la figura 3.7A. Como soporta el peso de la cabeza, C1 recibe el nombre de **atlas** (por el titán mítico que se decía que soportaba sobre su cabeza los pilares del cielo). Sus carillas articulares superiores cóncavas se unen con dos proyecciones basculantes localizadas en la porción inferior del cráneo (cóndilos del occipital) para formar las articulaciones **atlantooccipitales**. Aunque son condilartrosis, su disposición en paralelo limita su movilidad en las acciones de asentir o negar con la cabeza, permitiendo unos 10°-20° de flexión y 25° de hiperextensión (Hay y Reid, 1982; Magee, 1997). Esta articulación también permite una flexión lateral y una rotación muy limitadas (Levangie y Norkin, 2001).

La segunda vértebra cervical tiene una proyección única en forma cilíndrica, denominada **apófisis odontoides**, como se ve en la figura 3.7B. Esta apófisis se proyecta en sentido superior desde su cuerpo para formar un pivote para C1 (sobre el que se asienta el cráneo). Por eso C2 se llama axis, y la articulación entre C1 y C2 se denomina **articulación atlantoaxial** (figura 3.7C). Se considera una articulación trocoide, que permite de 45° a 50° de rotación y posibilita el movimiento de negación con la cabeza (Hay y Reid, 1982; Magee, 1997).

El grado de movilidad permitida en las dos articulaciones craneovertebrales es mucho mayor que el de otras articulaciones intervertebrales, dando más libertad de movimiento a la cabeza, pero volviendo la columna cervical vulnerable a las lesiones. Estos movimientos suelen verse restringidos por los distintos ligamentos de las articulaciones craneovertebrales. Sin embargo, en combates o en caso de traumatismo, el gran ligamento del atlas, que normalmente separa la apófisis odontoides de la médula espinal, se puede romper, permitiendo a la apófisis adentrarse en la porción superior de la médula espinal o en la porción inferior del tronco cerebral, lo cual suele causar parálisis o muerte (Moore y Agur, 1995).

### Articulaciones entre las vértebras dorsales y las costillas

Además de los discos intervertebrales y las articulaciones cigapofisarias entre vértebras adyacentes, la mayoría de las vértebras dorsales se unen con una costilla mediante dos artrodias llamadas articulación costovertebral y articulación costotransversa. Las **articulaciones costovertebrales** (L. *costa*, costilla) se forman entre la cabeza de una costilla y las áreas planas (llamadas carillas o hemicarillas) en los lados del cuerpo de las vértebras correspondientes, o entre dos vértebras adyacentes y el disco interpuesto. Las **articulaciones costotransversas** se forman entre otra carilla en la porción distal de las apófisis transversas y una pequeña proyección (tuberosidad) presente en cada una de las diez primeras costillas (figura 3.8). Estas diez costillas superiores se extienden lateralmente desde su unión con la columna y luego cursan en sentido anterior hasta unirse al esternón directa («costillas verdaderas») o indirectamente («costillas falsas») mediante un segmento de cartílago (los cartílagos costales), como se aprecia en la figura 3.8A. Los dos pares de costillas inferiores son más cortas –no se unen con el esternón–, y como sus extremos laterales están libres, se denominan «costillas flotantes».

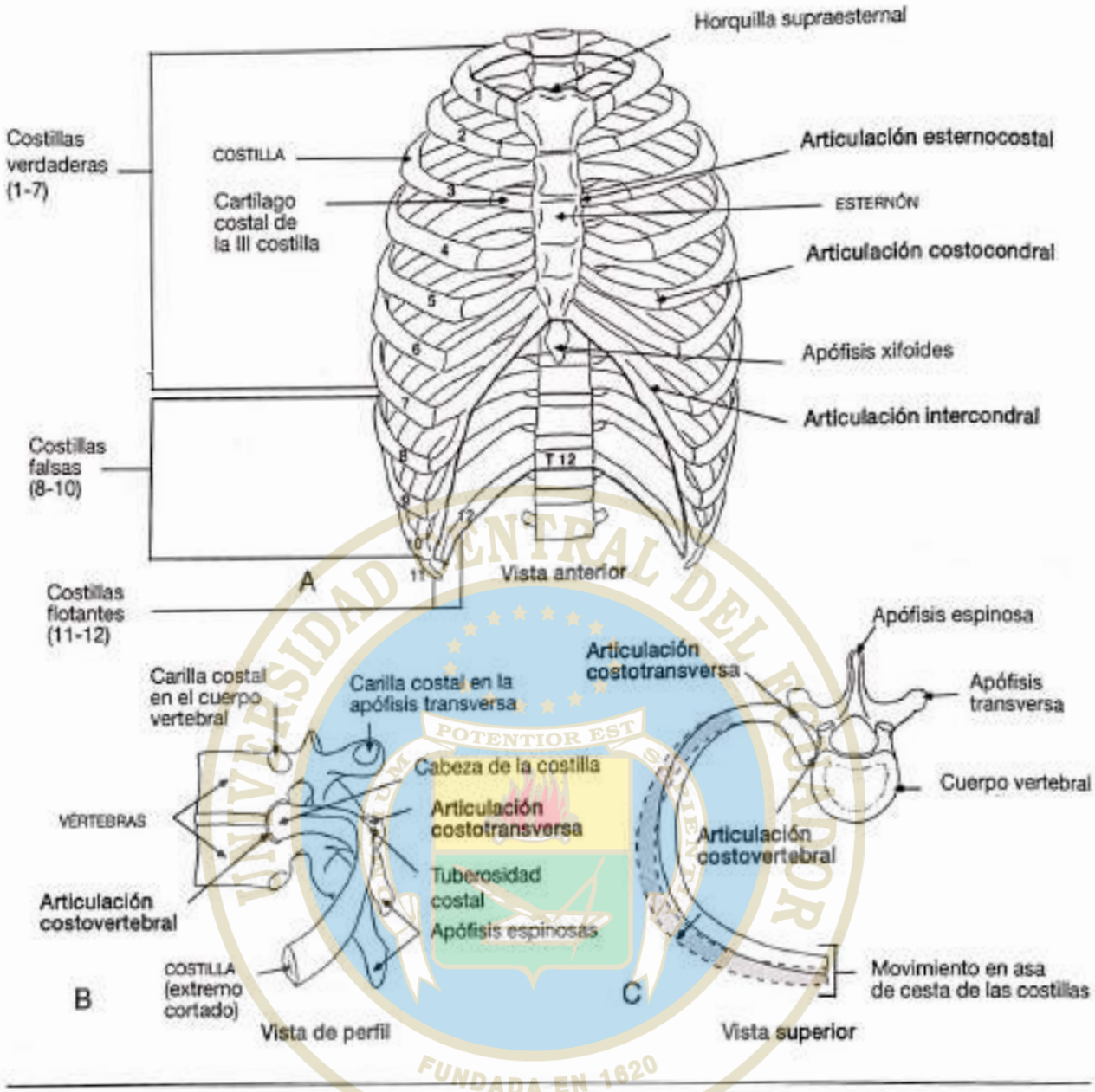



FIGURA 3.8. Caja torácica y articulaciones clave. (A) Vista anterior de las articulaciones clave; (B) vista de perfil; (C) vista superior de las articulaciones entre las costillas y las vértebras.

Las doce vértebras dorsales, las doce costillas (y el cartílago costal asociado) y el esternón componen la **caja torácica**. Esta disposición ofrece una «caja» protectora importante para estructuras vitales como los pulmones y el corazón, así como estabilidad para el ortostatismo y los movimientos, y permite los pequeños pero importantes movimientos de las costillas que acompañan a la respiración. Durante una inspiración vigorosa, las costillas se elevan, mientras que durante la espiración las costillas vuelven a su posición normal. Este movimiento de las costillas inferiores se denomina «movimiento en asa de cesta» (figura 3.8C). Debido a la forma y orientación de las costillas, su elevación genera un aumento del diámetro anteroposterior del tórax a nivel de las costillas superiores, y un aumento del diámetro transverso a nivel de las costillas inferiores.

### Articulación lumbosacra

La porción inferior de la columna está especializada en transferir el peso del cuerpo a través de la pelvis. La articulación entre el cuerpo de la última vértebra lumbar y el sacro rígido (L5-S1), llamada **articulación lumbosacra**, es muy importante para los movimientos de la columna y para los movimientos de la pelvis respecto a aquélla (de esto último

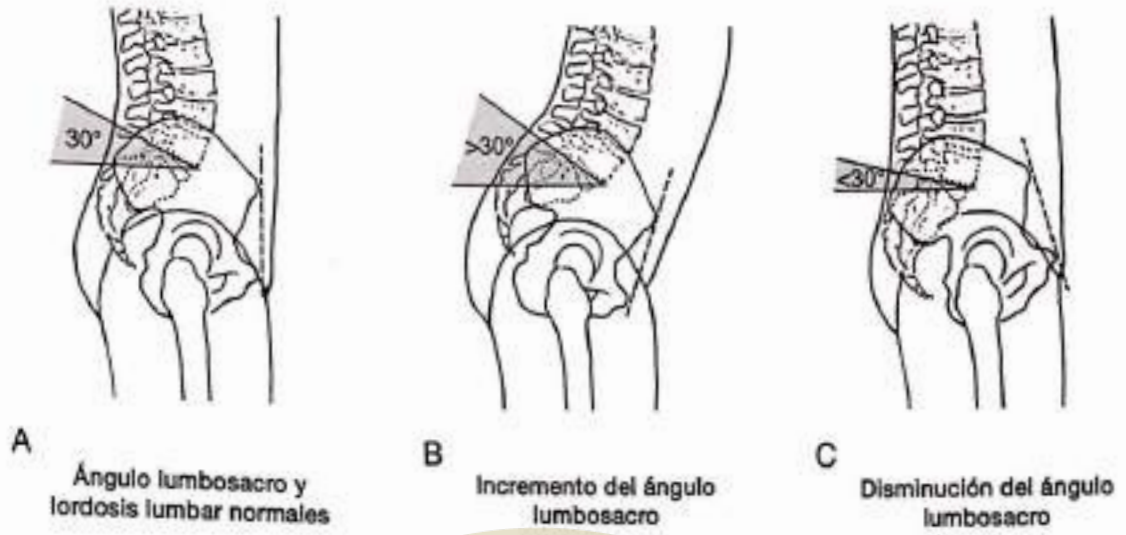



FIGURA 3.9. El ángulo lumbosacro (vista de perfil). (A) Normal; (B) incrementado; (C) disminuido.

se habla en el capítulo 4). Además de los ligamentos intervertebrales, esta articulación es más estable gracias a dos pares de ligamentos que se expanden entre las apófisis transversas de las vértebras lumbares inferiores y la cresta del ilion (ligamento iliolumbar) o el sacro (ligamento lumbosacro). No obstante, a pesar del apoyo adicional de los ligamentos, debido al mayor espesor discal y a una superficie articular mayor, la movilidad es mucho mayor en la articulación lumbosacra que entre las primeras vértebras lumbares. Además, a diferencia de otras regiones de la columna en las que la transición entre regiones es gradual, la articulación lumbosacra forma un ángulo agudo, llamado **ángulo sacrovertebral**, como se aprecia en la figura 3.9. Este ángulo agudo aumenta la tendencia de las vértebras superiores a deslizarse hacia delante sobre las vértebras inferiores (fuerzas de cizallamiento). La mayor fuerza de cizallamiento y la mayor movilidad asociadas con la articulación lumbosacra y la columna lumbar inferior aumentan en gran medida el riesgo de lesión, y aproximadamente el 75% (Grabiner, 1989) de todas las lesiones graves de espalda ocurren a nivel de L4-L5 y L5-S1.

Las porciones laterales del sacro se unen con la pelvis por medio de las **articulaciones sacroilíacas**. De estas articulaciones se hablará en el capítulo 4.

## Movimientos de la columna vertebral

Los movimientos de la columna vertebral se pueden describir en relación con ella en conjunto o respecto al movimiento de algún segmento **(movilidad segmentaria)**. Un **segmento móvil** se compone de dos vértebras adyacentes y sus partes blandas, incluido el disco intervertebral interpuesto. La movilidad segmentaria varía mucho según la región (figura 3.10) (White III y Panjabi, 1978); pero, en general, los movimientos de la columna vertebral son más libres en las regiones cervical y lumbar. En contraste, están más limitados (excepto la rotación) en la región dorsal debido a su unión estructural con la relativamente rígida caja torácica.

En términos de los movimientos articulares específicos, la flexión es máxima en la región cervical, seguida por la región lumbar. Está más limitada en la región dorsal por la presencia de las costillas. La extensión es mayor en las regiones cervical y lumbar. Está más limitada en la región dorsal por la presencia de apófisis espinosas más largas y por la orientación de la curva torácica (convexa posteriormente). La flexión lateral es máxima en las regiones cervical y lumbar. Está más limitada en la región dorsal debido a las costillas. La rotación es libre en la región cervical superior (articulación atlantoaxial) y la región dorsal. La rotación está más limitada en la región lumbar debido a la orientación más vertical de las articulaciones cigapofisarias, que se oponen a este movimiento. Es útil tener presentes estos grados de movilidad cuando se analice y enseñe la ejecución deseada de los movimientos de danza. Por ejemplo, dada la gran extensión potencial de las vértebras lumbares inferiores y la relativamente escasa extensión en la región dorsal, es fácil reparar en por qué muchos bailarines arquean en exceso la región lumbar y no consiguen la extensión deseada en los niveles superiores de la columna en movimientos como el *port de bras en arrière*.

Mientras que la descripción de los movimientos de segmentos individuales es clave para la investigación, la prevención y rehabilitación de lesiones, la descripción de los

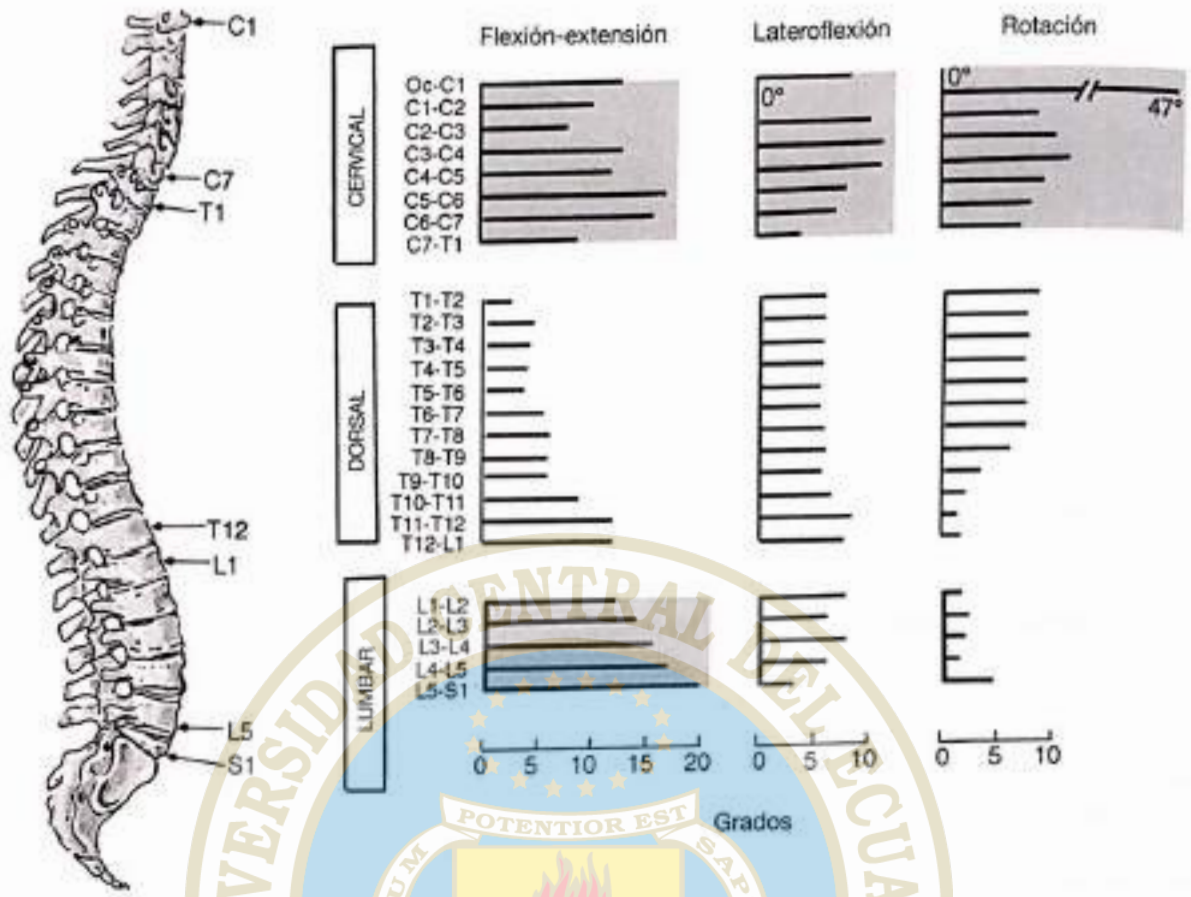



FIGURA 3.10. Movimientos segmentarios compuestos en distintas regiones de la columna vertebral.
Adaptado, con autorización, de A. A. White y M. M. Panjabi, 1978, "The basic kinematics of the lumbar spine", *Spine* 3: 12-20.

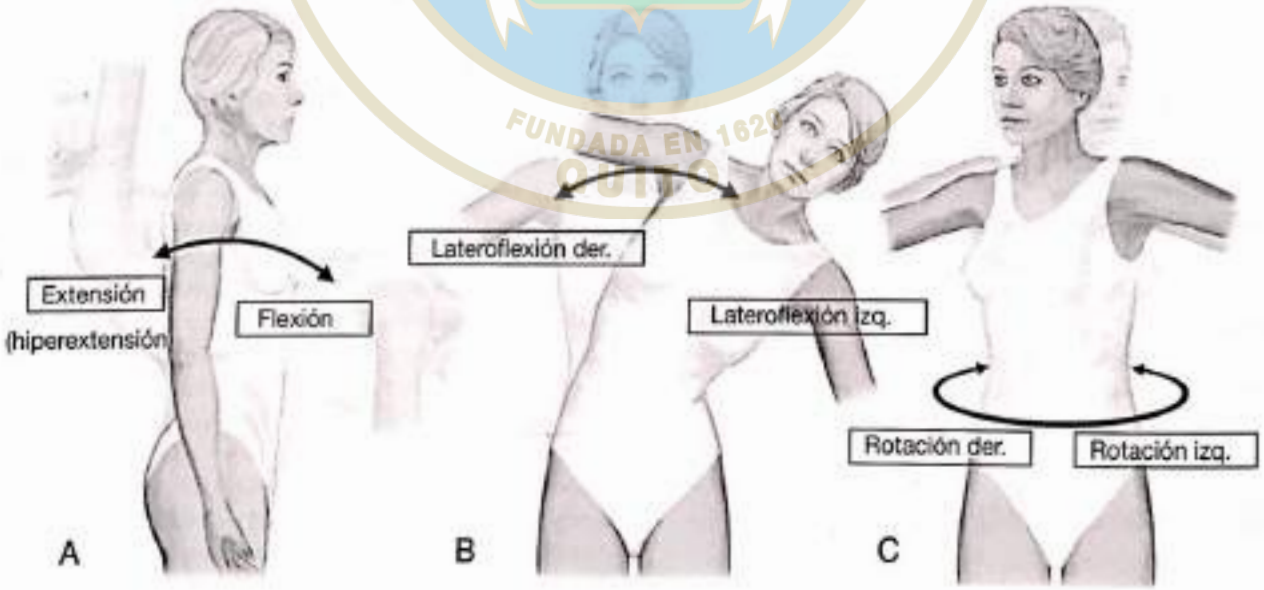



FIGURA 3.11. Movimientos de la columna vertebral. (A) Flexión-extensión; (B) lateroflexión derecha e izquierda; (C) rotación derecha e izquierda.

movimientos de la columna vertebral en conjunto es importante para el análisis del movimiento y para la descripción de las acciones musculares. Y aunque los movimientos entre vértebras individuales son relativamente pequeños y comprenden sólo articulaciones artrodiales y cartilaginosas, la suma de todos estos mínimos movimientos genera un grado considerable de movilidad en la columna en conjunto, comparable a la que se da en una articulación triaxial. Los movimientos de la columna (también llamada tronco) comprenden flexión-extensión en el plano sagital, lateroflexión a derecha e izquierda sobre todo en el plano frontal, y rotación a derecha e izquierda sobre todo en el plano transverso, como se ve en la figura 3.11.

No obstante, en los movimientos funcionales, debido a diversos factores, como la presencia de las curvas anteroposteriores de la columna y la orientación de las articulaciones cigapofisarias, los movimientos de la columna a menudo implican pequeños movimientos sutiles en otros planos que se suman al plano del movimiento primario. Por ejemplo, la rotación se suele asociar con ligera flexión lateral a nivel segmentario. Este vínculo consistente en la unión de la movilidad sobre un eje con el movimiento sobre distintos ejes se denomina **acoplamiento** (Levangie y Norkin, 2001). Los bailarines expertos suelen desarrollar un complejo abanico de patrones de activación muscular para limitar parte de este acoplamiento cuando el efecto estético de la danza exige considerar el movimiento de la columna en conjunto y en un solo plano. Por ejemplo, parte del trabajo de suelo en la danza moderna recurre a la rotación con «la columna extendida y elevada», con un mínimo acompañamiento visible de desviación lateral o lateroflexión de porciones de la columna.

### *Músculos*

Además de los numerosos ligamentos potentes y cápsulas articulares de la columna vertebral, son muchos los músculos que actúan en la columna vertebral. Estos músculos varían desde pequeñas cintillas vitales para la estabilización local hasta grandes músculos capaces de generar grandes fuerzas. Dado el tremendo número de articulaciones y la complejidad de la columna vertebral, potenciada por la presencia de las curvaturas sagitales normales, estos músculos son vitales para mover la columna, estabilizarla y prevenir las lesiones que tantas veces sufre esta región del cuerpo.

## Descripción y funciones de los músculos específicos de la columna

La región de la espalda contiene aproximadamente 200 músculos (Rasch y Burke, 1978), que incluyen los músculos respiratorios, los que mueven las extremidades superiores y los que mueven la columna vertebral. Este libro simplifica la situación centrándose en los músculos clave para la estabilización y los movimientos de la columna, dejando fuera muchos de los músculos que mueven el cuello y la cabeza. La localización de estos músculos raquídeos o espinales elegidos mantiene una relación lógica con sus acciones, siendo los músculos anteriores, excepto el psoasilíaco, los que producen flexión vertebral, generando los músculos posteriores la extensión de la columna, y siendo los músculos laterales los que permiten la lateroflexión. Los músculos más anteriores y posteriores también desempeñan acciones secundarias de rotación y lateroflexión de la columna. Muchos de estos músculos se insertan en la pelvis y el tórax en vez de en las vértebras, lo cual hace que su influencia sobre la columna sea indirecta. (Véase Músculos específicos de la columna vertebral, págs. 82-93.)

## Alineación ideal de la columna y desviaciones habituales

Vista de perfil, la columna vertebral no es una columna recta, sino que presenta cuatro curvas, como se ve en la figura 3.1B. Las curvaturas cervical y lumbar son convexas anteriormente, mientras que las curvaturas dorsal y sacrococcígea son convexas posteriormente. Las curvaturas dorsal y sacra son curvaturas primarias que se desarrollan durante el período fetal y están presentes al nacer (Hall-Craggs, 1985), como se ve en la figura 3.1A. La curva dorsal responde sobre todo a la forma en cuña de las vértebras de esta región. En contraste, las curvaturas cervical y lumbar no se desarrollan por completo hasta después del parto y, por tanto, se denominan **curvaturas secundarias.** Se ha conjeturado que la curva cervical se desarrolla en respuesta a la tracción de los músculos extensores del cuello cuando el bebé comienza a levantar la cabeza en sedestación y a gatear. La curva lumbar se termina de conformar cuando el niño comienza a ponerse de pie y a caminar. Cuando el niño está de pie, la tirantez del ligamento iliofemoral y los músculos flexores de la cadera (véase el capítulo 4) tienden a inclinar anteriormente la porción superior de la pelvis, y la columna lumbar se tiene que extender para mantener erguido el torso. A diferencia de otras curvas, la curva lumbar también tiende a aumentar durante los años de crecimiento: ocurre un incremento aproximado de 10° entre los 7 y los 17 años (Hall, 1999). La curva lumbar es exclusiva de la especie humana y se cree que se trata de una adaptación especial a la postura erguida y a la deambulación (Napier, 1967). Las curvaturas lumbar y sacrococcígea tienden a ser más pronunciadas en las mujeres que en los hombres. En contraste, la curvatura dorsal tiende a ser mayor en los hombres que en las mujeres antes de los 40 años, y luego es similar o –en algunos casos– mucho mayor en las mujeres ancianas (White III y Panjabi, 1978). *(El texto continúa en la página 91.)*

# Músculos específicos de la columna vertebral

## Músculos de la cara anterior de la columna

En la cara anterior de la columna encontramos diversos músculos que actúan sobre todo en la cabeza y cuello (esternocleidomastoideo, los tres escalenos, el grupo prevertebral), los músculos abdominales y el psoasiliaco. Los músculos abdominales están compuestos por los músculos pares recto del abdomen, oblicuo externo del abdomen, oblicuo interno del abdomen y transverso del abdomen. El músculo psoasiliaco cruza la articulación coxofemoral, además de la columna, y en este capítulo sólo hablaremos de su función sobre la columna.

**Inserciones y acciones principales del músculo recto del abdomen**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Recto del abdomen | Cresta del pubis en la pelvis, sínfisis púbica | Cartílagos de las costillas V-VII | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |

### Recto del abdomen

Como su nombre sugiere, este músculo se extiende de arriba abajo, verticalmente, en la porción central del abdomen, como se ve en la figura 3.12. Este músculo es relativamente estrecho pero prominente, y los músculos recto del abdomen derecho e izquierdo están separados por una banda tendinosa llamada línea alba (L. *alba*, blanca). Las fibras musculares son paralelas y las cruzan tres bandas fibrosas aproximadamente horizontales llamadas intersecciones tendinosas, que dan origen al término «tableta de chocolate» usado para describir los músculos abdominales muy desarrollados. El músculo recto del abdomen se localiza a nivel superficial y está encerrado en una vaina formada por las aponeurosis de los otros músculos abdominales, como se aprecia en la figura 3.21C. La acción principal del recto del abdomen es la flexión vertebral, y el recto del abdomen se considera el flexor más poderoso de la columna. Esta acción del músculo sirve para enderezar el torso tras una postura en decúbito supino en trabajo de suelo, o para ejecutar «contracciones» del torso en la danza moderna o la danza jazz. Cuando sólo se contrae el recto del abdomen de un lado (contracción unilateral), este músculo también puede colaborar en la lateroflexión vertebral hacia el mismo lado. Posturalmente, el recto del abdomen ejerce tracción descendente sobre la caja torácica, deprimiendo las costillas inferiores y previniendo que las «costillas dominen» o ejerzan tracción ascendente sobre el pubis, «metiendo» la pelvis (inclinación pélvica posterior).

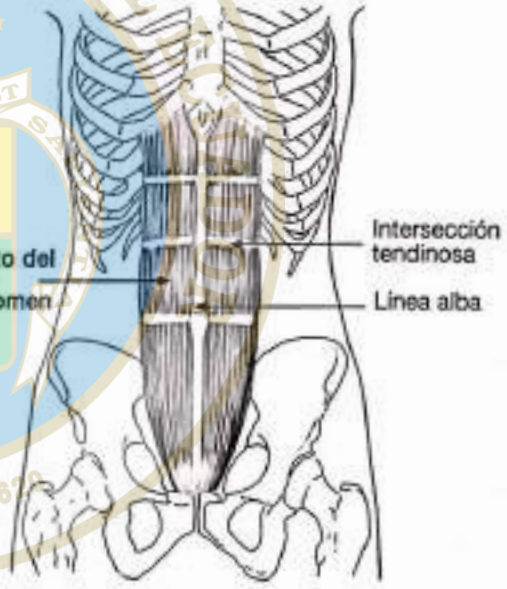



FIGURA 3.12. El músculo recto del abdomen (vista anterior).

*Palpación.* Tumbado boca arriba con las rodillas flexionadas y los pies planos en el suelo, flexiona el tronco de modo que la cabeza y los hombros se levanten del suelo. El recto del abdomen se palpa justo a los lados de la línea media del abdomen desde la base del esternón (apófisis xifoides) hasta el pubis (sínfisis púbica). Además, hay que recorrer la línea media del abdomen con las yemas de los dedos. Las bailarinas que han sido madres presentan en ocasiones una grieta entre este par de músculos. Dicha separación en el tejido conjuntivo –llamada *diastasis recti abdominis*– se produce por las tensiones extremas asociadas con el embarazo y el parto.

**Inserciones y acciones principales del músculo oblicuo externo del abdomen**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Oblicuo externo del abdomen | Cara anterolateral de las 8 costillas inferiores | Cresta anterior del ilion, cresta del pubis y línea alba | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (lado opuesto) |

## *Oblicuo externo del abdomen*

Como su nombre sugiere, este músculo es el más superficial de los músculos oblicuos y discurre en sentido diagonal descendente desde sus inserciones laterales hacia sus inserciones mediales. La línea de tracción de las fibras de este músculo par describe una V en la cara anterior del abdomen, formando cada una de ellas un palo de la V. Es un músculo delgado y plano pero muy expansivo, que recubre el abdomen desde el recto del abdomen hasta el dorsal ancho (figura 3.13). Debido a su localización lateral y a su línea de tracción diagonal, el músculo oblicuo externo tiende a generar lateroflexión vertebral hacia el mismo lado, o rotación hacia el lado opuesto. Al rotar la columna con la pelvis estática, tira del lado lateral de la caja torácica hacia abajo y medialmente hacia la línea media del tronco, como durante la torsión del torso. No obstante, cuando los músculos oblicuos externos derecho e izquierdo se contraen juntos (contracción bilateral), generan flexión vertebral y el mismo tipo de movimientos que el músculo recto del abdomen. Con su disposición curva alrededor del abdomen, estos músculos están situados estratégicamente para ayudar a aplanar el abdomen, descender la parrilla costal inferior y mantener una postura correcta del torso y de la pelvis.

FIGURA 3.13. Músculo oblicuo del abdomen (vista de perfil).

*Palpación.* Flexiona el tronco unos 20°, lo mismo que para palpar el músculo recto del abdomen, y luego gira a la izquierda. Podrás palpar la contracción del músculo oblicuo externo derecho situando las yemas de los dedos debajo de las costillas y unos 10 centímetros laterales respecto al ombligo.

**Inserciones y acciones principales del músculo oblicuo interno del abdomen**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Oblicuo interno del abdomen | Fascia toracolumbar, 2/3 anteriores de la cresta ilíaca, porción lateral del ligamento inguinal | Costillas IX-XII, cartílagos de las costillas VII-IX y línea alba | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |

## *Oblicuo interno del abdomen*

Como su nombre indica, este músculo se halla a nivel profundo debajo del oblicuo externo. Al igual que éste, es un músculo muy plano que forma la túnica intermedia de los músculos abdominales. Sus fibras superiores se extienden en diagonal ascendente en dirección medial desde sus inserciones inferiores más laterales en un ángulo aproximado de 90° respecto a los músculos oblicuos externos, como se ve en la fi-

gura 3.14 (sus fibras inferiores discurren más horizontalmente). Cuando el músculo oblicuo interno se contrae genera lateroflexión hacia el mismo lado, así como rotación hacia el mismo lado, como en la inclinación lateral, en vueltas con el cuerpo no alineado o movimientos espirales del torso al bailar. En la rotación con la pelvis estática, este músculo ejerce tracción lateral del área abdominal media hacia la cresta ilíaca y muestra más actividad durante la rotación que el músculo oblicuo externo (Ng *et al.*, 2002). En contraste, el músculo oblicuo externo muestra más actividad durante la lateroflexión que el oblicuo interno. La contracción bilateral de los músculos oblicuos internos derecho e izquierdo genera flexión del tronco o la columna y movimientos similares a los del músculo recto del abdomen. Al igual que los oblicuos externos, los oblicuos internos colaboran en aplanar la pared abdominal, ejercen tracción descendente sobre la porción inferior de la caja torácica, producen una inclinación posterior de la pelvis y mantienen la estabilidad de la columna.

*Palpación.* Como los músculos oblicuos y transverso del abdomen son túnicas delgadas de músculo que discurren a nivel superficial o profundo unas de otras, sus acciones individuales no se diferencian bien. Sin embargo, cuando se practica una flexión de abdominales con rotación a la izquierda (como se describió para la palpación del músculo oblicuo externo), la tensión apreciable en el lado izquierdo del abdomen, justo medial a la cara anterior de la cresta de la pelvis, es en parte debida a la contracción del oblicuo interno izquierdo.

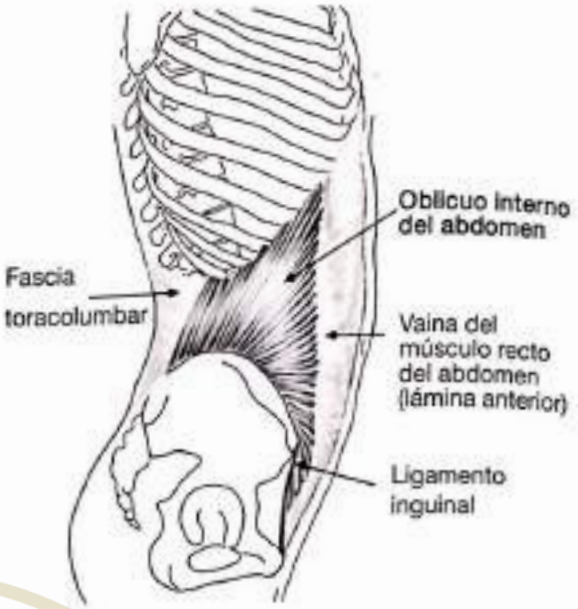



FIGURA 3.14. Músculo oblicuo interno del abdomen (vista de perfil).

**Inserciones y acciones principales del músculo transverso del abdomen**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Transverso del abdomen | Fascia toracolumbar, 3/4 anteriores de la cresta ilíaca, porción lateral del ligamento inguinal, costillas VII-XII (cartílagos costales) | Línea alba, púbis | Constricción de la pared abdominal y su contenido<br>Ayuda a estabilizar la columna vertebral |

## *Transverso del abdomen*

Como su nombre sugiere, este músculo cruza el área abdominal más o menos horizontalmente (figura 3.15). Forma la túnica más profunda de los músculos abdominales, justo debajo de los músculos oblicuos. De forma parecida a los oblicuos externos e internos, es un músculo plano, y sus fibras musculares se sitúan sobre todo a los lados del abdomen. Las aponeurosis anteriores del transverso del abdomen se fusionan con las aponeurosis anteriores de los músculos oblicuos externos e internos para formar un único tendón (línea alba) que se divide centralmente y constituye una vaina, por la que se extiende verticalmente el músculo recto del abdomen.

En contraste con los otros músculos abdominales, el transverso del abdomen se considera sobre todo un músculo postural y un músculo respiratorio. Con sus fibras orientadas horizontalmente, no es capaz de generar flexión vertebral, sino que, cuando sus fibras se contraen, comprime el contenido del abdomen y, por

FIGURA 3.15. Músculo transverso del abdomen (vista anterolateral).

eso, a veces se denomina «músculo corsé», ya que encierra la cavidad abdominal de forma parecida a como lo hace un corsé. El músculo transverso del abdomen se emplea en acciones como la espiración forzada, al toser, estornudar, hablar, reír, al ponerse en tensión y al «meter» el abdomen. Aunque en el caso de la respiración parece que este músculo se recluta preferencialmente, los otros movimientos enumerados no se generan sólo con el músculo transverso del abdomen, sino que suelen implicar la contracción en menor medida del recto del abdomen, y la de los oblicuos en mayor medida (De Troyer *et al.*, 1990; Floyd y Silver, 1950). El músculo transverso del abdomen también es importante para la estabilización de la columna vertebral cuando los brazos o piernas se mueven, y para proteger la columna al levantar pesos. En danza, a menudo se da relevancia a la función de «meter el abdomen» de este músculo dado que ayuda a lograr el efecto estético de un «vientre plano».

**Inserciones y acciones principales del músculo psoasilíaco**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Psoas mayor | Apófisis transversas, cuerpos y discos intervertebrales de T12-L5 | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Postura (mantenimiento de la curvatura lumbar normal) |
| Ilíaco | Fosa ilíaca, cresta ilíaca, sacro | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral |

## *Psoasilíaco*

El psoasilíaco –compuesto por el psoas mayor y el ilíaco– es un poderoso músculo flexor de la cadera, y de esta función se hablará con más detalle en el capítulo 4. No obstante, es importante fijarse en que, debido a su inserción en la porción anterior de los cuerpos, discos y apófisis transversas de la última vértebra dorsal y de todas las lumbares (T12-L5), el músculo psoas mayor (G. *psoa*, músculos del lomo) también influye directamente en la columna lumbar, generalmente provocando extensión y flexión lateral lumbares en ortostatismo (véase la Paradoja del psoas, pág. 108 para más información). En contraste, el músculo ilíaco puede influir indirectamente en la curvatura de la columna mediante sus amplias inserciones en la pelvis (figura 3.16), porque la tracción anterior de la porción superior de la pelvis (inclinación pélvica anterior) se acompaña de un aumento de la extensión lumbar. Por tanto, se cree que el músculo psoasilíaco es clave para mantener la curvatura lumbar normal (Hamilton y Luttgens, 2002; Michele, 1960) en sedestación y bipedestación erguidas (Basmajian y DeLuca, 1985; Nachemson, 1966), y la tirantez bilateral puede contribuir a una curvatura lumbar excesiva (hiperlordosis lumbar), mientras que la debilidad y longitud excesiva contribuyen a una curvatura lumbar insuficiente (espalda plana). La tirantez unilateral del psoasilíaco puede causar una inclinación lateral de la curvatura de la columna (escoliosis funcional) o ligeras rotaciones de la columna o la pelvis, algo habitual en los bailarines.

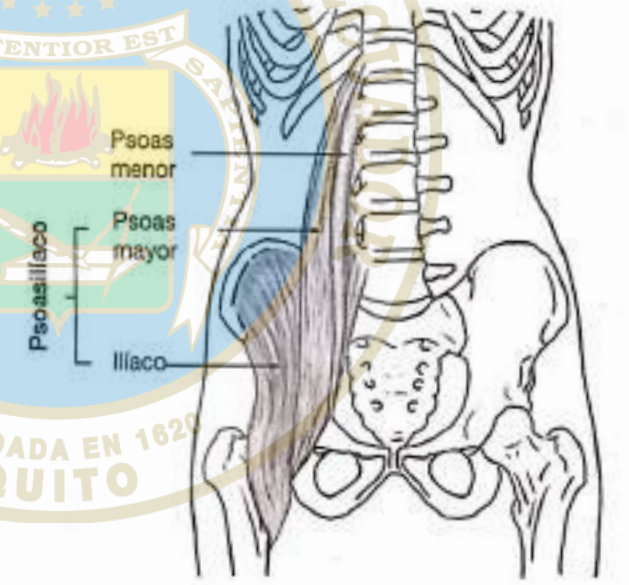



FIGURA 3.16. Músculo psoasilíaco (vista anterior).

*Palpación.* Sentado en el suelo o en una silla, inclínate hacia delante para relajar los músculos abdominales y presiona con cuidado con las yemas de los dedos índice y corazón a nivel profundo del abdomen, a unos 2,5 centímetros mediales a la porción frontal de la parte superior de la cresta ilíaca. Luego, levan-

ta la rodilla del mismo lado hacia el pecho (flexión coxofemoral) sin echarte hacia atrás, y sentirás cómo se tensa el músculo psoasilíaco debajo de la pared abdominal superficial.

## *Músculos de la cara posterior de la columna*

Los músculos posteriores de la columna vertebral (músculos paravertebrales) son los que actúan principalmente sobre el cuello y la cabeza (esplenios y suboccipitales) y un gran número de músculos pares cuya acción común es la extensión de la columna. Aunque existen muchos sistemas de clasificación, este libro usará la división de estos músculos extensores de la columna en tres grupos: el erector de la columna, los semiespinosos y los espinosos posteriores profundos. En estos grupos, los músculos más profundos se disponen en fascículos cortos que se extienden entre las vértebras adyacentes (grupo de espinosos posteriores profundos), mientras que los más superficiales forman fascículos progresivamente mayores, como es el caso de los semiespinosos y el erector de la columna. Esta arquitectura permite una compleja coordinación fina por parte de las cintillas más pequeñas, y una gran producción de fuerza por parte de las cintillas más largas.

**Inserciones y acciones principales del músculo erector de la columna**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Espinosos** | | | |
| Espinoso del cuello | Apófisis espinosa de C7 (a veces T1-T2) | Apófisis espinosas de C2-C4 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |
| Espinoso torácico | Apófisis espinosas de T11-L2 | Apófisis espinosas de las vértebras dorsales superiores (T1-T4 o T8) | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |
| **Longísimos** | | | |
| Longísimo de la cabeza | Apófisis transversas de T1-T4 o T5, apófisis articulares de C4 o C5-C7 | Porción inferolateral del cráneo (apófisis mastoides) | Extensión de la cabeza<br>Lateroflexión de la cabeza y la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la cabeza (mismo lado) |
| Longísimo del cuello | Apófisis transversas de T1-T4 o T6 | Apófisis transversas de C2-C6 | Extensión de la columna C<br>Lateroflexión de la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la columna C (mismo lado) |
| Longísimo torácico | Apófisis espinosas lumbares, fascia toracolumbar | Apófisis transversas de T1-T5, porción posteromedial de las 10 costillas inferiores | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| **Iliocostales** | | | |
| Iliocostal cervical | Ángulos de las costillas III-VI | Apófisis transversas de C4-C6 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Iliocostal torácico | Bordes superiores de los ángulos de las 6 costillas inferiores | Ángulos de las 6 costillas superiores, apófisis transversa de C7 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Iliocostal lumbar | Apófisis espinosas de T11-L5, porción posterior del sacro, cresta ilíaca | Borde inferior de los ángulos de las 6 ó 7 costillas inferiores | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |

## *Erector de la columna*

El erector de la columna es un enorme músculo par, el más poderoso de la columna. Se halla en los canales existentes a ambos lados de la columna vertebral. El músculo se origina caudalmente como una gran masa, pero pronto se divide en tres columnas musculares aproximadamente verticales. La columna medial es el músculo espinoso; la columna intermedia es el músculo longísimo, y la columna lateral es el músculo iliocostal. Cada columna puede a su vez dividirse en tres partes de acuerdo con sus inserciones superiores, como se ve en la figura 3.17. Como se aprecia por las inserciones de estos músculos, cubren diversas regiones de la columna vertebral y se componen de fascículos que suelen abarcar de seis a ocho segmentos vertebrales. Los dos músculos iliocostales (torácico y lumbar) y el longísimo (torácico) presentan inserciones en las costillas de la región torácica, mientras que el músculo espinoso se localiza más centralmente y se extiende sólo entre vértebras y sus ligamentos asociados.

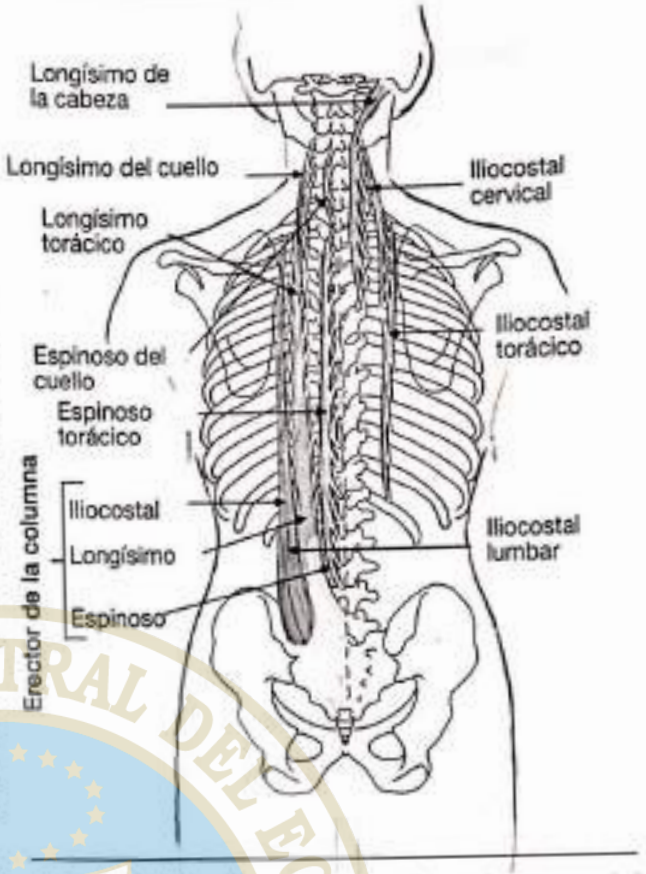



FIGURA 3.17. Músculo erector de la columna (vista posterior).

Aunque los distintos componentes y las diferentes regiones del músculo erector de la columna ejercen acciones ligeramente diferentes, su contracción bilateral combinada genera extensión de la columna, de la cabeza o de ambas, como cuando se usan para incorporar el tronco a la vertical desde una posición de anteroflexión. Cuando se contraen unilateralmente, estos componentes producen lateroflexión hacia el mismo lado, sobre todo usados en combinación con los músculos abdominales. Además, el longísimo y el iliocostal pueden producir rotación hacia el mismo lado de la columna o la cabeza, como cuando se gira el torso de modo que los hombros miren hacia delante en un *arabesque*. El erector de la columna también contribuye a la estabilidad y protección de la columna vertebral.

*Palpación*. En ortostatismo, pon los dedos planos sobre la región lumbar, los de la mano derecha justo a la derecha de las apófisis espinosas lumbares, y los de la mano izquierda justo a la izquierda de las mismas apófisis espinosas. Flexiona lentamente el tronco hacia delante unos 40° y luego levanta lentamente el torso de vuelta a la vertical. La tensión que sientas bajo los dedos al incorporarse el torso se debe a la contracción del músculo erector de la columna. También se percibe la contracción del músculo erector de la columna a ambos lados cuando se camina lentamente con las manos en la misma posición descrita.

**Inserciones y acciones principales del músculo semiespinoso**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Semiespinoso** | | | |
| Semiespinoso de la cabeza | Apófisis transversas de C7-T7<br>Apófisis articulares de C4-C6 | Hueso occipital<br>Apófisis espinosas C4-C6<br>Segmentos superiores de las regiones cervical y dorsal superior | Extensión de la cabeza y la columna C<br>Lateroflexión de la cabeza y la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la cabeza y la columna C (lado opuesto) |
| Semiespinoso del cuello | Apófisis transversas de T1-T6 | Apófisis espinosas de C2-C5 | Extensión de la columna C y T superior<br>Lateroflexión de la columna C y T superior (mismo lado)<br>Rotación de la columna C y T superior (lado opuesto) |
| Semiespinoso torácico | Apófisis transversas de T6-T10 | Apófisis espinosas de C6-T4 | Extensión de la columna C y T<br>Lateroflexión de la columna C y T (mismo lado)<br>Rotación de la columna C y T (lado opuesto) |

### *Semiespinoso*

El semiespinoso se sitúa cerca de las vértebras, debajo del músculo erector de la columna. Se divide en tres porciones de acuerdo con sus inserciones superiores, como se ve en la figura 3.16. Como sugiere su nombre, estos tres músculos pares sólo se localizan en las regiones dorsal y cervical de la columna. Excepto en la región superior, las fibras musculares se extienden desde la apófisis transversa hasta la apófisis espinosa varias vértebras por encima, y por eso su línea de tracción se dirige hacia dentro y arriba desde su inserción inferior. De acuerdo con su línea de tracción, cuando un lado se contrae, la acción es lateroflexión de la columna y rotación hacia el lado contrario. Cuando ambos lados se contraen, pueden generar extensión de la columna dorsal, cervical, o de la cabeza, y son algunos de los músculos que se trabajan cuando se intenta fortalecer «la parte alta de la columna». En danza, el semiespinoso se emplea con los otros músculos extensores de la columna para lograr el arqueamiento deseado de la porción superior de la espalda, y una columna «larga y elevada» cuando el torso está vertical.

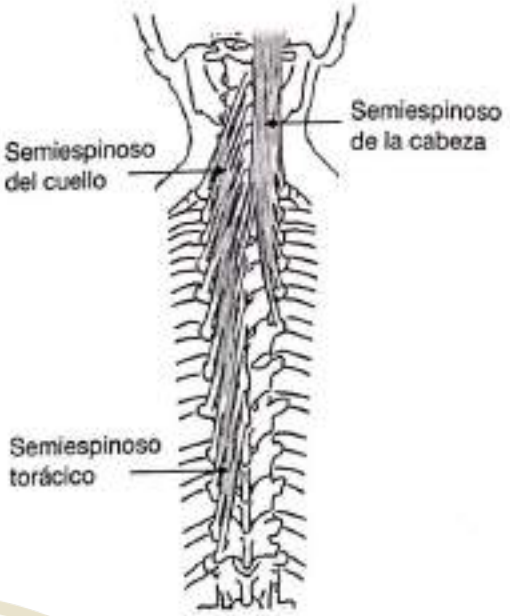



FIGURA 3.18. El músculo semiespinoso (vista posterior).

*Palpación.* Pon los dedos de la mano derecha planos contra la porción inferior del cuello, justo a la derecha de las apófisis espinosas de las vértebras cervicales inferiores, y la palma de la mano izquierda contra la sien izquierda. Gira lentamente la cabeza a la izquierda. La tensión que percibas bajo los dedos cuando gira la cabeza se debe en parte a la contracción del semiespinoso (de la cabeza).

**Inserciones y acciones principales del grupo de músculos posteriores profundos de la columna**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Interespinosos | Apófisis espinosas de las vértebras C y L | Apófisis espinosa de la vértebra superior | Estabilización<br>Extensión local de la columna |
| Intertransversos | Sobre todo las apófisis transversas de las vértebras C y L | Sobre todo la apófisis transversa de la vértebra superior | Estabilización<br>Extensión local de la columna<br>Lateroflexión local de la columna (mismo lado) |
| Rotadores | Apófisis transversas de una vértebra, más desarrolladas en la región dorsal | Unión de las láminas y la apófisis espinosa, o la apófisis transversa de 1-2 vértebras superiores | Estabilización<br>Extensión local de la columna<br>Lateroflexión local de la columna (mismo lado)<br>Rotación local de la columna (lado opuesto) |
| Multífidos | Sacro, ilion, apófisis transversas de T1-T3 y apófisis articulares de C4-C7, más desarrolladas en la región lumbar | Apófisis espinosas de 2-4 vértebras superiores de C2-L5 | Estabilización<br>Extensión local de la columna<br>Lateroflexión local de la columna (mismo lado)<br>Rotación local de la columna (lado opuesto) |

### *Grupo de músculos posteriores profundos de la columna*

El grupo de músculos posteriores profundos de la columna son los intertransversos, interespinosos, rotadores y multífidos. Estos músculos se componen de una serie de pequeñas láminas pares que abarcan de una a cuatro vértebras en distintas regiones de la columna, como se ve en la figura 3.19. En general, los intertransversos se expanden entre las apófisis transversas de vértebras adyacentes; los interespinosos entre las apófisis espinosas de vértebras adyacentes, y los rotadores (L. *rotatio,* girar) y multífidos

(L., divididos en muchas hendiduras o segmentos) entre las apófisis transversas y espinosas. Todos estos músculos comparten la acción común de extender la columna cuando ambos lados se contraen. Además, la contracción unilateral de los músculos intertransversos y multífidos genera cierto grado de lateroflexión, mientras que los rotadores y multífidos generan un poco de rotación hacia el lado contrario. No obstante, muchos de estos músculos profundos presentan muy poca ventaja mecánica y se cree que son más importantes para la estabilización de la columna, y para ayudar a controlar el movimiento segmentario, que para la producción de las grandes fuerzas asociadas con los movimientos de la columna en conjunto (Basmajian y DeLuca, 1985; Donisch y Basmajian, 1972; McGill, 2001; Panjabi *et al.*, 1989). Estos músculos presentan mayor densidad de receptores (husos musculares), los cuales proporcionan la retroalimentación que sirve para detectar y monitorizar la posición exacta de las vértebras (Moore y Dalley, 1999; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Debido a su localización profunda, el grupo de músculos posteriores profundos de la columna no se pueden palpar fácilmente.

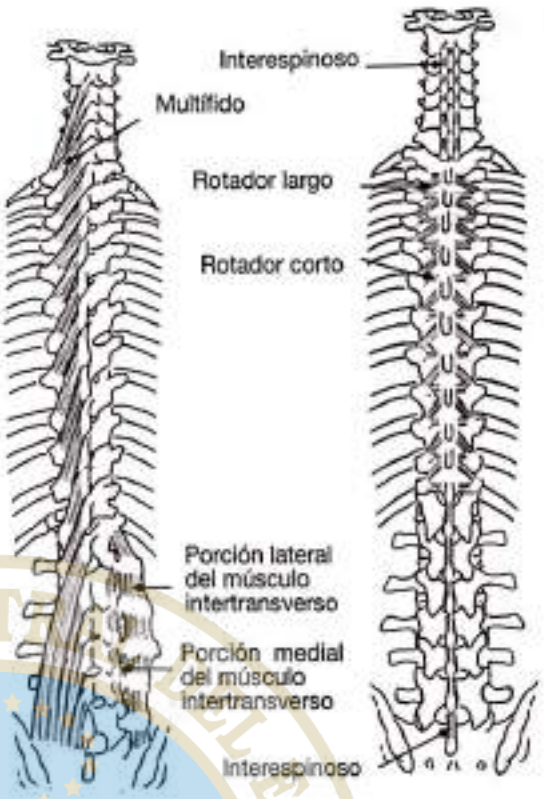



FIGURA 3.19. Músculos posteriores profundos de la columna (vista posterior).

## Músculos laterales de la columna vertebral

Hay un músculo par, el cuadrado lumbar, que se localiza posterolateralmente más que anterior o posterior. Esta localización lateral le confiere la capacidad única de generar lateroflexión de la columna sin movimientos adicionales. Los otros músculos que generan lateroflexión se localizan anteriormente –por lo que tienden también a generar flexión (los músculos abdominales)–, o posteriormente, por lo que tienden también a generar extensión (extensores de la columna).

**Inserciones y acciones principales del músculo cuadrado lumbar**

| Músculo | Inserciones inferiores | Inserciones superiores | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Cuadrado lumbar | Cresta ilíaca posterior<br>Ligamento iliolumbar | XII costilla, puntas de las apófisis transversas de L1-L4 | Fija o deprime la costilla inferior<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Estabiliza la columna y la pelvis |

## Cuadrado lumbar

El cuadrado lumbar es un músculo plano localizado a ambos lados de la columna, detrás de la cavidad abdominal en el área lumbar, como se ve en la figura 3.20. Sus fibras ascienden desde la cresta ilíaca hasta la costilla inferior, con fascículos laterales que se extienden medialmente hasta insertarse en las cuatro vértebras lumbares superiores. Cuando el músculo de un lado se contrae, genera lateroflexión de la columna hacia el mismo lado. Desde el punto de vista postural, el cuadrado lumbar deprime las últimas costillas, estabiliza la columna y mantiene nivelada la pelvis. Esta última función de no dejar que un lado de la pelvis esté más bajo que el otro respecto a la caja torácica es crucial durante la fase de oscilación de la marcha y para la pierna que trabaja durante los movimientos de danza en posición de pie.

*Palpación.* Sentado en una silla con la porción superior del torso hacia delante, pon los dedos debajo de la última costilla y hacia la columna vertebral (debajo del erector de la columna, si es posible) en el lado de-

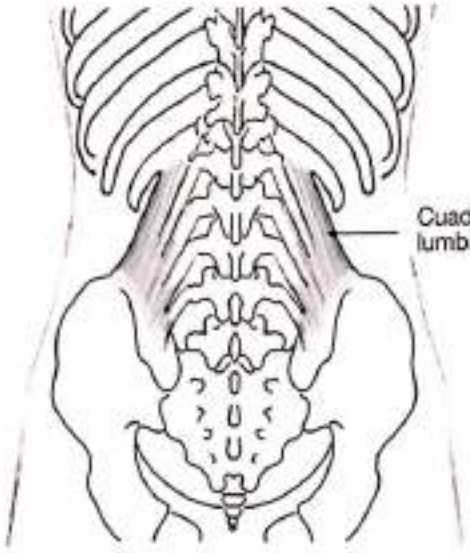



FIGURA 3.20. Músculo cuadrado lumbar (vista posterior).

recho. A continuación, eleva la cadera derecha (aproxima la cresta ilíaca derecha hacia las costillas). La tensión que percibas se deberá en parte a la contracción del músculo cuadrado lumbar.

## Resumen de las inserciones y acciones de los músculos de la columna vertebral

En la tabla 3.1 aparece un resumen de las inserciones de los músculos de la columna, y las inserciones de músculos elegidos aparecen en las figuras 3.21A y B, y 3.22A y B. De esta información, debes deducir la línea de tracción y las posibles acciones resultantes de los músculos primarios de la columna vertebral; comprueba los resultados mirando la figura 3.21D y la figura 3.22C.

**Tabla 3.1. Resumen de las inserciones y acciones principales de los músculos de la columna vertebral**

| Músculo | Origen* | Inserción** | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos anteriores** | | | |
| Recto del abdomen | Cresta del pubis en la pelvis, sínfisis púbica | Cartílagos de las costillas V-VII | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |
| Oblicuo externo del abdomen | Cara anterolateral de las 8 costillas inferiores | Cresta anterior del ilion, cresta púbica y línea alba | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (lado opuesto) |
| Oblicuo interno del abdomen | Fascia toracolumbar, 2/3 anteriores de la cresta ilíaca, ligamento inguinal | Costillas IX-XII, cartílagos de las costillas VII-IX y línea alba | Flexión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Transverso del abdomen | Fascia toracolumbar, 3/4 anteriores de la cresta ilíaca, ligamento inguinal, costillas VII-XII (cartílagos costales) | Línea alba, pubis | Constricción de la pared abdominal y su contenido<br>Ayuda a estabilizar la columna vertebral |
| Psoasilíaco | | | |
| Psoas mayor | Apófisis transversas, cuerpos y discos intervertebrales de T12-L5 | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Postura (mantenimiento de la curvatura lumbar normal) |
| Ilíaco | Fosa ilíaca, cresta ilíaca, sacro | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral |
| **Músculos posteriores** | | | |
| Erector de la columna: espinosos | | | |
| Espinoso del cuello | Apófisis espinosa de C7 (a veces T1-T2) | Apófisis espinosas de C2-C4 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |
| Espinoso torácico | Apófisis espinosas de T11-L2 | Apófisis espinosas de las vértebras dorsales superiores (T1-T4 o T8) | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado) |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

| Músculo | Origen* | Inserción** | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Erector de la columna: longísimos | | | |
| Longísimo de la cabeza | Apófisis transversas de T1-T4 o T5, apófisis articulares de C4 o C5-C7 | Porción inferolateral del cráneo (apófisis mastoides) | Extensión de la cabeza<br>Lateroflexión de la cabeza y la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la cabeza (mismo lado) |
| Longísimo del cuello | Apófisis transversas de T1-T4 o T6 | Apófisis transversas de C2-C6 | Extensión de la columna C<br>Lateroflexión de la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la columna C (mismo lado) |
| Longísimo torácico | Apófisis espinosas lumbares, fascia toracolumbar | Apófisis transversas de T1-L5, porción posteromedial de las 10 costillas inferiores | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Erector de la columna: iliocostales | | | |
| Iliocostal cervical | Ángulos de las costillas III-VI | Apófisis transversas de C4-C6 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Iliocostal torácico | Bordes superiores de los ángulos de las 6 costillas inferiores | Ángulos de las 6 costillas superiores, apófisis transversa de C7 | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Iliocostal lumbar | Apófisis espinosas de T11-L5, porción posterior del sacro, cresta ilíaca | Borde inferior de los ángulos de las 6 ó 7 costillas inferiores | Extensión de la columna<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Rotación de la columna (mismo lado) |
| Semiespinoso | Fascículos musculares que abarcan varias vértebras desde las apófisis transversas de C4-T10 hasta la porción posterior del cráneo o las apófisis espinosas de C2-T4 | | Extensión de la cabeza y la columna C<br>Lateroflexión de la cabeza y la columna C (mismo lado)<br>Rotación de la cabeza y la columna C (lado opuesto) |
| Grupo de músculos posteriores profundos de la columna | 1. De apófisis espinosa a apófisis espinosa (interespinosos)<br>2. De apófisis transversa a apófisis transversa (intertransversos)<br>3. De apófisis transversa a láminas de la vértebra superior (rotadores)<br>4. Por lo general, de apófisis transversa a las apófisis espinosas superiores (multífido) | | Estabilización<br>Extensión local de la columna<br>Lateroflexión local de la columna (mismo lado)<br>Rotación local de la columna (lado opuesto) |
| **Músculos laterales** | | | |
| Cuadrado lumbar | Cresta ilíaca posterior<br>Ligamento iliolumbar | XII costilla, puntas de las apófisis transversas de L1-L4 | Fija o deprime la costilla inferior<br>Lateroflexión de la columna (mismo lado)<br>Estabiliza la columna y la pelvis |

* Inserción inferior, lateral o proximal para los músculos anteriores; inserción inferior para los músculos posteriores y laterales de la columna.
** Inserción superior, medial o distal para los músculos anteriores; inserción superior para los músculos posteriores y laterales de la columna.

Cuando estas curvas en el plano sagital son de magnitud normal, su presencia equilibrada contribuye a dotar a la columna de las características propias de un muelle y le permite soportar grandes fuerzas y moverse con más libertad que si fuera una columna recta. No obstante, en algunos casos, una o más de estas curvas son excesivas, alterando así el equilibrio y generando una tensión excesiva en algunos segmentos de la columna. Son exageraciones de las curvaturas normales en el plano sagital los casos de lordosis cervical, cifosis y lordosis lumbar, mientras que la pérdida de parte de la curvatura lumbar se denomina espalda plana (figura 3.23, pág. 94). La curvatura anormal en el plano frontal se denomina escoliosis. Las formas más leves de estos problemas de alineación pueden deberse a desequilibrios musculares y a patrones de movimiento habituales, pero es importante darse cuenta de que estas condiciones de alineación pueden también estar relacionadas con alguna afección subyacente más grave o tener una base genética o psicológica.

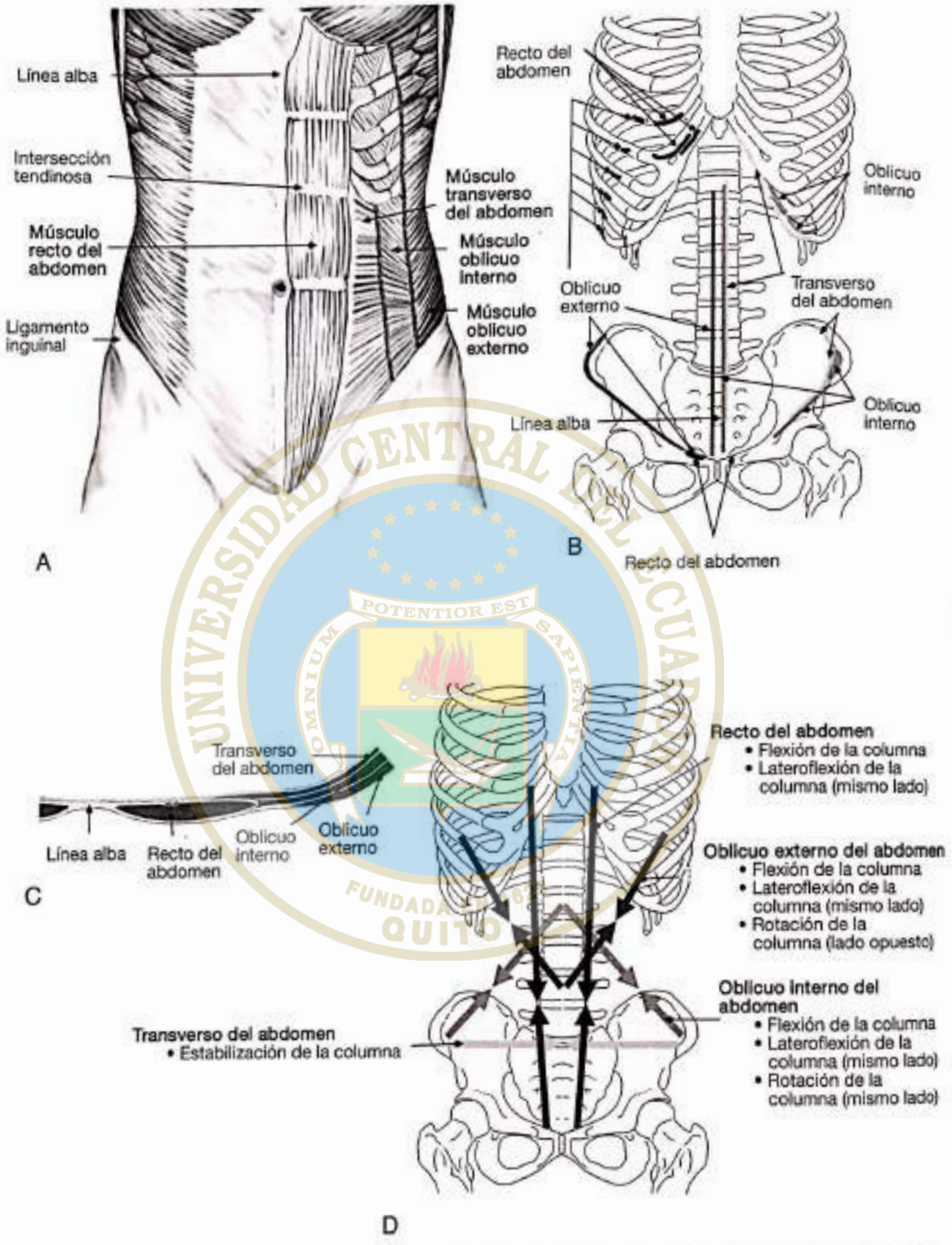



FIGURA 3.21. Vista anterior de los principales músculos que actúan sobre la columna vertebral: (A) músculos; (B) inserciones; (C) vaina formada por las aponeurosis de los músculos abdominales; (D) línea de tracción y acciones.

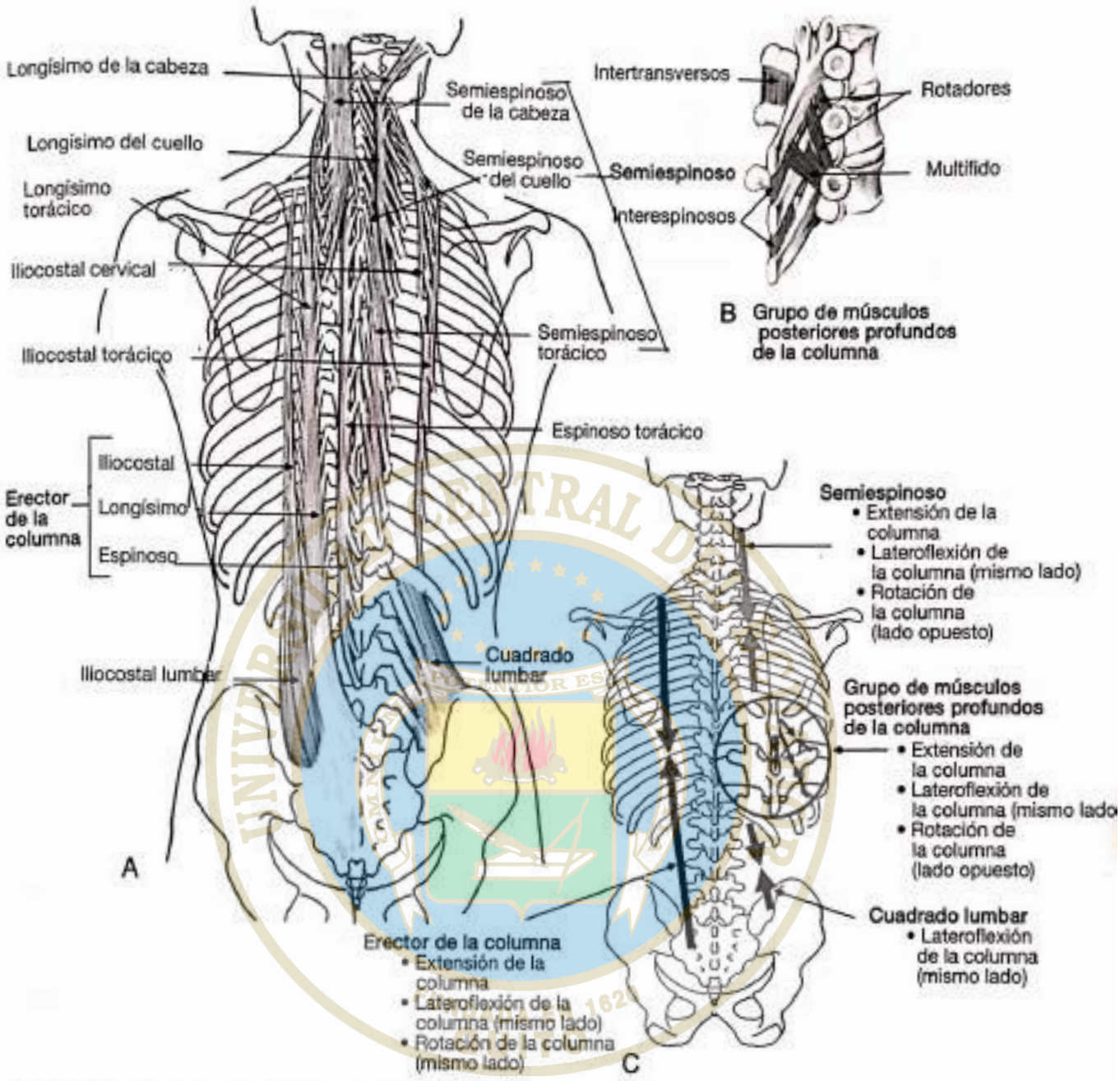



FIGURA 3.22. Vista posterior de los principales músculos que actúan sobre la columna vertebral. (A) Músculos e inserciones; (B) grupo de músculos posteriores profundos; (C) línea de tracción y acciones.

Por tanto, es importante que los bailarines se sometan a una buena evaluación médica si alguna de estas alteraciones se acompaña de dolor, se agudiza o su magnitud es grave.

## *Alineación ortostática ideal en bipedestación*

Aunque es controvertido, este libro considerará ideal la postura que comprende un equilibrio de estas curvas sagitales y una posición de las articulaciones en que la línea de gravedad del cuerpo se localice en el plano medio y discurra por delante de las vértebras dorsales y justo anterior a o a través de S2, como se ve en la figura 3.23A (Hamilton y Luttgens, 2002; Levangie y Norkin, 2001). Esta línea de gravedad atraviesa idealmente o pasa cerca de los centros de articulaciones clave en el soporte del peso del cuerpo, de modo que se evite una tensión indebida y se requiera una contracción muscular mínima para mantener la postura deseada.

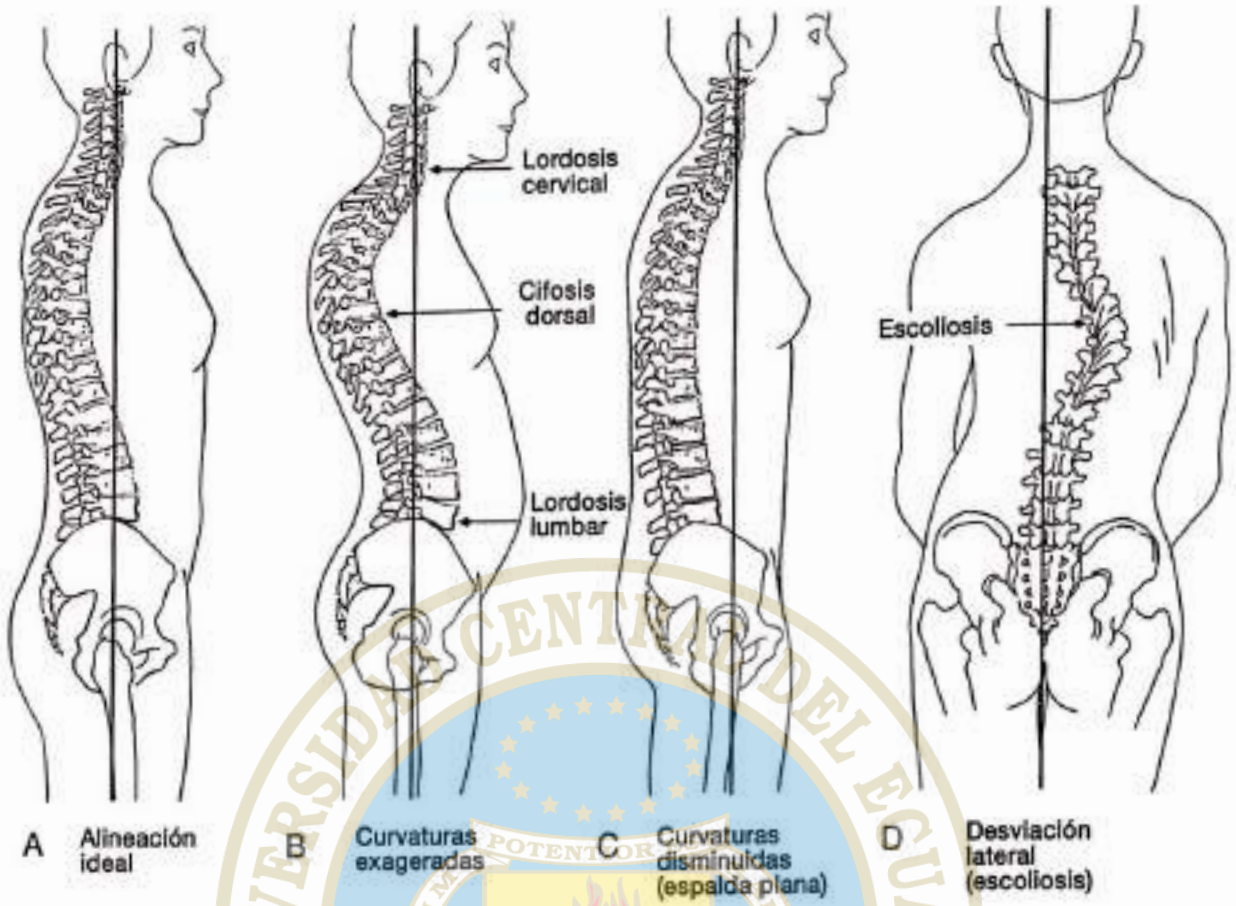



FIGURA 3.23. Curvaturas de la columna vertebral. (A) Normal; (B) lordosis lumbar, cifosis dorsal y lordosis cervical; (C) espalda plana; (D) escoliosis.

Más específicamente, la posición de la línea de gravedad permite que gran parte del soporte necesario para la columna proceda de la presión de los discos intervertebrales y de las restricciones de los ligamentos, fascias y cápsulas de las articulaciones cigapofisarias (Caillet, 1996). Un ligero apoyo activo adicional lo suelen proporcionar los niveles bajos de actividad de los músculos extensores de la columna (en particular, los extensores torácicos y el grupo de músculos posteriores profundos de la columna) y los músculos abdominales (en especial los oblicuos internos). A medida que la línea de gravedad sigue descendiendo, cursa ligeramente posterior al eje de la articulación coxofemoral, con la tendencia resultante a la extensión de cadera (momento extensor), limitada por los ligamentos iliofemorales (LaBan, Raptou y Johnson, 1965) y, en algunos casos, por la ligera actividad del músculo psoasilíaco (Basmajian y DeLuca, 1985); justo anterior al eje de la rodilla, con la tendencia resultante de las rodillas a extenderse (momento extensor), limitada por restricciones pasivas (cápsula posterior y ligamentos de la rodilla), y justo anterior al eje del tobillo, por lo que generalmente se requieren unos niveles bajos de actividad por parte de los músculos de las pantorrillas (sobre todo el sóleo) para evitar que el cuerpo se precipite hacia delante (Basmajian y DeLuca, 1985; Floyd y Silver, 1950; Nachemson, 1966; Ortengren y Andersson, 1977).

Para aplicar en la práctica el concepto de la alineación ortostática ideal, la línea vertical de la gravedad se determina mediante la línea de la **plomada**, y los puntos anatómicos superficiales de referencia se emplean para reflejar por dónde discurre en realidad esta línea de gravedad en el cuerpo (Kendall, McCreary y Provance, 1993). Una plomada es una cuerda con un peso atado a su extremo de forma que al colgar traza una línea vertical absoluta que sirve como referencia para medir las desviaciones. Si se mira a un bailarín de perfil, la plomada se debería alinear con el tobillo/pie (justo delante del maléolo lateral, que es el extremo distal del peroné). Esta referencia sirve de punto fijo. Así, en una alineación ideal, los siguientes puntos anatómicos superficiales se localizarían justo a lo largo de la plomada: el lóbulo de la oreja, la punta del hombro, el punto medio del tórax, el trocánter mayor (que se proyecta en la cara lateral del fémur), justo delante del punto medio de la rodilla, y justo delante del maléolo lateral. Cualquiera de estos puntos de referencia que no se sitúe justo sobre la

vertical de la línea de la plomada, reflejará desviaciones de la alineación ideal. Asumiendo que los hombros no estén encorvados, y si todos estos puntos de referencia están alineados con la línea de la plomada, ello suele indicar que existe un equilibrio básico correcto de las curvas sagitales de la columna.

De perfil, también hay que reparar en la posición de la pelvis. En una alineación ideal, la pelvis está vertical (la EIAS está en un plano vertical con la sínfisis púbica; véase el capítulo 4) en vez de inclinada hacia delante o atrás. Esta posición de la pelvis afectará directamente la alineación de la columna, ya que la inclinación pélvica anterior tiende a incrementar la curvatura lumbar, mientras que una inclinación posterior de la pelvis tiende a disminuir dicha curvatura. La posición de la columna y la pelvis también afecta la alineación de la extremidad inferior y contribuye a desviaciones como las rodillas hiperextendidas *(genu recurvatum)* o meter los pies hacia dentro (pronación), de lo que se hablará en los siguientes capítulos de este libro.

La postura del cuerpo respecto a la línea de plomada también se puede observar desde delante o desde atrás. Cuando se observa al bailarín por detrás, la línea de gravedad debería bisecar la distancia entre los talones y alinearse idealmente con las apófisis espinosas de las vértebras. Visto por delante, la línea de gravedad debería de nuevo bisecar la distancia entre los pies y alinearse idealmente con las estructuras de la línea media como la sínfisis púbica, el ombligo y la nariz. Estas vistas anterior y posterior brindan la oportunidad de apreciar asimetrías entre los lados derecho e izquierdo del cuerpo, como las que se asocian con la escoliosis.

## Hiperlordosis lumbar

En bipedestación normal, el sacro se inclina en sentido anterior e inferior una media de unos 30° (ángulo lumbosacro normal). Esta inclinación exige que la columna lumbar se extienda (lordosis) para mantener el torso erguido (figura 3.23A), lo cual genera la curvatura lumbar normal. No obstante, en algunas personas existe una curvatura lumbar anormalmente exagerada. Esta anomalía postural se denomina lordosis lumbar (G. *lordosis*, flexión hacia atrás), o con más exactitud, **hiperlordosis lumbar** (figura 3.23B). La hiperlordosis lumbar a menudo se acompaña de un aumento de la inclinación del sacro (aumento del ángulo lumbosacro), una inclinación pélvica anterior y, en ocasiones, un desplazamiento hacia delante del torso respecto a la postura ideal que marca la línea de la plomada.

La hiperlordosis lumbar no sólo es poco deseable desde la perspectiva estética de muchos tipos de baile, sino que también aumenta el riesgo de lesión lumbar (Goldberg y Boiardo, 1989). Primero, la lordosis lumbar aumenta la tendencia de las vértebras inferiores a deslizarse hacia delante sobre las vértebras situadas inmediatamente por debajo (fuerzas de cizallamiento). Por ejemplo, la inclinación de 10° o 20° del sacro hacia delante se asocia con un aumento en la fuerza de cizallamiento que actúa sobre la articulación lumbosacra, pasando del 50% al 65% o 75% del peso corporal sobre esta articulación, respectivamente (Hamill y Knutzen, 1995). Este aumento del cizallamiento genera tensión adicional sobre muchas estructuras vertebrales, como la porción de las vértebras (porción interarticular) que suele verse afectada en las fracturas por sobrecarga (espondilólisis). Además del aumento del cizallamiento, la hiperlordosis fija se asocia con una mayor contracción del músculo erector de la columna (Frankel y Nordin, 1980; Wolf *et al.*, 1979), lo cual deriva en fatiga y distensiones de los músculos lumbares. Además, la lordosis fija puede interferir con la carga y descarga cíclicas de las articulaciones cigapofisarias necesarias para la nutrición del cartílago, lo cual puede precipitar la temprana destrucción de este cartílago (Stanish, 1979).

La hiperlordosis lumbar es frecuente en los bailarines jóvenes y en ocasiones se exagera en un intento por incrementar el grado de apertura. Sin embargo, al menos en el ballet, la lordosis puede disminuir con años de entrenamiento. El entrenamiento de la danza comprende directrices para la alineación que tienden a enderezar las curvaturas cervical, dorsal y lumbar. Un estudio sobre jóvenes bailarinas de ballet mostró que, aunque el grado de movilidad lumbar en extensión era mayor, la profundidad de la lordosis lumbar era significativamente menor en las bailarinas que en mujeres de la misma edad (Livanelioglu *et al.*, 1998). De forma similar, en otro estudio con bailarinas, la hiperlordosis lumbar fue frecuente en las bailarinas de nivel 1, pero no en las de nivel 6 o nivel avanzado ni en las bailarinas de la compañía de ballet (Clippinger-Robertson, 1991). En contraste, en niveles superiores de danza, la fatiga postural es común. Por eso es importante que los bailarines se den cuenta de que presentar hiperlordosis en un punto del entrenamiento no significa que siempre vaya a ser un problema, y deben tener cuidado de no hipercorregir ni reducir en exceso la curvatura lumbar.

Cuando hay hiperlordosis lumbar, el fortalecimiento de los músculos abdominales (figura 3.25A y tabla 3.4, pág. 134) a menudo ayuda a mejorar esta anomalía. En sentido posterior, la columna vertebral forma una conexión ósea entre la caja torácica y la pelvis. Sin embargo, por delante, esta conexión depende totalmente de la musculatura abdominal. Debido a esta estructura, la fuerza, la longitud en reposo y la activación de la musculatura abdominal son críticas para determinar la distancia entre la caja torácica y la pelvis. Esta distancia, a su vez, afecta la curvatura lumbar y por tanto la alineación ideal, como se ve en la figura 3.24.

Además de una fuerza abdominal insuficiente, la lordosis lumbar también puede implicar tirantez lumbar y de los músculos flexores de la cadera (sobre todo el psoasilíaco), como se ve en la figura 3.24A. La lordosis excesiva asociada

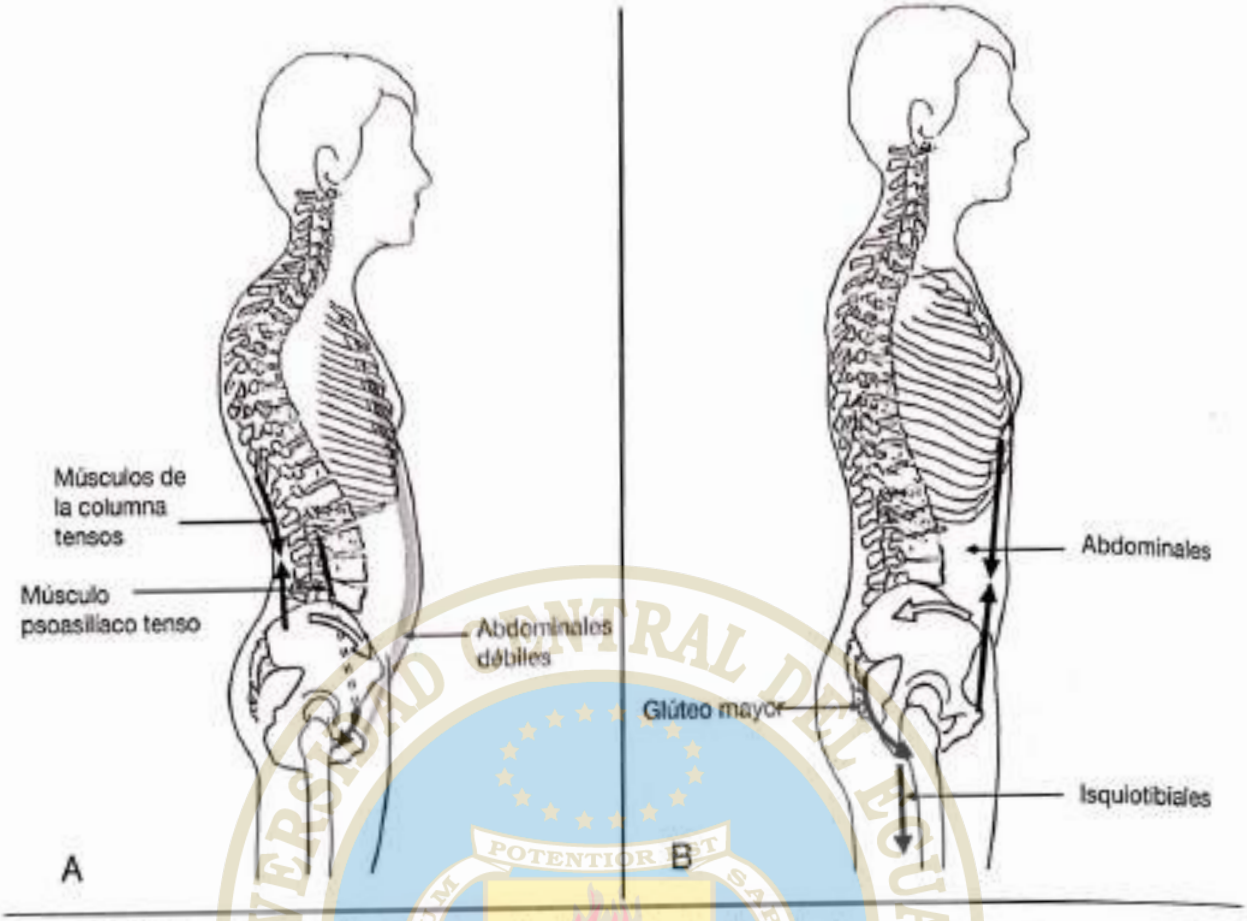



FIGURA 3.24. (A) Hiperlordosis lumbar; (B) contracción de los músculos abdominales para establecer la postura neutra deseada de la pelvis y la curva normal de la columna lumbar.

con la tirantez muscular es especialmente habitual durante los estirones de crecimiento de la adolescencia (Micheli, 1983). Si éste fuera el caso, será necesario estirar los músculos flexores de la cadera (figura 3.25B y tabla 4.7A, pág. 226) y de la región lumbar (figura 3.25C y tabla 3.7A y B, pág. 144) para mejorar la situación, y pocas mejoras se apreciarán sólo con los estiramientos de los músculos abdominales. Se recomienda hacer una prueba de la amplitud de movimiento de los músculos flexores de la cadera (véase el capítulo 4), para determinar si estos músculos son un factor concurrente y necesitan estirarse.

Por desgracia, mejorar la fuerza y flexibilidad de músculos clave a menudo no es suficiente para corregir la hiperlordosis lumbar, siendo necesario también trabajar cambios en los patrones de movimiento. Los estudios sugieren que algunas personas tienden a mantener la postura más con los músculos extensores de la columna que con los abdominales (Klausen, Nielsen y Madsen, 1981) y también muestran un predominio del uso de los músculos extensores de la columna durante el movimiento (Hamilton y Luttgens, 2002). Muchos bailarines con hiperlordosis parecen mostrar una excesiva activación de los extensores de la espalda, por lo que el enderezamiento durante la bipedestación o el movimiento a menudo requiere una mayor coactivación de los músculos abdominales y los extensores superiores de la espalda para corregir la posición y estabilizar la columna. En un esfuerzo por conseguirlo, se da la orden a los bailarines de que «eleven el pubis» (la inserción inferior de algunos de los músculos abdominales) para alinearlo con la EIAS y lograr esta alineación neutra. La exageración de posturas incorrectas (inclinación anterior e inclinación posterior) y la orientación visual y táctil suelen ayudar a «reaprender» la posición de la pelvis neutra y a conseguir una alineación ideal de la columna, de modo que la hiperlordosis lumbar parezca «normal» y las correcciones extrañas.

Algunos bailarines con un mayor grado de lordosis lumbar o que extienden en exceso la porción superior de la columna también tienden a proyectar las costillas inferiores hacia delante, y tal vez precisen centrarse en que la porción inferior de la caja torácica se desplace «hacia abajo y atrás». En esencia, esto exige una contracción de los músculos abdominales mediante la cual se mueven las inserciones superiores e inferiores y se aproximan, acortando la distancia entre la cara anterior de la caja torácica y el pubis. A veces es eficaz dar la orden de aproximar la pelvis y la caja torácica al tiempo que el cuerpo se eleva a

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

FIGURA 3.25. Corrección de la lordosis lumbar funcional. (A) Fortalecimiento de los músculos abdominales; (B) estiramiento de los músculos flexores de la cadera; (C) estiramiento de la región lumbar; (D) técnica de activación de los músculos abdominales para mantener la alineación lumbopélvica neutra en los *pliés*.

ÓRDENES EN LA DANZA 3.1

### «Tira hacia arriba con los abdominales»

La orden «levanta» o «tira hacia arriba» se suele usar para los músculos abdominales cuando se ve a un bailarín que arquea en exceso la región lumbar y presenta inclinación anterior de la pelvis. Una interpretación anatómica deseada de esta orden es que se contraigan los músculos abdominales de modo que la inserción inferior en la pelvis sea el extremo móvil, haciendo girar la pelvis posteriormente y reduciendo la hiperlordosis lumbar para lograr la postura neutra deseada de la pelvis y la curvatura normal de la columna lumbar. Sin embargo, algunos bailarines interpretan equivocadamente esta orden y elevan la inserción superior de los abdominales en la caja torácica, lo cual exige la contracción de los músculos extensores de la columna dorsal y no la de los abdominales, que causa la proyección de las costillas inferiores hacia delante o un movimiento no deseado hacia atrás de la porción superior de la espalda. Se puede ayudar a los bailarines a lograr la elevación deseada poniéndose de pie y de perfil frente al espejo para guiarse por la vista y usar una mano para mantener la porción anteroinferior de la caja torácica en la postura neutra deseada, mientras la otra mano se sitúa sobre la porción inferior del abdomen para potenciar el uso de los músculos abdominales y elevar la pelvis hasta una postura neutra como la que muestra la figura 3.24B.

lo largo de la línea de la plomada central, o bien la de levantar la porción superior de la espalda.

Ensayar los patrones de activación muscular que logran la alineación deseada permite pasar gradualmente de sencillos ejercicios de aislamiento a destrezas de danza como los *pliés* (figura 3.25D) y otros movimientos de danza más complejos, como giros y saltos. A medida que mejora la percepción cinestésica, la flexibilidad y la fuerza, el esfuerzo consciente requerido para mantener la alineación ideal debe declinar o desaparecer. Hay evidencias de que los músculos acortados pueden reclutarse antes en los patrones de movimiento (Pitt-Brooke, 1998). Por tanto, el restablecimiento del equilibrio en fuerza y flexibilidad entre los músculos abdominales, los extensores de la columna y los flexores de la cadera debería permitir lograr con más facilidad una alineación neutra.

## Cifosis

La **cifosis** (G., joroba) se caracteriza por un incremento anormal de la curvatura dorsal, como se ve en la figura 3.23B. Esta curvatura excesiva puede ser de naturaleza rígida como consecuencia de distintas patologías o de anomalías estructurales, mientras que en otros casos es de naturaleza más flexible y funcional. El último caso –más funcional– se suele identificar en personas sedentarias que se sientan encorvadas, en adolescentes que llevan mochilas muy cargadas a la escuela y en deportistas como nadadores y halterófilos que presentan un desequilibrio en la fuerza o la flexibilidad (o en ambas) entre los músculos anteriores y posteriores del hombro (expuestos en el capítulo 7) o entre los músculos de la columna. Los bailarines a veces también muestran una leve cifosis que se asocia con debilidad de los músculos extensores de la porción superior de la espalda o con una activación inadecuada de los músculos extensores torácicos, y con la tendencia a dejar que se hunda la porción superior de la espalda y descanse en anclajes pasivos (fatiga postural). Esto también ocurre a veces en bailarines que trabajan los abdominales en una amplitud de movimiento pequeña (lo cual tiende a generar tirantez) sin estirar los músculos abdominales ni equilibrar estos ejercicios de abdominales con otros de extensión de la espalda en toda su amplitud. Como con la lordosis lumbar, la cifosis postural es habitual en los niños pequeños y adolescentes: en torno al 25% de los adolescentes presentan problemas relacionados con la cifosis (Hall, 1999).

En términos de corrección, en bipedestación y sedestación normales, la línea de gravedad se sitúa delante de la curvatura torácica, tendiendo a generar flexión de la columna (sobre todo en las mujeres con mamas muy desarrolladas). Esta tendencia se debe contrarrestar mediante un nivel concordante de actividad de los músculos extensores de la columna dorsal, como el longísimo y el multífido de esta región (Levangie y Norkin, 2001). Por tanto, el fortalecimiento de los músculos extensores de la porción superior de la espalda y el empleo de órdenes como «levanta la porción superior de la espalda hacia el techo» para favorecer la activación de estos músculos son clave para prevenir y mejorar la cifosis. Sin embargo, si tenemos en cuenta que el grado de extensión es mucho menor en la región dorsal que en la región lumbar, el reto de los ejercicios de la porción superior de la espalda es estabilizar la región lumbar tirando con firmeza de la inserción inferior de los abdominales, mientras que lo importante es la movilidad relativamente escasa de la región superior de la espalda. Los ejercicios de la figura 3.26 utilizan el respaldo de una silla para que el bailarín se centre en el movimiento aislado de esta región su-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIORI EST SAPIENTIA
FUNDADA EN QUITO

FIGURA 3.26. Corrección de la cifosis. (A) Fortalecimiento de los músculos extensores de la porción superior de la espalda; (B) estiramiento de los músculos abdominales y aumento del grado de extensión de la porción superior de la espalda; (C) técnica: extensión dorsal mientras se mantiene la alineación lumbopélvica neutra.

perior de la espalda para fortalecerla (figura 3.26A y tabla 3.4H, pág. 137, estirarla (figura 3.26B) y practicar su correcta alineación (figura 3.26C). Cuando la cifosis se acompaña del adelantamiento de los hombros, se dice que la persona está «cargada de espaldas», desviación que también se debe corregir (véase el capítulo 7).

No obstante, si la cifosis causa dolor o es pronunciada, es importante un examen médico para descartar la enfermedad de Scheuermann u otra afección médica. La enfermedad de Scheuermann se desarrolla en torno a la pubertad y consiste en la compresión de una o más vértebras dorsales, las cuales adoptan una forma de cuña, que se relaciona con un

comportamiento anormal de la lámina epifisaria. La cifosis pronunciada (joroba de viuda) propia del envejecimiento (y sobre todo de las mujeres posmenopáusicas) implica la erosión y hundimiento de la porción anterior de una o más vértebras dorsales debido a osteoporosis. Estas y otras afecciones médicas causan una cifosis estructural, opuesta a la cifosis funcional, que requiere un tratamiento médico específico.

A menudo la cifosis se identifica asociada con otras desviaciones de columna o pelvis. Cuando se combina con lordosis lumbar, la desviación postural resultante se denomina **cifolordosis.** Cuando se combina con un desplazamiento anterior de la pelvis, la anomalía resultante se denomina postura de fatiga.

## *Postura de fatiga*

La **postura de fatiga** implica un desplazamiento anterior de la pelvis respecto al tobillo y a la línea de «plomada» (véase pruebas y mediciones 3.1) y un desplazamiento posterior del torso respecto a la pelvis y a la «plomada», como se ve en la figura 3.27A. La porción posterior del torso suele ser cifótica, y la curva lumbar varía según el nivel y grado de desplazamiento posterior del torso. En contraste con la lordosis lumbar, la postura de fatiga implica extensión o hiperextensión de la articulación coxofemoral más que flexión, y, por lo general, una inclinación posterior más que anterior de la pelvis. Esta postura recibe su nombre del hecho de que su mantenimiento depende de los ligamentos (sobre todo el ligamento iliofemoral, del que se habla en el capítulo 4) sin apenas intervención ni esfuerzo musculares. Por tanto, se requiere menos energía para permanecer de pie en dicha postura que en la postura ideal.

Sin embargo, el empleo continuo de los ligamentos para mantenerla puede ser perjudicial, ya que el desplazamiento posterior y asociado del peso del tronco altera la transmisión de fuerzas al área lumbar de modo que tal vez haya dolor sacroilíaco. La posición posterior del torso también altera la transferencia normal del peso de los brazos y la cabeza a la columna, y se puede asociar con fatiga o dolor en el cuello o en el área superior de la espalda, y una postura compensatoria con la cabeza echada hacia delante. La postura de fatiga se da con mucha frecuencia en personas maduras y en bailarines muy entrenados.

Por ejemplo, en un estudio con bailarines universitarios y en otro estudio con personas adultas no bailarinas, el marcador de la cadera se situó, como promedio, anterior a la rodilla en bipedestación (Woodhull, Maltrud y Mello, 1985; Woodhull-McNeal *et al.*, 1990). De forma similar, en un estudio sobre bailarines de ballet, en torno a la mitad de los estudiantes de nivel 6 y casi todos los bailarines de nivel avanzado/profesionales mostraron una postura de fatiga en ortostatismo relajado (Clippinger-Robertson, 1991).

Esta elevada incidencia de casos de postura de fatiga en los bailarines se puede relacionar en parte con la tendencia de muchos bailarines a aumentar espectacularmente la flexibilidad de los músculos flexores de la cadera y de otros tejidos blandos para conseguir suficiente hiperextensión coxofemoral y el efecto estético deseado en movimientos hacia atrás como los *arabesques*. Ya que en una alineación normal del cuerpo la línea de la gravedad se sitúa ligeramente posterior al eje de la articulación coxofemoral, la gravedad tiende a generar hiperextensión de las caderas. No obstante, en bailarines con mayor movilidad en esta área, los anclajes pasivos normales que limitan este movimiento no se muestran

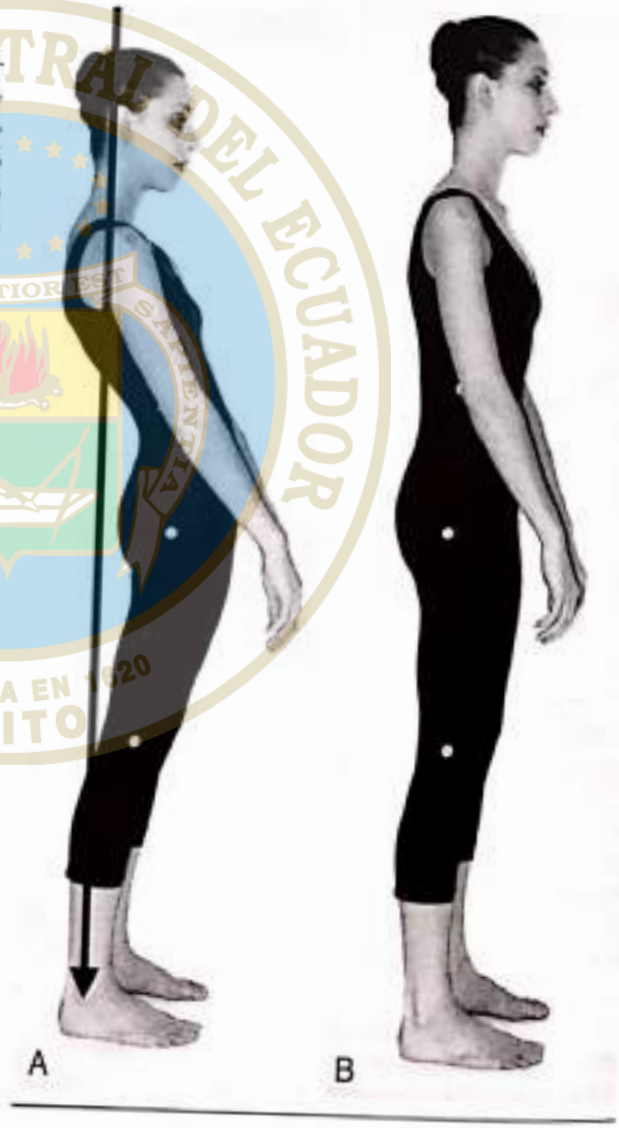



FIGURA 3.27. (A) Postura de fatiga; (B) activación de los músculos extensores de la columna dorsal y los músculos flexores de la cadera.

PRUEBAS Y MEDICIONES 3.1

## *Evaluación de la alineación postural en bipedestación*

Practica las siguientes observaciones en otro bailarín o contigo mismo (de perfil ante un espejo) usando las figuras 3.23 y 3.27 como referencia. La observación será más fácil si llevas un traje de baño o leotardos y mallas. Fabrica una plomada atando un cordel por encima de la cabeza y colgando en su extremo inferior una moneda u otro peso pequeño. El cordel debe tener longitud suficiente para que el peso penda a ras del suelo.

**Observación general**
El compañero debe estar de pie y erguido, con las piernas paralelas y los pies alineados con las articulaciones coxofemorales. Aplica marcadores (puntos adhesivos, trozos pequeños de cinta adhesiva o de colores) en los puntos de referencia que aparecen en la figura 3.27. Sitúa al compañero de perfil a la plomada para que ésta penda junto al marcador del tobillo. Repara en las relaciones de los puntos de referencia y las curvas de la columna entre sí y con la plomada. Intenta clasificar esta alineación en bipedestación, fijándote en la presencia de una postura ideal, hiperlordosis lumbar, cifosis, espalda plana o postura de fatiga.

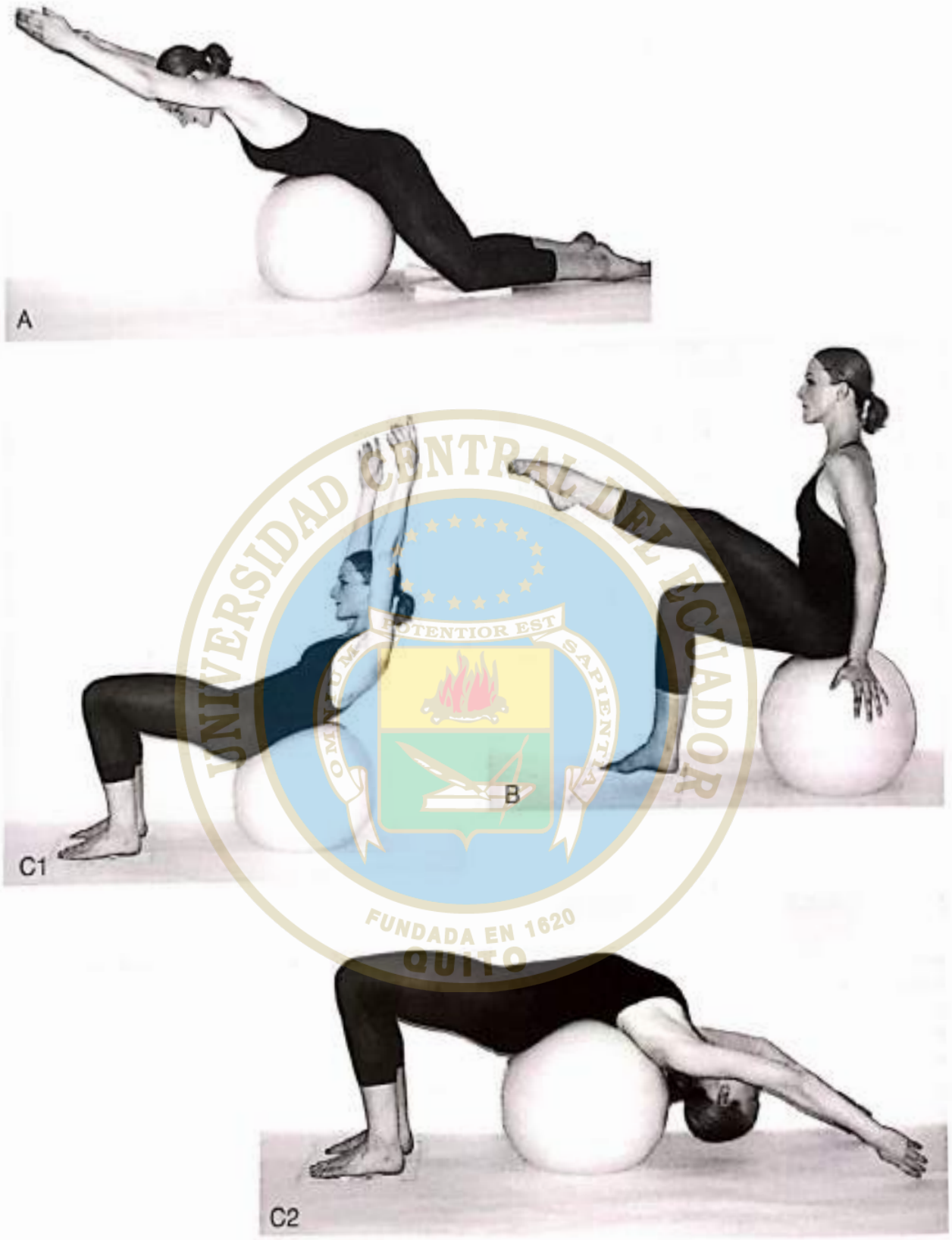
**Réplica de las desviaciones posturales corrientes**
Para adiestrar el ojo y apreciar las diferencias, haz que el compañero practique las siguientes maniobras y fíjate en los cambios en las curvaturas de la columna; en los cambios en la posición relativa de la cabeza, torso y pelvis, y en los cambios respecto a la plomada.

1. Dobla y desciende la porción superior de su espalda para reproducir la cifosis.
2. Inclina la parte superior de la pelvis hacia delante y arquea la región lumbar para reproducir la hiperlordosis lumbar.
3. Empuja la base de la pelvis hacia delante y deja que la región superior de la espalda se relaje hacia atrás para reproducir la postura de la fatiga.
4. Mete ligeramente la pelvis, tensa los abdominales contra la columna lumbar y eleva todo lo posible la columna para reproducir la espalda plana.

**Aplicación a un movimiento sencillo**
Repite las mismas observaciones sobre la alineación con el compañero practicando un *plié* y subida en primera posición (en paralelo y luego *en dehors*). Fíjate en si se ha mantenido o ha cambiado el patrón general de la postura en bipedestación.

operativos hasta mucho después, posibilitando una excesiva inclinación posterior de la pelvis, así como la hiperextensión de las caderas (p. ej., la postura de fatiga), a menos que: (a) el psoasilíaco se use de forma activa para prevenirlo; (b) el centro de masas del torso se desplace un poco adelante para reducir esta tendencia a la extensión, o (c) se empleen ambos tipos de corrección. Otra posible explicación es que la flexión lumbar y la inclinación posterior de la pelvis pueden reflejar un esfuerzo por estabilizar la columna lumbar (McMeeken *et al.*, 2002), lo cual incrementa de forma acusada la movilidad en los bailarines.

La postura de fatiga a menudo mejora con el fortalecimiento de los músculos extensores de la porción superior de la espalda (figura 3.28A y tabla 3.4H, pág. 137) y a veces los flexores de la cadera (figura 3.28B y tabla 4.5, A-C, págs. 215-216). En algunos casos la tirantez de los abdominales también es un factor, y se recomienda practicar estiramientos. Cuando los hombros estén encorvados, también habrá que corregir este defecto. En algunos bailarines, la postura de fatiga se relaciona con la hipercorrección de la lordosis lumbar. Practicar muchos ejercicios de abdominales en una amplitud corta con el fin de corregir la lordosis lumbar, durante un período largo de tiempo, a veces causa el desequilibrio contrario, en el que los músculos abdominales se muestran demasiado tirantes o fuertes respecto a los extensores de la espalda. Esta hipercorrección se evita incluyendo en las sesiones habituales estiramientos para los abdominales o ejercicios de abdominales en una amplitud completa, como se ve en la figura 3.28C (y en la tabla 3.4C, variación 1, pág. 134), y ejercicios de extensión de la columna (tabla 3.4, I y J, pág. 138), que sirven para estirar dinámicamente los músculos abdominales.




UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

FIGURA 3.28. Corrección de la postura de fatiga. (A) Fortalecimiento de los músculos extensores de la porción superior de la espalda; (B) fortalecimiento de los músculos flexores de la cadera si estuviera indicado; (C) fortalecimiento de los músculos abdominales que incorpora una amplitud en la que los abdominales se estiran dinámicamente.

No obstante, como sucede con otros problemas posturales, el éxito de la corrección de la postura de fatiga a menudo requiere cambiar los patrones de activación muscular y suprimir los patrones habituales. Como la postura de fatiga es una postura pasiva que consiste en apoyarse en los ligamentos, los músculos se tienen que activar para evitar dicha postura. El empleo de los músculos extensores de la porción superior de la espalda tiende a reducir la curvatura torácica exagerada (cifosis), mientras que una pequeña cocontracción de los músculos abdominales sirve para adelantar el torso (quedando más directamente encima de la pelvis) y alinearlo con la plomada. Esta reposición del torso también reduce las fuerzas (momento extensor) que tienden a provocar la hiperextensión de las caderas y la inclinación posterior de la pelvis asociadas con la postura de fatiga. Ordenar «elevar anteriormente la porción superior de la espalda», como si hubiera una cuerda atada a la columna (entre los omoplatos) de la que se tira hacia delante en diagonal, a menudo sirve para hallar la postura correcta. Si sigue habiendo un poco de hiperextensión de las caderas, activar ligeramente los flexores coxofemorales (psoasilíaco) con la orden de adelantar un poco la pelvis hacia el muslo para recuperar la posición neutra de la pelvis y de la articulación coxofemoral (figura 3.27B).

## Lordosis cervical y protrusión del mentón

Un aumento de la curvatura de la región superior de la espalda (a menudo asociada con cifosis) puede desplazar la cabeza hacia delante y bajar la mirada. Para que el nivel de los ojos se alinee con la horizontal, la porción superior del cuello se extiende, lo cual causa lordosis cervical y una **posición adelantada del mentón** (Palmer y Epler, 1990), como se ve en la figura 3.29A. Esta posición adelantada también desplaza el centro de gravedad de la cabeza por delante de la línea de gravedad del cuerpo; y Caillet (1996) calcula que cuando la cabeza se echa 7,6 centímetros hacia delante, el peso de la cabeza (unos 4,5 kilogramos) ejerce unos 13,6 kilogramos de torque sobre la columna cervical. Esto hace trabajar en exceso los músculos extensores de la columna y las articulaciones cigapofisarias.

Con el tiempo, esta posición tiende a provocar el acortamiento de los músculos extensores del cuello. Los *press* de cuello (figura 3.29B), en los que el mentón desciende a la vez que se presiona suavemente 5 segundos con la cabeza hacia atrás contra la resistencia de la mano, a menudo se recomiendan porque alivian la tensión. Los extensores del cuello también se pueden estirar usando la mano para elongar suavemente el cuello desplazando la cabeza en sentido anterior y lateral sobre una ligera diagonal (figura 3.29C). No obstante, cuando haya cifosis presente, su corrección es esencial para que la cabeza recupere la posición normal. Echar el mentón un poco hacia atrás e imaginarse que «estamos suspendidos por detrás de las orejas» ayuda a veces a lograr la longitud deseada del cuello y a evitar la tendencia a echar el mentón adelante (figura 3.29D). Sin embargo, hay que tener cuidado de no estirar ni enderezar en exceso el cuello. Cuando se toman radiografías, muchos deportistas descubren que han perdido la curvatura natural (lordosis) de la columna cervical, por lo que se recomienda trabajar con un fisioterapeuta cualificado si esta situación es acusada.

## Espalda plana

**La postura con la espalda plana** implica una disminución de la curvatura lumbar de modo que esta región parece plana, como se ve en la figura 3.23C. La espalda plana reduce la capacidad amortiguadora normal de la columna y se cree que contribuye a la degeneración discal. Se cree que la disminución de las curvaturas de la columna aumenta el riesgo de lesión lumbar (Klausen, Nielsen y Madsen, 1981;

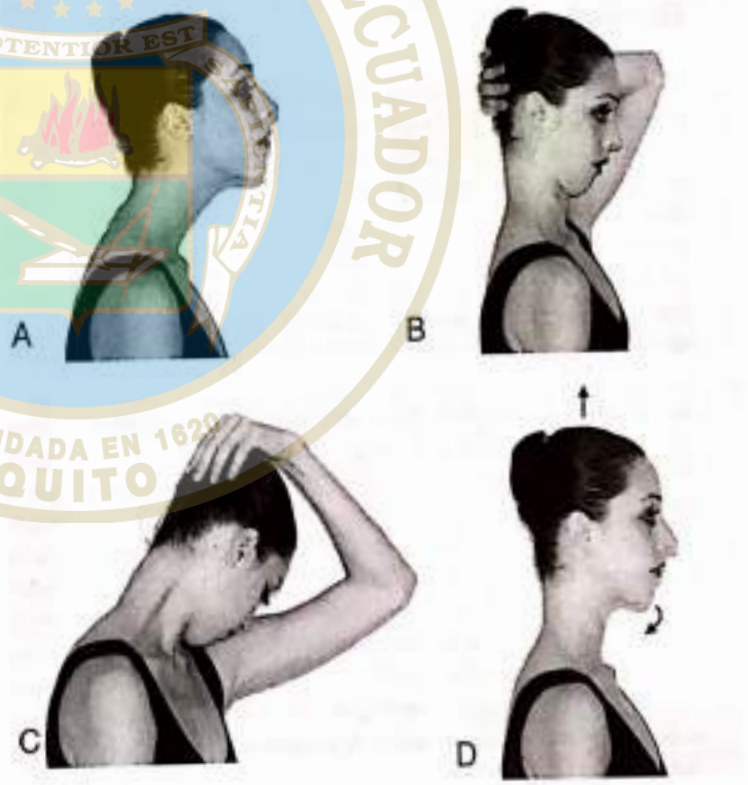



FIGURA 3.29. Corrección de la posición adelantada de la cabeza. (A) Postura adelantada de la cabeza; (B) fortalecimiento de los músculos extensores del cuello ejerciendo presión con la mano; (C) estiramiento de los músculos extensores del cuello; (D) técnica: mentón retraído mientras se eleva el cuello.

McMeeken *et al.*, 2002), de la misma forma que lo hacen las curvaturas excesivas. La espalda plana a veces se aprecia en bailarines que han trabajado tanto para reducir su lordosis lumbar excesiva que han acabado por sobrecorregirla y han eliminado su curvatura normal. También es probable que las órdenes y el énfasis en la alineación en muchos tipos de danza, que se centran en «elongar la columna», tiendan a reducir las curvaturas cervical, dorsal y lumbar. Si el grado de reducción de la curvatura asociado con la danza tiene consecuencias negativas y crónicas para la salud y si las curvaturas recuperan su normalidad cuando se deja de bailar, todavía requiere investigación.

La corrección de la espalda plana es controvertida, pero en algunos casos puede ayudar el fortalecer los músculos extensores de la porción inferior de la espalda, así como los flexores de la cadera (psoasilíaco). En otros casos, esta postura se relaciona más con el ortostatismo repetido en una postura pasiva (como la postura de fatiga) en que se mete la pelvis (inclinación pélvica posterior), lo cual reduce la curvatura lumbar. En este caso, el éxito de la corrección requiere el uso de ortesis lumbares y la reeducación de la alineación estática y dinámica centrada en restablecer la postura neutra de la pelvis y la curvatura lumbar normal asociada.

## Escoliosis

**La escoliosis** (G. *skoliosis*, torcido) se caracteriza por una curvatura lateral de la columna vertebral en un plano aproximadamente frontal. Cuando se mira la columna vertebral por detrás, ésta debería formar una línea recta de arriba abajo. Es habitual presentar una ligera curvatura torácica a la derecha, que se cree debida a la posición de la aorta o a la dominancia manual (White III y Panjabi, 1978). No obstante, la presencia de una curva o curvas laterales apreciables en la columna, como se ve en la figura 3.23D, se denomina escoliosis. La escoliosis puede implicar una sola curva lateral, llamada curva en «C», o múltiples curvas. Cuando hay dos curvas alternas se llaman curva en «S», como se ve en la figura 3.30B. Las vértebras implicadas en las curvas laterales también rotan con frecuencia, por lo general con las apófisis espinosas giradas hacia la concavidad de la curvatura anormal (figura 3.30D). Esto hace sobresalir una porción de la cara posterior de la caja torácica (giba costal) por un lado de la columna, lo cual a menudo se aprecia en bailarines con escoliosis, como en la figura 3.30C. Esta rotación parece tener un impacto muy negativo en la mecánica de la columna, y los modelos actuales de escoliosis sugieren que ésta se visualiza como una deformidad tridimensional compleja con torsión(es) parecida a la de una hélice elongada.

La escoliosis se divide en dos tipos: no estructural y estructural. La **escoliosis no estructural** es reversible y suele mejorar cuando se trata la causa subyacente. Ejemplos de causas son diferencias en la longitud de las piernas, espasmos musculares, desarrollo asimétrico de la musculatura y los patrones de dominancia manual. Por el contrario, la **escoliosis estructural** se suele considerar irreversible y comprende cambios estructurales en las vértebras y entre ellas. Por ejemplo, una vértebra puede ser asimétrica por diferencias en la longitud de los pedículos, por una distinta orientación de las apófisis transversas o por una apófisis espinosa que no se localice centralmente. Lo sorprendente es que en torno al 90% de los casos de escoliosis estructural no tengan causa conocida (Mercier, 1995); este tipo de escoliosis sin causa conocida se denomina escoliosis idiopática (G. *idios*, propio, + *pathos*, sufrimiento).

Aunque las causas de la escoliosis idiopática sean poco conocidas, hay pruebas evidentes de que intervienen factores genéticos; el riesgo de escoliosis se multiplica por diez si alguien en tu familia directa presenta este defecto. El sexo también influye en la incidencia y gravedad; las mujeres son 8 veces más propensas que los hombres a necesitar tratamiento para la escoliosis (Liederbach, Spivak y Rose, 1997). La actividad también influye en la incidencia de casos de escoliosis. Aunque se creía al principio que esta influencia se relacionaba con desequilibrios musculares asociados con labores y deportes asimétricos, la elevada incidencia de casos en actividades consideradas simétricas (p. ej., natación y ballet) sugiere que esta asociación es más compleja de lo que se creía inicialmente (Becker, 1986; Sward, 1992).

Mientras que la incidencia de escoliosis en la población adolescente general de Estados Unidos se ha calculado entre un 10% y un 16% (Akella *et al.*, 1991; Trepman, Walaszek y Micheli, 1990), los estudios con bailarinas de ballet han documentado incidencias del 24% (Warren *et al.*, 1986), 33% (Hamilton *et al.*, 1994), 40,7% (Akella *et al.*, 1991), y 65% (Molnar y Esterson, 1997). Este mayor número de casos de escoliosis en las bailarinas tal vez guarde relación con una mayor incidencia familiar; la recomendación habitual para los niños con escoliosis de que hagan ballet; un mayor predominio de personas ectomorfas más altas; un mayor predominio de una gran flexibilidad o hipermovilidad; la tendencia a experimentar prolongados estirones de crecimiento por una maduración retardada; niveles bajos de estrógeno asociados con una maduración retardada y la interrupción de los ciclos menstruales (amenorrea), y una nutrición deficiente con niveles subóptimos de calcio y vitamina D. Es importante que se hagan nuevos estudios sobre los factores causantes para poder prevenirlos mejor. El predominio de escoliosis en tipos de danza distintos del ballet requiere nuevos estudios.

Dado el elevado número de casos, es importante que los bailarines y sus profesores tengan conocimientos básicos sobre la detección y tratamiento de la escoliosis. Aunque se pueda detectar a cualquier edad, se suele diagnosticar clínicamente entre los 10 y los 13 años. La detección a menudo se relaciona con el descubrimiento de asimetrías evidentes o con los resultados de un chequeo clínico, como la prueba de anteroflexión (descrita en Pruebas y mediciones 3.2) que

se usa habitualmente en las escuelas. La temprana detección es importante porque la combinación de ortesis, ejercicio terapéutico y otros métodos puede detener o enlentecer la progresión de las curvas moderadas (>25°). Por desgracia, si se deja que las curvas lleguen a unos 40° (véase la figura 3.30A, donde aparece un método de medición), puede ser recomendable una cirugía muy drástica consistente en fusión vertebral a lo largo de la curva anormal y distintas formas de instrumentación para tratar de estabilizar la columna (Warren *et al.*, 1986). En consecuencia, los bailarines deben estar al tanto de cualquier asimetría y someterse a un examen médico si sospechan la presencia de escoliosis.

Respecto a la prevención, los bailarines también deben tener cuidado de llevar las bolsas con el equipo y las mochilas sobre ambos hombros, y, si se llevan colgando de un solo hombro, cambiarlas de lado con regularidad. En algunos casos, es una opción mejor usar una mochila con ruedas que se pueda llevar alternando los brazos. Los bailarines deben practicar con regularidad ejercicios para la estabilización del tronco y para fortalecer los músculos abdominales y extensores de la espalda que potencian la rotación (Mooney, Gullick y Pozos, 2000), al tiempo que se presta atención a la simetría con ejercicios de estiramiento, ejercicios de fortalecimiento y la técnica de danza. Si das clases de danza, ten

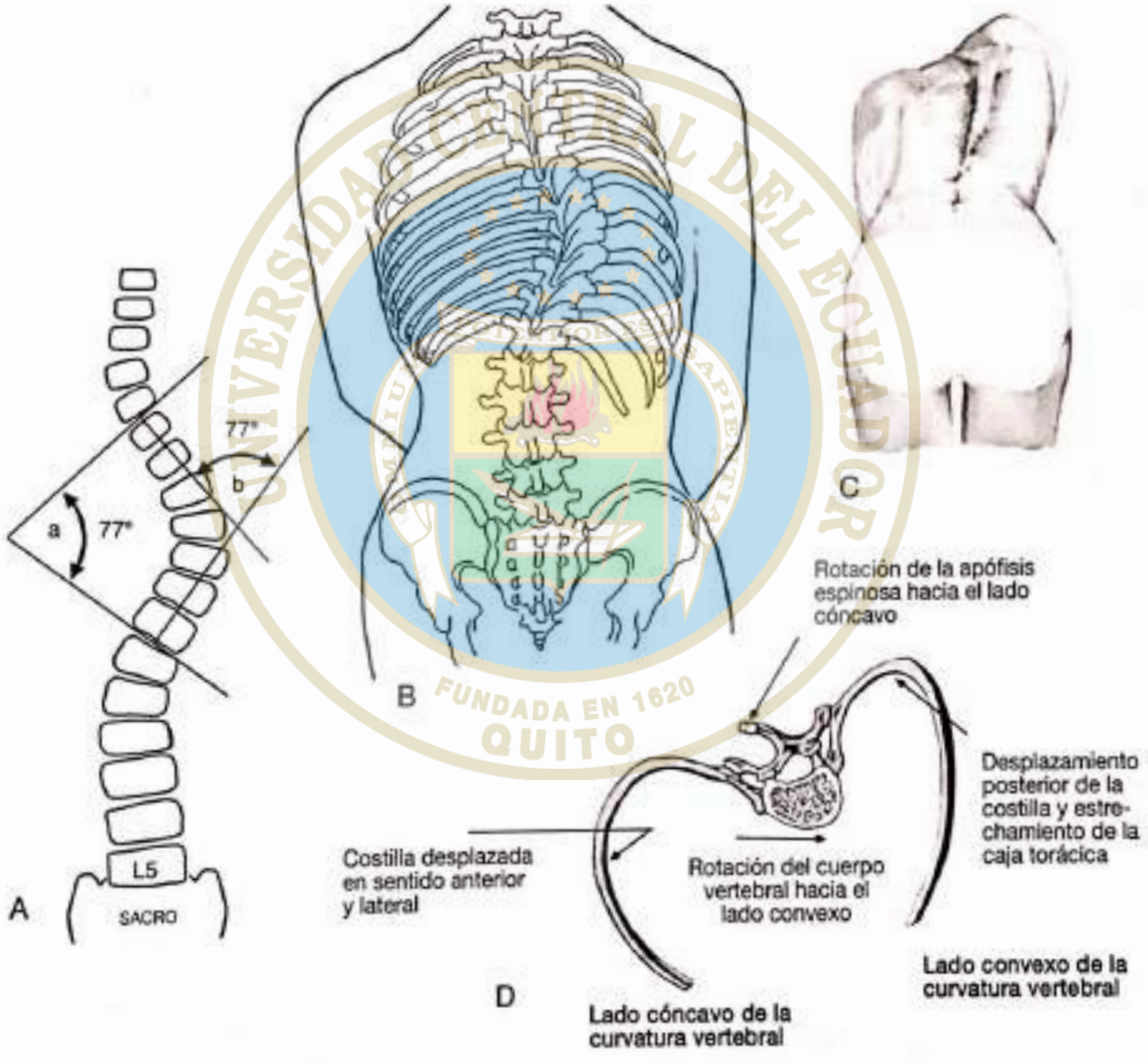



FIGURA 3.30. Escoliosis (vista posterior excepto vista superior en D). (A) Método de Cobb para medir las curvaturas; (B) escoliosis estructural con ensanchamiento del espacio intercostal por el lado convexo y con estrechamiento de la curvatura torácica por el lado cóncavo; (C) giba costal visible durante la prueba de anteroflexión; (D) rotación de las vértebras y efecto sobre la caja torácica.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

PRUEBAS Y MEDICIONES 3.2

### *Detección de la escoliosis*

Practica las observaciones y la prueba de anteroflexión con otro bailarín como se describe en el texto y usando la figura 3.30 como referencia. La observación será más sencilla si las bailarinas llevan la prenda superior de un bikini, un top o una malla sin espalda o si los bailarines se quitan la camiseta.

**Observación general**
Haz que el compañero esté de pie y erguido con las piernas paralelas y los pies alineados con las articulaciones coxofemorales. Mirando al compañero por delante o por detrás, fíjate en cualquier asimetría evidente, como una diferencia en la altura de los hombros, la prominencia de los omoplatos, la diferente altura de las manos o la distancia de los brazos a los lados del cuerpo, la diferencia en la altura de un lado de la pelvis, o si un lado de la pelvis se sitúa más adelante que el otro, una cintura asimétrica, o una discrepancia en la longitud de las piernas. Por detrás del compañero, palpa las apófisis espinosas desde la parte superior del cuello hasta el sacro, y fíjate en cualquier curvatura o rotación lateral evidente.

**Prueba de anteroflexión**
A continuación, observando al compañero desde atrás, haz que flexione muy lentamente el tronco hacia delante, empezando por la parte superior de la cabeza, y luego hacia abajo mientras los brazos penden a los lados. Busca la simetría del tronco a todos los niveles de la columna y fíjate en si un lado es más alto y si se aprecia giba costal.
*Nota.* De forma práctica, es importante darse cuenta de que muchos factores como la diferencia en la longitud de las piernas y los patrones de dominancia manual pueden derivar en asimetrías. No obstante, es preferible derivar a los bailarines jóvenes con escoliosis aparente para un examen médico que determine la base y magnitud de las asimetrías evidentes.

cuidado de evitar demostrar los movimientos siempre por el mismo lado y evita la tendencia a usar un solo lado en la coreografía (p. ej., girar siempre por el mismo lado).

Aunque una escoliosis en «S» bien equilibrada –incluso si comprende grandes curvaturas– no tiene que ser obstáculo en la carrera de un bailarín profesional, sí se asocia con un incremento del riesgo de fracturas por sobrecarga (Warren *et al.*, 1986) y lesión lumbar. Por experiencia de la autora, muchos bailarines con curvaturas leves (sobre todo cuando se acompañan de una mayor rotación) experimentan asimetrías en su trabajo. Por tanto, hay que prestar especial atención a evitar la agudización de las asimetrías, con ayuda de un fisioterapeuta si fuera necesario. Además, hay que adoptar medidas preventivas para los factores generadores de estrés (incluidos los factores nutricionales y hormonales) expuestos en el capítulo 1.

## Mecánica de la columna vertebral

El hecho de que la columna normal se componga de muchos segmentos consecutivos con curvaturas alternas influye en su vulnerabilidad a las lesiones y en las acciones que los músculos generan. Los abdominales parecen desempeñar un papel especialmente clave en la protección de la columna por medio de mecanismos que todavía se están estudiando. Un ejemplo de cómo influyen los cambios de la curvatura vertebral en la acción de los músculos es la paradoja del psoas.

### *Contracción abdominal para la protección de la columna*

La columna vertebral puede soportar fuerzas tremendas al bailar y durante otros esfuerzos deportivos. Se ha calculado que el disco lumbosacro de una persona que se inclina hacia delante y levanta 77 kilogramos del suelo soporta una fuerza de 939 kilogramos (Morris, Lucas y Bresler, 1961). De forma parecida, un estudio sobre una selección de ejercicios de extensión de la cadera en danza aeróbica (con movimientos parecidos a los que se usan en danza) demostró que los valores del torque en la columna lumbar eran mayores que al levantar una carga de 45 kilogramos (Hall y Lindoo, 1985). Estas grandes fuerzas se aproximan o incluso superan las fuerzas registradas en los discos dañados (Bartelink, 1957) o en las vértebras mismas (Eie, 1966) cuando se extirpan de cadáveres y se estudian en el laboratorio. El hecho de que

los daños aparentes en la columna no ocurran durante actividades funcionales rigurosas (a pesar de alcanzar o superar las cargas experimentales que causan daños) sugiere que en los organismos vivos algo debe actuar y proteger la columna vertebral.

Uno de los mecanismos que protege la columna vertebral es la **presión intraabdominal**, que se describe como la presión que generan los músculos que rodean la cavidad abdominal cuando se contraen (músculos abdominales, diafragma, músculos del suelo de la pelvis). Su función fue descrita por vez primera por Bartelink (1957), quien la comparó con la de una pelota llena de líquido de la que desaparece la deformación en cuanto aumenta su presión interior (figura 3.31A). Esta teoría sirve para explicar la transferencia de fuerzas del tronco a la pelvis, de tal modo que la columna vertebral experimenta un efecto de descarga de hasta un 30-50% (Morris, Lucas y Bresler, 1961).

Aunque el modelo original se ha cuestionado en estudios recientes, se sigue aceptando el concepto de que los músculos abdominales intervienen en la protección de la columna. Una explicación alternativa es que la contracción de los músculos abdominales (sobre todo el transverso del abdomen) reduce las fuerzas de cizallamiento al hacer presión sobre la cara anterior de la columna lumbosacra, oponiendo resistencia a la hiperextensión lumbar y al deslizamiento anterior de las vértebras, como se ve en la figura 3.31B. Otra teoría es que la contracción de los abdominales ayuda a aumentar la rigidez del tronco, de modo que la columna no se comba cuando soporta una carga (Hall, 1999). Una teoría afín es la de que la contracción de los músculos abdominales (específicamente el transverso y el oblicuo interno del abdomen) y la presión intraabdominal resultante actúan generando tensión en la fascia toracolumbar, como se ilustra en la figura 3.31C. La **fascia toracolumbar** es una estructura compleja que se divide en tres hojas (Smith, Weiss y Lehmkuhl). Presenta conexiones con las costillas, las vértebras, el sacro y ciertos ligamentos posteriores de la columna, y distintos músculos como los transversos del abdomen, los oblicuos internos, los erectores de la columna, los multífidos, los cuadrados lumbares, el dorsal ancho y el glúteo mayor. Debido a las inserciones posteriores de la fascia en la columna vertebral, esta teoría del **aumento de la tensión de la fascia toracolumbar** sostiene que, cuando la fascia se tensa, tiende a generar extensión que puede ayudar en movimientos como el levantamiento de la espalda, o al menos en la estabilización de la columna (Richardson, Hodges y Hides, 2004), lo cual reduce la carga sobre la columna lumbar (Levangie y Norkin, 2001). Otra teoría (de la fusión muscular) afirma que la contracción de los abdominales tiene el efecto contrario, es decir, tiende a ejercer tracción lateral sobre la fascia lumbodorsal y a reducir la lordosis lumbar, lo cual aminora el cizallamiento y permite un soporte más eficaz de la columna (Plowman, 1992; Saal, 1988b).

Cuando interviene la presión intraabdominal, la reducción del cizallamiento, la tensión toracolumbar o una combinación de estos mecanismos, el fortalecimiento de los abdominales y su reclutamiento previo a movimientos vigorosos (como levantar a un compañero) deberían, al menos en teoría, aumentar su efecto protector sobre la columna. Los estudios sobre la presión intraabdominal han confirmado que la pre-

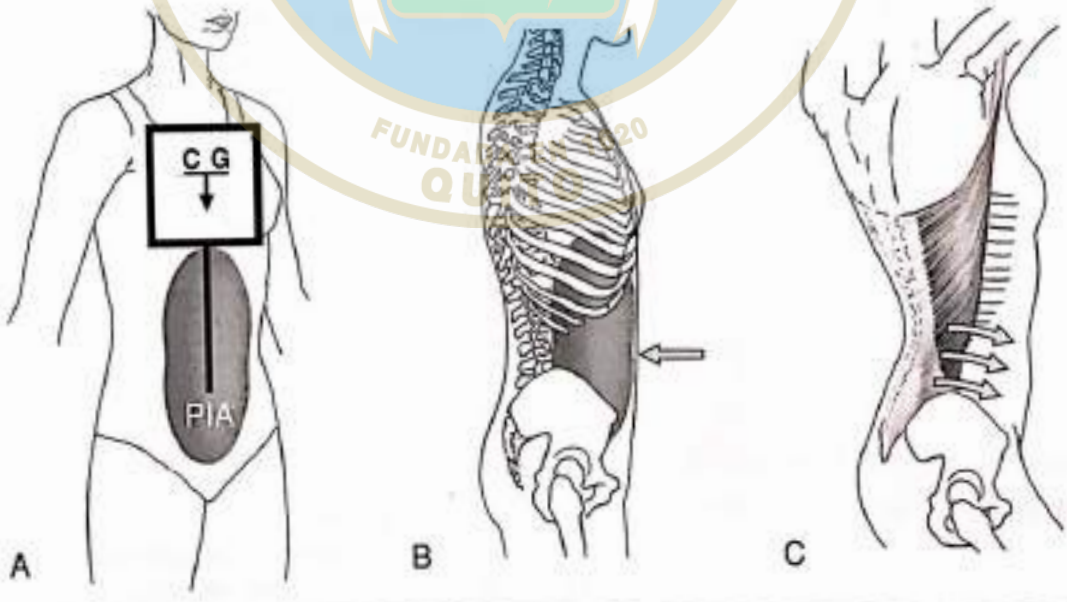



FIGURA 3.31. Papel potencial de los músculos abdominales en la protección de la región lumbar. (A) Presión intraabdominal original (PIA); (B) teoría de la reducción del cizallamiento; (C) teoría de la tensión toracolumbar.

sión que se genera es mucho mayor en las personas atléticas y los halterófilos de elite que en personas delgadas no atléticas (Bartelink, 1957; Eie y Wehn, 1962; Grieve, 1978). Los estudios sugieren que el transverso del abdomen sobre todo y los oblicuos secundariamente son vitales para generar presión intraabdominal (Bartelink, 1957; De Troyer *et al.*, 1990; Grillner, Nilsson y Thorstensson, 1978; Kumar y Davis, 1978). Parece que el recto del abdomen no interviene mucho en la generación de presión intraabdominal, y que su papel es más el de controlar los movimientos de la columna. Por tanto, hay que seleccionar los ejercicios de fortalecimiento abdominal y potenciar el de los músculos transverso y oblicuos del abdomen.

### Paradoja del psoas

Aunque se considere que el músculo psoasilíaco es un flexor de la cadera, también genera movimientos en la columna en los que influye la posición del cuerpo. Cuando la columna está flexionada, la línea de tracción del psoasilíaco suele ser anterior al eje de rotación de las articulaciones intervertebrales lumbares, y tiende a generar flexión de la columna lumbar (Levangie y Norkin, 2001). El psoasilíaco actúa así cuando subimos por una cuerda, en las contracciones de Graham y en distintos ejercicios de calentamiento de danza practicados en el suelo con balanceo anterior de las piernas (flexión coxofemoral) y la columna lumbar flexionada. No obstante, en muchos casos (como en bipedestación normal), cuando la columna lumbar está extendida, la línea de tracción de muchas de las fibras del psoasilíaco cursa posterior a las articulaciones intervertebrales lumbares y tiende a generar extensión (hiperextensión) de la columna lumbar. Esta inversión aparente de su papel de generar extensión a flexión se denomina **paradoja** del psoas. Esta tendencia general a generar hiperextensión lumbar puede ser deseable en ciertas ocasiones, como para mantener la curvatura lumbar en ortostatismo. Sin embargo, hay muchos otros casos, como cuando se eleva la pierna que trabaja al frente en danza o los ejercicios de abdominales levantando ambas piernas, en que no es adecuada, y se requiere una firme contracción de los músculos abdominales para estabilizar las inserciones proximales del psoasilíaco e impedir la inclinación pélvica anterior y la hiperextensión de la columna.

## Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la columna

Al analizar los movimientos de la columna, es importante reparar en que a menudo se relacionan con movimientos de la pelvis. Esta relación se aborda en el capítulo 4. También es importante fijarse en que la estructura segmentaria de la columna permite distintas posibilidades de movilidad en regiones diferentes de la columna, y posibilita a una parte de la columna moverse en una dirección mientras otra se mueve en otra dirección. Sin embargo, por razones de simplicidad, es útil aprender primero los movimientos de la columna en conjunto.

Para conocer los músculos que producen un movimiento dado de la columna, es esencial reparar en el papel de la gravedad en ortostatismo. En esta posición erguida, la columna está en una posición potencialmente precaria, y si se mueve en cualquier dirección desestabilizadora, la gravedad tenderá a provocar su caída en esa dirección. A menudo una ligera contracción concéntrica voluntaria se usa para iniciar el movimiento en una dirección deseada. Entonces la gravedad se convierte en el motor principal, y los músculos cuya acción se oponga al movimiento de la gravedad se usan para controlarlo. Para visualizar estos movimientos, es útil pensar en la columna como en un tronco flexible en que los músculos actúan como cuerdas de anclaje (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Cuando la columna vertebral está vertical, se requiere poca o ninguna tensión en estas cuerdas. Sin embargo, cuando la columna se inclina y se aleja de la vertical, las cuerdas (los músculos) situadas en la dirección opuesta a la del movimiento se tienen que contraer para controlar o impedir el movimiento de la columna. Los músculos de la columna también se usan juntos (cocontracción) y de forma coordinada para generar una posición estable de la columna. En la tabla 3.2 aparece un resumen de los músculos capaces de generar los movimientos fundamentales de la columna, así como una ilustración de los movimientos fundamentales de la columna que se muestran en la figura 3.11.

### Flexión de la columna

La flexión de la columna consiste en su anteroflexión en el plano sagital, lo cual tiende a acercar las superficies anteriores de las vértebras y el tronco. Sin embargo, como las regiones cervical y lumbar se curvan en la dirección de la hiperextensión (posteriormente cóncavas), la flexión de estas regiones puede suponer una disminución de la extensión o un aplanamiento de la curvatura, sin que se produzca necesariamente una flexión de las vértebras adyacentes. Es habitual que la flexión de la curvatura cervical reduzca esta curva a una línea recta, y en las personas flexibles, la curvatura lumbar puede llegar a invertirse.

El empleo concéntrico de los músculos abdominales y otros flexores de la columna ocurre cuando ésta se flexiona o la pelvis se inclina posteriormente contra la gravedad u otra resistencia externa. Cuando la gravedad ofrece resistencia, la posición en decúbito supino del cuerpo permite presentar una resistencia eficaz. Por ejemplo, en el *curl-up* (tabla 3.4B, pág. 134), los músculos flexores de la columna actúan concéntricamente en la fase ascendente para curvar

**Tabla 3.2. Movimientos fundamentales de la columna vertebral y músculos que los generan**

| Movimiento vertebral | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| Flexión | Rectos del abdomen<br>Oblicuos externos del abdomen<br>Oblicuos internos del abdomen | Psoasiliaco* |
| Extensión | Erector de la columna | Semiespinoso<br>Grupo de espinosos posteriores profundos<br>Psoasiliaco |
| Lateroflexión | Cuadrado lumbar<br>Oblicuos externos del abdomen<br>Oblicuos internos del abdomen<br>Erector de la columna | Semiespinoso<br>Grupo de espinosos posteriores profundos (intertransversos y multífido)<br>Psoasiliaco |
| Rotación | Oblicuos externos del abdomen<br>Oblicuos internos del abdomen<br>Erector de la columna | Semiespinoso<br>Grupo de espinosos posteriores profundos (rotadores y multífido) |

* En circunstancias escogidas, debido a la paradoja del psoas.

el torso. Los rectos del abdomen y los oblicuos externos e internos derechos e izquierdos actúan todos para generar flexión vertebral, mientras que el transverso del abdomen ayuda a tirar de la pared abdominal hacia dentro. En movimientos lentos, el recto del abdomen actúa solo cuando se levanta la cabeza, y los oblicuos se le unen cuando los hombros comienzan a elevarse. En danza, este tipo de movimiento ocurre cuando el bailarín se levanta de una posición en decúbito supino, como en las contracciones que suelen usar las danzas moderna y jazz.

En bipedestación y erguidos, la situación se vuelve más compleja. En la contracción en bipedestación que aparece en la figura 3.32, los abdominales se usan con fuerza para inclinar posteriormente la pelvis, flexionar la columna y meter o esconder la pared abdominal. Además, se requiere una ligera cocontracción de los extensores de la columna para lograr la «elevación» deseada del movimiento e impedir que la región superior de la espalda se hunda demasiado hacia delante. No obstante, si dejáramos que el torso se encorvara hacia delante como en un *roll-down*, los músculos extensores de la columna serían los principales músculos que trabajan (excéntricamente) para controlar la flexión vertebral causada por la gravedad. En danza, a menudo se potencia una ligera cocontracción de los abdominales para dar forma al movimiento, con la cabeza y los hombros cerca de la porción inferior del cuerpo a medida que se ejecuta el *roll-down*.

FIGURA 3.32. Movimiento de danza que muestra la flexión de la columna vertebral.
Fotografía: Roy Blakey. Bailarín: Douglas Nielsen en la obra de Anna Sokolow *The Cage Pond*, con la Batsheva Dance Company de Tel-Aviv.

## *Extensión de la columna*

La extensión es la vuelta desde una posición de flexión a la posición anatómica o un movimiento de flexión hacia atrás, en el plano sagital. Cuando la columna está extendida más

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 3.1

### Papel de la gravedad en los movimientos de la columna en bipedestación

Practica los siguientes movimientos en bipedestación con los pies paralelos y separados la anchura de las caderas, usando la figura 3.11 como referencia.

- **Gravedad y anteroflexión.** Pon la palma de una mano sobre un lado de la columna lumbar. Pon la otra mano en el abdomen. Luego, encórvate lentamente hacia delante (como si fueras a tocar el suelo) hasta medio camino. Piensa en el efecto de la gravedad durante este movimiento. Explica por qué sientes la contracción muscular que estás sintiendo, y cómo actúan los abdominales y extensores de la columna en este movimiento.
- **Gravedad y extensión de la columna.** Con las manos como antes, vuelve lentamente a enderezar el tronco hasta que la columna adopte una posición vertical. ¿Qué músculos sientes que trabajan? De nuevo, explica el papel de los abdominales y los extensores de la columna en este movimiento y cuándo intervienen contracciones excéntricas, concéntricas o de ambos tipos. Ahora deja que el torso se arquee ligera y cuidadosamente más allá de la vertical (hiperextensión). Explica la influencia de la gravedad en este movimiento y cómo afecta el uso de los músculos.
- **Gravedad y lateroflexión de la columna.** Con las manos colgando a los lados, dobla el torso hacia un lado. De nuevo, piensa en la influencia de la gravedad a intenta percibir y explicar los músculos que trabajan en las fases descendente y ascendente del movimiento. Incluye el cuadrado lumbar así como los abdominales y los extensores de la columna. Ahora varía la posición del torso un poco mientras te doblas hacia un lado (el torso ligeramente adelante y luego de vuelta a una posición lateral). ¿Cómo influye esto en el uso de los músculos?
- **Gravedad y rotación de la columna.** Finalmente, con las manos colgando a los lados, gira el torso hacia un lado. ¿En qué difiere la influencia de la gravedad en este movimiento respecto al anterior? ¿Cómo influirá esto en la contribución y en el tipo de contracción de los músculos abdominales y los extensores de la columna?

allá de la posición anatómica, el movimiento se denomina hiperextensión. En el análisis o descripción de un movimiento, a menudo seguimos usando el término «extensión» porque la finalidad es describir la dirección del movimiento (extensión) en vez de una posición. Sin embargo, en ocasiones, como en la descripción de una posición o el mecanismo de una lesión, puede ser útil usar el término «hiperextensión».

El empleo concéntrico de los músculos extensores de la columna ocurre cuando la columna se extiende o hiperextiende contra la gravedad u otra resistencia externa, como en el arqueamiento de la columna con extensión de un brazo en decúbito prono (tabla 3.4I, pág. 138). Los músculos del grupo erector de la columna son especialmente activos durante la extensión en decúbito prono, siendo máxima la actividad del músculo espinoso, seguido por el longísimo, y siendo mínima la del iliocostal (Basmajian y DeLuca, 1985). El semiespinoso y el grupo de músculos posteriores profundos de la columna también se activan en cierto grado durante la extensión en decúbito prono. Se cree que este último grupo de músculos actúa sobre todo ayudando a estabilizar la columna y ajustar el movimiento entre vértebras individuales, mientras que el erector de la columna genera la fuerza primaria para la extensión completa de la columna.

Los músculos extensores de la columna también se suelen usar concéntricamente para enderezar el cuerpo hacia una posición vertical desde una posición de anteroflexión. En danza, este uso de los extensores es habitual, como cuando el torso pasa de estar flexionado a una posición vertical o con la espalda plana en *port de bras* o en los calentamientos en el centro de la sala en danza moderna y jazz. Los extensores de la columna también trabajan duro para impedir que el torso se incline demasiado hacia delante y para mantener una postura más erguida del torso cuando se eleva una pierna hacia atrás en un *arabesque*, una *attitude en arrière* (figura 3.33) o un salto con una pierna.

## Lateroflexión de la columna

La lateroflexión de la columna comprende la inclinación hacia un lado en el plano frontal y se denomina lateroflexión derecha o izquierda. Su nombre responde a la forma en que la porción superior de la columna se dobla respecto a la inferior. Por tanto, la aproximación del lado derecho de las vértebras –como cuando doblamos el torso a la derecha en bipedestación– se denomina lateroflexión derecha. Por el contrario, la aproximación de la superficie lateral de las vértebras hacia la izquierda se denomina lateroflexión izquierda. Para seguir la costumbre de usar un término que describa la dirección del movimiento, el retorno a la posición anatómica desde lateroflexión izquierda se denomina lateroflexión derecha, y viceversa.

FIGURA 3.33. Movimiento de danza que muestra la extensión de la columna vertebral.
© Fotografía de Angela Sterling. Bailarina, Melanie Skinner, del Pacific Northwest Ballet.

El empleo concéntrico clásico de los músculos laterofle-xores de la columna se produce cuando ésta se inclina lateralmente contra la gravedad o una resistencia, como en los *side-ups* (tabla 3.4K, pág. 139). El cuadrado lumbar, los oblicuos del abdomen y el erector de la columna se consideran los principales flexores laterales. Fíjate en que los oblicuos externos y los oblicuos internos del mismo lado del cuerpo trabajan para generar el mismo movimiento (p. ej., en decúbito lateral derecho, el oblicuo externo y el oblicuo interno izquierdos generan la flexión lateral a la izquierda). En algunos casos, el semiespinoso, los extensores profundos posteriores de la columna, el recto del abdomen y el psoasilíaco también ayudan en el movimiento. En qué músculos que contribuyen al movimiento influyen el grado de resistencia, la velocidad del movimiento y la posición específica del tronco. Por ejemplo, cuando se produce lateroflexión pura, parece ser escasa la acción del recto del abdomen, pero, cuando se combina con ligera flexión del torso, hay una cocontracción del recto y el oblicuo del abdomen para ayudar a generar el movimiento.

En ortostatismo erguido, los flexores laterales de la columna actúan siempre que el torso se inclina hacia un lado. Este movimiento es habitual en danza moderna y jazz y en estiramientos en segunda posición en el suelo o en la barra, como se ve en la figura 3.34. En el movimiento de la fotografía, los flexores laterales derechos inician el movimiento. Entonces, una vez que la columna está descentrada, los flexores laterales izquierdos actúan sobre todo para controlar excéntricamente el movimiento, motivados principalmente por la gravedad una vez que la columna se desequilibra. Al igual que en los movimientos en decúbito lateral, la contribución específica de los flexores laterales parece verse afectada por la posición del tronco. Sin embargo, los músculos oblicuos del abdomen parecen ser especialmente importantes, siendo más variable la contribución de los extensores de la columna (Basmajian y DeLuca, 1985). Por ejemplo, un estudio encontró mayor actividad en los extensores vertebrales del lado opuesto en la región lumbar y en los extensores vertebrales del mismo lado en la región torácica (Andersson, Ortengren y Nachemson, 1977).

FIGURA 3.34. Movimiento de danza que muestra la lateroflexión de la columna vertebral.
© Fotografía por cortesía de Bill Evans. Fotógrafo: Jack Mitchell. Bailarín, Bill Evans, en *Five Songs*.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

### Rotación de la columna

La rotación de la columna supone el giro sobre el eje longitudinal de la columna y, al igual que en la lateroflexión, se califica como derecha o izquierda según la forma en que la cara anterior de la porción superior de la columna gira respecto a la inferior. La rotación derecha se define como el movimiento de la cabeza o los hombros a la derecha respecto a la pelvis fija, o el movimiento de la pelvis a la izquierda respecto a la cabeza y hombros fijos o la porción superior de la columna. La vuelta a la posición neutra se denomina rotación izquierda.

La contracción concéntrica de los músculos rotadores de la columna se usa siempre que la cabeza, torso o pelvis giran, como en las aislaciones de jazz, los movimientos espirales en danza moderna (figura 3.35) y las vueltas *en face* en ballet, donde la cara anterior del torso gira respecto a la cara anterior de la pelvis. Por razones de simplicidad, esta exposición se limitará a la rotación torácica y lumbar. La rotación sobre el eje mayor de la columna resulta afectada sobre todo por los músculos oblicuos del abdomen y extensores de la columna. Teóricamente, cuando el torso gira a la derecha, el oblicuo derecho interno, el longísimo derecho, el iliocostal derecho, el oblicuo externo izquierdo, el multífido izquierdo, los rotadores izquierdos y el semiespinoso izquierdo se contraen para producir el movimiento. Fíjate en que, a diferencia de lo que ocurre en la lateroflexión, los oblicuos externo e interno de lados opuestos trabajan juntos para generar rotación.

Mientras que algunos estudios EMG han confirmado esta actividad en la región lumbar (Ortengren y Andersson, 1977), otros estudios han documentado una contribución muscular más compleja de lo esperado, posiblemente debido a la compleja interacción de agonistas, sinergistas, antagonistas y estabilizadores, a las complejas líneas de tracción y a las múltiples articulaciones que cruza la musculatura vertebral (Basmajian y DeLuca, 1985). Además, como en la lateroflexión, la posición del torso y la relación con la gravedad influyen en la contribución de los músculos, así como en el punto primario de rotación. Por ejemplo, cuando la rotación de la columna se produce en una posición vertical en bipedestación, suele haber más rotación en la región torácica. No obstante, cuando se practica en hiperextensión, suele haber más rotación en la columna lumbar, y los músculos extensores de la columna tienden a aportar una mayor contribución a la rotación deseada. Por el contrario, cuando la rotación de la columna se practica con ésta flexionada, se produce mayor rotación a nivel superior de la columna, y los músculos oblicuos del abdomen tienden a ser los más utilizados para producir la rotación. Estos mismos conceptos se aplican a los ejercicios de fortalecimiento con rotación en decúbito prono.

FIGURA 3.35. Movimiento de danza que muestra la rotación de la columna vertebral.
© Fotografía de Angela Sterling. Bailarín, Christophe Maraval, del Pacific Northwest Ballet.

## Consideraciones clave sobre la columna respecto al movimiento del cuerpo

Debido a su localización central, el movimiento coordinado entre el tronco y las extremidades es vital para la movilidad y la prevención de lesiones. La estabilidad central es un mecanismo importante para proteger la columna vertebral y potenciar la movilidad centrada.

### Estabilidad central

La **estabilidad central** (también llamada estabilidad del tronco, estabilización lumbopélvica

y estabilización vertebral) se puede definir como el desarrollo o restablecimiento de aspectos neuromusculares del control lumbopélvico, vital para proteger la columna de lesiones o recidivas (Hodges, 2003). Las estrategias para desarrollar la estabilidad central suelen utilizar dos componentes. Un componente potencia ejercicios que mejoren la fuerza y tolerancia física de los músculos clave del tronco (capacidad muscular). El segundo componente ha recibido más atención en los años recientes y se centra en el entrenamiento de un uso coordinado de estos músculos clave del tronco durante movimientos funcionales (control motor).

Como se describió al comienzo de este capítulo, la columna vertebral depende mucho del equilibrio de los músculos para su estabilidad. A diferencia de otras articulaciones como las de la cadera y la rodilla, que se pueden «bloquear» en ligera hiperextensión para que los ligamentos sean la base primaria de sustentación, la columna no se puede bloquear y sus curvas anteroposteriores tenderán a hundirse o combarse por efecto de la gravedad si no lo contrarrestan los músculos apropiados. De hecho, una columna ligamentaria aislada sin soporte muscular se desplomaría al aplicar sobre ella menos de 2 kilogramos (Nachemson, 1966). El torso se puede considerar como un cilindro (Nachemson y Morris, 1964) donde, con una alineación ideal, los músculos localizados alrededor del cilindro se equilibran para que el torso se mantenga «estable», las curvaturas no sean exageradas y la columna esté protegida de tensiones excesivas.

Es probable que muchos músculos del tronco intervengan en la estabilización central, pero, debido a su localización, los abdominales y extensores de la espalda son especialmente clave. Por ejemplo, ha quedado demostrada la contracción automática de los abdominales (el transverso del abdomen seguido por los oblicuos) antes de movimientos rápidos de los brazos y piernas, antes de los picos de fuerza vertical al caminar y al correr, y en la recepción de un salto (Grillner, Nilsson y Thorstensson, 1978; Hodges y Richardson, 1996, 1997). Los estudios sugieren que el sistema nervioso central activa componentes de los abdominales de forma inconsciente antes de mover las extremidades. Se cree que esta precontracción de los abdominales ayuda a la estabilidad del tronco mediante la generación de presión intraabdominal o tensión de la fascia toracolumbar. De forma parecida, músculos como el multífido del grupo de músculos posteriores profundos de la columna parecen ser vitales para la estabilidad central a nivel segmentario de la columna. Por tanto, se cree que la contracción bien sincronizada y coordinada de estos músculos profundos de la columna es especialmente clave para estabilizar la columna a nivel segmentario, mientras que los músculos más superficiales del tronco que pueden generar más fuerza trabajan estabilizando y controlando los movimientos de la columna en conjunto. Juntos, estos músculos profundos y superficiales del tronco se usan para reducir o eliminar el movimiento compensatorio no deseado del tronco que ocurre como respuesta a los movimientos de las extremidades, y podría reducir las fuerzas potencialmente lesionales que soporta la columna vertebral.

### Movimientos centrados

La estabilidad central es también un aspecto importante de los movimientos especializados que usan bailarines y deportistas. En movimientos como los de la danza, las artes marciales y el Pilates, el uso de la estabilidad central forma parte de los patrones de movimiento, que a menudo se denominan «centrados». En estos tipos de movimientos, la estabilidad central se suele usar de forma muy refinada para lograr los objetivos estéticos y biomecánicos. Por ejemplo, en algunos movimientos de danza, el torso y la pelvis se mantienen relativamente erguidos mientras los brazos y piernas se usan en diversos movimientos. Muchos bailarines principiantes tienen problemas con esta coordinación, y se aprecian muchas compensaciones visibles del torso, que se inclina hacia delante, los lados o hacia atrás. No obstante, a medida que su destreza mejora, estas compensaciones disminuyen, de modo que los grandes movimientos de las extremidades ocurren sin alterar la posición deseada del torso. Esta destreza es más compleja en casos en que el torso se mueve alejándose de la vertical mientras las extremidades se mueven. Por ejemplo, la hiperextensión de la columna que acompaña a un *cambré en arrière* en ballet, la presentación del torso en flamenco, un *layout* en danza jazz, o un movimiento de arqueamiento espiral del torso en danza moderna requieren un uso ligeramente distinto de los abdominales, los extensores de la espalda y otros músculos del tronco para generar la línea deseada y evitar el movimiento excesivo de una vértebra respecto a otra. Lograr y mantener estas posiciones del torso no sólo requiere unos músculos del tronco poderosos, sino también una sincronización y magnitud adecuadas en la activación de estos músculos.

## Consideraciones especiales sobre la columna en la danza

Hay distintos aspectos de la danza que resultan muy exigentes para la columna vertebral. Algunas áreas que son especialmente importantes para la técnica y la prevención de lesiones son la alineación de la columna, la hiperextensión de la columna, la anteroflexión en ortostatismo y el *porté*.

### Alineación de la columna en danza

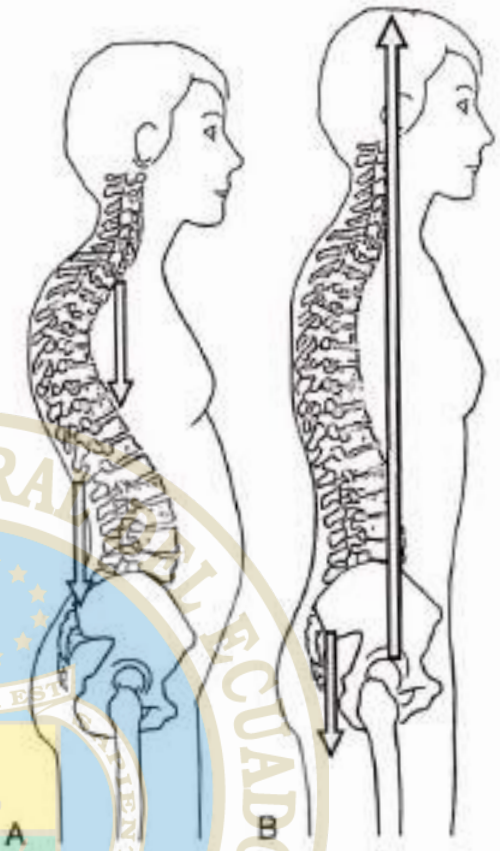
La alineación en ortostatismo del trabajo en el suelo en el centro de la sala o en la barra de algunos estilos de danza

ÓRDENES EN LA DANZA 3.2

### «Eleva y elonga la columna vertebral»

La orden de «elevar y elongar la columna» se puede interpretar desde una perspectiva anatómica como el uso de músculos para contrarrestar la tendencia de la gravedad a «hundir» ligeramente las curvas sagitales normales de la columna (A). Con la contracción bien coordinada de los músculos de la columna, las curvas pueden disminuir ligeramente y aumentar la longitud de la columna. Sin embargo, la dificultad de esta orden es que, como las curvaturas de la columna siguen direcciones distintas, se necesita una compleja cocontracción de los músculos en distintas regiones para lograr los efectos deseados. Por ejemplo, si la contracción de los músculos abdominales es excesiva, disminuirá la curvatura lumbar pero aumentará la torácica, deprimiendo demasiado la cara anterior de la caja torácica y dando un aspecto «deprimido» en vez de «elevado». Por el contrario, si se recurre a una excesiva extensión dorsal, ésta tenderá a situar los hombros y la porción superior de la espalda detrás de la línea de gravedad y de nuevo no se logrará el aspecto «elevado».

A veces es útil usar claves suplementarias, por ejemplo, imaginarse una línea de energía que empieza en la cara anterior de la base de la pelvis, sube por debajo de la caja torácica (a lo largo de la cara anterior de la columna) y sale por la porción superior de la cabeza (justo detrás del punto medio de la parte superior de la cabeza), como se ve en la figura B. En el caso de bailarines cuyo pecho siga pareciendo «hundido», tratar de elevar el esternón hacia el techo puede facilitar la posición deseada. En el caso de bailarines que sigan tendiendo a acortar la región lumbar (hiperlordosis), es útil intentar que la región lumbar «se elongue» y trate de tocar el suelo, o imaginar que un peso pequeño cuelga del cóccix o poner los dedos en el dorso del sacro para deprimirlo ligeramente hacia el suelo, mientras se mantiene la «elevación» de la cara anterior del cuerpo.




es muy parecida a la alineación ideal previamente descrita. Sin embargo, como el objetivo es prepararse para el movimiento y una estética de la «energía» o la «presencia» frente a una bipedestación relajada, esta alineación suele implicar una mayor activación muscular. Esta mayor activación muscular concuerda con muchas órdenes distintas que suelen dar los profesores de danza, como «extiende la cabeza hacia el techo», «eleva la columna hacia el techo» o «eleva y elonga la columna». Pero esta posición sigue implicando que las curvaturas de la columna tengan magnitud suficiente, estén equilibradas en el plano sagital y se puedan concebir como una **alineación neutra de base.** Cuando se está bailando, la columna ve desafiada dinámicamente su posición, a menudo en múltiples planos que abarcan combinaciones de flexión, lateroflexión, extensión y rotación, si bien los bailarines expertos deberían restablecer con rapidez esta alineación de base neutra cuando la coreografía requiera una postura erecta del torso.

A pesar de lo dicho, algunos estilos de danza pueden implicar ligeras diferencias respecto a esta alineación «neutra» de base. Por ejemplo, la estética de algunas escuelas de flamenco y ballet propende hacia una mayor «elevación y arqueamiento» de la porción superior de la espalda, mientras que otras escuelas de danza moderna prefieren una posición ligeramente anterior de la caja torácica. Los bailarines expertos aprenden a asumir esa estética sin dejar de proteger su columna lumbar mediante cocontracción abdominal. Y como con la alineación neutra de base, los bailarines expertos deben ser capaces de restablecer con rapidez la alineación de base en su estilo de danza cuando la coreografía lo exija.

Estando sentados en el suelo, como es habitual en la danza moderna y jazz, se produce un distinto desafío para

la alineación de la columna. Sentarse en una posición relajada/encorvada como se ve en la figura 3.36B tiende a asociarse con hasta 40° de inclinación posterior de la pelvis, con la consiguiente disminución de la lordosis lumbar, aumento de la cifosis dorsal y aumento asociado de la presión intradiscal. Es muy fácil adoptar esta postura, porque recae en el soporte pasivo de los ligamentos de la espalda y otros tejidos blandos, con poca actividad de los músculos extensores de la columna. Sin embargo, adoptar una postura más erecta en sedestación para que la pelvis mantenga una posición más neutra, y el peso de la porción superior del cuerpo se sitúe directamente sobre la base de la pelvis (tuberosidades isquiáticas) en vez de detrás, de modo que los músculos extensores de la columna se usen para «elevarla» y prevenir la flexión excesiva de las regiones lumbar y dorsal, reducirá la tensión lumbar y permitirá mejorar el efecto estético buscado en la danza (figura 3.36C). Cuando se practica trabajo de suelo en que las rodillas están extendidas, es importante reparar en que la flexibilidad de los isquiotibiales es necesaria para adoptar esta postura más neutra de la pelvis, y que tal vez haya que doblar ligeramente las rodillas para lograr esta posición en personas con tirantez de los isquiotibiales (véase el capítulo 4).

En movimientos de danza más complejos, la alineación de la columna se vuelve mucho más complicada. Sin embargo, aunque los cambios de posición sean muy dinámicos, todavía existe el deseo de lograr un movimiento dado sin la distorsión indeseable de las curvas vertebrales, o de acuerdo con la posición específica dictada por la coreografía. Por ejemplo, cuando se practica un *side-beach*, la lateroflexión pura implica que el torso se mueva casi directamente hacia el lado (figura 3.37A) sin que las costillas se adelanten o la base de la pelvis se eche atrás (figura 3.37B). Esta posición implica una sutil cocontracción de muchos músculos con una sincronización adecuada y una magnitud de fuerza tal que la estabilización y los movimientos de la columna se practiquen de acuerdo con el objetivo del movimiento. Esta coordinación de los músculos es un marcador de la destreza de los bailarines profesionales.

## Hiperextensión de la columna

La hiperextensión de la columna tiende a separar la porción anterior de las vértebras consecutivas y a comprimir la porción posterior de esas mismas vértebras. Más específicamente, la hiperextensión genera tensión en la cara anterior del disco, compresión en la parte posterior del disco y aumento de la presión interna. La hiperextensión también aumenta las tensiones en la porción posterior de las vértebras, y cuando son muy forzadas y repetitivas, las articulaciones cigapofisarias se pueden lesionar o haber fracturas por sobrecarga en el hueso mismo (espondilólisis). Actividades como la danza, que recurren a la hiperextensión repetitiva, tienden a mostrar una mayor incidencia de lesiones lumbares, y por eso es importante conocer este movimiento.

La hiperextensión no deseada se puede producir estáticamente como parte de la postura ortostática (hiperlordosis lumbar) o dinámicamente en movimientos de danza como al levantarse de un *plié*, al flexionar lateralmente la columna, al saltar o en un giro. Como se ha descrito, una parte importante del entrenamiento en danza consiste en desarrollar

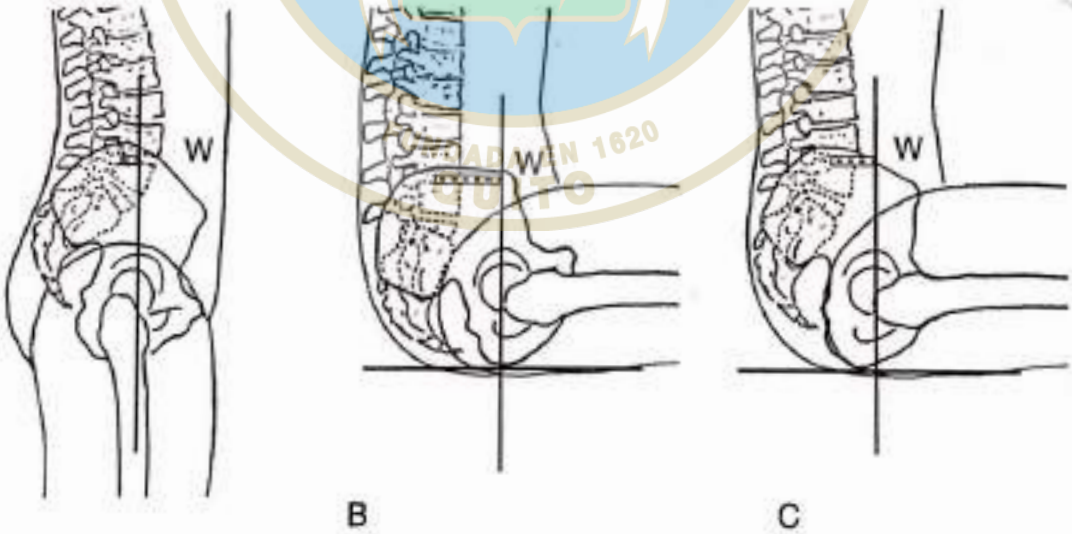



FIGURA 3.36. Cambios en la columna lumbar en bipedestación y sedestación. (A) Curvatura lumbar normal en bipedestación; (B) excesiva e indeseable inclinación posterior de la pelvis y reducción de la lordosis lumbar en sedestación; (C) alineación neutra de la pelvis con menor reducción de la lordosis lumbar normal en sedestación.

FIGURA 3.37. Alineación de la columna en lateroflexión. (A) Cocontracción muscular equilibrada que permite la alineación deseada de la columna; (B) contracción inadecuada de los abdominales que causa una alineación defectuosa de la columna.

la alineación deseada de la columna para evitar esta hiperextensión. No obstante, en otros casos como los *arabesques*, los *layouts* de jazz o distintos movimientos en *porte de bras* que implican el arqueamiento de la espalda, la hiperextensión de la columna es un componente necesario de la danza. En tales casos, el riesgo potencial de lesión se reduce con la adecuada cocontracción de los músculos abdominales y extensores de la espalda, de modo que el grado de hiperextensión y cizallamiento en la columna lumbar quede limitado y se ponga más énfasis en arquear más y en mayor medida toda la espalda (figura 3.38). Como es posible mucha más hiperextensión en la región lumbar que en la dorsal, esta técnica requiere el desarrollo de niveles elevados de fuerza abdominal y de la porción superior de la espalda, y una sutil coordinación neuromuscular que puede tardar años en desarrollarse. Las órdenes que se pueden usar para lograr este arqueamiento son: (1) imagina que te arqueas sobre un barril adaptándote a su contorno; (2) imagina que alguien te levanta y echa atrás justo por debajo de los omoplatos, y que las escápulas se convierten en una repisa en la que se apoya la parte superior de la espalda, y (3) concibe la columna como un tronco flexible con el objetivo de crear un arco largo y continuo en vez de permitir que la región lumbar se desplome y ondule.

## Anteroflexión de la columna

Los movimientos que implican anteroflexión de la columna son muy corrientes en danza moderna y jazz, y guardan relación con las lesiones de disco más habituales en los bailarines modernos de más edad. En contraste con lo que ocurre en hiperextensión, en anteroflexión las porciones anteriores de las vértebras ejercen presión entre sí, y las estructuras posteriores de la columna tienden a tirar y alejarse unas de otras. Esto genera compresión en la cara anterior del disco y tensión en la posterior, lo cual aumenta la presión intradiscal. También genera grandes tensiones en los ligamentos que se extienden posteriormente entre las vértebras adyacentes. Además, durante la flexión, las vértebras superiores tienden a deslizarse hacia delante debido al peso del tronco. Esta tendencia al deslizamiento genera grandes fuerzas de cizallamiento. Finalmente, la actividad muscular influye en las tensiones en la columna vertebral.

Respecto al influjo en los músculos, la actividad de los extensores de la columna aumenta inicialmente cuanto más se flexiona la columna hasta unos 40° a 50° (Andersson, Ortengren y Nachemson, 1977). Esto sucede porque la cabeza y el tronco se alejan del eje de rotación de la columna (aumentando el brazo de palanca de la resistencia), por lo que los músculos extensores de la columna tienen que generar más fuerza para contrarrestar excéntricamente este torque e impedir el desplome incontrolado del tronco. Esta mayor fuerza puede tensar en exceso los músculos extensores de la espalda, y su tolerancia física se ve influida de forma negativa para grados de flexión mayores. Por ejemplo, el tiempo que los trabajadores fueron capaces de mantener cierta postura se redujo de 13 minutos con 20° de anteroflexión a 4 minutos con 30° de anteroflexión (Soderberg, 1986). La mayor fuerza de los extensores de la espalda también preocupa porque aumenta la tensión en los discos. Un estudio documentó que la presión intradiscal en L3 se doblaba en magnitud con 40° de anteroflexión (Nachemson, 1981).

Una situación diferente surge en los grados extremos de anteroflexión. Pasados unos 50° de anteroflexión, la actividad de los músculos extensores de la columna disminuye en vez de aumentar, hasta que en flexión completa estos músculos están inactivos; a esto se le llama **fenómeno de la relajación en flexión** (Hall, 1999). En esta posición de flexión completa, la columna está desprovista de la estabilidad y protección que brinda la contracción muscular y depende del soporte pasivo de las cápsulas articulares y ligamentos, dis-

FIGURA 3.38. Cocontracción específica de los músculos abdominales y extensores de la columna para limitar la hiperextensión de la región lumbar inferior y potenciar la extensión de la porción superior de la espalda. (A) Técnica incorrecta; (B) técnica correcta.

cos, fascia toracolumbar y los componentes elásticos pasivos de los músculos extensores de la espalda. Esto es potencialmente peligroso para estas restricciones pasivas, sobre todo porque son susceptibles a la fatiga. Por ejemplo, con cargas repetitivas, los discos parecen perder capacidad para amortiguar o soportar fuerzas, y las lesiones se pueden producir con fuerzas relativamente pequeñas. Además, la tensión en el ligamento interespinoso asociada con la flexión completa puede aumentar la carga y fuerza de cizallamiento anterior sobre las articulaciones cigapofisarias (Hall, 1999). Estas observaciones han generado las recomendaciones de usar con cuidado la flexión completa y desaconsejar a los deportistas recreativos la adición de grandes fuerzas en esta posición vulnerable, como las asociadas con la percusión de los dedos de los pies o los estiramientos con rebotes. Sin embargo, algunos bailarines encuentran los *roll-downs* y las posiciones invertidas útiles para desarrollar la flexibilidad, reduciendo la excesiva tensión lumbar y hallando ciertas conexiones neuromusculares. Una propuesta es utilizar esta flexión de la columna vertebral de forma prudente (evitando el uso excesivo en términos de duración y de número de repeticiones consecutivas) en los bailarines, cuando se ha hecho un calentamiento adecuado y prestando mucha atención a la técnica. Respecto a la técnica, los riesgos potenciales pueden disminuirse teóricamente enfatizando que el bailarín mantenga la cabeza próxima al tronco cuando flexiona la columna (disminuyendo el brazo de palanca de la resistencia) y haciendo hincapié en tensar los músculos, aproximándolos a la columna, con el fin de ayudar a reducir las fuerzas de cizallamiento y proteger la columna vertebral mediante la presión intraabdominal o la tensión de la fascia toracolumbar. Además, una flexibilidad de los isquiotibiales inadecuada no permitirá la rotación anterior óptima de la pelvis, lo cual ocurre después de alcanzar los 45° de flexión vertebral (véase Ritmo lumbopélvico en la pág. 184), pudiendo causar un aumento de la tensión sobre la columna lumbar (Hamill y Knutzen, 1995; Plowman, 1992). Los bailarines con tirantez en los isquiotibiales pueden modificar esta posición reduciendo la tensión en la espalda mediante una ligera flexión de las rodillas o sosteniendo el tronco con los antebrazos sobre los muslos hasta que se desarrolle suficiente flexibilidad en los isquiotibiales.

## Porté

El *porté* o levantamiento de bailarines y otros compañeros se asocia con enormes fuerzas, aunque el riesgo potencial

ÓRDENES EN LA DANZA 3.3

### «Eleva y elonga hacia atrás la porción superior de la columna»

La orden «eleva y elonga hacia atrás la porción superior de la columna» se puede interpretar anatómicamente como tener que centrarse en extender la columna torácica hacia atrás sin dejar que la caja torácica se desplace hacia delante. Centrarse en «ejercer tracción ascendente» con la inserción inferior de los músculos abdominales en la pelvis ayudará a limitar la inclinación anterior y la hiperextensión excesiva y no deseada de las vértebras lumbares inferiores. A continuación, centrarse en arquear la región torácica media y superior de la columna de modo que el esternón se eleve y eche hacia atrás ayudará a lograr la distribución deseada del arco por las regiones superiores de la columna vertebral. No obstante, la consecución de este arco requiere una cocontracción muy sutil de los músculos abdominales y extensores de la espalda en regiones muy específicas de la columna. Por ejemplo, el uso excesivo de los músculos extensores de la columna en las regiones torácica inferior y lumbar superior tiende a crear un movimiento anterior no deseado de la parte anterior de la caja torácica. En contraste, la estabilización excesiva de la caja torácica por los músculos abdominales y el mantener deprimidas las costillas no permitirá la hiperextensión de la columna dorsal. Por tanto, mientras se mantiene una «tracción ascendente» y continua de la inserción inferior de los abdominales en la pelvis, hay que permitir el movimiento de la inserción superior de los oblicuos y el recto del abdomen en la caja torácica mientras el esternón se eleva hacia atrás, de modo que se usen los abdominales excéntricamente para controlar el movimiento posterior del tronco mientras los músculos extensores de la columna (sobre todo los torácicos) se usan concéntricamente para crear la posición deseada de la columna, como se ve en la figura 3.38B.

para la columna vertebral disminuye con una alineación adecuada de las vértebras y la pelvis del bailarín, poniendo el énfasis en músculos específicos durante el levantamiento, con una adecuada ubicación del compañero y con suficiente fuerza y flexibilidad en músculos clave. Respecto a la alineación, el énfasis en levantar a la bailarina con las piernas y con el tronco más vertical se asocia con una reducción de las fuerzas que soporta la columna respecto a hacerlo en anteroflexión de la columna y usando más la espalda. La presión intradiscal en L3 se ha calculado que es de 173 kilogramos de fuerza cuando se levanta un peso de 10 kilogramos con la espalda recta y las rodillas flexionadas, en comparación con 194 kilogramos con anteroflexión de la espalda (Nachemson, 1981). Considerando que la bailarina es probable que pese cinco o seis veces más que el peso usado en ese estudio, tal cambio en la carga sobre los discos podría ser significativo. De forma parecida, el grado de rotación puede influir mucho en las tensiones que soporta la columna. Algunas estructuras de la columna como los discos son vulnerables a la rotación, y la mayoría de las lesiones de espalda implican una combinación de flexión y rotación o de hiperextensión y rotación. Durante el levantamiento de esos mismos 10 kilogramos, una rotación de 20° con la columna flexionada 20° aumenta la presión intradiscal hasta 214 kilogramos de fuerza. Además, se ha demostrado que la posición asimétrica afecta negativamente la capacidad de levantar cargas pesadas, con pérdidas del 12%, 21% y 31% con 30°, 60° y 90° de asimetría, respectivamente (Caillet, 1996).

Más determinante en el grado de tensión que soporta la columna vertebral es la distancia entre la bailarina y la columna. Mantener a la bailarina alejada del cuerpo aumenta en gran medida el torque de resistencia que deben contrarrestar los músculos de los hombros y el torque de flexión que deben resistir los músculos del tronco para mantener una postura estable. Los estudios han demostrado que, tanto si levantamos a una bailarina con el tronco erecto o en anteroflexión, cuanto más lejos esté su peso de nuestro cuerpo, mayor será la actividad de los músculos extensores de la columna y mayor la presión que soportarán los discos (White III y Panjabi, 1978). En un estudio se obtuvo el cálculo de que levantar un peso de 45 kilogramos a 76 centímetros por delante del fulcro (disco L-S) y con las piernas extendidas requería 680 kilogramos de tracción muscular y generaba 726 kilogramos de presión sobre el disco lumbosacro (Bradford y Spurling, 1945).

Por tanto, con el fin de reducir las fuerzas potenciales que soporta la columna vertebral, los bailarines deben orientarse directamente hacia su compañera, atraerla hacia ellos, y tratar de levantarla extendiendo las caderas y rodillas en vez de la espalda siempre que la coreografía lo permita. Se puede potenciar esta mecánica sugiriendo a los bailarines que traten de hacer fuerza contra el suelo con los pies, rodillas y caderas mientras se enderezan, en vez de pensar en levantar la espalda. Además, es útil que miren al frente en vez de abajo para favorecer una postura más erguida de la columna. El fortalecimiento de caderas y rodillas con ejercicios como sentadillas, tijeras o *press* de piernas (véase el capítulo 4) permitirá a los bailarines levantar a su compañera con más facilidad aplicando esta alineación del cuerpo erguido.

Los bailarines también deben evitar una excesiva lordosis lumbar y emplear una correcta estabilización del tronco cuando levanten a una bailarina, como en la figura 3.39. Centrarse en tensar con firmeza los músculos abdominales, hundir los abdominales hacia la columna y deprimir las costillas

hacia la pelvis para que el torso se sitúe directamente encima de la pelvis justo antes y durante la elevación ayudará a aprovechar los efectos protectores de la presión intraabdominal y a prevenir las grandes fuerzas de cizallamiento asociadas con un arqueamiento excesivo de la espalda. Además, la cocontracción equilibrada de los músculos extensores de la espalda es clave para estabilizar la columna y prevenir que el peso de la bailarina incline el tronco hacia delante. Aunque la posición ideal de la columna lumbar al comienzo de un levantamiento siga siendo un área de gran controversia (Gracovetsky *et al.*, 1989; Hall, 1999; LaFreniere, 1985; McGill, 2001), suele haber consenso en que debe ser neutra o ligeramente flexionada sólo un momento, evitando la hiperextensión o una flexión sostenida exagerada. El fortalecimiento de los músculos abdominales y extensores de la espalda, y la ejecución de ejercicios para la estabilización del tronco pueden mejorar este aspecto del *porté*. No obstante, en algunos casos, el arqueamiento excesivo de la región lumbar y la inclinación posterior del tronco durante los levantamientos de una bailarina son una compensación debida a la insuficiente flexibilidad de los hombros (necesaria para mantener los brazos por encima de la cabeza) o a una inadecuada fuerza de las extremidades superiores. En tales casos, el fortalecimiento y estiramiento de músculos clave de las extremidades superiores usados en el *porté* también ayudan a proteger la espalda (véase el capítulo 7).

Mientras que la aplicación de los principios que acabamos de exponer puede ayudar a reducir la tensión en la columna vertebral, hay muchos casos en que la coreografía no permite su aplicación. Por ejemplo, la coreografía a menudo requiere levantar a una bailarina con la columna en anteroflexión, con el torso en rotación o con la bailarina alejándose del cuerpo. No obstante, si el bailarín desarrolla suficientemente la fuerza, emplea una buena estabilización central y aplica otros principios relevantes, el *porté* se podrá ejecutar sin lesiones de espalda. Además, cuando uno se incorpora tras una anteroflexión del tronco, es deseable no sólo potenciar la estabilización abdominal, sino también centrarse en mantener las rodillas ligeramente flexionadas y usar los músculos extensores de la cadera para situar la pelvis debajo antes de extender las rodillas y la columna vertebral.

## Ejercicios de acondicionamiento para la columna

Contar en grado suficiente y equilibrado con fuerza muscular y flexibilidad en la columna es esencial para una

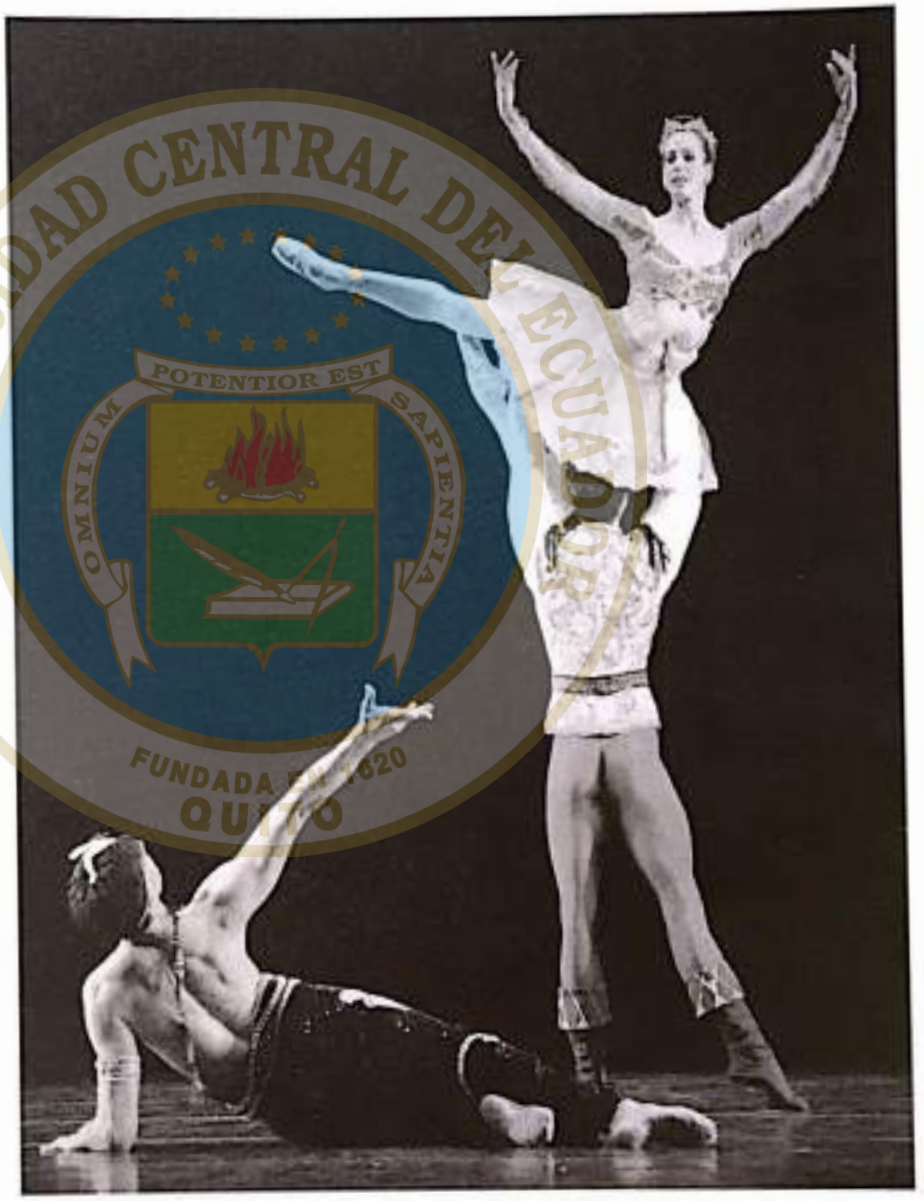


FIGURA 3.39. Mantener una correcta alineación de la columna y una estabilización adecuada son claves para reducir el riesgo de lesión durante el *porté*.
© Fotografía de Angela Sterling. Bailarines: Patricia Barker, Stanko Milov y Casey Herd, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

mecánica correcta, una movilidad óptima y la prevención de lesiones. Sin embargo, existe mucha controversia sobre los beneficios relativos y el riesgo de distintos ejercicios para el tronco, y muchos de los ejercicios que suelen practicar los bailarines se considerarían contraindicados para los deportistas recreativos o personas con antecedentes de problemas de espalda. Por tanto, una exposición sobre los principios generales de los ejercicios para la columna precede a la explicación de ejercicios específicos para la puesta en forma.

## Pautas generales para la potenciación de los abdominales

Muchos bailarines y otros deportistas practican con regularidad ejercicios para los abdominales y, a pesar de ello, muestran una acusada debilidad cuando se somete a prueba la fuerza de los abdominales. Al someter a prueba a bailarines de ballet preprofesionales usando la prueba de hacer bajar las piernas de Kendall y McCreary, un 68% no pudo mantener estable la pelvis cuando las piernas descendían más de 60°, y sólo un 4% pudo bajar las piernas hasta la mesa manteniendo la posición deseada (Molnar y Esterson, 1997). De forma parecida, la autora ha documentado una fuerza inadecuada en los abdominales mediante la prueba de la altura del *curl-up*, así como incapacidad para mantener la estabilidad de la pelvis durante el descenso de las piernas, en estudiantes de ballet preprofesionales, estudiantes de la escuela de Arte y bailarines universitarios. Este nivel habitualmente bajo de fuerza abdominal es probable que se deba al uso de ejercicios ineficaces. A continuación, ofrecemos recomendaciones para mejorar la fuerza con el trabajo abdominal y mantener el riesgo de lesión relativamente bajo.

### Mejorar la eficacia de los ejercicios de abdominales

La selección de ejercicios adecuados, la aplicación de una técnica meticulosa, el uso de una sobrecarga suficiente y el formato adecuado de los ejercicios ayudan a aumentar la fuerza de los abdominales y a potenciar su uso y su rápida aplicación en danza. Ofrecemos a continuación una exposición sobre estos y otros principios que se pueden aplicar para que muchos ejercicios de abdominales sean más eficaces.

***Acentuar la flexión de la columna y no de la cadera.*** Recuerda que los músculos abdominales trabajan flexionando la columna, mientras que los flexores de la cadera acercan el tronco a los muslos (p. ej., flexión coxofemoral). Por tanto, potenciar la flexión secuencial del torso y mantenerlo lo más encorvado posible (figura 3.40A), en vez de elevar el torso con la espalda plana (figura 3.40B), en ejercicios como los *curl-ups*, ayuda a potenciar el énfasis sobre los abdominales. Órdenes como «mantén la curvatura en "C"» o «imagina que abrazas una pelota enorme» ayudan a veces a lograr este empleo de los músculos abdominales. El uso excesivo de los flexores de la cadera no sólo reduce la sobrecarga deseada sobre los abdominales sino que también concentra la tensión sobre la columna si ésta no está lo bastante estabilizada. En el caso de personas con excesiva lordosis lumbar, la práctica de ejercicios de «abdominales» con un uso excesivo de los flexores de la cadera puede empeorar –más que ayudar a corregir– este problema postural.

***Mantenimiento de la cabeza y el cuello alineados.*** Céntrate en seguir flexionando la espalda a nivel de la columna cervical, pensando que cabeza y cuello son el extremo superior de la curvatura en «C» de la columna lumbar. Si se tienen problemas para lograr esta alineación o si se experimentan molestias en el cuello al practicar los ejercicios de abdominales en decúbito supino, es útil tratar de centrarse en «ablandar el pecho» (volviéndolo ligeramente cóncavo) y echar el esternón un poco atrás y abajo como si abrazáramos a alguien, mientras se acerca el mentón un poco al pecho (como si aguantáramos una naranja entre la barbilla y el pecho). Si los músculos del cuello no son lo bastante fuertes, tal vez sea necesario usar al principio una mano para aguantar el cuello. Hay que evitar tirar del cuello; alterna el uso de uno y otro brazo para ofrecer soporte, y aumenta gradualmente el número de repeticiones practicadas sin apoyo. También es útil practicar ejercicios primero en sedestación (como *curl-back* de la tabla 3.4C, pág. 134), que genera menos tensión en los flexores del cuello porque el peso de la cabeza está más cerca del eje de rotación (brazo de palanca más corto).

***Mantener los pies sueltos.*** Mantener los pies libres por lo general obliga a los músculos abdominales a trabajar más y a los flexores de la cadera a trabajar menos (Godfrey, Kindig y Windell, 1977; Guimaraes *et al.*, 1991; Hall, Lee y Wood, 1990; Lipetz y Gutin, 1970), y por eso la mayor parte del trabajo abdominal se debe practicar con los pies libres. Los bailarines que desarrollan niveles elevados de fuerza abdominal y una técnica excelente tal vez quieran practicar una variación avanzada con los pies anclados (p. ej., debajo de la cincha de un banco inclinado, o en las máquinas Reformer o Cadillac) si les es posible mantener con eficacia la flexión de la columna. No obstante, también se deberían practicar varias series de ejercicios con los pies sueltos.

***Meter la pared abdominal.*** Cuando se practican ejercicios de abdominales, el énfasis en meter la pared abdominal hacia la columna reclutará los músculos oblicuos y el transverso del abdomen. Recuerda que el transverso del abdomen no es capaz de generar flexión vertebral y por eso no será reclutado necesariamente en los ejercicios de abdominales a menos que se subraye su función de deprimir la pared abdominal (lo que a menudo se llama «ahuecar el abdomen» en danza). Un estudio demostró que al usar claves multisensoriales, como órdenes verbales que potenciaban el

PRUEBAS Y MEDICIONES 3.3

## *Pruebas de fuerza y resistencia de los abdominales*

Practica las siguientes dos pruebas en otro bailarín para calcular la fuerza y resistencia de los músculos abdominales.

**Prueba de altura en el *curl-up* (fuerza muscular)**
Empieza con el compañero en decúbito supino con las rodillas flexionadas unos 90° y los pies en el suelo (sin aguantarlos). Los codos están doblados, las palmas miran hacia arriba y los dedos están extendidos con las yemas de los pulgares en contacto con la parte superior de la cabeza. A continuación, manteniendo los codos atrás y alineados con las orejas, el compañero debe practicar una flexión de abdominales muy lenta y lo más alto posible sin usar la inercia, sin dejar que los codos se echen adelante ni que los pies se levanten del suelo. Ordena al compañero que encorve la espalda todo lo posible (flexión vertebral) en vez de elevarse con la espalda plana. Mide la distancia perpendicular desde la vértebra prominente en la base del cuello (C7) hasta el suelo usando una cinta métrica, como se muestra en A. El objetivo es poder elevarse hasta sentarse.
*Nota.* Debido a las diferencias en la longitud de la columna y en la flexibilidad, la misma distancia no reflejará el mismo ángulo de flexión del tronco de una persona a otra. Sin embargo, servirá para obtener una media aproximada de la fuerza (las personas más fuertes logran subir más) y es una herramienta útil para monitorizar el aumento de la fuerza en una misma persona.

A

**Prueba de repetición del *curl-up* (resistencia muscular)**
Empieza con el compañero en decúbito supino con las caderas y rodillas flexionadas 90° y los pies apoyados en una pared (B1). Los codos están flexionados y miran hacia delante, y los dedos de las manos rodean las orejas. Ordena al compañero que haga un *curl-up* y toque con los codos el punto medio de los muslos en caden-

B1

B2

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

cia con un metrónomo o contando 25 flexiones por minuto durante un máximo de 4 minutos (B2) (Sparling, 1997). Cuenta el número de flexiones correctas que completa el compañero. La cuenta se interrumpe en cuanto los codos no logren tocar las rodillas o cuando el bailarín ya no consiga mantener el ritmo. El bailarín puede no descansar y volver a empezar. El objetivo máximo sería alcanzar 100 repeticiones en 4 minutos, pero los jugadores de hockey profesionales sometidos a la prueba lograron una media de 50, y sólo el 11% de los jugadores llegó hasta el final (Quinney, Smith y Wenger, 1984). Basándose en algunas pruebas preliminares con bailarines, esta autora considera que de 40 a 59 repeticiones es una puntuación «buena» y que hasta 60 o más la puntuación es «excelente».

*Nota.* Los bailarines con fuerza insuficiente para tocar los muslos con los codos pueden cruzar los brazos sobre el pecho y tocar los muslos con los antebrazos. O pueden dejar los brazos a los lados y poner una cinta adhesiva en el suelo justo delante del dedo corazón y otra unos 7,6 centímetros por delante de la primera. Con cada flexión, las manos deben moverse hacia delante hasta tocar la segunda cinta (Robertson *et al.*, 1988; Sparling, 1997).

desplazamiento del ombligo hacia arriba y hacia la columna, las personas eran capaces de reclutar más el transverso del abdomen y los oblicuos internos, y menos los flexores de la cadera (psoasilíaco) en la fase descendente de un *curl-up* (Miller y Medeiros, 1987). Una exhalación exageradamente lenta o una exhalación rápida y forzada también sirven para potenciar un mayor uso del músculo transverso del abdomen (De Troyer *et al.*, 1990). La potenciación de esa tracción interna de los abdominales también es importante para desarrollar el empleo estético deseado de los músculos abdominales y ayudar a mantener el abdomen más plano al bailar.

FIGURA 3.40. Técnica para los ejercicios de abdominales. (A) Correcta: el énfasis se pone en la columna redondeada (flexión vertebral) con la pared abdominal hundida; (B) incorrecta: espalda plana con énfasis en usar los músculos flexores de la cadera para elevar el torso.

***Inclinación pélvica posterior y énfasis en los abdominales inferiores.*** Inclinar ligeramente la porción superior de la pelvis hacia atrás para que el pubis se eleve en una posición un tanto «agrupada» (inclinación pélvica posterior), mientras se hunde y desciende ligeramente la base de la parte anterior de la caja torácica, producirá una sobrecarga mayor sobre los músculos abdominales provocando el acortamiento de los músculos en ambas direcciones. Además, añadir una inclinación posterior a los distintos ejercicios de abdominales e incluir otros ejercicios que favorezcan la movilización de la inserción inferior de los abdominales en la pelvis, como la elevación de las caderas (Sarti *et al.*, 1996) (tabla 3.4E, pág. 135) y la elevación de las piernas colgando de los brazos (figura 3.44, pág. 129), ayudan a desarrollar los patrones motores importantes para corregir la lordosis lumbar y crear una postura neutra de la pelvis durante los movimientos funcionales, y pueden implicar una mayor activación de las fibras musculares situadas más inferiormente en algunos de los grupos de músculos abdominales.

***Amplitud de movimiento adecuada.*** Se ha comprobado que los *sit-ups* completos con las piernas extendidas sólo reclutan distintos músculos entre un 20% y un 34% del tiempo (Halpern y Bleck, 1979) y se asocian con un mayor uso de los músculos flexores de la cadera (Ricci, Marchetti y Figura, 1981) y una mayor tensión en la columna vertebral (Axler y McGill, 1997) que los *curl-ups*. Por tanto, la tendencia ha sido sustituirlos por *curl-ups* de amplitud menor, en que los

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 3.2

## *Adoptar una curva en «C»*

Empieza en decúbito supino con las rodillas flexionadas unos 90° y los pies apoyados en el suelo. Durante las primeras tres flexiones, pon las manos en la cara dorsal de los muslos para ayudarte a adoptar unos 20° de flexión vertebral.

- **Potenciación de la flexión de la columna.** Mientras mantienes la parte posterior del sacro totalmente en contacto con el suelo, usa las manos para flexionar más la columna. Primero, céntrate en que la base del esternón se desplace hacia abajo y atrás, y luego en echar hacia abajo y atrás la base de la cara anterolateral de la caja torácica para aumentar la flexión de la columna, mientras las manos ayudan ligeramente al movimiento. A continuación, suelta las manos y céntrate en mantener las costillas inferiores atrás y en el mismo ángulo de flexión vertebral sin la ayuda de las manos.
- **Potenciación de los músculos abdominales inferiores.** Mientras mantienes la porción superior de la columna en el mismo grado de flexión, tira ligeramente de la sínfisis del pubis hacia el ombligo, creando un ligero «encogimiento» (inclinación pélvica posterior). Libera las manos y trata de mantener la misma posición del tronco, con el pubis y las costillas tirando del uno hacia las otras.
- **Potenciación del músculo transverso del abdomen.** Inspira lentamente hacia el abdomen y empuja la pared abdominal hacia fuera. A continuación, espira con lentitud y mete la pared abdominal hacia la columna, desde el pubis hasta el esternón. Haz que toda la superficie abdominal adopte una curvatura cóncava, como si estuviera adaptada a la curvatura de un balón; libera las manos, y mantén esta posición cóncava sin ayudarte de las manos. Ahora, disocia la contracción muscular de la respiración, centrándote en sacar y meter alternativamente la pared abdominal mientras la respiración sigue su curso normal.
- **Implementación de todo a la vez.** Empezando en decúbito supino, tira del pubis y las costillas para que se aproximen y mete el abdomen mientras el torso se comba hacia arriba como en la figura. Si hubiera problemas con algún elemento, practica ese elemento aislado y luego trata de ejecutarlos todos juntos.

músculos abdominales se mantienen activos entre el 90% y el 93% del tiempo, y la tensión lumbar probablemente es menor. Sin embargo, esta tendencia puede llevarse demasiado lejos, como cuando se usa una amplitud inadecuada para generar la sobrecarga abdominal necesaria. Al comienzo de la fase inicial de la flexión, los músculos flexores del cuello y el recto del abdomen son los que más trabajan. A medida que el torso se encorva más (hasta 40° a 50°), se reclutan los oblicuos y los abdominales trabajan más duro (principio de longitud-tensión), alcanzando el 50% de una contracción voluntaria máxima a 45° de flexión (Floyd y Silver, 1950; Sheffield, 1962; Soderberg, 1986). Pasados 50° de flexión vertebral, los flexores de la cadera se convierten en motores principales y se reduce la activación de los abdominales. Por tanto, hay que esforzarse por mantener la cara posterior del sacro en contacto con el suelo y flexionar por completo la columna vertebral (de 30° a 45°) en vez de cometer el error habitual de flexionar ligeramente la columna y elevar apenas el torso del suelo en el ejercicio o sólo flexionar la columna un poco y luego usar sobre todo los flexores de la cadera para elevar más el torso. Usar un grado mayor de flexión vertebral también es importante para

los bailarines, porque algunos movimientos de danza (como caer y reincorporarse del suelo en la danza moderna y jazz) incorporan una amplitud de movimiento completa, y la ganancia de fuerza es específica de la amplitud de trabajo, declinando de forma acusada cuanto más diverja el ángulo del movimiento del que se usa en la potenciación muscular.

***Tipo de contracción muscular.*** Una forma de trabajar la amplitud del movimiento completa en los bailarines que no tienen suficiente fuerza para subir mucho el torso durante los *curl-ups* (contracción concéntrica), como se ve en la figura 3.41A, consiste en usar contracciones isométricas o excéntricas. Por ejemplo, después de una flexión concéntrica, las manos se pueden usar para elevar los hombros un poco más (p. ej., para flexionar más la columna vertebral). Luego se liberan las manos y la posición se mantiene (contracción isométrica), como en la figura 3.41B y en la tabla 3.4B (pág. 134), o el torso desciende lentamente de vuelta al suelo (contracción excéntrica). Como se genera más fuerza con una contracción excéntrica o isométrica que con una contracción concéntrica, se puede desarrollar la fuerza con mayor amplitud que sólo con una contracción concéntrica. Se puede aplicar el mismo principio empezando en sedestación y echando el torso hacia atrás hasta el suelo (contracción excéntrica), como en la figura 3.41C y en la tabla 3.4C (pág. 134). Los grados inferiores de amplitud se pueden mantener isométricamente (para añadir más sobrecarga) y luego, inicialmente, se pueden usar las manos para tirar de las piernas y ayudar a volver a la sedestación (contracción concéntrica). A medida que aumente la fuerza, el uso de las manos se reduce y luego se interrumpe.

***Rotación de la columna.*** Añadir rotación a ejercicios de abdominales como los *curl-ups* impondrá una mayor demanda a los músculos oblicuos del abdomen. Cuando se practica una flexión normal, los oblicuos externos e internos de ambos lados actúan con el recto del abdomen. Sin embargo, cuando se añade rotación, algunos de los músculos oblicuos son antagonistas del movimiento, y sólo el oblicuo interno del mismo lado que la dirección del movimiento (ipsolateral) y el oblicuo externo del lado opuesto al movimiento (contralateral) pueden ayudar al movimiento.

***Empleo de una sobrecarga adecuada.*** Para generar las mejoras deseadas de la fuerza muscular, los ejercicios de abdominales deben ser lo bastante difíciles como para poder practicar unas 12 repeticiones como máximo. Si se pueden realizar más repeticiones, la dificultad debe aumentarse, por ejemplo, trabajando en una amplitud mayor (hasta unos 40° a 50°), añadiendo rotación del tronco, acercando los pies a las nalgas cuando están en el suelo (Hall, Lee y Wood, 1990), elevando las extremidades inferiores (90° de flexión de cadera y rodilla) con las piernas en el aire o apoyadas en el asiento de una silla o banco (Gutin y Lipetz, 1971), alejando los brazos del ombligo para aumentar el brazo de palanca de la resistencia (p. ej., de estar a los lados o cruzados sobre el pecho, a sujetando la cabeza o por encima de ésta), o añadiendo resistencia externa como asir unas mancuernas. Además, recuerda que el efecto de la gravedad es sobre todo generar resistencia en estos ejercicios. Por tanto, el cuerpo debe estar bien colocado para que los músculos abdominales tengan que trabajar contra la gravedad, como cuando se practican los *curl-ups* en decúbito supino o los *side-ups* en decúbito lateral. En contraste, los ejercicios que pasan por alto este principio de la gravedad, como los círculos con la cintura o los alcances en bipedestación, son tan ineficaces en términos de sobrecarga que son virtualmente inútiles para el fortalecimiento de los abdominales.

***Recuperación.*** Después de 6 a 12 repeticiones de un ejercicio apropiado, se debe permitir la recuperación de los músculos abdominales durante 2 a 3 minutos antes de practicar otra serie de 6 a 12 repeticiones de trabajo abdominal. Durante este período de recuperación, se pueden fortalecer o estirar otros grupos musculares. La práctica habitual de realizar múltiples series de abdominales una tras otra suele aportar poca o ninguna mejora de la fuerza y vuelve los ejercicios sobre todo beneficiosos para la resistencia física muscular. Para el bailarín que quiere potenciar la mejora de ambas, fuerza y resistencia, las primeras tres series de los ejercicios de abdominales se pueden practicar en un formato de fuerza con suficiente sobrecarga y recuperación, haciéndose la serie final en un formato adecuado de resistencia, con una sobrecarga menor y un número mayor de repeticiones.

***Ejercicios de estabilización.*** Como los músculos abdominales desempeñan un papel muy importante como estabilizadores posturales, al igual que los flexores de la columna, algunos especialistas del ejercicio abogan porque el fortalecimiento de los abdominales no es suficiente en sí y recomiendan la inclusión de ejercicios que trabajen los abdominales de forma isométrica para ayudar a estabilizar el tronco mientras se mueven las extremidades superiores, las extremidades inferiores o todo el cuerpo. Los ejercicios de estabilización suelen potenciar la cocontracción de los músculos del tronco como los flexores y extensores de la columna mientras se mantiene una postura neutra de la pelvis (no metida) y de la columna (con lordosis lumbar normal). Estos ejercicios están concebidos para potenciar el control motor inherente al desarrollo de la estabilidad central. Aunque es una noción muy popular hoy en día, determinar los ejercicios que desarrollan mejor la estabilización central es controvertido y exigirá más investigación científica. Además, algunos de los ejercicios pensados para la estabilización tienen poca eficacia para aumentar la fuerza abdominal, y, por tanto, en opinión de la autora, se deberían practicar junto con (y no reemplazando) los ejercicios de abdominales tradicionales.

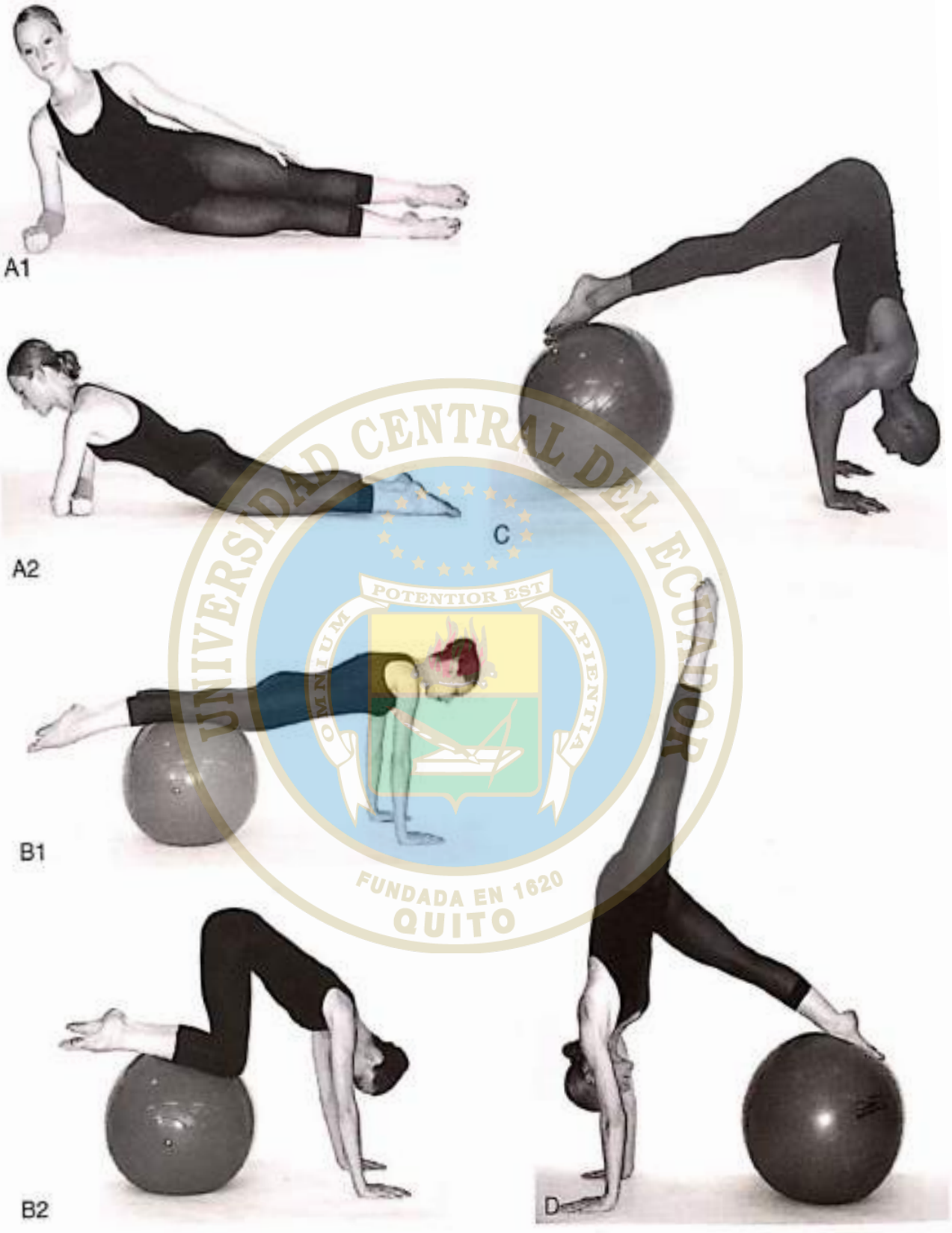
Un ejemplo de ejercicio de estabilización son los *leg reach* que aparecen en la tabla 3.4G (pág. 136). A medida que

FIGURA 3.41. Uso de distintos tipos de contracciones musculares para desarrollar la fuerza abdominal en una mayor amplitud de movimiento. (A) Ésta es la altura que se alcanza con una contracción concéntrica. (B) Se emplean las manos para elevar un poco más el torso; luego se sueltan las manos y esta mayor amplitud se mantiene isométricamente. (C) Se empieza en sedestación y se echa la espalda atrás para usar una contracción excéntrica con una mayor amplitud de lo que podría lograrse concéntricamente.

mejore la destreza, aprender a estabilizar el torso mientras éste cambia de posición en el espacio y su relación con la gravedad es un medio de potenciar la transferencia a un movimiento más complejo. Por ejemplo, las posiciones en decúbito lateral se pueden practicar sobre los codos y manos, centrándose en mantener la columna y la pelvis estables mientras el cuerpo pasa de estar en decúbito lateral a decúbito prono y a decúbito contralateral (figura 3.42A). De forma parecida, los abdominales se pueden usar para inclinar posteriormente la pelvis mientras la pelota suiza se desplaza hacia los hombros, y entonces estabilizar la columna y la pelvis mientras la pelota se desplaza hacia los muslos y el cuerpo adopta la postura de la tabla (abdominales de rodillas, figura 3.42B). Este ejercicio con pelota suiza puede resultar más difícil si se empieza con los pies sobre la pelota y se levanta el cuerpo con las rodillas extendidas hasta formar una «V» invertida (tabla 3.4F, pág. 136) mientras la pelota se desplaza hacia los hombros. Añadir una flexión de brazos en la posición invertida (figura 3.42C) o en la de plancha también es útil para desarrollar destrezas de estabilización. Los estudios electromiográficos muestran que se requiere una actividad abdominal moderada durante los *push-ups* para mantener la alineación del tronco (Flint y Gudgell, 1965) y que combinar dos destrezas que requieran la contracción de los abdominales (abdominales de rodillas o «V» invertida con *push-up*) ayuda a mejorar la estabilización de forma más funcional, que luego se puede transferir mejor a los movimientos de los bailarines (Lange *et al.*, 2000). A medida que aumenta la destreza, se puede desarrollar la estabilización asimétrica sumando la elevación de una pierna en la posición invertida (figura 3.42D). Debido al descenso asociado de la estabilidad de la base de sustentación, practicar otros tipos de ejercicios de abdominales, como los que aparecen en la figura 3.41, también puede ofrecer mayores ganancias de estabilización que practicar los ejercicios en el suelo (Stanforth *et al.*, 1998).

*Técnica y percepción cinestésica.* En todo programa eficaz de fortalecimiento de los abdominales es esencial que la correcta ejecución de los ejercicios no se deteriore al intentar hacer más repeticiones o introducir una variación que sea demasiado difícil para el nivel actual de fuerza o destreza. Un aspecto de una correcta ejecución es que los ejercicios se deben practicar de forma lenta y controlada, sin aprovecharse de la inercia. Otro aspecto es que se produzca un movimiento secuencial en la columna y la pelvis, con una magnitud adecuada y sin compensaciones indeseables. El objetivo es no sólo mejorar la fuerza específica de los abdominales, sino también desarrollar una mejor percepción cinestésica de la posición del tronco y una adecuada activación muscular para la estabilización y el movimiento. Para ayudar a desarrollar la percepción cinestésica, a menudo es útil usar retroalimentación externa como la de un espejo, un compañero, el contacto de la espalda con el suelo o el uso de la mano para percibir la posición de las costillas y la pelvis o la protrusión del abdomen. Con el tiempo, se desarrolla una nueva percepción cinestésica para usarla en programas motores que permitan adoptar la posición neutra de la columna con alineación estática y una contracción apropiada de los músculos abdominales en movimientos dinámicos para proteger la columna y lograr el efecto estético deseado en la danza. En la tabla 3.3 aparece un resumen de los principios que acabamos de exponer para que los ejercicios de fortalecimiento de los abdominales sean más eficaces.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
OMNIUM
FUNDADA EN 1826
QUITO




UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

FIGURA 3.42. Ejercicios de estabilización: (A) soporte lateral; (B) abdominales de rodillas; (C) V invertida con *push-ups;* (D) *arabesque* invertido.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 3.3

### *Mantenimiento de la columna lumbar neutra*

Empieza en decúbito supino con las rodillas flexionadas 90° y los pies apoyados en el suelo mientras una mano descansa en la cara anterior del abdomen y los dedos de la otra mano permanecen debajo del costado de la región lumbar.

- **Potenciación de la contracción isométrica de los músculos abdominales.** Mientras se mantienen la cara dorsal del sacro y la columna torácica en contacto con el suelo, hunde la pared abdominal hacia la columna sin dejar que se muevan la pelvis ni la caja torácica. La mano debe notar el hundimiento de la pared abdominal sin que se acerquen la cara anterior de la caja torácica y la sínfisis del pubis.
- **Potenciación del mantenimiento de la curvatura lumbar.** Cuando los músculos abdominales se contraen, tienden a generar flexión lumbar. Un método para mantener una curvatura lumbar normal consiste en intentar aislar la contracción muscular en el músculo transverso del abdomen, cuya función es la de estabilizar sin flexionar el tronco. Otro método consiste en mantener la curvatura lumbar con la cocontracción de los músculos extensores de la columna lumbar. Pensar en aproximar la cara anterior y posterior de la columna, o tirar hacia arriba de la cara anterior y posterior de la pelvis, favorece la cocontracción de los músculos abdominales y extensores de la columna. Los dedos deben percibir que el área lumbar se mantiene elevada y no aplanada.
- **Comparación con una curva en «C».** Contrasta esta sensación y posición con la asociada con una curva en «C». Cuando se genera una curva en «C», fíjate en que el área lumbar se acerca a los dedos y que el contacto del sacro con el suelo se desplaza hacia arriba mientras pelvis y costillas se acercan entre sí.

#### Disminuir el riesgo de los ejercicios de abdominales

Muchos de los principios que acabamos de exponer para aumentar la eficacia de los ejercicios de abdominales también aumentan la tensión aplicada sobre la columna vertebral. Por tanto, aunque apropiados para muchos bailarines expertos sin antecedentes de lesiones de espalda, los bailarines con menos dominio, menos en forma o lesionados tal vez necesiten adoptar un enfoque más conservador, como usar inicialmente un grado de movilidad menor, evitar la rotación y no usar mancuernas. Otras tres consideraciones controvertidas sobre el riesgo de lesión son las posiciones en

**Tabla 3.3. Resumen de las pautas para un eficaz fortalecimiento de los abdominales**

| Forma | Sobrecarga/progresión adecuadas | Formato |
|---|---|---|
| Hundir la pared abdominal | Aumenta el grado de movilidad | Practica 6-12 repeticiones de cada ejercicio (1 serie) |
| Por lo general se usa una inclinación pélvica posterior y tracción sobre la caja torácica anterior hacia abajo y atrás | Lleva los brazos por encima de la cabeza | Practica 3-5 series (por lo general 1 serie de cada uno de los ejercicios abdominales diferentes) |
| Potenciar el redondeamiento de la columna y la relajación del pecho | Acerca más los pies a las nalgas | Emplea variaciones de suficiente dificultad de modo que casi no puedas completar una repetición pero manteniendo una correcta ejecución |
| Usar un grado de movilidad adecuado | Suma rotación o lateroflexión vertebrales | Deja 2-3 minutos de recuperación entre series de ejercicios de abdominales |
| Mantener los pies libres | Usa mancuernas | |
| Practicar el ejercicio lentamente y bajo control | | |

decúbito con las piernas extendidas, la flexión de la columna lumbar en vez de una posición neutra y los brazos de palanca largos.

***Posición en decúbito con las piernas extendidas.*** Algunos ejercicios en el suelo en danza moderna y jazz, así como en Pilates (p. ej., *roll-up*), implican un trabajo abdominal en decúbito supino con las rodillas extendidas. Los bailarines cuyos músculos flexores de la cadera están tirantes o muestran una acusada lordosis lumbar tal vez no logren adoptar la posición en decúbito con las piernas extendidas sin un arqueamiento excesivo de la región lumbar ni una inclinación anterior de la pelvis, o al menos no podrán practicar la inclinación pélvica posterior antes del *curl-up* o el aplanamiento necesario de la curvatura lumbar durante el mismo. La flexión de las rodillas provoca la flexión de las caderas, lo cual relaja los músculos flexores coxofemorales y el ligamento iliofemoral, y reduce la curvatura lumbar. Por tanto, los bailarines en esta situación deben practicar el ejercicio de abdominales con las rodillas al menos ligeramente flexionadas hasta lograr una flexibilidad adecuada de las caderas y la región lumbar.

***Columna lumbar neutra frente a flexionada.*** La flexión de la columna lumbar se asocia con un aumento de la presión discal. Por tanto, se suele recomendar mantener la curvatura de la columna lumbar (neutra) a pacientes con lesiones discales. Debido al incremento asociado de la presión discal y al deseo de bailar con una posición neutra y no encogida, algunos especialistas en el ejercicio apuestan por una postura neutra y no encogida durante el trabajo abdominal en general. No obstante, como la elevación de la presión discal es mucho menor que la que se aprecia durante los movimientos rigurosos de danza, y como la flexión lumbar es un movimiento natural de la columna que acompaña a la mayoría de las actividades de la vida diaria como la inclinación del tronco hacia delante, el enfoque habitual que sigue la autora con los bailarines sin dolor de espalda es incorporar una ligera inclinación posterior (con flexión lumbar asociada) para aumentar la sobrecarga y la activación de los abdominales inferiores, así como para ayudar a que los bailarines mejoren su control de la inclinación de la pelvis, cuando se practican ejercicios de potenciación de los abdominales, y por lo general una posición neutra para los ejercicios de estabilización. Sin embargo, existe un respaldo teórico y ambos métodos presentan ventajas.

***Brazos de palanca largos.*** Los ejercicios en los que las piernas ofrecen resistencia, como aquellos en que ambas piernas se elevan y bajan en decúbito supino o apoyados en los antebrazos, pueden generar mucha tensión y arquear la región lumbar si los abdominales no son lo bastante fuertes, como se ve en la figura 3.43A. Estos ejercicios han recuperado popularidad en los últimos años debido a su inclusión en las rutinas de Pilates en colchoneta y con máquinas. Sin embargo, es importante reconocer que los motores principales de estos ejercicios son los músculos flexores de la cadera, mientras que los abdominales actúan de estabilizadores

FIGURA 3.43. Brazos de palanca largos. (A) Estabilización inadecuada de los abdominales que provoca que el músculo psoasilíaco genere hiperextensión de la columna lumbar y tensión indebida en esta área; (B) estabilización abdominal adecuada con una ligera inclinación pélvica posterior.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

para impedir la inclinación anterior no deseada de la pelvis y la mayor extensión de la columna lumbar. Dado que distintos estudios han confirmado que estos ejercicios son de relativamente baja eficacia para la potenciación de la musculatura abdominal (Flint y Gudgell, 1965; Guimaraes *et al.*, 1991; Lipetz y Gutin, 1970) y como se consideran contraindicados para personas con la musculatura abdominal débil (Hamill y Knutzen, 1995), es mejor considerarlos ejercicios de estabilización que sólo deberían usarse con las personas apropiadas, y que a menudo requieren modificaciones y una progresión gradual. Por ejemplo, en contraste con muchos otros ejercicios de estabilización en que se aboga por un uso neutro de la pelvis, el empleo de una ligera inclinación pélvica posterior cuando se están aprendiendo por primera vez los ejercicios con un brazo de palanca largo ayuda a evitar la hiperextensión lumbar (figura 3.43B). Para reducir aún más el riesgo, estos ejercicios se pueden practicar al principio sobre los antebrazos con sólo una pierna extendida (tabla 3.4G, pág. 136), con las piernas más verticales o con las rodillas flexionadas de modo que el torque producido por las piernas sea menor, o con las manos o una almohada debajo de la pelvis para que un mejor ángulo de inserción para los músculos abdominales facilite estabilizar la pelvis.

De forma parecida, si los levantamientos de las piernas para los bailarines en muy buena forma son avanzados (difíciles), se cambian por variaciones en las que el torso esté vertical (en un gimnasio o con la máquina Cadillac de Pilates, como se ve en la figura 3.44A), y en las que una o ambas rodillas estén flexionadas inicialmente para reducir el torque

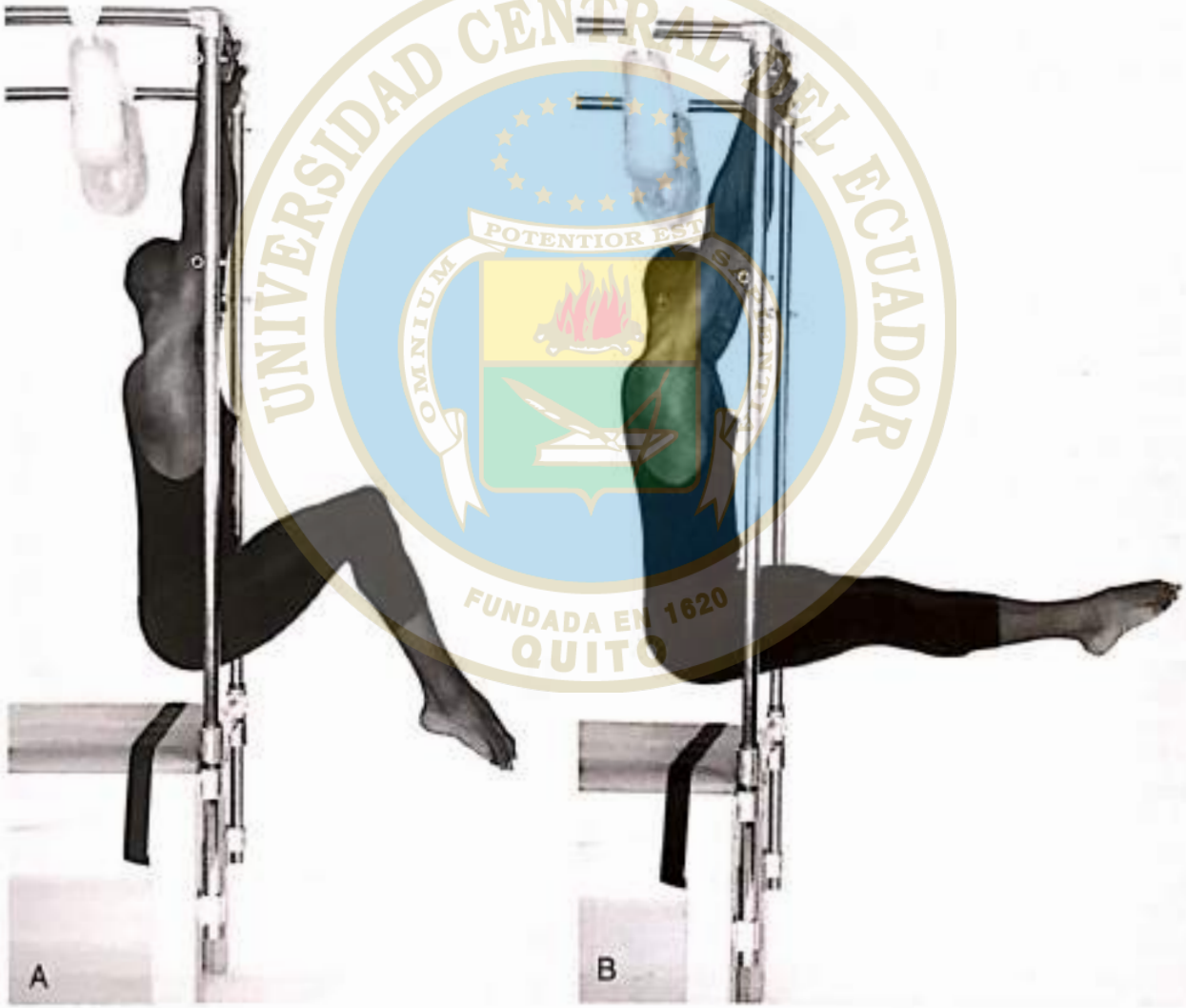



FIGURA 3.44. Elevación de las piernas con el bailarín colgando de los brazos. (A) Ejercicio modificado con las piernas flexionadas; (B) versión avanzada con las piernas extendidas.
Bailarín: Dwayne Worthington, del CSULB.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

generado por las piernas, mientras se desarrolla una fuerza de estabilización abdominal y una destreza suficientes. Con el tiempo, una o ambas piernas se pueden extender parcialmente y al final por completo, siempre y cuando se pueda mantener la estabilización de la columna lumbar (figura 3.44B). Cambiar la relación con la gravedad de modo que el brazo de palanca de la resistencia (representado por las piernas) sea más largo cuando las piernas se eleven a 90° (frente al brazo más corto en la versión en decúbito supino) hace que los abdominales tengan que trabajar mucho más duro. Por tanto, las elevaciones de piernas colgando de los brazos (en contraste con las variaciones en decúbito supino) han demostrado ser uno de los ejercicios de abdominales más eficaces para reclutar los músculos oblicuos así como el recto del abdomen (Axler y McGill, 1997; Flint y Gudgell, 1965; Guimaraes *et al.*, 1991; Gutin y Lipetz, 1971).

## *Pautas generales para la potenciación de los músculos extensores de la espalda*

En el pasado, se creía que la postura en hiperlordosis lumbar y muchas de las lesiones de espalda se debían a un desequilibrio en la fuerza, siendo los músculos abdominales más débiles que los extensores de la espalda. De ahí que el énfasis se pusiera en primer lugar en el fortalecimiento de los músculos abdominales. Sin embargo, en años recientes, esta teoría ha sido puesta en duda. Hay cada vez más pruebas de que muchas personas tienen débiles los músculos de la espalda y los abdominales (Graves *et al.*, 1990; Pollock *et al.*, 1989; Smidt *et al.*, 1983; Suzuki y Endo, 1983), y que la tirantez de la región lumbar habitualmente común en la hiperlordosis lumbar no es necesariamente una señal de niveles elevados de fuerza. Además, ha quedado demostrado que una insuficiente fuerza y resistencia en los músculos extensores de la columna puede aumentar el riesgo de lesión lumbar (Caillet, 1996; Parnianpour *et al.*, 1988) y que tanto una fuerza insuficiente en los músculos extensores y, en especial, una resistencia insuficiente suelen estar presentes en las personas con lumbalgia (Chaffin, 1974; Hides *et al.*, 1994; Levangie y Norkin, 2000; Pollock *et al.*, 1989; Roy, DeLuca y Casavant, 1989).

Por el contrario, un nivel alto de actividad física se ha correlacionado con más fuerza en las vértebras y discos (Porter, Adams y Hutton, 1989), y varios estudios han demostrado que las personas con buena resistencia en los músculos extensores de la espalda y una buena forma física sufren una menor incidencia de problemas de espalda y un menor riesgo de osteoporosis que las personas en baja forma. De forma parecida, un reciente estudio con bailarines universitarios mostró una disminución del número de clases perdidas por dolor de espalda tras la participación en un programa de fortalecimiento de la espalda (Welsh *et al.*, 1998). Así, existe base suficiente para que los bailarines incluyan el fortalecimiento de los músculos extensores de la espalda y los abdominales. No obstante, es importante el equilibrio con el fortalecimiento abdominal, ya que el fortalecimiento de los extensores de la espalda por sí solo tiene un efecto negativo sobre la estabilidad postural (Kollmitzer *et al.*, 2000).

### Mejorar la eficacia del fortalecimiento de los músculos extensores de la espalda

Como sucede con los ejercicios de abdominales, una cuidadosa selección y ejecución de los ejercicios para los extensores de la espalda es clave para obtener los beneficios potenciales de la fuerza. Muchos de los principios expuestos sobre los abdominales también son relevantes para la espalda.

*Pies anclados y libres.* Como sucede con los ejercicios de abdominales, cuando los pies están anclados, los músculos de la cadera pueden ayudar a los músculos de la columna en sus movimientos. Por tanto, es importante que algunos ejercicios para los músculos extensores de la columna se practiquen sin los pies estabilizados. Sin embargo, cuando los pies se mantienen en el suelo con una cincha, un compañero o una barra, la mayoría de los bailarines son capaces de arquear mucho más alto la espalda, y por eso es una forma de desarrollar con cuidado la fuerza con un mayor grado de movilidad. Además, cuando los pies se anclan, el bailarín a menudo puede centrarse en usar los extensores de la cadera para tirar de la base de la pelvis hacia abajo y evitar así una inclinación anterior excesiva de la pelvis, reduciendo la hiperextensión excesiva del área lumbar inferior.

*Énfasis en la región superior de la espalda.* Dado el acusado grado de hiperextensión posible en la región lumbar y la mayor área transversal de los músculos extensores de la columna en esta región, es fácil que los ejercicios de extensión de la espalda trabajen y fortalezcan sobre todo la región lumbar. No obstante, como en realidad hay distintos músculos (p. ej., el semiespinoso) y distintos fascículos musculares en la región dorsal que en la región lumbar, es importante incluir también ejercicios que potencien el fortalecimiento de la región superior de la espalda. Una forma de lograrlo es seleccionar posiciones como sedestación (p. ej., el *scarecrow*, tabla 3.4H, pág. 137) o arrodillarse sobre una pelota suiza (*scarecrow* de rodillas, tabla 7.10H, pág. 439), en que los abdominales se pueden usar más rápidamente para mantener la columna lumbar en ligera flexión al tiempo que se potencia la extensión de la porción superior de la columna. No obstante, como la curvatura torácica es cóncava anteriormente, es importante fijarse en que el grado de extensión será muy pequeño en comparación con el que tiene lugar en la columna lumbar.

PRUEBAS Y MEDICIONES 3.4

## *Prueba de fuerza de los músculos extensores de la espalda*

Practica la siguiente prueba con otro bailarín para calcular la fuerza de los músculos extensores de la espalda. Esta prueba se debe practicar con lentitud, con cuidado, después de haber calentado bien la espalda, y sólo si no hay dolor. Los bailarines con antecedentes de dolor o lesiones de espalda no deben practicar esta prueba a menos que cuenten con la aprobación y supervisión de un médico.

**Prueba de altura en extensión de la espalda (fuerza muscular)**
Comienza con el compañero en decúbito prono sobre una colchoneta con las rodillas extendidas y los pies juntos y apoyados en el suelo. Los codos se flexionan y los dedos se extienden y apoyan ligeramente en la nuca. Solicita a tu compañero, con los codos por detrás de la altura de las orejas, que arquee la espalda muy lentamente para elevarla lo máximo posible sin usar la inercia, sin dejar que los codos se echen adelante y sin que los pies se levanten del suelo. Pide a tu compañero que arquee la espalda empezando por la parte superior hasta llegar a la base. Mide la distancia perpendicular desde la depresión en la base del cuello (escotadura esternal) hasta el suelo usando una cinta métrica, como se ve en la figura. El objetivo es alcanzar la misma altura con esta prueba activa que de forma pasiva (usando los brazos para ejercer presión contra el suelo y arquear la espalda). La media de los resultados de la prueba de extensión de la espalda entre los alumnos de la escuela de arte practicada por la autora fue 33 centímetros en las bailarinas y 30 centímetros en los bailarines.

*Nota.* Debido a las diferencias en longitud y flexibilidad de la columna vertebral, la misma distancia medida no reflejará el mismo ángulo exacto de extensión vertebral de una a otra persona. No obstante, esta medida ofrece una indicación aproximada de la fuerza (las personas más fuertes llegan más alto) y supone una herramienta útil para comprobar la mejora de la fuerza en una misma persona.

***Tipo de contracción muscular.*** Como sucede con los abdominales, los brazos se pueden usar (en este caso haciendo presión contra el suelo en decúbito prono) para lograr una ligera mayor altura del torso (mayor extensión de la columna) que la que se consigue con una contracción concéntrica. Esta posición más alta se puede mantener varios segundos (contracción isométrica) o ir seguida de inmediato por un descenso controlado (contracción excéntrica) hasta la posición inicial en decúbito prono. Sin embargo, hay que tener especial cuidado de no generar demasiada tensión en los extensores de la espalda, para lo cual se llega sólo unos pocos grados más de lo que se consigue concéntricamente, y se empieza quitando sólo un brazo mientras el otro sigue sirviendo de apoyo.

***Rotación de la columna.*** Añadir rotación a los ejercicios de extensión de la espalda puede suponer una mayor sobrecarga a los músculos que generan rotación en la dirección deseada. Además, como existen distintos músculos extensores vertebrales y cintillas de músculos en distintas regiones de la columna, la rotación de distintas regiones y las posiciones de la columna pueden plantear un mayor desafío a los distintos músculos. Por ejemplo, la rotación pura pro-

voca una respuesta evidente del multífido y los rotadores, mientras que el iliocostal manifiesta mayor actividad cuando la anteroflexión (en bipedestación) se combina con rotación (Basmajian y DeLuca, 1985). De rodillas o en decúbito prono, sutiles rotaciones y estabilizaciones parecidas a las usadas en danza pueden lograrse levantando un brazo, una pierna o un brazo y una pierna al mismo tiempo (p. ej., un *arabesque* en decúbito prono; tabla 3.4N, pág. 140); en cuadrupedia, la elevación del brazo contralateral cuando la pierna se levanta aumenta un 30% la actividad de la porción superior del erector de la columna (Levangie y Norkin, 2001).

***Sobrecarga y recuperación adecuadas.*** Como sucede con los abdominales, para lograr las mejoras deseadas en la fuerza muscular, los ejercicios deben ser lo suficientemente difíciles como para poder concluir un máximo de 12 repeticiones, y se deben dejar de dos a tres minutos de recuperación de los músculos extensores de la columna entre series de ejercicios de extensión de la espalda. La dificultad se incrementa usando un grado de movilidad mayor, añadiendo rotación, llevando los brazos a un lado o por encima de la cabeza en vez de colgando a los lados, y añadiendo mancuernas para generar resistencia. Como el efecto de la gravedad sobre el cuerpo es principalmente el de generar resistencia en muchos de los ejercicios para los extensores de la espalda, se requiere una posición del cuerpo en que el torso o la pelvis se muevan contra la gravedad al realizar la extensión de la columna, como cuando se practican extensiones de espalda en decúbito prono (p. ej., tabla 3.4I, pág. 138).

***Técnica y conciencia cinestésica.*** Practicar ejercicios para los extensores de la espalda de forma armónica y controlada, en vez de a tirones, con una articulación de la columna y posición de la pelvis precisas es esencial para asegurar su eficacia y seguridad. Hay que desarrollar sutiles destrezas de estabilización y conciencia cinestésica para lograr la extensión deseada de las vértebras en forma secuencial en vez de hacer que grandes segmentos de la columna se muevan como uno solo o que casi todo el movimiento se produzca en la región lumbar. La falta de adecuada estabilización puede volver peligrosos en vez de terapéuticos muchos ejercicios de espalda.

## Disminuir el riesgo de los ejercicios para los extensores de la espalda

Por desgracia, la aplicación de los numerosos principios que aumentan la eficacia, como la rotación y la resistencia, también incrementa las tensiones que soportan los discos y otras estructuras de la columna. Por eso, a menudo se recomienda un método más conservador, que preste especial atención a la amplitud del movimiento y a la estabilización.

***Amplitud del movimiento.*** Usar una mayor amplitud de movimiento genera más sobrecarga mediante el acortamiento de los músculos y permite desarrollar la fuerza en todo el recorrido articular. Sin embargo, una mayor amplitud de movimiento suele requerir una acusada hiperextensión de la columna, lo cual a menudo conlleva riesgo de lesión. Por tanto, sigue habiendo controversia sobre la amplitud de movimiento que se debe usar en los ejercicios de extensión de la espalda. En el caso de bailarines con acceso a un gimnasio (silla romana), a una pelota suiza, un banco o un barril de Pilates, esta controversia se evita practicando las extensiones de espalda desde una posición de flexión de la columna hasta una posición recta (neutra) de la misma. Un estudio comprobó un aumento acusado de la fuerza de los músculos extensores de la espalda desde una posición flexionada a neutra cuando se entrenaron en aparato en un arco relativamente corto de 36° de flexión (Graves *et al.*, 1990). No obstante, debido al predominio del uso de la hiperextensión de la columna en la danza, existe una base teórica sobre los aspectos funcionales que respalda el uso de una amplitud de movimiento que incluya la hiperextensión en el entrenamiento de la fuerza en la danza. Y sólo los estudios que han vinculado la fuerza de los músculos de la espalda con las exigencias del trabajo han mostrado capacidad para predecir futuras lesiones de espalda (Parnianpour *et al.*, 1988). Aunque para reducir el riesgo de lesión, la hiperextensión sólo se debe practicar (sin supervisión médica) si no hay molestias presentes, ni antecedentes de dolor de espalda ni contraindicaciones médicas, la amplitud de movimiento se debe aumentar gradualmente y hay que emplear una técnica segura. Un método consiste en limitar inicialmente la hiperextensión a unos 10° a 20° y centrarse en desarrollar la cocontracción abdominal/las destrezas de estabilización. Más adelante se podrá incrementar gradualmente la amplitud del movimiento siempre que se emplee una estabilización apropiada y el movimiento siga siendo indoloro.

***Cocontracción abdominal.*** Un aspecto importante de estas destrezas de estabilización es la utilización de la cocontracción de los abdominales (como se expuso en el apartado Hiperextensión de la columna, pág. 115) para reducir la magnitud de la extensión y del cizallamiento en los segmentos inferiores de la columna lumbar. Por ejemplo, al arquearte desde una posición en decúbito prono, céntrate en ejercer tracción ascendente sobre la sínfisis del pubis mediante la inserción inferior de los abdominales, moviéndote de forma que la cintura se levante 1,2 centímetros del suelo en vez de ejercer fuerza contra el suelo, y mantén esta posición de la pelvis mientras la espalda se arquea ligeramente por la región dorsal. Si este ejercicio alcanza los grados máximos de amplitud de extensión vertebral, la hiperextensión lumbar será necesaria, aunque la «tracción ascendente y hacia dentro» con la inserción inferior de los abdominales sobre la pelvis (mientras dejas que la inserción superior de los abdominales en la caja torácica se aleje) ayuda a limitar la inclinación pélvica anterior y el estrés lumbar. Si se experimenta dificultad para mantener la posición deseada, la

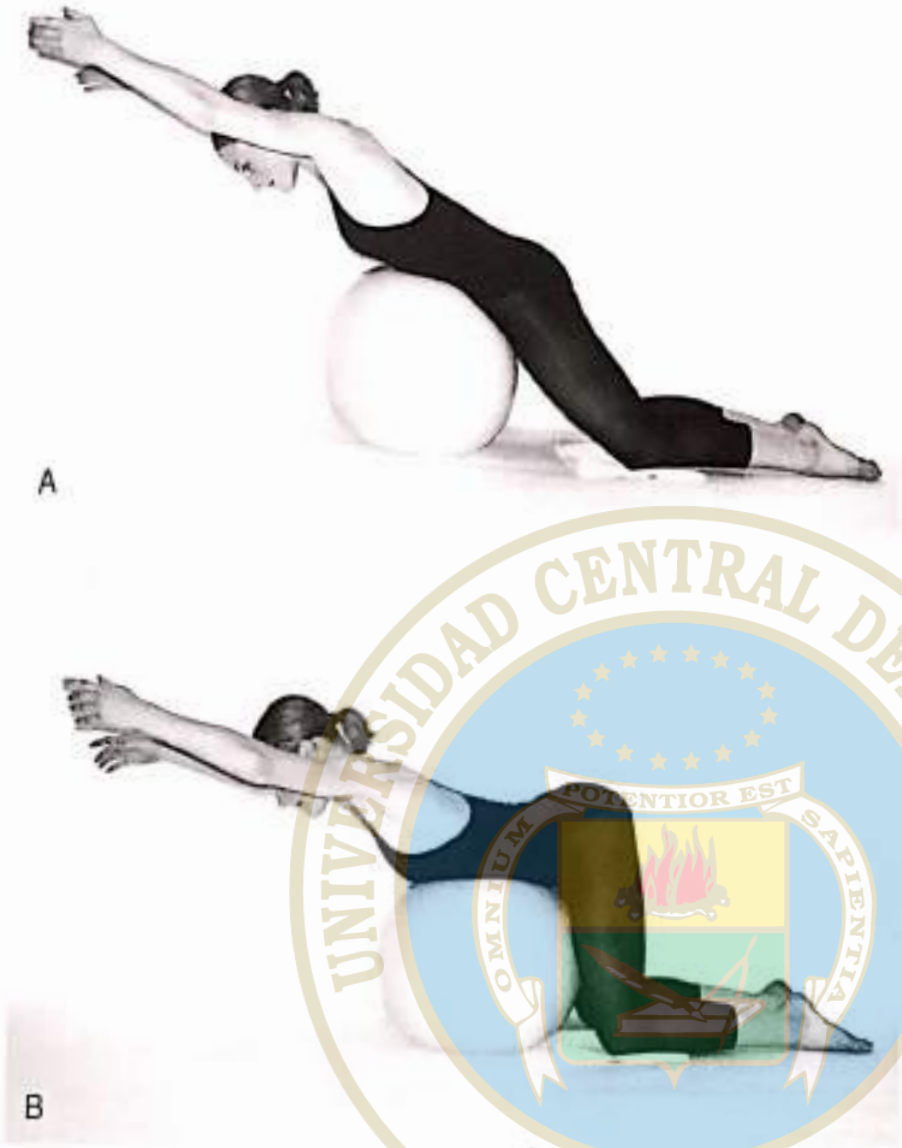



FIGURA 3.45. Extensión de la porción superior de la espalda con cocontracción de los músculos abdominales. (A) Estabilización adecuada de la columna lumbar inferior; (B) estabilización inadecuada de la columna lumbar inferior.

ejecución de este ejercicio con una toalla enrollada debajo de la cara anterosuperior de la pelvis, o de rodillas con las caderas sobre una pelota mientras te centras en presionar con la sínfisis del pubis sobre la pelota o el suelo al tiempo que el ombligo se mantiene elevado, puede hacer más sencillo lograr la postura deseada, como en la figura 3.45.

## Ejercicios de fuerza para la columna

En la tabla 3.4 aparecen ejercicios específicos de estabilización y de fuerza para la columna vertebral. Los principios antes descritos se deben aplicar a la ejecución de estos ejercicios. Se deben elegir cuidadosamente los ejercicios para adecuarse al nivel de fuerza y destreza del bailarín, y hay que emplear diversos ejercicios para lograr los beneficios únicos que cada uno de ellos ofrece. En general, empieza con ejercicios puros de flexión y extensión de la columna (en el plano sagital) cuando los bailarines estén en peor forma física, y luego añade rotación y lateroflexión a medida que se desarrollen la fuerza y la destreza. Un ejemplo de progresión en los ejercicios abdominales es el de la tabla 3.5 en la página 142.

Respecto a la ratio entre ejercicios de abdominales y de extensores de espalda que debe usarse, hay que tener en cuenta múltiples factores. Varios estudios demostraron que los extensores de la espalda logran más mejoras en la fuerza (probada isométricamente) que otros músculos con sólo una sesión por semana (Carpenter *et al.*, 1990; Graves *et al.*, 1990; Pollock *et al.*, 1989), lo cual sugiere que los ejercicios de abdominales se deben practicar con más frecuencia o más series que los ejercicios para los músculos extensores.

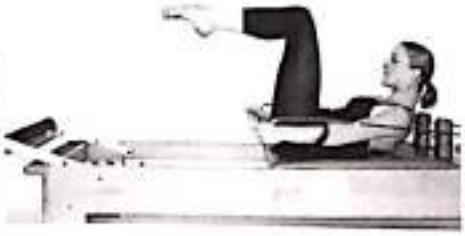
Sin embargo, esto tal vez cambie al envejecer, y puede que haya que practicar más ejercicios de extensión de la espalda para contrarrestar la tendencia a la cifosis y a la reducción de tamaño de los músculos extensores de la columna que ocurre gradualmente en los hombres de más de 30 años y la reducción de la densidad de los extensores de la columna apreciada en mujeres entre 40 y 49 años (Imamura *et al.*, 1983). Además, hay que tener en cuenta la alineación estática y dinámica, y los bailarines con hiperlordosis excesiva pueden beneficiarse de un mayor trabajo abdominal y de ejercicios de extensores de espalda que utilicen una amplitud mínima al tiempo que potencien la cocontracción y estabilización abdominales. En contraste, los bailarines que presentan una postura de fatiga o espalda plana necesitan incluir ejercicios de extensión de la espalda con énfasis en la extensión de la región apropiada de la columna vertebral.

*(El texto continúa en la página 140.)*

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620

**Tabla 3.4. Selección de ejercicios de fuerza para la columna vertebral**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupo muscular: flexores de la columna**<br>**Músculos trabajados: abdominales/técnica** | | |
| **Movimiento articular: flexión de la columna con inclinación pélvica posterior** | | |
| A. Retroversión pélvica<br> | En decúbito supino con las rodillas flexionadas 90° y los pies planos en el suelo. Acerca los huesos del pubis a las costillas inferiores, centrándote en inclinar la parte superior de la pelvis en sentido posterior, de modo que la columna lumbar quede plana contra el suelo. Cuenta hasta 8, y devuelve la pelvis y las costillas a la posición inicial. (Hunde toda la pared abdominal hasta quedar cóncava, sin sobresalir.) | 1. Aumenta la amplitud del movimiento.<br>2. Aumenta la simetría de los movimientos superior e inferior. |
| **Grupo muscular: flexores de la columna**<br>**Músculos trabajados: abdominales/isométricos** | | |
| **Movimiento articular: flexión de la columna con inclinación pélvica posterior** | | |
| B. *Curl-up* isométrico (peso del cuerpo)<br> | En decúbito supino con las rodillas flexionadas 90°, los pies planos en el suelo y los brazos a los lados. Practica una ligera inclinación pélvica posterior, acerca el mentón al pecho, e inicia un *curl-up* secuencial hasta que los omoplatos se levanten del suelo. Entonces, pon las manos en la cara externa de los muslos y úsalas para tirar del torso un poco más arriba. Suelta las manos, cuenta hasta 4, y devuelve el torso a la posición inicial.<br>(Hunde la pared abdominal y no dejes que el torso descienda cuando sueltes las manos.) | 1. Acerca más los pies a las nalgas.<br>2. Aumenta la cuenta hasta 8.<br>3. Lleva los brazos lentamente hacia atrás por encima de la cabeza (a la quinta posición con brazos altos) y luego hacia delante mientras mantienes la posición de la columna.<br>4. Practica una diagonal con ambas manos sobre la cara externa de la misma porción distal del muslo. |
| **Grupo muscular: flexores de la columna**<br>**Músculos trabajados: abdominales/excéntricos** | | |
| **Movimiento articular: flexión de la columna con inclinación pélvica posterior y flexión de caderas** | | |
| C. *Curl-back* (peso del cuerpo)<br> | Sentado con las rodillas flexionadas 90° y los pies planos en el suelo. Practica una ligera inclinación pélvica posterior y luego flexiona el torso de vuelta al suelo. Empieza por poner el sacro en contacto con el suelo, y luego sigue hasta que la parte posterior de la cintura también entre en contacto con el suelo. Cuenta hasta 4 y luego vuelve lentamente a la posición inicial, usando las manos sobre los muslos para ayudarte a subir si lo necesitaras.<br>(Mantén la columna todo lo flexionada posible durante el movimiento.)<br>*Variación 1.* Practica sentado en una pelota, empezando con las rodillas flexionadas 90° y los pies planos en el suelo. | 1. Aumenta la cuenta hasta 8.<br>2. Lleva las manos detrás de la cabeza y luego adelante durante el mantenimiento de la posición.<br>3. Empieza con los brazos altos en quina posición.<br>4. Lleva la rodilla al pecho durante la contención.<br>5. Lleva la rodilla al pecho y luego extiéndela *(développé)* durante la contención. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la columna<br>Músculos trabajados: abdominales/estabilización y dorsal ancho | | |
| Movimiento articular: flexión de la columna con extensión de los hombros | | |
| D. *Curl-up* en máquina Universal Reformer (reformer)<br>  | En decúbito supino con las rodillas flexionadas justo encima de las caderas, y las piernas paralelas al carro mientras las manos están por encima de la cabeza asiendo las cinchas. Lleva los brazos adelante y abajo (extensión de los hombros), curva el torso flexionándolo y mantén los codos extendidos para que las cinchas opongan resistencia a la flexión de la columna, haz una pausa, lleva los brazos otra vez por encima de la cabeza mientras el torso está en alto, y luego devuelve lentamente el torso a la posición inicial.<br>(Eleva el torso lo más alto que puedas pero manteniendo la parte posterior de la cintura en contacto con el carro, y evita que el torso descienda cuando los brazos se muevan por encima de la cabeza.) | 1. Flexiona y eleva más el torso.<br>2. Aumenta la resistencia de las cinchas.<br>3. Extiende las rodillas con los pies apuntando al techo mientras los brazos se mueven por encima de la cabeza. |
| Grupo muscular: flexores de la columna<br>Músculos trabajados: abdominales «inferiores» | | |
| Movimiento articular: flexión de la columna lumbar con inclinación pélvica posterior | | |
| E. Elevación de caderas (banda elástica)<br> | En decúbito supino con las rodillas ligeramente flexionadas y directamente encima de las caderas mientras las manos asen una banda estirada por delante de los muslos para oponer resistencia al movimiento. Practica una inclinación pélvica posterior y luego continúa el movimiento hasta que el sacro se levante con lentitud del suelo y los muslos se acerquen a los hombros. Cuenta hasta 4, y baja lentamente las caderas a la posición inicial.<br>(Haz hincapié en los abdominales inclinando posteriormente la pelvis para generar la elevación, en vez de flexionar la cadera, y evita usar la inercia.) | 1. Eleva más la pelvis.<br>2. Usa una banda más dura.<br>3. Eleva la pelvis trazando una diagonal. |

*(continúa)*

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupo muscular: flexores de la columna**<br>**Músculos trabajados: abdominales/estabilización y dorsal ancho** | | |
| **Movimiento articular: flexión de la columna con extensión de los hombros** | | |
| D. *Curl-up* en máquina Universal Reformer (reformer)<br> | En decúbito supino con las rodillas flexionadas justo encima de las caderas, y las piernas paralelas al carro mientras las manos están por encima de la cabeza asiendo las cinchas. Lleva los brazos adelante y abajo (extensión de los hombros), curva el torso flexionándolo y mantén los codos extendidos para que las cinchas opongan resistencia a la flexión de la columna, haz una pausa, lleva los brazos otra vez por encima de la cabeza mientras el torso está en alto, y luego devuelve lentamente el torso a la posición inicial.<br>(Eleva el torso lo más alto que puedas pero manteniendo la parte posterior de la cintura en contacto con el carro, y evita que el torso descienda cuando los brazos se muevan por encima de la cabeza.) | 1. Flexiona y eleva más el torso.<br>2. Aumenta la resistencia de las cinchas.<br>3. Extiende las rodillas con los pies apuntando al techo mientras los brazos se mueven por encima de la cabeza. |
| **Grupo muscular: flexores de la columna**<br>**Músculos trabajados: abdominales «inferiores»** | | |
| **Movimiento articular: flexión de la columna lumbar con inclinación pélvica posterior** | | |
| E. Elevación de caderas (banda elástica)<br> | En decúbito supino con las rodillas ligeramente flexionadas y directamente encima de las caderas mientras las manos asen una banda estirada por delante de los muslos para oponer resistencia al movimiento. Practica una inclinación pélvica posterior y luego continúa el movimiento hasta que el sacro se levante con lentitud del suelo y los muslos se acerquen a los hombros. Cuenta hasta 4, y baja lentamente las caderas a la posición inicial.<br>(Haz hincapié en los abdominales inclinando posteriormente la pelvis para generar la elevación, en vez de flexionar la cadera, y evita usar la inercia.) | 1. Eleva más la pelvis.<br>2. Usa una banda más dura.<br>3. Eleva la pelvis trazando una diagonal. |

*(continúa)*

**Tabla 3.4. Selección de ejercicios de fuerza para la columna vertebral (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la columna<br>Músculos trabajados: abdominales «inferiores»/estabilización | | |
| Movimiento articular: flexión de la columna lumbar con inclinación pélvica posterior y flexión de cadera | | |
| F. «V» invertida<br>(peso del cuerpo y pelota de equilibrio)<br> | Apoya el peso del cuerpo con las manos en el suelo y los pies sobre una pelota de equilibrio (posición de la figura) con la pelvis y la columna en una posición neutra. Practica una inclinación posterior de la pelvis y luego eleva las caderas hacia el techo mientras los pies empujan la pelota acercándola a las manos. Haz una pausa y vuelve lentamente a la posición inicial.<br>(Haz hincapié en mantener la pared abdominal hundida mientras elevas las caderas, y evita que la pelvis se incline anteriormente o que la región lumbar se arquee en exceso al volver a la posición inicial.) | 1. Eleva más la pelvis.<br>2. Haz una flexión de brazos en la posición de la figura.<br>3. Haz una flexión de brazos en la posición de «V» invertida.<br>4. Eleva una pierna hacia el techo en la posición de «V» invertida *(arabesque)*. |
| Grupo muscular: flexores de la columna<br>Músculos trabajados: estabilización de los abdominales | | |
| Movimiento articular: flexión de la columna lumbar con inclinación pélvica posterior mantenida | | |
| G. *Leg-reach*<br>(peso del cuerpo)<br> | Échate hacia atrás y apóyate en los codos con las rodillas flexionadas 90° y los pies planos en el suelo. Practica una ligera inclinación pélvica posterior, y lleva una rodilla al pecho y luego la otra. A continuación, extiende lentamente una pierna hasta una altura en que el pie esté a unos 61 cm del suelo mientras la otra rodilla se mantiene encima de la cadera con la pierna paralela al suelo. Cuenta hasta 4, luego acerca la primera rodilla hacia el pecho. Alterna las piernas.<br>(Mantén la pelvis estable hundiendo los abdominales hacia la columna durante el ejercicio.) | 1. Empieza extendiendo la segunda rodilla mientras la primera está extendida, pero sólo en una amplitud en que la pelvis no se mueva y la región lumbar no se arquee.<br>2. Extiende por completo la segunda rodilla.<br>3. Haz el ejercicio con la columna ligeramente flexionada y sin apoyarte en los brazos.<br>4. Practica el ejercicio con la pelvis neutra. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la columna<br>Músculos trabajados: extensores de la porción superior de la espalda | | |
| Movimiento articular: extensión de la columna torácica y cervical | | |
| H. El *scarecrow* (máquina Reformer)<br> | Siéntate en el carro con las rodillas flexionadas y los pies planos en el reposacabezas mientras los brazos están a la altura de los hombros con los codos extendidos. Ase las cinchas con las palmas hacia abajo. Echa un poco los codos hacia atrás más allá de los hombros, rota externamente los hombros para que las palmas miren hacia el frente, hiperextiende la porción superior de la espalda mientras llevas los brazos por encima de la cabeza, haz una pausa, e invierte el patrón para volver lentamente a la posición inicial. (Mantén la pelvis y la región lumbar estáticas, potenciando el movimiento y el trabajo muscular de la región superior de la espalda. Mantén los codos a la altura de los hombros y flexionados 90° durante la fase de rotación de los hombros.) | 1. Aumenta la amplitud del arco de la región superior de la espalda.<br>2. Aumenta la resistencia de las cinchas pasando de muy ligera a ligera.<br>3. Añade una ligera rotación del tronco mientras los brazos se extienden por encima de la cabeza. |

*(continúa)*

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 3.4. Selección de ejercicios de fuerza para la columna vertebral (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la columna<br>Músculos trabajados: extensores de las porciones superior e inferior de la espalda/estabilización | | |
| Movimiento articular: extensión de la columna y flexión de los hombros | | |
| I. Arqueamiento de la columna en decúbito prono con un solo brazo (peso del cuerpo)<br> <br> | En decúbito prono sobre los antebrazos y con las piernas extendidas y los pies juntos. Usa los abdominales para elevar la cara anterior de la pelvis (EIAS) hasta que se pueda trazar una línea recta que pase por los hombros, el torso y la pelvis. Luego levanta un brazo hacia arriba y adelante mientras arqueas la espalda, haz una pausa, y vuelve a la posición inicial.<br>(Mantén la tracción de las inserciones inferiores de los abdominales para limitar el grado de inclinación anterior de la pelvis mientras se arquea la espalda. Sitúa el brazo a la altura o detrás de la oreja, y céntrate en «levantar» y arquear primero la porción superior de la espalda.) | 1. Aumenta la amplitud del movimiento de extensión de la columna dorsal mientras mantienes las EIAS levantadas del suelo.<br>2. Lleva unas mancuernas pequeñas en las manos.<br>3. Suma una ligera rotación del torso hacia el brazo levantado. |
| Grupo muscular: extensores de la columna y flexores de los hombros<br>Músculos trabajados: extensores de la columna/secuencial | | |
| Movimiento articular: extensión de la columna con flexión mantenida de los hombros | | |
| J. Arqueamiento de la espalda con press por encima de la cabeza (máquina Reformer y barra)<br> <br> | En decúbito prono con las caderas en el borde de la caja y los talones sobre el reposapiés, con las rodillas flexionadas y una barra fastrada en las manos detrás de la cabeza con los codos flexionados. Extiende los codos para alcanzar la barra, extiende las rodillas e hiperextiende la columna, haz una pausa, y vuelve lentamente a la posición inicial.<br>(Mantén la tracción de las inserciones inferiores de los abdominales para limitar el grado de inclinación anterior de la pelvis y extiende la columna secuencialmente desde la porción superior hasta la inferior, trabajando sólo en una amplitud indolora.) | 1. Aumenta gradualmente la resistencia de la barra pasando de 0,5 a 2,25 kilogramos. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores laterales de la columna<br>Músculos trabajados: oblicuos del abdomen | | |
| Movimiento articular: flexión lateral de la columna | | |
| K. *Side-up*<br>(peso del cuerpo)<br> | En decúbito lateral con las rodillas y caderas ligeramente flexionadas, balancea todo el cuerpo como una unidad de modo que las rodillas se eleven 20 cm del suelo. Flexiona ligeramente la columna, y secuencialmente eleva la cabeza, los hombros y el torso hacia el techo. Cuenta hasta 4 y baja lentamente hasta la posición inicial.<br>(Mantén hundida la pared abdominal y dirige el movimiento con el brazo inferior de modo que la columna se flexione un poco y rote al flexionarse lateralmente.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio en una máquina Cadillac de Pilates con los pies debajo de la cincha de sujeción.<br>*Variación 2.* Practica con una «caja corta» en la máquina Reformer de Pilates con los pies debajo de la cincha de sujeción, y aumenta la amplitud del movimiento empezando con el torso flexionado lateralmente hacia el suelo. | 1. Aumenta la amplitud del movimiento.<br>2. Levanta los brazos por encima de la cabeza y luego atrás cuando eleves el torso.<br>3. Añade mancuernas en las manos. |
| Grupo muscular: flexores laterales de la columna<br>Músculos trabajados: oblicuos del abdomen/estabilización | | |
| Movimiento articular: flexión lateral de la columna con abducción de los hombros | | |
| L. *Side-reach* (tabla lateral)<br>(peso del cuerpo)<br> | Empieza sobre un costado con el peso del cuerpo apoyado en el antebrazo y los pies, con el pie superior delante del pie inferior. El brazo superior se alinea con el hombro. Baja lentamente las caderas hacia el suelo mientras el brazo desciende hasta el costado, y luego levanta las caderas hacia el techo mientras el brazo superior se eleva por encima de la cabeza, haz una pausa y vuelve a la posición inicial.<br>(Mantén la columna/pelvis neutras en el plano sagital y evita que las costillas se adelanten, extiende todo el cuerpo, desde los pies hasta los dedos de la mano cuando el brazo se eleve por encima de la cabeza, y mantén la estabilidad del hombro de apoyo.) | 1. Aumenta la amplitud del descenso y la elevación de las caderas.<br>2. Apoya el peso sobre la mano del brazo inferior (con el codo extendido).<br>3. Practica una vez, ponte boca abajo apoyado en los dos brazos y haz un *push-up*, ponte en decúbito lateral por el otro lado y repite el ejercicio. Repite la serie 2-6 veces. |

*(continúa)*

**Tabla 3.4. Selección de ejercicios de fuerza para la columna vertebral (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: rotadores de la columna<br>Músculos trabajados: oblicuos del abdomen | | |
| Movimiento articular: rotación de la columna con flexión | | |
| M. *Curl-up* con rotación (peso del cuerpo)<br> | En decúbito supino con las rodillas flexionadas 90°, los pies planos en el suelo y las manos detrás de la cabeza. Inclina el mentón hacia el pecho, y secuencialmente flexiona el torso todo lo que puedas sin dejar que la parte posterior de la cintura se levante del suelo. Lleva los brazos adelante, gira lentamente a la derecha y luego al centro, después lleva las manos detrás de la cabeza y echa el torso atrás hasta la posición inicial.<br>(Mantén la columna flexionada mientras rotas, y piensa en llevar el hombro hacia arriba al rotar.) | 1. Gira a la derecha, al centro, a la izquierda y al centro.<br>2. Eleva los brazos por detrás de la cabeza y luego hacia delante mientras mantienes la posición de rotación. |
| Grupo muscular: rotadores de la columna<br>Músculos trabajados: extensores de la columna | | |
| Movimiento articular: rotación de la columna con extensión | | |
| N. *Arabesque* en decúbito prono (peso del cuerpo)<br> | En decúbito prono con las piernas extendidas y los brazos a los lados. Contrae los abdominales para elevar la cintura del suelo, y levanta los brazos del suelo a la segunda posición mientras elevas la cabeza y la porción superior de la espalda. Luego levanta una pierna alrededor de 15 cm del suelo, lleva el otro brazo por encima de la cabeza, gira el torso hacia dicho brazo, haz una pausa y baja el brazo y el torso a la posición inicial.<br>(Sigue «tirando» de las inserciones inferiores de los abdominales para limitar el grado de inclinación anterior de la pelvis y eleva el torso un poco más mientras gira.) | 1. Levanta el torso un poco más alto mientras el brazo vuelve a la segunda posición.<br>2. Añade una mancuerna de 0,5 kg en cada mano.<br>3. Gradualmente, incrementa el peso de 0,5 a 1,5 kilogramos. |

En todos los ejercicios de abdominales, céntrate en hundir la pared abdominal hacia la columna para fortalecer el músculo transverso del abdomen. En los ejercicios asimétricos, practica 4-6 repeticiones por un lado y luego otras 4-5 repeticiones por el otro.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM
FUNDADA EN 1620
QUITO

### Fortalecimiento de los flexores (abdominales) de la columna

Como se describió previamente, se cree que unos músculos abdominales fuertes son importantes en la prevención de la lordosis lumbar, en la generación de presión intraabdominal, en la estabilización de la columna vertebral y en la prevención de lesiones lumbares. En la danza, los músculos abdominales son importantes para el trabajo en el suelo en danza moderna, como en las contracciones de Graham, y para las elevaciones de pecho utilizadas para pasar de decúbito supino a sedestación en danza jazz. La función estabilizadora de los músculos abdominales es esencial para lograr el efecto estético deseado en muchos movimientos.

El primer ejercicio de la tabla 3.4, la retroversión pélvica, no es muy eficaz para fortalecer los músculos abdominales pero se incluye porque desarrolla la técnica de la inclinación posterior de la pelvis, que forma parte de muchos otros ejercicios de abdominales. A medida que se adquiera destreza, ya no será necesario practicar la retroversión pélvica como un ejercicio independiente, sino que podrá formar parte de otros ejercicios de abdominales más eficaces. El *curl-up* isométrico (tabla 3.4B) y el *curl-back* (tabla 3.4C) tratan de desarrollar la fuerza en una amplitud mayor que la que se alcanza en la fa-

se ascendente de un *curl-up* normal, de modo que, con el tiempo, mejore la capacidad para la ejecución de flexiones concéntricas. Aportamos algunos ejemplos de progresiones, pero ten presente que se puede usar cualquier medio de los antes descritos para aumentar la sobrecarga con estos ejercicios. Los *curl-ups* en máquina Reformer (tabla 3.4D) emplean cinchas para aumentar la sobrecarga y la eficacia. La elevación de caderas (tabla 3.4E), los abdominales de rodillas (figura 3.42B, pág. 127) y la «V» invertida (tabla 3.4F) potencian el uso de los abdominales inferiores y el control de la pelvis, lo cual es esencial para corregir la lordosis lumbar. El soporte lateral (figura 3.42A, pág. 127) y el *leg-reach* (tabla 3.4G) potencian el desarrollo de la fuerza y la habilidad para estabilizar la columna. En todos estos ejercicios es importante subrayar la acción de hundir los abdominales hacia la columna para trabajar los vitales músculos transversos del abdomen.

### Fortalecimiento de los extensores de la columna

Los poderosos músculos extensores de la columna son muy importantes para estabilizar la columna, para la anteroflexión del tronco y su enderezamiento en bipedestación, y para arquear la espalda. Unos extensores de espalda fuertes también son importantes para prevenir el movimiento no deseado hacia delante del torso en acciones como un *arabesque grand jeté*, saltos *split* o al levantar a una bailarina por encima de la cabeza. Como con los músculos abdominales, se recomienda hacer diversos ejercicios para lograr mayor abanico de beneficios, por ejemplo, ejercicios que potencien el arqueamiento de la porción superior de la espalda, de toda la columna, o la rotación y la estabilización.

El *scarecrow* practicado en sedestación sobre la máquina Reformer (tabla 3.4H) o sentado en una silla (figura 3.26A, pág. 99) trabaja los extensores de la porción superior de la espalda en una posición en la que resulta más fácil estabilizar la columna lumbar. Los extensores de la columna torácica son importantes posturalmente para prevenir la cifosis y evitar que la porción superior de la espalda se precipite hacia delante. Además, un estudio demostró que, cuando los extensores de la espalda se fatigan, la contribución de los extensores torácicos se vuelve más importante (Klausen, Nielsen y Madsen, 1981). No obstante, para trabajar estos extensores de la porción superior de la espalda, hay que ejercer activamente «tracción hacia arriba» sobre la inserción inferior de la pelvis, de modo que la porción superior de la misma no se incline hacia delante y la columna lumbar no se hiperextienda excesivamente, mientras la porción superior de la espalda se arquea en una brevísima amplitud de movimiento (figura 3.45). Es una coordinación complicada, y a menudo requiere práctica y la ayuda de un compañero o el uso de un espejo para monitorizar la técnica. El arqueamiento de la columna en decúbito prono con un solo brazo (tabla 3.4) y el arqueamiento de la columna con *press* por encima de la cabeza (tabla 3.4J) están pensados para combinar el uso de los extensores superiores e inferiores de la espalda mientras se centra uno en la cocontracción de los abdominales.

### Fortalecimiento de los flexores laterales de la columna

Unos músculos flexores laterales de la columna fuertes son importantes para los movimientos en el suelo que implican levantarse de una postura en decúbito lateral. También se usan en los movimientos de lateroflexión del torso tan propios de la danza jazz y moderna. A menudo, al doblar el torso lateralmente, los bailarines incurren en un arqueamiento excesivo de la columna lumbar, debido a la inadecuada cocontracción de los músculos abdominales. Por tanto, el *side-up* (tabla 3.4K) sirve para potenciar una ligera flexión y rotación del tronco mientras la columna se inclina lateralmente, dando mayor énfasis a los músculos oblicuos del abdomen. Se puede aumentar la dificultad de este ejercicio centrándose en mantener la pelvis estable mientras se eleva lateralmente el torso hasta donde la fuerza lo permita. Los ejercicios de estabilización que usan posturas laterales, como el *side-reach* (tabla 3.4L), también trabajan los flexores laterales de la columna.

### Fortalecimiento de los rotadores de la columna

Unos músculos rotadores vertebrales fuertes son necesarios para la estabilización y movilidad de la columna. En muchas lesiones de espalda está implicada la rotación, por lo que es especialmente importante fortalecer los músculos que intervienen en la rotación y practicar una mecánica correcta. El sutil uso de los rotadores de la columna también interviene en movimientos asimétricos que incluyen la elevación de una extremidad inferior o superior, como en un *arabesque*. El uso más evidente de los rotadores interviene en movimientos en que el tronco gira respecto a la pelvis o en que la pelvis gira respecto al tronco, como en las aislaciones de jazz o en muchas combinaciones de calentamiento y movimientos encadenados de danza jazz y moderna.

La mayoría de los músculos flexores y extensores de la columna también generan rotación. El *curl-up* con rotación (tabla 3.4M) trabaja los flexores de la columna (oblicuos del abdomen) capaces de rotación. Para una demanda eficaz y una práctica segura de la mecánica, es importante mantener la columna vertebral flexionada mientras el torso gira, en vez de dejar que un hombro descienda y la columna lumbar se aplane o arquee. El ejercicio de *arabesque* en decúbito prono (tabla 3.4N) potencia el fortalecimiento de los extensores de la columna capaces de rotación. Añadir la elevación de una pierna a cualquier ejercicio de extensión vertebral también genera una ligera rotación de la columna. Añadir esta rotación aumenta la demanda y recluta de forma más específica algunos de los extensores de la columna que se cree que se suelen lesionar en las distensiones lumbosacras. Recuerda que el grado de extensión de la

columna presente cuando se suma la rotación influirá en la región de la columna implicada en la rotación y en los componentes específicos de los extensores vertebrales que entrarán en tensión. Por tanto, usar diversas posiciones permite un fortalecimiento más generalizado, aunque, para proteger la columna, es importante que haya una pequeña cocontracción de los músculos abdominales con el fin de prevenir la hiperextensión excesiva de la columna lumbar.

### Ejemplo de progresión en los ejercicios de abdominales

En la tabla 3.5 mostramos una selección de ejercicios de fuerza y estabilidad para los abdominales con progresiones. Éstas sólo se deben practicar cuando las variaciones más sencillas se hagan a la perfección. Cuando se sumen variaciones más duras, a menudo es necesario usar inicialmente grados menores de movilidad y menos repeticiones para mantener una técnica correcta.

## Estiramientos para la columna vertebral

Se requiere una gran movilidad vertebral para lograr el efecto estético en muchas formas de danza como el ballet, la danza moderna, jazz, flamenco y danzas africanas. Y, por ejemplo, mientras que de 20° a 30° de hiperextensión vertebral se consideran normales para la población adulta en general (tabla 3.6), las bailarinas de ballet de elite presentan una media de 79° (entre 60° y 124°) (véase la figura 3.46), y los bailarines de ballet de elite, una media de 65° (entre 45° y 93°) de hiperextensión de la columna (Clippinger-Robertson, 1991). Un estudio sobre bailarines de flamenco demostró un grado significativamente mayor de extensión lumbar, flexión lateral (lumbar y torácica) y rotación (torácica) que en los controles (Vejan, Halpern y Pavlidis, 1990). Así, se recomiendan estiramientos en los tres planos de movimiento. A continuación, ofrecemos una selección de estiramientos es-

*(El texto continúa en la página 146.)*

**Tabla 3.5. Ejemplo de progresión de los ejercicios de abdominales**

| Nombre del ejercicio (de tabla 3.4) | Versión del ejercicio | Repeticiones |
|---|---|---|
| **Nivel I** | | |
| Retroversión pélvica | Versión básica | 6 veces |
| *Curl-up* isométrico | Versión básica | De 6 a 12 veces |
| *Curl-back* | Versión básica | De 6 a 12 veces |
| Elevación de caderas | Versión básica | De 6 a 12 veces |
| **Nivel II** | | |
| *Curl-up* isométrico | Acerca los pies a las nalgas | De 6 a 12 veces |
| *Curl-back* | De la quinta posición de brazos baja a alta, y luego añade pesas en las manos | De 6 a 10 veces |
| Elevación de caderas | Eleva la pelvis en diagonal hacia un hombro | De 6 a 10 veces |
| *Curl-up* con rotación | Versión básica | De 4 a 6 veces/lado |
| *Leg-reach* | Versión básica | De 4 a 6 veces/lado |
| **Nivel III** | | |
| *Curl-up* con rotación | Gira a la derecha, al centro, a la izquierda, al centro, abajo | De 6 a 12 veces |
| *Curl-back* | Con los brazos en quinta posición con pesas, lleva la rodilla al pecho y extiéndela | De 4 a 6 veces/lado |
| *Side-up* | Versión básica, y luego pasa a sostener pesas sujetas al pecho | De 4 a 8 veces/lado |
| "V" invertida | Versión básica, y luego pasa a elevar una pierna *(arabesque)* | De 4 a 4 veces/lado |
| *Side-reach* | Versión básica, y luego pasa a practicar sólo 1 repetición en cada dirección y añade un *push-up* en la transición | De 4 veces/lado a 12 en total |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST QUITO FUNDADA EN 1620

**Tabla 3.6. Amplitud de movimiento normal y restricciones a los movimientos fundamentales de la columna vertebral**

| Movimiento de la columna (dorsal y lumbar) | Amplitudes medias de movimiento articular* | Factores limitantes pasivos normales |
|---|---|---|
| Flexión | 0°-80° | Ligamentos: posteriores de la columna<br>Discos: compresión de la cara anterior y tensión en la cara posterior<br>Cápsulas articulares: cápsulas y ligamentos de las articulaciones cigapofisarias<br>Músculos: extensores de la columna y fascia toracolumbar asociada |
| Extensión | 0°-30° | Ligamento: longitudinal anterior<br>Discos: compresión de la cara posterior y tensión en la cara anterior<br>Cápsulas articulares: cápsulas y ligamentos de las articulaciones cigapofisarias<br>Músculos: abdominales<br>Restricciones óseas: solapamiento de las apófisis espinosas de la región dorsal, aproximación de las articulaciones cigapofisarias de la región lumbar |
| Lateroflexión | 0°-35° | Ligamentos: contralaterales de la columna<br>Discos: compresión de la porción ipsolateral del disco y tensión en la porción contralateral del disco<br>Cápsulas articulares: cápsulas y ligamentos de las articulaciones cigapofisarias<br>Músculos: cuadrado lumbar contralateral y distintos grados de los oblicuos del abdomen y extensores de la columna, dependiendo de la posición del torso<br>Restricciones óseas: aproximación de las costillas inferiores y la cresta ilíaca |
| Rotación | 0°-45° | Ligamentos: costovertebrales y tal vez posteriores<br>Discos: tensión en el anillo fibroso<br>Cápsulas articulares: cápsulas de las articulaciones cigapofisarias<br>Músculos: oblicuos del abdomen y extensores de la columna, variando con la posición del torso<br>Restricciones óseas: articulaciones cigapofisarias de la región lumbar |

*De American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965).

FIGURA 3.46. Hiperextensión extrema de la columna vertebral de algunos bailarines.

**Tabla 3.7. Selección de estiramientos para la columna vertebral**

| Nombre del ejercicio | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la columna<br>Músculos trabajados: extensores lumbares | | |
| Posición articular: flexión de la columna lumbar | | |
| A. Las dos rodillas al pecho<br> | En decúbito supino con las rodillas flexionadas y los pies planos en el suelo. Usa la mano para tirar de una rodilla suavemente y luego de la otra hacia el pecho hasta sentir un estiramiento en la región lumbar.<br>(Hunde los abdominales y céntrate en redondear la columna lumbar.)<br>*Variación 1.* Practica el estiramiento de rodillas con el torso apoyado en los muslos y brazos por delante de la cabeza (figura 3.25C, pág. 97). | 1. Acerca las rodillas más a las axilas para aumentar la flexión lumbar. |
| Grupo muscular: extensores de la columna y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: extensores lumbares e isquiotibiales (para bailarines menos flexibles) | | |
| Posición articular: flexión lumbar con flexión coxofemoral y extensión de las rodillas | | |
| B. Anteroflexión en sedestación<br> | Siéntate con las piernas extendidas hacia delante y los pies separados 60 cm (las rodillas se pueden flexionar si los isquiotibiales están tirantes). Manteniendo inclinada la pelvis posteriormente, acerca la cabeza al suelo hasta sentir un estiramiento en la región lumbar.<br>(Potencia el encorvamiento lumbar y no la flexión de la articulación coxofemoral.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio sentado en una silla con los pies en el suelo y los antebrazos sobre los muslos. | 1. Ciñe la cara externa de las piernas con las manos, y úsalas para tirar y acercar más el torso al suelo. |
| Grupo muscular: abdominales<br>Músculos trabajados: recto del abdomen y oblicuos del abdomen | | |
| Posición articular: hiperextensión de la columna | | |
| C. *Press-up* en decúbito prono<br> | En decúbito prono, descansando el peso del tronco sobre los antebrazos, presiona hacia el suelo con los antebrazos y arquea la columna de forma secuencial desde la cabeza hasta el sacro.<br>(Mantén el cuello alineado con la columna torácica y desplaza la columna hacia delante y hacia arriba utilizando una amplitud de movimiento indolora.)<br>*Variación 1.* Realiza el ejercicio sobre una pelota suiza con las caderas apoyadas sobre la misma y los antebrazos presionando hacia abajo sobre la pelota. | 1. Acerca los codos hasta estar separados la anchura de los hombros.<br>2. Lleva los codos atrás hacia la cintura, y aumenta con cuidado el arqueamiento de la espalda.<br>3. Extiende los codos, ejerce presión con las manos y aumenta con cuidado el arqueamiento de la espalda. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Nombre del ejercicio | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: abdominales y extensores del hombro<br>Músculos trabajados: recto del abdomen, oblicuos del abdomen y dorsal ancho | | |
| Posición articular: extensión de la columna dorsal con flexión de los hombros | | |
| D. Extensión de la porción superior de la espalda<br> | Siéntate en el suelo con las rodillas flexionadas, los pies planos en el suelo y la porción media de la espalda apoyada contra una pelota suiza. Entrelaza los dedos de las manos detrás de la cabeza con los codos flexionados. Luego acerca entre sí los omoplatos y echa los codos atrás arqueando secuencialmente la columna dorsal desde T12 hacia arriba. (Tracciona con los abdominales inferiores hacia dentro y hacia arriba para impedir que la parte superior de la pelvis se incline hacia delante, y potencia el arqueamiento en la porción superior de la espalda con la cabeza alineada con este arco.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio sentado en una silla de respaldo alto, y arquea con cuidado la región superior de la espalda hacia arriba por encima del respaldo (figura 3.26B, pág. 99). | 1. Echa las tuberosidades isquiáticas hacia atrás, acercándolas a la pelota.<br>2. Extiende los codos con las manos alineadas con las orejas (figura 3.47C, pág. 148). |
| Grupo muscular: flexores laterales de la columna<br>Músculos trabajados: cuadrado lumbar y oblicuos del abdomen | | |
| Posición articular: flexión lateral de la columna | | |
| E. *Side-bend* (lateroflexión)<br> | Siéntate con una rodilla flexionada y de costado sobre el suelo, y la otra pierna extendida lateralmente. Luego flexiona el torso hacia el lado con el brazo inferior sobre el suelo y el brazo superior extendido hacia la pierna estirada. (Estira la columna mientras la flexionas lateralmente, y mantén las tuberosidades isquiáticas firmemente en contacto con el suelo.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio sentado en el suelo con ambas piernas extendidas (en segunda posición).<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio de pie y *en dehors*, mirando a la barra con una pierna hacia un lado sobre la barra. | 1. Extiende la mano que estaba en el suelo cruzando el cuerpo por delante, y flexiona más el torso. |

*(continúa)*

**Tabla 3.7. Selección de estiramientos para la columna vertebral (continuación)**

| Nombre del ejercicio | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: rotadores de la columna<br>Músculos trabajados: extensores de la columna lumbar y dorsal, y oblicuos del abdomen | | |
| Posición articular: rotación de la columna | | |
| F. *Twist* en decúbito supino<br> | Tumbado boca arriba con una extremidad inferior extendida y la otra rodilla flexionada directamente por encima de la cadera, con la pierna inferior paralela al suelo. Rota la columna usando la mano contralateral para tirar de la rodilla hacia el suelo mientras la porción superior de la espalda se mantiene quieta. (Céntrate en rotar la columna en toda su extensión mientras contraes los abdominales para mantener la pelvis ligeramente encogida y las costillas inferiores bien alineadas con la pelvis.) | 1. Desplaza más la rodilla y la cara superior de la pelvis hacia el suelo sin dejar que el hombro se levante del suelo. |

pecíficos, muchos de los cuales aparecen en fotografías y se describen en la tabla 3.7. Por razones de tiempo, los estiramientos para la columna también se suelen combinar con estiramientos para la cadera en bipedestación, sentados en el suelo o en la barra (véase el capítulo 4).

No obstante, como se ve en la tabla 3.6, otras estructuras diferentes de los músculos limitan los movimientos de la columna, como ligamentos, discos y apófisis óseas. Por tanto, cuando se practiquen estiramientos para la espalda, se debe tener especial cuidado de haber realizado un calentamiento adecuado, en el que el estiramiento se practique lentamente y sin excesiva inercia ni fuerza, y en prestar especial atención a la correcta posición del cuerpo. También es importante tener en cuenta que existe una extrema variabilidad individual en los movimientos de la columna, algunos de los cuales son de naturaleza estructural. Por ejemplo, en los deportistas de elite sometidos a prueba por la autora, el grado de hiperextensión vertebral ha oscilado entre 8° (marchadores varones de elite) y 124° (bailarinas de ballet de elite). Por tanto, es importante trabajar con cuidado al aumentar o mantener la movilidad permitida por una estructura de una persona en concreto en vez de intentar obtener forzadamente los mismos grados que otra persona de estructura bastante distinta. Además, cuando se aprecia una movilidad extrema, no suelen ser necesarios estiramientos adicionales fuera de clase. Se recomiendan en su lugar ejercicios de fuerza que trabajen para mantener dinámicamente la amplitud de movimiento a la vez que la fuerza para soportar la movilidad aumentada.

### Estiramientos para los extensores de la columna (flexión vertebral)

La flexibilidad de los músculos extensores de la columna es importante para permitir la anteroflexión completa de la columna, para la inclinación posterior de la pelvis necesaria para levantar muy alto la pierna al frente y para prevenir la hiperlordosis lumbar. Los extensores de la columna son músculos posturales y, por eso, a menudo se fatigan y «tensan» con el entrenamiento de danza, razón por la que los estiramientos ayudan a aliviar la tirantez y el dolor asociados. El estiramiento al llevar las dos rodillas al pecho (tabla 3.7A) es un estiramiento suave de la región lumbar, que genera una inclinación posterior de la pelvis y una disminución de la lordosis de la columna lumbar. Aunque tal vez sea demasiado leve para los bailarines más flexibles como para sentir la tensión, sí ofrece una posición en la que la presión en los discos intervertebrales es baja y se suele recomendar para la lumbalgia. De forma parecida, la práctica de este estiramiento en cuadrupedia (figura 3.25C, pág. 97), a veces llamado posición de reposo, procura alivio a los músculos extensores de la región lumbar tirantes o fatigados.

El estiramiento en anteroflexión en sedestación (tabla 3.7B) proporciona una variación más rigurosa, y se puede añadir una posición parecida de la columna a los estiramientos para los isquiotibiales o los aductores de la cadera (véase el capítulo 4). No obstante, cuando se practica cualquiera de estos estiramientos, como la columna dorsal es cóncava anteriormente y a menudo muy flexible, muchos bailarines terminan esti-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST QUITO

rando sobre todo la porción superior de la espalda en vez de la inferior. Mantener extendida la porción superior de la espalda y retraer los músculos abdominales hacia la columna vertebral, así como mantener la pelvis más vertical mientras el torso se curva hacia delante, se usan como alternativa para lograr un estiramiento más aislado del área lumbar.

### Estiramientos para los flexores de la columna (hiperextensión vertebral)

La flexibilidad de los músculos flexores de la columna (músculos abdominales) es necesaria para arquear la espalda por completo (hiperextensión) en distintos movimientos de danza. Parece que la hiperextensión de la columna también es importante para la salud de la espalda, en especial en los hombres (Burton, Tillotson y Troup, 1989a, 1989b; Klausen, Nielsen y Madsen, 1981), y una reducción de la extensión de la columna suele acompañar al envejecimiento en los hombres, pero no necesariamente en las mujeres. Sin embargo, la movilidad extrema (hipermovilidad) así como deficiente (hipomovilidad) parecen aumentar el riesgo de problemas lumbares. Por tanto, aunque los estiramientos para los flexores de la columna no se recomienden a los bailarines cuya flexibilidad sea alta, pueden ser útiles para los que intentan desarrollar su movilidad o para los bailarines mayores cuyo grado de movilidad ha disminuido.

Sin embargo, como la hiperextensión es un mecanismo clásico de las lesiones de columna, estos estiramientos sólo se deben practicar si no hay antecedentes de lordosis lumbar o lumbalgia y con especial cuidado, empezando con estiramientos leves y aumentando gradualmente la amplitud del movimiento, siempre dentro de un recorrido indoloro. El *press-up* en decúbito prono de la tabla 3.7C fue elegido porque el apoyo sobre los brazos permite un fácil control de la intensidad del estiramiento. A medida que mejore la movilidad, se puede pasar a usar las manos como apoyo (con los codos extendidos) delante de los hombros, y posteriormente acercar gradualmente las manos hacia los hombros. El grado de hiperextensión vertebral también mejora si se practica este ejercicio con las caderas sobre una pelota suiza (empezando por ejercer presión con los codos y luego con las manos sobre la pelota), como se ve en la figura 3.47A, o en una postura asistida por la gravedad en decúbito supino con la espalda arqueada sobre la pelota (figura 3.47B).

El ejercicio de extensión de la porción superior de la espalda (tabla 3.7D) ofrece un estiramiento que se centra en la movilidad de esa región. También se puede añadir un componente de fuerza ejerciendo presión hacia abajo con las manos y arqueando la porción superior de la espalda mientras se intenta mantener la pelvis en una postura neutra en decúbito supino y no sentado (arqueamiento de la porción superior de la espalda en decúbito supino, figura 3.47D). Aguanta esta postura cinco segundos, empezando por dos repeticiones y aumentando de forma gradual hasta seis. Introduce el estiramiento pasivo (figura 3.47C) antes y después de este componente activo, durante 20 a 30 segundos.

### Estiramientos para los flexores laterales de la columna

La flexibilidad de los músculos flexores laterales es importante para que la columna se doble por completo hacia los lados. El *side-bend* (lateroflexión) (tabla 3.7E) es un estiramiento eficaz que se puede practicar sentado en el suelo o de pie con una pierna en la barra. Para obtener los beneficios completos de este estiramiento, céntrate en mantener la pelvis nivelada y quieta mientras la columna se arquea y las costillas se curvan en vez de desplazarse lateralmente.

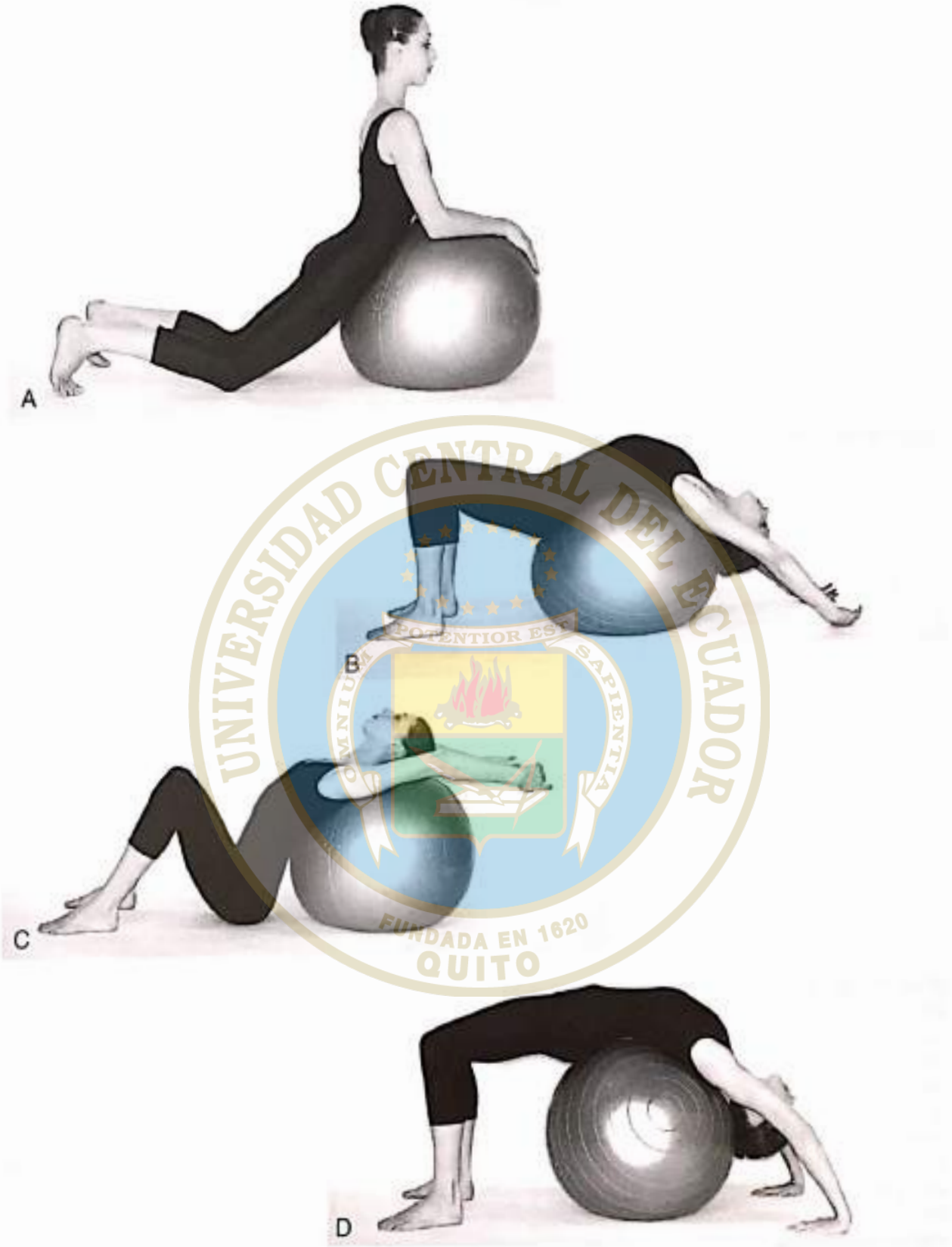
### Estiramientos para los rotadores de la columna

La flexibilidad de los músculos rotadores de la columna es necesaria para que el torso gire respecto a la pelvis, o la pelvis respecto al torso. Los bailarines a menudo son asimétricos en este movimiento, y los estiramientos por el lado de menor movilidad ayudan a mejorar la simetría. No obstante, si la génesis de la asimetría es una escoliosis, cualquier estiramiento o fortalecimiento deberá practicarse bajo la dirección de un fisioterapeuta cualificado. El *twist* en decúbito supino (tabla 3.7F) es un estiramiento para los músculos rotadores de la columna. Cuando practiques este estiramiento, céntrate en mantener la columna extendida y trata de girar sobre un eje central sin que las costillas se desplacen lateralmente.

## Lesiones de espalda en los bailarines

Debido a la debilidad estructural inherente y a las grandes fuerzas que soporta por el peso del cuerpo, por las fuerzas externas y por la contracción de los músculos, la columna lumbar es especialmente propensa a las lesiones. Las lesiones de espalda parecen mostrar una elevada incidencia en deportes que implican: 1) cargas de peso y elevadas fuerzas de compresión; 2) giros forzados, y 3) actividades que conllevan hiperextensión de la columna, como la natación competitiva (60%), el atletismo (48%) y la halterofilia (40%) (Aggrawal, Kaur y Kumar, 1979; Mutoh, 1978).

Como la danza contiene algunos de estos elementos, no sorprende que las lesiones de espalda sean predominantes. Un estudio sobre bailarines de Broadway documentó que un 26% de ellos habían sufrido una lesión de espalda o cuello durante los ensayos, mientras que el 45% de las lesiones en estas áreas ocurrían durante la temporada (Evans, Evans y Carvajal, 1996). Un estudio sobre bailarines de ballet profesional en Suecia halló que un 69% en 1989 y un 82% de los bailarines encuestados en 1995 habían sufrido lumbalgia alguna vez en los 12 meses previos (Ramel, Moritz y Jarnlo, 1999). Otro estudio registró que del 60% al 80% de los baila-




UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

FIGURA 3.47. Aumento de la amplitud de la hiperextensión de la columna. (A) *Press-up* del torso; (B) hiperextensión pasiva de toda la columna vertebral; (C) hiperextensión pasiva de la porción superior de la espalda; (D) arqueamiento de la porción superior de la espalda en decúbito supino.

rines de ballet y danza moderna tienen antecedentes de lesiones de espalda, mientras que otras dos encuestas sobre un margen de tiempo mayor registraron incidencias del 86% (Clippinger-Robertson, 1985) o superiores (Seitsalo *et al.*, 1997). Probablemente porque muchos bailarines sufren lesiones múltiples y algunos no acuden al médico para tratarse la lumbalgia, el porcentaje registrado de lesiones en la columna es menor de lo que podría sospecharse por las encuestas, a menudo ocupando el segundo lugar, detrás de las lesiones de tobillo y pie. Algunos porcentajes del total de lesiones en la columna fueron un 31% en los bailarines profesionales de ballet (Garrick y Requa, 1993), un 17% en los bailarines de danza moderna (Bronner, Ojofeitimi y Rose, 2003), un 18% en los estudiantes de danza universitarios (Rovere *et al.*, 1983), un 20-50% en los bailarines de flamenco (Salter-Pedersen y Wilmerding, 1998) y un 18-34% en los bailarines de Broadway (Evans, Evans y Carvajal, 1996).

También vale la pena reparar en que las lesiones de espalda pueden requerir estar más tiempo alejados de la danza que otros tipos de lesiones, en algunos casos semanas, meses o incluso un año entero (Micheli, 1983). Además, las lesiones vertebrales suelen derivar en dolor de espalda recurrente o crónico. Una encuesta a bailarines adultos de varios estilos documentó que el 17% de todos los bailarines y el 23% de los bailarines con escoliosis referían una historia de lumbalgia recidivante o crónica (Liederbach, Spivak y Rose, 1997).

## Prevención de las lesiones de espalda

Teniendo en cuenta la relativamente elevada incidencia de lesiones y el riesgo potencial de sufrir patologías recidivantes o más graves, los bailarines deben adoptar medidas agresivas para prevenir las lesiones de espalda. Los bailarines pueden reducir el riesgo calentando correctamente antes de practicar movimientos exigentes; centrándose en una correcta estabilización abdominal y alineación de la columna; desarrollando técnicas de *porté* mecánicamente seguras; desarrollando suficiente fuerza en los abdominales, extensores de la columna y extremidades superiores, y desarrollando o manteniendo una adecuada flexibilidad de la columna vertebral, las caderas y los hombros.

## Tipos habituales de lesiones lumbares en los bailarines

Aquí describiremos unas cuantas lesiones de espalda habituales, si bien los mismos síntomas de lumbalgia pueden tener su origen en distintas afecciones, como infecciones, tumores, afecciones reumatológicas como la artritis reumatoide, anomalías congénitas, enfermedad de Scheuermann, y lesiones agudas y crónicas (Gerbino y Micheli, 1995; Weiker, 1982). Por tanto, se subraya que todo bailarín que experimente dolor de espalda intenso o persistente acuda al médico para una evaluación y tratamiento adecuado. Se desaconseja tratarse uno mismo porque son muchas las causas de lumbalgia, los tratamientos para un tipo de lesión pueden agravar otras, y algunas afecciones tienen graves consecuencias si no se diagnostican correctamente y reciben tratamiento inmediato.

### Distensiones y esguinces lumbosacros

Las **distensiones** o esguinces **lumbosacros** están causados por un estiramiento excesivo con la consiguiente lesión de los músculos extensores de la columna, los ligamentos de la columna o ambos. Las distensiones lumbosacras se suelen producir por movimientos extremos de la columna, por contracciones concéntricas muy forzadas, por contracciones excéntricas forzadas para desacelerar el torso, por la ejecución a destiempo de un movimiento, o por un esfuerzo repentino e inesperado durante el acarreo de un objeto pesado. En el ámbito laboral, estas lesiones a menudo se producen por un esfuerzo muscular excesivo asociado con la flexión y giro del cuerpo de forma asimétrica (Caillet, 1996). Durante el levantamiento de objetos pesados o de una bailarina, los músculos pequeños de la columna (p. ej., grupo posterior profundo) con brazos de palanca cortos tienen que contrarrestar grandes fuerzas externas con grandes brazos de momento, y la lesión puede sobrevenir en cualquier momento. Las distensiones lumbosacras se pueden producir tras un único traumatismo, y el bailarín tal vez describa un «bloqueo» en la espalda y diga que «no puede moverse». En otros casos, el inicio es gradual y se produce tras tensiones repetitivas en los ensayos de danza que superan la capacidad de recuperación.

Las distensiones lumbosacras se caracterizan por dolor de espalda localizado que se alivia con el reposo y se agudiza con la actividad. A menudo se aprecian espasmos musculares en uno o ambos lados de la columna. Los síntomas tienden a desaparecer con relativa rapidez si no hay una patología subyacente más grave, como una lesión discal u ósea (Mercier, 1995). Aproximadamente dos tercios de las personas quedarán libres de síntomas y podrán rendir bien en el trabajo o el deporte en unas dos semanas (Harvey y Tanner, 1991), y el 90% de estas lesiones se resuelven en dos meses (Deckey y Weidenbaum, 1997).

### Lumbalgia mecánica

La **lumbalgia mecánica** provoca un dolor continuo y fijo localizado en la región lumbar sin una causa anatómica bien definida. Se suele asociar con hiperlordosis lumbar. Suelen padecer lumbalgia mecánica los bailarines jóvenes, y se cree que está asociada con los rápidos tirones de crecimiento en que la musculatura lumbar y la fascia lumbodorsal tensas, la tirantez de los isquiotibiales, la tirantez de los músculos flexores de la cadera y la debilidad de los músculos

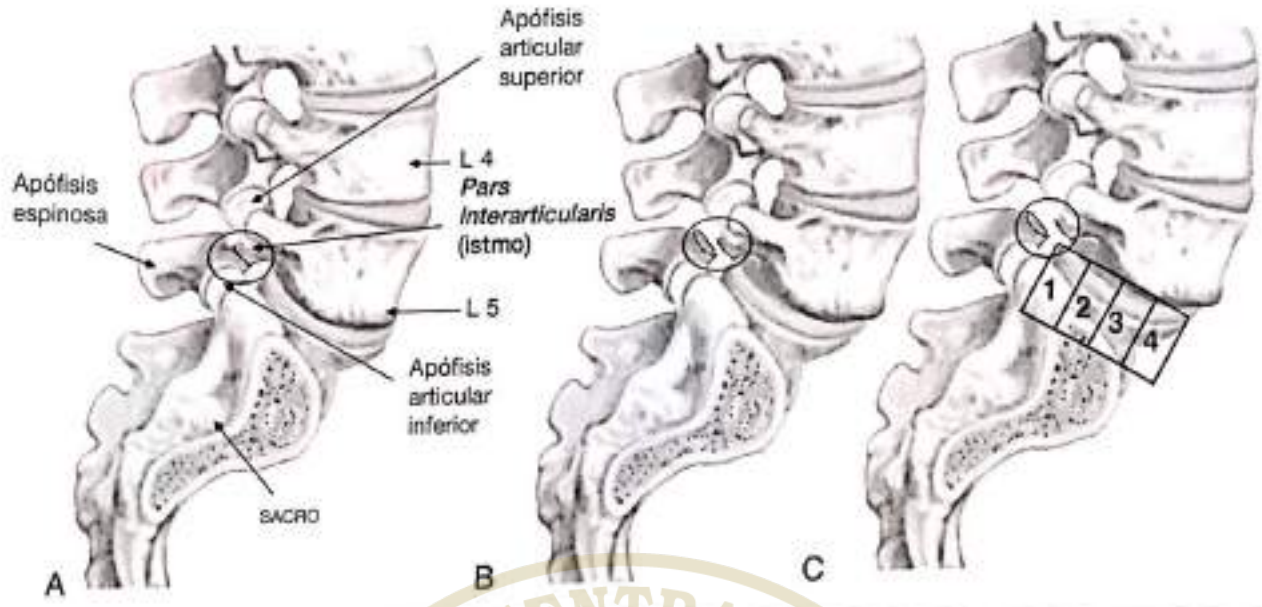



FIGURA 3.48. Espondilólisis y espondilolistesis (vista de perfil). (A) Espondilólisis; (B) espondilolistesis; (C) espondilolistesis con deslizamiento de grado 1 a 4.

abdominales causan un desequilibrio temporal que deriva en una curvatura lumbar excesiva (Micheli *et al.*, 1999). Esta hiperlordosis puede manifestarse en bipedestación o sólo en movimientos dinámicos como saltos o *porté*. En un estudio que comparó el dolor de espalda en adolescentes activos con el de los adultos, al 26% de los adolescentes se les diagnosticó dolor mecánico de espalda, mientras que ningún adulto recibió este diagnóstico (Micheli y Word, 1995).

## Espondilólisis y espondilolistesis

La **espondilólisis** (G. *spondylos*, vértebra, + *lysis*, reblandecimiento) es un defecto en la región más débil de la lámina situada entre las carillas articulares superior e inferior *(pars interarticularis)* de las vértebras, sobre todo de las vértebras inferiores de la columna lumbar (figura 3.48A). Aunque esta afección pueda ser congénita, en muchos casos el defecto se debe a una fractura por sobrecarga. Aunque intervengan otros factores, con frecuencia el mecanismo de la lesión es la hiperextensión (sobre todo combinada con rotación o carga axial), y se diagnostica mucho más en los deportistas que practican actividades que exigen un uso repetitivo de esta hiperextensión, como bailarines, gimnastas, halterófilos, linieros de fútbol americano, saltadores de trampolín y practicantes de patinaje artístico (Eck y Riley, 2004; Fehlandt y Micheli, 1993; Kotani *et al.*, 1970; Seitsalo *et al.*, 1997; Trepman, Walaszek y Micheli, 1990). Por ejemplo, mientras que la incidencia de espondilólisis en la población general de Estados Unidos ronda el 5% (Deckey y Weidenbaum, 1997), la incidencia fue unas seis veces mayor (32%) en un estudio sobre bailarines de ballet profesional (Seitsalo *et al.*, 1997).

La espondilólisis es particularmente problemática en los bailarines jóvenes. Un estudio que comparó adolescentes atléticos y adultos con lumbalgia documentó una incidencia de la espondilólisis del 47% en los adolescentes en comparación con sólo un 5% en los adultos (Micheli y Wood, 1995). Otros estudios han registrado un aumento de la incidencia de espondilólisis menos exagerada pero todavía acusada en deportistas jóvenes y sobre todo en los que practican un deporte más de 15 horas semanales (Hall, 1999).

Una afección muy relacionada con la espondilólisis es la espondilolistesis. La **espondilolistesis** (G. *spondylo*, vértebra, + *olisthesis*, deslizamiento) implica un deslizamiento anterior de una vértebra sobre la vértebra inmediatamente inferior, por lo general secundario a un caso de espondilólisis en ambos lados (figura 3.48B). Suele localizarse en la columna lumbar, siendo lo más habitual que L5 se deslice sobre S1, seguido por L4 sobre L5 (Weiker, 1982). La espondilolistesis se puede clasificar según el grado de desplazamiento anterior de la vértebra superior respecto a la anchura del cuerpo vertebral inferior, como se muestra en la figura 3.48C: 1 refleja un deslizamiento de hasta el 25%; 2 muestra un deslizamiento superior al 25% y hasta un 50%; 3 refleja un deslizamiento superior al 50% y hasta un 75%, y 4 muestra un deslizamiento superior al 75% (Mercier, 1995). Lógicamente, cuanto mayor sea el deslizamiento, mayor es el problema en términos de estabilidad vertebral, síntomas, pronóstico de vuelta a la danza y necesidad potencial de estabilizar la columna vertebral con una intervención quirúrgica.

Los síntomas de la espondilólisis y la espondilolistesis comprenden lumbalgia que a menudo se agudiza con mo-

vimientos de hiperextensión, sobre todo en apoyo monopodal (como en un *arabesque*). A menudo se aprecia dolor a la palpación directamente sobre la columna (en contraste con los músculos a ambos lados de la columna), y en algunos casos también hay dolor que irradia por las nalgas y pierna (ciática) y tirantez en uno de los isquiotibiales. En la espondilolistesis, a veces se aprecia un «saliente» causado por el desplazamiento anterior de la apófisis espinosa lumbar donde la vértebra se ha deslizado hacia delante.

Aunque la prevalencia de espondilólisis en los bailarines sea elevada, es importante ser consciente de que muchos bailarines con espondilólisis o grados menores de espondilolistesis pueden seguir con éxito su carrera en la danza, y algunos ni siquiera presentan dolor (Deckey y Weidenbaum, 1997; Seitsalo *et al.*, 1997). Cuando se detecta una espondilólisis traumática poco después de producirse, el tratamiento médico comprende inmovilización con una ortesis antilordótica y se suele conseguir la curación (Herman, Pizzutillo y Cavalier, 2003; Micheli, 1983). En otros casos, los bailarines pueden usar la cocontracción abdominal (Moeller y Rifat, 2001) e introducir modificaciones en la técnica para limitar el cizallamiento y los síntomas.

### Síndrome cigapofisario

Mientras que los síntomas de lumbalgia con la hiperextensión (como en la posición del *arabesque*) a menudo se asocian con espondilolistesis en bailarines jóvenes, en los bailarines de más edad estos síntomas pueden asociarse con el **síndrome cigapofisario** (Drezner y Herring, 2001). El mismo mecanismo de una hiperextensión y rotación forzadas y repetitivas impone tensión sobre las articulaciones cigapofisarias, así como sobre la *pars interarticularis*. Como respuesta, las articulaciones cigapofisarias y sus estructuras asociadas se inflaman y sufren cambios degenerativos (Trepman, Walaszek y Micheli, 1990). El dolor se puede localizar en el lado afectado de la columna lumbar, o puede irradiarse a la extremidad inferior.

### Hernia discal

Los discos intervertebrales tienden a sufrir degeneración con la edad y a reducir su contenido de agua, su altura y capacidad de amortiguación, su capacidad para recuperar la forma normal tras deformarse y el espesor del anillo fibroso (Deckey y Weidenbaum, 1997; Panjabi, Tech y White III, 1980). Estos factores vuelven el anillo fibroso más vulnerable a los daños, y puede permitir la extrusión del núcleo pulposo en el conducto vertebral, lo cual se denomina **hernia discal**, como se ve en la figura 3.49. La hernia discal ocurre sobre todo en la tercera o cuarta décadas de la vida, cuando los discos experimentan cambios estructurales asociados con una acusada deshidratación (aproximadamente una reducción del 35% del agua), y los discos elásticos con menos

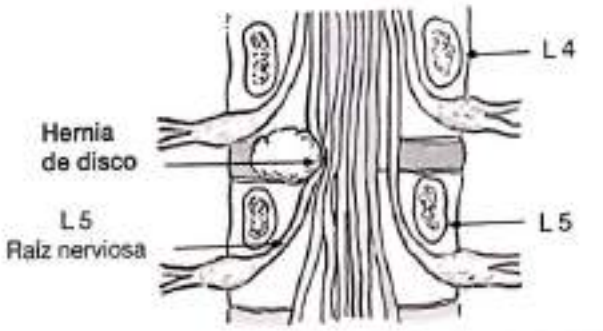



FIGURA 3.49. Hernia del disco de L4 que comprime la raíz nerviosa de L5 (vista posterior con el arco vertebral omitido).

de 30 años y los discos secos y con cicatrices por encima de los 50 años tal vez sean menos propensos a fragmentarse y desplazarse (Hall, 1999; White III y Panjabi, 1978). La hernia discal suele ocurrir en la región posterolateral del disco, donde el anillo fibroso es más delgado y el ligamento longitudinal posterior es débil. Los nervios raquídeos discurren por la porción posterolateral del disco, y por eso las hernias en esta región comprimen dichos nervios. La compresión de un nervio raquídeo puede causar dolor, entumecimiento y debilidad en áreas inervadas por el nervio comprimido.

Las hernias discales se producen con más frecuencia en la región lumbar inferior; el 95% de las lesiones lumbares ocurren en los discos localizados entre L4 y L5 o L5 y S1 (Mercier, 1995). El mecanismo de la lesión es controvertido, pero a menudo implica flexión o hiperextensión combinadas con rotación. Como en la espondilólisis, los deportes asociados con estos mecanismos parecen tener una mayor incidencia de degeneración discal; el 75% de las gimnastas de clase mundial retiradas muestran signos de degeneración discal (Sward *et al.*, 1991). La intensidad del entrenamiento a una temprana edad puede ser también un factor, y en gimnasia la incidencia de discopatías degenerativas subió del 9% al 43% y al 63% en las gimnastas de alto nivel, de elite y de nivel olímpico (Gerbino y Micheli, 1995). Un entrenamiento riguroso en la infancia, el uso habitual de la hiperextensión, el *porté* y el uso repetitivo de flexión combinada con rotación en la danza moderna son factores que pueden aumentar el riesgo potencial de lesión discal en los bailarines.

El inicio de los síntomas puede ser repentino o más difuso. Uno de los síntomas clásicos primarios de una lesión discal lumbar es dolor que irradia de la espalda o la nalga a la cara posterior o posterolateral del muslo, a lo cual se llama **ciática**, que puede acompañarse de debilidad o entumecimiento en determinadas áreas de la extremidad inferior (dependiendo de los nervios afectados). El dolor tiende a exacerbarse al toser, estornudar, con la maniobra de Valsalva, o al estar mucho tiempo sentado; todo lo cual aumenta la presión en el disco. Sentarse reduce la lordosis de

la columna lumbar, lo cual genera un desplazamiento anterior relativo del centro de gravedad (aumento del brazo de palanca), y se incrementa la presión en los discos intervertebrales (figura 3.36, pág. 115). El bailarín tal vez se incline adelante o lejos del lado afectado, una táctica que puede aumentar el espacio dentro del agujero intervertebral y reducir la presión sobre la raíz del nervio comprimido. Suele detectarse dolor a la palpación en la línea media de la región lumbar, y a menudo son evidentes los espasmos en los músculos de la columna. No obstante, los adolescentes con hernias de disco a veces presentan dolor de espalda y tirantez en los isquiotibiales, pero poco dolor irradiado clásico ni signos neurológicos (Deckey y Weidenbaum, 1997).

Como con la espondilólisis, las lesiones discales no implican necesariamente dolor crónico ni imposibilidad de bailar. Primero, casi el 25% de los adultos sanos sin lumbalgia muestran signos de hernia discal (Caillet, 1996); la localización de la hernia respecto al tamaño del conducto vertebral y el efecto sobre la estabilidad del segmento móvil pueden ser críticos para determinar si hay dolor asociado (Levangie y Norkin, 2001). Segundo, cada vez hay más pruebas de la capacidad del disco para curarse, aunque a costa de la formación de mucho tejido cicatrizal y tal vez tras 12 a 18 meses. Parece que el recambio metabólico del colágeno discal es lento, por lo que la reparación también lo es (Adams y Hutton, 1982). E incluso bailarines que al principio muestran síntomas muy debilitantes son capaces de volver a la danza profesional un tiempo después. Y finalmente, es importante reparar en que otras enfermedades pueden imitar los síntomas de una hernia de disco, como el síndrome del piriforme, del que se habla en el capítulo 4.

## Rehabilitación de las lesiones lumbares

Los métodos de tratamiento varían y dependen de muchos factores, como el tipo de lesión, la gravedad de los síntomas, la edad del bailarín y el método preferido por el profesional médico. Los estudios sugieren que la lumbalgia mejora en el 70% de los pacientes en un plazo de tres semanas y en el 90% en dos meses sin importar el tipo de tratamiento (White III y Panjabi, 1978). No obstante, en los bailarines el tiempo es esencial, y contar con suficiente rehabilitación para prevenir recidivas es vital para la supervivencia en el mundo profesional. Por tanto, se recomienda encarecidamente trabajar con un fisioterapeuta experto que conozca las exigencias de la danza.

El tratamiento inicial suele consistir en reposo relativo, antiinflamatorios, técnicas de tratamiento y ejercicio terapéutico (Weiker, 1982). Fíjate en que se usa el término «reposo relativo» y que se ha descartado el reposo total en cama para la lumbalgia (excepto los primeros días en las lesiones más graves) para evitar pérdidas sustanciales no deseadas de masa, fuerza y flexibilidad musculares, y de densidad ósea (Saal, 1988a, 1988b). Un estudio mostró una reducción cercana al 50% del tamaño normal de los músculos sacroespinales de pacientes confinados en cama más de tres semanas (Imamura *et al.*, 1983). A veces se prescriben modalidades terapéuticas como hielo, calor, ultrasonidos, estimulación eléctrica o masaje con el fin de reducir el dolor y los espasmos musculares. En algunos tipos de lesiones, las técnicas de movilización articular se usan para restablecer la movilidad normal entre segmentos de la columna (Caillet, 1996; Saal, 1988a). Una actividad suave como el ejercicio acuático o el caminar a veces es útil para reducir el dolor y el espasmo muscular, y restablecer la función fisiológica normal.

Por lo que al ejercicio terapéutico se refiere, las controversias y protocolos quedan fuera del alcance de este libro, pero presentamos un breve repaso de algunos principios corrientes. Muchos tipos de lesiones lumbares, como el dolor lumbar mecánico, el síndrome cigapofisario, la espondilólisis y la espondilolistesis, y algunos tipos de distensiones lumbosacras, responden mejor inicialmente a los ejercicios de flexión y pueden agravarse con la adición de ejercicios de extensión (Drezner y Herring, 2001). La flexión tiende a estirar la fascia toracolumbar, a reducir la lordosis lumbar y a aliviar las fuerzas de cizallamiento anterior, lo cual supone un alivio en casos de lumbalgia mecánica o espondilolistesis. La flexión también aumenta la separación de los pedículos en la región lumbar y disminuye las fuerzas de compresión en las articulaciones cigapofisarias, reduciendo potencialmente los síntomas cuando estas estructuras son el origen del dolor (espondilólisis y síndrome cigapofisario). Además, la flexión causa un acusado incremento de la capacidad del conducto vertebral (Liyang *et al.*, 1989), así como un aumento del 30% de la anchura del agujero intervertebral (Soderberg, 1986), lo que proporciona alivio cuando hay presión sobre una raíz nerviosa. Los ejercicios de flexión suelen incluir suaves ejercicios de fortalecimiento abdominal dentro de una amplitud reducida para limitar la presión en los discos intervertebrales (p. ej., retroversiones de la pelvis y *curl-ups* pequeños), así como suaves estiramientos para los músculos extensores de la columna (p. ej., las dos rodillas al pecho en decúbito supino) y los isquiotibiales dentro de una amplitud indolora. Otros métodos para evitar la lordosis son el uso de ortesis, poner un pie en un escalón cuando estemos mucho tiempo de pie, mantener las rodillas a la altura o por encima de las caderas en sedestación, usar los abdominales para mantener una alineación neutra de la columna, evitar dormir boca abajo (a menudo se recomienda dormir de lado con una almohada entre las rodillas para muchos tipos de lesiones de espalda) y evitar el calzado de tacón alto. Respecto a la danza, cuando se vuelva a bailar, a menudo se evitan inicialmente los levantamientos por encima de la cabeza, los saltos y la hiperextensión de la espalda.

A diferencia de las lesiones que acabamos de exponer, las hernias discales agudas a menudo responden de forma opuesta y se suelen agravar al flexionar la espalda y aliviar con ejercicios de extensión (Harvey y Tanner, 1991; Saal,

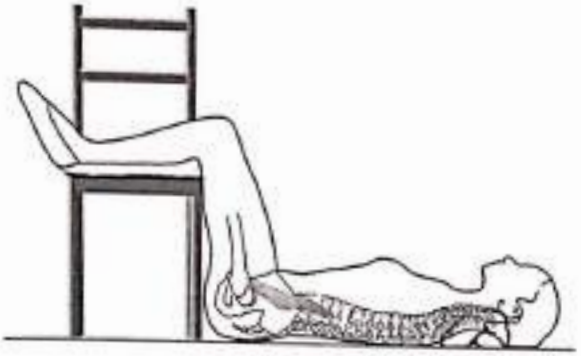


FIGURA 3.50. Posición en reposo que a menudo se recomienda para aliviar la lumbalgia.

1988a). La presión intradiscal aumenta con la flexión de la columna, y por eso los ejercicios de tipo *curl-up* se suelen evitar y se sustituyen por ejercicios isométricos de abdominales o de estabilización durante los estadios iniciales del tratamiento. La hiperextensión pasiva (como el *press-up* en decúbito prono, tabla 3.7C) a menudo proporciona una reducción del dolor o una centralización del dolor, y los ejercicios de extensión de McKenzie (McKenzie, 1981) pasan gradualmente de pasivos a activos. No obstante, es importante reparar en que los ejercicios de hiperextensión activa también aumentan la presión discal y se deben practicar bajo dirección médica y dentro de una movilidad indolora. También se recomienda tumbarse sobre la espalda con las piernas elevadas sobre almohadas o apoyadas en el asiento de una silla (figura 3.50) para el alivio temporal del dolor de espalda de origen discal (y para muchos otros tipos de dolor de espalda). El decúbito supino reduce la presión en el disco, mientras que la flexión de las caderas y rodillas reduce la tensión potencial en el psoasilíaco y el estiramiento potencial del nervio ciático. También se hacen recomendaciones para las actividades de la vida diaria que tienden a preservar la curvatura lumbar, como usar apoyos lumbares y no estar mucho tiempo sentados o en posturas flexionadas. Respecto a la danza, cuando se permite volver a ensayar, al principio se suelen evitar los saltos, las elevaciones, la flexión completa de la columna, la flexión con rotación y la hiperextensión extrema para luego reintroducirlos de forma gradual a medida que la curación y los síntomas lo permitan.

A medida que el dolor remite y avanza la curación, los tratamientos para los distintos tipos de lesiones se vuelven más parecidos e incorporan el desarrollo equilibrado de la fuerza y flexibilidad de toda la musculatura de la columna, el desarrollo o restablecimiento de la flexibilidad en la columna y las caderas (sobre todo en la región lumbar, los flexores de cadera y los isquiotibiales), la corrección de cualquier problema técnico o de la alineación de la columna, y el restablecimiento de la estabilización central normal. Los estudios sobre personas con lumbalgia crónica han revelado un retraso e interrupción del patrón de activación normal de los abdominales antes del movimiento de las extremidades (Hodges y Richardson, 1996), una interrupción en la sincronización y en el grado de activación de los músculos de la columna de ambos lados (Grabiner, Koh y Ghazawi, 1992), atrofia muy localizada del músculo multífido debida tal vez a inhibición neural (Hides *et al.*, 1994), atrofia de las fibras tipo II de los extensores de la columna, aumento de la oscilación en bipedestación y reducción de la capacidad de mantener el equilibrio en posiciones difíciles (Laskowski, Newcomer-Aney y Smith, 1997). Por eso, el éxito de la rehabilitación parece requerir no sólo un adecuado fortalecimiento (de intensidad suficiente como para reclutar las fibras tipo II) de los músculos del tronco, sino también el restablecimiento de las funciones normales de estabilización y la coordinación neuromuscular (Richardson, Hodges y Hides, 2004). Es muy importante que los bailarines participen en su puesta en forma a largo plazo que aborde estos temas y las exigencias específicas de su tipo de danza, y que no interrumpan estos ejercicios cuando el dolor disminuya, ya que se han documentado índices elevados de recidivas del dolor de espalda de hasta un 40-60% (Roy e Irvin, 1983).

## Lesiones de la porción superior de la espalda y de cuello en bailarines

Mientras que las lesiones de columna se producen con mucha más frecuencia en el área lumbosacra en la población general y en ballet, en algunos tipos de danza, las lesiones de la porción superior de la espalda y de cuello son bastante prevalentes. Un estudio de bailarines profesionales de ballet documentó que sólo el 9% de las lesiones de columna ocurrían en la región torácica y el 16% en la columna cervical (Garrick y Requa, 1993), mientras que un estudio sobre estudiantes de danza registró que un 21% de las lesiones eran en la columna dorsal y un 10% en la columna cervical; pero se reparó en que las distensiones cervicales y en la porción superior de la espalda eran casi el doble en los bailarines de danza moderna que en los bailarines de ballet (Rovere *et al.*, 1983). Se registró una frecuencia incluso mayor de lesiones de cuello y de la región superior de la espalda en los bailarines de Broadway durante la temporada teatral; el 29,4% de las lesiones de columna afectó la porción superior de la espalda, y el 35,3%, el cuello (Evans, Evans y Carvajal, 1996). Por eso parece que el distinto uso de la cabeza y cuello en la danza moderna y jazz aumenta el riesgo de lesión en la porción superior de la columna vertebral.

Una **distensión** en el cuello suele implicar daños en ligamentos, tendones y la musculatura del cuello. No obstante, muchas lesiones de la región lumbar también se producen en la región cervical, como hernias discales, espondilólisis y espondilolistesis. Dado el tamaño relativamente pequeño de las vértebras que soportan el peso relativamente grande

de la cabeza, no sorprende que haya lesiones en esta región. En una gran muestra de personas, la degeneración de los discos cervicales se documentó en el 12% de las mujeres y el 17% de los hombres de 20 años, y en el 89% de las mujeres y el 86% de los hombres de más de 60 años, a menudo indolora (Levangie y Norkin, 2001). Como en el caso de la columna lumbar, la columna cervical es vulnerable a la hiperextensión o flexión forzadas, sobre todo cuando se combinan con rotación. Son ejemplos los movimientos aislados y rodamientos de cabeza en la danza jazz y las danzas africanas. Los bailarines que practican estos tipos de danza deben comenzar ejecutando estos movimientos con una amplitud reducida hasta desarrollar suficiente fuerza.

Otra vulnerabilidad del cuello ocurre con la flexión lastrada, como en los saltos mortales hacia atrás rodando sobre un hombro. Aunque sea un área controvertida, otros estiramientos de la región lumbar se pueden sustituir por el ejercicio del arado, que no impone tensiones tan grandes al cuello. Respecto a los rodamientos sobre los hombros, estos movimientos se deben reservar para los bailarines más avanzados con destreza y flexibilidad adecuadas para que el peso del cuerpo pueda descansar sobre un hombro y no sobre el cuello. Finalmente, las lesiones en esta región pueden estar relacionadas con el levantamiento de bailarinas y el uso de los brazos por encima de la cabeza, y pueden afectar los músculos que estabilizan y mueven los omoplatos (véase el capítulo 7), así como los músculos que estabilizan y mueven la cabeza y porción superior de la columna vertebral.

El tratamiento varía de acuerdo con las estructuras afectadas y la gravedad de la lesión, pero suele consistir en antiinflamatorios y técnicas como masajes con hielo y masajes mecánicos (Micheli, 1988). A menudo se recomiendan estiramientos y movimientos suaves para mantener el grado de movilidad y, más adelante, ejercicios de fortalecimiento (a menudo isométricos que luego pasan a ser isotónicos) para los músculos extensores de la porción superior de la espalda y los músculos de la región del hombro. Además, es importante reparar en que el dolor persistente en la región superior de la espalda en los adolescentes puede ser un signo de enfermedad de Scheuermann, por lo que un temprano examen médico es esencial.

## Resumen

La columna vertebral acoge la vulnerable médula espinal y ofrece puntos de inserción a músculos y ligamentos. Su localización central la vuelve especialmente importante para el movimiento y vulnerable a las lesiones. En una postura erguida, la columna vertebral sostiene y permite los movimientos de la cabeza, ayuda a sostener las extremidades superiores y es una conexión importante con las extremidades inferiores por medio de la cintura pélvica. La columna vertebral se compone de 33 vértebras unidas (entre C2 y S1) por un disco intervertebral entre sus cuerpos y por articulaciones artrodiales entre sus apófisis articulares. Aunque la movilidad es limitada en cada articulación, las articulaciones permiten en conjunto grandes amplitudes de movimiento de la columna, a saber, flexión, extensión, lateroflexión y rotación. Las vértebras y discos son recorridos por numerosos ligamentos poderosos que aportan estabilidad, y posteriormente por tres capas de músculos extensores –el grupo posterior profundo, el semiespinoso y el erector de la columna– que generan extensión, lateroflexión y rotación de la columna vertebral. En sentido anterior, tres de los grupos de músculos abdominales –rectos del abdomen, oblicuos externos y oblicuos internos del abdomen– son capaces de generar flexión, lateroflexión y rotación de la columna de forma indirecta por medio de sus inserciones en la pelvis y el tórax. Lateralmente, el cuadrado lumbar genera lateroflexión pura de la columna. Además de su papel en el movimiento, los músculos de la columna son importantes para la postura, y aportan estabilidad y protección primordiales a la columna.

Cuando se analiza el movimiento de la columna vertebral, es importante tener presente el efecto de la gravedad. En la posición ortostática, la gravedad se vuelve con rapidez la fuerza primaria en muchos movimientos, y los músculos de acciones antagonistas se usan excéntricamente para controlarla, y concéntricamente para devolver el tronco a una posición erguida. Cuando la posición no es erecta, la relación con la gravedad influye de nuevo en los músculos que generan y controlan los movimientos deseados. Este concepto es importante para diseñar programas eficaces de fortalecimiento de la columna, así como para conocer algunos de los riesgos inherentes a la danza. Por desgracia, las lesiones de espalda son muy abundantes en danza, si bien se puede reducir mucho el riesgo de lesión mediante el fortalecimiento de los músculos abdominales y extensores de la columna, con el mantenimiento de una amplitud de movimiento adecuada en la columna, y utilizando una técnica cuidadosa para lograr el efecto estético deseado en los movimientos y reducir al mínimo los riesgos inherentes.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Dibuja y describe las partes básicas de una vértebra típica. ¿Qué relación guardan esas partes con la médula espinal, los nervios raquídeos y el disco intervertebral?

2. Describe la localización de los ligamentos longitudinales anterior y posterior, y los movimientos de la columna que más limitan.

3. Di por qué la articulación lumbosacra es especialmente vulnerable a las lesiones. Teniendo estos factores en cuenta, enumera tres movimientos de danza que pongan en peligro esta articulación, y di la razón. ¿Cómo se puede reducir este riesgo?

4. Localiza los siguientes músculos o grupos musculares en ti o un compañero, y practica las acciones que estos músculos generan mientras palpas su contracción: (a) rectos del abdomen, (b) oblicuos externos del abdomen, (c) oblicuos internos del abdomen, (d) erector de la columna.

5. Observa las curvaturas normales de la columna en el plano sagital en un esqueleto o un dibujo. Describe la dirección de estas curvas al nacer y en la vida adulta. Da el nombre de estas curvaturas cuando son anormales, y di un ejercicio de fortalecimiento útil para mejorar dichas afecciones.

6. Define la presión intraabdominal. ¿Cómo se pueden potenciar sus efectos protectores?

7. Practica movimientos de flexión, extensión y lateroflexión de la columna en bipedestación. Manteniendo presente la influencia de la gravedad, describe los músculos que más trabajan en cada movimiento durante la fase ascendente y la descendente. A continuación, gira la columna en bipedestación. ¿En qué se diferencia la influencia de la gravedad en este movimiento?

8. Selecciona una combinación usada para el calentamiento de la clase que impartes o a la que acudes, y que se encamine al «calentamiento de la columna». Evalúa su eficacia y riesgo. ¿Hay algo que se pueda hacer para mejorar este ejercicio de calentamiento desde una perspectiva anatómica?

9. Describe cuatro elementos para mejorar la seguridad de la región lumbar cuando practiques un *porté*.

10. Adopta con cuidado una postura con la espalda plana usada habitualmente en danza jazz y otras formas de danza moderna. Analiza el torque que soporta la columna lumbar en esta posición (torque de la resistencia) y expón por qué «el rodamiento hacia abajo» de la cabeza cerca de la columna altera este torque. Si la coreografía exige una posición plana de la espalda, ¿qué puede hacer el bailarín para reducir la tensión sobre la región lumbar?

11. Practica un análisis del movimiento de elevación de ambas piernas en decúbito supino, y describe el papel de los músculos abdominales, los extensores de la columna y los flexores de la cadera en este ejercicio en comparación con un *curl-up*. Expón los beneficios y riesgos relativos de este ejercicio y la forma de modificarlo para reducir el riesgo. ¿Cómo se relaciona la paradoja del psoas con este ejercicio?

12. Usando el *curl-up* como ejercicio básico, aporta cinco variaciones que apliquen los principios expuestos para mejorar la eficacia del fortalecimiento de los abdominales. ¿Qué órdenes se pueden dar para reducir el riesgo de los ejercicios?

13. Practica un ejercicio de fortalecimiento y otro para el estiramiento de los músculos extensores de la columna. ¿Cómo se modifica un ejercicio de fuerza para potenciar la región superior y no la inferior de la espalda? ¿Qué órdenes se pueden usar para mejorar la seguridad de los ejercicios de fortalecimiento de los músculos extensores de la espalda?

14. Di por qué algunas lesiones corrientes de columna responden inicialmente mejor a la rehabilitación basada en flexiones mientras que otras mejoran más con una rehabilitación basada en extensiones.

15. En bailarines menos entrenados, los saltos se suelen acompañar de un movimiento de «bombeo» en que el torso se mueve hacia atrás en la fase ascendente del salto y hacia delante en la fase descendente. Describe los músculos y órdenes que podrías usar para prevenir estos movimientos no deseados del tronco.

# La cintura pélvica y la articulación coxofemoral

© Fotografía de Angela Sterling. Bailarina, Noelani Pantastico, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
OMNIUM SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

En este capítulo la atención se centra en las estructuras y movimientos de la región de la cadera. Las dos mitades de la pelvis forman la cintura pélvica. Ésta cumple el importantísimo papel de conectar las extremidades inferiores con el esqueleto axial. La articulación coxofemoral, formada por el fémur y la pelvis, se caracteriza por su excepcional estabilidad, esencial para soportar las enormes fuerzas asociadas con la locomoción y el ortostatismo. No obstante, a pesar de su predisposición estructural a la estabilidad, la articulación coxofemoral permite un grado sorprendente de movilidad que los bailarines se esfuerzan por mejorar hasta un grado rara vez visto en otros deportes. La movilidad pasiva y activa de la cadera es una de las características que distinguen a los bailarines de elite, como muestra el movimiento de la fotografía de la página 157. Para potenciar esta movilidad sin provocar lesiones, es especialmente importante que los bailarines conozcan la estructura y función de la región de la cadera.

Este capítulo presenta la anatomía y mecánica básicas de la cintura pélvica y la articulación coxofemoral, que influyen en el rendimiento óptimo y en la vulnerabilidad de esta articulación a las lesiones. Los temas tratados son los siguientes:

- Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la cadera.
- Estructura articular y movimientos de la cintura pélvica.
- Estructura articular y movimientos de la cadera.
- Descripción y funciones de los músculos específicos de la cadera.
- Alineación y desviaciones habituales de la región de la cadera.
- Mecánica de la pelvis y la cadera.
- Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la cadera.
- Consideraciones clave sobre la cadera respecto al movimiento del cuerpo.
- Consideraciones especiales sobre la cadera en la danza.
- Ejercicios de acondicionamiento para la cadera.
- Lesiones de cadera en los bailarines.

## Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la cadera

Las partes laterales de la pelvis se llaman **hueso coxal** o hueso innominado, y cada una está compuesta por tres huesos –el ilion (L. *ingle*, flanco), el isquion (G. *ischion*, cadera) y el pubis (L. *pulvis*, genitales), como se ve en la figura 4.1–, que se fusionan en uno solo hacia los 15 ó 16 años de edad. El ilion es un hueso plano, el mayor de los tres, que

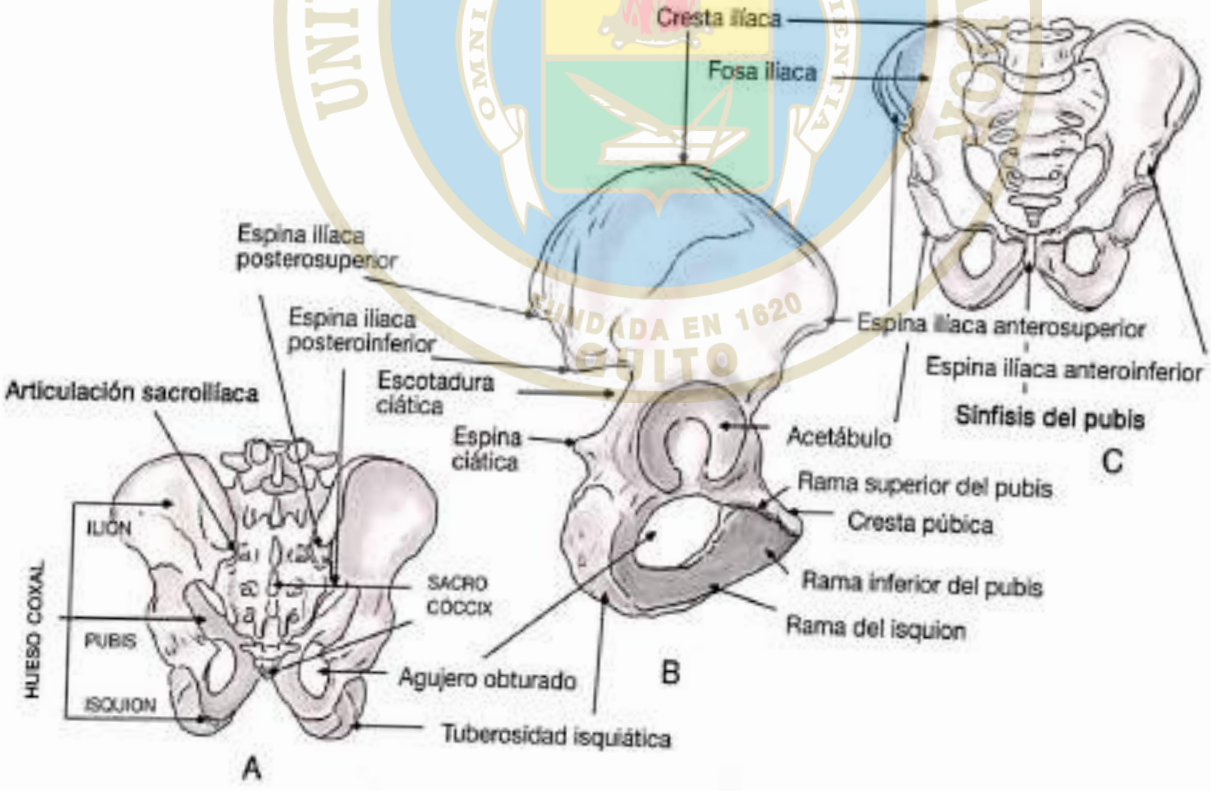



FIGURA 4.1. Huesos y puntos anatómicos de referencia de la pelvis. (A) Vista posterior; (B) vista de perfil; (C) vista anterior.

forma la porción superolateral «alada» de la pelvis. Su superficie interna, que es grande, lisa y cóncava, se denomina **fosa ilíaca**, como se muestra en la figura 4.1C. El borde superior convexo del ilion se llama **cresta ilíaca** y es fácil de palpar debajo de la cintura en los costados del cuerpo, por donde se extiende hacia delante y atrás. La porción superior de la cresta ilíaca se suele situar a nivel del espacio sito entre las apófisis espinosas de la IV y V vértebras lumbares (L4-L5). Si se sigue el curso de las crestas en dirección anterior, comienzan a curvarse en sentido descendente, y las prominencias óseas apreciables en la cara anterior de la pelvis se llaman **espinas ilíacas anterosuperiores.** Si se palpan las crestas en dirección posterior, se apreciarán unas prominencias rugosas y más anchas, las **espinas ilíacas posterosuperiores,** como se ve en la figura 4.1A. Estos puntos óseos de referencia a menudo se abrevian como EIAS y EIPS, respectivamente, y son claves para evaluar la alineación y simetría pélvicas.

El isquion es un hueso irregular y el más fuerte de los tres. Se localiza en la porción posteroinferior de la pelvis. La porción más inferior de este hueso presenta eminencias rugosas sobre las cuales tomamos asiento y que se denominan **tuberosidades isquiáticas** (L. *tuber*, nudo) (figura 4.1B). Son fáciles de palpar sentados en una silla e inclinándonos hacia delante mientras situamos los dedos debajo de la pelvis por detrás. A continuación, iniciamos un lento balanceo del peso hacia atrás hasta sentarnos erguidos, momento en que se aprecian las tuberosidades ejerciendo presión sobre los dedos. También se pueden palpar de pie colocando las yemas de los dedos en la porción inferior de las nalgas e inclinando lentamente el tronco un poco hacia atrás y hacia delante. Este punto óseo de referencia es clave para enseñar las rotaciones externas y la alineación de la pelvis. Las tuberosidades isquiáticas se sitúan aproximadamente en el mismo plano horizontal que los trocánteres menores de los fémures.

Una porción delgada y plana del isquion, llamada **rama**, asciende hacia delante y se une con la **rama inferior del pubis**, como se ve en la figura 4.1B. El pubis también es un hueso irregular y se localiza en la porción anteroinferior de la pelvis. La **rama superior** del pubis, plana y delgada, asciende hasta unirse con el ilion. Estas ramas, así como otras porciones del pubis y el isquion, forman un gran orificio en la pelvis llamado **agujero obturado**. Es el orificio más grande del cuerpo. El agujero obturado está cubierto por una membrana, y esta membrana y los huesos circundantes ofrecen puntos de inserción para los músculos clave en la ejecución de los *en dehors* en danza (los músculos rotadores externos profundos).

Cada hueso coxal contiene también una cavidad con forma de herradura, compuesta de elementos del ilion, el isquion y el pubis, y que se llama **acetábulo** (L., vaso o copa poco profunda), como se ve en la figura 4.1B. Su borde inferior es incompleto, y el hueco se denomina escotadura acetabular. El extremo proximal esférico del fémur, la **cabeza del fémur** (L. *femur*, muslo), como se ve en la figura 4.2, se encaja en esta cavidad o acetábulo. Distal a la cabeza, el fémur se adelgaza y forma el **cuello del fémur**. En este punto de unión se localizan dos grandes relieves óseos. El mayor se orienta lateralmente y se denomina **trocánter mayor** (L., prominencia ósea mayor). El más pequeño, situado en la cara medial de la porción superior del fémur, se llama **trocánter menor.** La línea que discurre entre estas prominencias por la cara anterior del fémur se denomina **línea intertrocantérea**, mientras que la cresta prominente situada en el dorso de la diáfisis del fémur se llama **línea áspera,** como se muestra en la figura 4.2B.

Se puede localizar el trocánter mayor del fémur poniendo el pulgar sobre la cara lateral de la cresta ilíaca y bajando por el muslo con el dedo corazón. Al rotar la pierna en sentido interno y externo, palparás el trocánter mayor que se mueve bajo la piel. Este punto óseo de referencia es útil para evaluar la mecánica de la cadera y la alineación del cuerpo. En bipedestación, la punta del trocánter mayor está aproximadamente nivelada con el centro de la cabeza del fémur.

Al estudiar los huesos que forman la pelvis es interesante reparar en que se trata de una región singular del esqueleto donde existen acusadas diferencias relacionadas con el sexo, necesarias para cumplir las exigencias del parto. La pelvis femenina es por lo general más ancha, con más espacio y menos vertical que la del hombre, y presenta un estrecho superior de la pelvis más ancho y un estrecho inferior de la pelvis más grande. El cóccix y el sacro también se sitúan más posteriormente que en el hombre (Mercier, 1995; Moore y Dalley, 1999). En contraste, la pelvis del hombre es más estrecha y profunda.

## Estructura articular y movimientos de la cintura pélvica

El hueso coxal se une firmemente al sacro en sentido posterior en las articulaciones sacroilíacas, y en sentido anterior con su homólogo en la sínfisis del pubis para formar una estructura sólida, la cintura pélvica. La cintura pélvica constituye un eslabón entre las extremidades inferiores y el esqueleto axial, y la articulación lumbosacra es vital para describir los movimientos de la pelvis respecto al esqueleto axial. La cintura pélvica también protege y sujeta los órganos del área abdominal inferior y, en la mujer, el feto en desarrollo.

### *Sínfisis del pubis*

La **sínfisis del pubis** (G. *symphysis*, que crecen juntos) es una articulación cartilaginosa (figura 4.1C) fuertemente reforzada por ligamentos por todos lados. Normalmente, esta articulación sólo permite un mínimo movimiento, impor-

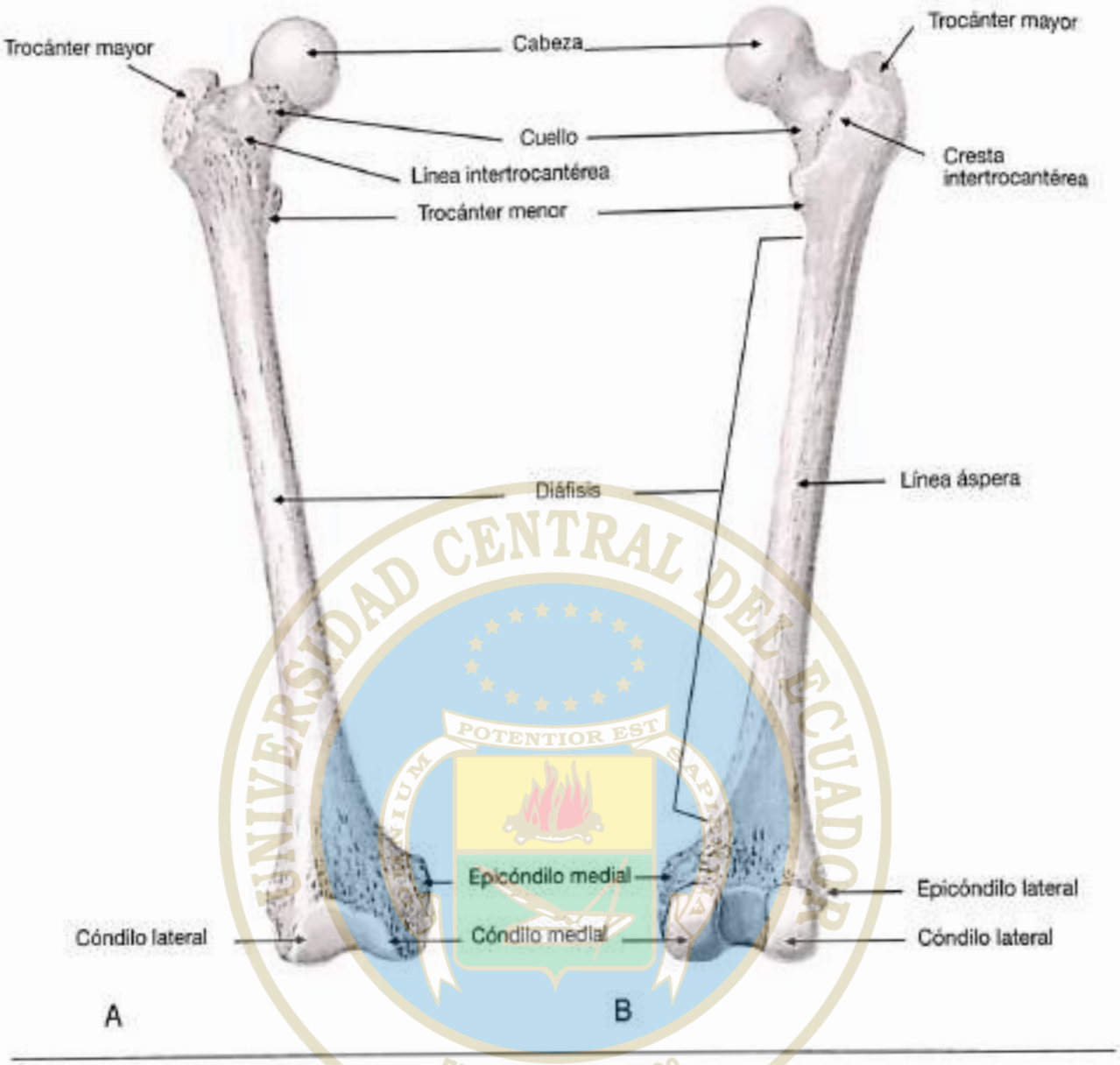



FIGURA 4.2. Puntos anatómicos de referencia del fémur (derecho). (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

tante para amortiguar choques. No obstante, durante el embarazo la anchura del cartílago aumenta mucho y los ligamentos se vuelven más laxos, para permitir el ligero desplazamiento del hueso coxal asociado con el embarazo.

## Articulaciones sacroilíacas

Las articulaciones sacroilíacas se forman entre la pareja de superficies articulares cóncavas del sacro y las superficies articulares ligeramente convexas del ilion derecho e izquierdo (figura 4.1A). El par de articulaciones sacroilíacas se pueden palpar justo al lado de cada espina ilíaca posterosuperior. Las EIPS se hallan a nivel de la apófisis espinosa de la II vértebra sacra (S2). Estas poderosas articulaciones son complejas y difíciles de clasificar, porque sus características se encuadran con las de las articulaciones cartilaginosas, fibrosas y sinoviales según la zona (Bechtel, 2001; Chen, Fredericson y Smuck, 2002; Papadopoulos y Khan, 2004).

Las articulaciones sacroilíacas son por lo general muy estables debido a la fijación que ofrecen el fibrocartílago, los tejidos fibrosos intraarticulares, la presencia de ligamentos muy fuertes que mantienen unidos los huesos, las expansiones de los músculos circundantes y la forma de los huesos (Dujardin *et al.*, 2002; Levangie y Norkin, 2001). Respecto a su forma, el sacro constituye una cuña entre los dos huesos ilíacos. Como es más ancho por arriba que por abajo, se opone a la tendencia a deslizarse hacia abajo cau-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

sada por el peso del cuerpo. Además, existen unas circunvoluciones a modo de junturas en las superficies articulares del sacro y el ilion que añaden estabilidad y limitan la movilidad en ciertas direcciones. No obstante, se dan movimientos mínimos (de 0,5 a 1,6 milímetros) de las articulaciones sacroilíacas, que son muy importantes para la mecánica normal de la pelvis (Chen, Fredericson y Smuck, 2002). Estos movimientos implican una combinación de rotación y traslación sobre ejes complejos y poco claros. Por desgracia, como se dirá más adelante en este capítulo, las articulaciones sacroilíacas son un lugar muy habitual de lesiones y dolor crónico en los bailarines, sobre todo los de mayor edad.

### Movimientos de la cintura pélvica

La limitada movilidad permitida por la sínfisis del pubis y las articulaciones sacroilíacas permite a la cintura pélvica actuar como una sola unidad. Esta disposición es ventajosa para las funciones de estabilidad, protección y sujeción de la pelvis. Sin embargo, resulta una limitación al movimiento, y por eso la porción inferior de la columna, sobre todo la articulación lumbosacra, tratada en el capítulo 3, es muy importante para facilitar los cambios posturales de la pelvis. La movilidad de la pelvis se reduce a inclinación anterior, inclinación posterior, inclinación lateral y rotación. Estos movimientos se tratarán más adelante en este capítulo en relación con la alineación y se muestran en la figura 4.15 de la página 179.

## Estructura articular y movimientos de la cadera

De pie y en movimientos como caminar o correr, el peso de la parte superior del cuerpo se transmite a través de la columna y la pelvis por medio de una o ambas articulaciones coxofemorales para recaer sobre la extremidad o extremidades inferiores. Además de soportar estas fuerzas descendentes de la gravedad, la articulación coxofemoral también transmite fuerzas del suelo a la pelvis durante esos mismos movimientos. Esta importante función de la articulación coxofemoral en la transmisión de fuerzas vuelve prioritarias la estabilidad articular y la fuerza. Sin embargo, si bien se favorece la estabilidad, debe haber suficiente movilidad para facilitar movimientos económicos durante la locomoción y permitir la colocación deseada del pie y la extremidad inferior en el espacio. La arquitectura articular con su disposición única de ligamentos y músculos multiarticulares ayuda a que la cadera dé prioridad a la estabilidad, al tiempo que permite suficiente movilidad.

### Clasificación de la articulación coxofemoral y sus movimientos asociados

La articulación coxofemoral es una enartrosis formada entre el acetábulo y la cabeza del fémur. El acetábulo se orienta en sentido anterolateral y un poco inferior. La cabeza del fémur forma casi dos tercios de una esfera y está revestida por completo de cartílago articular, excepto por una pequeña depresión en la parte superior llamada fosita del ligamento redondo. La cabeza del fémur se orienta hacia arriba y adelante respecto a su cuello, ajustándose perfectamente su superficie convexa con la superficie cóncava del acetábulo. Debido a la profundidad de la cavidad del acetábulo y las amplias superficies de contacto entre los huesos, se favorece la estabilidad articular. Aproximadamente el 70% de la cabeza del fémur se articula con el acetábulo, en contraste con sólo el 25% de contacto de la cabeza del húmero con su cavidad en la articulación escapulohumeral (Hamill y Knutzen, 1995). La articulación coxofemoral se considera el mejor ejemplo de articulación esferoidea del cuerpo.

Al igual que otras enartrosis clásicas, la articulación coxofemoral presenta tres grados de libertad de movimiento: flexión-extensión en el plano sagital, abducción-aducción en el plano frontal y rotación externa-interna en el plano transverso, como se ve en la figura 4.3. En muchos movimientos de danza, se producen combinaciones de estos tres pares de movimientos. El eje verdadero de movimiento de la articulación coxofemoral atraviesa el centro de la cabeza femoral, que se puede calcular visualmente si localizamos el trocánter mayor. Sin embargo, el cuello del fémur cumple una función importante al aumentar el brazo de palanca de los músculos que se insertan en el trocánter mayor (glúteo mayor, glúteo medio, glúteo menor, rotadores externos profundos), de modo que generen un torque mucho mayor.

### Cápsula y ligamentos clave de la articulación coxofemoral

Una cápsula articular densa y resistente encierra toda la articulación coxofemoral. Se inserta en el borde del acetábulo y discurre distalmente, envolviendo el cuello del fémur como un tubo, hasta insertarse posteriormente en la porción distal del cuello del fémur y anteriormente en la línea intertrocantérea. La cápsula también presenta gruesas bandas de ligamento, como se ve en la figura 4.4, que trazan una espiral alrededor del cuello del fémur y se denominan de acuerdo con el hueso en que tienen su origen: ligamentos iliofemoral, pubofemoral e isquiofemoral. Debido a su disposición espiral, los tres ligamentos y la cápsula se tensan durante la extensión de la cadera o la inclinación posterior de la pelvis, aspectos importantes para la estabilidad en ortostatismo (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La

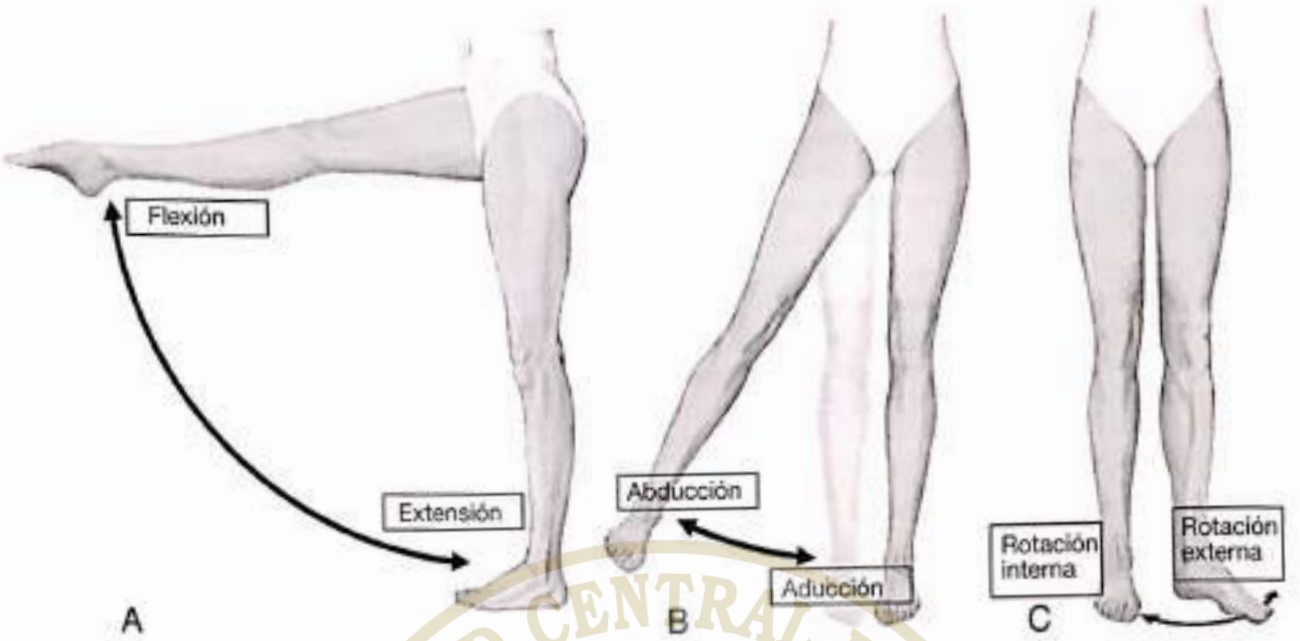



FIGURA 4.3. Movimientos de la articulación coxofemoral. (A) Flexión-extensión; (B) abducción-aducción; (C) rotación interna-rotación externa.

extensión completa en carga se considera la posición de bloqueo de la articulación coxofemoral (Hamill y Knutzen, 1995) respecto a la estabilidad ligamentaria, a pesar de que la congruencia ósea es mejor a 90° de flexión coxofemoral con ligera abducción y rotación externa (como al sentarse en una silla). Por el contrario, los tres ligamentos se destensan durante la flexión coxofemoral, permitiendo a la bailarina una mayor movilidad cuando la cadera no está extendida. A continuación se ofrece información adicional sobre estos ligamentos.

### El ligamento iliofemoral

El **ligamento iliofemoral** se localiza delante de la articulación coxofemoral, cursando en espiral en sentido inferior desde la espina ilíaca anteroinferior de la pelvis para dividirse en dos bandas que se insertan en las porciones superior e inferior de la línea intertrocantérea, como se ve en la figura 4.4A. El ligamento iliofemoral se llama a veces ligamento «en Y». Es uno de los ligamentos más fuertes del cuerpo y desempeña un papel muy importante en el ortostatismo. De pie y erguidos, el centro de gravedad suele pasar por detrás del eje de rotación de la articulación coxofemoral y por eso tiende a extender la articulación. Como el ligamento iliofemoral se tensa durante la extensión de la cadera, permite pasivamente mantener la bipedestación y previene que el tronco se caiga hacia atrás o que la cabeza del fémur se desplace anteriormente requiriendo poca actividad de los músculos de la cadera.

Además de su papel postural, el ligamento iliofemoral también actúa como limitador para cualquier movimiento que implique llevar la pierna hacia atrás, como en un *tendu en arrière* o un *arabesque*. La mayoría de los libros de anatomía afirman que el ligamento iliofemoral limita la hiperextensión de la cadera por lo general a 10°-20°, pero muchas bailarinas estiran este ligamento y la cápsula al máximo para lograr una hiperextensión de hasta 40°. Las fibras laterales del ligamento iliofemoral también limitan la rotación externa y la aducción de la cadera. Debido a esta restricción a la rotación externa, algunos bailarines adoptan la táctica poco deseable de inclinar anteriormente la pelvis cuando tratan de conseguir un *en dehors* mayor en la cadera.

### El ligamento pubofemoral

El **ligamento pubofemoral** se localiza en la porción anterior e inferior de la cápsula, como se ve en la figura 4.4A. Discurre entre el pubis y un área cercana al trocánter menor. Su localización inferior lo vuelve especialmente eficaz para limitar la abducción de la cadera. También ayuda al ligamento iliofemoral a limitar la extensión y rotación externa de la cadera.

### El ligamento isquiofemoral

El **ligamento isquiofemoral** se localiza en la cara posterior de la articulación coxofemoral, como se ve en la figura 4.4B y ofrece protección ante el desplazamiento posterior del

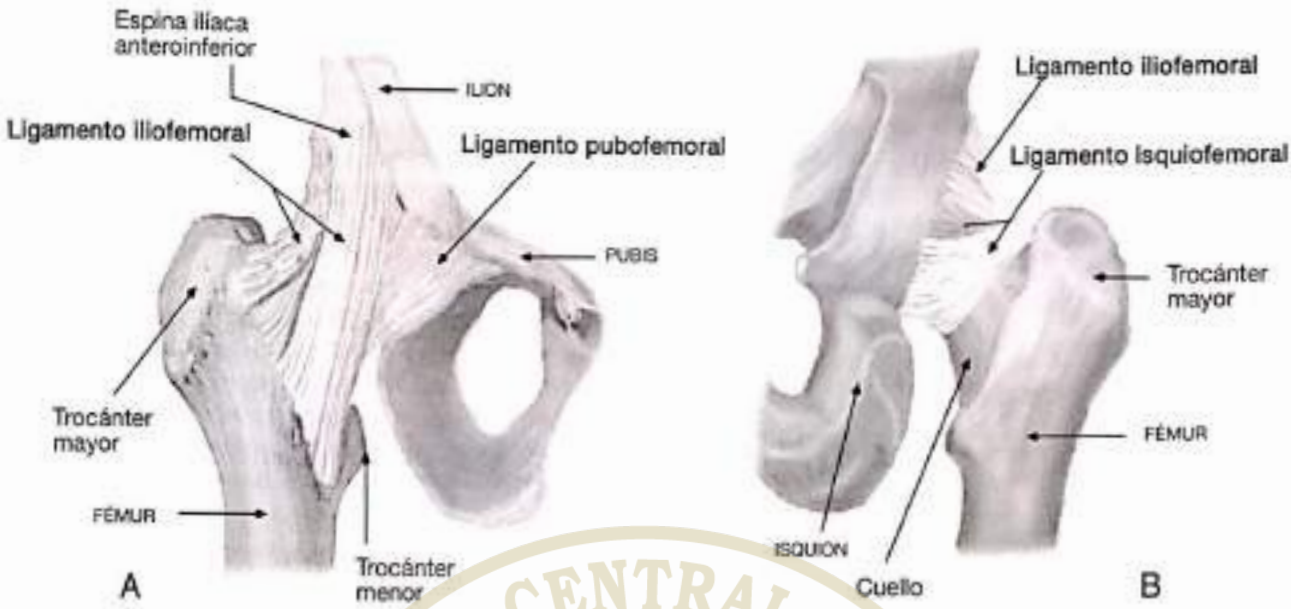



FIGURA 4.4. Ligamentos clave de la articulación coxofemoral (cadera derecha). (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

fémur. Se expande entre una porción del isquion, justo debajo del acetábulo, y el dorso del cuello del fémur. Este ligamento impide la rotación interna y la aducción horizontal de la cadera.

## *Estructuras especializadas de la cadera*

Distintas estructuras especializadas se asocian con la cadera y aportan estabilidad adicional a la articulación o colaboran con la función articular. Estas estructuras comprenden el rodete glenoideo y las bolsas, donde la succión también aporta una contribución significativa.

### Rodete acetabular

Además del cartílago articular normal presente en la articulación coxofemoral, hay un anillo de fibrocartílago especializado a lo largo del borde del acetábulo. Este anillo de fibrocartílago, llamado **rodete acetabular**, es considerablemente más grueso en la periferia que en el centro, lo cual aumenta la profundidad del acetábulo y colabora en mantener la cabeza femoral en su sitio. Además, al ser más grueso por encima y detrás, protege la porción superior y el dorso del acetábulo frente a las grandes fuerzas de compresión de la cabeza del fémur durante el ortostatismo y los movimientos. Por tanto, este rodete ayuda a mejorar la estabilidad articular y a proteger el hueso.

### Succión

La articulación coxofemoral cuenta con otro factor que facilita la estabilidad articular. Existe una diferencia respecto a la presión atmosférica en esta articulación de modo que se crea un vacío que tira de la cabeza del fémur hacia el interior de la cavidad. Dada la profundidad del acetábulo, la presencia del rodete acetabular y la enorme congruencia de esta articulación, la succión desempeña un papel más prominente en la articulación coxofemoral. Incluso si se cortaran todos los músculos y ligamentos, la articulación conservaría su cohesión, y se requieren fuerzas relativamente grandes para separar los huesos mientras la cápsula esté intacta. En cadáveres de personas adultas, se necesitaron 20 kilogramos de fuerza para separar la articulación 3 milímetros, y en adultos sanos se necesitaron 41 kilogramos de fuerza para separar la articulación en la posición flexionada (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

### Bolsas

Numerosas bolsas se asocian con la articulación coxofemoral. Dos de ellas resultan habitualmente inflamadas en las bailarinas. Una es la bolsa situada encima del trocánter mayor, como se ve en la figura 4.42 de la página 235, que ayuda a proteger los tejidos blandos que cruzan la porción posterior de esta prominencia. La otra se localiza entre el músculo psoasilíaco y la cápsula articular subyacente.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1826
QUITO

### Músculos

Además de los fuertes ligamentos y la cápsula articular, hay muchos músculos poderosos que cruzan la articulación coxofemoral y que tienen un efecto estabilizador significativo sobre ella. Debido a su importancia para soportar el peso del cuerpo y generar las grandes fuerzas asociadas con la locomoción, estos músculos tienen más masa y son más fuertes que los asociados con la extremidad superior.

## Descripción y funciones de los músculos específicos de la cadera

Veintidós músculos cruzan la articulación coxofemoral, si bien, a pesar del gran número de músculos implicados, éstos adoptan una disposición lógica que hace más sencillo recordar sus acciones: el grupo anterior está formado por flexores de cadera; el grupo posterior suele estar compuesto por extensores de la cadera (excepto los rotadores externos profundos); el grupo lateral son todos abductores de la cadera, y el grupo medial son todos aductores de la cadera. No obstante, aunque sus acciones primarias sean las mismas, miembros de estos grupos desempeñan acciones secundarias distintas.

A la hora de deducir las acciones principales y accesorias, es importante tener presente que, como la articulación coxofemoral tiene tres grados de libertad de movimiento, muchos músculos coxales desarrollan su acción en los tres ejes simultáneamente. Sin embargo, suelen predominar una o dos acciones debido a un mayor brazo de palanca del músculo respecto a ese eje. Por ejemplo, las acciones de flexión y aducción coxofemorales son predominantes en el músculo pectíneo, y su contribución a la rotación no se suele considerar muy significativa. Además, algunos músculos tienen suficiente extensión como para que distintas porciones mantengan relaciones diferentes con un eje dado y, por tanto, sean capaces de actuar de forma diferente. Por ejemplo, muchos manuales afirman que las fibras superiores del músculo aductor mayor son flexoras y que las fibras inferiores son extensoras. Finalmente, recordemos que, como se expuso en el capítulo 2, la acción de un músculo puede diferir al cambiar el ángulo articular debido al desplazamiento de la línea de tracción respecto al eje. Por ejemplo, el músculo aductor largo contribuye al inicio de la flexión, pero su eficacia va disminuyendo hasta que ya no participa en la flexión; y pasados unos 70°, lo que produce es extensión de la cadera. Debido a esta complejidad, no sorprende que muchas de las acciones accesorias de los músculos coxofemorales sigan todavía siendo objeto de debate. Muchas de las acciones secundarias controvertidas se han excluido a propósito de este libro. (Véase Músculos específicos de la cadera, págs. 165-178.)

## Alineación y desviaciones habituales de la región de la cadera

La alineación de los segmentos óseos de la región de la cadera es importante *per se* y también influye en los segmentos óseos situados por encima y debajo de la pelvis y de la articulación coxofemoral. Por ejemplo, la alineación de la pelvis influye en la columna vertebral por encima, y en la rodilla, tobillo y pie por debajo. Tres aspectos sobre la alineación en la región de la cadera particularmente importantes son la inclinación pélvica, el ángulo de inclinación femoral y el ángulo de torsión femoral.

FUNDADA EN 1620 QUITO

ÓRDENES EN LA DANZA 4.1

***«Piensa en tu pelvis como en una palangana y evita derramar su contenido»***

La orden «piensa en tu pelvis como en una palangana y evita derramar su contenido» la emplean en ocasiones los profesores para tratar de mantener la alineación deseada de la pelvis. Desde una perspectiva anatómica, la orden guarda relación con el concepto de postura neutra de la pelvis y con la evitación de su inclinación, sobre todo en dirección anterior. El problema de esta imagen es que la pelvis no es horizontal sino que presenta un ángulo de inclinación. Además, un estudiante que esté acostumbrado a bailar con una inclinación pélvica anterior por lo general sentirá que su pelvis está «nivelada». Por tanto, con frecuencia es necesario usar claves táctiles o visuales como poner las manos sobre las EIAS y percibir cuándo éstas se alinean verticalmente con la sínfisis del pubis con el fin de identificar una posición neutra (véase Pruebas y mediciones 4.1, pág. 180). A continuación, la imagen de la palangana se podrá usar con éxito para lograr la alineación pélvica deseada.

### Alineación de la pelvis y movimientos

La posición de la pelvis se puede describir como neutra o con las siguientes desviaciones: inclinación pélvica anterior-posterior, inclinación lateral derecha-izquierda, o rotación derecha-izquierda. Estas desviaciones de la posición neutra pueden ser movimientos temporales que acompañan a los movimientos de la columna vertebral o del fémur, tal y como se describen más adelante en este capítulo (véase Mecánica de la pelvis y la cadera, pág. 182). También pueden ser pequeñas desviaciones que tienden a persistir y a ser habituales en bipedestación o en movimiento, como ahora describiremos. Para identificar la alineación o movimiento de la pelvis, se empleará la posición relativa de puntos óseos de referencia como las crestas ilíacas, las EIAS, las EIPS y la sínfisis del pubis. *(El texto continúa en la página 178.)*

## Músculos específicos de la cadera

### Músculos anteriores de la cadera

Los músculos anteriores de la cadera son el psoasilíaco, el recto femoral y el sartorio. Estos músculos cruzan en sentido anterior el eje de flexoextensión de la articulación coxofemoral, y, por tanto, comparten la acción común de flexionar la cadera en movimientos como andar, correr o saltar con los pies juntos.

**Inserciones y acciones principales del músculo psoasilíaco**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Psoasilíaco** | | | |
| Psoas mayor | Apófisis transversas, cuerpos y discos intervertebrales de T12-L5 | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral (gran amplitud)<br>Postura |
| Ilíaco | Fosa ilíaca, cresta del ilion, porción lateral interna del sacro | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral (gran amplitud) |

#### Psoasilíaco

El músculo psoasilíaco está compuesto en realidad por el psoas mayor (G. *psoa*, el lomo) y el ilíaco. Como comparten una inserción distal común y parecen actuar juntos durante el movimiento funcional, con frecuencia reciben el nombre colectivo de psoasilíaco. El psoasilíaco, que aparece en la figura 4.5, tiene unos 41 centímetros de largo (Rasch y Burke, 1978). Se extiende a nivel profundo bajo la pared abdominal desde la cara anterior de la porción inferior de la columna y la porción interna del ilion, y desciende para insertarse en el lado medial de la porción superior del fémur en el trocánter menor. Debido a su localización a nivel profundo, a menudo es difícil que las bailarinas lo «perciban» o visualicen, y una cuidadosa exploración de sus inserciones en el esqueleto es útil para conocer su localización y función. El psoasilíaco es uno de los músculos más poderosos de todo el cuerpo (Michele, 1960) y puede desarrollar una tracción de hasta 454 kilogramos. El psoasilíaco ha demostra-

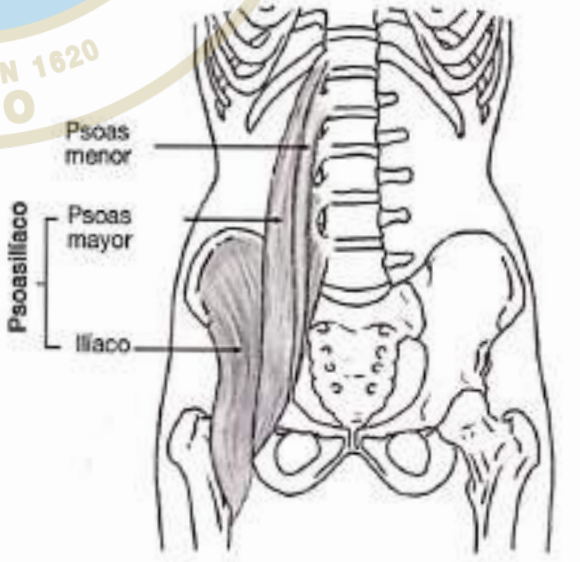



FIGURA 4.5. El músculo psoasilíaco (vista anterior).

do ser el músculo más importante para la flexión coxofemoral pasados 90°, como demuestra la incapacidad para elevar el muslo por encima de 90° cuando el psoasilíaco está paralizado (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). También ayuda a la abducción de la cadera, en particular en los grados máximos de amplitud. Estas dos últimas propiedades confieren al psoasilíaco una importancia clave en los movimientos de danza como *développés* altos hacia delante o a los lados. La contribución potencial del músculo psoasilíaco a la rotación coxofemoral sigue siendo objeto de debate, y, aunque tal vez actúe de rotador externo cuando el fémur está rotado internamente, parece poco probable que desempeñe un papel rotador importante en otras posiciones.
Respecto a su papel postural, el psoasilíaco es el único músculo del cuerpo humano que tiene sus inserciones en la columna vertebral, la pelvis y el fémur. Debido a estas inserciones, el psoasilíaco goza de una situación única no sólo para generar movimiento, sino también para estabilizar la cadera e influir en la posición de la columna lumbar.
Posturalmente, el psoasilíaco desempeña un papel importante en prevenir que el tronco caiga hacia atrás y puede ayudar a mantener la curva lumbar. El primero de estos papeles es clave cuando se practica trabajo de suelo en la danza moderna, y muchos bailarines que no están acostumbrados a estas maniobras se fatigan y tienen agujetas en los flexores coxofemorales, en especial el psoasilíaco. Por eso hay quien afirma que él puede desempeñar un papel importante en la integración de movimientos coordinados entre el fémur, la pelvis y la columna vertebral.

**Inserciones y acciones principales del músculo recto femoral**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Recto femoral | Espina ilíaca anteroinferior<br>Cabeza posterior: justo encima del acetábulo | Tuberosidad tibial anterior mediante el tendón rotuliano | Flexión coxofemoral o de la cadera (extensión de la rodilla) |

## *Recto femoral*

El **recto femoral**, que aparece en la figura 4.6, es uno de los cuatro músculos que componen el cuádriceps femoral. Es el único miembro del grupo que cruza la articulación coxofemoral. Los otros tres músculos se insertan distalmente respecto a la articulación coxofemoral y sólo actúan sobre la rodilla. Este músculo se extiende en línea recta descendiendo por la cara anterior del fémur o muslo. Además de su acción de flexionar la cadera, el recto femoral también extiende la rodilla. Su movimiento combinado de flexión coxofemoral y extensión genicular, usado al dar patadas, ha hecho que a veces se le llame el «músculo pateador».
*Palpación.* Siéntate en una silla con el pie izquierdo cruzado sobre el tobillo derecho. Pon las yemas de los dedos en el centro de la porción superior del muslo derecho, y palpa la tensión del músculo recto femoral bajo tus dedos cuando tratas de extender la rodilla derecha mientras la pierna izquierda impide este movimiento.

## *Sartorio*

El **sartorio** es el músculo más largo del cuerpo. Este delgado músculo se extiende desde la cara anterior de la pelvis y desciende oblicua y medialmente por el muslo hasta insertarse en la cara interna de la tibia, como se ve en la figura 4.6. Además de ayudar a la flexión coxofemoral, el sartorio también abduce y rota externamente la cadera. Como esta combinación de movimientos articulares se emplea para sentarse con las piernas

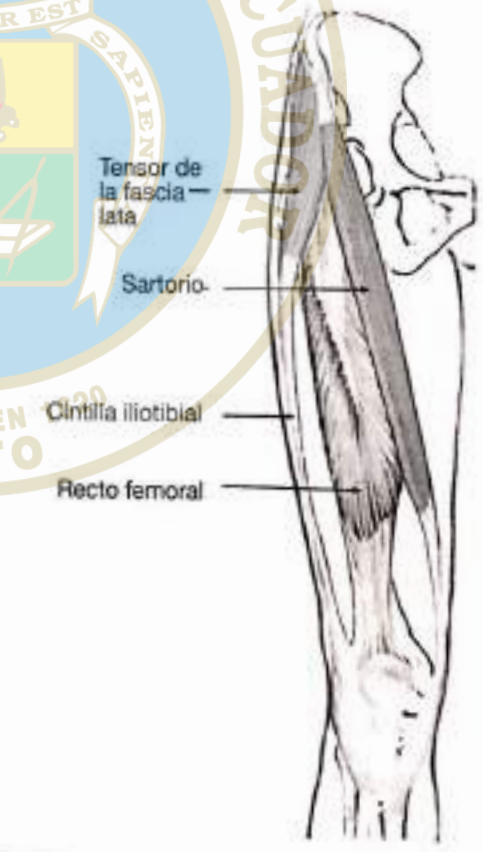



FIGURA 4.6. Los músculos recto femoral, sartorio y tensor de la fascia lata (cadera derecha, vista anterior).

**Inserciones y acciones principales del músculo sartorio**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Sartorio | Espina ilíaca anterosuperior (EIAS) y el área justo inferior | Superficie medial de la porción superior de la tibia | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral<br>(flexión de la rodilla) |

cruzadas en el suelo, postura propia de los sastres, en el pasado se le dio el nombre de sartorio (L. *sartor*, sastre) o «músculo de los sastres». Estos movimientos combinados también se usan en el vocabulario de danza con el nombre de *passé*. Debido a su longitud, está diseñado para generar más velocidad que fuerza, lo cual puede contribuir a que sea lugar habitual de distensiones entre los bailarines. El músculo sartorio también genera flexión y rotación interna de la rodilla, de lo cual se volverá a hablar en el capítulo 5.

*Palpación.* En monopedestación, practica una *attitude en avant* (flexión y rotación externa de la cadera) con la otra pierna y luego lleva esta pierna hacia el costado. Como el sartorio es el más superficial de los músculos anteriores del muslo, se puede ver y es fácil de palpar debajo y un poco medial a la EIAS. Fíjate, como se aprecia en la figura 4.6, en que se forma una V invertida con el sartorio formando el palo medial, siendo el tensor de la fascia lata el brazo lateral, y quedando el recto femoral en medio.

## Músculos posteriores de la cadera

Los músculos posteriores de la cadera son el glúteo mayor, los isquiotibiales y los rotadores externos profundos. Estos tres grupos musculares cruzan por detrás el eje de flexoextensión de la articulación coxofemoral, compartiendo el glúteo mayor y los isquiotibiales la acción común de extender la cadera, como en un *tendu en arrière* paralelo o en los saltos. Los músculos extensores de la cadera están bien dotados para actividades propulsoras como saltos y carreras debido a su gran área transversal y a la potencia que pueden generar. No obstante, en su capacidad para producir fuerza influye mucho el grado de flexión coxofemoral, siendo casi el doble la fuerza extensora a 90° de flexión de cadera frente a la posición neutra de extensión (Hamill y Knutzen, 1995). Este principio se suele emplear al inclinar el tronco hacia delante cuando subimos una cuesta o unas escaleras, o en la preparación de un salto. Desde el punto de vista postural, estos músculos también desempeñan un papel importante en la inclinación posterior de la pelvis y para contrarrestar la tendencia a la inclinación anterior de la pelvis o del torso hacia delante.

Aunque los músculos rotadores externos profundos cruzan por detrás el eje de flexoextensión de la cadera, su línea de tracción suele ser muy horizontal. Esto les confiere una buena situación para generar más rotación externa y abducción horizontal de la cadera que extensión.

FIGURA 4.7. Músculo glúteo mayor y cintilla iliotibial (cadera derecha, vista posterior).

### Glúteo mayor

El **glúteo mayor** (G. *gloutos*, nalga), que aparece en la figura 4.7, es el más grande y superficial de los músculos de las nalgas. Confiere la forma redondeada de las nalgas. Su gran tamaño en los humanos se cree debido a las exigencias de la postura erguida y la locomo-

ción. El glúteo mayor es el extensor coxofemoral más poderoso y es crucial para movimientos que exijan grandes fuerzas, como subir escaleras, subir cuestas, correr y saltar. Además de la extensión de la cadera, el músculo glúteo mayor genera rotación externa, y las fibras superiores pueden generar abducción coxofemoral contra resistencia. Debido a su inserción en la **cintilla iliotibial,** una poderosa banda de fascia que se extiende por la cara lateral del muslo y que se expande entre la pelvis y la pierna, el glúteo mayor también ayuda indirectamente a mantener el fémur sobre la tibia.

*Palpación.* Es fácil de palpar colocando los dedos sobre el dorso de las nalgas en bipedestación y luego contrayendo el músculo sin generar ningún movimiento. Para provocar una contracción mayor del músculo, extiende y rota externamente la cadera elevando la pierna en una *attitude en arrière.*

**Inserciones y acciones principales del músculo glúteo mayor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Glúteo mayor | Cresta y superficie posterior del ilion, superficie posterior del sacro y cóccix | Línea sobre la cara posterior del fémur, entre el trocánter mayor y la línea áspera y en la cintilla iliotibial | Extensión coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral |

## *Isquiotibiales*

El grupo de los músculos isquiotibiales forma la masa muscular del dorso del muslo, como se ve en la figura 4.8. Este grupo se compone de tres músculos: el **bíceps femoral,** el **semitendinoso** y el **semimembranoso,** más profundo. Su acción extensora se activa en movimientos de la vida diaria como estar de pie, caminar y controlar el movimiento hacia delante del torso. Su función se considera más postural y de ajuste fino en contraste con la función «poderosa» del glúteo mayor. El bíceps femoral (bi, dual, + L. *capus,* cabeza) parece ser especialmente activo en la extensión de la cadera y se considera la «mula de trabajo» de la extensión coxofemoral (Hamill y Knutzen, 1995). Como los isquiotibiales se insertan distalmente en la rodilla, los tres actúan de flexores geniculares y extensores coxofemorales. Los isquiotibiales mediales –semitendinoso y semimembranoso– se insertan en la porción medial de la tibia, y por eso también colaboran en la rotación interna de la rodilla o en la rotación interna de la cadera cuando ésta y la rodilla están extendidas. Los isquiotibiales laterales (bíceps femoral) se insertan en la cara lateral de la tibia y el peroné, y por eso también ayudan a la rotación externa de la rodilla o a la rotación externa de la cadera cuando ambas están extendidas.

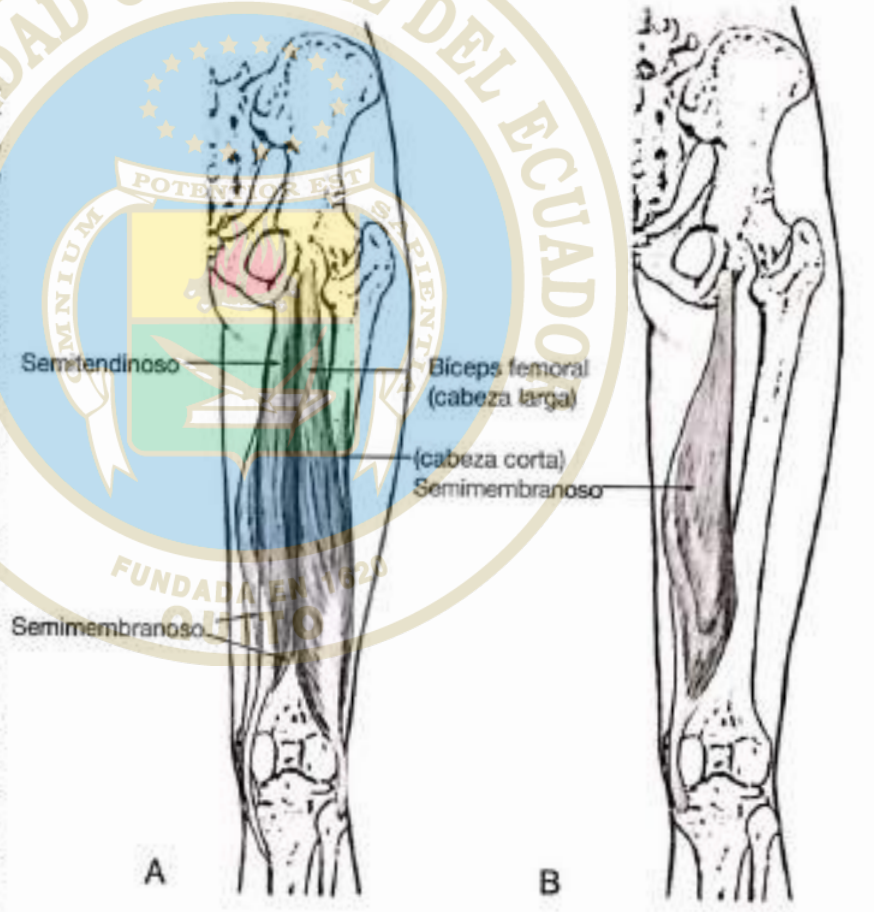



FIGURA 4.8. Músculos isquiotibiales (cadera derecha, vista posterior). (A) Vista superficial; (B) vista más profunda.

*Palpación.* En monopedestación con la otra pierna en la posición de *arabesque*. Los isquiotibiales se pueden palpar en la pierna elevada sobre el dorso de la porción superior del muslo, justo debajo de la tuberosidad isquiática. Al tiempo que se mantiene la pierna en esta posición de *arabesque* bajo, se rota internamente la pierna y se levanta un poco más hacia atrás. Los isquiotibiales y parte del aductor mayor se notarán contrayéndose. Ahora, pon los dedos en las nalgas y rota alternativamente en sentido interno y externo la cadera mientras mantienes el *arabesque*. Nota la disminución en la contracción del músculo glúteo mayor mientras la pierna rota internamente y cómo aumenta cuando la pierna rota en sentido externo.

**Inserciones y acciones principales de los músculos isquiotibiales**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Isquiotibiales** | | | |
| Bíceps femoral | Cabeza larga: tuberosidad isquiática<br>Cabeza corta: línea áspera del fémur | Cabeza del peroné<br>Cóndilo lateral de la tibia | Extensión coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación externa de la rodilla) |
| Semitendinoso | Tuberosidad isquiática | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Extensión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación interna de la rodilla) |
| Semimembranoso | Tuberosidad isquiática | Cóndilo medial de la tibia | Extensión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación interna de la rodilla) |

### *Rotadores externos profundos*

Los **rotadores externos profundos** (REP) se componen del piriforme, el obturador interno, el obturador externo, el gémino inferior, el gémino superior y el cuadrado femoral, como se ve en la figura 4.9A y B. Es-

FIGURA 4.9. Músculos rotadores profundos (cadera derecha, vista posterolateral). (A) Con el músculo glúteo mayor omitido; (B) vista más profunda con el cuadrado femoral, el gémino superior y el gémino inferior omitidos.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

te grupo de seis músculos pequeños se localiza a nivel profundo del glúteo mayor en la región de las nalgas. Las fibras de este grupo de músculos se extienden sobre todo horizontalmente desde dentro y fuera de la pelvis hasta el trocánter mayor del fémur. El músculo **piriforme** (L. *pirum*, pera), el más superior del grupo, se localiza ligeramente por encima de la articulación coxofemoral, y el músculo **cuadrado femoral**, el más inferior, se localiza ligeramente debajo de ella. El obturador interno y los géminos se localizan en el hueco entre el piriforme y el cuadrado femoral. Como su nombre sugiere, el obturador interno cuenta con amplias inserciones en la superficie interna de la membrana que reviste el agujero obturado y las áreas adyacentes, mientras que el músculo obturador externo cuenta con amplias inserciones en la superficie externa de la membrana obturatriz y los huesos adyacentes. El músculo **obturador interno** se acompaña por encima por el músculo **gémino superior** (L. *geminus*, gemelo, doble) y por debajo por el músculo **gémino inferior** para insertarse mediante un tendón común, aproximadamente horizontal, en el trocánter mayor; y de ahí que estos tres músculos a veces se consideren un músculo de tres cabezas: el triceps coxal (Moore y Dalley, 1999). Los rotadores externos profundos actúan como grupo para mantener la cabeza del fémur dentro del acetábulo y ayudan a impedir el enclavamiento durante la abducción de la cadera, haciendo una función similar a la del manguito de los rotadores en la articulación del hombro (expuesta en el capítulo 7). Sin embargo, como su nombre implica, este grupo de músculos es especialmente conocido por su acción de rotación externa de la cadera. La capacidad del grupo para generar rotación externa de la cadera sin otros movimientos accesorios importantes lo vuelve clave en danza para generar y mantener el *en dehors*. Cuando la cadera se flexiona 90°, algunos de estos músculos están en una posición eficaz para generar abducción horizontal de la cadera, volviéndose importantes en movimientos como el *passé* y el *rond de jambe en l'air* a 90°. Algunos manuales también sugieren que el músculo piriforme ayuda a la abducción de la cadera.

*Palpación.* En monopedestación, eleva la otra pierna hacia delante en un *passé* paralelo *(retiré)*. El más superior de los rotadores externos profundos, el músculo piriforme, se siente contrayéndose (debajo del glúteo mayor) varios centímetros por encima y posterior al trocánter mayor mientras la pierna se desplaza hacia el costado en un *passé au côté*. A continuación, cambia a primera posición en paralelo, balancéate sobre los talones, y rota externamente ambas piernas por la cadera para adoptar la primera posición *en dehors*. El más inferior de este grupo muscular, el cuadrado femoral, se puede palpar a nivel profundo en la base de las nalgas entre la tuberosidad isquiática y el trocánter mayor mientras se rotan las piernas. Los restantes músculos del grupo se localizan entre el piriforme y el cuadrado femoral, y se pueden palpar en conjunto colocando los dedos debajo del piriforme y rotando la cadera repetidamente en sentido externo.

**Inserciones y acciones principales de los músculos rotadores externos profundos**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Rotadores externos profundos** | | | |
| Piriforme | Superficie anterior del sacro, porción posterior del ilion | Superficie superior del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Obturador interno | Superficie interna del agujero obturado y membrana obturatriz, isquion | Superficie medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Obturador externo | Ramas del pubis e isquion, y superficie externa de la membrana obturatriz | Adyacente al trocánter mayor en la cara posterosuperior del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |

*(continúa)*

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Rotadores externos profundos** | | | |
| Gémino superior | Porción posterior e inferior del isquion | Con el músculo obturador interno en la cara medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Gémino inferior | Tuberosidad isquiática | Con el músculo obturador interno en la cara medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Cuadrado femoral | Cara lateral de la tuberosidad isquiática | La cresta entre el trocánter mayor y menor en la cara posterior del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |

## *Músculos laterales de la cadera*

Los músculos laterales de la cadera comprenden el glúteo medio, el glúteo menor y el tensor de la fascia lata. Todos ellos cruzan lateralmente al eje de abducción-aducción de la articulación coxofemoral, por lo que comparten la acción común de abducir la cadera, usada en movimientos como el tendu paralelo al lado o el dégagé. Estos músculos también desempeñan un papel estabilizador muy importante en bipedestación y en la locomoción. Cuando el peso se carga sobre una pierna, estos músculos impiden que la pelvis se incline y descienda por el lado contrario, o evitan que el fémur en carga adopte una aducción excesiva («sentarse sobre la cadera»).

**Inserciones y acciones principales de los músculos glúteos medio y menor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Glúteo medio | Superficie externa del ilion | Superficie lateral del trocánter mayor del fémur | Abducción coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>Estabilización de la pelvis sobre el fémur |
| Glúteo menor | Superficie externa inferior del ilion | Cara anterolateral del trocánter mayor del fémur | Abducción coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>Estabilización de la pelvis sobre el fémur |

## *Glúteos medio y menor*

El músculo **glúteo medio** (G. *gloutos*, nalga) se localiza en el lateral del ilion, como se ve en la figura 4.10A. Forma el contorno redondeado del costado de la pelvis, aunque sus fibras posteriores están cubiertas por el glúteo mayor, y sus fibras anteriores, por el tensor de la fascia lata. El glúteo medio es el más grande de los músculos laterales y es el principal abductor de la cadera, mientras que el glúteo menor, el tensor de la fascia lata y algunos músculos adicionales pueden ayudar cuando la resistencia es mayor o en posiciones específicas de la articulación. El glúteo medio es también el motor principal en la rotación interna de la cadera.

El músculo **glúteo menor**, como su nombre implica, es un músculo pequeño: se localiza a nivel profundo, debajo del glúteo medio, en una posición ligeramente anterior e inferior, como se ve en la figura 4.10B. Además de su papel en la abducción de la cadera, las fibras anteriores de estos músculos son clave pa-

ra la rotación interna de la cadera, y las fibras posteriores ayudan a la extensión, al menos en algunas condiciones. Su contribución potencial a la flexión o rotación externa de la cadera sigue siendo objeto de debate.

*Palpación.* En monopedestación, eleva la otra pierna lateralmente en una posición paralela (abducción coxofemoral). El glúteo medio se puede palpar lateralmente, debajo de la cresta del ilion, a unos 5-7,5 centímetros por encima del trocánter mayor. Como el glúteo menor se halla debajo del glúteo medio, es difícil de palpar diferenciándolo del glúteo medio.

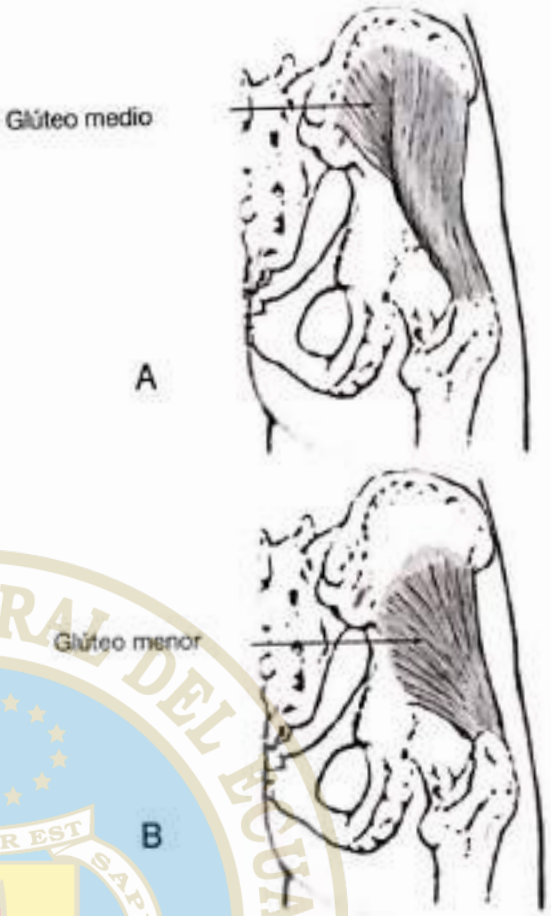



FIGURA 4.10. Músculos glúteos medio y menor (cadera derecha, vista posterior). (A) Con el glúteo mayor omitido; (B) vista a nivel más profundo con el glúteo medio omitido.

## *Tensor de la fascia lata*

El músculo **tensor de la fascia lata** (L. *lata*, ancha) es pequeño y se sitúa delante y en el costado de la cadera, como se ve en la figura 4.6 de la página 166. Este músculo se distingue por no contar con una inserción distal en hueso, ya que se inserta en la cintilla iliotibial aproximadamente a un cuarto de camino descendente por el exterior del muslo. Su nombre deriva del hecho de que su acción consiste en tensar esta fascia, con lo cual ofrece un importante apoyo lateral a la articulación de la rodilla. En la articulación coxofemoral, además de su papel abductor, ayuda a la flexión y rotación interna de la cadera (esta última acción al menos cuando la cadera está flexionada).

*Palpación.* En monopedestación, eleva la otra pierna mientras mantienes 45° de flexión coxofemoral. El tensor de la fascia lata se puede palpar a unos 5 centímetros anterior al trocánter mayor.

**Inserciones y acciones principales del músculo tensor de la fascia lata**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Tensor de la fascia lata | Cresta anterior externa del ilion, cara lateral de la espina ilíaca anterosuperior | Tibia mediante la cintilla iliotibial | Abducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral |

## *Músculos mediales de la cadera (músculos internos del muslo)*

Los músculos mediales de la cadera comprenden el aductor corto, el aductor largo, el aductor mayor, el pectíneo y el recto interno. Los profesores de danza a veces denominan a estos músculos mediales «músculos internos del muslo». Como todos ellos cruzan mediales al eje de la articulación coxofemoral, comparten la acción común de aducir la cadera en movimientos como acercar la pierna al centro de gravedad del cuerpo al caminar o al adoptar la quinta posición en ballet. Posturalmente, de pie sobre una pierna, los aductores de la cadera se suelen cocontraer al tiempo que los abductores coxofemorales colaborando en la estabilidad de la pelvis. La masa muscular de estos músculos internos del muslo es mucho mayor que la de los abductores de la cadera o de lo que podría esperarse dada su relación con la gravedad en ortostatismo. Una explicación que suele darse a esta aparente discrepancia es que cada músculo medial

produce acciones secundarias, que les permiten contribuir ampliamente en actividades que no implican necesariamente la aducción de la cadera. Debido a la dificultad para distinguir los músculos individuales y por su tendencia a actuar juntos en los movimientos funcionales, su palpación se describirá en grupo al final de esta sección.

**Inserciones y acciones principales de los músculos aductores largo, corto y mayor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Aductor largo | Superficie anterior del pubis en la cresta | Tercio medio de la línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral (mínima amplitud) |
| Aductor corto | Rama inferior del pubis | Porción superior de la línea áspera y porción distal de la línea que une el trocánter menor y la línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral (mínima amplitud) |
| Aductor mayor | Ramas inferiores del pubis y el isquion, tuberosidad isquiática | Línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Extensión coxofemoral (fibras inferiores) |

### *Aductores largo, corto y mayor*

El músculo **aductor largo** (aductor, que mueve hacia la línea media) es el más superficial de estos tres músculos y desciende desde el pubis hasta la línea áspera a lo largo de la porción media de la diáfisis del fémur, como se ve en la figura 4.11. El músculo **aductor corto** es más pequeño y profundo, y se localiza por encima y detrás del aductor largo. El **aductor mayor**, como su nombre indica, es uno de los músculos más grandes del cuerpo, y sus inserciones proximales y distales son amplias. Su inserción proximal se extiende desde la cara anterior del pubis hasta la tuberosidad isquiática, y su inserción distal se extiende a lo largo de la diáfisis del fémur desde justo debajo del trocánter menor hasta justo encima del epicóndilo medial. El aductor mayor es el más profundo de los músculos aductores.

Además de su acción en la aducción coxofemoral, los músculos mediales de la cadera también intervienen en la flexión y extensión coxofemorales. En la posición anatómica, los aductores largo, corto y las fibras superiores del aductor mayor se disponen anteriores al eje de flexión-extensión de la cadera, y por eso pueden flexionarla. En contraste, la línea de tracción de las fibras inferiores del aductor mayor es posterior y por eso extienden la cadera. No obstante, durante la flexión de la cadera, cambia la línea de acción de estos músculos respecto al eje. Por tanto, a medida que avanza la flexión, se vuelven menos eficaces como flexores coxofemorales, y entre 50° y 70° se convierten en extensores (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Existe todavía mucha controversia sobre la contribución potencial de los aductores coxofemorales a la rotación, y se precisan nuevos estudios para aclarar este tema.

FIGURA 4.11. Músculos aductores largo, corto y mayor (cadera derecha, vista anterior).

**Inserciones y acciones principales del músculo pectíneo**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Pectíneo | Rama superior del pubis | Línea entre el trocánter menor y la línea áspera en la porción superior de la diáfisis del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral |

## *Pectíneo*

El músculo **pectíneo** (L, *pectin*, peine), como se ve en la figura 4.12, es corto y plano, y se localiza justo lateral al aductor largo y parcialmente cubierto por el recto femoral y el sartorio. Su inserción proximal es más anterior y superior que la de los músculos aductores largo y mayor, permitiéndole actuar de motor principal en la flexión y aducción coxofemorales durante gran parte de la amplitud del movimiento. Debido a esta función combinada de agonista en la flexión y aducción, y debido a su localización en un área de transición, el pectíneo se clasifica en algunos manuales como parte del grupo de músculos flexores anteriores de la cadera, mientras que en otros se considera parte del grupo de aductores mediales de la cadera. Su diseño favorece la generación de potencia, y se usa cuando la cadera se flexiona vigorosamente o para levantar el muslo y cruzarlo sobre el otro al sentarse.

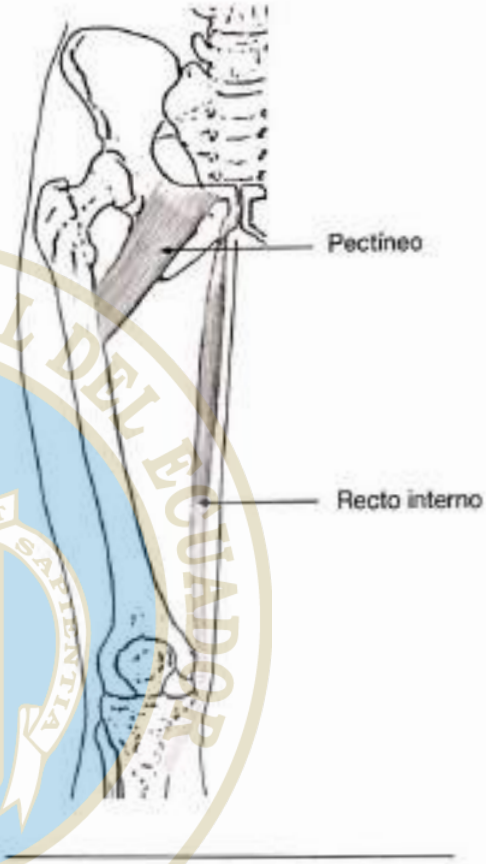



FIGURA 4.12. Músculos pectíneo y recto interno (cadera derecha, vista anterior).

## *Recto interno*

El músculo **recto interno**, como se ve en la figura 4.12, es largo, delgado y superficial, y desciende más verticalmente que los otros músculos mediales del muslo, cuyo curso es más oblicuo. Es el más medial de los músculos internos del muslo. Además de mover la cadera en aducción, contribuye a iniciar la flexión coxofemoral (probablemente sobre todo cuando la rodilla está extendida) y la rotación interna de la cadera. Es el único músculo medial de la cadera que cruza la articulación de la rodilla. Se inserta en la porción medial de la tibia y también actúa en la flexión y rotación interna de la rodilla, como se expone en el capítulo 5.

*Palpación de los músculos mediales de la cadera.* Siéntate en el suelo con las piernas separadas en un estiramiento en segunda posición. Los aductores se pueden palpar en conjunto a lo largo de la cara interna del muslo. Presiona una pierna hacia dentro isométricamente (aducción horizontal de la cadera) contra la mano del mismo lado mientras empleas la otra mano para palpar los músculos mediales. El aductor largo y el recto interno son los tendones prominentes que se aprecian en el extremo superior de la cara interna del muslo. El aductor mayor se puede palpar a lo largo del interior de la mitad media a inferior del muslo. Debido a su profundidad, el aductor corto es difícil de palpar. Se puede palpar el músculo pectíneo justo encima del tendón del aductor largo cuando se levanta una pierna por encima de la otra al sentarse en una silla.

**Inserciones y acciones principales del músculo recto interno**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Recto interno | Justo debajo de la sínfisis del pubis, ramas inferiores del isquion y el pubis | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral (flexión genicular) |

## Resumen de las inserciones y acciones de los músculos de la cadera

En la tabla 4.1 aparece un resumen de las inserciones y acciones de los principales músculos de la cadera, y ciertos músculos e inserciones elegidos se pueden ver en las figuras 4.13A y B, y 4.14A y B. Con esta información, calcula la línea de tracción del músculo, deduce sus acciones, y luego comprueba la precisión de tus deducciones remitiéndote a las figuras 4.13C o 4.14C. Fíjate en que la inserción proximal del músculo psoasiliaco no aparece en la figura 4.13, pero se deduce de una minuciosa observación de la figura 4.5 en la página 165.

**Tabla 4.1. Resumen de las inserciones y acciones principales de los músculos de la cadera**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos anteriores** | | | |
| Psoas mayor | Apófisis transversas, cuerpos y discos intervertebrales de T12-L5 | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral (gran amplitud)<br>Postura |
| Iliaco | Fosa ilíaca, cresta del ilion, porción lateral interna del sacro | Trocánter menor del fémur | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral (gran amplitud) |
| Recto femoral | Espina ilíaca anteroinferior<br>Cabeza posterior, justo encima del acetábulo | Tuberosidad tibial anterior mediante el tendón rotuliano | Flexión coxofemoral<br>(extensión de la rodilla) |
| Sartorio | Espina ilíaca anterosuperior (EIAS) y el área justo inferior | Superficie medial de la porción superior de la tibia | Flexión coxofemoral<br>Abducción coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral<br>(flexión de la rodilla) |
| **Músculos posteriores** | | | |
| Glúteo mayor | Cresta y superficie posterior del ilion, superficie posterior del sacro y cóccix | Línea sobre la cara posterior del fémur, entre el trocánter mayor y la línea áspera y en la cintilla iliotibial | Extensión coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral |
| Isquiotibiales | | | |
| Bíceps femoral | Cabeza larga: tuberosidad isquiática<br>Cabeza corta: línea áspera del fémur | Cabeza del peroné<br>Cóndilo lateral de la tibia | Extensión coxofemoral<br>Rotación externa coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación externa de la rodilla) |
| Semitendinoso | Tuberosidad isquiática | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Extensión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación interna de la rodilla) |
| Semimembranoso | Tuberosidad isquiática | Cóndilo medial de la tibia | Extensión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>(flexión de la rodilla)<br>(rotación interna de la rodilla) |

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos posteriores** *(continuación)* | | | |
| Rotadores externos profundos | | | |
| Piriforme | Superficie anterior del sacro, porción posterior del ilion | Superficie superior del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Obturador interno | Superficie interna del agujero obturado y membrana obturatriz, isquion | Superficie medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Obturador externo | Ramas del pubis e isquion, y superficie externa de la membrana obturatriz | Adyacente al trocánter mayor en la cara posterosuperior del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Gémino superior | Porción posterior e inferior del isquion | Con el músculo obturador interno en la cara medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Gémino inferior | Tuberosidad isquiática | Con el músculo obturador interno en la cara medial del trocánter mayor del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| Cuadrado femoral | Cara lateral de la tuberosidad isquiática | La cresta entre el trocánter mayor y menor en la cara posterior del fémur | Rotación externa coxofemoral<br>Estabilización de la articulación coxofemoral |
| **Músculos laterales** | | | |
| Glúteo medio | Superficie externa del ilion | Superficie lateral del trocánter mayor del fémur | Abducción coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>Estabilización de la pelvis sobre el fémur |
| Glúteo menor | Superficie externa inferior del ilion | Cara anterolateral del trocánter mayor del fémur | Abducción coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral<br>Estabilización de la pelvis sobre el fémur |
| Tensor de la fascia lata | Cresta anterior externa del ilion, cara lateral de la espina ilíaca anterosuperior | Tibia, mediante la cintilla iliotibial | Abducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral<br>Rotación interna coxofemoral |
| **Músculos mediales** | | | |
| Aductor largo | Superficie anterior del pubis en la cresta | Tercio medio de la línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral (mínima amplitud) |
| Aductor corto | Rama inferior del pubis | Porción superior de la línea áspera y porción distal de la línea entre trocánter menor y línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral (mínima amplitud) |

*(continúa)*

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos mediales** *(continuación)* | | | |
| Aductor mayor | Ramas inferiores del pubis y el isquion, tuberosidad isquiática | Línea áspera del fémur | Aducción coxofemoral<br>Extensión coxofemoral (fibras inferiores) |
| Pectíneo | Rama superior del pubis | Línea entre el trocánter menor y la línea áspera en la porción superior de la diáfisis del fémur | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral |
| Recto interno | Justo debajo de la sínfisis del pubis, ramas inferiores del isquion y el pubis | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Aducción coxofemoral<br>Flexión coxofemoral<br>(flexión genicular) |

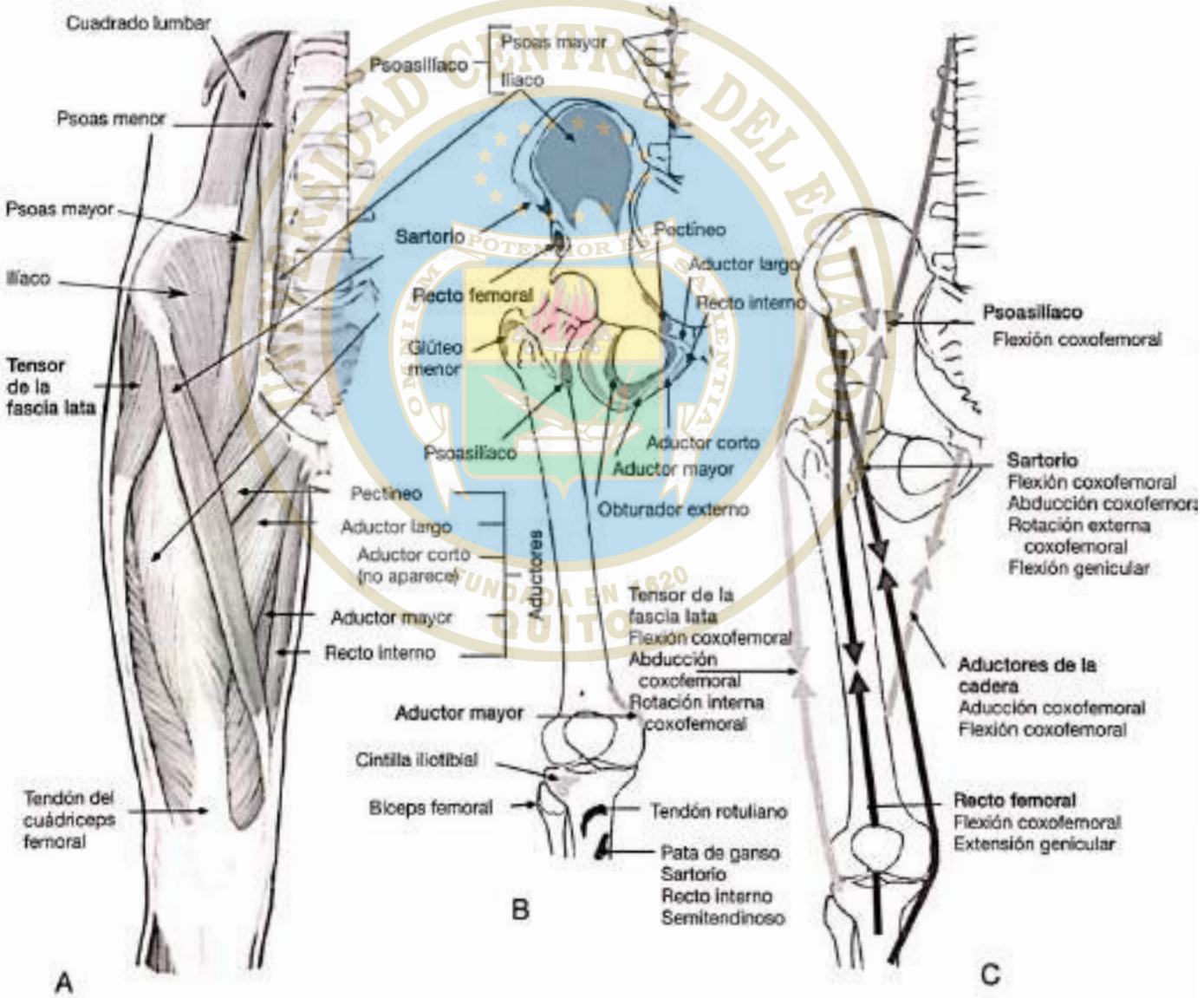



FIGURA 4.13. Vista anterior de los principales músculos que actúan sobre la articulación coxofemoral (cadera derecha). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

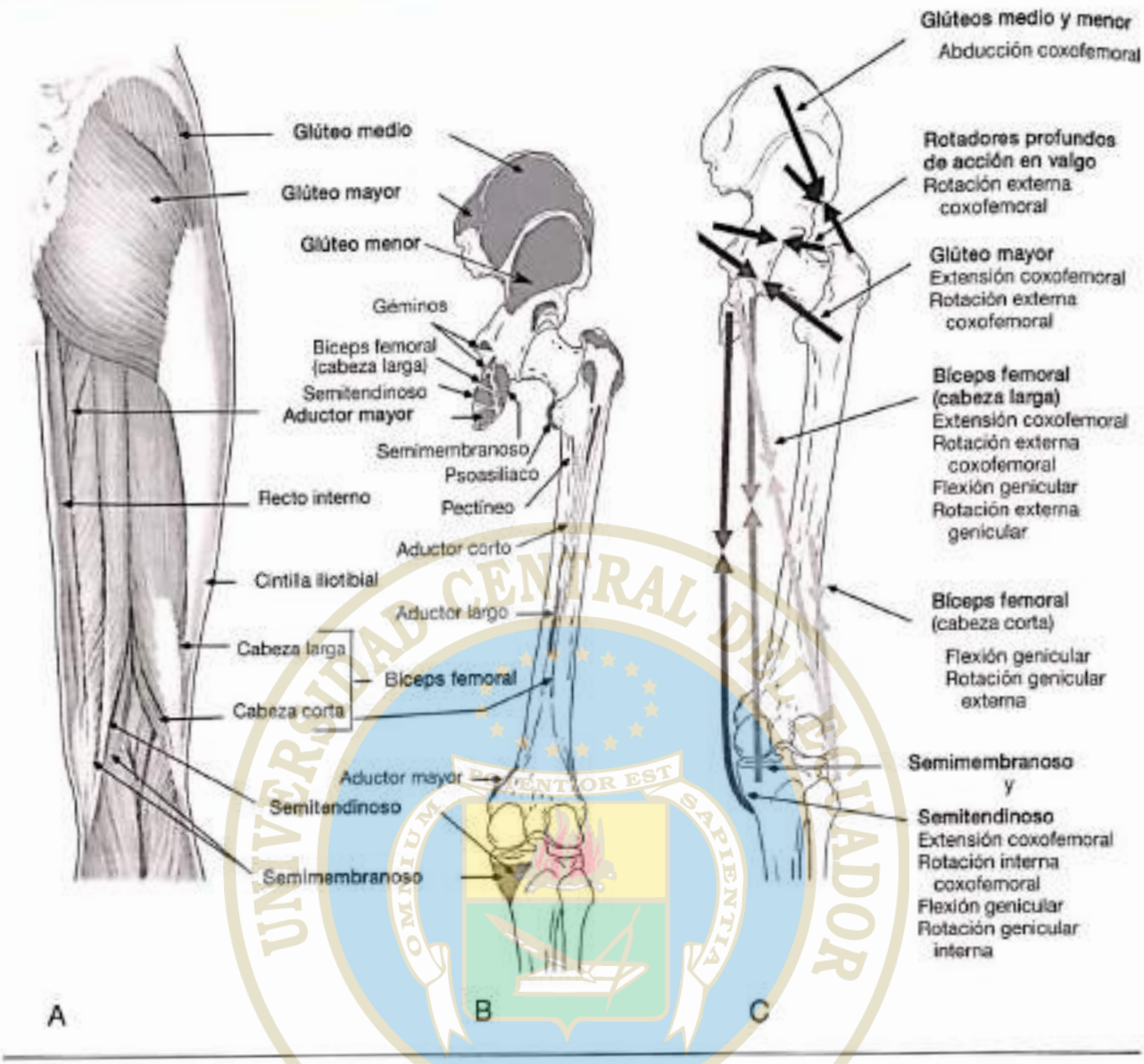



FIGURA 4.14. Vista posterior de los principales músculos que actúan sobre la articulación coxofemoral (cadera derecha). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

Esto se debe a que los puntos anatómicos óseos de referencia reflejan mejor la estructura ósea subyacente y por lo general ofrecen una valoración más exacta que el contorno del cuerpo.

### Posición neutra

En bipedestación y erguidos, un plano oblicuo que atraviesa las EIPS de los iliones y la sínfisis del pubis forma un ángulo de 60° respecto al plano horizontal. Este ángulo se llama **ángulo de inclinación pélvica** (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Se trata de la **posición neutra** de la pelvis y se corresponde *grosso modo* con una posición en que las EIAS y la sínfisis del pubis están en el mismo plano frontal, como se ve en la figura 4.15A. Como el ángulo de inclinación no se puede determinar en el ámbito o entorno de una clase, la alineación vertical de estos puntos anatómicos de referencia se emplea como un método sencillo para evaluar la posición de la pelvis. Una posición neutra de la pelvis también tiene en cuenta otros planos, como que una EIAS no esté más alta o más baja, ni girada hacia delante o atrás respecto a la otra EIAS.

### Inclinación pélvica anterior o posterior

La inclinación pélvica anterior o posterior son movimientos opuestos de toda la pelvis en el plano sagital sobre un eje mediolateral. En una **inclinación anterior** (aumento de la inclinación), la porción superior de la pelvis gira hacia delante de modo que las EIAS se adelantan respecto a la sínfisis del pubis, como se ve en la figura 4.15B. De perfil, un plano vertical que se extendiera desde las EIAS se situaría de-

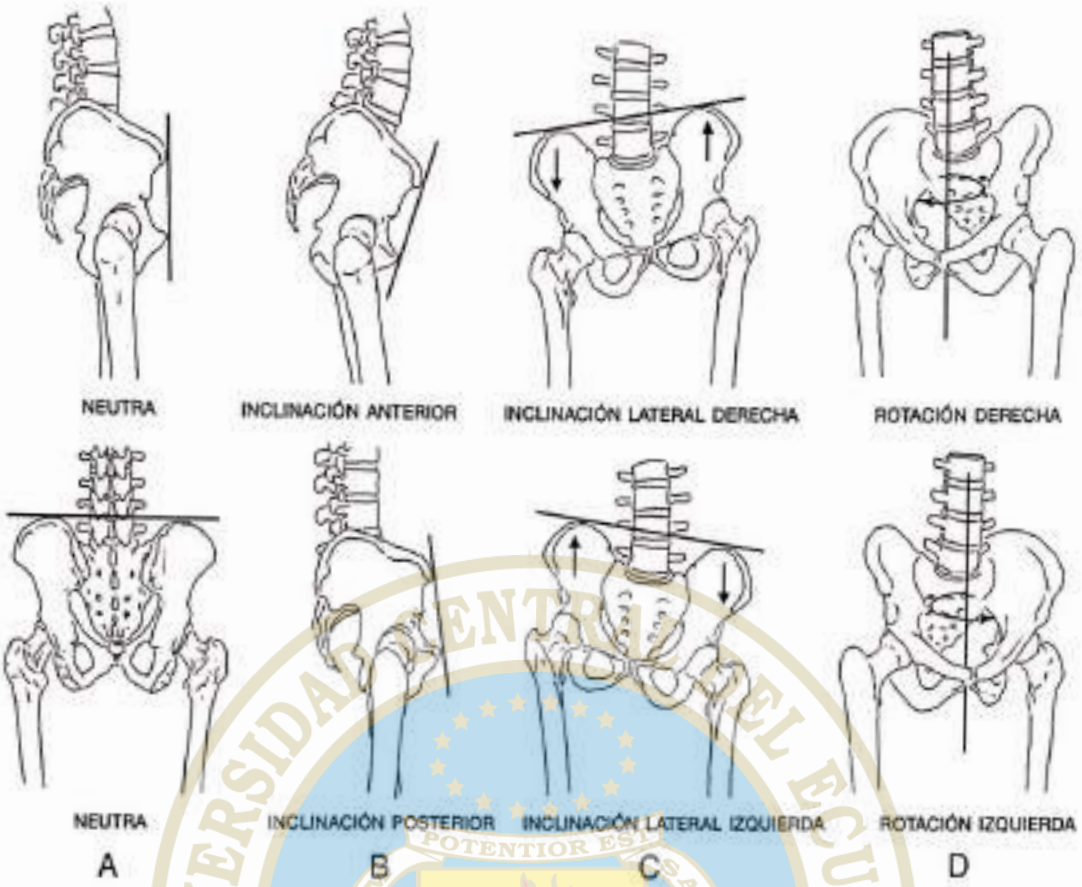



FIGURA 4.15. Alineación y movimientos de la pelvis. (A) Neutra; (B) inclinación anterior y posterior; (C) inclinación lateral; (D) rotación.

lante de la sínfisis del pubis. En danza, esto a veces se llama posición «anterior o antevertida» de la pelvis.

En una **inclinación posterior** (disminución de la inclinación), la porción superior de la pelvis gira hacia atrás de modo que las EIAS quedan por detrás de la sínfisis del pubis, como se ve en la figura 4.15B. De perfil, un plano vertical que atravesara las EIAS se situaría detrás de la sínfisis del pubis. En danza, esto se suele llamar posición «retrovertida» de la pelvis. Repárese en que cuando se describe una inclinación pélvica anterior o posterior, la referencia es la porción superior de la pelvis. Es importante recordarlo porque la porción inferior de la pelvis se estará moviendo en dirección opuesta.

### Inclinación pélvica lateral

La **inclinación lateral** es un movimiento de toda la pelvis en el plano frontal sobre un eje anteroposterior. Consiste en una inclinación lateral de la porción superior de la pelvis de modo que una cresta ilíaca y la EIAS queden por debajo de la cresta y EIAS opuestas. Así, vista por delante, la pelvis no está nivelada, y una EIAS está más baja que la otra, como se ve en la figura 4.15C; y vista por detrás, también una EIPS está más baja que la otra. Las inclinaciones laterales se adjetivan en relación con el lado de la pelvis que está más bajo, por lo que, en una inclinación lateral derecha, la cresta ilíaca, la EIAS y la EIPS del lado derecho están más bajas. La inclinación lateral u oblicuidad pélvica es común en los bailarines que tienen una pierna más corta que la otra, o en bailarines con ciertos tipos de escoliosis.

### Rotación pélvica

La **rotación pélvica** es el movimiento de toda la pelvis en el plano transversal sobre un eje vertical. Implica una rotación tal de la pelvis que una EIAS se encuentra anterior o posterior a la otra EIAS. Vista por delante o de perfil, una EIAS está delante de la otra, como se ve en la figura 4.15D. La rotación pélvica se suele observar en bailarines con escoliosis que implique rotación de la región lumbar. La rotación se califica según la dirección en que gira la cara anterior de la pelvis. Por eso, si la EIAS izquierda se halla detrás de la EIAS derecha, esto significa que la cara anterior de la pelvis está girando a la izquierda y, por tanto, se denomina rotación pélvica izquierda.

## Ángulo de inclinación femoral

El **ángulo de inclinación femoral, o ángulo cervicodiafisario,** es un ángulo formado por el cuello y la diáfisis del fémur visto por delante, como se aprecia en la figura 4.16B. Se produce cerca, aunque no estrictamente, del plano frontal, puesto que el trocánter mayor se encuentra algo posterior a la cabeza del fémur. En el recién nacido, este ángulo es de 150°; se reduce entre 125° y 130° en el adulto y disminuye todavía más, hasta 120°, en la vejez (Levangie y Norkin, 2001; Mercier, 1995). El ángulo de inclinación ejerce un influjo importante en la movilidad y estabilidad del fémur, así como en la alineación de la rodilla y la pierna. Normalmente, esta inclinación favorece la inclinación medial del fémur de modo que el centro de la articulación de la rodilla casi se alinea verticalmente con la cabeza del fémur y con el centro de movimiento de la articulación coxofemoral.

### Coxa vara

Cuando el ángulo de inclinación disminuye anormalmente, dicho defecto se denomina **coxa vara** (L. *coxa*, cadera, + *vara*, que se dobla hacia dentro), como se ve en la figura 4.16A. Este defecto reduce la carga que soporta la cabeza femoral, pero aumenta la carga sobre el cuello, lo cual incrementa el riesgo de fractura del cuello del fémur (Hamill y Knutzen, 1995). Respecto a la movilidad, un ángulo menor puede disminuir la movilidad en abducción, pero aumentar la eficacia de los músculos abductores de la cadera (con un mayor brazo de palanca). Respecto a la alineación de la pierna, al reducirse el ángulo cervicodiafisario, se aprecia una tendencia a que la diáfisis del fémur adopte una inclinación hacia dentro mayor de lo normal y provoque rodillas zambas, lo cual se denomina **rodilla valga** (véase el capítulo 5), donde las rodillas se hallan mediales a los pies en bipedestación en la posición anatómica.

### Coxa valga

Cuando el ángulo de inclinación aumenta anormalmente, dicho defecto se denomina **coxa valga** (L. *coxa*, cadera, + *valga*, que se dobla hacia fuera), como se ve en la figura 4.16C. Este defecto aumenta la carga que soporta la cabeza femoral, pero la reduce sobre el cuello del fémur. Respecto a la movilidad, un ángulo mayor puede aumentar la movilidad coxal en abducción, pero reduce la efica-

PRUEBAS Y MEDICIONES 4.1

### Alineación pélvica: inclinación anterior, inclinación posterior y neutra

Usa la figura 4.15 como referencia y emplea el procedimiento descrito a continuación para aprender a identificar una inclinación pélvica anterior o posterior o una posición neutra de la pelvis.

1. De pie en primera posición paralela mirándote de perfil en un espejo, pon el dedo índice derecho en la EIAS derecha y el índice izquierdo sobre la EIAS izquierda.
   a. Inclina la parte superior de la pelvis hacia delante para generar una inclinación pélvica anterior, y fíjate en el espejo en que las EIAS quedan delante de la sínfisis del pubis.
   b. Inclina la porción superior de la pelvis hacia atrás para generar una inclinación pélvica posterior, y fíjate en el espejo en que las EIAS quedan detrás de la sínfisis del pubis.
   c. Inclina la porción superior de la pelvis en la dirección necesaria para que adopte una posición neutra alineando las EIAS directamente encima de la sínfisis del pubis, en el mismo plano vertical.
2. De pie en primera posición paralela, fíjate en la alineación de tu pelvis. Introduce todas las correcciones necesarias para lograr una alineación neutra de la pelvis.
3. Practica un *demi-plié* y *relevé* en primera posición paralela y *en dehors*. Fíjate en la alineación de la pelvis durante el movimiento y haz todos los ajustes necesarios para mantener la alineación neutra de la pelvis. ¿Existen diferencias en la alineación de la pelvis cuando estás de pie, en *demi-plié* y *relevé* en paralelo o *en dehors*?
4. Repite los pasos 2 y 3 con un compañero y, si fuera necesario, ayudaos para introducir los ajustes necesarios para mantener una alineación neutra de la pelvis.
5. Ahora, fíjate en si existen asimetrías en la posición relativa de las EIAS en los planos transversal y frontal. Pon los dedos sobre las EIAS y mira la pelvis por delante. En alineación neutra, las EIAS deberían estar en el mismo plano transverso; es decir, deberían aparecer al mismo nivel o altura, en vez de una más baja que la otra. También deberían estar en el mismo plano frontal y no girada una delante de la otra.

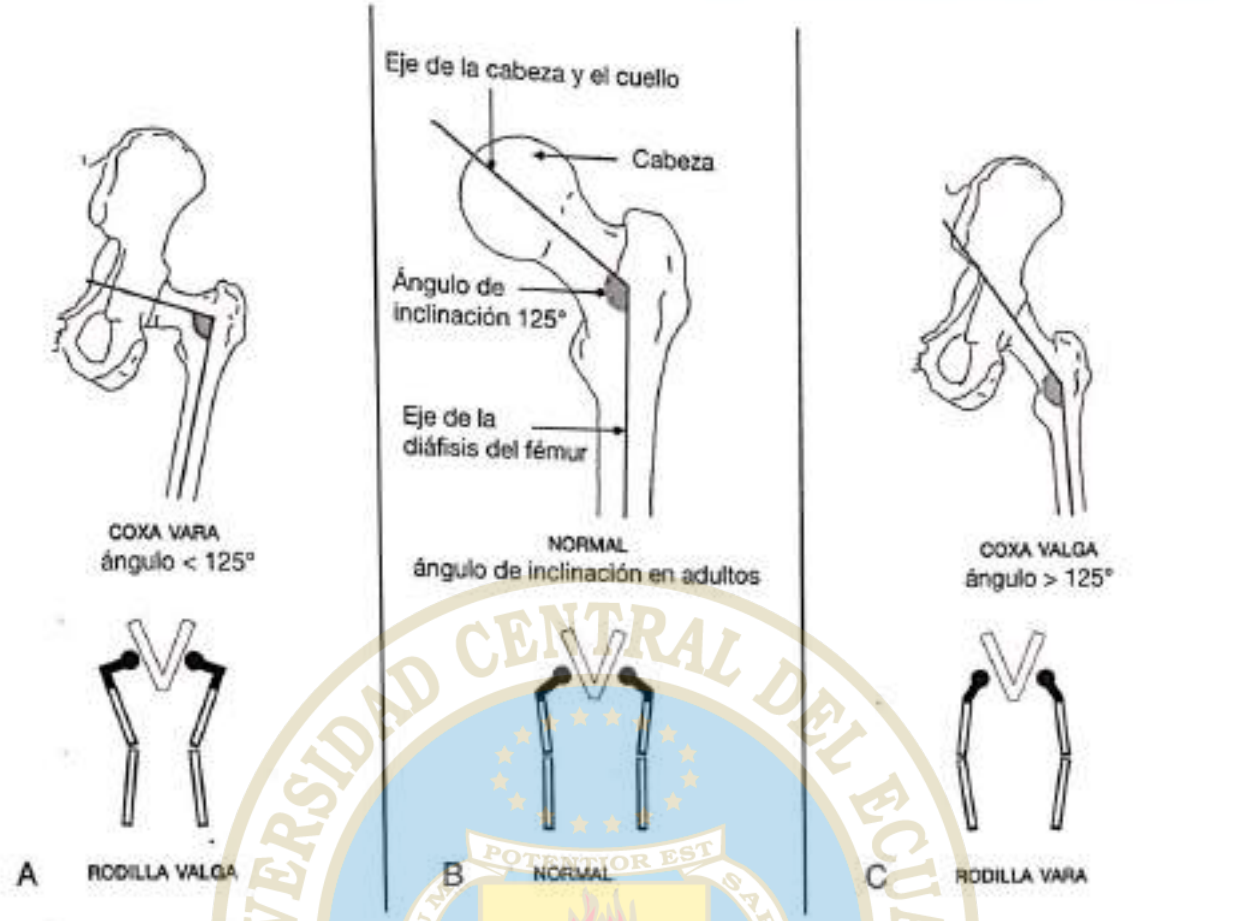



FIGURA 4.16. Ángulo cervicodiafisario de inclinación femoral (fila superior: cadera izquierda, vista posterior). (A) Coxa vara; (B) normal; (C) coxa valga.

cia de los músculos abductores de la cadera (con un menor brazo de palanca). Respecto a la alineación de la pierna, al aumentar el ángulo de inclinación, se aprecia una tendencia a que la diáfisis del fémur discurra más verticalmente o incluso un poco hacia fuera generando una alineación con las piernas arqueadas, lo cual se denomina **rodilla vara** (véase el capítulo 5), donde las rodillas se hallan laterales respecto a los pies en bipedestación en la posición anatómica.

## Ángulo de torsión femoral

El **ángulo de torsión femoral** es el ángulo que forman la cabeza y el cuello del fémur respecto a su diáfisis y cóndilos visto por arriba, como se aprecia en la figura 4.17. Debido a este ángulo, en ortostatismo y erguidos, con las rodillas mirando directamente hacia delante, el centro de la cabeza del fémur no se localiza en el mismo plano frontal que la punta del trocánter mayor, sino ligeramente anterior al trocánter. Dicho de otro modo, si colocas los dedos sobre el trocánter mayor, el cuello del fémur formará un ángulo hacia delante, situando el centro de la cabeza femoral ligeramente delante del trocánter. Este ángulo es acusado en los recién nacidos, promediando entre 35° y 40°, pero disminuye con

FIGURA 4.17. Ángulo de torsión femoral (cadera izquierda, vista superior).

la edad hasta 8° y 15° (Barman, Singson y Hamilton, 1994; Rasch, 1989). Este ángulo puede influir en el grado de rotación permitido por la cadera y, por tanto, es importante que los bailarines lo conozcan.

### Anteversión femoral

Un aumento anormal del ángulo de torsión femoral se denomina **anteversión femoral**. La anteversión femoral excesiva causa una mayor rotación interna del fémur, la cual puede ser responsable de la desviación hacia dentro de los dedos del pie, o de la tendencia de los dedos a meterse hacia dentro, como se ve en la figura 4.18B. Cuando la anteversión femoral es excesiva, se descubre una mayor porción anterior de la cabeza del fémur, y se requiere la rotación interna del fémur para que la cabeza femoral esté mejor situada dentro del acetábulo (Hamill y Knutzen, 1995). El aumento de la anteversión femoral también se asocia con una reducción de la rotación externa, probablemente debido a un contacto más temprano entre el cuello femoral y el borde lateral del acetábulo. Debido a la limitada rotación externa y a la tendencia a la desviación hacia dentro de los dedos del pie, la anteversión femoral excesiva se considera poco deseable para los bailarines profesionales, sobre todo en ballet clásico. La anteversión femoral también puede ejercer un impacto negativo sobre la alineación por encima y debajo de la cadera, y normalmente se asocia con lordosis lumbar, un aumento del ángulo Q y problemas rotulianos (véase el capítulo 5), así como pronación excesiva del pie (véase el capítulo 6).

### Retroversión femoral

La disminución del ángulo de torsión femoral, al contrario que su aumento, se denomina **retroversión femoral**. La retroversión femoral causa una mayor rotación externa de la cadera, lo cual puede causar desviación hacia fuera de los dedos del pie, o la tendencia de los dedos del pie a apuntar u orientarse hacia los lados, como se ve en la figura 4.18C. Debido al aumento asociado de la rotación externa de la cadera o apertura, la retroversión femoral se considera deseable para los bailarines en aquellos estilos de danza que den protagonismo al *en dehors*.

## Mecánica de la pelvis y la cadera

Debido a la limitadísima movilidad de la sínfisis del pubis y las articulaciones sacroilíacas, la cintura pélvica actúa sobre todo como una unidad, en la que el movimiento de la pelvis tiende a generar movimiento en la columna lumbar y en ambas articulaciones coxofemorales. En algunos casos, se potencian los movimientos vinculados de la pelvis, columna lumbar y articulaciones coxofemorales, mientras que en otros se procura limitar los movimientos asociados para favorecer la estabilización de uno de los segmentos.

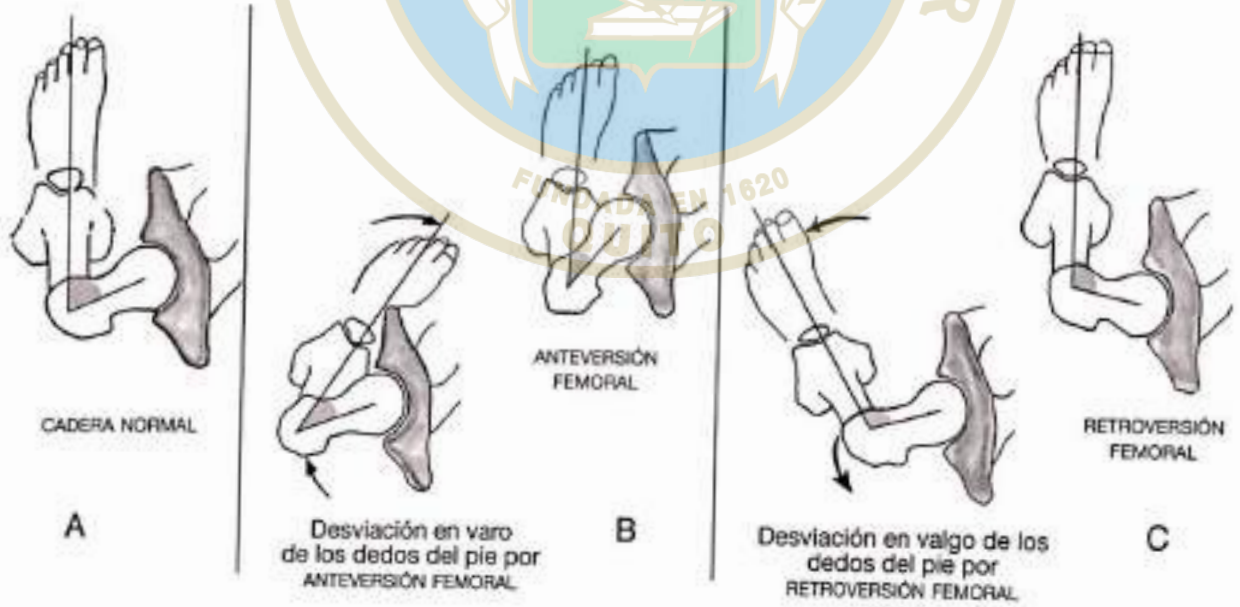



FIGURA 4.18. Ángulo de torsión femoral e influencia potencial sobre la alineación de la pierna (cadera izquierda, vista superior). (A) Normal; (B) anteversión femoral y desviación medial de los dedos del pie; (C) retroversión femoral y desviación lateral de los dedos del pie.

## *Movimientos asociados de la pelvis, fémur y columna lumbar*

El movimiento de la pelvis respecto a la columna vertebral se produce en especial en la articulación lumbosacra, y respecto al fémur, en la articulación coxofemoral. Los movimientos se pueden iniciar en la columna, la pelvis o el fémur, y tienden a generar movimientos secundarios predecibles también en los otros dos segmentos. En los movimientos vinculados que tienden a ocurrir influye cuál de los extremos está en cadena cinética cerrada, si es la cabeza femoral la que tiene libertad de movimiento, o la pierna/pie.

### Movimientos pélvicos en cadena cerrada

Si bien los términos cadena cinética abierta y cerrada son los más usados con las extremidades, el concepto también se puede aplicar a la pelvis. En ortostatismo y erguidos, la porción distal de la cadera (el pie) está fija. Aunque no esté fijo estructuralmente, el extremo proximal de la cadena (cabeza) puede estar funcionalmente fijo en muchos movimientos, debido a la necesidad de mantener la cabeza erguida y encima de la base de sustentación (Levangie y Norkin, 2001). Cuando se dan ambas condiciones, los movimientos de la pelvis se denominan **movimientos pélvicos en cadena cerrada**, y generan movimientos predecibles en la articulación coxofemoral y en la columna lumbar. Por ejemplo, en ortostatismo y erguidos, si la pelvis se inclina en sentido anterior respecto a su posición neutra (figura 4.19A), como se ve en la figura 4.19B, producirá flexión coxofemoral y un aumento compensatorio del arco de la curvatura lumbar (hiperextensión lumbar) para devolver el torso y la cabeza a su posición encima de la pelvis. En contraste, cuando la pelvis se inclina posteriormente, como en la figura 4.19C, tiende a generar hiperextensión de cadera (a menos que las rodillas se flexionen simultáneamente) y una disminución compensatoria de la curva lumbar (flexión lumbar) para devolver la porción superior del torso y la cabeza a su posición encima de la pelvis. Hay que reparar en que, durante las inclinaciones pélvicas anterior y posterior, los movimientos de la pelvis implican «movimientos opuestos» en las articulaciones lumbosacra y coxofemoral debido a su orientación opuesta. Cuando la pelvis se inclina lateral-

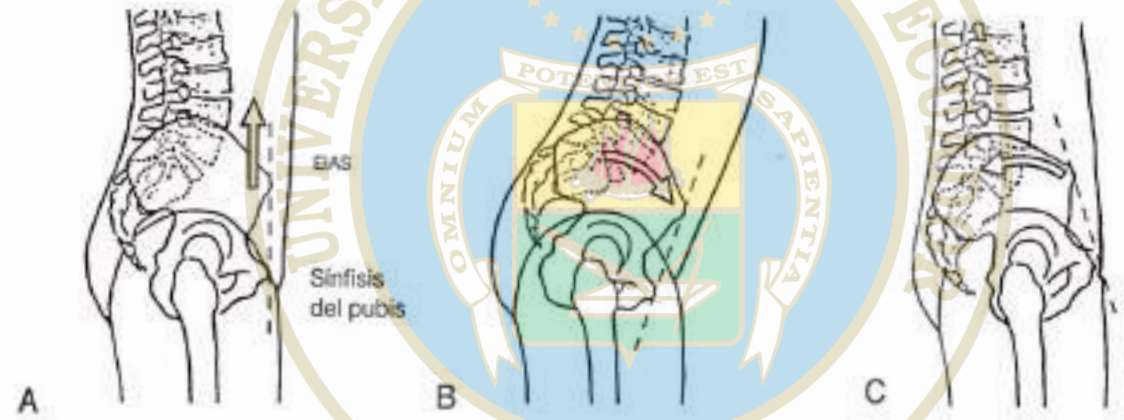



FIGURA 4.19. Movimientos pélvicos en cadena cinética cerrada. (A) Posición neutra; (B) inclinación pélvica anterior; (C) inclinación pélvica posterior.

**Tabla 4.2. Movimientos primarios de la pelvis en ortostatismo, y movimientos secundarios de la columna vertebral y la cadera**

| Movimiento de la cintura pélvica | Movimiento asociado de la columna | Movimiento asociado de la cadera |
|---|---|---|
| Inclinación pélvica anterior | Hiperextensión lumbar | Flexión coxofemoral |
| Inclinación pélvica posterior | Flexión lumbar | Extensión coxofemoral |
| Inclinación lateral derecha (lado derecho más bajo) | Lateroflexión de la columna a la izquierda | Abducción coxofemoral derecha<br>Aducción coxofemoral izquierda |
| Rotación a la derecha (la cara anterior de la pelvis gira a la derecha) | Rotación de la columna a la izquierda | Rotación interna coxofemoral derecha<br>Rotación externa coxofemoral izquierda |

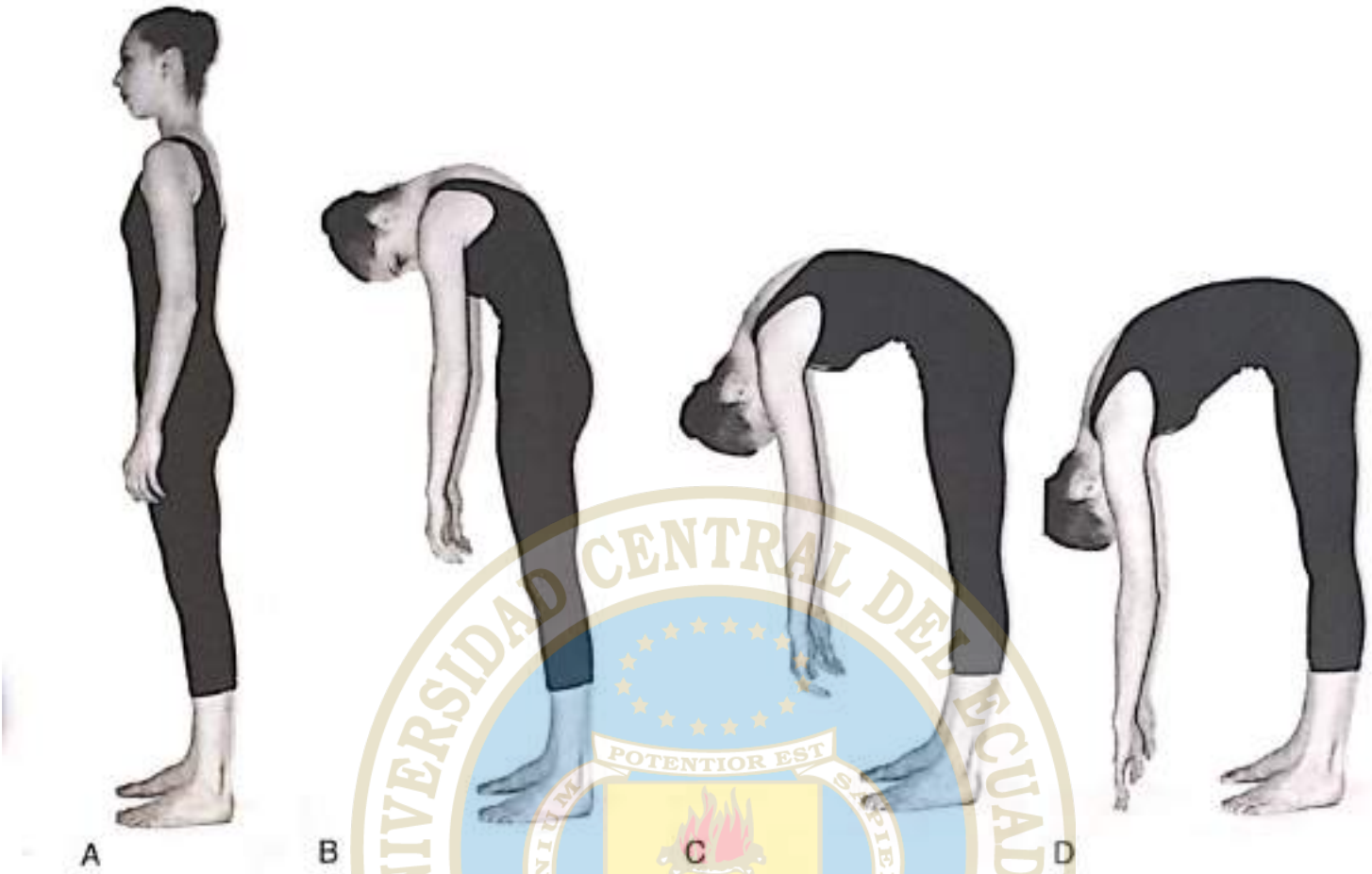



FIGURA 4.20. Ritmo lumbopélvico. (A) Pelvis y columna en posición neutra; (B) flexión de la columna; (C) inclinación pélvica anterior y flexión de cadera; (D) *forward hang*.

mente a la derecha (el lado derecho queda por debajo del izquierdo), la inclinación se acompaña de una ligera abducción de la cadera derecha, una ligera aducción de la cadera izquierda y una lateroflexión compensatoria a la izquierda de la articulación lumbosacra, lo cual genera una curva convexa a la derecha. Cuando la pelvis gira a la derecha (la cara anterior de la pelvis gira a la derecha sin que los pies ni la cabeza se muevan), este movimiento se acompaña de ligera rotación externa de la cadera izquierda, ligera rotación interna de la cadera derecha y rotación vertebral compensatoria a la izquierda. La lateroflexión izquierda y la rotación izquierda de la pelvis se asocian con movimientos opuestos a los descritos hacia la derecha.

Estos movimientos asociados aparecen resumidos en la tabla 4.2 y es importante reparar en que se suelen establecer los mismos vínculos cuando el movimiento se inicia en la columna vertebral. Por ejemplo, arquear la región lumbar como en la danza jazz o en las danzas africanas (hiperextensión lumbar) genera una inclinación anterior automática de la pelvis y flexión de cadera, mientras que el aplanamiento de la columna lumbar (flexión o disminución de la lordosis lumbar), al igual que con una contracción, se asocia con una inclinación pélvica posterior y con la extensión de la cadera. No obstante, en danza, iniciar el movimiento por la pelvis a menudo produce la acción deseada con menos tensión para la columna lumbar. Por ejemplo, usar la orden de hacer descender la base de la pelvis hacia el suelo y hacia atrás puede generar el arco deseado en la columna lumbar por la inclinación anterior producida por una mayor contracción de los músculos flexores de la cadera frente a una contracción de los músculos extensores de la columna localizados en la región lumbar.

### Ritmo lumbopélvico

En contraste con el caso antes descrito, cuando el extremo distal de la cadena (los pies) está fijo en ortostatismo, pero

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 4.1

### *Función postural de los músculos extensores de la cadera*

Los músculos extensores de la cadera se pueden palpar en su papel postural. Pon una mano debajo de la tuberosidad isquiática y del músculo glúteo mayor, y la otra sobre una de las nalgas, inclina el tronco hacia delante unos 45°, y siente la contracción de los isquiotibiales y el glúteo mayor. A continuación, devuelve lentamente el torso a la posición vertical, échate un poco hacia atrás, y nota cómo se relajan los isquiotibiales y el glúteo mayor a medida que el centro de masas del tronco se sitúa detrás del eje común de la cadera.

el extremo proximal de la cadena (la cabeza) tiene libertad de movimiento, la vinculación entre columna, pelvis y cadera se denomina **ritmo lumbopélvico.** Un ejemplo importante del ritmo lumbopélvico ocurre durante la flexión del tronco en bipedestación para volver luego a la posición erguida (Caillet, 1996). Sólo son posibles en torno a 50°-70° de flexión vertebral (Soderberg, 1986) en la mayoría de las personas (figura 4.20B), y la movilidad adicional se debe a la inclinación anterior de la pelvis y a la flexión de la articulación coxofemoral (figura 4.20C y D). Cuando esta flexión es completa, el soporte del peso del cuerpo depende de elementos pasivos (fenómeno de flexión-relajación). La vuelta desde esta posición de flexión completa requiere invertir este proceso usado en la flexión, comenzando con extensión de la articulación coxofemoral e inclinación posterior de la pelvis, y seguido por extensión de la columna. Este retorno desde la anteversión debe ser un movimiento bien coordinado; y la interrupción de este ritmo lumbopélvico, como extender la espalda demasiado pronto o recuperar la postura erguida de forma asimétrica, puede aumentar el riesgo de lesión en la región lumbar.

Este movimiento se suele usar en las clases de danza moderna y danza jazz *(roll-downs),* y las órdenes que suelen dar los profesores son flexionar las rodillas ligeramente y bajar la pelvis, antes de apoyar la columna sobre la pelvis, ya que ello favorece el ritmo lumbopélvico deseado y reduce la tensión lumbar. Durante la flexión del tronco en bipedestación, las tuberosidades isquiáticas se desplazan hacia atrás respecto al eje de la cadera, como se ve en la figura 4.20A-D; por tanto, los músculos isquiotibiales tiran de las tuberosidades isquiáticas hacia abajo y adelante, mientras que el músculo glúteo mayor tira de la pelvis hacia atrás para ayudarla a volver a una posición vertical/neutra. Iniciar este movimiento de retorno con la pelvis retarda la extensión de la columna vertebral hasta que el tronco está más cerca, de modo que el brazo de palanca de la resistencia (peso del torso) es menor y la tensión sobre la columna lumbar se reduce en gran medida.

#### Ritmo pelvicofemoral

Cuando se requieren grados extremos de movilidad en la articulación coxofemoral, los movimientos de la cintura pélvica se producen en una dirección distinta y por una razón diferente, es decir, para que el acetábulo adopte una posición favorable que permita una mayor movilidad de la pierna y el pie. En este libro se usa la fórmula **ritmo pelvicofemoral** para referirse a la vinculación característica de estos movimientos de la pelvis con los movimientos fundamentales del fémur en la articulación coxofemoral, como se aprecia en la tabla 4.3. Así, se refleja su paralelismo con la serie predecible de movimientos de la escápula durante los movimientos fundamentales del húmero en la articulación del hombro, lo cual se denomina ritmo escapulohumeral. No obstante, existe una diferencia importante entre estas series de movimientos en las extremidades superiores e inferiores, porque la pelvis se inserta directamente en la columna vertebral y, por tanto, los movimientos de la pelvis necesitan el movimiento de la columna lumbar, como ya se describieron y enumeraron en la tabla 4.2. En contraste, los movimientos de la escápula pueden ocurrir sin generar cambios en la posición de la columna.

Un ejemplo de ritmo pelvicofemoral que implica la asociación de inclinación pélvica posterior y flexión coxofemoral se da cuando se practica un *grand battement en avant.* Cuando se manifiestan las restricciones que impone la flexibilidad de los músculos isquiotibiales, la continuación del movimiento ascendente de la pierna genera una inclinación posterior de la pelvis y una disminución de la lordosis (o incluso flexión) de la columna lumbar. Este movimiento adicional de la pelvis y la columna cambia la orientación del acetábulo, que ahora mira más hacia arriba, lo cual, a su vez, permite a la pierna elevarse más alto respecto al suelo. A menudo, el uso extremo de esta relación no es deseable en danza porque distorsiona la alineación deseada del cuerpo, si bien el vocabulario y danza específicos dictarán el grado de movilidad pélvica permitido. Por ejemplo, una inclina-

**Tabla 4.3. Movimientos asociados de la pelvis que acompañan a movimientos del fémur en la articulación coxofemoral**

| Movimiento de la articulación coxofemoral | Movimiento asociado de la cintura pélvica |
|---|---|
| Flexión de cadera | Inclinación pélvica posterior |
| Hiperextensión de cadera | Inclinación pélvica anterior |
| Abducción de la cadera izquierda | Inclinación lateral derecha de la pelvis (el lado derecho está más bajo y el izquierdo más alto) |
| Aducción de la cadera derecha | Inclinación lateral derecha de la pelvis |
| Rotación externa de la cadera izquierda | Rotación pélvica a la izquierda |
| Rotación interna de la cadera derecha | Rotación pélvica a la izquierda |

FIGURA 4.21. La ejecución de un *battement en avant* con la rodilla de la pierna de apoyo flexionada permite un mayor uso del ritmo pelvicofemoral para incrementar la altura de la pierna.

ción posterior extrema de la pelvis causará flexión de la rodilla de la pierna de apoyo y de la columna, alterando así la ilusión deseada y clásica de un cuerpo «elevado» y alineado verticalmente. Sin embargo, en jazz y en las coreografías contemporáneas, a veces se practica a propósito una patada elevada al frente en *elevé* con la pierna de apoyo flexionada, como muestra la figura 4.21. Esta posición con la rodilla flexionada permite una mayor inclinación pélvica posterior, de modo que se consigue una elevación mucho mayor de la pierna que trabaja, mientras que la extensión de la porción superior de la columna se puede usar para limitar «el descenso hacia atrás» del torso dentro de los límites aceptables para el coreógrafo.

Mientras que los últimos grados de flexión de la cadera tienden a asociarse a una inclinación posterior de la pelvis, otros movimientos de la articulación coxofemoral también se asocian a movimientos pélvicos como sigue. Cuando se eleva el muslo hacia atrás (hiperextensión de la cadera), la pelvis tiende a inclinarse anteriormente; cuando un muslo se mueve en amplia abducción o aducción, la pelvis se inclina lateralmente, y cuando una pierna se adelanta y la otra se retrasa, como al dar una zancada larga, la pelvis rota. Los movimientos asociados de la columna lumbar se deducen de la tabla 4.2. Como se dijo previamente, en el vocabulario de danza la secuenciación y amplitud de estos movimientos asociados suelen estar dictadas por la estética de la escuela específica de danza. Con frecuencia, el énfasis se pone en reducir a la mínima expresión estos movimientos asociados en los grados iniciales de movimiento, y su empleo se reserva para los grados finales del movimiento en un esfuerzo por potenciar la altura a la que se eleva la pierna. Además, en los ejercicios de fortalecimiento y estiramiento, a menudo el énfasis se pone en limitar el uso inicial de movimientos pélvicos asociados con la intención de incidir principalmente en el grupo de músculos de la cadera.

## Estabilización pélvica

Mientras que la descripción previa hizo hincapié en los movimientos asociados entre la pelvis, la columna vertebral

y la articulación coxofemoral, también hay muchos casos en que el énfasis se pone en mantener la pelvis quieta o en limitar su movilidad durante los movimientos (o en ciertas fases de éstos) del fémur o la columna. Este proceso por el cual la pelvis se mantiene relativamente quieta durante el movimiento se denomina **estabilización pélvica** y se puede considerar un elemento de la estabilización central. Como los músculos que se usan para elevar la pierna se insertan en la pelvis, tenderán a producir el movimiento de la pelvis, la columna lumbar y la pierna a menos que la pelvis se estabilice. Por ejemplo, cuando se eleva el muslo hacia delante en una *attitude*, como las inserciones proximales de muchos de los músculos flexores de la cadera se hallan en la superficie anterior de la pelvis, tienden a generar simultáneamente una inclinación pélvica anterior y lordosis lumbar, además del movimiento deseado de flexión coxofemoral. Sin embargo, se pueden usar otros músculos para estabilizar la pelvis e impedir estos movimientos no deseados de la pelvis y la columna, de modo que la movilidad visible se confine sobre todo a la flexión del muslo en la articulación coxofemoral.

Existen varias estrategias para lograr la estabilización deseada de la pelvis y la columna. En el capítulo previo, se describió la coactivación de los músculos abdominales y extensores de la espalda para la estabilización del tronco. Otra estrategia vital en bipedestación (en cadena ci-

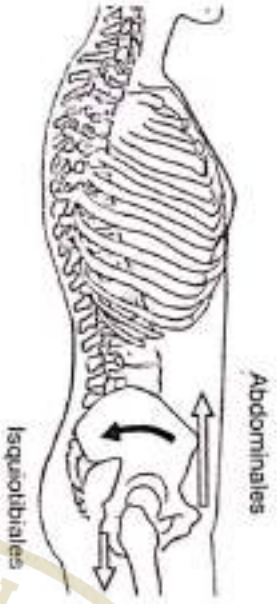



FIGURA 4.22. Par de fuerzas abdominal-isquiotibial. Los músculos abdominales tiran hacia arriba de la cara anterior de la pelvis mientras los isquiotibiales tiran hacia abajo de la cara posterior de la pelvis para generar rotación pélvica posterior (inclinación pélvica posterior).

ÓRDENES EN LA DANZA 4.2

### «Usa la parte posterior del muslo»

A veces los profesores ordenan «usar más la parte posterior del muslo» para potenciar el uso de los músculos isquiotibiales cuando los pies se apoyan en el suelo, sobre todo cuando el profesor cree que el estudiante bailarín usa en exceso la «parte anterior de los muslos» (cuádriceps femoral). Desde una perspectiva anatómica, esta orden se puede interpretar como el deseo de potenciar el uso del par de fuerzas abdominal-isquiotibial. Si se logra más estabilidad por arriba, mediante el uso de este par de fuerzas para mantener la pelvis neutra y distribuir el peso del cuerpo apropiadamente sobre el pie/pies de apoyo (y no demasiado atrás), un bailarín puede, teóricamente, usar una contracción menor del cuádriceps para mantener el «equilibrio». Otra interpretación de esta orden se relaciona con un mayor uso de los músculos extensores de la cadera y no de los extensores de la rodilla en movimientos como *pliés;* de este tema se hablará en el capítulo 5.

El problema con esta orden es que algunos bailarines no saben usar «más la parte posterior del muslo», por lo que sustituir esta orden por otras o practicar un ejercicio que les ayude a descubrir estos músculos puede dotar a esta orden de más sentido. Por ejemplo, pensar en empujar la base de la pelvis (tuberosidades isquiáticas) hacia el suelo hasta que la pelvis esté alineada verticalmente (las EIAS y la sínfisis del pubis se sitúan en el mismo plano frontal) ayuda a algunos bailarines a reclutar los isquiotibiales en su papel de par de fuerzas con los músculos abdominales. De forma parecida, durante la fase ascendente del *plié*, centrarse en ejercer presión contra el suelo con los pies y tirar de las tuberosidades isquiáticas hacia abajo y adelante para extender la articulación coxofemoral, antes de pensar en extender las rodillas, a veces ayuda a los bailarines a apreciar el mayor uso de los músculos extensores de la cadera. Una vez que el bailarín sepa cómo activar más los músculos extensores de la cadera, la orden inicial de usar «la parte posterior de los muslos» o usar «más los isquiotibiales» será un recordatorio eficaz.

nemática cerrada) es la coactivación de los abdominales e isquiotibiales, denominada **par de fuerzas abdominal-isquiotibial**. Como se ve en la figura 4.22, cuando la extremidad está fija, como en bipedestación y erguidos, la inserción proximal de los isquiotibiales puede ser el extremo móvil, que tira de las tuberosidades isquiáticas hacia abajo mientras la inserción inferior de los abdominales tira del pubis hacia arriba, todo lo cual produce una inclinación pélvica posterior o previene una inclinación pélvica anterior.

En danza, a menudo se tiende a usar el par de fuerzas abdominal-isquiotibial y otras estrategias para la estabilización de la pelvis en apoyo monopodal o bipodal, por lo que el movimiento se aísla sobre todo en la articulación coxofemoral, o, al menos, los movimientos de la pelvis se limitan hasta donde lo permite la estética de la danza. La capacidad refinada de secuenciar y controlar los movimientos de la pelvis y el torso con los movimientos de las extremidades es uno de los factores que distinguen la adquisición de las destrezas de la danza (Bronner *et al.*, 2000).

## Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la cadera

Como se ha descrito previamente, la articulación coxofemoral es capaz de flexión, extensión, abducción, aducción, rotación externa y rotación interna. Un resumen de los músculos clave capaces de generar estos movimientos fundamentales de la cadera aparece en la tabla 4.4. Por razones de simplicidad, al principio hay que concebir los movimientos en una posición paralela. Gran parte de los estudios relacionados con las acciones de los músculos se han hecho con las extremidades en posición paralela (neutra) o casi neutra. No obstante, hay muchos movimientos de danza que se practican en *en dehors*, y, por tanto, representan movimientos combinados en que los rotadores externos apropiados de la cadera trabajan con los flexores en movimientos hacia delante, probablemente con una combinación de los flexores y abductores coxofemorales en movimientos laterales, y con los extensores de la cadera en movimien-

**Tabla 4.4. Movimientos fundamentales de la cadera y músculos que los producen**

| Articulación coxofemoral | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| Flexión | Psoasilíaco<br>Recto femoral<br>Sartorio | Tensor de la fascia lata<br>Aductores largo y corto (inicio de la flexión)<br>Recto interno<br>Pectíneo |
| Extensión | Glúteo mayor<br>Isquiotibiales:<br>Bíceps femoral<br>Semitendinoso<br>Semimembranoso | Aductor mayor (fibras inferiores) |
| Abducción | Glúteo medio<br>Glúteo menor | Tensor de la fascia lata<br>Sartorio<br>Psoasilíaco (grados finales de la abducción) |
| Aducción | Aductor largo<br>Aductor corto<br>Aductor mayor<br>Recto interno | Pectíneo |
| Rotación externa | Rotadores externos profundos:<br>Obturador externo<br>Obturador interno<br>Piriforme<br>Cuadrado femoral<br>Gémino superior<br>Gémino inferior<br>Glúteo mayor | Sartorio<br>Bíceps femoral |
| Rotación interna | Glúteo medio (fibras anteriores)<br>Glúteo menor (fibras anteriores) | Tensor de la fascia lata<br>Semimembranoso<br>Semitendinoso |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

tos hacia atrás. Usar una posición de *en dehors* es probable que influya en la activación relativa del grupo de músculos relevantes. Por ejemplo, practicar un *aralesque en dehors* teóricamente reclutará más el bíceps femoral que los isquiotibiales mediales, debido a la función secundaria de rotación interna de la cadera de los isquiotibiales mediales. Estudios electromiográficos (EMG) adicionales en las posiciones en paralelo frente a las de *en dehors*, básicas en el vocabulario de danza, aportarán datos valiosos sobre la activación muscular.

## Flexión de la cadera

La flexión de la cadera disminuye el ángulo entre las superficies anteriores de los huesos articulados. A los músculos psoasilíaco, recto femoral y sartorio les asisten otros flexores coxofemorales (tabla 4.4) en la ejecución de su acción habitual cuando se contraen concéntricamente contra la gravedad o una resistencia con el fin de elevar el fémur hacia delante en el movimiento de llevar la rodilla al pecho, en una elevación de la pierna al frente y en un *développé en avant* (tabla 4.5A-C, págs. 215-216), o al oscilar la pierna hacia delante al caminar, correr, dar patadas y en muchos deportes. En danza, este tipo de flexión coxofemoral se emplea siempre que la pierna se mueve hacia delante, como en un *tendu, dégagé, attitude en avant, battement en avant*, o en la pierna adelantada en un salto (*sissone*), como se ve en la figura 4.23.

Los músculos flexores de la cadera se usan en su acción invertida cuando se contraen concéntricamente para adelantar la pelvis o el tronco en una inclinación pélvica anterior, en una incorporación del tronco en decúbito supino (véase la figura 2.8 en la pág. 43), y en trabajo de suelo, como una serie de contracciones en danza moderna o elevaciones de pecho en danza jazz. Un ejemplo del uso combinado del movimiento de las piernas y el tronco aparece en la figura 4.24, donde la bailarina se levanta de una posición plana en el suelo flexionando para ello la cadera y acercando al mismo tiempo un muslo y el torso. En contraste con un *curl-up* o enrollamiento clásico, la columna vertebral se mantiene en una posición relativamente neutra (extendida), y el tronco se mueve como una unidad sobre el eje de la cadera frente a la flexión secuencial de la columna que se suele usar en el ejercicio clásico. Ejemplos más espectaculares de este movimiento simultáneo del tronco y el muslo son los abdominales carpados (que se mostraron en la figura 3.43 de la pág. 128) en danza moderna, danza jazz y Pilates. Estos ejercicios avanzados requieren mucha fuerza y destreza para que la cocontracción de los abdominales estabilice la región lumbar y la pelvis con el fin de que los músculos flexores de la cadera acerquen muslos y tronco sin un arqueamiento indeseable y potencialmente dañino de la región lumbar.

FIGURA 4.23. Movimiento de danza con flexión de la cadera. Fotografía por cortesía de Myra Armstrong: Lorin Johnson con el American Ballet Theatre.

FIGURA 4.24. Flexión de cadera que implica el acercamiento de la superficie anterior de uno de los fémures y la pelvis.

No obstante, cuando la flexión de la cadera ocurre mientras la extremidad inferior está en carga (movimientos en cadena cinética cerrada), la fuerza de la gravedad tiende a incrementar la flexión de cadera una vez iniciada una pequeña flexión. Por eso son realmente los músculos extensores de la cadera los que principalmente se usan de forma excéntrica para controlar la flexión y evitar la caída del cuerpo al suelo. Ejemplos de este tipo de flexión coxofemoral se dan en la fase descendente de un *plié* en paralelo, en la fase de recepción de un salto en paralelo, en la anteversión del tronco en un *roll-down* o al adoptar una posición con la espalda plana.

## Extensión de la cadera

La extensión de la cadera es un movimiento en dirección posterior, de modo que se reduce el ángulo entre las superficies posteriores de los huesos articulados. Los músculos extensores de la cadera –los isquiotibiales y el glúteo mayor– ejecutan su acción habitual en cadena cinética abierta cuando se contraen concéntricamente contra la fuerza de la gravedad o contra una resistencia para mover el fémur hacia atrás en una elevación posterior de la pierna (tabla 4.5D, pág. 216), en un *arabesque* de rodillas (tabla 4.5E, pág. 217) o en carrera (fase de recuperación). En danza, se emplea este tipo de extensión coxofemoral cuando la pierna se mueve hacia atrás en un salto (pierna retrasada) y en movimientos como *tendu, dégagé, développé en arrière, attitude en arrière* o *arabesque penché*, como se ve en la figura 4.25.

Cuando el pie permanece fijo y en contacto con el suelo (movimientos en cadena cinética cerrada), la extensión de la cadera ocurre contra la gravedad al abandonar una posición de flexión –como en la fase ascendente de una sentadilla, *plié* o salto– o cuando se devuelve el tronco a una posición vertical desde una posición con la espalda plana. La extensión concéntrica de la cadera también se emplea en la marcha para llevar el peso del cuerpo sobre el pie, y en bipedestación para generar una inclinación pélvica posterior, mientras la extensión coxofemoral isométrica se emplea para mantener la cadera extendida sobre la pierna de apoyo en muchos movimientos de danza. Hacer el puente (tabla 4.5F, pág. 217) es un ejercicio cuyo objetivo es estimular estas funciones de los músculos extensores de la cadera. Estos movimientos de extensión coxofemoral en cadena cinética cerrada son muy importantes en actividades de la vida diaria y en la danza.

Como con otros movimientos articulares, cuando la extensión de la cadera ocurre en la misma dirección que la gravedad, el grupo de músculos antagonistas suele ser clave en el control del movimiento. Por ejemplo, cuando se hace descender la pierna de forma controlada tras levantarla al frente, este tipo de extensión coxofemoral implica la contracción excéntrica de los músculos flexores y no la contracción de los extensores de la cadera.

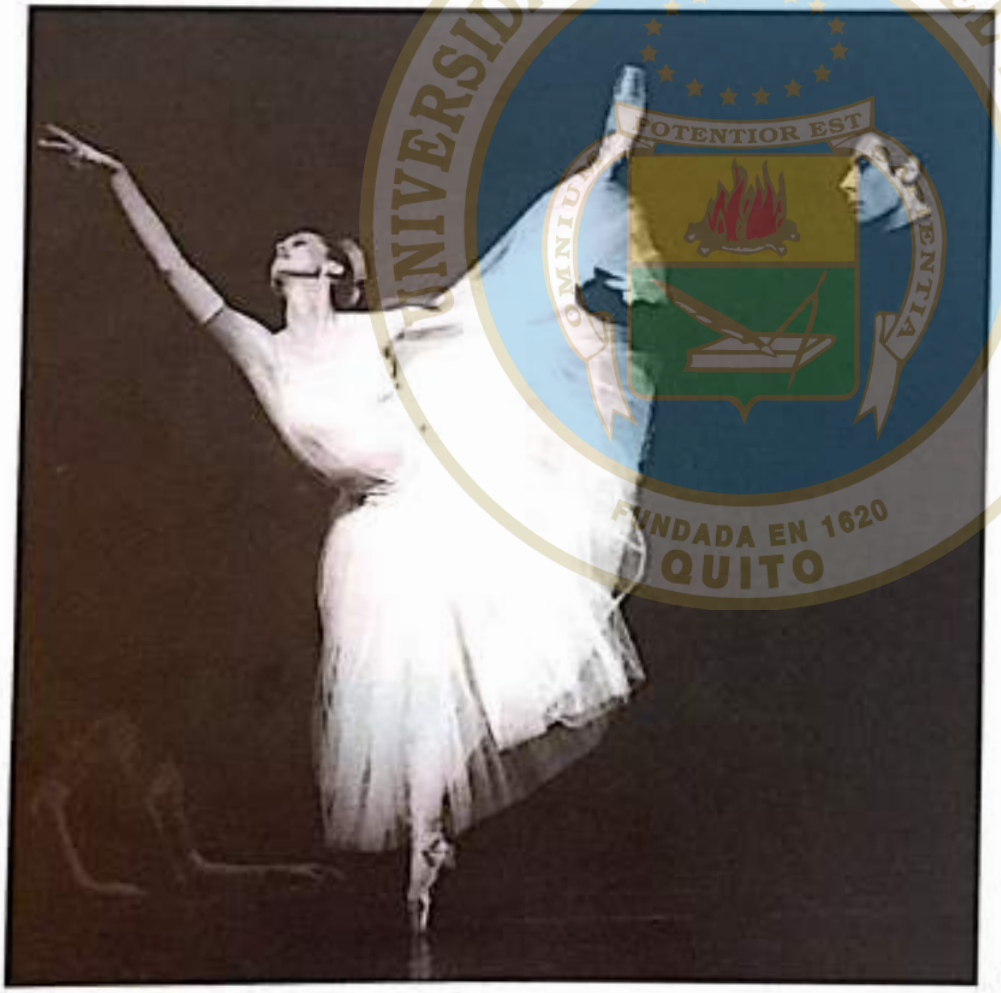


FIGURA 4.25. Movimiento de danza que muestra extensión de la cadera.
© Angela Sterling. Bailarines: Louise Nadeau y Christophe Maraval, del Pacific Northwest Ballet.

## Abducción de la cadera

La abducción de la cadera es un movimiento lateral, de modo que disminuye el ángulo entre las superficies laterales de los huesos articulados. Los músculos glúteos

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

medio y menor son ayudados por otros abductores de cadera (enumerados en la tabla 4.4) para ejecutar su acción habitual en cadena cinética abierta cuando se contraen concéntricamente contra la gravedad o contra una resistencia para mover el fémur lateralmente en una elevación lateral de la pierna (tabla 4.5G y H, págs. 218-219), en una patada lateral de karate, en saltos abriendo las piernas o en tijeras laterales. Ejemplos de danza son los movimientos paralelos hacia el lado, como la inclinación lateral, la extensión, *tendus*, *dégagés* o *attitudes*, como se muestra en la figura 4.26.

Cuando un pie permanece fijo y en contacto con el suelo (movimientos en cadena cinética cerrada), la abducción concéntrica de la cadera desempeña una papel clave en la aproximación del borde lateral de la pelvis hacia el trocánter mayor de la extremidad en carga, contrarrestando así la tendencia indeseable causada por la gravedad a que la pelvis descienda (inclinación lateral) hacia el lado opuesto. Esta función de los músculos abductores de la cadera, llamada mecanismo abductor (Soderberg, 1986), es importante al caminar y en danza porque en monopedestación permite mantener el equilibrio y una postura adecuada del cuerpo sobre el pie en carga. Practicar una elevación lateral de la pierna en bipedestación (tabla 4.5H, pág. 219) mientras se intenta mantener nivelada la pelvis con el peso del cuerpo apropiadamente distribuido sobre el pie en carga sirve para desarrollar esta importante función postural de los músculos abductores de la cadera.

Cuando una persona presenta una disfunción de los músculos abductores de la cadera, como la debilidad del músculo glúteo medio, se aprecia un descenso evidente de la pelvis del lado opuesto que esa persona es incapaz de corregir. Este descenso indeseable de la pelvis se llama **signo de Trendelenburg** positivo.

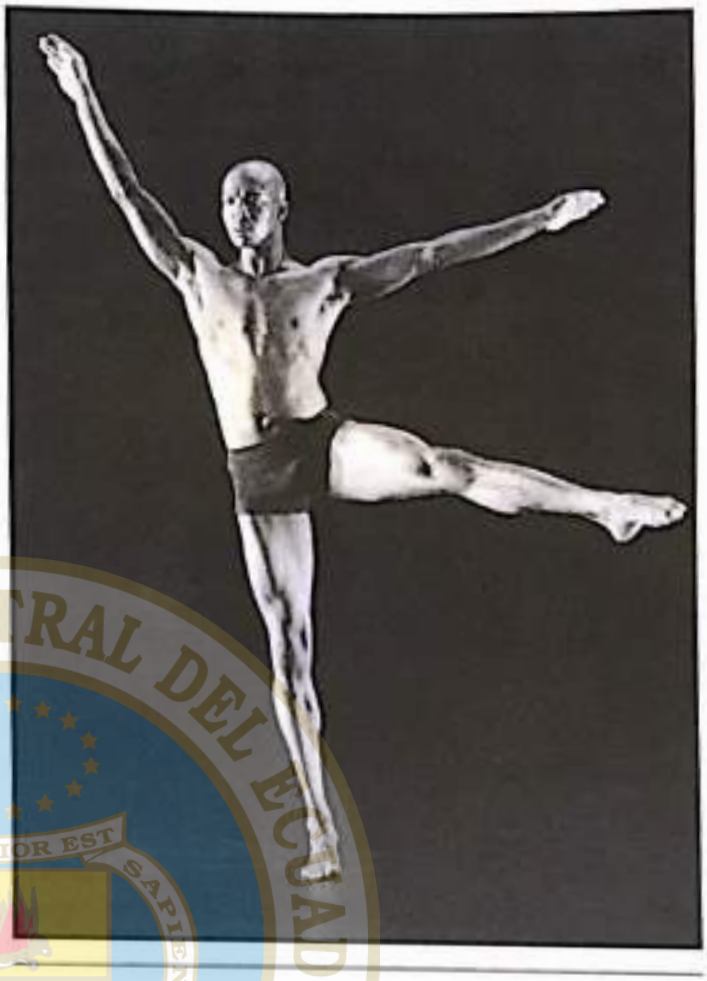


FIGURA 4.26. Movimiento de danza que muestra abducción de la cadera.
Fotografía por cortesía de Patrick Van Osta. Bailarín: Dwayne Worthington, del CSLUB.

## Aducción de la cadera

La aducción de la cadera es un movimiento frontal en dirección medial hacia el plano medio, de modo que se reduce el ángulo entre las superficies mediales de los huesos articulados. El músculo pectíneo (tabla 4.4) ayuda a los músculos aductores largo, corto y mayor y al recto interno (tabla 4.4) a practicar su acción habitual en cadena cinética abierta cuando se contraen concéntricamente contra la gravedad o contra una resistencia para mover el fémur hacia la línea media en ejercicios como el *leg-pull* unilateral, el *leg-pull* lateral (tabla 4.5J y K, pág. 220) y la patada de rana en natación, y para mantener la extremidad oscilante próxima a la línea media al caminar. En movimientos funcionales, la aducción de la cadera se suele combinar con una ligera flexión o extensión coxofemorales para que la extremidad pueda cruzar la línea media sin chocar con la otra. Ejemplos de este empleo de los aductores de la cadera en danza son los pasos *fouetté*, la fase de cierre de un *dégagé* cuando la pierna vuelve a quinta posición con el acento en la fase de cierre o «in», y al juntar los muslos y elevarlos al máximo en un salto (con o sin *battu*), como se muestra en la figura 4.27.

Cuando el pie se mantiene fijo y en contacto con el suelo (movimientos en cadena cinética cerrada), la aducción habitual de la cadera ocurre contra la gravedad mientras las piernas se juntan desde una posición de abducción, por ejemplo, durante la fase ascendente de una apertura en *plié en dehors*. Posturalmente, la aducción en cadena cinética cerrada se puede usar para inclinar lateralmente o desplazar frontalmente la pelvis respecto a la pierna de apoyo, lo que es un mecanismo importante en la locomoción y la danza para mantener el equilibrio, mejorar la economía de la marcha y ayudar a estabilizar la pelvis. Éste es uno de los mecanismos implicados para seguir la orden de danza de «mantenerse sobre la pierna».

FIGURA 4.27. Movimiento de danza que muestra aducción de la cadera.
Fotografía: Roy Blakey. Bailarín: Douglas Nielsen en «Spirit of Gravity».

En bipedestación y erguidos, la aducción de la pierna que trabaja realizando un gesto de danza será en la misma dirección que la gravedad, y por ello suele implicar el uso de los músculos antagonistas. Por ejemplo, cuando la pierna desciende de forma controlada tras haberse elevado lateralmente, la contracción excéntrica de los músculos abductores de la cadera sirve para controlar el descenso de la pierna, al menos al principio.

## Rotación externa de la cadera

La rotación externa de la cadera implica la rotación lateral de la porción anterior del muslo respecto a la pelvis alrededor del eje mecánico del fémur en un plano transverso. Debido a la angulación del cuello del fémur, el eje longitudinal de rotación no está en la diáfisis del fémur, sino más bien medial a ésta, sobre una línea que se extiende entre los centros de las articulaciones de la rodilla y la cadera.

Los músculos rotadores externos profundos y el glúteo mayor son potencialmente asistidos por otros rotadores externos de la cadera (enumerados en la tabla 4.4) cuando se contraen concéntricamente para rotar las piernas externamente desde una primera posición paralela a una primera posición *en dehors*, o de *en passé* en decúbito prono a rana en decúbito prono (tabla 4.5M y N, págs. 221-222). No obstante, lo más habitual es que la rotación externa de la cadera se combine con otros movimientos coxofemorales y no que se use aislada, como durante la fase de oscilación de la marcha, en la patada de rana en natación, o las variaciones de elevación lateral de la pierna y el *leg-pull* lateral (tabla 4.5G, págs. 218, y K, págs. 220) practicadas en una posición de rotación externa. Ejemplos de movimientos de danza que combinan extensión y rotación externa de la cadera son el de la pierna retrasada en un *grand jeté*, un *arabesque* o una *attitude en arrière*, como se muestra en la figura 4.28. La rotación externa de la cadera también se usa en movimientos de danza practicados en *en dehors* y no en paralelo, y la dirección del movimiento adicional (p. ej., al frente, lateral, atrás) influye en los músculos reclutados para generar la rotación externa deseada de la cadera.

Se emplea una inversión de la acción habitual de los rotadores externos de la cadera para rotar y alejar la pelvis del fémur estático. Por ejemplo, en ortostatismo con ambas piernas fijas, la rotación de la pelvis a la derecha provoca rotación interna de la articulación coxofemoral derecha y rotación externa de la izquierda. Esta rotación en cadena cinética cerrada se suele usar en lanzamientos, al balancear un bate de béisbol o una raqueta de tenis, y en el *swing* de golf. El mecanismo se suele usar en danza para giros, esquives o movimientos de cambio de dirección en que el empuje de la pierna impulsora rota la pelvis en la dirección deseada.

## Rotación interna de la cadera

La rotación interna de la cadera implica rotación medial de la cara anterior del muslo respecto a la pelvis sobre el eje mecánico del fémur en un plano transversal. Las fibras anteriores del glúteo medio y el glúteo menor son potencialmente asistidas por otros rotadores internos de la cadera (enumerados en la tabla 4.4) cuando se contraen concéntricamente para rotar las piernas medialmente durante la ro-

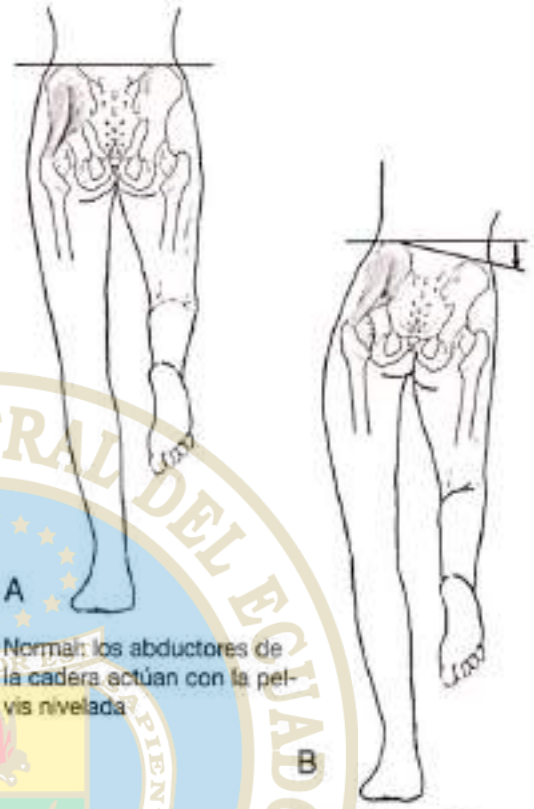
PRUEBAS Y MEDICIONES 4.2

### *Prueba de Trendelenburg*

La prueba de Trendelenburg sirve para evaluar el mecanismo abductor de la cadera de (1) otro bailarín y (2) de uno mismo, como se explica a continuación.

**1. Evaluación de otro bailarín.** El compañero permanece de pie sobre la pierna izquierda, con la cadera y la rodilla derechas ligeramente flexionadas de modo que el pie derecho no toque el suelo. Arrodíllate detrás del bailarín, y pon el pulgar derecho sobre la EIPS derecha y el resto de los dedos a lo largo de la cresta lateral del ilion derecho. Pon el pulgar izquierdo sobre la EIPS izquierda y el resto de los dedos a lo largo de la porción lateral del ilion izquierdo. Si estos puntos anatómicos se hallan a la misma altura, es decir, en el mismo plano transversal, el signo de Trendelenburg es negativo (A); si la EIPS o la cresta del ilion de la pierna en suspensión se sitúan bastante por debajo, el signo de Trendelenburg es positivo (B).

**2. Autoevaluación.** Permanece delante de un espejo en monopedestación (con la cadera y rodilla contralaterales ligeramente flexionadas de modo que el pie se eleve del suelo). Pon el dedo índice derecho sobre la EIAS derecha y el índice izquierdo sobre la EIAS izquierda. Si estos puntos anatómicos están a la misma altura, el signo de Trendelenburg es negativo, mientras que si la EIAS está más baja en el lado de la extremidad en suspensión, el signo de Trendelenburg es positivo y señal de la existencia de una debilidad en los músculos abductores de la cadera.



A
Normal: los abductores de la cadera actúan con la pelvis nivelada

B
Signo de Trendelenburg positivo

tación interna de la cadera en decúbito prono contra resistencia (tabla 4.5P, pág. 222). No obstante, como la rotación externa de la cadera, la rotación interna se suele combinar con otros movimientos coxofemorales, como el que tiene lugar sobre la pierna de apoyo durante la fase de oscilación de la marcha o en una patada lateral en karate. Ejemplos de movimientos de danza son el uso de una posición en rotación interna con tijeras laterales u otros movimientos estilizados de danza jazz o contemporánea (figura 4.29). Adicionalmente, a veces se emplea una rápida rotación interna del muslo (con la rodilla flexionada) que, precediendo a la rotación externa de la cadera en un *développé* al lado *en dehors*, se emplea a veces para enseñar a los estudiantes a aislar la rotación del fémur en la articulación coxofemoral de la rotación indeseada de la pelvis.

Una inversión de la acción habitual de los rotadores internos de la cadera se emplea para rotar la pelvis hacia un fémur estático. Esta rotación en cadena cinética cerrada se usa al caminar y al correr, cuando la pelvis gira hacia la pierna en carga mientras la otra pierna oscila hacia delante, aumentando así la longitud de zancada. En lanzamientos, al golpear la pelota con un bate, y en algunos movimientos de danza, el apoyo inicial del antepié causa rotación lateral del muslo adelantado. Sin embargo, cuando el deportista avanza sobre el pie, la pelvis gira hacia la pierna en carga, lo cual causa rotación interna de la cadera de la pierna adelantada.

## Abducción y aducción horizontales de la cadera

En danza, algunos movimientos como el *rond de jambe en l'air* ocurren con la cadera flexionada 90°. Como se dijo en el capítulo 1, estos movimientos se denominan abduc-

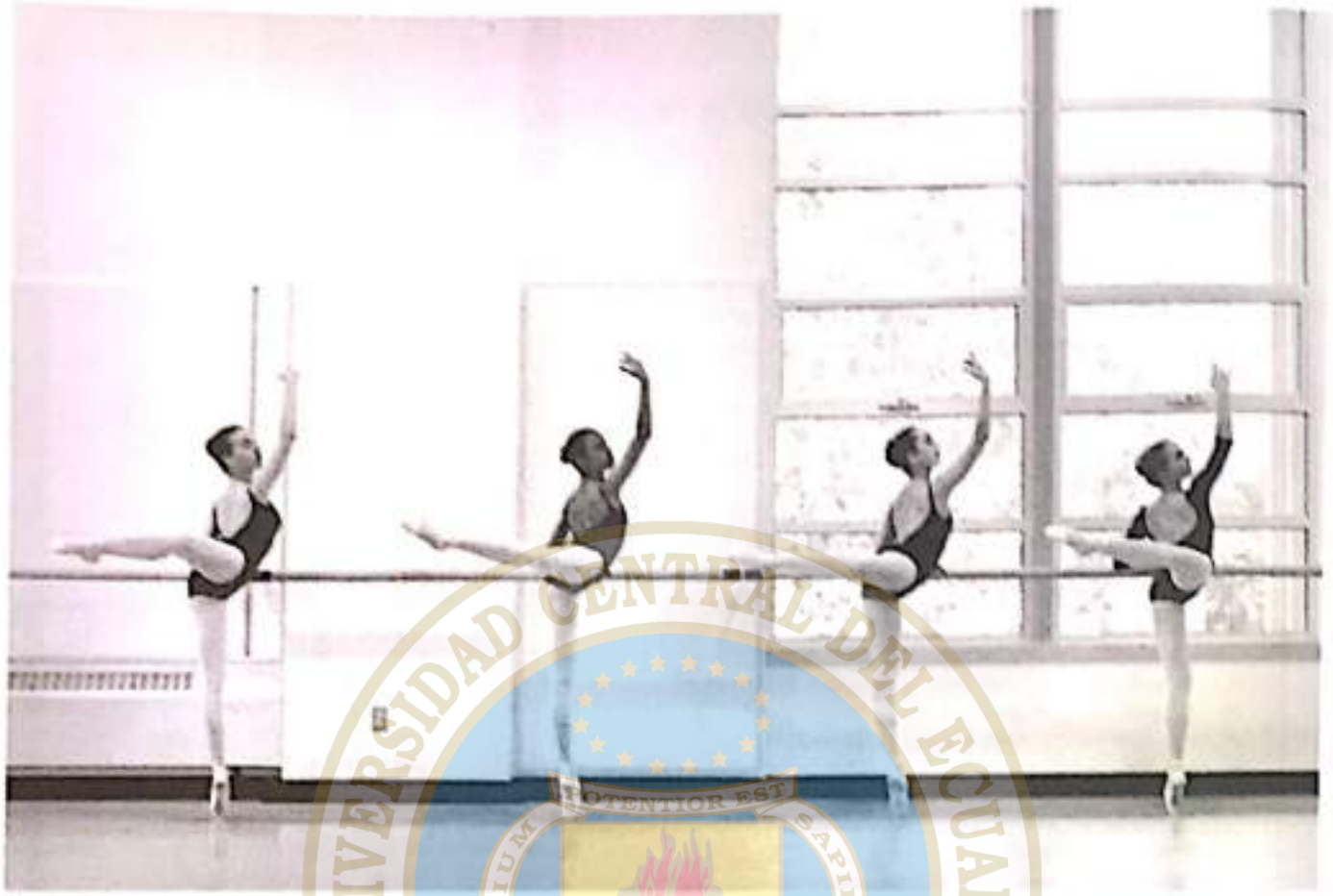


FIGURA 4.28. Movimiento de danza que muestra una rotación externa combinada con extensión de la cadera.
Fotografía de David Cooper. Estudiantes de la Pacific Northwest Ballet School.

ción y aducción horizontales. Cuando se practican dichos movimientos, los músculos flexores, abductores y extensores de la cadera se usan para mantener la altura del fémur (dependiendo de si la pierna está delante, a un lado o atrás), mientras distintos músculos localizados medial y anteriormente (aductor largo, aductor corto, aductor mayor y pectíneo) ejercen tracción sobre la pierna hacia la línea media para generar aducción horizontal, y distintos músculos situados posterior y lateralmente (glúteo mayor, glúteo medio, glúteo menor y los rotadores externos profundos) actúan alejando la pierna de la línea media para su abducción horizontal (Hall, 1999; Kreighbaum y Barthels, 1996).

## Consideraciones clave sobre la cadera respecto al movimiento del cuerpo

Muchos estilos de danza utilizan movimientos que exigen una gran movilidad a la cadera. El conocimiento de los principios sobre los músculos multiarticulares es importante para comprender los límites de estos movimientos y saber qué ejercicios se pueden usar para mejorar el rendimiento en la danza. Además, en apoyo, la cadera debe soportar grandes cargas, lo que vuelve esta articulación vulnerable a cambios degenerativos.

### Acciones de los músculos multiarticulares

Muchos de los músculos de la cadera son multiarticulares, como el psoas mayor, el recto femoral, el recto interno, el sartorio, el tensor de la fascia lata, el bíceps femoral, el semitendinoso y el semimembranoso. Para entender la acción resultante cuando se contraen músculos multiarticulares, es útil tener presentes los siguientes conceptos que se expusieron previamente en el capítulo 2.

Primero, recuerda que un músculo multiarticular presenta la tendencia a generar movimiento en todas las articulaciones que cruza, a menos que una articulación esté estabilizada por otros músculos o por fuerzas externas. Como

FIGURA 4.29. Movimiento de danza que muestra rotación interna de la cadera.
Meren Miller, bailarina del Sacramento Ballet.

estos músculos de la cadera se insertan en la pelvis, la contracción provocará movimientos adicionales de la pelvis a menos que ésta se estabilice a propósito.

Segundo, recuerda que el movimiento de una articulación altera la longitud del músculo, lo cual afecta a su vez la capacidad del músculo para generar fuerza o estirarse sobre la otra u otras articulaciones que cruza. Por ejemplo, el músculo recto femoral es más eficaz como flexor coxofemoral si la rodilla está flexionada en vez de extendida, ya que al estirarse sobre la rodilla trabaja en una longitud favorable para evitar la insuficiencia activa. Respecto a la amplitud de movimiento, la flexión coxofemoral es mayor si la rodilla está flexionada en vez de extendida, ya que la flexión genicular aumenta la laxitud de los músculos isquiotibiales a nivel de la articulación de la rodilla, aumentando la movilidad de la articulación coxofemoral antes de que se produzca la insuficiencia pasiva.

Tercero, un músculo multiarticular no suele ejercer el mismo efecto en todas sus articulaciones, sino que presenta un brazo de palanca más largo en una articulación que en otra(s), y por eso ejerce su principal acción en la primera. Por ejemplo, el músculo recto femoral es más eficaz como extensor de la rodilla que como flexor de la cadera, y el sartorio es más eficaz como flexor coxofemoral que como flexor de la rodilla. Esta diferencia en la eficacia es importante para lograr el movimiento deseado cuando se contraen muchos músculos simultáneamente.

### *Cargas compresivas sobre la articulación coxofemoral*

La articulación coxofemoral tiene que aguantar el peso del cuerpo en bipedestación y durante las fases de apoyo de movimientos como caminar y correr. En ortostatismo y con el peso distribuido por igual entre ambos pies, cada articulación coxofemoral debe soportar la mitad del peso de los segmentos corporales por encima de las caderas, o casi un tercio del peso corporal total (Hall, 1999), si bien, en monopedestación, la cadera debe soportar todo el peso de la cabeza, los brazos y el tronco, así como el peso de la pierna contralateral, o en torno al 85% del peso corporal total (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Además, la carga que realmente soporta cada una de las caderas durante el movimiento es significativamente mayor que el peso del cuerpo debido a la compresión adicional causada por la contracción de los poderosos músculos de la cadera y debido a las fuerzas de impacto que se transmiten hacia arriba desde los pies. Por tanto, al caminar y correr, las cargas compresivas sobre la cadera oscilan entre tres y cinco veces y media el peso del cuerpo (Hall, 1999), y en actividades como subir escaleras llega a siete veces el peso del cuerpo (Levangie y Norkin, 2001). La carga sobre las caderas también aumenta mucho al llevar calzado de suela dura, o en los contactos de talón durante la marcha, y al llevar un peso (como en el *porté*). Las elevadas cargas que soportan las caderas las hacen vulnerables a cambios degenerativos que pueden ocasionar la sustitución protésica total de cadera en bailarines más jóvenes de lo que uno podría esperar o desear.

## Consideraciones especiales sobre la cadera en la danza

Distintos movimientos, que a menudo implican una gran amplitud de movimiento en la articulación coxofemoral, que requieren una coordinación compleja entre los mo-

vimientos de la pelvis y el fémur, y que tienen lugar en múltiples planos, son esenciales para la estética de la danza. Son ejemplos el *roll-down* y las posiciones de espalda plana, y muchos movimientos que recurren al *en dehors*, como las extensiones y los *arabesques*.

## Roll-down

Al aprender por vez primera el *roll-down*, algunos bailarines cometen el error de dar prioridad demasiado pronto a la flexión de la cadera, antes de que la columna vertebral se haya flexionado lo suficiente. Esto incrementa el torque del peso del tronco y a menudo se acompaña del desplazamiento posterior de la pelvis para contrarrestar este torque e impedir que el bailarín caiga hacia delante (figura 4.30A). No obstante, para lograr el efecto estético deseado y aliviar la tensión sobre la región lumbar y las rodillas, el bailarín debe aplicar el ritmo lumbopélvico, usando primero el par de fuerzas abdominal-isquiotibial para mantener una pelvis neutra mientras se produce el movimiento aislado de flexión vertebral. Durante este movimiento, el bailarín se debe centrar en flexionar de forma secuencial la columna de arriba abajo y en mantener la cabeza lo más cerca posible del torso y la pelvis. Cuando la flexión de la columna sea completa, centrarse en girar la pelvis sobre el fémur, con la cabeza femoral lo más quieta posible y las tuberosidades isquiáticas ascendiendo rápidamente hacia el techo, ayudará a lograr el efecto estético deseado y acercar la pelvis a la articulación tibioperoneoastragalina (figura 4.30B).

## *Posiciones con la espalda plana*

La danza jazz y otras danzas modernas usan con frecuencia posiciones planas de la espalda (figura 4.31A). Al contrario que los *roll-downs*, estas posiciones implican sobre todo la flexión de la cadera (y no la flexión de la columna) mientras se usa la contracción de los músculos extensores de la columna para impedir la flexión inadecuada de la columna. La poderosa contracción de los músculos isquiotibiales (excéntrica) es necesaria para controlar la flexión coxofemoral, y cuando los músculos no se han calentado correctamente o cuando se suman rebotes forzados a estas posiciones, puede producirse una distensión de isquiotibiales. Además, en esta posición con la espalda plana, el brazo de palanca es muy grande para la columna, por lo que tiene que soportar grandes fuerzas. Para reducir el riesgo de lesión, se recomienda que al adoptar estas posturas se calienten primero y adecuadamente los músculos isquiotibiales y extensores de la columna, se eviten grandes rebotes y momentos, y se pida a los estudiantes bailarines que empleen una firme cocontracción abdominal para reducir la tensión sobre la columna y evitar la hiperextensión lumbar. En el caso de los bailarines que tengan dificultades para activar con eficacia la cocontracción de los abdominales, puede ser útil practicar de rodillas con el pecho apoyado en una pelota suiza (para reducir el momento de la resistencia). Antes que nada, dejaremos que los abdominales se relajen y que la región lumbar se arquee (figura 4.31B). Luego contraeremos los abdominales para lograr la postura plana de la espalda (figura 4.31C). A medida que se adquiere esta destreza, se puede probar esta posición de pie y sin la pelota suiza, pues requiere una cocontracción bien coordinada de los abdominales, los músculos extensores de la espalda y la cadera. Si fuera necesario, las yemas de los dedos se pueden apoyar en una pared o en la barra para reducir la resistencia del peso del tronco.

Algunas secuencias de danza combinan posiciones de la espalda plana con *roll-downs*. Estas combinaciones son útiles para desarrollar la articulación vertebral, los movimientos coordinados entre la columna, la pelvis y el fémur, y la conciencia de las posiciones neutra, flexionada e hiperextendida de la columna. No obstante, hay que aplicar los principios antes expuestos para mejorar la técnica y reducir la tensión sobre la columna.

## En dehors

El empleo de la rotación externa de la cadera es un elemento importante del ballet clásico y muchos otros tipos de danza, y muchos bailarines se preocupan del grado de apertura que poseen sus cuerpos. El grado de la rotación externa de la cadera o apertura posible en un bailarín está determinado sobre todo por los huesos, ligamentos y músculos. Los factores óseos que intervienen son la profundidad y forma del acetábulo. Se suele considerar que un acetábulo menos profundo de lo normal y orientado más lateralmente favorece la rotación externa, mientras que un acetábulo más profundo y más orientado en sentido anterior puede reducir el grado de rotación externa permitido. El ángulo entre la diáfisis femoral y el cuello del fémur también afecta el grado de apertura posible. Como se dijo antes en este capítulo, las personas con menos anteversión o más retroversión tienden a presentar una mayor rotación externa. La curvatura y longitud del cuello femoral también pueden afectar la movilidad. Un cuello que sea más cóncavo y largo tenderá a facilitar la abducción y rotación lateral, mientras que un cuello menos cóncavo y más corto reducirá la amplitud potencial de estos movimientos, debido al contacto con el borde del acetábulo.

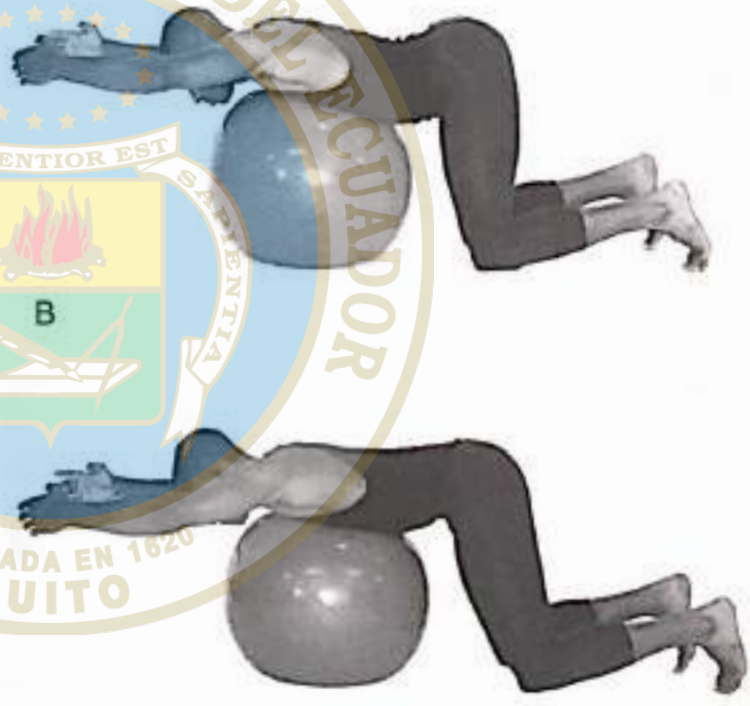
La cápsula articular y sus ligamentos asociados también afectan la rotación externa potencial de la cadera. La cápsula y ciertos ligamentos, sobre todo el iliofemoral, se tensan durante la rotación externa de la cadera. Por tanto, si son más extensibles permitirán una mayor apertura. De

A

B

FIGURA 4.30. Ritmo lumbopélvico y *roll-down*. (A) *Roll-down* con el peso del cuerpo hacia atrás; (B) *roll-down* con una colocación más deseable.

A



B

C

FIGURA 4.31. Posición con la espalda plana. (A) De pie con cocontracción de los músculos abdominales y extensores de la espalda; (B) de rodillas con una contracción inadecuada de los abdominales; (C) de rodillas con suficiente contracción de los abdominales.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

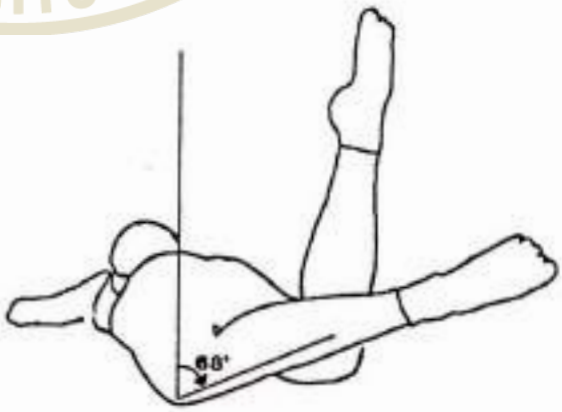
forma parecida, la extensibilidad adecuada de músculos clave, como los rotadores internos y aductores de la cadera, posibilitará alcanzar la amplitud permitida por las estructuras óseas y ligamentarias. La contribución relativa y la magnitud de cambio posible en las limitaciones que imponen dichas estructuras es un área controvertida. Se ha planteado la hipótesis de que un entrenamiento precoz puede modificar las estructuras óseas, permitiendo un moldeado de la torsión femoral hasta los 11 ó 12 años de edad (Brown y Micheli, 1998; Sammarco, 1983), pero que, pasada esta edad, las mejorías en la apertura pasiva se deben al estiramiento de los tejidos blandos (cápsula, ligamentos y músculos). Aunque un estudio anterior sugirió que había cambios en la torsión femoral hacia la retroversión en bailarines de ballet de elite que empezaban a bailar antes de los 10 años (Miller *et al.*, 1975), la ausencia de una mayor retroversión en un reciente estudio sobre bailarines de ballet de elite (Barman, Singson y Hamilton, 1994) y la observación de que la medición de la rotación externa pasiva de la cadera parecía aumentar mucho después de participar en clase (Garrick y Recua, 1994) sugieren que la mayor rotación externa de cadera en los bailarines puede deberse principalmente a cambios en la extensibilidad de los tejidos blandos y no a cambios óseos.

Se pueden usar distintas pruebas de cribado para calcular la rotación externa pasiva de cadera de un bailarín, y los resultados varían mucho dependiendo de las técnicas de medición empleadas. No obstante, los estudios concuer-

PRUEBAS Y MEDICIONES 4.3

### *Prueba exploratoria de la rotación externa de cadera*

Ofrecemos una prueba para medir la rotación externa pasiva de cadera. Mientras el bailarín está en decúbito prono con una rodilla flexionada 90°, el examinador pone una mano sobre la pierna de la extremidad flexionada y hace girar externamente la cadera mientras la pelvis se mantiene en una posición neutra con ambas EIAS en contacto con la mesa, como se ve en la fotografía. Para una medición más precisa, hay que tener cuidado de favorecer el movimiento de la cadera y evitar el de la rodilla o la pelvis. Por ejemplo, dejar que la pelvis se incline en sentido anterior relajará la cápsula articular de la cadera y el ligamento iliofemoral, y dará una medida falsa y elevada de la rotación externa. Es útil emplear un ayudante para prevenir que se incline un lado de la pelvis (rotación pélvica) y para prevenir una inclinación anterior de la pelvis. El eje del goniómetro se sitúa sobre el tendón rotuliano, con el brazo estático vertical y el brazo móvil a lo largo de la porción media de la pierna. Una lectura de 0° se refiere a la posición en que la pierna y el pie se orientan directamente hacia el techo; 45° se refieren a la posición en que la pierna está a medio camino de la mesa; 90° representan la posición teórica si la rodilla mira directamente hacia el lado con la pierna plana sobre la mesa. Si no se dispone de un goniómetro, se puede calcular la amplitud dividiendo visualmente el arco de 0° a 90° por la mitad, para luego dividir cada mitad en tercios, y obtener aproximadamente los grados de movilidad.




UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1826
QUITO

dan en que los bailarines de ballet muestran una rotación externa pasiva y activa de cadera significativamente mayor que el resto de la población; y algunos estudios también mostraron menores niveles de rotación interna de cadera, siendo incluso menores los niveles de rotación interna en los bailarines de ballet que en las bailarinas (DiTullio *et al.*, 1989; Garrick y Recua, 1994; Hamilton *et al.*, 1992; Khan *et al.*, 1997).

Algunos cirujanos ortopédicos afirman que debería haber un mínimo de 60° de rotación externa de cadera a los 15 años de edad en bailarines que quieran hacer carrera en el ballet clásico (Brown y Micheli, 1998; Tomasen, 1982). Las mediciones practicadas por la autora demostraron que la rotación externa media de cadera en los bailarines de ballet profesionales y avanzados era 59,9°. La técnica para las mediciones, aplicada a bailarines que acababan de calentar, implicaba una posición en decúbito prono ejerciendo una fuerza moderada mientras un ayudante estabilizaba la cadera de modo que el punto final se alcanzase en el momento en que cualquier rotación adicional fuera de la pelvis y no del fémur. El empleo de protocolos con menos ayuda manual, o con las rodillas tocándose (aducción coxofemoral) y no separadas la anchura de las caderas (postura neutra) dio valores inferiores. Otro estudio con bailarines profesionales de ballet de elite mostró una rotación externa media de cadera de 52° en hombres y mujeres (Hamilton *et al.*, 1992).

Aunque probablemente sea desaconsejable usar un valor exacto como factor discriminatorio debido a la variabilidad de resultados, la compleja relación entre el empleo pasivo y activo de la apertura y la controversia sobre el grado en que la apertura puede cambiar con el entrenamiento, el concepto todavía se relaciona con el hecho de que un bailarín de ballet con una rotación externa de cadera muy limitada tendrá problemas para lograr el efecto estético deseado sin generar demasiada tensión o lesiones (Garrick y Recua, 1994; Hamilton *et al.*, 1992) y será más propenso a tener que abandonar el mundo profesional (Hamilton *et al.*, 1997). En muchos otros tipos de danza, como la danza moderna, la danza jazz y el claqué, la estética no exige una orientación lateral tan extrema de los pies, y probablemente sean más aceptables valores inferiores de rotación externa de cadera. Un estudio demostró que cuando se solicitaba la adopción de una cómoda rotación externa en primera posición, la postura normal de los bailarines modernos de otras disciplinas fue 29° menos de rotación externa que la media de los bailarines de ballet (Trepman *et al.*, 1994).

Además de ser útiles los resultados de estas pruebas de rotación externa pasiva de cadera para compararlos con los valores normativos en danza, también son útiles para conocer mejor el grado de *en dehors* potencial de un bailarín dado. Por ejemplo, en algunos casos la prueba confirmará la impresión del bailarín o su profesor de que el grado de rotación externa es relativamente bajo, mientras que en otros casos los resultados sugerirán que todavía existe un grado de potencial *en dehors* que todavía no se ha alcanzado en las clases de técnica. Esta última discrepancia se aprecia porque en el movimiento real, en contraste con la medición de la rotación coxofemoral pasiva, una fuerza adecuada y unos patrones de activación apropiados de músculos clave –como los rotadores externos profundos– también son importantes para alcanzar todo el *en dehors* potencial del bailarín. Por experiencia de la autora, pocos bailarines usan toda su capacidad potencial de rotación externa de la cadera; y los ejercicios específicos de flexibilidad, los ejercicios de fuerza y el centrarse en la técnica permiten a la mayoría de ellos aumentar mucho su grado de *en dehors*. Un ejemplo de estiramiento aparece en la figura 4.32A. Este estiramiento en la posición de rana en decúbito prono modificado permite mantener la pelvis neutra mientras el bailarín se centra en rotar externamente las piernas desde las caderas y extender las rodillas lateralmente. Los abdominales se deben contraer con firmeza para mantener la pelvis neutra, y el bailarín se debe centrar en ejercer presión con la porción inferior de la pelvis (isquion) hacia abajo y adelante para lograr el estiramiento deseado y evitar la indeseable inclinación anterior de la pelvis. Cuando se practica el estiramiento clásico de la rana en decúbito prono (figura 4.32B), muchos bailarines cometen el error de inclinar la pelvis en sentido anterior, lo cual relaja las estructuras que son el objetivo del estiramiento y puede generar tensión en la región lumbar y las rodillas. El otro error habitual de intentar forzar los pies hasta el suelo en esta posición también puede imponer tensión indebida en las rodillas, objetivo contrario al buscado de mejorar la rotación externa de la cadera y no la de la rodilla. En el caso de bailarines menos flexibles y que experimentan malestar de rodilla o cadera incluso cuando practican el estiramiento de la rana modificado en decúbito prono, el estiramiento de la rana en decúbito supino (figura 4.32C) ofrece una alternativa más suave en que se puede usar la gravedad y una ligera aplicación de las manos sobre los muslos para ejercer el estiramiento con cuidado.

Un ejemplo de ejercicio de fuerza para mejorar el grado de *en dehors* aparece en la figura 4.33A y más tarde se describe en la tabla 4.5M (*passé* en decúbito prono, variación 1, pág. 221). No obstante, como con los estiramientos, la técnica específica del ejercicio es esencial, y por ello es necesario centrarse en usar y fortalecer más los músculos rotadores externos profundos que el glúteo mayor. Debido a la capacidad de los rotadores de generar rotación externa de la cadera en tal variedad de posturas, sin asociar otras acciones articulares, estos músculos son esenciales para generar el *en dehors* en danza. En esencia, son capaces de producir rotación externa a la vez que permiten al bailarín libertad de movimiento en cualquier dirección que quiera o exija la coreografía. Centrarse en girar (1) «más abajo» por la base de las nalgas; (2) más profundamente (debajo del glúteo mayor), y (3) más específica pero menos forzadamente, a me-

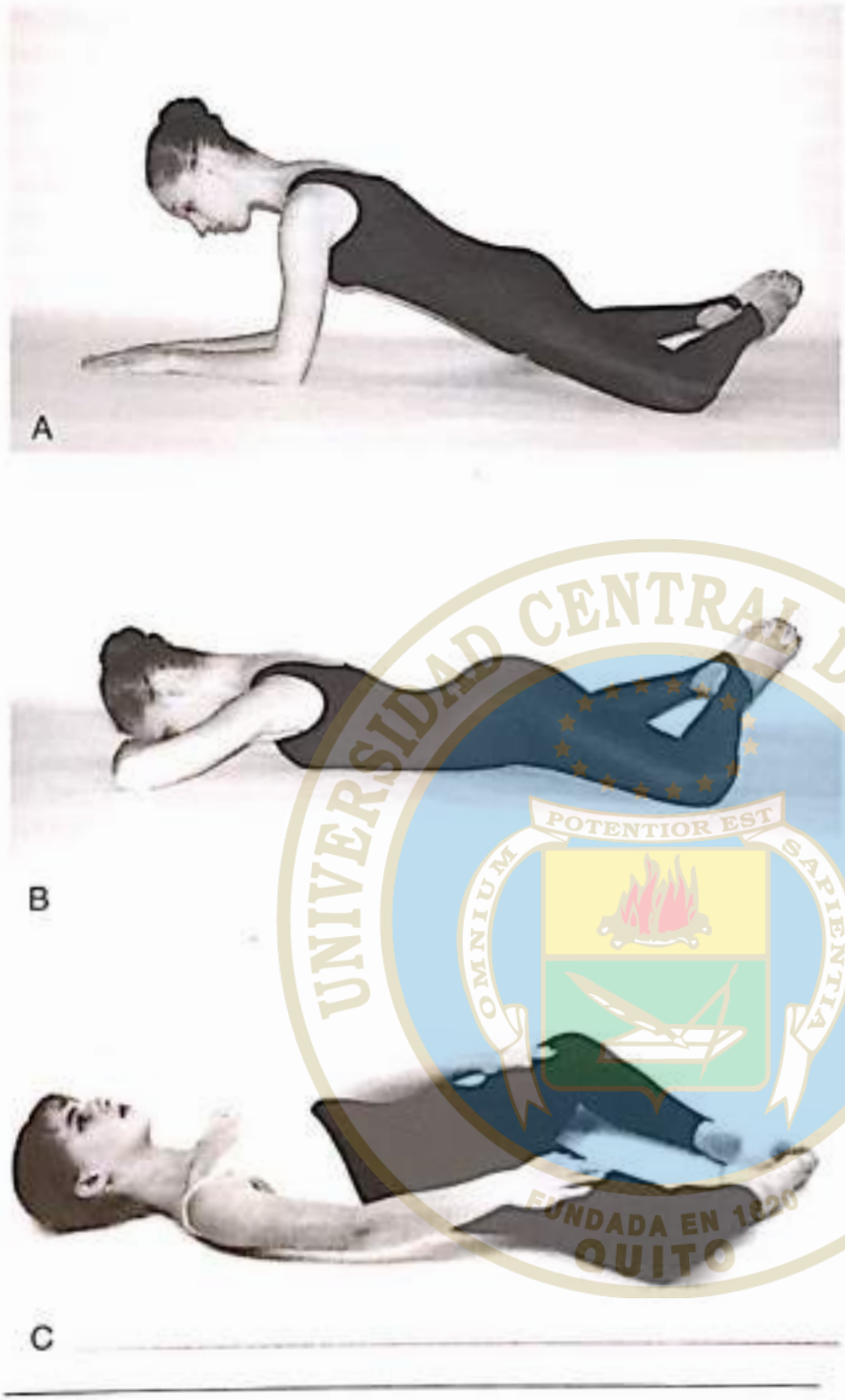



FIGURA 4.32. Estiramientos para mejorar el *en dehors*. (A) Estiramiento de la rana modificado en decúbito prono; (B) estiramiento de la rana clásico en decúbito prono con una postura incorrecta del cuerpo; (C) estiramiento de la rana en decúbito supino.

nudo ayuda a activar más los rotadores externos profundos que el glúteo mayor. Además, pensar en tratar de acercar el trocánter mayor hacia el isquion, y palpar con los dedos para asegurarse de que el músculo cuadrado femoral se está contrayendo en esta región, puede ayudar a lograr la activación muscular específica. Si el bailarín tiene dificultades para activar adecuadamente los rotadores externos profundos o si experimenta molestias en la rodilla, la rotación externa de la cadera también se puede practicar en decúbito lateral con una banda elástica justo por encima de la rodilla (figura 4.33B) o en decúbito prono sobre una pelota suiza (figura 4.33C, descrita en la tabla 4.5N, pág. 222).

Este empleo y mantenimiento del *en dehors* es importante no sólo para lograr el efecto estético en ballet clásico y otras formas de danza, sino también en la prevención de lesiones. Se cree que el no lograr mantener el *en dehors* en la cadera y el torsionar excesivamente desde la rodilla son factores que contribuyen a lesionar la rodilla, la espinilla, el tobillo y el pie.

## *Influencia del* en dehors *en la activación muscular*

Cuando los bailarines trabajan en una posición de acusada rotación externa de la cadera, la línea de tracción de muchos de los músculos coxofemorales cambia en grado sumo. Cuánto y en qué manera esto influye en el uso de los músculos es un área que necesita nuevos estudios. Por ejemplo, observando la línea de tracción en modelos esqueléticos, se puede teorizar que esta posición de rotación externa hace que los músculos aductores de la cadera desempeñen un papel más decisivo en la ejecución de movimientos en bipedestación (movimientos en cadena cinética cerrada). Por ejemplo, en un *grand plié* en segunda posición, el movimiento ocurre más cerca de un plano frontal que en un plano sagital. Esto hace que los músculos aductores de la cadera adopten una posición en que trabajan concéntricamente en la fase ascendente para juntar las piernas (aducción coxofemoral) y excéntricamente en la fase descendente para controlar la separación de aquéllas. Los músculos extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) siguen siendo necesarios para generar extensión de la rodilla en la fase ascendente y controlar la flexión en la fase descendente del *plié*, pero hay que reducir su empleo si se pone más interés en el movi-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1826
QUITO

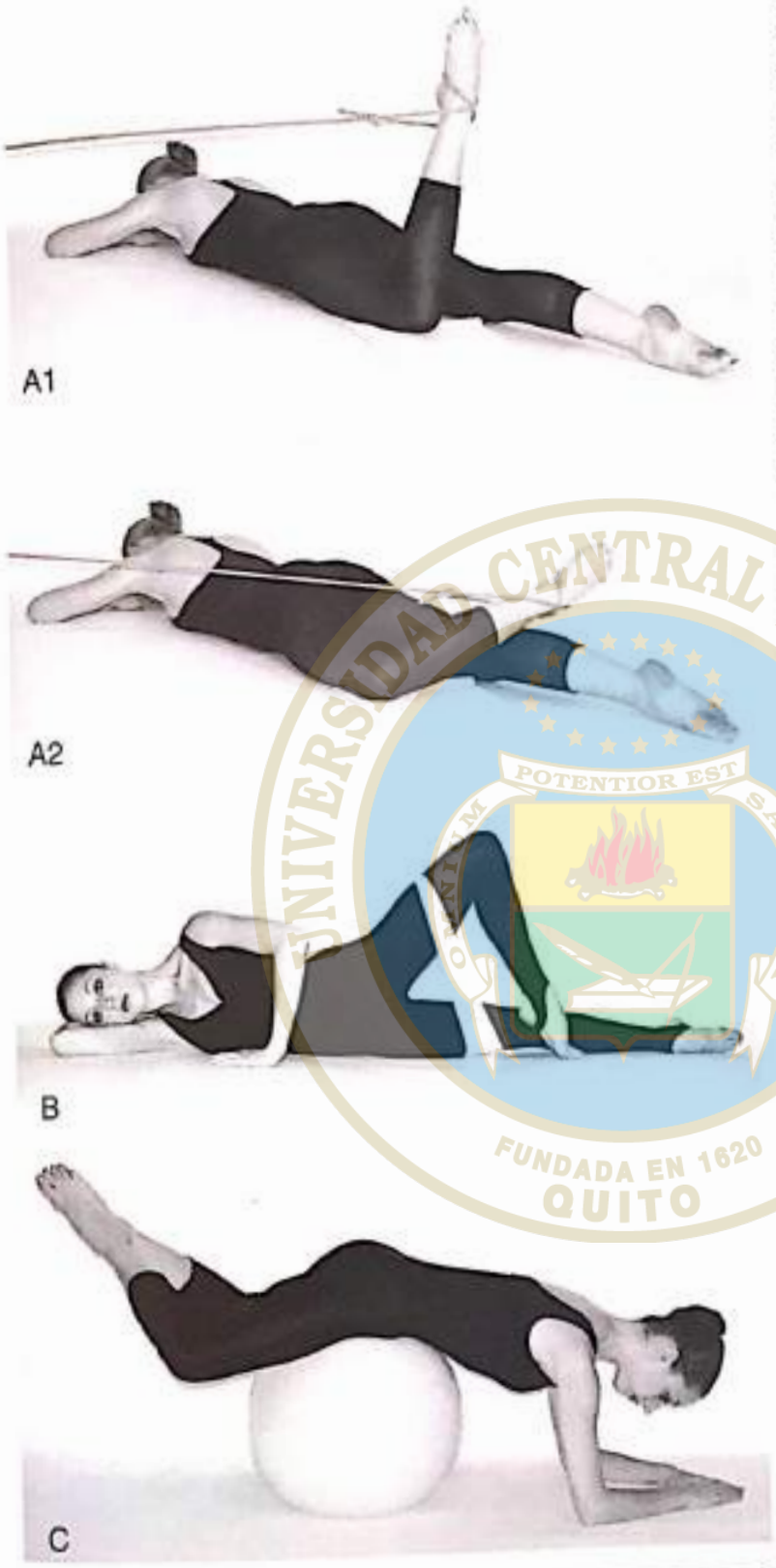



FIGURA 4.33. Ejercicios de fortalecimiento para los músculos del *en dehors*. (A) *Passé* en decúbito prono con tubo elástico; (B) *passé* en decúbito lateral usando una banda elástica; (C) posición de la rana en decúbito prono sobre una pelota suiza.

miento de la cadera. Este concepto de que el empleo de posiciones *en dehors* mejora el reclutamiento de los músculos aductores de la cadera recibió el respaldo preliminar de datos según los cuales bailarines de gran destreza de ballet y danza moderna sin dolor femororrotuliano mostraban reclutamiento de los aductores coxofemorales cuando practicaban *grand pliés* en segunda posición. Además, de pie en primera posición se halló una actividad sostenida de los aductores de la cadera de algunos bailarines, y el uso de imágenes para mejorar la rotación externa de la cadera se acompañó de un aumento de la activación de los aductores de cadera en algunos bailarines (Clippinger-Robertson, 1984).

No obstante, la variabilidad en el empleo de los aductores entre bailarines sugiere que el uso de los aductores de la cadera es probablemente una activación aprendida y lograda por algunos bailarines según las órdenes y estética de ciertas escuelas de danza. Esta conjetura está respaldada por otro estudio, el cual llegó a la conclusión de que sólo el 58% de los bailarines estudiados utilizaban los aductores de la cadera durante la fase ascendente del *demi-plié* (Trepman *et al.*, 1994). Además, según la experiencia de la autora, al usar ejercicios como el *plié* contra una pared para que los bailarines orienten sus rodillas más lateralmente, ellos suelen describir una sensación muy intensa relacionada con el uso de los aductores de la cadera y comentan que ahora entienden lo que sus profesores querían decir cuando les pedían que usaran más la «cara interna de los muslos». Se necesitarán estudios adicionales con EMG para aclarar el empleo específico de los músculos deseado para lograr los objetivos estéticos y biomecánicos de las distintas formas y escuelas de danza. Sin embargo, hay que tener cuidado de no considerar los «valores medios» obtenidos en bailarines como necesariamente «óptimos».

## Elevaciones al frente

Muchos bailarines tratan de mejorar la altura a la que levantan la pierna al frente en movimientos como los *développés*. Esto supone un reto porque muchos de los músculos que contribuyen a la flexión de la cade-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST SAPIENTIA FUNDADA EN 1620 QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 4.2

## *Trabajo muscular selectivo durante el* plié *contra la pared*

De pie en segunda posición *en dehors* con la porción superior de la espalda (a nivel de los omoplatos) y el lado posterior del sacro contra la pared mientras los talones están a unos centímetros de la pared y alineados con el trocánter mayor.

• **Potenciación del uso de los músculos rotadores externos profundos.** Sitúa los dedos a los lados de las tuberosidades isquiáticas y debajo de la base de las nalgas. Ejecuta un *demi-plié* y al llegar abajo del *plié* deja a propósito que las rodillas desciendan por dentro de los pies (A). Luego, al tiempo que mantienes la misma profundidad del *plié*, usa los rotadores externos profundos inferiores, localizados bajo tus dedos, para rotar externamente el fémur en la articulación coxofemoral y vuelve a situar las rodillas sobre los pies (B). Repite este movimiento y deja que las rodillas desciendan varias veces hasta tener un control consciente de los rotadores externos profundos. A continuación, practica un *grand plié* en segunda posición, centrándote en usar los rotadores externos profundos para mantener la rotación externa de las caderas y dirigir las rodillas directamente hacia los lados todo lo posible durante las fases descendente y ascendente del *plié*. El estudio de un modelo anatómico de los 22 músculos de la cadera muestra una reducción de 1,5 centímetros o más en la longitud de la línea de tracción del glúteo mayor, los isquiotibiales y los seis rotadores externos profundos cuando se reproduce correctamente este *plié* en segunda posición «con las rodillas de lado» y no «caídas hacia delante» (Clippinger-Robertson, 1984). No obstante, al normalizar este cambio en la línea de tracción axial de estos músculos respecto a su «longitud» de pie en segunda posición, se apreció un cambio del 54% en el cuadrado femoral, del 52% en el gémino inferior y del 46% en el gémino superior en comparación con otros porcentajes de cambio mucho menores en otros músculos, como un 12% en el glúteo mayor y un 5% en los isquiotibiales. Este cambio espectacular de porcentaje de la longitud de estos músculos rotadores aporta una prueba indirecta de su valor vital para establecer y mantener una postura apropiada del trocánter mayor durante un *en dehors* óptimo.

• **Potenciación del uso de los músculos internos del muslo.** Pon las manos en la cara interna de los muslos. Durante la fase ascendente del *plié*, céntrate en rotar los muslos en la articulación coxofemoral, potenciando el uso de los rotadores externos profundos al mismo tiempo que tiras de «la cara interna de los músculos para juntarlos y que suban» (contracción concéntrica de los aductores de la cadera). Aprieta suavemente la cara interna de un muslo contra la otra y contra las manos para percibir la contracción de los aductores coxofemorales bajo los dedos, y prueba a mejorar el control de la activación de estos músculos. En la fase descendente del *plié*, céntrate en rotar externamente los muslos en la articulación coxofemoral y luego «desplaza todo lo posible las rodillas hacia los lados» con la pelvis descendiendo directamente hacia el suelo (contracción excéntrica de los aductores de la cadera).

• **Influir en el uso de los músculos mediante la anteroflexión del tronco.** Inclina el tronco hacia delante flexionándolo por las caderas, y percibe cualquier cambio en los músculos empleados. Algunos bailarines perciben un mayor uso del cuádriceps en esta posición y tienen dificultad para usar los aductores de la cadera. Mantener una postura vertical (neutra) de la pelvis puede ser útil para utilizar los rotadores externos profundos y los aductores coxofemorales, al menos cuando se está aprendiendo a potenciar la activación de estos músculos.

• **Aplicación de este uso muscular específico en las clases.** Aléjate un poco de la pared, y repite el *plié* tratando de mantener la pelvis vertical y usando los rotadores externos profundos inferiores y los aductores de la cadera. Para inculcar el interés por la nueva activación muscular en clase, a menudo es útil hacer reparar en la sensación cinestésica o desarrollar una imagen que permita una rápida comprensión. Por ejemplo, si un bailarín tiende a inclinar el torso hacia delante al inicio del *plié* y a usar en exceso el cuádriceps, tal vez le sirva pensar en deslizarse pared abajo mientras las rodillas se desplazan lateralmente. En contraste, si un bailarín tiende a perder rotación durante la fase ascendente del *plié*, puede ser útil centrarse en la parte posterior de la pierna «pegada al interior y elevándose» mientras se extienden las rodillas.

FIGURA 4.34. Ejercicio de fuerza para mejorar los *développés en avant* y las extensiones al frente. (A) *Développé en avant* apoyado en los codos; (B) *développé en avant* con las manos hacia atrás; (C) *développé en avant* con las manos atrás y el torso más vertical; (D) *développé en avant* con el torso vertical, apoyado contra una pared y sin apoyo de las manos.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

ra en los grados inferiores de amplitud (p. ej., aductor largo, aductor corto, fibras superiores del aductor mayor, recto interno) no son capaces de ayudar a la flexión pasados de 50° a 70°, y otros músculos, como el recto femoral, pierden su capacidad de generar fuerza debido a la insuficiencia activa. No obstante, el músculo psoasilíaco todavía puede generar fuerza suficiente en esta amplitud, aunque muchos bailarines parecen no tener bastante fuerza o capacidad para activar este músculo y creen erróneamente que no pueden lograr amplias extensiones. Sin embargo, la práctica habitual de ejercicios de fortalecimiento con énfasis en el aprendizaje de una mejor activación del psoasilíaco y en la sobrecarga de los músculos en la máxima amplitud de flexión coxofemoral puede mejorar mucho la altura de las extensiones al frente.

Un ejercicio de fuerza como botón de muestra aparece en la figura 4.34 y se describe en la tabla 4.5C (variación 1, pág. 216). El *développé en avant* practicado apoyándose en los codos (figura 4.34A) es a menudo la posición más sencilla en la que trabajar un mayor reclutamiento del psoasilíaco, si bien, a medida que se logran mejoras en la fuerza y activación, situar el torso en una posición más vertical (figura 4.34B y C) para terminar practicando el ejercicio con el torso vertical, con la espalda contra la pared y limitada flexión lumbar, y sin manos en las que apoyarse (figura 4.34D), aumenta la dificultad para los flexores coxofemorales y reproduce mejor las exigencias de la danza.

Adicionalmente, pasar a practicar *développés* y extensiones de pie mejorará la reproducción de las exigencias fun-

FIGURA 4.35. Ejercicio funcional para mejorar las elevaciones al frente. (A) Uso de las manos para levantar un poco más la pierna de lo que se logra con una contracción concéntrica; (B) descenso lento de la pierna hasta la altura que se consigue con una contracción concéntrica.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 4.3

## *Potenciación del psoasilíaco en el* développé en avant

Practica los siguientes ejercicios para mejorar la percepción y la capacidad de activar el músculo psoasilíaco. Después de practicar el ejercicio con un lado, repite la misma secuencia con la pierna contralateral. Cuando hayas adquirido un buen control sobre el psoasilíaco, obtendrás mejoras en la fuerza añadiendo resistencia con una banda elástica (figura 4.34 y tabla 4.5A, pág. 215), una tobillera (tabla 4.5B, pág. 215) o muelles (tabla 4.5C, pág. 216).

- **Potenciación del psoasilíaco con la rodilla flexionada.** Sentados en el suelo con la pierna derecha cruzada sobre la izquierda y el torso en anteroflexión, ejerce presión con los dedos de la mano derecha 2,5 centímetros medialmente a la EIAS, y siente la contracción del psoasilíaco bajo la pared abdominal mientras elevas la rodilla derecha hacia el pecho. Repite este movimiento de subida y bajada de la rodilla hasta que tengas una mayor percepción del psoasilíaco. A continuación, intenta contraer isométrica y conscientemente el psoasilíaco y luego concéntricamente para elevar la pierna.
- **Potenciación del psoasilíaco con un *développé*.** Vuelve a la posición inicial, y tras elevar la rodilla derecha, extiéndela lentamente sin dejar que descienda; luego, levanta la pierna al frente y elévala más con la rodilla extendida, tres veces, y finalmente vuelve a la posición inicial. El uso del músculo recto femoral se puede disminuir utilizando una posición en la que la rodilla esté flexionada, pero la dificultad consiste en seguir contrayendo el psoasilíaco para mantener el muslo cerca del pecho (p. ej., mantener el mismo ángulo de flexión coxofemoral) mientras se emplea el cuádriceps femoral para extender la rodilla. Es una destreza importante que hay que aprender porque el recto femoral ya está acortado en su curso por la cadera y alcanzará una posición de insuficiencia activa cuando también se halle acortado en la rodilla, tendiendo a hacer que la pierna pierda altura a menos que se recurra a una adecuada contracción del psoasilíaco para mantener la flexión de cadera. El uso inicial de una postura un tanto encogida (para aumentar la ventaja mecánica del psoasilíaco), palpar el músculo y usar esta retroalimentación para asegurarse de que sigue funcionando mientras se extiende la rodilla, además de concentrarse en seguir acercando el muslo al pecho, pueden ayudar a lograr el efecto deseado sobre el psoasilíaco.
- **Potenciación del psoasilíaco con la rodilla extendida.** Sentado con una pierna al frente, elévala manteniendo la rodilla extendida. Primero practica este movimiento centrándote en el cuádriceps femoral «tirando con firmeza de la rótula hacia la cadera» y pensando en levantar la pierna desde la rodilla. A continuación, cuando alcances la altura que consideres cómoda y ya no puedas elevar más la pierna, trata de mover la pierna externamente, encogiendo un poco la pelvis, y céntrate en elevar la pierna usando el psoasilíaco. Óptimamente, lograrás una mayor altura de la pierna con menos sensación de esfuerzo.
- **Aplicación a las clases de este interés en el músculo.** Algunos bailarines perciben el psoasilíaco contrayéndose y lo emplean fácilmente como retroalimentación para transferir la acción de este músculo a otros movimientos en clase. Pero hay bailarines que perciben poco esta sensación asociada con el psoasilíaco, y piensan que es más sencillo elevar la pierna con menos malestar usando el recto femoral y otros flexores de la cadera. En ocasiones es útil recurrir a imágenes como: (1) plegar el muslo sobre el pecho antes de extender la rodilla en el *développé*, o (2) elevar el muslo con una cuerda, tirando por debajo del pliegue en la cara anterior del muslo hacia el frente de la porción inferior de la columna.

cionales y la transferencia a las clases de técnica. La altura adicional de elevación de la pierna se puede lograr en bipedestación aplicando el principio de que se consigue que un músculo genere más fuerza mediante una contracción primero excéntrica, luego isométrica y finalmente concéntrica (véase el capítulo 2). En la práctica esto significa que la pierna se mantiene o desciende de una altura mayor que aquella a la que se puede elevar la pierna con una contracción concéntrica. Un ejemplo de ejercicio que aplica este principio consiste en elevar la pierna al frente lo más alto posible con la rodilla extendida (contracción concéntrica), usar luego la mano para alzar la pierna de 10° a 20° más (figura 4.35A), y luego soltar las manos y mantener la posición 4 segundos (contracción isométrica) o contar 4 segundos mientras se hace bajar lentamente la pierna de 10° a 20° (contracción excéntrica: figura 4.35B) hasta el nivel que se alcanza concéntricamente. Una variación consiste en elevar la pierna al frente lo más alto posible con la rodilla extendida (contracción concéntrica), flexionar la rodilla para reducir el momento de la resistencia, elevar la pierna de 10° a 20° más, ex-

tender lentamente la rodilla lo máximo posible sin que disminuya su altura ni se cree una sensación de excesiva tensión muscular en la cadera (tabla 4.5B, pág. 215), y aguantar la posición 4 segundos (contracción isométrica) o contar 4 segundos mientras se hace descender lentamente la pierna (contracción excéntrica).

Además de la activación del psoasilíaco y la fuerza de los flexores de la cadera, en la altura a la que se eleva la pierna puede influir la flexibilidad de los isquiotibiales. Cuando la rodilla está extendida, los isquiotibiales se estiran sobre la cara dorsal de la cadera y la rodilla, y la flexión coxofemoral puede darse pasivamente sólo hasta donde la flexibilidad de los isquiotibiales lo permite. Se puede usar una prueba selectiva para evaluar la flexibilidad de los isquiotibiales (véase Pruebas y mediciones 4.4). Si los isquiotibiales son poco flexibles, el énfasis se debe poner en estirarlos (tabla 4.7C y D, pág. 227), así como en fortalecer los músculos flexores de la cadera. Si la flexibilidad de los isquiotibiales es grande, esto es señal de que el factor limitador es más la fuerza de los flexores coxofemorales o tal vez la activación específica del músculo psoasilíaco.

Cuando se levanta la pierna al frente *en dehors* y no en paralelo, hay que tener en cuenta otra cosa. Muchos bailarines tienen dificultad para mantener la rotación externa a medida que aumenta la altura de la pierna. Ello se debe a dos razones. Primera, los músculos rotadores externos profundos se vuelven menos eficaces para producir rotación externa, y los rotadores superiores (el piriforme) pueden modificar su función y actuar de rotadores internos en los grados superiores de flexión de cadera (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Segunda, las fibras anteriores del glúteo medio, el glúteo menor y el tensor de la fascia lata aumentan su brazo de palanca para la rotación interna de la cadera cuando ésta está flexionada. Por tanto, mientras que con la cadera extendida el torque máximo para la rotación interna es casi igual al de la rotación externa en todas las personas, cuando la cadera está flexionada el torque máximo generado por los rotadores internos de cadera aumenta casi tres veces. Para contrarrestar este problema, es importante que los bailarines desarrollen más fuerza en los rotadores externos de la cadera y, específicamente, en los rotadores externos profundos inferiores, que siguen en una posición adecuada para generar rotación externa de la cadera. Centrarse en que el trocánter mayor «descienda» ayuda a menudo a lograr la activación deseada del músculo cuadrado femoral.

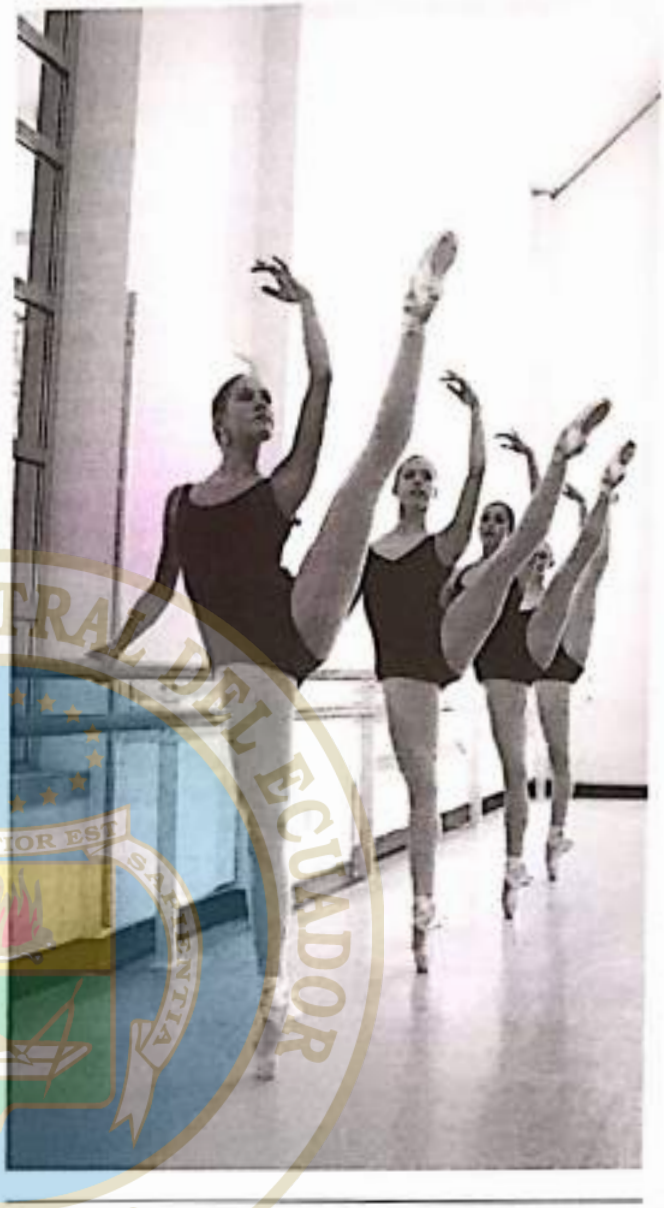


FIGURA 4.36. Elevaciones laterales.
Fotografía de Rex Tranter. Estudiantes de la Pacific Northwest Ballet School.

## Elevaciones laterales

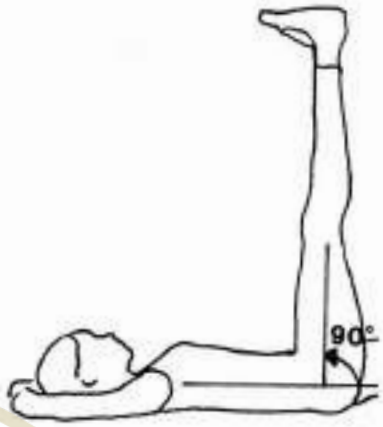
Las elevaciones laterales son una de las medidas de la destreza que se emplean para la selección de bailarines en el mundo del ballet profesional (figura 4.36), y son muchos los que se esfuerzan por aumentar su altura. El empleo del *en dehors* en esta posición genera una situación única en que la superficie anterior del muslo se mueve en un plano frontal y no sagital, un híbrido entre flexión y abducción de la cadera. Aunque se necesitan estudios para conocer mejor la acción recíproca de los músculos en esta acción, los estudios EMG y el estudio de la línea de tracción del músculo sugieren que el psoasilíaco y los abductores de cadera son claves en los grados superiores de abducción coxofemoral. A medida que se incrementa la abducción coxofemoral, la porción distal del psoasilíaco se desliza lateralmente al centro de rotación de la articulación coxofemoral y, por tanto, se sitúa de modo que es capaz de generar abducción coxofemoral. Así, el fortalecimiento de los flexores de la cadera y el desarrollo de una mayor activación del psoasilíaco con

PRUEBAS Y MEDICIONES 4.4

### *Prueba exploratoria de la flexibilidad de los isquiotibiales*

Mostramos ahora una prueba con la que medir la flexibilidad pasiva de los músculos isquiotibiales. Mientras el bailarín está en decúbito supino, el examinador acerca suavemente una pierna del bailarín hacia el pecho con la rodilla extendida (flexión coxofemoral) mientras la otra pierna se mantiene recta en la camilla (B). Para una prueba más precisa de la longitud isquiotibial, la pelvis se mantiene en una posición neutra mientras se eleva la pierna hasta un punto de ligera resistencia pero sin dolor; para una prueba más funcional de la flexión coxofemoral, se permite una ligera inclinación posterior de la pelvis sólo hasta el punto en que la cara posterior de la pierna contralateral siga manteniendo el contacto con la camilla. Esta última variación permite el ritmo pelvicofemoral normalmente asociado con una flexión coxofemoral acusada, como en los *développés en avant* o *grand battements* en las clases de ballet.

El eje del goniómetro se sitúa sobre el trocánter mayor, el brazo fijo, horizontal a lo largo del costado del tronco, y el brazo móvil, a lo largo de la porción externa del muslo. Una lectura de 0° describe la posición de la pierna cuando ésta está plana sobre la camilla; 90° describe la posición de la pierna cuando se eleva extendida hacia el techo (A), y más de 90° cuando la pierna se acerca al pecho como en B. Mientras que 90° se considera una lectura normal en la población general, el valor medio de flexión coxofemoral funcional en las bailarinas profesionales/avanzadas es 150° (Clippinger-Robertson, 1991). Si no se dispone de un goniómetro, se puede calcular la amplitud dividiendo visualmente el arco superior en tercios (A) y deduciendo aproximadamente los grados de movimiento.



extensiones al frente (como se acaba de describir) pueden mejorar movimientos como las elevaciones laterales.

Además, una mecánica correcta desempeña un papel fundamental en mejorar la altura de las piernas. Cuando el muslo se mantiene paralelo o en rotación interna, la amplitud de movimiento se limita a 45° de abducción en la población general, probablemente debido al contacto del trocánter mayor con el borde superior del acetábulo y el ilion. No obstante, si la pierna rota externamente de modo que el trocánter mayor gire en sentido inferior, no se produce dicho contacto, y la amplitud de la abducción coxofemoral aumenta tremendamente. Así, una mayor rotación externa permitirá un mayor grado de abducción coxofemoral (Kushner *et al.*, 1990), y el empleo de esta rotación externa también permitirá situar la pierna más lateralmente y las caderas más niveladas, como se ve en la figura 4.37B. Muchas escuelas de danza permiten la asociación normal de una inclinación pélvica lateral en los grados finales del movimiento para alcanzar mayor altura de la pierna, como se aprecia en la figura 4.36, mientras que otras escuelas limitan el grado de inclinación pélvica lateral.

Cualquiera que sea el efecto estético de la posición final, en los grados iniciales del movimiento los bailarines se deben centrar en mantener las caderas niveladas en vez de potenciar la inclinación lateral y excesiva de la pelvis, como se ve en la figura 4.37A, y en rotar al máximo y «dejar caer» el trocánter mayor para lograr una movilidad y ubicación óptimas de la pierna que trabaja, como se ve en la figura 4.37B y C. Por tanto, la fuerza y activación adecuadas de músculos rotadores externos específicos, así como del psoasilíaco,

PUCE CENTRAL DEL ECUADOR POTENTIOR EST SAPIENTIA FUNDADA EN 1620 QUITO

FIGURA 4.37. *Développé* al lado. (A) Con la cadera demasiado elevada; (B) postura más adecuada de la cadera con el trocánter cerca de las tuberosidades isquiáticas de la bailarina; (C) visión en el esqueleto.

son necesarias para lograr la altura y estética deseadas en las elevaciones laterales. La elevación lateral de la pierna con una tobillera lastrada (figura 4.38A y tabla 4.5G, pág. 218) o una banda elástica (figura 4.38B y tabla 4.5G, variación 2, pág. 218) son ejercicios pensados para ayudar a los bailarines a centrarse en la técnica de rotar completamente el fémur mientras se levanta la pierna. Como se describe en las elevaciones al frente, a medida que mejoran los patrones de activación y fuerza, la progresión en los ejercicios de fuerza incluye una posición más vertical del torso y eventualmente la bipedestación, que ayudarán a transferir a las clases las mejoras deseadas en la altura de la pierna y en la técnica. Cuando se pase del decúbito lateral (con una tobillera lastrada) a sedestación o bipedestación, la elevación de la pierna por encima de 90° (debido a la distinta relación con la gravedad) se verá resistida, y no asistida por la gravedad, y la mayoría de los bailarines no tendrán fuerza para alzar la pierna a la altura lograda en decúbito lateral. Al principio, puede resultar útil usar la mano para lograr el descenso deseado del trocánter mayor y mantener la altura del muslo mientras se extiende la rodilla (figura 4.38C). Para desarrollar la fuerza necesaria y terminar siendo capaz de lograr esta altura sin usar la mano, se pueden usar procedimientos parecidos a los descritos para los *développés en avant* en ortostatismo. Por ejemplo, la mano se usa para elevar la pierna con la rodilla flexionada, como se ve en la figura 4.38C, y luego se suelta lentamente al tiempo que se mantiene la posición hasta contar cuatro. A medida que aumenta la fuerza, este ejercicio se modifica extendiendo la rodilla después de soltar la mano. El interés se centra en usar los rotadores

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

FIGURA 4.38. Ejercicios de fuerza para mejorar las elevaciones laterales. (A) Elevación lateral de la pierna hacia la pared; (B) elevación lateral de la pierna con una banda elástica; (C) *développé* al lado de pie y con asistencia del brazo.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 4.4

### *Descenso del trocánter mayor hacia las tuberosidades isquiáticas en el développé al lado*

Practica los siguientes ejercicios por ambos lados para desarrollar una mejor percepción del movimiento deseado del trocánter mayor con el fin de aumentar la altura de la pierna que trabaja, así como para elevar la pierna más lateralmente.

- **Observar la excursión del trocánter mayor en un *passé*.** Con el compañero tumbado sobre el costado izquierdo y con la pierna superior en un *passé* paralelo, pon los dedos sobre el trocánter mayor y la tuberosidad isquiática derechos, y repara en el movimiento del trocánter mayor mientras la pierna adopta un *passé en dehors (retiré)*.
- **Aumento del descenso del trocánter mayor.** Cuando se practica este *passé en dehors*, muchas bailarines recurren a la abducción horizontal para llevar la pierna hacia el lado y no generan suficiente rotación externa del fémur. Para ayudar al compañero a generar esta rotación, sostén el peso de su pierna y gira su muslo interna y externamente, haciendo hincapié en la rotación externa y en el descenso del trocánter mayor hacia la tuberosidad isquiática. Recuerda que la rotación ocurre sobre el eje mecánico del fémur, y que por tanto la rodilla debe pivotar en su sitio mientras el muslo gira. Con esta rotación añadida, el trocánter mayor debe descender y acercarse mucho más a la tuberosidad isquiática (figura 4.37C) que sólo con abducción horizontal pura. Una vez que el compañero haya experimentado pasivamente la postura deseada, deberá tratar de generar el mismo descenso del trocánter mediante la contracción activa de los músculos rotadores externos profundos inferiores. Los profesores de danza a veces describen esta importante distinción de la rotación pidiendo a los bailarines que se imaginen el pomo de una puerta que gira (rotación del fémur) y no la puerta abriéndose (abducción horizontal del muslo).
- **Utilización del descenso del trocánter en un *développé*.** Mientras la rodilla se eleva desde un *retiré*, ayuda a tu compañero a girar externamente el fémur para que el trocánter se mantenga abajo y la rodilla se desplace ligeramente hacia atrás (como llevarla detrás del hombro) antes de que se extienda para completar el *développé*. Entonces, hay que hacer que el compañero eleve la cadera (incline lateralmente la pelvis) y gire internamente la pierna, y repare en cómo la pierna desciende y se desplaza hacia delante. Ahora, el compañero debe hacer que la pelvis descienda hasta casi una posición neutra, girando para ello externamente el fémur; con una mano sobre la cadera de tu compañero y la otra justo debajo de su rodilla, ayúdalo a que gire más desplazando el trocánter mayor hacia atrás y abajo; fíjate en que este movimiento del trocánter mayor permite una mayor elevación de la pierna y un mayor *en dehors* en segunda posición.

externos profundos para mantener la *apertura* en la cadera, y el psoasilíaco para mantener la altura de la rodilla, y sólo extender la rodilla en la medida en que ésta no descienda a la vez y no se perciba una tensión indebida en los músculos de la cadera. Se puede añadir una base rotatoria para potenciar el uso de los rotadores externos profundos en el mantenimiento de la apertura deseada de la pierna de apoyo mientras se eleva la pierna que trabaja.

Además de la contracción activa y específica de los músculos motores principales, las restricciones pasivas que imponen los músculos antagonistas también influyen en la altura a que se elevan lateralmente las piernas. Como el efecto del estiramiento de los isquiotibiales sobre la cadera no es tan directo cuando la pierna se eleva lateralmente en vez de al frente, los isquiotibiales por lo general no limitarán la movilidad tan pronto, pero siguen siendo críticos para determinar la altura a la que se eleva la pierna. Los músculos aductores de la cadera también son críticos para determinar la extensión y altura laterales de la pierna. Por eso, si no existe una amplitud suficiente, el estiramiento de los aductores coxofemorales y los isquiotibiales, como se muestra en la tabla 4.7C-F (págs. 227-228), también mejora la altura de la pierna y reduce el esfuerzo requerido para levantarla lateralmente al disminuir la resistencia interna de los músculos antagonistas que hay que superar.

## *Elevaciones hacia atrás*

La correcta ejecución de movimientos hacia atrás como elevaciones, *attitudes* o *arabesques* también es clave para la progresión en el nivel técnico en distintos tipos de danza, y supone un complejo reto cinesiológico. La amplitud de movimiento posible en la cadera en sentido posterior es

ÓRDENES EN LA DANZA 4.3

### «Elevar la extremidad con la cara posterior del muslo»

Para ejecutar elevaciones o *grand battements* laterales, los profesores a veces piden a los estudiantes que «eleven la extremidad con la cara posterior del muslo» o que «usen los isquiotibiales para elevar la pierna y no los cuádriceps». Esta orden no concuerda con los conocimientos anatómicos actuales, y se recomienda reemplazar esta orden por otra alternativa. La acción de los músculos isquiotibiales es la extensión y no la flexión de la cadera, y por eso su acción es la de hacer descender la pierna, no levantarla, en los *battements*. Sin embargo, el objetivo que busca esta orden, lograr una mayor altura de la pierna con menos «esfuerzo», en especial una menor contracción del cuádriceps, se puede enfocar anatómicamente desde varias perspectivas. Primera, la referencia a la percepción de los isquiotibiales trabajando se puede relacionar con su acción potencial en la rodilla frente a la cadera. Cuando la rodilla se hiperextiende, la línea de tracción de los isquiotibiales cruza anteriormente el eje de la articulación de la rodilla, y por eso los isquiotibiales aumentan la hiperextensión de la rodilla o se emplean para mantenerla en vez de para flexionarla. Así, algunos bailarines con las rodillas hiperextendidas pueden usar la inserción distal de los isquiotibiales para mantener la rodilla en hiperextensión durante un *battement*. Teóricamente, esto permite usar menos el cuádriceps femoral para mantener una posición extendida (hiperextendida) de la rodilla. Si bien estas acciones se producen en relación con la articulación de la rodilla y los músculos flexores de la cadera, siguen siendo necesarias para elevar el muslo.

Una segunda interpretación de la intención de esta orden se relaciona con la percepción del trocánter mayor descendiendo «hacia atrás» justo antes de hacer hincapié en el empleo del músculo psoasilíaco para elevar la pierna lateralmente. Se puede pensar en esta función como paralela a la del par de fuerzas formado por los músculos subescapular, infraespinoso y redondo menor del hombro (y del cual se hablará en el capítulo 7). Cuando la cadera está extendida y debido a sus inserciones, la contracción del glúteo medio tiende a tirar del trocánter mayor hacia arriba (importante componente estabilizador del que se habló en el capítulo 2). No obstante, algunos de los músculos inferiores de los rotadores externos profundos están en una posición apta para contrarrestar esta tracción ascendente y facilitar el movimiento rotatorio deseado de la diáfisis del fémur en abducción, e impedir la compresión ósea del trocánter mayor, permitiendo a la pierna elevarse mucho más. Por eso, las órdenes alternativas destinadas a lograr el descenso deseado del trocánter mayor o «llevar la cara lateral del muslo hacia abajo» justo antes de elevar la pierna describen mejor la mecánica deseada.

mucho más limitada que al frente o lateralmente. En una persona normal, la hiperextensión coxofemoral se limita a 10°-15° debido a las limitaciones impuestas por los ligamentos anteriores, la cápsula articular y, en algunos casos, los músculos flexores de la cadera. Aunque los bailarines de elite pueden superar dos o tres veces esta movilidad, llevar la pierna que trabaja a una posición horizontal exige una inclinación anterior de la pelvis y una hiperextensión compensatoria de la columna para mantener la porción superior del torso en posición vertical. Muchas escuelas de danza también permiten cierta rotación pélvica para aumentar la altura de la pierna, así como rotación del tronco en la dirección opuesta para mantenerlo orientado hacia delante. Sin embargo, el grado y sincronización de estos movimientos de la pelvis y la columna tienen implicaciones importantes para lograr la estética deseada y para las tensiones que soporta la columna lumbar (figura 4.39).

Para mejorar la altura de la pierna con menos tensión para la columna lumbar, son útiles las siguientes consideraciones. (A) Potenciar la rotación externa del fémur con los músculos inferiores del grupo de rotadores externos profundos de la cadera en vez de rotar la pelvis («abrir la cadera») durante la primera parte del movimiento. (2) Pensar en «alargar la pierna», estirando a nivel de la cara anterior de la cadera y usando toda la amplitud posible de hiperextensión coxofemoral en vez de inclinar de inmediato la pelvis en sentido anterior mientras la pierna se eleva. (3) Centrarse en «levantar la extremidad desde la rodilla» para favorecer un mayor uso de los isquiotibiales con el fin de aumentar el grado de extensión coxofemoral y la altura de la pierna. (4) Cuando se alcanza el grado máximo de hiperextensión coxofemoral y la pelvis se debe inclinar anteriormente, «tirar del área abdominal inferior hacia arriba y adentro» y «elevar la región lumbar» conseguirán reducir la fuerza de cizallamiento en el área lumbar y distribuir mejor la hiperextensión necesaria a lo largo de la columna vertebral, como se describe en el capítulo 3. (5) Diferir la rotación pélvica y limitar su amplitud de acuerdo con el efecto estético de cada escuela de danza, enfatizando la contribución de los componentes de rotación externa e hiperextensión de la cadera, de forma que

FIGURA 4.39. *Arabesque* (A) con excesiva rotación pélvica y cocontracción inadecuada de los abdominales, y (B) con hiperextensión de cadera y empleo coordinado de los músculos abdominales y extensores de la espalda.

se requiera una menor hiperextensión de la columna lumbar y menor rotación pélvica para lograr la elevación horizontal de la pierna.

Además de centrarse en la técnica, el fortalecimiento de los músculos extensores de la cadera y la espalda puede incrementar la altura de las piernas en movimientos hacia atrás. Como son los extensores de la cadera los que elevan la pierna, su fortalecimiento en una amplitud parecida a la de estos movimientos y con énfasis en usar los isquiotibiales debería ser una de las prioridades. No obstante, a medida que se eleva la pierna, la pelvis y el torso giran en sentido anterior a menos que los extensores de la espalda se usen para mantener el torso echado hacia atrás y erguido. Por tanto, el fortalecimiento de los extensores de la espalda también es clave. En la figura 4.40 aparecen ejercicios de fuerza para mejorar el *arabesque*. El *arabesque* de rodillas con una banda elástica (figura 4.40A, descrito en la tabla 4.5E, variación 1, pág. 217) constituye un ejercicio eficaz para centrarse en desarrollar la fuerza y percepción de los isquiotibiales al tiempo que se mantiene la pelvis estable. La elevación posterior de la pierna sobre una pelota suiza (figura 4.40B y tabla 4.5D, variación 2, pág. 216) permite al bailarín trabajar elevando la pierna más alto al tiempo que coordina la ligera inclinación pélvica anterior y la hiperextensión lumbar asociadas. La retroalimentación táctil que aporta la pelota suiza ayuda al bailarín a centrarse en mantener inicialmente ambas EIAS en contacto con la pelota mientras se subraya el uso de los isquiotibiales para aumentar la hiperextensión coxofemoral. Una vez lograda la hiperextensión completa de la cadera, la retroalimentación de la pelota ayuda al bailarín a centrarse en la cocontracción de los abdominales y los extensores de la espalda mientras la pelvis se inclina un poco anteriormente y la EIAS del lado de la pierna que trabaja se levanta ligeramente de la pelota para facilitar la rotación pélvica y alcanzar mayor altura. La elevación posterior de la pierna en bipedestación (figura 4.40C y tabla 4.5D, progresión 2, pág. 216) representa un ejercicio más funcional concebido para transferir las mejoras a la danza. Procedimientos parecidos a los descritos para el *développé en avant* y al lado en segunda posición se pueden usar para mejorar la altura de la pierna que trabaja. Por ejemplo, la mano se puede usar para elevar la pierna un poco más alto hacia atrás con la rodilla flexionada, para luego soltar lentamente la mano mientras la postura se mantiene hasta contar cuatro. De nuevo, se puede usar un disco giratorio para centrarse en mantener el *en dehors* de la pierna de apoyo mientras se mejora la altura y técnica de la pierna que trabaja.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 16
QUITO

FIGURA 4.40. Ejercicios de fuerza para mejorar el *arabesque*. (A) *Arabesque* de rodillas con una banda elástica; (B) elevación hacia atrás de la pierna sobre una pelota suiza y con una tobillera lastrada; (C) elevación hacia atrás de la pierna en monopedestación y con una tobillera lastrada.

Otros ejercicios para fortalecer los músculos extensores de la espalda que aparecen en el capítulo 3 también ayudan a mejorar movimientos como el *arabesque*. Un estudio demostró que fortalecer los músculos extensores de la columna aumentaba la altura del *arabesque* 3,6° (Welsh *et al.*, 1998). Bailarines universitarios que participaron en una clase dada por la autora durante 14 semanas –a la que se incorporaron ejercicios de fuerza para los extensores de la espalda y los extensores de la cadera, y de flexibilidad de los flexores de la cadera, así como ejercicios de técnica– aumentaron aproximadamente 20 centímetros la altura media del pie de la pierna que trabaja. Sin embargo, como se ha dicho previamente, los ejercicios que implican hiperextensión vertebral comportan un riesgo elevado y sólo deberían practicarlos los bailarines sin antecedentes de problemas lumbares, dentro de una amplitud indolora, con supervisión inicial y con una técnica meticulosa que incluya la cocontracción de los músculos abdominales para aliviar la tensión lumbosacra.

Aunque la técnica y la fuerza específica sean claves, en la altura a la que se eleva la pierna, en el efecto estético del movimiento y en la tensión sobre la espalda también influye la flexibilidad de los músculos flexores de la cadera. Se puede utilizar una prueba exploratoria para evaluar dicha flexibilidad (véase Pruebas y mediciones 4.5). Si la flexibilidad es escasa, el énfasis se debe poner en estirar los músculos flexores de la cadera (tabla 4.7A-C, págs. 226-227) además de

PRUEBAS Y MEDICIONES 4.5

### *Prueba exploratoria de la flexibilidad de los músculos flexores de la cadera*

Mostramos una prueba para medir la flexibilidad pasiva de los músculos flexores de la cadera. Para algunos bailarines, los ligamentos de la cadera y la cápsula articular también suponen una restricción. Con el bailarín en decúbito supino y una cadera sobre el borde de la mesa, se flexiona una rodilla y se mantiene cerca del pecho para que la pelvis esté en una posición neutra mientras el examinador usa una mano sobre la otra rodilla para aproximar la pierna al suelo y provocar hiperextensión coxofemoral, como se aprecia en B. Para que la medición de la amplitud de la hiperextensión coxofemoral sea más exacta, el movimiento se debe aislar en la cadera y no en la articulación lumbosacra, y no hay que permitir la inclinación anterior de la pelvis.

El eje del goniómetro se sitúa sobre el trocánter mayor, el brazo fijo horizontal, a lo largo del costado del tronco, y el brazo móvil, a lo largo de la cara externa del muslo. Una lectura de 0° indica la posición en que el muslo está horizontal; valores negativos indican que el muslo se angula hacia arriba respecto a la horizontal, y valores positivos manifiestan que el muslo se angula hacia el suelo respecto a la horizontal. Mientras que 15° se consideran una amplitud normal en la población general, el valor medio de hiperextensión coxofemoral en las bailarinas profesionales/avanzadas es 27° (Clippinger-Robertson, 1991). Una vez más, se trata de un área de gran variabilidad entre las bailarinas, e incluso en este grupo de élite se han registrado valores de entre 6° y 47°. Si no se dispone de un goniómetro, se puede calcular la amplitud localizando visualmente la posición en la que el fémur estaría a un tercio de su camino al suelo (30°) y dividiendo ese arco en tercios.

fortalecer los extensores de la cadera y la espalda. Si la flexibilidad de los flexores de cadera es grande, esto sugiere que hay que centrarse más en la fuerza y la técnica.

## Ejercicios de acondicionamiento para la cadera

Una flexibilidad y fuerza adecuadas de los músculos que cruzan la cadera son importantes para la ejecución de movimientos exigentes como saltos, *battements* y *grand jetés*. Sin embargo, durante la ejecución de ejercicios de entrenamiento, es importante recordar que, debido a las inserciones previamente descritas de los músculos de la cadera, se debe prestar especial atención al uso de los abdominales y otros músculos necesarios para mantener estables la pelvis y la columna vertebral. Para evitar redundancias, esta necesidad de lograr estabilización lumbopélvica no se ha mencionado en las claves técnicas de todos los ejercicios de las tablas 4.5 y 4.7, si bien es esencial para la eficacia y seguridad de los ejercicios.

### *Ejercicios de fuerza para la cadera*

El fortalecimiento suplementario de la cadera es especialmente importante para los bailarines porque la danza

*(El texto continúa en la página 223.)*

**Tabla 4.5. Selección de ejercicios de fuerza para la cadera**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la cadera<br>Músculos trabajados: psoasilíaco | | |
| Movimiento articular: flexión coxofemoral manteniendo la rodilla flexionada | | |
| A. Rodilla al pecho (banda elástica)<br> <br> <br>Variación 2 | Inclínate hacia atrás apoyándote en los codos con ambas rodillas flexionadas y una banda elástica por encima de las rodillas. Acerca una rodilla hacia el hombro del mismo lado, haz una pausa y vuelve a la posición inicial mientras la otra rodilla se mantiene en su sitio. (Mantén una ligera inclinación pélvica posterior y potencia el uso del psoasilíaco y no del recto femoral.)<br>*Variación 1.* Sentado con las caderas sobre el borde de una silla, el torso apoyado en el respaldo y la pelvis en ligera inclinación posterior.<br>*Variación 2.* Después de llevar la rodilla al pecho, extiéndela sin dejar que se aleje del cuerpo. | 1. Haz el ejercicio sentado en el suelo y con el cuerpo un poco encorvado echándote hacia atrás y apoyándote en las manos (figura 4.34B, pág. 203).<br>2. Haz el ejercicio sentado, con el tronco vertical y la pelvis en una posición más neutra (figura 4.34D, pág. 203). |
| Grupos musculares: flexores de la cadera y extensores de la rodilla<br>Músculos trabajados: psoasilíaco y cuádriceps femoral | | |
| Movimiento articular: flexión coxofemoral y extensión de rodilla | | |
| B. En sedestación, elevación de la pierna al frente en dos arcos (peso del cuerpo)<br> <br> <br> | Siéntate e inclínate hacia atrás apoyándote en las manos, con una rodilla flexionada y el pie en el suelo mientras la otra pierna se extiende al frente. Eleva la pierna extendida lo más alto posible con una buena estética corporal, haz una pausa, flexiona un poco la rodilla, eleva la pierna un poco más alto con la rodilla flexionada, extiende la rodilla en este arco superior, haz una pausa, y haz descender con lentitud la pierna hasta la posición inicial. (Emplea el cuádriceps femoral para extender la rodilla, pero haz hincapié en usar el psoasilíaco para flexionar la cadera. Evita cambiar el ángulo de flexión de la cadera mientras extiendes la rodilla al final del movimiento.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio *en dehors*, pero si usas una tobillera lastrada acércala más a la rodilla que al tobillo. | 1. Aumenta la altura a la que se eleva la pierna.<br>2. Adopta una postura más vertical del torso y más neutra de la columna lumbar.<br>3. Haz el ejercicio sentado con el torso vertical y la espalda contra la pared.<br>4. Añade una tobillera lastrada.<br>5. Practica el ejercicio de pie. |

**Tabla 4.5. Selección de ejercicios de fuerza para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupo muscular: flexores de la cadera**<br>**Músculos trabajados: psoasilíaco** | | |
| Movimiento articular: flexión coxofemoral con extensión de rodilla | | |
| C. *Développé en avant*<br>(máquina Universal Reformer)<br> <br> | Inclínate hacia atrás apoyándote en los codos con una rodilla flexionada y el pie sobre la base móvil de la máquina, y la otra rodilla flexionada con una banda elástica por encima de ella y cerca del pecho. Lleva la rodilla con la banda elástica hacia el pecho, extiende la rodilla, flexiónala mientras la acercas al hombro y luego haz que descienda a la posición inicial.<br>(Céntrate en usar el psoasilíaco, y evita que la rodilla descienda mientras la extiendes.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio en la misma postura pero con una banda rodeando las rodillas por encima. | 1. Aumenta la resistencia.<br>2. Siéntate apoyándote en las manos.<br>3. Adopta una postura con el torso más vertical y la pelvis más neutra. |
| **Grupo muscular: extensores de la cadera**<br>**Músculos trabajados: isquiotibiales** | | |
| Movimiento articular: extensión coxofemoral manteniendo la rodilla flexionada | | |
| D. Elevación posterior de la pierna<br>(tobilleras lastradas)<br> | Inclínate hacia delante con los brazos apoyados en una barra o en el respaldo de una silla, y lleva una tobillera lastrada en cada pierna. Lleva una pierna hacia atrás, flexionando un poco la rodilla, y luego levanta más la pierna hasta que esté casi paralela al suelo.<br>(Mantén la rodilla un poco flexionadas mientras elevas la pierna, y céntrate en usar los isquiotibiales. Emplea los abdominales para que no se arquee demasiado la región lumbar.)<br>*Variación 1. En dehors.*<br>*Variación 2.* En decúbito prono con las caderas apoyadas en una pelota suiza, caja o banco (figura 4.40B, pág. 213). | 1. Mantén la posición final de la pierna, y eleva cuidadosamente el torso hacia una posición vertical, mediante la cocontracción de los músculos abdominales y extensores de la espalda.<br>2. Practica el ejercicio de pie con el torso más vertical y sin apoyarte en los brazos (figura 4.40C, pág. 213).<br>3. Extiende la rodilla al final del movimiento. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupo muscular: extensores de la cadera**<br>**Músculos trabajados: isquiotibiales** | | |
| Movimiento articular: extensión coxofemoral con extensión de rodilla | | |
| E. *Arabesque* de rodillas<br>(máquina Universal Reformer)<br> | Arrodillate sobre la máquina, mirando hacia la barra para los pies, con un pie apoyado en el reposahombros y la otra pierna hacia atrás con la banda en torno al pie y la rodilla un poco flexionada. Eleva lentamente la pierna impedida por la banda, extiende la rodilla gradualmente, haz una pausa, y luego baja la pierna hasta la posición inicial. Mantén las manos en contacto con la parte anterior de la base móvil, y deja que el torso se incline hacia delante mientras levantas la pierna.<br>(Céntrate en usar los isquiotibiales para «levantar la rodilla» y usa los abdominales para no arquear la región lumbar.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con el cuerpo en la misma posición y con una banda elástica en torno a ambos pies o tobillos (figura 4.40A, pág. 213). | 1. Aumenta la resistencia.<br>2. Aumenta la altura de la pierna que elevas. |
| **Grupo muscular: extensores de la cadera**<br>**Músculos trabajados: isquiotibiales/par de fuerzas abdominal-isquiotibial** | | |
| Movimiento articular: extensión coxofemoral con flexión de rodilla | | |
| F. El puente<br>(peso corporal apoyado en una pelota suiza)<br> | Túmbate sobre la espalda con los talones encima de la pelota y las rodillas extendidas. Inclina la pelvis posteriormente y elévala para formar una línea recta con rodilla, pelvis y hombro. Luego flexiona las rodillas 90° (acercando la pelota a las nalgas), haz una pausa, extiende las rodillas (alejando la pelota de nuevo), y baja lentamente el tronco hasta la posición inicial.<br>(Haz hincapié en ejercer presión descendente con los talones y en levantar el tronco desde la porción inferior de la pelvis. Mantén alineada la pelvis mientras flexionas y extiendes las rodillas y evita que la región lumbar se arquee o las rodillas se hiperextiendan.) | 1. Cuenta hasta cuatro en la posición con las rodillas flexionadas.<br>2. Levanta una pierna durante la cuenta hasta cuatro.<br>3. Practica con cuidado el tener un talón sobre la pelota y la otra pierna extendida en el aire, comenzando y terminando con la rodilla un poco flexionada en vez de recta. Comienza con una amplitud muy pequeña y sólo si no sientes dolor ni molestias en las rodillas. |
| Progresión 2<br> | | |

*(Continúa)*

**Tabla 4.5. Selección de ejercicios de fuerza para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: abductores y rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: glúteo medio, psoasilíaco y rotadores externos profundos | | |
| Movimiento articular: abducción y rotación externa de la cadera | | |
| G. *Side leg-rise* (elevación lateral de la pierna)<br>(tobillera lastrada)<br> | En decúbito lateral con la espalda contra una pared y ambas caderas en rotación externa, con las rodillas extendidas y una tobillera lastrada en la pierna superior. Eleva esta pierna, haz una pausa y luego bájala hasta la posición inicial.<br>(Céntrate en mantener las caderas niveladas en los grados iniciales del movimiento y en mantener el trocánter mayor del fémur atrás y abajo hacia la tuberosidad isquiática mientras levantas la pierna. En los grados finales del movimiento, sólo permite la inclinación lateral de la pelvis que sea necesaria y levanta la cintura del suelo para limitar dicha inclinación. Mantén toda la rotación externa posible mientras la pierna desciende, y mantén el sacro, la región media de la espalda y el V dedo de la pierna que trabaja en contacto con la pared durante el ejercicio.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con las piernas paralelas para potenciar sólo el uso de los abductores de la cadera.<br>(Céntrate en mantener la pelvis nivelada al principio llevando la cresta ilíaca superior hacia los pies mientras piensas en levantar la cintura del suelo acercando la cresta ilíaca inferior a las costillas inferiores. Potencia el movimiento del fémur para lograr una abducción coxofemoral completa. Detente en un grado previo al punto en que se necesite una inclinación lateral acusada de la pelvis: por lo general de 45° a 60° de abducción en paralelo.)<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio con una banda elástica por encima de las rodillas en paralelo o *en dehors* (figura 4.38B, pág. 209). | 1. Levanta más alto la pierna superior pero manteniendo una estética correcta.<br>2. Aumenta el *en dehors* logrado y mantenido.<br>3. Aumenta el peso de la tobillera. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: abductores de la cadera<br>Músculos trabajados: glúteo medio/estabilización | | |
| Movimiento articular: abducción de la cadera | | |
| H. Elevación lateral de la pierna en bipedestación<br> | De pie en paralelo con una tobillera lastrada en una pierna. Eleva la pierna con la tobillera, haz una pausa y vuelve a la posición inicial.<br>(Céntrate inicialmente en mantener la pelvis nivelada y en reducir al mínimo la inclinación pélvica lateral mientras la pierna se eleva. Mantén el peso del cuerpo sobre la pierna de apoyo sin «sentarte sobre la caderas»)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio *en dehors.* | 1. Aumenta el peso de la tobillera.<br>2. Aumenta la altura a la que elevas la pierna. |
| Grupos musculares: abductores, flexores y rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: psoasilíaco y rotadores externos profundos | | |
| Movimiento articular: abducción y rotación externa de la cadera con extensión de rodilla | | |
| I. *Développé* al lado en decúbito lateral (máquina Universal Reformer)<br> <br> | En decúbito lateral con la cabeza hacia la barra para los pies, una pierna entre el reposahombros y la otra con la rodilla flexionada y la cinta rodeando el muslo por encima de la rodilla. Lleva la rodilla superior hacia el hombro superior, extiende lentamente la rodilla, haz una pausa, flexiona la rodilla y vuelve a la posición inicial.<br>(Céntrate en usar *en dehors* máximo y en que el trocánter descienda hacia atrás, y en desplazar la rodilla en sentido lateral, de la forma más pura posible, mientras la pelvis se mantiene al principio casi nivelada en vez de inclinada; potencia el uso del psoasilíaco para mover el muslo hacia el hombro, y evita que la rodilla descienda mientras la extiendes. | 1. Aumenta la resistencia.<br>2. Acorta las cintas.<br>3. Aumenta la altura a la que elevas la rodilla. |

(Continúa)

**Tabla 4.5. Selección de ejercicios de fuerza para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: aductores de la cadera<br>Músculos trabajados: aductores de la cadera/estabilización | | |
| Movimiento articular: aducción de la cadera | | |
| J. *Leg-pull* unilateral (tobillera lastrada)<br> | En decúbito lateral con las piernas extendidas, la pierna superior apoyada en el asiento de una silla y la tobillera lastrada en la pierna inferior. Eleva la pierna inferior hacia la otra, haz una pausa y vuelve a la posición inicial.<br>(Mantente directamente sobre el costado de la cadera y evita balancearte adelante y atrás.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio de pie en primera posición paralela con un tubo de resistencia o una polea de pared que ofrezcan resistencia desde el lado, oponiéndose a la aducción coxofemoral.<br>*Variación 2.* Practica el ejercicio acostado sobre un lado o de pie con las piernas *en dehors*. | 1. Aumenta el peso.<br>2. Usa una silla o apoyo para la pierna superior más altos. |
| Grupos musculares: aductores y rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: aductor mayor y rotadores externos profundos | | |
| Movimiento articular: aducción y rotación externa de la cadera | | |
| K. *Leg-pull* lateral (máquina Universal Reformer*)<br> <br> | En decúbito lateral con la cabeza hacia las cintas, un brazo entre el reposahombros, la rodilla inferior flexionada, y la otra pierna por encima de la cabeza con la rodilla extendida y la cinta posterior alrededor del pie. Tira de la pierna superior hacia abajo y en línea con el punto medio de la barra para los pies, haz una pausa y luego vuelve a la posición inicial.<br>(Céntrate en el *en dehors* y en tirar hacia abajo con la parte posterior de la cara interna del muslo; evita que la pierna se mueva hacia delante; deja caer el trocánter mayor mientras la pierna vuelve a su posición por encima de la cabeza.) | 1. Aumenta la resistencia.<br>2. Acorta las cintas.<br>3. Aumenta la altura a la que elevas la pierna. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: aductores de la cadera<br>Músculos trabajados: aductores y rotadores externos profundos inferiores de la cadera | | |
| Movimiento articular: aducción horizontal y rotación externa de la cadera | | |
| L. La «V» contra una pared (tobilleras lastradas)<br> | En decúbito supino con las nalgas apoyadas contra una pared y las piernas *en dehors*, extendidas hacia el techo y con tobilleras lastradas. Separa al mismo tiempo una pierna de la otra hacia el suelo, haz una pausa y luego vuelve a juntar las piernas en la posición inicial.<br>(Baja las piernas muy lentamente y de forma controlada, y trata de mantener el contacto de los dedos pequeños de ambos pies con la pared durante todo el ejercicio. Evita hiperextender las rodillas.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con ambas piernas en paralelo. | 1. Aumenta el peso de las tobilleras.<br>2. Separa más las piernas hacia los lados. |
| Grupos musculares: rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: rotadores externos profundos de la cadera | | |
| Movimiento articular: rotación externa de la cadera con la rodilla flexionada | | |
| M. *Passé* en decúbito prono (máquina Universal Reformer)<br> | En decúbito prono cruzado el cuerpo sobre la máquina Reformer, con las manos en el suelo y la rodilla sobresaliendo del borde de la caja. Flexiona 90° la rodilla más cercana a las cintas y rodea el pie con la cinta. Empieza con la cadera en ligera rotación interna, y luego rota lentamente la cadera para mover la rodilla lateralmente y el pie hacia la corva de la rodilla extendida. Haz una pausa y vuelve a la posición inicial.<br>(Recalca la rotación desde la cadera con la extremidad inferior moviéndose como una unidad, y evita que la pierna se torsione por la rodilla. Mantén la flexión de 90° de la rodilla, así como la pelvis neutra con las EIAS en contacto con la máquina.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio en decúbito prono sobre el suelo con un tubo elástico en forma de 8 rodeando el tobillo y el pie de la rodilla flexionada, con el otro extremo del tubo asegurado directamente al lado que se opone al movimiento (figura 4.33A, pág. 201). | 1. Aumenta el grado de rotación externa manteniendo la pelvis en una posición neutra.<br>2. Aumenta la resistencia.<br>3. Acorta las cintas. |

(Continúa)

**Tabla 4.5. Selección de ejercicios de fuerza para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: rotadores externos profundos de la cadera | | |
| Movimiento articular: rotación externa y abducción horizontal de la cadera | | |
| N. La rana en decúbito prono (peso corporal apoyado en la pelota suiza)<br> | En decúbito prono con las caderas apoyadas sobre la pelota, los antebrazos en el suelo y los pies juntos con las rodillas flexionadas y separadas. Mantén presionando los pies juntos, rota externamente ambas caderas, eleva las rodillas hacia el techo, haz una pausa y luego vuelve a la posición inicial.<br>(Céntrate en usar los músculos rotadores externos profundos inferiores de la cadera para rotar las caderas y separar las rodillas, lateralmente y hacia arriba; evita elevar primero los pies o torsionar las rodillas.)<br>*Variación 1.* Practica en una escalera de Pilates | 1. Eleva las rodillas un poco más alto.<br>2. Después de levantar las rodillas, extiéndelas manteniendo los talones juntos. Céntrate en elevar los talones mientras extiendes y flexionas las rodillas. |
| Grupo muscular: rotadores externos y abductores de la cadera<br>Músculos trabajados: rotadores externos profundos de la cadera | | |
| Movimiento articular: rotación externa con abducción de la cadera | | |
| O. Rotación coxofemoral apoyándose en los codos (banda elástica)<br> | Inclínate hacia atrás sobre los codos con las rodillas extendidas y una banda en torno a las rodillas. Al mismo tiempo separa las piernas, rota externamente las piernas y sepáralas todavía más, haz una pausa y luego vuelve a la posición inicial.<br>(Céntrate en usar los músculos rotadores externos profundos inferiores de la cadera en la base de las nalgas para girar externamente los fémures y aumentar el *en dehors* mientras las piernas se separan más.) | 1. Separa más las piernas hacia los lados.<br>2. Haz más pequeña la banda.<br>3. Usa una banda más rígida. |
| Grupo muscular: rotadores internos de la cadera<br>Músculos trabajados: glúteos medio y menor | | |
| Movimiento articular: rotación interna de la cadera con la rodilla flexionada | | |
| P. Rotación interna de la cadera en decúbito prono (máquina Universal Reformer)<br> | Igual que el ejercicio M, pero con una cinta alrededor del pie más alejado de ella y moviéndolo en dirección opuesta; es decir, empezando con la cadera en ligera rotación externa y rotando internamente la cadera de modo que la rodilla se oriente hacia dentro y el pie de la rodilla flexionada se aleje de la rodilla extendida. Haz una pausa y vuelve a la posición inicial.<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio en decúbito prono en el suelo con un tubo elástico en forma de 8 en torno al tobillo y pie de la rodilla flexionada, con el otro extremo del tubo asegurado directamente por el lado opuesto al del movimiento. | 1. Aumenta el grado de rotación interna manteniendo la pelvis neutra.<br>2. Aumenta la resistencia.<br>3. Acorta las cintas. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

exige fuerza para mantener las piernas tan elevadas, fuerza que no se utiliza en las actividades de la vida diaria. Por ejemplo, caminar sólo exige unos 40° de flexión y 12° de abducción coxofemorales (Hamill y Knutzen, 1995), una demanda insuficiente para desarrollar la fuerza con que elevar las piernas más de 90°, amplitud deseada en la danza para realizar las elevaciones al frente o laterales. Los bailarines deberían elegir fortalecer selectivamente una o dos regiones para mejorar un movimiento específico. Sin embargo, en el caso de bailarines de nivel avanzado, el programa ideal debería ser equilibrado y ejercitar cada uno de los grupos musculares clave de la cadera: los flexores, extensores, abductores, aductores, rotadores externos y, probablemente, los rotadores internos.

En la tabla 4.5 se han mostrado ejercicios para mejorar la fuerza de la musculatura de las caderas, y ahora sigue una breve descripción de su importancia. Como muchos músculos de la cadera también cruzan la rodilla, en el capítulo 5 aparecen ejercicios adicionales que fortalecen las caderas junto con las rodillas.

### Fortalecimiento de los músculos flexores de la cadera

La fuerza adecuada de los músculos flexores de la cadera, en especial del psoasilíaco, es importante para los movimientos de elevación al frente y laterales como los *développés* y las elevaciones. Un estudio demostró una mejora en las elevaciones laterales (en segunda posición) que promedió 15 centímetros tras seis semanas de fortalecimiento de los flexores coxofemorales, haciendo hincapié en el psoasilíaco (Grossman y Wilmerding, 2000). De forma similar, la autora halló incrementos medios de 15 centímetros en las elevaciones al frente y 13 centímetros en las elevaciones laterales tras 14 semanas de clases que incorporaban ejercicios técnicos y de fortalecimiento y estiramiento de la cadera.

El ejercicio de rodilla al pecho (tabla 4.5A) y el *développé en avant* (tabla 4.5C) son ejercicios de fortalecimiento de los flexores coxofemorales y están concebidos para centrarse en el uso del psoasilíaco mediante un grado de flexión de cadera superior a 90°, así como en el uso inicial de una inclinación pélvica posterior y de una rodilla flexionada, como se expuso antes en este capítulo. Sin embargo, a medida que se desarrollan la fuerza y la capacidad de reclutar el psoasilíaco, los ejercicios deben progresar extendiendo la rodilla después de flexionar la cadera, practicando la flexión coxofemoral con la rodilla previamente extendida (elevación de la pierna al frente en dos arcos y en sedestación, tabla 4.5B), con la pelvis en posición neutra, el torso vertical o de pie para reproducir mejor las exigencias funcionales de las clases de danza. También es útil revisar el procedimiento para palpar el psoasilíaco y luego centrarse en tratar de percibir la contracción del psoasilíaco bajo los dedos durante cada uno de estos ejercicios.

### Fortalecimiento de los músculos extensores de la cadera

Desarrollar suficiente fuerza en los músculos extensores de la cadera es importante para que la pierna se eleve alto hacia atrás como en una *attitude en arrière* o un *arabesque*. Para lograr una máxima amplitud y el efecto estético deseado, hay que poner un énfasis especial en usar los músculos isquiotibiales. La elevación posterior de la pierna (tabla 4.5D) y el *arabesque* de rodillas (tabla 4.5E) se concibieron con este objetivo en mente. Utiliza los isquiotibiales para flexionar ligeramente la rodilla y luego céntrate en usar estos mismos músculos para elevar la pierna «a partir de la rodilla» hacia el techo y por encima de la pelvis.

Suficiente fuerza y un reclutamiento adecuado de los extensores de la cadera también son importantes para los movimientos de propulsión, como saltos, y movimientos en cadena cerrada, como *plié*, o ponerse sobre una pierna en la barra o durante el trabajo de suelo. Hacer el puente (tabla 4.5F) sirve para este último objetivo postural al favorecer el uso del par de fuerzas abdominal-isquiotibial. Los músculos abdominales se emplean para estabilizar la pelvis mientras los isquiotibiales ejercen una tracción descendente sobre las tuberosidades isquiáticas y elevan la pelvis mediante extensión coxofemoral. Otros ejercicios de fortalecimiento útiles que reproducen con precisión las exigencias de los saltos son las sentadillas y las tijeras descritas en el capítulo de la rodilla (véase el capítulo 5), así como los ejercicios de salto descritos en el capítulo sobre el tobillo y el pie (véase el capítulo 6).

### Fortalecimiento de los músculos abductores de la cadera

El fortalecimiento de los músculos abductores de la cadera es clave para lograr la altura adecuada en movimientos laterales como *développés* y elevaciones. Los bailarines de ballet de elite han demostrado una fuerza en los abductores coxofemorales significativamente mayor de lo normal (Hamilton *et al.*, 1992), lo cual respalda la importancia de este grupo muscular en el ballet. Las elevaciones laterales de las piernas (tabla 4.5G) y el *développé al lado* en segunda posición (tabla 4.5I) están concebidos para mejorar la altura a la que se elevan las piernas. El fortalecimiento de los abductores de cadera también es importante para la movilidad laterolateral y la estabilidad en monopedestación. La elevación lateral de la pierna en bipedestación (tabla 4.5H) está concebida para potenciar esta estabilidad sobre la pierna de apoyo.

### Fortalecimiento de los músculos aductores de la cadera

Los ejercicios para mejorar la fuerza de los músculos aductores de la cadera son importantes para el equilibrio muscular respecto a los a menudo más poderosos abductores coxofemorales, y un estudio sobre jugadores profesiona-

les de hockey sobre hielo llegó a la conclusión de que corrían un riego 17 veces mayor de sufrir distensiones de los aductores si la fuerza de éstos era inferior al 80% de la fuerza de los abductores (Tyler *et al.*, 2001). Los ejercicios de fuerza para los aductores coxofemorales también son importantes para la ubicación óptima de la pelvis en monopedestación y para poder usar los músculos de «la cara interna del muslo» en las posiciones de *en dehors* potenciadas por muchas escuelas de danza. El *leg-pull* unilateral (tabla 4.5J) está pensado para favorecer el uso de los músculos aductores en la fase final del cierre y en bipedestación en primera o quinta posiciones. El *leg-pull lateral* con una pierna (figura 4.5K) emplea un grado de movilidad mayor para favorecer la fuerza y flexibilidad dinámicas y trabajar la estabilización de la pelvis. Hacer la «V» contra una pared (figura 4.5L) es una alternativa para bailarines que no tienen acceso al equipo necesario para las tracciones laterales de las piernas. La «V» contra la pared implica aducción horizontal frente a aducción coxofemoral pura. No obstante, se incluyó porque ofrece la ventaja de trabajar con una mayor amplitud de movimiento.

### Fortalecimiento de los músculos rotadores externos de la cadera

El desarrollo de fuerza específica y la activación de los rotadores externos de la cadera ayudan a los bailarines a ser conscientes y a mantener todo su *en dehors* potencial. El *passé* en decúbito prono (tabla 4.5M) está pensado para potenciar el fortalecimiento de los músculos rotadores externos profundos con una mayor amplitud de movimiento del fémur. Hay que tener cuidado de que la rodilla esté estabilizada con los músculos apropiados y de que la rotación ocurra en la cadera y no en la rodilla. La rana en decúbito prono (tabla 4.5N) incorpora un pequeño movimiento del fémur y es útil para potenciar el mantenimiento del *en dehors*, como cuando se mantiene una pierna en *passé* durante una *pirouette*. Este ejercicio también es útil para bailarines que sienten que usan en exceso la cara anterior del muslo (sartorio) para la rotación, ya que la ligera abducción horizontal contra la gravedad aplicada en este ejercicio favorece la activación deseada de los músculos rotadores externos profundos.

El fortalecimiento y empleo específico de los rotadores externos de la cadera también se favorece sumando la rotación externa a otros movimientos de la cadera como flexión, extensión, abducción y aducción. Por ejemplo, la rotación de la cadera inclinado hacia atrás con el peso apoyado en los codos (tabla 4.5O) combina abducción coxofemoral con rotación externa de la cadera. Muchos de los otros ejercicios antes descritos y presentes en la tabla 4.5 pueden incorporar también rotación externa de la cadera. De este modo se fortalecen los rotadores de una forma específica que tiende a mejorar movimientos concretos reproducidos por los ejercicios. Además, muchos de estos ejercicios incorporan rotación externa de la cadera con la rodilla extendida, una valiosa alternativa para cualquier bailarín que experimente malestar genicular en ejercicios en que se flexione la rodilla, como el *passé* en decúbito prono.

### Fortalecimiento de los músculos rotadores internos de la cadera

La inclusión de ejercicios de fortalecimiento para los músculos rotadores internos de la cadera es un área controvertida. Un método consiste en trabajar selectivamente los rotadores externos para crear un desequilibrio que favorezca el mantenimiento del *en dehors* y prevenga el frecuente error técnico de dejar que la rodilla descienda medial respecto al pie. Otro método consiste en incluir al menos algo de rotación interna considerando que el fortalecimiento selectivo de los rotadores externos, y no el de los internos, puede predisponer a los bailarines a sufrir ciertos tipos de lesiones. Se necesitan nuevos estudios que resuelvan esta controversia. La rotación interna de la cadera en decúbito prono (tabla 4.5P) es un ejercicio para los rotadores internos que se practica fácilmente tras el *passé* en decúbito prono simplemente usando la cinta o tubo de resistencia con el otro pie.

## *Estiramientos para la cadera*

La movilidad extrema de la cadera es esencial para lograr el nivel estético deseado al bailar. La tabla 4.6 muestra la amplitud de movimiento normal en los principales movimientos de la cadera en personas que no practican la danza y los valores medios en los bailarines profesionales, para mostrar la necesidad de grados de movilidad extremadamente altos en comparación con la población general. Como los límites pasivos de varios movimientos coxofemorales (como se aprecia en la tabla 4.6) son de naturaleza muscular, el estiramiento sistemático de los músculos puede lograr mejoras espectaculares en la movilidad. El estiramiento de los isquiotibiales, flexores y aductores coxofemorales es especialmente importante para lograr el efecto estético propio de la danza. En la tabla 4.7 aparecen algunos ejercicios de flexibilidad para estos y otros grupos musculares de la cadera, así como una breve descripción de la importancia de estos ejercicios. Los bailarines que emplean posiciones *en dehors* al bailar deberían practicar estos estiramientos con la pierna *en dehors* y en paralelo.

### Estiramientos de los músculos flexores de la cadera

La flexibilidad de los flexores coxofemorales es crítica para una buena técnica al mover la pierna detrás del cuerpo (es decir, al hiperextender la cadera), y una flexibilidad inadecuada tiende a limitar la altura a la que se eleva la pierna y exige errores técnicos como una excesiva y prematura hi-

perextensión lumbar, inclinación pélvica anterior o «abrir la cadera» (es decir, rotación pélvica) en un esfuerzo por lograr la altura deseada de la pierna retrasada. Por ejemplo, un bailarín con tirantez en los músculos flexores de la cadera que sólo le permitan 5° de hiperextensión no será siquiera capaz de practicar un *tendu* atrás o contra la pared (pues necesita 10° de hiperextensión coxofemoral) sin inclinar la pelvis adelante o arquear la región lumbar. Por el contrario, un bailarín con 30° de hiperextensión de cadera será capaz de elevar la pierna hasta un tercio de la horizontal sin inclinación pélvica anterior ni hiperextensión compensatoria de la columna vertebral.

Dada esta asociación con la hiperextensión de la cadera, no sorprende que en un estudio con personas no bailarinas la escasa movilidad en la extensión de la cadera mostrase una correlación máxima con los casos de lumbalgia (Mellin, 1988). Por tanto, es importante evaluar la extensibilidad de los flexores coxofemorales (véase Pruebas y mediciones 4.5, pág. 214) y que los estiramientos diarios sean una prioridad para los bailarines limitados por esta restricción. Sin embargo, los ángulos superiores a 20° de hiperextensión están a menudo limitados por la extensibilidad de la cápsula articular y los ligamentos, además de por los músculos flexores de la cadera. En consecuencia, los estiramientos se deben practicar con cuidado, con un calentamiento previo del cuerpo, con una lenta aplicación de un estiramiento corto a moderado y dentro de una amplitud de movimiento indolora.

El estiramiento en una tijera baja (tabla 4.7A) es útil para los flexores coxofemorales y se practica fácilmente después de clase. Sin embargo, si el bailarín tiene dificultad para percibir el estiramiento o para evitar la inclinación anterior de la pelvis, es mejor optar por la tijera practicada sobre una silla (tabla 4.7B). Practicar este estiramiento sobre una silla hace más fácil mantener el equilibrio con la pelvis más nivelada y con menos flexión de la rodilla adelantada. A medida que mejora la flexibilidad, la tijera baja puede aumentar su dificultad añadiendo la extensión de la rodilla atrasada (progresión 1) o llegando a un *split* como punto final de este estiramiento (progresión 2). El *split* es en realidad un estiramiento compuesto, que trabaja múltiples grupos musculares como los isquiotibiales de la pierna adelantada y los flexores de cadera de la pierna retrasada.

**Tabla 4.6. Amplitud de movimiento normal y restricciones a los movimientos fundamentales de la cadera (población no bailarina)**

| Movimiento de la articulación coxofemoral | Amplitud de movimiento normal* | Factores normales que limitan la movilidad pasiva |
|---|---|---|
| Flexión | 0°-120° (rodilla flexionada)<br>0°-80° (rodilla extendida)** | Tejidos blandos: aposición del muslo sobre el abdomen<br>Músculos: isquiotibiales |
| Extensión | 0°-15°** | Cápsula articular: porción anterior<br>Ligamentos: iliofemoral y pubofemoral<br>Músculo: psoasilíaco |
| Abducción | 0°-45° | Cápsula articular: porción interior<br>Ligamentos: pubofemoral, isquiofemoral e iliofemoral inferior<br>Músculos: aductores de la cadera |
| Aducción | 0°-30° | Tejidos blandos: aposición de los muslos<br>Con la cadera contralateral en abducción o flexión<br>Cápsula articular: porción superior<br>Ligamentos: fibras superiores de los ligs. iliofemoral e isquiofemoral, cintilla iliotibial<br>Músculos: abductores de la cadera |
| Rotación externa | 0°-45° | Cápsula articular: porción anterior<br>Ligamentos: iliofemoral y pubofemoral<br>Músculos: rotadores internos y otros dependiendo de la posición articular |
| Rotación interna | 0°-40°**<br>0°-45° | Cápsula articular: porción posterior<br>Ligamento: isquiofemoral<br>Músculos: rotadores externos |

* De American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965).
**De Gerhardt y Rippstein (1990).

**Tabla 4.7. Selección de estiramientos para la cadera**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la cadera<br>Músculos trabajados: psoasilíaco | | |
| Posición articular: hiperextensión de la cadera | | |
| A. Tijera baja (estático)<br> <br> | Adopta la tijera con el peso apoyado en el pie adelantado, la rodilla flexionada 90° y el peso sobre la pierna retrasada. Luego desliza la pierna retrasada hacia atrás hasta sentir el estiramiento en la cara anterior de la cadera retrasada.<br>(Mantén la rodilla adelantada directamente sobre el tobillo, y haz que ambas EIAS miren directamente al frente al tiempo que te concentras en ejercer presión con la base de la pelvis hacia delante.)<br>*Variación 1.* Haz el estiramiento con la pierna retrasada *en dehors.*<br>*Variación 2.* Después de adoptar la tijera, usa las manos para soportar el peso del cuerpo, y desliza la pierna adelantada hacia delante todo lo que te permita tu flexibilidad o hasta un *split.* Así se combina el estiramiento de los flexores coxofemorales de la pierna retrasada con el estiramiento de los extensores coxofemorales (es decir, los isquiotibiales) de la pierna adelantada. | 1. Una vez adoptada la posición de estiramiento, lleva los dedos del pie debajo de éste (extensión metatarsofalángica) para soportar mejor el peso del cuerpo, y extiende la rodilla retrasada.<br>2. Una vez adoptada la posición de estiramiento, pon las manos sobre el muslo adelantado y arquea el torso arriba y atrás mientras intentas mantener la pelvis lo más vertical posible. |
| Grupo muscular: flexores de la cadera<br>Músculos trabajados: psoasilíaco | | |
| Posición articular: hiperextensión de la cadera con flexión de la rodilla | | |
| B. Tijera sobre una silla (estático)<br> | Pon una rodilla sobre el asiento de una silla con la otra pierna adelantada al lado de la silla. Flexiona la rodilla adelantada hasta sentir un estiramiento en la cara anterior de la cadera retrasada.<br>(Apoya una mano en el respaldo de la silla para mantener el torso erguido, en vez de hacia delante, mientras usas los abdominales para una inclinación pélvica posterior y ejerces presión con la base de la pelvis hacia delante.)<br>*Variación 1.* Haz el estiramiento con la rodilla retrasada *en dehors.*<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio de pie, asiendo el pie de la pierna retrasada con la mano y usándolo para tirar de la pierna hacia atrás y arriba hasta percibir el estiramiento en la cara anterior de la cadera. | 1. Desplaza más hacia delante el pie apoyado en el suelo.<br>2. Suma con cuidado al ejercicio el arqueamiento de la porción superior de la espalda. |

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales | | |
| Posición articular: flexión de la cadera y extensión de la rodilla | | |
| C. Estiramiento de isquiotibiales en decúbito supino (estático)<br> | Túmbate sobre la espalda con una rodilla flexionada y el pie en el suelo, y con la otra rodilla extendida. Utiliza las manos para elevar la pierna extendida hacia el pecho hasta percibir el estiramiento en la cara posterior del muslo.<br>(Céntrate en flexionar la cadera y no la columna, y en mantener la cara posterior del sacro en contacto con el suelo.)<br>*Variación 1.* FNP. En esta postura, contrae los isquiotibiales tratando de bajar la pierna elevada de vuelta al suelo (es decir, extensión coxofemoral) mientras los brazos se oponen al movimiento.<br>*Variación 2.* Haz el estiramiento estático o la variación de FNP con la pierna extendida en *dehors*.<br>*Variación 3.* Haz el estiramiento desplazando la pierna extendida lateralmente para estirar también los aductores además de los isquiotibiales. | 1. Acerca más la pierna elevada al pecho.<br>2. Haz el estiramiento con la pierna inferior apoyada en el suelo y con la rodilla extendida. |
| Grupo muscular: extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales y extensores lumbares | | |
| Posición articular: flexión de la cadera con la rodilla en extensión y flexión lumbar | | |
| D. Estiramiento de isquiotibiales en sedestación (estático)<br> | Siéntate con una rodilla flexionada hacia el lado y la otra pierna hacia delante con la rodilla extendida. Inclina el torso adelante por la cadera hasta sentir el estiramiento en la cara posterior de la pierna extendida.<br>(Tira de la pelvis hacia atrás en el lado de la pierna extendida, y gira el torso de modo que se incline directamente sobre dicha pierna; incrementa la flexión de la articulación coxofemoral y no sólo de la columna.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con la pierna extendida *en dehors*. | 1. Ase el pie de la pierna extendida con las manos, y úsalas para tirar del torso hacia delante y abajo sobre la pierna extendida.<br>2. Haz el ejercicio con las dos piernas extendidas al frente.<br>3. Haz el ejercicio con las dos piernas extendidas al frente y un tobillo cruzado sobre el otro. |

*(Continúa)*

**Tabla 4.7. Selección de estiramientos para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: aductores y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales, aductores y rotadores internos de la cadera | | |
| Posición articular: abducción de la cadera con rotación externa | | |
| E. *Développé* al lado (estático)<br> | En decúbito lateral con la pierna inferior extendida y la superior flexionada por la cadera y la rodilla, con ambas caderas en rotación externa. Ase el pie o la pantorrilla de la pierna superior con la mano del brazo superior y empléala para tirar de la rodilla y acercarla al hombro superior y luego para extender la rodilla. Mantén esta posición final con ambas rodillas extendidas.<br>(Céntrate en mover el trocánter mayor hacia atrás y abajo mientras extiendes la pierna.)<br>*Variación 1.* Añade FNP usando el brazo superior para ejercer resistencia a la flexión de la rodilla.<br>*Variación 2.* Haz el estiramiento original en decúbito supino en vez de lateral. | 1. Acerca más la pierna superior al hombro superior.<br>2. Haz el estiramiento de pie en vez de en decúbito lateral. |
| Grupo muscular: aductores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales y aductores de la cadera | | |
| Posición articular: abducción horizontal con flexión de la cadera | | |
| F. Estiramiento en segunda posición (estático)<br> | Abre las piernas en valgo con las rodillas ligeramente flexionadas (o extendidas, dependiendo de tu flexibilidad), y luego inclina el torso hacia delante por las caderas hasta sentir el estiramiento a lo largo de la cara interna de los muslos.<br>(Desplaza las tuberosidades isquiáticas atrás, y lleva el tronco hacia delante con las rodillas mirando directamente al techo.)<br>*Variación 1.* Haz el estiramiento tumbado de espaldas con las piernas separadas ligeramente por encima de la altura de las caderas tanto en paralelo como *en dehors*.<br>*Variación 2.* Añade FNP a cualquiera de las variaciones poniendo las manos en la cara interna de los muslos para ofrecer resistencia al acto de acercar las piernas.<br>*Variación 3.* Haz el estiramiento en decúbito supino con los pies contra una pared y la parte posterior de las piernas en el suelo mientras se abren en valgo. | 1. Abre más las piernas en valgo.<br>2. Haz el estiramiento con ambas rodillas extendidas y los pies apoyados contra una pared para extender más las piernas hacia los lados. |

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupo muscular: abductores de la cadera**<br>**Músculos trabajados: tensor de la fascia lata y cintilla iliotibial asociada, glúteo medio y glúteo menor** | | |
| Posición articular: aducción y ligera flexión de la cadera | | |
| G. Estiramiento de los abductores de la cadera en decúbito lateral (estático)<br> | En decúbito lateral con la cadera superior extendida, la rodilla superior flexionada 90°, la cadera y rodilla inferiores flexionadas, y el tobillo de la pierna inferior justo por encima de la cara exterior de la rodilla superior. Usa el pie de la pierna inferior para ejercer presión descendente sobre la rodilla superior hacia el suelo hasta percibir el estiramiento en la cadera superior o la cara externa del muslo. (Céntrate en la tracción ascendente sobre la cresta ilíaca lateral de la pierna superior hacia el costado de la caja torácica, y evita que se incline lateralmente hacia abajo mientras se ejerce presión descendente sobre la rodilla superior.)<br>*Variación 1.* Haz el estiramiento sobre el borde de una mesa o banco con la rodilla superior extendida y la parte superior angulada fuera de la mesa para que se estire por debajo del nivel de la misma.<br>*Variación 2.* Haz que un compañero estabilice con una mano la cadera superior mientras mueve en ligera aducción la pierna superior con la otra mano hasta sentir un estiramiento de ligero a moderado. | 1. Haz que la rodilla descienda más hacia el suelo sin dejar que la pelvis se incline lateralmente. |
| **Grupo muscular: rotadores externos de la cadera**<br>**Músculos trabajados: rotadores externos profundos** | | |
| Posición articular: aducción horizontal de la cadera | | |
| H. Estiramiento cruzando la rodilla sobre el cuerpo (estático)<br> | Túmbate sobre la espalda con una pierna extendida en el suelo y la otra flexionada por la cadera y la rodilla. Pon la mano contralateral sobre la rodilla flexionada y úsala para ejercer tracción cruzando la rodilla sobre el cuerpo y en sentido ligeramente ascendente hacia el hombro contralateral, hasta sentir el estiramiento en la parte lateral de las nalgas. (Céntrate en mantener el tronco estable y en no dejar que la pelvis, la espalda ni los hombros giren dejando de tocar el suelo mientras cruzas la rodilla sobre el cuerpo.)<br>*Variación 1.* Eleva la rodilla un poco y luego haz que descienda un poco antes de cruzarla sobre el cuerpo para centrarte en el estiramiento de distintos componentes de los rotadores externos profundos de la cadera, y para hallar un ángulo en que se evite la sensación de compresión coxofemoral que experimentan algunos bailarines. | 1. Cruza más la rodilla sobre el cuerpo. |

*(Continúa)*

**Tabla 4.7. Selección de estiramientos para la cadera (continuación)**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: rotadores externos de la cadera<br>Músculos trabajados: rotadores externos profundos de la cadera | | |
| Posición articular: rotación interna de la cadera | | |
| I. Estiramiento con las rodillas juntas *(knees-in)* (estático)<br> | Túmbate boca arriba con los pies separados alrededor de 70 centímetros y las rodillas flexionadas 90°. Junta las rodillas y aproximalas hacia el suelo rotando internamente los muslos por la articulación coxofemoral hasta sentir el estiramiento a lo largo de la parte inferior de la cara lateral de las caderas y en el área de las nalgas.<br>(Intenta mover el muslo y la pierna a la vez desde la cadera, permitiendo que los pies se separen sin torsionar las rodillas.) | 1. Separa más los pies y usa las manos para ejercer una ligera presión sobre el muslo para aumentar la rotación interna de la cadera. |
| Grupo muscular: rotadores internos* y aductores de la cadera<br>Músculos trabajados: aductores de la cadera | | |
| Posición articular: rotación externa y abducción horizontal de la cadera | | |
| J. La rana (estático)<br> | En sedestación con las rodillas flexionadas y orientadas lateralmente, con las plantas de los pies juntas. Usa los antebrazos para ejercer ligera presión sobre las rodillas hacia el suelo hasta sentir un estiramiento a lo largo de la cara interna de los muslos.<br>(Céntrate en la anteroflexión del tronco por las caderas y en rotar externamente las caderas mientras presionas con las rodillas hacia el suelo.)<br>*Variación 1.* Haz el estiramiento en decúbito supino (figura 4.32C, pág. 200).<br>*Variación 2.* FNP en cualquiera de las variaciones usando los antebrazos o manos para oponer resistencia a la subida de las rodillas o a su acercamiento entre sí.<br>*Variación 3.* Un compañero coloca las manos justo por encima de las rodillas y aplica suavemente un estiramiento a la variación 1. | 1. Acerca más las rodillas al suelo.<br>2. Cuando las rodillas estén a 8 centímetros del suelo, pasa al estiramiento modificado de la rana en decúbito prono si no experimentas molestias en las rodillas (figura 4.32A, pág. 200). |

*Se oponen a la rotación externa la cápsula articular, los ligamentos y los músculos.

### Estiramientos de los músculos extensores de la cadera (isquiotibiales)

La flexibilidad extrema de los isquiotibiales es necesaria para lograr las metas estéticas de la danza y para la ejecución con éxito de movimientos como *splits* (pierna adelantada), saltos *grand jeté, penché* (pierna de apoyo) y *grand battement en avant*. Además, la flexibilidad isquiotibial que permite más de 90° de flexión coxofemoral es necesaria para lograr una posición erguida (neutra) de la pelvis en el trabajo de suelo o en los estiramientos en el suelo cuando las rodillas están extendidas. Si la flexibilidad no alcanza estos gra-

dos, el bailarín mostrará inclinación pélvica posterior acompañada de flexión de la columna lumbar, y se requerirá el uso de los músculos flexores de la cadera para evitar que el torso se eche hacia atrás en estas posturas. Una flexibilidad adecuada y equilibrada de los isquiotibiales puede también ayudar a prevenir distensiones de isquiotibiales y lumbalgias, sobre todo en adolescentes varones (Mellin, 1988; Mierau, Cassidy y Yong-Hing, 1989).

Tanto el estiramiento de isquiotibiales en decúbito supino como en sedestación emplean esta combinación de flexión coxofemoral y extensión genicular para generar un estiramiento eficaz. El estiramiento de isquiotibiales en decúbito supino (tabla 4.7C) emplea una posición en que la espalda está apoyada para reproducir mejor la posición necesaria para la flexión coxofemoral en bipedestación con el torso vertical. El estiramiento de isquiotibiales en sedestación (tabla 4.7D) añade el estiramiento de la región lumbar y se parece más a la posición de los *roll-downs*, habitual en las clases de danza jazz.

Para aislar más el estiramiento en los isquiotibiales, practícalo con la espalda plana; y para potenciar el estiramiento de la región lumbar, encorva la espalda hacia delante. Los estiramientos de isquiotibiales en sedestación exigen una extensibilidad de éstos superior a 90° para permitir que el peso del torso genere la flexión deseada de las caderas durante la anteroflexión del torso. Los bailarines con insuficiente flexibilidad en los isquiotibiales deberían doblar un poco las rodillas y pueden poner una alfombra o toalla enrollada debajo de las tuberosidades isquiáticas para facilitar la postura deseada del cuerpo.

### Estiramiento de los músculos aductores de la cadera

La flexibilidad adecuada de los músculos aductores es esencial para levantar las piernas lateralmente hasta una altura deseada y para que los bailarines trabajen con las piernas orientadas externamente en posturas de *en dehors*. La flexibilidad adecuada y la fuerza de los músculos aductores de la cadera ayudan a prevenir las típicas distensiones «inguinales» o de los aductores en la danza.

El *développé* al lado (tabla 4.7E) es un estiramiento compuesto, en que se tensan los isquiotibiales y aductores en una posición de *en dehors*, con el objetivo de mejorar los movimientos laterales como *développés*, elevaciones y *battements*. En contraste, cuando se practica un estiramiento en segunda posición (tabla 4.7F) con las rodillas ligeramente flexionadas, se aísla más el estiramiento de los aductores coxofemorales y disminuye el estiramiento de los isquiotibiales. Este estiramiento está concebido para «abrir las caderas» y permitir trabajar las piernas en rotación externa, sobre todo en movimientos en los que el fémur está casi horizontal, como en un *passé*, un *rond de jambe en l'air* o un *split* ruso. Si este estiramiento se practica con las rodillas extendidas, también se estirarán potencialmente los músculos isquiotibiales y el recto interno.

### Estiramiento de los músculos abductores de la cadera

La mejora de la flexibilidad de los músculos abductores de la cadera no tiene una asociación tan clara con los objetivos de movimiento en la danza como la que se observa con los isquiotibiales y los aductores de la cadera. La razón del estiramiento de estos músculos es reducir el riesgo de lesiones que cursan con dolor en las rodillas o la parte lateral de las caderas que, según algunas teorías, se relacionan con la tirantez de los abductores coxofemorales.

El estiramiento de los abductores coxofemorales en decúbito lateral (tabla 4.7G) está pensado para estirar los músculos abductores de la cadera, pero es necesaria su meticulosa ejecución para que el estiramiento sea efectivo. El bailarín debe tirar de la cresta ilíaca de la cadera superior hacia la cintura para estabilizar la inserción proximal de los abductores de modo que se produzca un estiramiento cuando se ejerce presión descendente sobre el muslo, es decir, cuando se mueve en aducción. Si no se tiene cuidado, la pelvis tenderá a inclinarse lateralmente (la cadera superior descenderá respecto a la contralateral), aminorando el estiramiento. Descrito en distintas variaciones, este ejercicio también se puede practicar con la rodilla extendida sobre el borde de una mesa.

### Estiramiento de los músculos rotadores externos de la cadera

Como con los abductores, el aumento de la flexibilidad de los rotadores externos de la cadera no está directamente relacionado con una mejora específica de la técnica de danza. Sin embargo, dado el amplio uso de la postura en rotación externa en danza, algunos bailarines muestran un aumento de la movilidad en rotación externa y una disminución en rotación interna (Hamilton *et al.*, 1992; Khan *et al.*, 1997). Algunos profesionales médicos conjeturan que este patrón puede predisponer a los bailarines a sufrir lesiones de cadera como el síndrome del piriforme, y que el estiramiento de los rotadores externos de la cadera puede desempeñar un papel en la prevención de lesiones.

El estiramiento cruzando la rodilla sobre el cuerpo (tabla 4.7H) se suele recomendar para el estiramiento del piriforme u otros músculos rotadores externos profundos. Para que sea eficaz, hay que tener especial cuidado en mantener la pelvis plana sobre el suelo de modo que las inserciones mediales de los rotadores profundos se mantengan estáticas mientras las inserciones laterales sobre el trocánter mayor se alejan, al tiempo que el fémur cruza el cuerpo provocando el estiramiento. El estiramiento con las rodillas juntas (tabla 4.7I) es probablemente menos eficaz, pero ofrece una alternativa a los bailarines que sienten el pinzamiento de los flexores coxofemorales de la pierna que cruza el cuerpo.

### Estiramiento de los músculos rotadores internos de la cadera y mejora del *en dehors*

Muchos bailarines desean aumentar su rotación coxofemoral externa, pero, como se ha descrito previamente, las restricciones son más complejas que sólo la de los rotadores internos de la cadera y el grado de mejoría es menor, y las consecuencias a largo plazo del estiramiento sobre la salud articular son controvertidas. Por eso, hasta que se disponga de información adicional, es recomendable que estos estiramientos se practiquen con especial cuidado, cuando se haya calentado y con una ligera y suave aplicación de fuerza dentro de una amplitud indolora.

El estiramiento de la rana (tabla 4.7J) está pensado para mejorar el *en dehors* cuando la cadera está flexionada como en una *attitude en avant*. La versión en decúbito supino reproduce la posición necesaria en movimientos laterales como el *passé* (figura 4.32C, pág. 200). En esta postura a veces es difícil generar un estiramiento suficiente con las propias manos, y puede ser útil usar un compañero para ejecutar el estiramiento muy lentamente y con cuidado. Los bailarines más flexibles pueden practicar el estiramiento de la rana modificado en decúbito prono (figura 4.32A, pág. 200) si pueden mantener la estabilización adecuada del tronco y no experimentan molestias en la rodilla.

## Lesiones de cadera en los bailarines

La articulación coxofemoral está concebida para la estabilidad, con un acetábulo relativamente profundo, áreas de contacto entre el fémur adyacente y el acetábulo de la pelvis relativamente amplias, y ligamentos y una cápsula articular muy poderosos. Por tanto, son pocos los casos de luxación de cadera o lesiones ligamentarias. Sin embargo, debido a las grandes tensiones que se trasmiten a través de la cadera y al mínimo estado nutricional de muchos bailarines, en ocasiones se producen fracturas por sobrecarga. Con más frecuencia, son los músculos y estructuras afines los que sufren lesiones.

Los estudios han documentado que el 5,8%, 8,6% y 11% de todas las lesiones en los bailarines de ballet y el 4% en los bailarines de danza moderna fueron de cadera y pelvis (Quirk, 1983; Schafle, Requa y Garrick, 1990). Una encuesta a bailarines de danza moderna documentó que el 11,3% de todas las lesiones fueron de cadera, con un 4,8% adicional de lesiones de los isquiotibiales (Solomon y Micheli, 1986). La menor incidencia de lesiones en la cadera, respecto a otras regiones del cuerpo, debidas a la danza es en parte consecuencia de la acusada estabilidad estructural de esta articulación. Sin embargo, muchos bailarines experimentan problemas musculotendinosos menores en la cadera para los cuales no suelen buscar tratamiento médico.

### *Prevención de lesiones de cadera*

Debido a la implicación habitual de los músculos en las lesiones, el fortalecimiento y estiramiento regulares de los músculos de la cadera, así como un entrenamiento específico para el deporte (Emery y Meeuwisse, 2001), son importantes para prevenir lesiones. Los ejercicios de fortalecimiento deberían, idealmente, ser muy específicos para la danza, por ejemplo incorporando los elevados ángulos de movimiento empleados en danza así como los músculos necesarios para facilitar una técnica óptima. Los bailarines deben resistir la tentación de descuidar una técnica correcta con el fin de aumentar la altura de la pierna. Hábitos erróneos pueden causar un desarrollo inadecuado de los músculos debido a tensiones inapropiadas, lo que deriva con el tiempo en lesiones. Un calentamiento correcto antes de los estiramientos, ensayos o actuaciones puede, teóricamente, ayudar a prevenir lesiones. El aumento de la temperatura interna del cuerpo permite un mayor estiramiento de los músculos y la absorción de mayores fuerzas antes de sufrir daños (Safran *et al.*, 1988; Taylor *et al.*, 1990; Warren, Lehmann y Koblanski, 1971, 1976).

### *Tipos habituales de lesiones de cadera en los bailarines*

Ofrecemos una descripción de lesiones de cadera que afectan huesos, músculos o tendones. Algunos tipos de lesiones de cadera pueden tener graves consecuencias si se pasan por alto y no se tratan correctamente. Además, hay muchas otras lesiones graves que causan síntomas similares a los descritos en esta sección, como tumores, infecciones, dolor referido de la columna lumbosacra o las vísceras pélvicas, y lesiones en las láminas de crecimiento o los centros de crecimiento en que se insertan los tendones. Por tanto, se anima a los bailarines a buscar tratamiento médico si el dolor de cadera es persistente o grave.

#### Fracturas por sobrecarga

Las fracturas por sobrecarga ocurren en varios puntos de la pelvis y el fémur, como la rama del pubis, el cuello o la diáfisis femorales. Factores que pueden aumentar el riesgo de fracturas por sobrecarga en la pelvis y el fémur son un entrenamiento de gran intensidad, el cambio a una superficie de entrenamiento más dura, amenorrea de la atleta, una mala nutrición, osteoporosis, rotación externa de la cadera por encima de 65°, *coxa vara*, y fatiga muscular con la pérdida resultante de la capacidad de amortiguación de choques (Lacroix, 2000; Lieberman y Harwin, 1997; Ruane y Rossi, 1998; Teitz, 2000).

Los síntomas varían según el lugar de la fractura por sobrecarga, pero pueden incluir dolor en la ingle, muslo o rodilla que se agudiza en carga. Inicialmente, el dolor puede

exacerbarse al comienzo de la clase, disminuir durante la clase y aumentar de nuevo al acabar (Lieberman y Harwin, 1997; Sammarco, 1987). Aunque el dolor suele remitir con reposo o paro involuntario, volverá tan pronto se vuelva a bailar. El dolor se suele manifestar al realizar un *pussé* o al saltar sobre el lado afectado (Clement *et al.*, 1993), y la limitación de la rotación interna de la cadera o la presencia de dolor son habituales.

El tratamiento variará según la gravedad de la fractura por sobrecarga, pero a menudo implica la reducción del peso en carga lo suficiente como para no sentir dolor. Tal vez haya que llevar muletas y a menudo se deja de bailar temporalmente. Cuando los síntomas remitan, el ejercicio acuático, seguido de barra en suelo en descarga y ejercicios en la máquina Universal Reformer de Pilates a menudo son útiles junto con otros programas tradicionales de fuerza y flexibilidad. Las fracturas por sobrecarga son lesiones graves, y Sammarco (1987) afirma que se requiere un mínimo de dos meses, a veces hasta seis, para que el bailarín pueda volver a clase. Además, si no se obtiene tratamiento apropiado, el dolor tenderá a aumentar espectacularmente con consecuencias potenciales muy graves, como fracturas completas que precisan tratamiento quirúrgico y discapacidad prolongada.

### Fracturas de cadera en los mayores

Aunque no sea un problema para los bailarines jóvenes, en las personas mayores con osteoporosis, las grandes fuerzas compresivas que soporta la cadera durante la locomoción pueden causar fracturas del cuello femoral. Es una fractura muy problemática debido a la inestabilidad del foco de la fractura, a la capacidad limitada para formar hueso nuevo y a la proximidad de vasos sanguíneos importantes que pueden resultar dañados por la fractura (Moore y Dalley, 1999). Las fracturas de la cadera ocurren con sorprendente frecuencia, sobre todo en mujeres mayores de 45 años. Se ha calculado que la osteoporosis es responsable de 200.000 fracturas de cadera al año; aproximadamente 40.000 de estas fracturas de cadera causan la muerte por complicaciones, lo cual convierte las fracturas de cadera en la principal causa de muerte en los ancianos de Estados Unidos (Rash, 1989). La actividad física regular y las medidas agresivas de prevención de la osteoporosis pueden reducir el riesgo de este grave problema.

### Osteoartritis

Las grandes fuerzas que soporta la cadera también pueden causar daños en el cartílago articular en vez de en el hueso. La **osteoartritis** implica un adelgazamiento y desgaste progresivos del cartílago articular de la articulación coxofemoral, junto con inflamación asociada. La osteoartritis de la articulación coxofemoral se suele asociar con dolor sordo, fijo y continuo en la ingle, cara externa del muslo o las nalgas y que empeora por la mañana y mejora con una actividad ligera. Sin embargo, este dolor se agrava con una actividad vigorosa y se alivia con reposo. Cuando la afección se agrava, el reposo no alivia ya el dolor de cadera o ingle, el cual también puede aparecer de noche. Es característica la pérdida de movilidad coxofemoral, sobre todo la de rotación interna de la cadera. También ocurre con frecuencia el acortamiento de los músculos flexores de la cadera (contracturas), afectando negativamente la capacidad para estar de pie o caminar con la mecánica pélvica deseada, añadiendo tensión a la región lumbar.

El tratamiento a menudo implica una modificación de la actividad y un ejercicio suave y regular como natación, gimnasia en el agua o ciclismo para fortalecer la musculatura coxofemoral y mantener la amplitud de movimiento sin una carga articular excesiva (Browning, 2001). Varios medicamentos destinados a reducir el dolor, disminuir la inflamación articular, favorecer la curación del cartílago o restablecer la función protectora articular normal del líquido sinovial son el tratamiento elegido por los médicos (Marshall y Waddell, 2000). Mientras que los métodos actuales para el tratamiento precoz probablemente no inviertan el proceso de la osteoartritis, sí reducen el dolor y enlentecen su progresión. Cuando el dolor y la degeneración sean graves, el cirujano ortopédico tal vez recomiende la sustitución protésica total de la cadera.

La temprana edad a la que algunos bailarines, sobre todo hombres, se someten a sustitución total de cadera es alarmante. Es esencial que nuevos estudios aclaren los factores contribuyentes y las posibles intervenciones para reducir el riesgo de osteoartritis entre los bailarines.

### Distensiones musculares en la cadera

Las **distensiones musculares** son una de las lesiones deportivas más corrientes de pelvis y cadera. Distintos músculos pueden resultar afectados, como los isquiotibiales, aductor largo, recto interno, sartorio, recto femoral y psoasilíaco, siendo los isquiotibiales los más afectados habitualmente. Los músculos multiarticulares parecen ser especialmente susceptibles a las distensiones. El mecanismo lesional muchas veces se relaciona con movimientos en los que el músculo implicado se estira pasivamente o trabaja excéntricamente, como en *splits*, patadas largas al frente, saltos con las piernas abiertas y rebotes con la espalda plana. Las distensiones también ocurren en movimientos repetitivos, como el correr, en que el músculo se fatiga, o en contracciones musculares forzadas y repentinas como durante la fase de despegue al esprintar o al saltar.

En teoría, los factores que aumentan el riesgo de distensión muscular son: fuerza insuficiente, desequilibrio en la fuerza entre los lados derecho e izquierdo (Burkett, 1970), desequilibrios en la fuerza con los músculos antagonistas, fati-

ga muscular, desequilibrios en los electrólitos, flexibilidad insuficiente (Jonhagen, Nemeth y Eriksson, 1994; Liemohn, 1978), calentamiento inadecuado (Dorman, 1971; Ekstrand y Gillquist, 1982; Safran *et al.*, 1988; Warren, Lehmann y Koblanski, 1971, 1976), y una mala coordinación y una técnica defectuosa (Lacroix, 2000; Lieberman y Harwin, 1997). Además, se cree que estos factores pueden interactuar para aumentar el riesgo de lesión (Worrell, 1994). Así, por ejemplo, un bailarín inadecuadamente hidratado y con insuficiente flexibilidad es más probable que sufra una distensión que un bailarín con sólo uno de estos factores. Sin embargo, hay muchos estudios con resultados conflictivos, y se necesitan estudios adicionales y específicos sobre danza para desarrollar mejores medidas preventivas.

Las distensiones musculares suelen cursar con hipersensibilidad en el área específica de la lesión, y en algunos casos son evidentes la hinchazón y los espasmos musculares. El dolor se suele producir al estirar o al contraer forzadamente el músculo afectado. En bailarines esqueléticamente inmaduros, también es importante reparar en que la inserción del músculo en el hueso suele ser menos resistente que el propio músculo o tendón, y por eso puede haber una fractura por avulsión, en la que el músculo es arrancado de su punto de inserción (Lieberman y Harwin, 1997).

El tratamiento varía mucho según el grado de distensión, aunque inicialmente incluye reposo relativo, antiinflamatorios, modalidades de fisioterapia y modificación de la actividad para que sea indolora. En el caso de distensiones más leves, pueden recomendarse un calentamiento adicional del área antes de clase, el ejercicio dentro de la movilidad indolora durante las clases (p. ej., altura limitada de la pierna al frente en el caso de una distensión de isquiotibiales) y la aplicación de hielo después de clase para reducir la respuesta inflamatoria. En distensiones más graves, a veces se restringe temporalmente la danza; y cuando se tolere, se puede optar por natación, bicicleta estática o una barra en la piscina para permitir movimientos y ejercicios suaves dentro de una amplitud de movimiento indolora.

A medida que remitan los síntomas agudos, se suele recomendar la incorporación de un programa de fortalecimiento y flexibilidad progresivos. Los ejercicios de fortalecimiento pasan a menudo de isométricos a concéntricos, y luego a excéntricos y a funcionales según tolerancia (Jonhagen, Nemeth y Eriksson, 1994; Worrell, 1994). Los bailarines a veces pasan por alto este último paso de fortalecimiento funcional, esencial para prevenir la tendencia habitual a que las distensiones recidiven o se vuelvan crónicas (Best y Garrett, 1996; Garett, Califf y Bassett III, 1984; Safran *et al.*, 1988).

### Tendinitis del psoasilíaco

Como el músculo psoasilíaco tiene una importancia vital durante la elevación de la pierna por encima de 90° al frente y lateralmente, este músculo se usa de forma exigente y repetitiva en ballet y otras formas de danza. Teniendo en cuenta estas exigencias, no es sorprendente que el psoasilíaco sea un punto habitual de lesión en los bailarines. Además de sufrir distensión, el tendón del psoasilíaco también se puede inflamar; esta afección se denomina **tendinitis del psoasilíaco.** Se cree que el tendón del psoasilíaco es particularmente vulnerable cuando la cadera está flexionada, en abducción y rotación externa, como cuando el bailarín practica un *développé o battement* en segunda posición. Se ha teorizado que esta posición habitual causa que el tendón se doble en «U» al pasar por debajo del ligamento inguinal, de modo que se irrita con facilidad (Sammarco, 1987).

La tendinitis del psoasilíaco ocurre con más frecuencia en las mujeres y se caracteriza por crepitación, dolor y rigidez en el área de la ingle. Como con otras formas de tendinitis, el dolor suele estar presente al principio, disminuye durante y aumenta tras la clase o ensayo. A menudo el dolor también se exacerba al levantar más alto la pierna al frente o lateralmente.

El tratamiento suele incluir antiinflamatorios, cuidadosos estiramientos de los músculos flexores de la cadera y evaluación de la técnica con correcciones si fueran necesarias. En algunos casos, esta afección se asocia con una «elevación» de la cadera y un empleo inadecuado de la rotación externa durante movimientos como *développés*. El fortalecimiento del psoasilíaco y los rotadores externos profundos de la cadera y la corrección de la técnica a menudo ayudan a disminuir los síntomas y a favorecer la recuperación.

### Síndrome de la cadera en resorte

Algunos bailarines experimentan un chasquido, que suele ocurrir cuando devuelven la pierna a la primera o quinta posiciones tras un *développé* o elevación lateral, y en algunos casos tras un *développé* o elevación al frente. Este chasquido es predominante en los bailarines, y en un estudio con bailarines de ballet supuso casi la mitad de las lesiones de cadera diagnosticadas (Quirk, 1983).

Se han elaborado distintas teorías sobre el mecanismo de este chasquido, pero hay un estudio que aporta sólidas pruebas de que el mecanismo probablemente corresponda al deslizamiento brusco del tendón del psoasilíaco sobre la cabeza femoral y la cápsula de la cadera (Jacobson y Allen, 1990). Esta teoría está respaldada por estudios anatómicos que muestran que, cuando el fémur rota externamente, la cabeza del fémur se adelanta, y el tendón del psoasilíaco cruza lateralmente la misma (Caillet, 1996). Sin embargo, cuando el fémur rota internamente, el tendón del psoasilíaco se desplaza medialmente por encima de la cabeza femoral y la cápsula, y puede producir un chasquido. Este chasquido asociado con el tendón del psoasilíaco se denomina **cadera en resorte interna** (Schaberg, Harper y Allen, 1984).

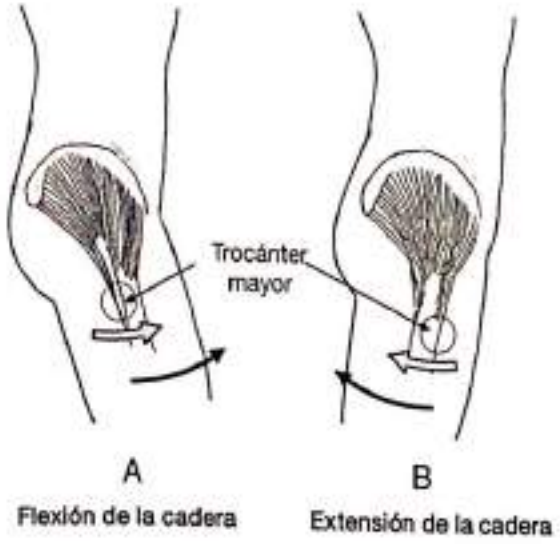



FIGURA 4.41. Cadera en resorte (cadera derecha, vista de perfil). La cintilla iliotibial salta (A) hacia delante al flexionar la cadera, y (B) hacia atrás cuando se extiende la cadera.

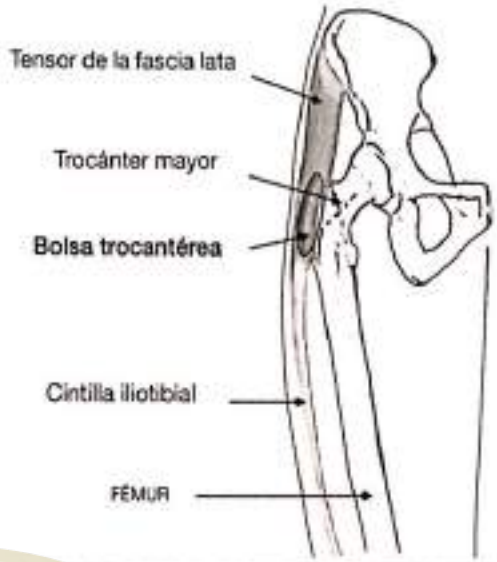



FIGURA 4.42. La bursitis trocantérea implica inflamación de la bolsa situada a nivel superficial del trocánter mayor y a nivel profundo de la cintilla iliotibial (cadera derecha, vista anterior).

El tratamiento consiste en antiinflamatorios, estiramientos de los músculos flexores coxofemorales y corrección de la técnica de danza. Según la experiencia de la autora, este chasquido suele ocurrir cuando el bailarín no consigue mantener la rotación externa completa de la cadera mientras desciende la pierna. Fortalecer los músculos rotadores externos y abductores de la cadera y el psoasilíaco mientras se trabaja la técnica para mantener el grado de *en dehors* y reducir la rotación interna del fémur mientras la pierna desciende es útil para aliviar este fenómeno.

Existe otra versión del síndrome de la cadera en resorte que implica el desplazamiento de la cintilla iliotibial sobre el trocánter mayor, como se ve en la figura 4.41. Esta versión lateral o más superficial se llama **cadera en resorte externa**. En ciertos movimientos, se puede palpar el salto situando los dedos sobre el trocánter mayor, y en algunos casos este deslizamiento brusco también es audible como un chasquido. Este chasquido suele ocurrir en movimientos como *ronds de jambe*, en apoyo monopodal con desplazamiento de la pelvis hacia la pierna en carga y al aterrizar tras un salto. Al aterrizar tras un salto, cuando el músculo tensor de la fascia lata se contrae para estabilizar la pelvis, su banda de fascia asociada, situada tras el trocánter mayor, puede saltar hacia delante provocando una flexión brusca de la pelvis (Sammarco, 1987). Los bailarines suelen referir una sensación como si la cadera se saliera de su sitio.

Entre los factores que se ha sugerido que aumentan el riesgo de una cadera en resorte externa tenemos una pelvis ancha, un trocánter sobresaliente, laxitud ligamentaria, debilidad de los músculos abductores de la cadera, «sentarse sobre la cadera» y tirantez de la cintilla iliotibial (Khan *et al.*, 1995; Lieberman y Harwin, 1997; Mercier, 1995; Reid *et al.*, 1987; Teitz, 2000). En los bailarines se ha documentado el predominio de este último factor, la tirantez de la cintilla iliotibial, asociado a valores mínimos de aducción coxofemoral. Sin embargo, un estudio con corredores descubrió debilidad significativa de los abductores coxofemorales de la extremidad afectada y documentó que un 92% de los corredores afectados dejaban de tener dolor tras un programa de rehabilitación de 6 semanas que hacía hincapié en el fortalecimiento y estiramiento de los músculos abductores de la cadera (Fredericson, Guillet y DeBenedictis, 2000).

Por tanto, el tratamiento de la cadera en resorte externa debe incluir estiramientos de los músculos abductores de la cadera y la cintilla iliotibial, y el fortalecimiento de dichos abductores. A veces se prescriben antiinflamatorios. Por experiencia de la autora, el chasquido ocurre con frecuencia cuando el bailarín desplaza en exceso la pelvis lateralmente respecto a la pierna de apoyo y no consigue mantener el *en dehors* sobre dicha pierna. De ahí que el fortalecimiento de los rotadores externos profundos, los abductores y aductores de la cadera, y el uso de estos músculos para mantener el grado de *en dehors* completo con la pelvis situada adecuadamente sobre la pierna de apoyo a menudo ayudan a reducir con éxito el chasquido y el dolor.

### Bursitis trocantérea

A veces, independientemente o en asociación con la cadera en resorte externa, la bolsa situada encima del trocánter mayor y debajo de la cintilla iliotibial –la bolsa trocantérea– se inflama. Cuando esta bolsa se inflama e hincha, es fácil

que sufra irritación por compresión o por el roce de la cintilla iliotibial, como se aprecia en la figura 4.42. En ocasiones, se deposita calcio en la bolsa inflamada. En la danza, se supone que el mecanismo lesional es la existencia de factores como el desequilibrio de presiones al bailar sobre un *raked stage* o problemas de alineación como escoliosis, rotación pélvica y discrepancias en la longitud de las piernas o la pronación excesiva de un pie que causa una distribución irregular del peso. La tirantez de la cintilla iliotibial, una pelvis ancha, la fuerza insuficiente de los músculos abductores de la cadera y errores en la técnica como «sentarse sobre la cadera» pueden también aumentar el riesgo de lesión (Desiderio, 1988; Lieberman y Harwin, 1997).

El dolor suele localizarse en la cara lateral de la cadera, y la palpación sobre el trocánter mayor suele revelar hipersensibilidad localizada y, en algunos casos, crepitación. Con frecuencia el dolor se reproduce si el bailarín se tumba sobre el lado afectado o si la pierna se mueve en aducción pasiva o activa y cruza la línea media del cuerpo (Teitz, 2000). Como en el caso de la cadera en resorte externa, este dolor se suele exacerbar al ejecutar movimientos como *rond de jambe* o al aterrizar sobre una pierna tras un salto.

El tratamiento incluye antiinflamatorios, termoterapia antes de clase y hielo después de clase, estiramiento de la cintilla iliotibial, fortalecimiento de los músculos abductores de la cadera y mejora de la técnica de danza para evitar la excesiva inclinación lateral (signo de Trendelenburg) o desplazamiento lateral de la pelvis. En algunos casos, el médico prescribe la aspiración del líquido de la bolsa y una inyección de corticosteroides (Sammarco, 1987). Si fracasan estas medidas conservadoras, estudios recientes sugieren la posibilidad de que se produzca la rotura del tendón del músculo glúteo medio (Kagan II, 1999); esta rotura se parece a las roturas del manguito de los rotadores en el hombro, de las que se habla en el capítulo 7.

## Síndrome del piriforme

Un dolor en las nalgas que irradie o no por el dorso ipsolateral del muslo puede deberse al **síndrome del piriforme**. Los espasmos del músculo piriforme, uno de los rotadores externos profundos de la cadera, puede comprimir el nervio ciático adyacente, como se ve en la figura 4.43, y puede generar los síntomas de irradiación característicos de lesiones de espalda más graves (Papadopoulos y Khan, 2004; Rich y McKeag, 1992). Esta afección ocurre con mucha frecuencia en los bailarines, y son posibles causas el amplio uso de la rotación externa con el aumento asociado del riesgo de sobrecarga, tirantez o desequilibrios en la fuerza y flexibilidad con los músculos rotadores internos. Puede también relacionarse con aspectos técnicos (activación excesiva de los músculos superiores del grupo de rotadores externos profundos y uso insuficiente de los músculos inferiores del mismo grupo *en dehors*) y con la postura (a menudo se observa con la postura de fatiga y en bailarines que «hacen fuerza» con la pelvis hacia delante para lograr un mayor *en dehors*). Se ha identificado una asociación habitual de los espasmos del piriforme con disfunciones sacroilíacas, y el síndrome del piriforme ocurre con mucha más frecuencia en las mujeres que en los hombres.

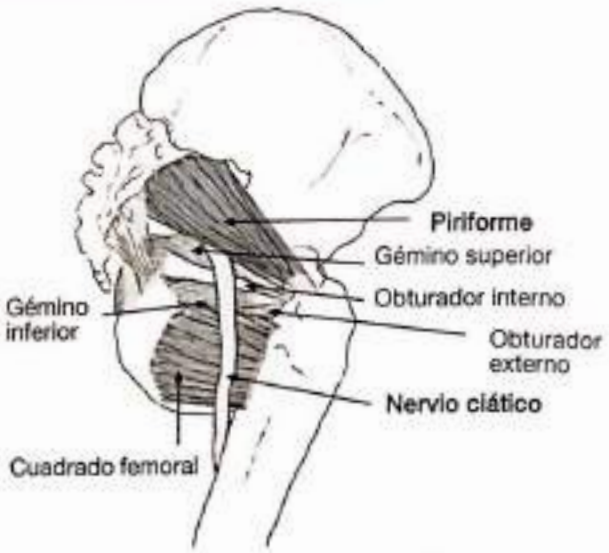



FIGURA 4.43. Síndrome del piriforme. Los espasmos del músculo piriforme pueden comprimir el nervio ciático (cadera derecha, vista posterolateral).

A menudo se aprecia dolor a la palpación y espasmos musculares en la región media de las nalgas (el área del músculo piriforme). Se suele sentir un dolor sordo y continuo en esta área tras bailar y al estar mucho rato sentados. La debilidad de los abductores coxofemorales y la tirantez de los isquiotibiales (del lado afectado) se suelen asociar con esta afección.

El tratamiento con frecuencia se centra en la administración de antiinflamatorios y en la reducción de los espasmos musculares. A veces los síntomas se alivian con la aplicación de ultrasonidos, los estiramientos pasivos del músculo piriforme, o la aplicación de masajes con hielo o un pulverizador de fluorimetano mientras se estira el músculo (Roy e Irvin, 1983). Más adelante, un programa equilibrado de fuerza y flexibilidad para los músculos rotadores externos e internos, el fortalecimiento de los abductores de la cadera y la corrección de cualquier técnica o problemas de alineación pueden ser útiles. En casos que no respondan, el médico puede optar por una inyección de anestésicos y corticosteroides (Honorio *et al.*, 2003).

## Inflamación y disfunción sacroilíacas

La articulación sacroilíaca soporta grandes tensiones cuando las fuerzas se transmiten a y desde el tronco y las extremidades inferiores. Las lesiones afectan ligamentos, músculos y estructuras neurales relacionadas con la arti-

culación sacroilíaca (Chen, Fredericson y Smuck, 2002). En otros casos, se cree que el problema se debe a la disrupción de la movilidad normal de estas articulaciones, llamada **disfunción sacroilíaca**. Existe un ligero movimiento en las articulaciones sacroilíacas, de traslación (0,1-1,6 milímetros) y angular (0,8°-3,9°), que tienen lugar en patrones predecibles sobre distintos ejes (Sturesson, Selvik y Uden, 1989). En algunos casos, el hueso coxal resulta atrapado y «se bloquea», habitualmente con un desplazamiento anterior de dicho hueso sobre el sacro (DonTigny, 1990). En casos de lordosis lumbar exagerada o hiperextensión vertebral o coxofemoral, el hueso coxal tiende a moverse en sentido anterior sobre el sacro. Como el sacro es más ancho anteriormente, el hueso coxal pueden resultar enclavado y bloquearse.

Debido a diferencias en la estructura pélvica y a las hormonas asociadas con el embarazo y la menstruación, la movilidad sacroilíaca es superior en las mujeres que en los hombres, y los problemas sacroilíacos predominan en las mujeres (Colliton, 1999). De hecho, se ha documentado que el 30% de los hombres tienen las articulaciones sacroilíacas fusionadas (Hamill y Knutzen, 1995). Además, en el hombre, la movilidad sacroilíaca tiende a disminuir con la edad, mientras que en las mujeres la movilidad tiende a aumentar (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Se han descrito distintos mecanismos para las lesiones sacroilíacas, como caídas sobre las nalgas o la cadera, el levantamiento de pesos o el *porté*, un movimiento de torsión repentino, la anteroflexión del tronco, estar mucho tiempo en monopedestación y una excesiva lordosis lumbar.

El dolor se suele localizar posteriormente, sobre una o ambas articulaciones sacroilíacas. A menudo se experimentan punzadas de dolor agudo durante ciertos movimientos, y se ha usado esta asociación para elaborar distintas pruebas de provocación de dolor que son útiles para distinguir la inflamación sacroilíaca de otras fuentes de dolor (Young, Aprill y Laslett, 2003). En algunos casos, el dolor también se experimenta en las nalgas, la cara posterior del muslo o la ingle. Cuando hay una disfunción sacroilíaca, suele haber limitación de la movilidad en movimientos específicos de la cadera. Por ejemplo, con el desplazamiento anterior de un hueso coxal, los bailarines suelen decir que su movilidad en las elevaciones al frente y laterales por el lado afectado se reduce mucho y sienten que la cadera está «atascada». En casos de desplazamiento anterior, el dolor a menudo se agrava con movimientos que tienden a desplazar el hueso coxal hacia delante, como los *arabesques*. La debilidad del músculo glúteo medio y la tirantez del piriforme también suelen estar presentes, todo lo cual tiende a aumentar la tensión sobre las articulaciones sacroilíacas y a perpetuar el problema.

El tratamiento variará dependiendo de las estructuras implicadas y del tipo de desplazamiento, si lo hubiera. Por ejemplo, en casos de desplazamiento anterior, los estiramientos en flexión, el fortalecimiento de los abdominales y la evitación de la hiperextensión (presente en los *arabesques* altos) pueden estar indicados inicialmente. En un desplazamiento posterior estarían indicados el fortalecimiento de la musculatura extensora de la columna y la evitación de flexión (como la que acompaña a los *curl-ups*). En general, el restablecimiento de la fuerza de los abductores de la cadera y la estabilización de la pelvis son claves (Barclay y Vega, 2004), y la reducción de los espasmos del piriforme y otros músculos también son el objetivo. A veces también se prescriben técnicas de movilización articular suaves, llevar un cinturón sacroilíaco que colabore en la estabilización y la corrección de factores biomecánicos como discrepancias reales en la longitud de las piernas con una alza en el talón. En determinados casos, los médicos tal vez empleen una inyección de corticosteroides en pacientes que no respondan a un programa de rehabilitación general (Chen, Fredericson y Smuck, 2002).

## Resumen

Los huesos coxales se articulan anteriormente en la sínfisis del pubis, y en sentido posterior y de forma indirecta mediante las articulaciones sacroilíacas para formar la cintura pélvica. La cintura pélvica sirve de vínculo entre el torso y las extremidades inferiores, y los movimientos de la pelvis –inclinación pélvica anterior, inclinación pélvica posterior, inclinación lateral y rotación– ayudan a moverla de forma coordinada con la columna vertebral y el fémur por medio de los movimientos pélvicos en cadena cinética cerrada, el ritmo lumbopélvico y el ritmo pelvicofemoral. Cuando las extremidades inferiores soportan el peso del cuerpo, muchos de los músculos implicados en el movimiento de las extremidades inferiores ejercen ahora funciones clave al generar los movimientos deseados o la estabilización de la pelvis. Por ejemplo, el par de fuerzas abdominal-isquiotibial ayuda a mantener la pelvis neutra en el plano sagital, y el mecanismo de los músculos abductores previene la inclinación lateral no deseada de la pelvis en el plano frontal.

La articulación coxofemoral es una articulación esferoidea formada por la cabeza femoral y el acetábulo; y el ángulo del cuello femoral respecto a la diáfisis –inclinación y torsión femorales– influye en el grado de movilidad potencial de la cadera y en la alineación de las extremidades inferiores. En general, el diseño de la cadera favorece la estabilidad gracias a la profundidad del acetábulo, al amplio contacto de los huesos articulados, a unos poderosos ligamentos y cápsula articular, y a muchos y poderosos músculos que cruzan la articulación coxofemoral. La cápsula articular y los ligamentos iliofemoral y pubofemoral limitan la rotación externa de la cadera, la extensión de la cadera y la inclinación posterior de la pelvis, y desempeñan un papel importante en el mantenimiento pasivo de la postura erguida con menor necesidad de contracción muscular. Mu-

chos de los veintidós músculos que cruzan la articulación coxofemoral desempeñan acciones múltiples en dicha articulación, y algunos también en la columna vertebral y la rodilla. Estos músculos son importantes para los movimientos de las extremidades inferiores en todas direcciones. Como el peso y longitud de estas palancas es tan grande, se requiere mucha fuerza de los músculos clave para mover las extremidades en el espacio en grados extremos de amplitud y con el efecto estético deseado que exige el tipo de danza. También es esencial poseer una flexibilidad adecuada para lograr esta movilidad extrema en cadena cinética abierta. Los ejercicios suplementarios de fuerza y flexibilidad ayudan a los bailarines a lograr sus metas en la danza, así como a reducir el riesgo de lesiones.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Examina con atención la localización del ligamento iliofemoral en la figura 4.4. Usando de modelo un esqueleto humano o tu propio cuerpo, revisa sus funciones y describe si los siguientes movimientos harán que se tense o se relaje: (a) inclinación pélvica anterior, (b) inclinación pélvica posterior, (c) rotación externa de la cadera.

2. Dibuja los siguientes músculos en un gráfico del esqueleto, y traza una flecha que muestre la línea de tracción de cada músculo. A continuación, junto a cada músculo, enumera sus acciones. (a) Psoasilíaco, (b) recto femoral, (c) sartorio, (d) glúteo mayor, (e) isquiotibiales, (f) rotadores externos profundos (como grupo), (g) tensor de la fascia lata, (h) glúteos medio y menor (como grupo), (i) aductores de la cadera (como grupo).

3. Localiza los músculos o grupos musculares enumerados en la pregunta 2 sobre tu cuerpo, practica las acciones que estos músculos generan y palpa su contracción.

4. Usando las figuras 4.17 y 4.18 como referencia, identifica el ángulo de torsión femoral en un fémur desarticulado del esqueleto y examina la forma en que el cambio de dicho ángulo influye en el *en dehors* y la orientación de las rodillas.

5. Con un compañero, reproduce en su cuerpo los movimientos fundamentales de la pelvis (flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna y externa de la cadera) en las situaciones siguientes: (a) la pelvis está estática y el muslo se mueve, y (b) el muslo está estático y la pelvis se mueve.

6. Con un compañero, haz que se tumbe en decúbito supino con las piernas extendidas, y luego mide el grado de flexión coxofemoral presente con la rodilla extendida y luego flexionada. Explica la diferencia y qué podría hacerse para que los dos valores sean más parecidos.

7. Usando un esqueleto como modelo, evalúa cómo el ortostatismo *en dehors* cambia la línea de tracción de los músculos flexores, abductores, extensores y aductores de la cadera. Plantéate cómo cambia el uso de los músculos en un *plié* en segunda posición o en una elevación lateral.

8. Analiza «la elevación de la cadera» al practicar un *passé* respecto a los movimientos de la columna, la articulación lumbosacra y la articulación coxofemoral. ¿Qué acción muscular podría corregir esta acción no deseada? ¿Qué órdenes se podrían usar para introducir esta corrección en la danza?

9. ¿Qué relación tiene el mecanismo abductor con la monopedestación en la danza y los errores frecuentes de «sentarse sobre la cadera» o «elevar la cadera»?

10. Describe un ejercicio para fortalecer y otro para estirar los siguientes grupos musculares: (a) flexores coxofemorales, (b) extensores coxofemorales, (c) abductores coxofemorales, (d) aductores coxofemorales, (e) rotadores coxofemorales externos.

11. Para fortalecer y estirar los músculos extensores de la cadera, ¿cómo se podría potenciar el uso de los isquiotibiales en vez del glúteo mayor? Para fortalecer el psoasilíaco, ¿cómo se podría potenciar el uso del psoasilíaco en vez del recto femoral?

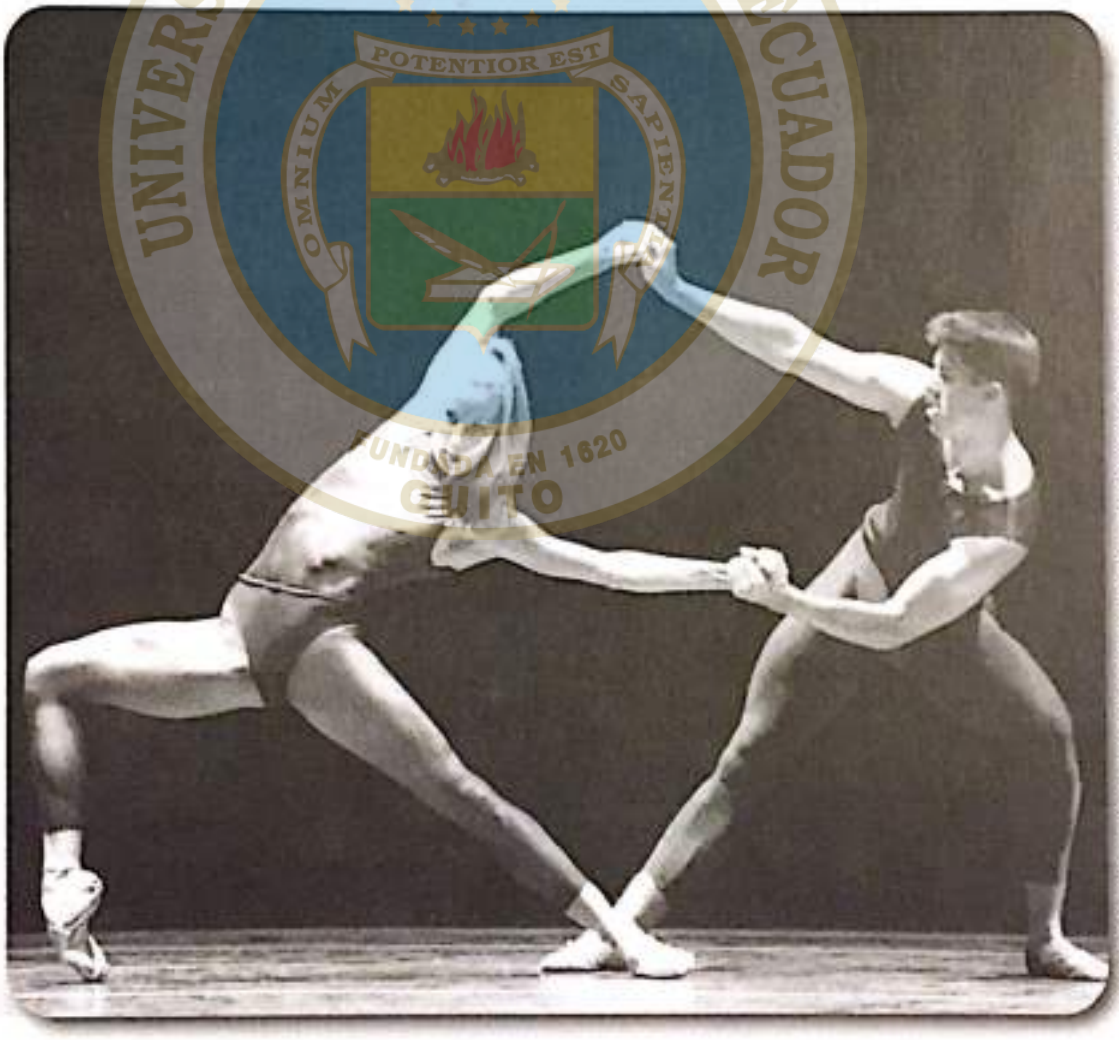
12. Una bailarina quiere mejorar la altura a la que eleva lateralmente la pierna.

a. Analiza este movimiento centrándote en la cadera de la pierna que trabaja, incluyendo los movimientos articulares, los grupos musculares y ciertos músculos de la cadera.

b. Describe los factores que influyen en el grado de inclinación lateral de la pelvis y la columna que acompañan al movimiento de levantar la pierna.

c. Identifica los ejercicios de fuerza y flexibilidad apropiados que se podrían usar para aumentar la altura de la pierna y determina cómo podrían ayudar. Aporta tres órdenes que se puedan usar para generar la mecánica y técnica deseadas de la cadera.

# Las articulaciones de la rodilla y femororrotuliana



© Angela Sterling Photography. Bajanines: Melanie Skinner y Casey Herd, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

Este capítulo tiene por objeto la articulación de la rodilla y la articulación femororrotuliana. La rodilla es la articulación más grande del cuerpo, y soporta grandes tensiones por su localización entre los largos huesos verticales de la extremidad inferior. La rodilla debe recibir, transmitir y disipar grandes fuerzas procedentes de arriba, debido al peso corporal y a los efectos de la gravedad, y de abajo, debido a los impactos asociados con los movimientos en carga. Siempre que la rodilla se flexiona en bipedestación, la gravedad tiende a que se flexione todavía más, y la fotografía de la página 239 ejemplifica la diestra contracción de los músculos antigravitatorios necesaria para prevenir que el cuerpo se hunda y para lograr la posición deseada de la rodilla. Aunque la articulación femororrotuliana, situada justo encima de la cara anterior de la articulación de la rodilla, contribuye a la estabilidad de la articulación femorotibial, también debe soportar grandes fuerzas. Ambas articulaciones son vulnerables a los movimientos de torsión, por lo que una correcta alineación y técnica se vuelven tan importantes en la danza.

Este capítulo presentará la anatomía básica y la mecánica de las articulaciones femororrotuliana y de la rodilla que influyen en un rendimiento óptimo y en la vulnerabilidad a las lesiones. Son temas abordados los siguientes:

- Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la rodilla.
- Estructura articular y movimientos de la rodilla.
- Descripción y funciones de los músculos específicos de la rodilla.
- Alineación y desviaciones habituales de la rodilla.
- Mecánica de la rodilla.
- Estructura y movimientos de la articulación femororrotuliana.
- Alineación femororrotuliana y ángulo Q.
- Mecánica femororrotuliana.
- Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la rodilla.
- Consideraciones clave sobre la rodilla respecto al movimiento del cuerpo.
- Consideraciones especiales sobre la rodilla en la danza.
- Ejercicios de acondicionamiento para la rodilla.
- Lesiones de rodilla en los bailarines.

## Huesos y puntos óseos de referencia en la región de la rodilla

El fémur, la tibia y la rótula son huesos que participan en las articulaciones de la rodilla y femororrotuliana. Recuerda del capítulo 1 que el hueso del muslo se llama fémur; el principal hueso de la pierna que soporta las cargas es la tibia, y que la rótula se halla sobre el extremo distal del fémur. El extremo distal del fémur se expande con dos engrosamientos llamados **cóndilos medial y lateral**, como se ve en la figura 5.1. Estos cóndilos contienen las superficies articulares lisas que descansan sobre la porción superior de la tibia para formar la rodilla propiamente dicha. Se puede palpar una porción de los cóndilos del fémur flexionando la rodilla 90° para luego ejercer presión con las yemas de los dedos sobre los lados de la porción inferior de la rótula. Para localizar estas superficies articulares, dobla y extiende de forma leve y repetidamente la rodilla en esta posición de 90° y percibe el movimiento de los cóndilos bajo los dedos. Estos cóndilos también presentan proyecciones prominentes a los lados, que se denominan **epicóndilos medial y lateral.** Los epicóndilos se localizan deslizando la mano por el muslo hacia la rodilla y encontrando el punto más ancho de la rodilla, en la porción distal del fémur. En la cara anterior del fémur, entre los cóndilos, se halla una superficie cóncava, lisa y somera que no se puede palpar. Se denomina **tróclea femoral,** y se articula con la rótula. En sentido posterior, una muesca más profunda separa los cóndilos medial y lateral, y se denomina **fosa intercondílea** o escotadura intercondílea (figura 5.1B).

El extremo proximal de la tibia también se engrosa y contiene dos cóndilos, también llamados medial y lateral. En contraste con lo que ocurre con el fémur, las superficies superiores de estos cóndilos son relativamente planas o ligeramente cóncavas en vez de redondeadas, de ahí que esta superficie superior se llame **meseta tibial.** Sobre esta superficie superior de la tibia, entre los cóndilos aplanados, hay unas áreas rugosas llamadas **áreas intercondíleas anterior y posterior** que contienen dos pequeñas proyecciones que forman la **eminencia intercondílea.** La eminencia intercondílea sirve de punto de inserción a los ligamentos, y ayuda a estabilizar la tibia y el fémur en carga. Sobre la cara anterior de la tibia, aproximadamente a 1,3 centímetros de su extremo proximal, hay un área rugosa y en relieve que forma la **tuberosidad de la tibia o tubérculo tibial.** Es fácil de palpar recorriendo con los dedos la porción media de la rótula y a lo largo del tendón rotuliano hasta percibir un bulto sobre la tibia. Se trata de la tuberosidad de la tibia.

La rótula tiene forma aproximadamente triangular con un vértice estrecho que se proyecta hacia abajo y se denomina **polo inferior** de la rótula, un **borde superior** de la rótula, más plano, y los bordes laterales llamados **medial y lateral.** La superficie interna de la rótula presenta dos superficies anguladas llamadas **carillas,** que se articulan con el fémur.

## Estructura articular y movimientos de la rodilla

La estructura y función de la rodilla son muy complejas y se cree que han evolucionado a partir de tres articulaciones distintas. Aunque haya sólo una cavidad articular, hay tres estructuras articulares:

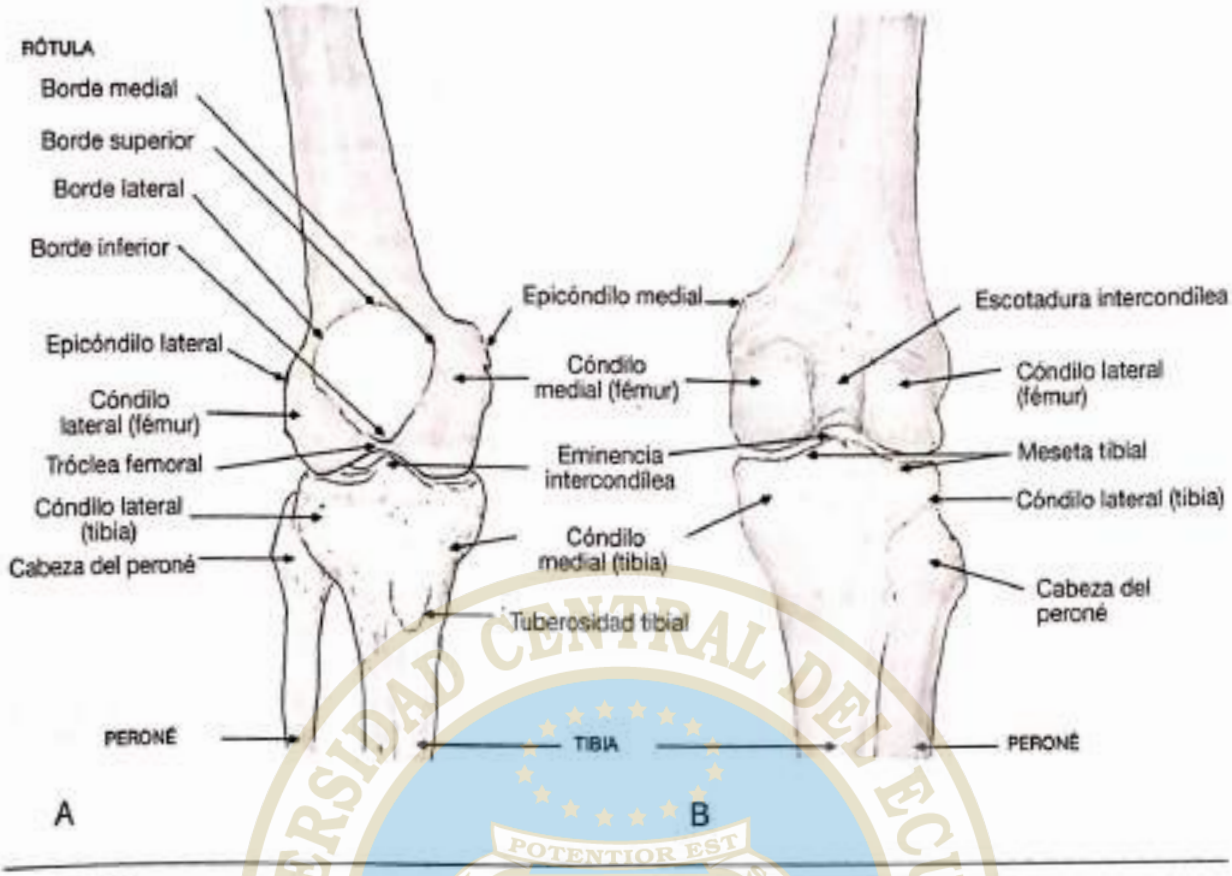



FIGURA 5.1. Huesos y puntos óseos de referencia de la rodilla (derecha). (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

1. Entre el cóndilo medial del fémur y la porción medial, ligeramente cóncava, de la meseta de la tibia.
2. Entre el cóndilo lateral del fémur y la porción lateral, ligeramente cóncava, de la meseta tibial.
3. Entre la cara dorsal de la rótula y la superficie de la cara anterior del fémur, la tróclea femoral.

Las primeras dos estructuras articulares, entre los cóndilos femorales y la tibia, componen la **articulación femorotibial** o lo que comúnmente se llama articulación de la rodilla. Al igual que en otras diartrosis, las superficies articulares están revestidas de cartílago articular que reduce la fricción y ayuda a distribuir y absorber fuerzas. La tercera estructura articular se denomina articulación femorrotuliana y de ella se hablará en una sección posterior de este capítulo.

## Clasificación de la articulación de la rodilla y movimientos asociados

La articulación femorotibial es una trocleartrosis modificada, y sus movimientos articulares primarios son flexión y extensión de la rodilla (figura 5.2). Además, también permite una ligera rotación interna y externa, razón por la cual se considera una articulación troclear modificada.

## Cápsula y ligamentos de la articulación de la rodilla

La articulación de la rodilla está rodeada por una cápsula articular amplia e irregular tapizada por la mayor membrana sinovial del cuerpo (Hamill y Knutzen, 1995). En el 20% a 60% de las personas, esta membrana contiene un pliegue permanente que a veces se inflama. La estabilidad ofrecida por esta cápsula articular se ve reforzada por numerosos y robustos ligamentos. Más que en cualquier otra articulación del cuerpo, los ligamentos son esenciales para estabilizar y dirigir los movimientos relativos de los huesos que forman la articulación (Magee, 1997). Sin embargo, estos ligamentos adoptan una disposición que hace que la estabilidad ligamentaria no sea constante (Kreighbaum y Barthels, 1996). Los ligamentos clave están tensos para favorecer la estabilidad cuando la rodilla está extendida, mientras que están laxos para favorecer la movilidad cuando la rodilla está flexionada.

Cuatro ligamentos especialmente importantes son el par de ligamentos colaterales y el par de ligamentos cruza-

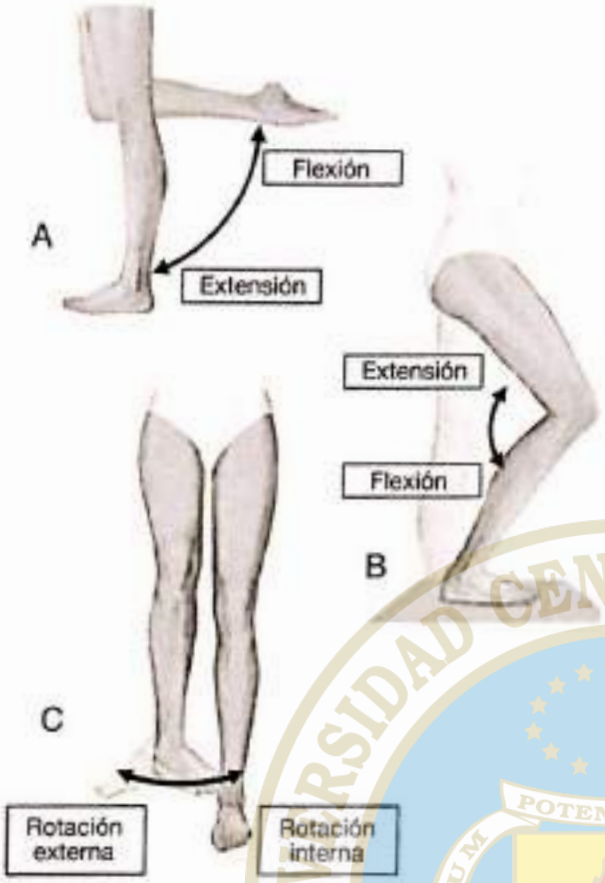



FIGURA 5.2. Movimientos de la articulación de la rodilla. (A) Flexión-extensión en cadena cinética abierta; (B) flexión-extensión en cadena cinética cerrada; (C) rotación externa-rotación interna.

dos. Como se ve en la figura 5.3, los ligamentos colaterales discurren longitudinalmente a ambos lados de la rodilla, mientras que el par de ligamentos cruzados se localizan dentro de la articulación de la rodilla.

### Ligamento colateral medial (ligamento colateral tibial)

El ligamento colateral situado en la cara interna de la rodilla se llama **ligamento colateral medial** (LCM) o ligamento colateral tibial (figura 5.3). Este ligamento se compone de dos capas, una superficial y otra profunda (Magee, 1997). La capa superficial es una banda ancha, plana y membranosa que une los cóndilos mediales del fémur y la tibia. La capa profunda de este ligamento discurre en sentido inferior a partir de su inserción proximal sobre el cóndilo medial del fémur y se fusiona con la cápsula articular y las fibras capsulares que unen los bordes del menisco medial al borde del cóndilo tibial (ligamentos coronarios). Aunque el ligamento colateral medial es más fuerte que su homólogo lateral (ligamento colateral lateral), se lesiona con mucha más frecuencia.

El ligamento colateral medial se tensa con la extensión y rotación externa de la rodilla. Es clave para la estabilidad medial de la rodilla y es la principal restricción a las fuerzas que tienden a separar o abrir la cara interna de la rodilla, lo cual se llama **tensión en valgo**. A 25°-30° de flexión geniculer, casi el 80% de la tensión en valgo es soportada por el ligamento colateral medial (Besier, Lloyd, Cochrane y Ackland, 2001). Este tipo de tensión en valgo puede darse en la danza cuando la rodilla desciende medialmente respecto al pie, por ejemplo en un *plié* mal ejecutado. El ligamento colateral medial es también un factor limitante clave de la rotación externa de la tibia con la rodilla flexionada o extendida (Levangie y Norkin, 2001). Esto puede contribuir a la vulnerabilidad a las lesiones del ligamento colateral medial en los bailarines.

### Ligamento colateral lateral (ligamento colateral peroneo)

El **ligamento colateral lateral** (LCL) se localiza en la cara externa de la articulación de la rodilla y también se

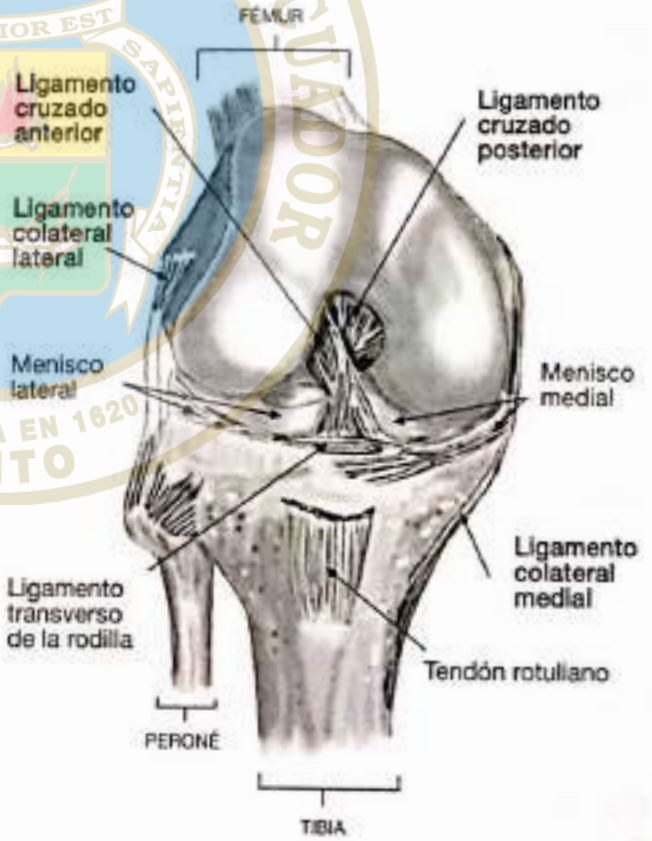



FIGURA 5.3. Ligamentos clave y meniscos de la rodilla (rodilla derecha, vista anterior).

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

llama ligamento colateral peroneo. El ligamento colateral lateral es cordiforme y une el cóndilo lateral del fémur con la cabeza del peroné. Se tensa con la extensión de rodilla. Este ligamento aporta estabilidad lateral a la rodilla y es la estructura de oposición primaria a las fuerzas que tienden a separar o abrir la cara lateral de la rodilla, lo que se llama **tensión en varo**. Se ha calculado que el ligamento colateral lateral soporta cerca del 70% de la tensión en varo aplicada a la rodilla (Besier, Lloyd, Cochrane y Ackland, 2001). Un ejemplo de esta tensión en varo se produce cuando un bailarín se sienta con las piernas cruzadas y los pies apoyados en la cara interna de las rodillas, como cuando se adopta la postura del loto en yoga. Dinámicamente, la tensión en varo ocurre en movimientos laterales y cruzados como el *fouetté*.

El ligamento colateral lateral puede ayudar al ligamento colateral medial y a otras estructuras a limitar la rotación externa de la tibia, sobre todo en 35° de flexión genicular (Levangie y Norkin, 2001). Ambos ligamentos colaterales se relajan al flexionarse la rodilla, y la relajación de estas restricciones es vital para permitir la rotación funcional de la tibia en movimientos de pivote.

### Ligamento cruzado anterior

Los ligamentos cruzados son ligamentos poderosos y cordiformes que unen internamente la tibia y el fémur. El nombre de estos ligamentos deriva del hecho de que se cruzan en la articulación de la rodilla. El **ligamento cruzado anterior** (LCA) se extiende desde el área intercondílea anterior de la tibia en sentido ascendente, posterior y externo hasta insertarse en la porción posterointerna del cóndilo lateral del fémur. Como se puede colegir de sus inserciones, este ligamento es importante en la prevención del desplazamiento anterior de la tibia respecto al fémur, o del desplazamiento posterior del fémur respecto a la tibia; y se ha calculado que el LCA es responsable del 85% de la fuerza que restringe el desplazamiento anterior de la tibia (Irrgang, 1993). El LCA también desempeña la función secundaria de ayudar a controlar la rotación de la rodilla (Diduch, Scuderi y Scott, 1997), las tensiones en varo y valgo, y la hiperextensión cuando la rodilla está totalmente extendida (Caillet, 1996; Magee, 1997). Las restricciones a la rotación que imponen los ligamentos cruzados son importantes para el normal funcionamiento del mecanismo de bloqueo de la rodilla, de lo cual se hablará más adelante en este capítulo. Funcionalmente, el ligamento cruzado anterior desempeña un papel especialmente clave cuando intervienen grandes fuerzas o una desaceleración, como en saltos, al bajar el cuerpo hasta el suelo o en cambios rápidos de dirección en la danza. Este ligamento es esencial para la integridad articular, y su pérdida afecta de forma crítica la estabilidad y altera la mecánica normal de la rodilla.

### Ligamento cruzado posterior

El **ligamento cruzado posterior** (LCP) se extiende desde el área intercondílea posterior de la tibia en sentido ascendente, anterior e interno hasta insertarse en la porción anteroexterna del cóndilo medial del fémur. El ligamento cruzado posterior es clave en la prevención del desplazamiento posterior de la tibia respecto al fémur, o del desplazamiento anterior del fémur respecto a la tibia. Es más fácil recordar sus funciones respecto a la tibia; es decir, el ligamento cruzado anterior previene el desplazamiento anterior de la tibia, mientras que el ligamento cruzado posterior impide su desplazamiento posterior. Se ha calculado que el ligamento cruzado posterior proporciona el 95% de la fuerza que restringe el movimiento posterior de la tibia, llamado «cajón posterior» (Butler, Noyes y Grood, 1980). A diferencia de lo que ocurre con los ligamentos de la rodilla antes explicados, la mayor parte del ligamento cruzado posterior se tensa con la rodilla flexionada, y algunos autores afirman que es el estabilizador clave de la rodilla cuando ésta no está extendida. Al inicio de la flexión genicular, el ligamento cruzado posterior se tensa cuando la tibia se desplaza posteriormente, y luego se convierte en el fulcro sobre el que prosigue la flexión de la rodilla (Caillet, 1996). Se ha comprobado que este ligamento soporta grandes fuerzas cuando se practica una flexión genicular máxima, como en sentadillas en paralelo (Escamilla, 2001). El área transversal del ligamento cruzado posterior es un 20%-50% mayor, hasta un 50% más resistente (Diduch, Scuderi y Scott, 1997) y se lesiona menos que el ligamento cruzado anterior.

### Pruebas de estrés ligamentario

En Pruebas y mediciones 5.1 aparecen sencillas pruebas de esfuerzo que practican los médicos para evidenciar la función clave de los ligamentos primarios antes expuestos. La presencia de una movilidad anormal o patológica sugiere daños en el ligamento que sirve de restricción primaria al movimiento. Se practican muchas otras pruebas clásicas más complejas que utilizan movimientos en múltiples planos y que incorporan rotación para evaluar más a fondo la estabilidad funcional de la rodilla.

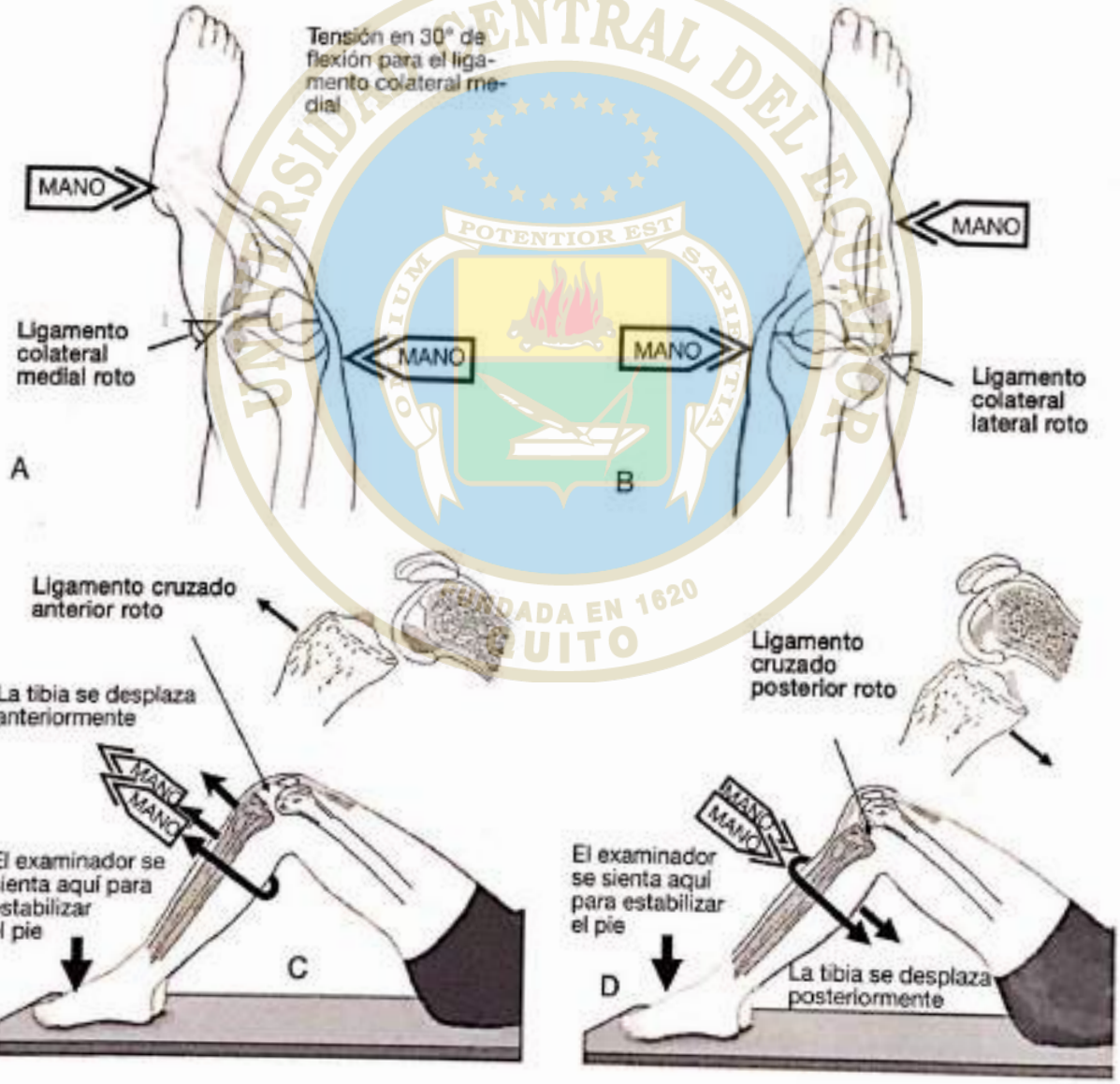
## *Estructuras especializadas de la rodilla*

Hay distintas estructuras especializadas que se asocian con la rodilla, ofreciendo estabilidad articular adicional y ayudando al funcionamiento de la rodilla. Estas estructuras comprenden los meniscos, las bolsas y la cintilla iliotibial.

PRUEBAS Y MEDICIONES 5.1

## *Pruebas de estrés ligamentario para la rodilla*

Ofrecemos una selección de pruebas que los médicos practican habitualmente para poner a prueba la estabilidad de la rodilla y evaluar lesiones ligamentarias. Hay que considerar cada prueba en función de las restricciones ofrecidas por un ligamento normal e intacto respecto a un movimiento excesivo que sólo se produciría en caso de lesión. En A, se emplean las manos para aplicar una tensión en valgo sobre una rodilla ligeramente flexionada con el fin de evaluar la integridad del ligamento colateral medial. Cuando el ligamento colateral medial está roto, es evidente el valgo excesivo de la cara interna de la rodilla. En B, las manos aplican una tensión en varo para evaluar la integridad del ligamento colateral lateral. Cuando el ligamento colateral lateral está gravemente desgarrado, se puede apreciar una apertura excesiva de la cara externa de la rodilla. En C, las manos ejercen tracción anterior sobre la tibia para evaluar la integridad del ligamento cruzado anterior (LCA). Cuando el LCA está roto, es evidente el excesivo desplazamiento anterior de la tibia respecto al fémur. En D, las manos presionan cuidadosamente sobre la tibia hacia atrás para evaluar la integridad del ligamento cruzado posterior. Cuando este ligamento está roto, se produce un excesivo desplazamiento posterior de la tibia; e incluso antes de aplicar presión posterior, la tibia aparece más retrasada de lo normal, como manifiesta una concavidad debajo de la rótula.



## Los meniscos

Los **meniscos** –el **menisco medial** y el **menisco lateral**– son dos discos de fibrocartílago situados sobre la meseta de la tibia, y forman la superficie articular para los respectivos cóndilos medial y lateral del fémur, como se ve en la figura 5.4. Estos meniscos son más gruesos en su perímetro que centralmente, y por eso forman una suerte de collar que colabora en la integridad articular al aumentar la profundidad y congruencia de la articulación. Las superficies inferiores de los meniscos son planas para adaptarse al contorno de las mesetas tibiales, mientras que las superficies superiores son cóncavas para ajustarse a la forma de los cóndilos femorales. Al ayudar a salvar la diferencia de contorno entre estos huesos, los meniscos también ayudan a amortiguar golpes, reducir el desgaste por fricción y facilitar los movimientos de la rodilla. Además, debido a las propiedades del cartílago (propiedades viscoelásticas), cuando la rodilla está en carga, los meniscos aumentan el área de contacto y disminuyen las tensiones articulares, doblando aproximadamente el área de contacto en la articulación y soportando hasta el 45% de la carga total absorbida por la rodilla (Hall, 1999; Hamill y Knutzen, 1995; Soderberg, 1986). El aumento de la separación de las superficies articulares que los meniscos proporcionan permite una mayor lubricación de la articulación, y se ha demostrado que hay un aumento del 20% en la fricción cuando se extirpa un menisco. La importancia vital de los meniscos se evidencia por la tendencia a sufrir tempranos cambios degenerativos en las rodillas cuando se ha procedido a la exéresis quirúrgica de un menisco debido a una lesión.

El menisco medial tiene una circunferencia mayor que el menisco lateral y adopta forma de «C», formando apenas un semicírculo. El menisco lateral tiene más forma de «O», formando casi un círculo completo, excepto en el punto en que se inserta en el área intercondílea. Los meniscos medial y lateral se unen entre sí en sentido anterior mediante el ligamento transverso de la rodilla. Los meniscos se unen con la tibia anteriormente en el área intercondílea anterior, posteriormente en el área intercondílea posterior, y por medio de fibras verticales de los ligamentos coronarios a lo largo de su periferia con los bordes de los cóndilos tibiales. Los bordes internos, la superficie superior y la superficie inferior de los meniscos están libres. El menisco medial también se inserta firmemente en el ligamento colateral medial y en uno de los músculos isquiotibiales mediales (el semimembranoso), volviéndose menos móvil que el lateral. Durante la flexión de la rodilla, los meniscos se mueven posteriormente con el fémur, recorriendo el menisco lateral casi el doble de distancia (11 frente a 5 milímetros) que el medial (Dye y Vaupel, 2000). Durante la extensión de la rodilla, los meniscos se mueven anteriormente con el fémur. En parte, debido a sus inserciones más firmes y a la mayor restricción de su movilidad, el menisco medial se lesiona con mucha más frecuencia que el lateral (Caillet, 1996).

## Bolsas

En la articulación de la rodilla suele haber más de 20 bolsas (Hamill y Knutzen, 1995). Por ejemplo, como se muestra en la figura 5.5, una bolsa se encuentra debajo de los tendones distales de un grupo de músculos clave para la rotación de la tibia (bolsa anserina). Anteriormente, las bolsas se hallan entre la superficie anterior de la rótula y la piel que la reviste (bolsa prerrotuliana subcutánea), así como de-

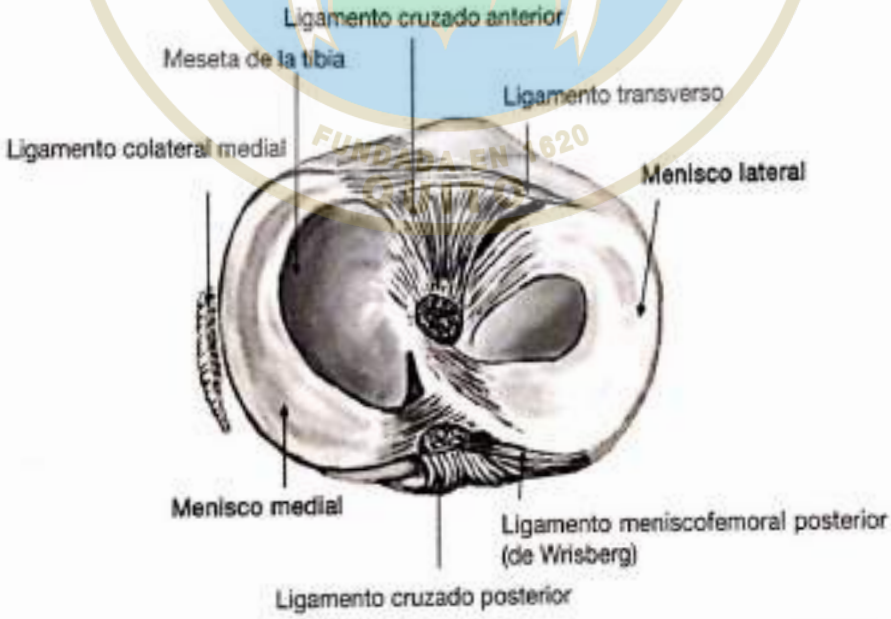



FIGURA 5.4. Meniscos y algunas estructuras asociadas (rodilla derecha, vista superior).

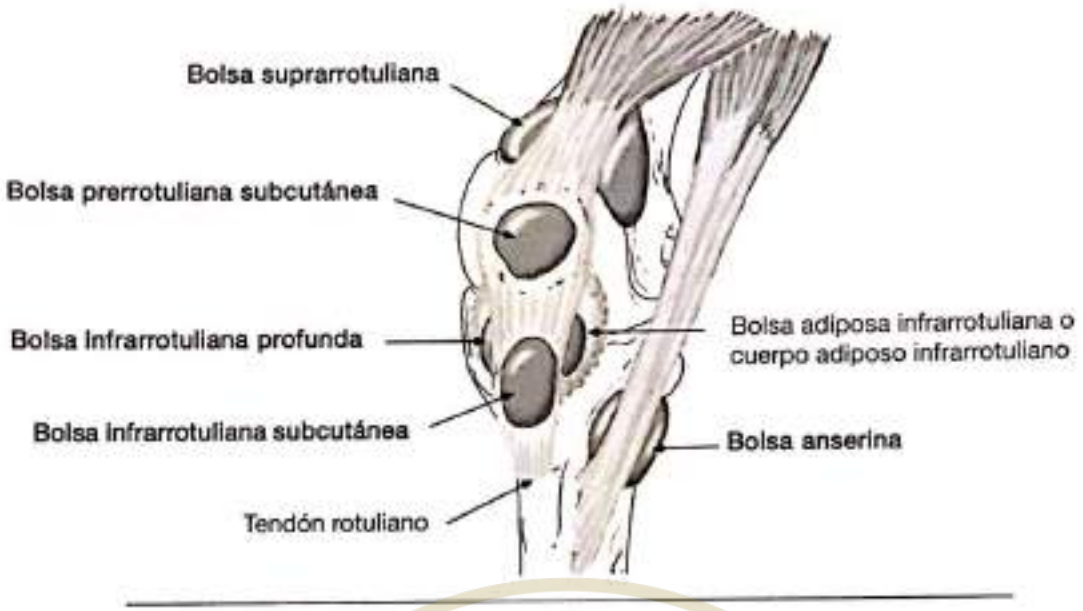



FIGURA 5.5. Selección de bolsas de la rodilla (rodilla derecha, vista anteromedial).

bajo (bolsa infrarrotuliana profunda) y delante del tendón rotuliano (bolsa infrarrotuliana subcutánea). En danza, con la práctica de trabajo en el suelo, algunas de estas bolsas se inflaman rápidamente (bursitis).

### La cintilla iliotibial

Recordemos que la cintilla iliotibial es una banda de fascia que tiene su comienzo superiormente en el ilion y que desciende por el costado del muslo para insertarse en el cóndilo lateral del fémur, en la porción posterior del fémur, en la rótula y en el cóndilo lateral de la tibia. El músculo tensor de la fascia lata, descrito en el capítulo anterior dedicado a la cadera, se inserta en esta cintilla (véase la figura 4.6, pág. 166). Cuando el tensor de la fascia lata se contrae, tensa la cintilla iliotibial, lo cual hace que esta cintilla actúe de forma parecida a la de un ligamento dinámico de la rodilla. Debido a las inserciones anteriores de algunas de sus fibras, algunos autores mantienen que la cintilla iliotibial puede actuar como extensora de la rodilla cuando ésta se halla ligeramente flexionada (de 0° a 30° de flexión genicular), aunque luego se comporta como flexora cuando la rodilla se flexiona más de 40° (Dye y Vaupel, 2000). Aunque controvertido, el tensor de la fascia lata a través de la cintilla iliotibial también puede ayudar a la rotación externa de la tibia o la rodilla (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La cintilla iliotibial es exclusiva del ser humano y parece ser una adaptación singular a las demandas de la postura erecta, ofreciendo sujeción lateral clave a la rodilla y a la cadera.

### *Músculos*

Además de los ligamentos vitales de la rodilla, distintos músculos adicionales que cruzan la rodilla aportan estabilidad adicional a esta articulación. Algunos de estos músculos, en especial el cuádriceps femoral, también actúan como importantes amortiguadores y desempeñan un papel significativo en la protección de la rodilla ante tempranos cambios degenerativos.

## Descripción y funciones de los músculos específicos de la rodilla

Doce músculos cruzan la articulación de la rodilla y ayudan a los ligamentos a proporcionar estabilidad, así como a generar los movimientos de la rodilla. La contribución muscular más importante corresponde al cuádriceps anteriormente y a los isquiotibiales posteriormente. También ofrece cierto soporte lateral el isquiotibial lateral, o bíceps femoral. Ligero soporte medial ofrece uno de los isquiotibiales mediales, el semitendinoso, así como los otros elementos de la pata de ganso (sartorio y recto interno). Una descripción más detallada de estos músculos se encontrará en Músculos específicos de la rodilla en las páginas 247-252 y 253. Obsérvese que muchos de estos músculos cruzan múltiples articulaciones y también pueden producir movimiento en la cadera o el tobillo, además de en la rodilla.

# Músculos específicos de la rodilla

## Músculos anteriores de la rodilla

Los músculos anteriores de la rodilla son el grupo constituido por el cuádriceps femoral. Como la rodilla se flexiona en dirección opuesta (moviéndose el segmento distal en sentido posterior en vez de anterior) a la de otras diartrosis, los músculos anteriores de la rodilla generan extensión. Esto contrasta con la columna vertebral, la cadera, el hombro, el codo, la muñeca y los dedos de la mano, en los que la contracción concéntrica de los músculos anteriores desde la posición anatómica genera flexión en sus articulaciones respectivas.

**Inserciones y acciones principales del músculo cuádriceps femoral**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Cuádriceps femoral | | | |
| Recto femoral | Espina ilíaca anteroinferior Cabeza refleja justo encima del acetábulo | Tuberosidad tibial a través del tendón rotuliano | Extensión de la rodilla (flexión de la cadera) |
| Vasto medial | Superficies medial y posterior del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde medial de la rótula | Extensión de la rodilla |
| Vasto intermedio | Caras anterior y lateral del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde superior de la rótula | Extensión de la rodilla |
| Vasto lateral | Superficies posterior y superolateral del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde lateral de la rótula | Extensión de la rodilla |

### Cuádriceps femoral

El grupo formado por el cuádriceps femoral se localiza en la cara anterior del muslo y, como su nombre indica (L. *quattuor*, cuatro, + *capus*, cabeza), se compone de cuatro músculos: el recto femoral, el vasto lateral, el vasto intermedio y el vasto medial. El recto femoral, como se ve en la figura 5.6A, es el único músculo de este grupo que cruza la articulación coxofemoral, y su función de flexor de la cadera fue expuesta en el capítulo 4. El cuádriceps restante, los tres músculos vastos, como se ve en la figura 5.6B, tienen su origen en el fémur y por eso pueden generar movimiento sólo en la rodilla, no en la cadera. Como su nombre sugiere, el vasto medial es el que se sitúa más medialmente, y el lateral es el que se localiza más lateralmente. El vasto intermedio se halla entre estos dos músculos y debajo del recto femoral. Los tendones de los cuatro músculos del cuádriceps convergen para formar el tendón del cuádriceps femoral. Este tendón se inserta en la porción superior de la rótula, y ésta se ancla en la tuberosidad de la tibia por medio del tendón rotuliano. De ahí que, aunque el cuádriceps converja en la rótula, la continuidad de la inserción rotuliana en la tibia permite al cuádriceps femoral actuar como un poderoso extensor de la rodilla. Los cuatro músculos del cuádriceps actúan como motores principales generando extensión de la rodilla en movimientos como el *frappé*, o manteniendo la extensión de la rodilla de la pierna que trabaja durante un *rond de jambe*. Con la rodilla en carga, la gravedad tiende a flexionarla, y el cuádriceps desempeña una función antigravitatoria clave en movimientos como *plié*s, al caminar, al correr y al saltar. Dada esta función antigravitatoria, no sorprende que el cuádriceps sea uno de los grupos musculares más poderosos del cuerpo. Son capaces de generar más de 454 kilogramos de fuerza (Hamill y Knutzen, 1995; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

*Palpación.* Se puede palpar el músculo recto femoral descendiendo por el medio de la cara anterior del muslo. Se puede palpar el músculo vasto intermedio debajo del recto femoral cuando uno se aproxima

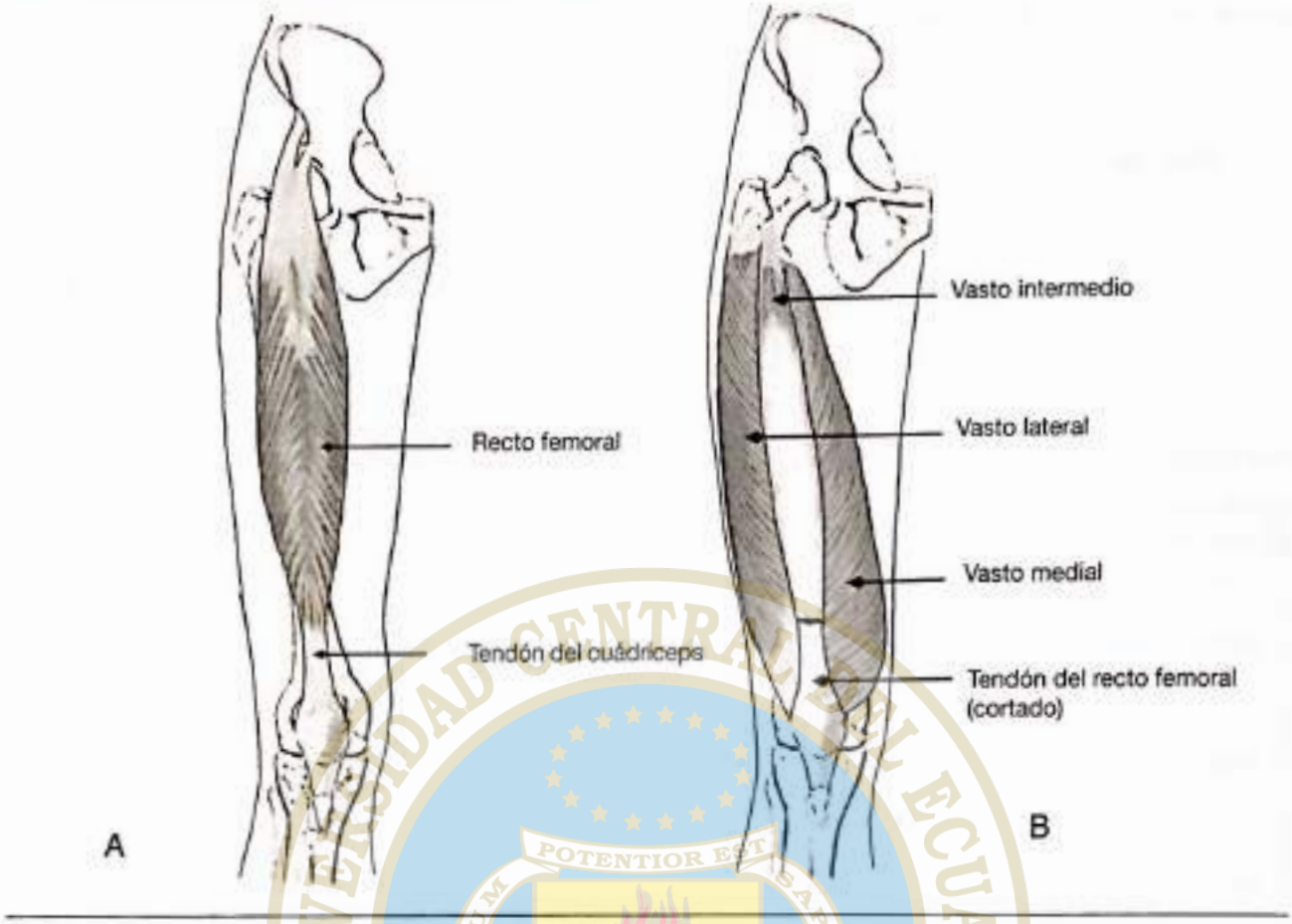



FIGURA 5.6. Cuádriceps femoral (rodilla derecha, vista anterior). (A) Recto femoral; (B) los tres músculos vastos.

desde el lado medial o lateral. El vasto lateral se puede palpar lateralmente respecto al recto femoral, desde justo debajo del trocánter mayor hasta la rótula. La porción distal del vasto medial es fácil de palpar medial al recto femoral y a lo largo del tercio inferior del muslo. Si se coloca la palma de la mano sobre la porción superior del muslo en sedestación, se percibirá todo el grupo del cuádriceps que se contrae bajo la mano al levantar la pierna hacia delante con la rodilla flexionada (flexión coxofemoral) y luego extender la rodilla, como harías en un *développé en avant* paralelo.

## Músculos posteriores de la rodilla

Los músculos posteriores de la rodilla son los isquiotibiales, el poplíteo y el gastrocnemio. Los isquiotibiales y el gastrocnemio son músculos multiarticulares, mientras que el poplíteo sólo cruza y actúa sobre la articulación de la rodilla.

### Isquiotibiales

Como se describe en el capítulo precedente sobre la cadera, los isquiotibiales –bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso– se originan en la tuberosidad isquiática de la pelvis (figura 5.7A) y en la cara posterior del fémur (figura 5.7B) y se insertan distalmente debajo de la rodilla en la tibia y el peroné. Los tres isquiotibiales flexionan la rodilla y ayudan a prevenir su hiperextensión. Además, contribuyen a los movimientos rotatorios de la rodilla. El semitendinoso y el semimembranoso se insertan medialmente en la tibia y generan ligera rotación medial de la tibia o la rodilla. En contraste, el bíceps femoral se inserta lateralmente en el peroné y la tibia, y por eso su acción es la de ligera rotación externa de la tibia o la rodilla. En las formas de danza que utilizan el *en dehors*, se favorece un ligero empleo del bíceps femoral para continuar este movimiento, que sobre todo se produce en la cadera, a través de la pierna.

**Inserciones y acciones principales de los músculos isquiotibiales**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Isquiotibiales | | | |
| Bíceps femoral | Cabeza larga: tuberosidad isquiática<br>Cabeza corta: línea áspera del fémur | Cabeza del peroné<br>Cóndilo lateral de la tibia | Flexión de la rodilla<br>Rotación externa de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación externa de la cadera) |
| Semitendinoso | Tuberosidad isquiática | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Flexión de la rodilla<br>Rotación interna de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación interna de la cadera) |
| Semimembranoso | Tuberosidad isquiática | Cóndilo medial de la tibia | Flexión de la rodilla<br>Rotación interna de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación interna de la cadera) |

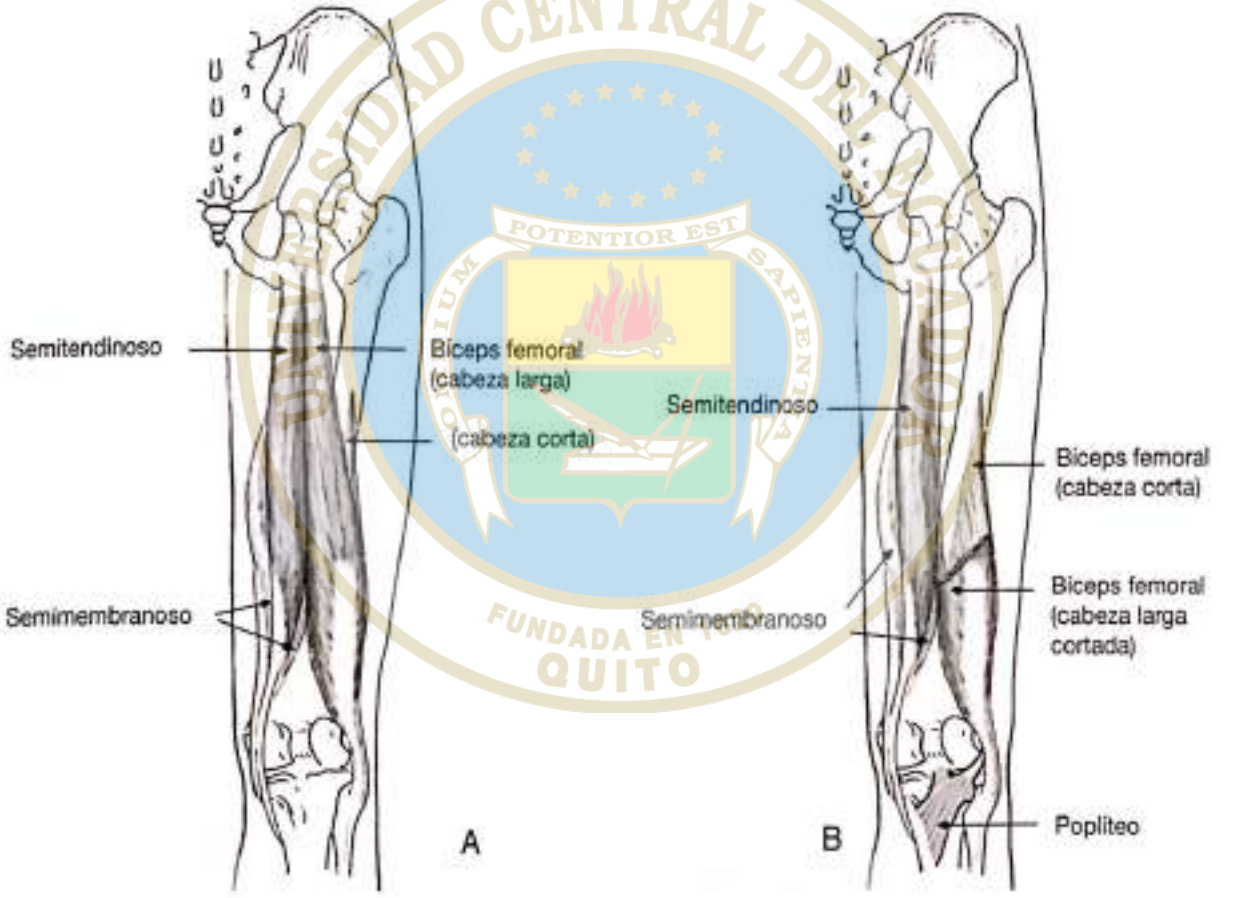



FIGURA 5.7. Músculos isquiotibiales y poplíteo (rodilla derecha, vista posterior). (A) Vista superficial de los isquiotibiales; (B) poplíteo y cabeza larga del bíceps femoral cortados para mostrar la cabeza corta del bíceps femoral.

*Palpación.* En monopedestación sobre la pierna izquierda con el antepié del pie derecho unos 25 centímetros detrás del pie izquierdo y la rodilla derecha flexionada. En esta posición, el bíceps femoral se puede palpar en la pierna derecha a lo largo de la cara posterolateral del muslo, siendo fácil de palpar el tendón inmediatamente proximal al dorso de la rodilla. El tendón del semimembranoso también se puede

palpar inmediatamente proximal al dorso de la rodilla, pero sólo en el lado medial de la cara posterior del muslo. El semimembranoso se puede palpar a ambos lados del tendón del semitendinoso. La flexión de la rodilla levantando el pie del suelo, con la mano situada justo por encima de la articulación de la rodilla (posteriormente), permite percibir la contracción de los isquiotibiales, al volver más manifiestos los tendones.

**Inserciones y acciones principales del músculo poplíteo**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Poplíteo | Tendón tripartito:<br>1. Cóndilo lateral del fémur<br>2. Cabeza del peroné<br>3. Cara posterior del menisco lateral | Cara posteromedial de la porción superior de la tibia | Rotación externa del fémur (con el pie fijo)<br>Rotación interna de la tibia (con el pie libre)<br>«Desbloqueo» de la rodilla |

### *Poplíteo*

El popliteo es un músculo pequeño que discurre por detrás de la rodilla, como se ve en la figura 5.7B, y es clave para la estabilidad y mecánica correcta de la articulación de la rodilla. Es el músculo situado a nivel más profundo en esta región, cerca de la cápsula articular. Se inserta proximalmente en el cóndilo lateral del fémur, en el menisco lateral y en el peroné, y distalmente en la cara posteromedial de la tibia. Cuando la tibia está fija como en carga, el músculo poplíteo (L. *poples*, corva/cara posterior de la rodilla) rota externamente el fémur y también retrae el menisco lateral al inicio de la flexión de la rodilla. Cuando la rodilla está extendida, esta rotación externa es importante para desbloquear la rodilla y permitir que siga la flexión. En condiciones de cadena cinética abierta, cuando la tibia está libre, como al ejecutar un movimiento circular del pie en el aire (*rond de jambe en l'air*), el fémur actúa de segmento fijo y el músculo poplíteo actúa sobre la tibia y no sobre el fémur, generando rotación interna de la tibia.
*Palpación.* Debido a su localización a nivel profundo y debido a que está cubierto por el músculo plantar y la cabeza lateral del gastrocnemio, el poplíteo no es fácil de palpar.

### *Gastrocnemio y plantar*

Los músculos gastrocnemio y plantar se describen de forma más completa en el capítulo 6 al hablar del tobillo y el pie (véase la figura 6.15, pág. 313). El músculo plantar (L., relativo a la planta del pie) puede actuar de agonista débil en la flexión de la rodilla. El gastrocnemio (G. *gaster*, vientre, + *kneme*, pierna) tiene su origen por encima de los cóndilos femorales y se inserta en el calcáneo por medio del tendón de Aquiles. En descarga, como en una *attitude en arrière*, el gastrocnemio a veces ayuda a la flexión genicular. Sin embargo, cuando el pie está fijo y la rodilla en una poderosa extensión, como cuando actúa sobre la pierna de apoyo en movimientos en la barra o en el centro de la sala, el gastrocnemio puede invertir su papel y tirar de los cóndilos femorales en sentido descendente y posterior, manteniendo la extensión de la rodilla en vez de flexionarla.

## *Músculos accesorios de la rodilla*

El sartorio y el recto interno son músculos biarticulares cuya función principal en la cadera quedó expuesta en el capítulo 4, aunque también cruzan y pueden actuar en la articulación de la rodilla. Se insertan en la cara medial de la porción proximal de la tibia junto con el semitendinoso. Las expansiones tendinosas de estos tres músculos en su inserción en la porción medial de la tibia se denominan **pata de ganso**, como se muestra en la figura 5.8. El sartorio y el recto interno ayudan a los isquiotibiales mediales en la flexión de la rodilla y en la rotación interna de la tibia o la rodilla. Sin embargo, dependiendo de la inserción específica del músculo, cuando la rodilla está completamente extendida o hiperextendida, la línea de tracción puede discurrir anterior al eje de la rodilla, de modo que invierte su función para convertirse en un músculo

extensor de la rodilla (Basmajian y DeLuca, 1985). Este mecanismo pueden emplearlo los bailarines para mantener la extensión de la rodilla con menos activación del cuádriceps al elevar la pierna al frente.

## Resumen de las inserciones y acciones de los músculos de la rodilla

En la tabla 5.1 aparece un resumen de las inserciones de los músculos que cruzan la rodilla, y los principales músculos y sus inserciones aparecen en las figuras 5.9A y B, y 5.10A y B. A partir de estas fuentes, deduce la línea de tracción y las posibles acciones resultantes de los músculos principales de la rodilla, y luego comprueba su exactitud remitiéndote a las figuras 5.9C y 5.10C.

FIGURA 5.8. Pata de ganso (rodilla derecha, vista medial).

**Tabla 5.1. Resumen de las inserciones y acciones principales de los músculos de la rodilla**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos anteriores** | | | |
| Cuádriceps femoral | | | |
| Recto femoral | Espina ilíaca anteroinferior<br>Cabeza refleja: justo encima del acetábulo | Tuberosidad tibial a través del tendón rotuliano | Extensión de la rodilla<br>(flexión de la cadera) |
| Vasto medial | Superficies medial y posterior del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde medial de la rótula | Extensión de la rodilla |
| Vasto intermedio | Caras anterior y lateral del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde superior de la rótula | Extensión de la rodilla |
| Vasto lateral | Superficies posterior y superolateral del fémur | Tendón del cuádriceps femoral y borde lateral de la rótula | Extensión de la rodilla |
| **Músculos posteriores** | | | |
| Isquiotibiales | | | |
| Bíceps femoral | Cabeza larga: tuberosidad isquiática<br>Cabeza corta: línea áspera del fémur | Cabeza del peroné<br>Cóndilo lateral de la tibia | Flexión de la rodilla<br>Rotación externa de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación externa de la cadera) |
| Semitendinoso | Tuberosidad isquiática | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Flexión de la rodilla<br>Rotación interna de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación interna de la cadera) |

(Continúa)

**Tabla 5.1. Resumen de las inserciones y acciones principales de los músculos de la rodilla (continuación)**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos posteriores** | | | |
| Isquiotibiales | | | |
| Semimembranoso | Tuberosidad isquiática | Cóndilo medial de la tibia | Flexión de la rodilla<br>Rotación interna de la rodilla<br>(extensión de la cadera)<br>(rotación interna de la cadera) |
| Poplíteo | Tendón tripartito:<br>1. Cóndilo lateral del fémur<br>2. Cabeza del peroné<br>3. Cara posterior del menisco lateral | Cara posteromedial de la porción superior de la tibia | Rotación externa del fémur (con el pie fijo)<br>Rotación interna de la tibia (con el pie libre)<br>«Desbloqueo» de la rodilla |
| **Músculos accesorios** | | | |
| Recto interno | Justo debajo de la sínfisis sobre el pubis, ramas inferiores del isquion y el pubis | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Flexión de la rodilla<br>(aducción de la cadera)<br>(flexión de la cadera) |
| Sartorio | Espina ilíaca anterosuperior (EIAS) y el área justo inferior | Superficie medial de la porción superior de la tibia (pata de ganso) | Flexión de la rodilla<br>(flexión de la cadera)<br>(abducción de la cadera)<br>(rotación externa de la cadera) |
| Tensor de la fascia lata | Cresta anteroexterna del ilion, cara lateral de la espina ilíaca anterosuperior | Tibia por medio de la cintilla iliotibial | Soporte o sostén lateral de la rodilla<br>(extensión terminal de la rodilla)<br>(rotación externa de la rodilla)<br>(abducción de la cadera)<br>(flexión de la cadera)<br>(rotación interna de la cadera) |
| Gastrocnemio | Cóndilos medial y lateral del fémur | Calcáneo (pie) por medio del tendón de Aquiles | Flexión de la rodilla<br>(flexión plantar del tobillo) |

## Alineación y desviaciones habituales de la rodilla

La alineación de la rodilla se puede evaluar respecto a los planos frontal, sagital y transverso. La alineación adecuada de los huesos de la rodilla puede tener implicaciones importantes respecto a cómo se soportan las tensiones y a la predisposición resultante a las lesiones, así como en la capacidad para cubrir las exigencias estéticas y formales de la danza. Son desviaciones habituales en la alineación la angulación en valgo, la rodilla hiperextendida y la torsión de la tibia.

### *Angulación en valgo*

Como se expuso en el capítulo 4, cuando se observan las piernas por delante o por detrás, la diáfisis del fémur no es totalmente vertical, sino ligeramente angulada hacia dentro, siendo las rodillas más mediales que la cabeza femoral o el trocánter mayor. Debido a esta oblicuidad femoral en el plano frontal, es normal que la tibia se angule ligeramente hacia fuera respecto al fémur. Esta angulación ayuda a establecer una posición aproximadamente vertical de la tibia, deseable para transferir el peso del cuerpo. El ángulo entre el fémur y la tibia, que se abre lateralmente, se denomina ángulo valgo o **angulación en valgo**. En los adultos, un ángulo de 170° a 174° se considera normal (Magee, 1997; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996), y esta alineación normal de la tibia respecto al fémur se denomina *genu rectum*, como se muestra en la figura 5.11A.

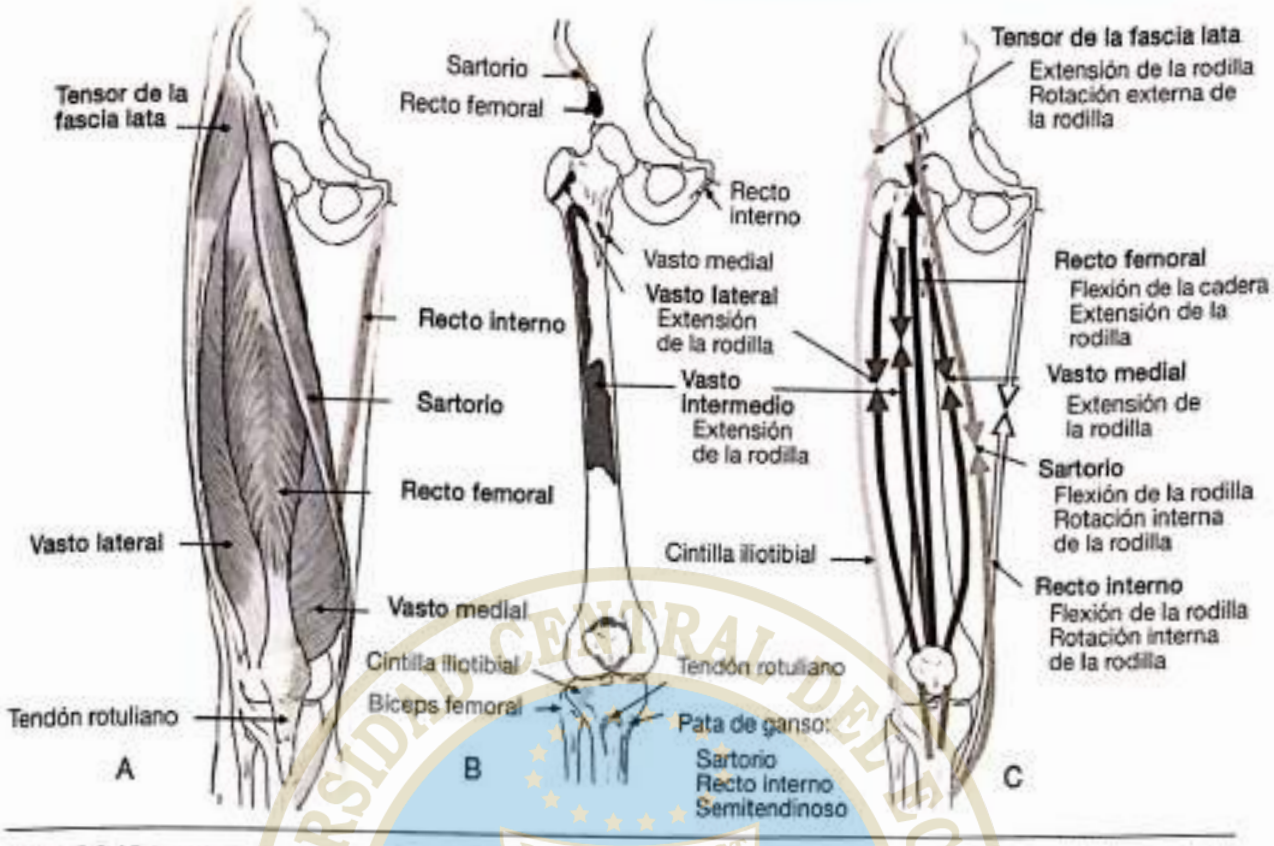



FIGURA 5.9. Vista anterior de los principales músculos que actúan sobre la articulación de la rodilla (rodilla derecha). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

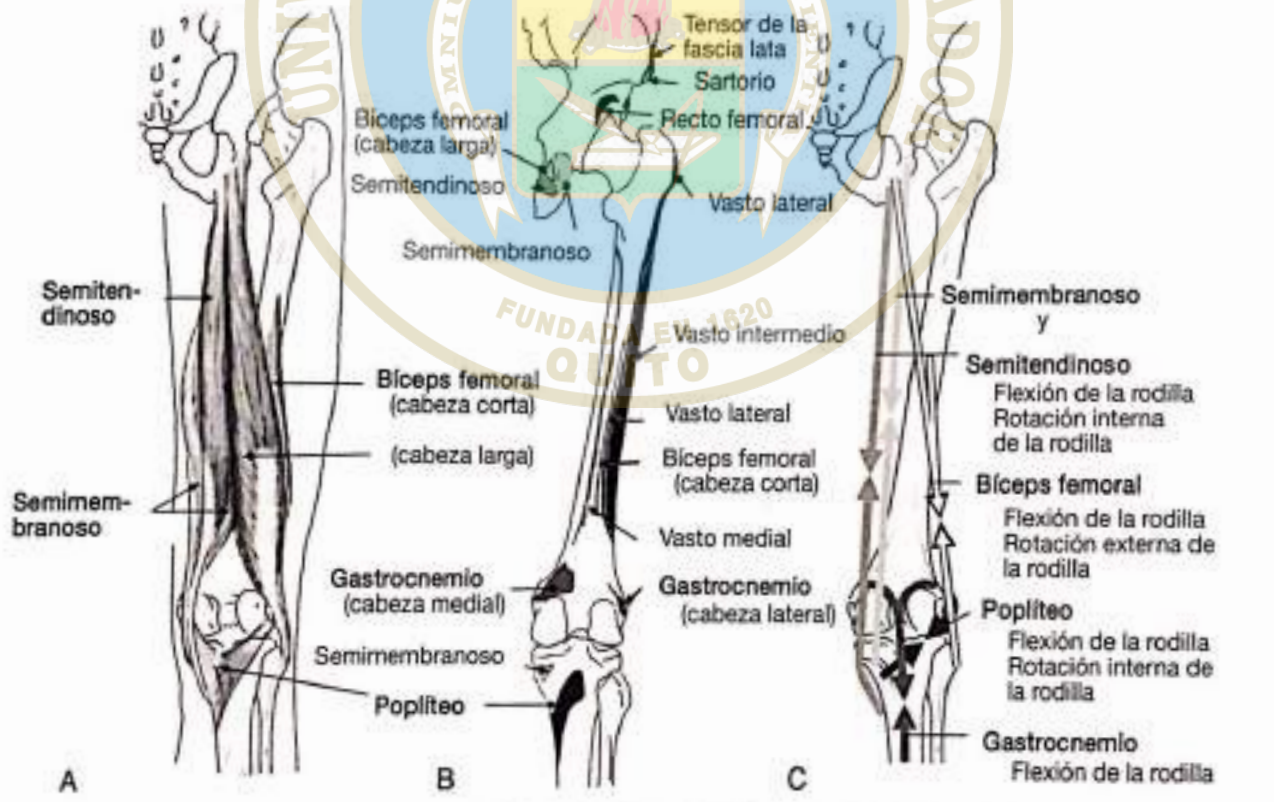



FIGURA 5.10. Vista posterior de los principales músculos que actúan sobre la articulación de la rodilla (rodilla derecha). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

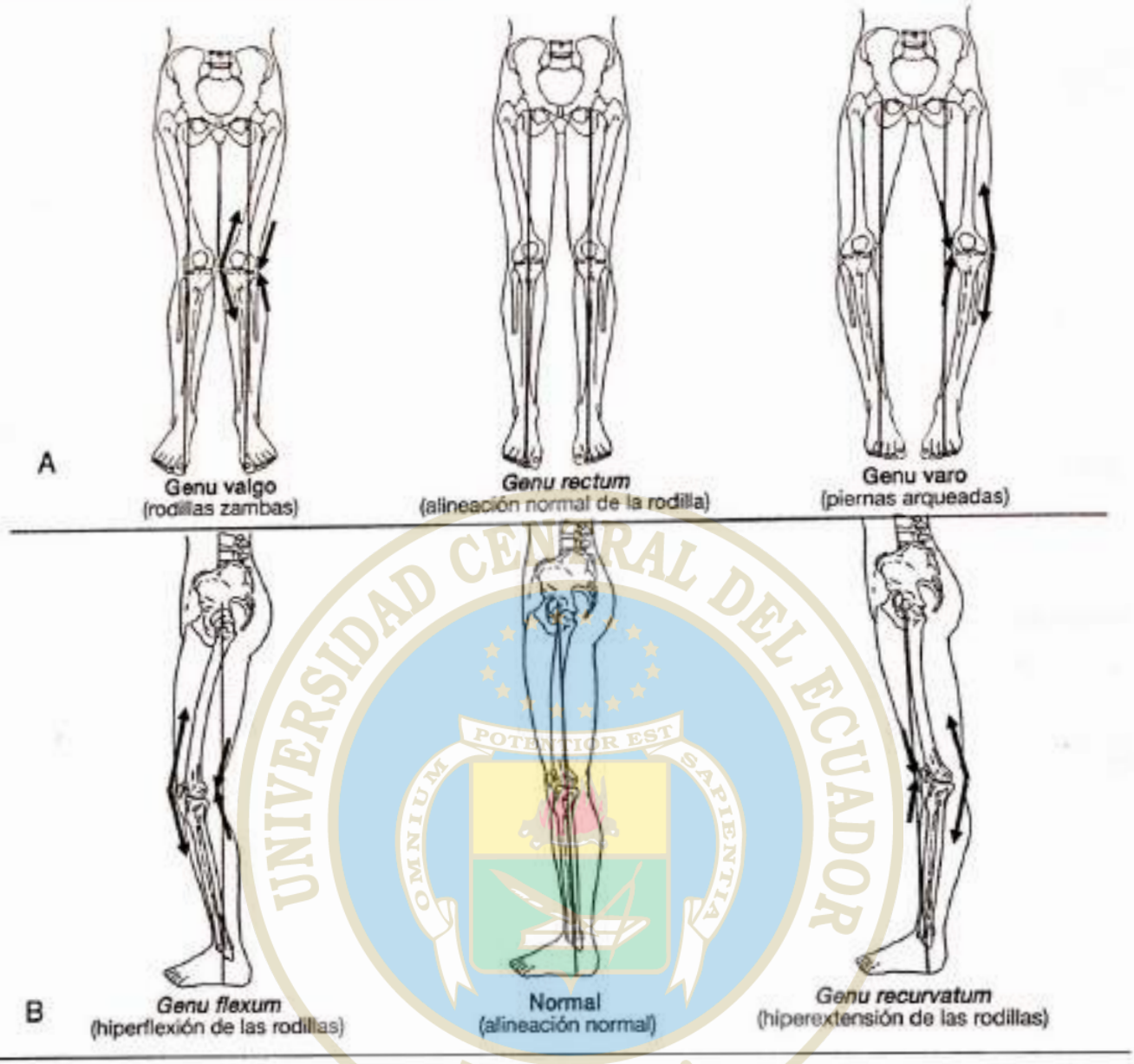



FIGURA 5.11. Alineación de la rodilla. (A) Vista anterior; (B) vista lateral.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

### Genu valgo

En algunos casos, la desviación lateral relativa de la tibia es exagerada y el ángulo entre la tibia y el fémur es considerablemente inferior a 170°. Esta alteración se denomina **genu valgo**. En este caso, cuando un bailarín está en bipedestación con los pies paralelos y las rodillas en contacto, los pies no se pueden tocar y permanecen separados. Para recordar esta terminología, asociemos la «l» de valgo con la «l» de lateral. Así, en los casos de genu valgo, la tibia se angula lateralmente respecto al fémur (figura 5.11A). Magee (1997) considera excesiva una distancia de 9-10 centímetros o más entre los tobillos. Esta alineación de la rodilla conlleva implicaciones estéticas, un aumento de la carga sobre el menisco lateral y un aumento de la tensión sobre el ligamento colateral medial, influye negativamente en la alineación de la rótula, y habitualmente se asocia a una pronación excesiva del pie. La evaluación ortopédica de 40 estudiantes de ballet de elite no mostró casos de genu valgo (Hamilton *et al.*, 1997). Se podría postular que esta ausencia de casos se debe a abandonos por lesión o por consideraciones estéticas, o a que la práctica de la danza tiende a alterar esta alineación de la rodilla. Serían valiosos nuevos estudios sobre el tema.

### Genu varo

Cuando el ángulo entre la tibia y el fémur aumenta y se aproxima a 180°, o el ángulo de la tibia respecto al fémur se abre medial en vez de lateralmente, la afección se deno-

mina **genu varo.** En tales casos, cuando un bailarín está en bipedestación y en paralelo con los pies tocándose, se aprecia un espacio entre las rodillas. Si dos o más dedos caben entre las rodillas cuando los tobillos se tocan, se considera un signo de genu varo. Además de manifestarse en el ángulo del fémur respecto a la tibia, esta alteración con frecuencia implica un arqueamiento lateral del fémur o la tibia (o de ambos) (figura 5.11A). Esta situación es preocupante en términos estéticos, y tiene como resultado un aumento de la carga sobre el menisco medial, un aumento de la tensión sobre el ligamento colateral lateral, y la tendencia asociada a una supinación excesiva. Sin embargo, se ha documentado un elevado predominio de casos de genu varo en deportistas de elite, y es interesante que la evaluación ortopédica de 40 estudiantes de ballet de elite mostrara un 46% de casos de rodilla vara (Hamilton *et al.*, 1997). Así, aunque un caso extremo de varo de rodilla pueda resultar perjudicial, en casos leves parece ser estéticamente aceptable, como se desprende de su presencia entre bailarines de elite. Sus posibles implicaciones en lesiones requiere un estudio adicional.

## Rodilla hiperextendida

Cuando se observan las rodillas de perfil, pueden parecer ligeramente flexionadas, rectas (extendidas) o hiperextendidas, como se aprecia en la figura 5.11B. Cuando las rodillas están hiperextendidas, se denomina *genu recurvatum*, porque las rodillas se curvan hacia atrás predominantemente en el plano sagital. El *genu recurvatum* es más común en las mujeres que en los hombres, y más habitual en personas de cualquier sexo con laxitud articular (hipermovilidad) generalizada. En el mundo de la danza, las rodillas hiperextendidas a veces se atribuyen de forma errónea a la fuerza y empleo excesivos del cuádriceps femoral. Sin embargo, como esta hiperextensión se suele asociar con el intento por mantener la estabilidad «colgando» de las restricciones que imponen los ligamentos en vez de recurrir al control muscular, la hiperextensión de las rodillas se suele asociar con una actividad del cuádriceps menor que la de personas que se mantienen en bipedestación con las rodillas ligeramente flexionadas (Basmajian y DeLuca, 1985), así como con la debilidad del cuádriceps (Scioscia, Giffin y Fu, 2001).

Se considera deseable una ligera hiperextensión de las rodillas en algunos tipos de danza como el ballet clásico. Sin embargo, la excesiva hiperextensión puede ser preocupante en relación con la aparición de lesiones. Una forma de cumplir con ambas condiciones biomecánica y estética consiste en limitar el grado de hiperextensión de rodilla cuando la pierna está en carga y reservar una ligera hiperextensión para la pierna en descarga y que trabaja cuando la estética dicte generar una «línea hiperextendida».

En los bailarines, una rodilla que no se extiende por completo y parece flexionada también supone un problema estético. Esta alteración se denomina *genu flexum* o «hiperflexión de las rodillas» (figura 5.11B). Una cuidadosa evaluación por parte de un médico deportivo es esencial para determinar en qué grado esta limitación es estructural o de naturaleza neuromuscular o de los tejidos blandos, así como si es apropiado estirar cuidadosamente la rodilla para facilitar la extensión completa. En muchos casos, los cambios deseados se consiguen con un programa de estiramientos, combinado con modificaciones en la técnica de danza.

PRUEBAS Y MEDICIONES 5.2

### Alineación de la rodilla: angulación en valgo

Practica las siguientes observaciones y emplea la figura 5.11 como referencia para identificar tu angulación en valgo.

1. De pie y mirando a un espejo, con los pies paralelos y separados aproximadamente la anchura de las caderas. Observa la relación entre las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo. Debido a la ligera angulación en varo del fémur, en una angulación normal en valgo, la tibia se angula ligeramente hacia fuera respecto al fémur, de modo que el ángulo entre estos huesos es de unos 170°. Fíjate en si el ángulo parece menor, mayor o igual a 170°.
2. Ahora, junta los pies de modo que los bordes internos se toquen, y fíjate en la posición de las rodillas. Con una alineación normal, las rodillas están casi en contacto. Sin embargo, si de pie en esta posición aprecias un espacio entre las rodillas, esto sugiere la presencia de genu varo.
3. Por el contrario, si no consigues juntar los pies porque las rodillas se tocan antes de que lo hagan los bordes internos de los pies, esto sugiere la presencia de genu valgo.
4. Después de identificar la alineación de las rodillas, mueve lentamente la pelvis a las posiciones de inclinación anterior, neutra e inclinación posterior, y fíjate en si ello influye y cómo en la alineación de las rodillas.

### Torsión tibial

Cuando se observa la rodilla por delante, su alineación defectuosa también puede apreciarse predominantemente en el plano transversal, como muestra la orientación hacia dentro o fuera de la rodilla respecto a la articulación coxofemoral, a la articulación del tobillo o a ambas. Esta rotación transversa se puede deber a la alineación defectuosa de articulaciones afines (p. ej., torsión femoral) o a rotación todo a lo largo de los huesos mismos. Si el extremo distal de la tibia se orienta medialmente o demasiado lateralmente cuando el extremo distal del fémur mira justo hacia delante, la alineación defectuosa se llama **torsión tibial.** Se puede imaginar la **torsión tibial externa** como si la porción superior de la tibia y su tuberosidad siguieran mirando adelante mientras la porción inferior rota externamente de modo que mire un poco hacia el costado, como se ve en la figura 5.34B (pág. 291). En esta situación, el pie apunta hacia fuera respecto a la rodilla. Algunos bailarines muestran una acusada torsión externa de la tibia, y esta alineación ósea ofrece cierta ventaja para lograr un mayor grado de *en dehors* con los pies sin crear la poco deseada torsión de la rodilla. Por el contrario, en el caso de la **torsión tibial interna,** los pies apuntan directamente hacia delante o hacia sí cuando las rótulas miran adelante. En ortostatismo, la mayoría de las personas exhiben una ligera rotación tibial externa, que aumenta desde unos 5° al nacer hasta una media de 15° al alcanzar la madurez ósea (Luke y Micheli, 2000).

La torsión tibial tiene implicaciones importantes para la mecánica del tobillo y el pie, así como la de la rodilla, y se volverá a abordar en el capítulo 6.

## Mecánica de la rodilla

La mecánica de la articulación de la rodilla es más compleja que la de otras articulaciones trocleares, en especial debido a dos factores. Primero, la flexión y extensión en la articulación femorotibial no implica un movimiento sencillo sobre un eje, sino que incorpora rodamiento y deslizamiento sobre un eje que se desplaza según los distintos grados de flexión. Segundo, se produce también cierto grado de rotación transversal que acompaña a la flexión y extensión.

### Flexión y extensión de la rodilla

Los movimientos de la articulación de la rodilla de flexión y extensión ocurren sobre todo en el plano sagital entre los cóndilos del fémur y la tibia. Los movimientos de los cóndilos femorales respecto a una tibia fija (cadena cinemática cerrada) se pueden comparar con los de la rueda de una bicicleta, donde los cóndilos del fémur ruedan atrás y adelante sobre los cóndilos de la tibia como la rueda sobre la carretera, tal como se ve en la figura 5.12A. Además, los cóndilos femorales se deslizan sobre los de la tibia de forma parecida a como una rueda de bicicleta patina en el suelo. Este último movimiento deslizante es necesario para mantener el fémur situado sobre los cóndilos de la tibia. Por ejemplo, cuando los cóndilos femorales experimentan rodamiento posterior durante la flexión (como durante el descenso de un *plié* en primera posición paralela), el fémur caería rodando por detrás de la tibia (figura 5.12A) si no se produjese el movimiento de deslizamiento anterior que tiene lugar pasados unos 25° de flexión (figura 5.12B) para compensar el movimiento posterior asociado con el rodamiento (Levangie y Norkin, 2001). Lo contrario ocurre en la extensión (como al levantarse de un *plié*), con los cóndilos del fémur rodando primero hacia delante y luego deslizándose hacia atrás para compensar el movimiento anterior asociado con el rodamiento (figura 5.12C). Así, este rodamiento y deslizamiento simultáneos permiten a las superficies del fémur mantenerse en contacto durante la flexión y extensión, y previenen un excesivo movimiento relativo de los huesos asociados que podría poner en peligro la integridad articular.

### Rotación de la rodilla

Aunque los movimientos principales de la articulación de la rodilla sean flexión y extensión, el hecho de que los dos cóndilos en el extremo distal del fémur sean de distinto tamaño y forma, y no completamente paralelos, exige una ligera rotación en el plano transversal. El grado de rotación permitido varía con el grado de flexión de rodilla y en él influyen mucho los ligamentos. Como se describió previamente, cuando la rodilla está extendida, los ligamentos clave están relativamente tensos, y se produce poca o ninguna rotación de la tibia respecto al fémur. Sin embargo, cuando la rodilla está flexionada, los ligamentos colaterales están más relajados, y son posibles 20°-30° de rotación interna y de 30° a 45° de rotación externa en la tibia (Magee, 1997; Rasch, 1989).

El aumento de la rotación permitida mientras la rodilla se flexiona mejora las posibilidades de movimiento. Por ejemplo, esta rotación es crítica para que el cuerpo gire cuando el pie está en contacto con el suelo y estamos arrodillados, en cuclillas, sentados o de pie. Sería muy difícil y complicado cambiar de dirección si esta rotación de la rodilla no fuera posible, y dicha rotación es vital para generar rápidos cambios de dirección, como al pivotar cuando corremos o bailamos. En descarga, esta rotación permite al pie girar, como cuando se sube por un mástil, al chutar con la cara interna del tobillo en fútbol o al «presentar el talón» en ballet.

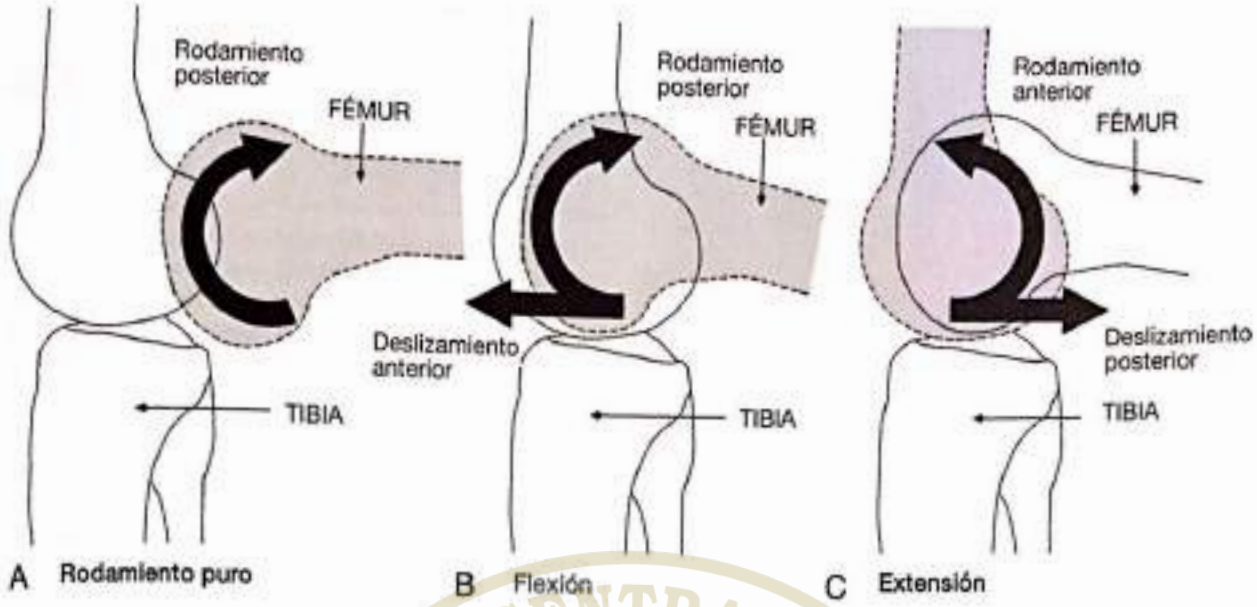



FIGURA 5.12. Movimientos de los cóndilos del fémur sobre la tibia fija (rodilla derecha, vista medial). (A) Flexión de la rodilla acompañada de rodamiento posterior; (B) deslizamiento anterior para compensar el movimiento posterior del fémur durante la flexión; (C) rodamiento anterior con deslizamiento posterior para compensar el movimiento anterior del fémur durante la extensión de la rodilla.

## *Mecanismo de bloqueo de la rodilla*

La vinculación de la rotación con los 20° finales de extensión de la rodilla tiene especial importancia para la postura y la estabilidad geniculares, y se denomina «mecanismo de bloqueo» de la rodilla (Hamill y Knutzen, 1995). Se cree que este mecanismo automático se relaciona con las restricciones que imponen el ligamento cruzado y la forma de las superficies articulares de la rodilla. El cóndilo medial del fémur se proyecta más en sentido longitudinal y medial. Esta proyección inferior del cóndilo medial es necesaria para compensar la oblicuidad lateromedial de la diáfisis del fémur en sentido distal, permitiendo a la articulación de la rodilla situarse más paralela respecto al suelo que si los cóndilos fueran del mismo tamaño y forma. Debido a esta diferencia de tamaño, cuando la rodilla se extiende en ortostatismo (cadena cinética cerrada), la excursión del cóndilo lateral se completa (bloqueo) mientras que la del cóndilo medial se mantiene incompleta. En esencia, se ha empleado toda la superficie articular del lado lateral, mientras que quedan casi 1,3 centímetros por el lado medial. Para usar el resto de la superficie articular del lado medial y alcanzar la extensión completa (posición de bloqueo), el cóndilo medial del fémur sigue su rodamiento y deslizamiento, generando rotación interna del fémur respecto a la tibia, como se aprecia en la figura 5.13B. El grado de rotación es pequeño, aproximadamente de 5° a 7° (Soderberg, 1986), aunque significativo. Esta rotación final que consigue una posición congruente de ambos cóndilos femorales respecto a los meniscos y la tibia subyacente se denomina **mecanismo de bloqueo** de la rodilla.

Este mecanismo de bloqueo de la rodilla es eficaz desde el punto de vista energético porque permite mantener la rodilla extendida durante períodos prolongados de ortostatismo sin requerir contracción muscular, ya que la rodilla no se puede flexionar sin desbloquearse primero. Para flexionar la rodilla, se produce el proceso inverso en que el músculo poplíteo rota externamente el fémur respecto a la tibia, desbloqueando la rodilla y permitiendo su flexión.

Con la rodilla en descarga, como cuando está extendida en el aire en un *battement* o *développé*, la tibia ya no está fija y es ahora el segmento más fácil de mover. Por tanto, la rotación ocurre sobre todo en la tibia respecto al fémur más que en el fémur respecto a la tibia. En tal estado, la posición de bloqueo de los cóndilos se consigue mediante la rotación externa de la tibia respecto al fémur, como se muestra en la figura 5.13A, más que con la rotación interna del fémur observada con la pierna en carga. Esta rotación externa de la tibia suele ocurrir durante los últimos 20° a 30° de extensión genicular. Esta mecánica natural de la rodilla a veces se exagera, como cuando los bailarines extienden la rodilla para mejorar la estética del *en dehors*.

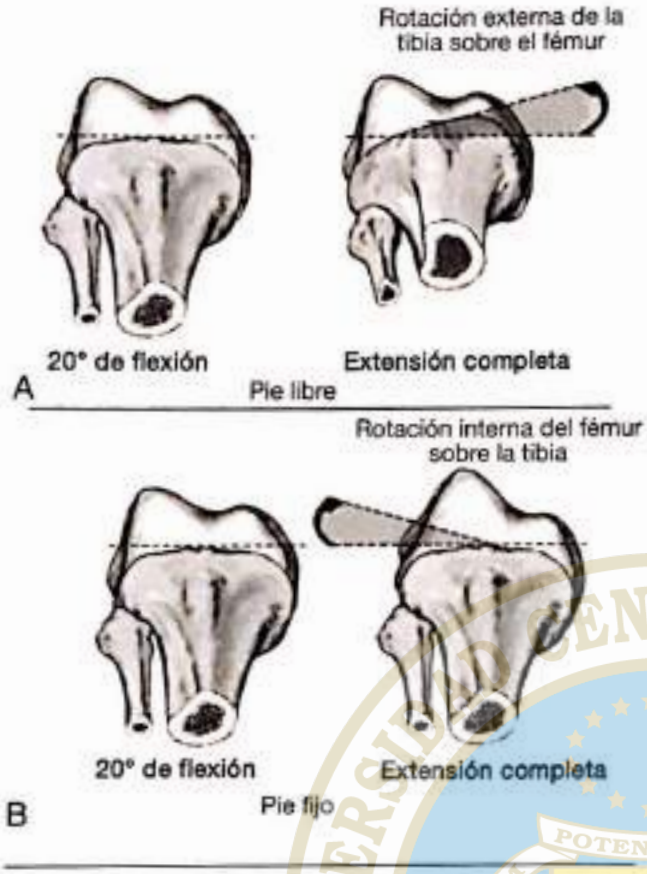



FIGURA 5.13. Mecanismo de bloqueo de la rodilla (A) en cadena cinética abierta y (B) en cadena cinética cerrada.

## Estructura y movimientos de la articulación femororrotuliana

Como se describió en el capítulo 1, la rótula se forma dentro del tendón del músculo cuádriceps femoral y es el hueso sesamoideo más grande del cuerpo humano. Recuerda que el cuádriceps se inserta en el borde superior de la rótula, y que el polo inferior de ésta se une a la tuberosidad de la tibia por medio del ligamento rotuliano o del tendón rotuliano, como se ve en la figura 5.14A. Algunos textos se refieren a esta banda como el ligamento rotuliano, porque une hueso con hueso, mientras que otros la consideran un tendón porque eso es lo que es funcionalmente, compuesto de fibras ininterrumpidas con las del tendón del cuádriceps. La rótula se localiza ligeramente por encima y delante de la articulación de la rodilla propiamente dicha, como se ve en la figura 5.14B, y las carillas situadas en su superficie posterior se articulan con la tróclea femoral un tanto cóncava, como se aprecia en la figura 5.14C y D; esta estructura se llama **articulación femororrotuliana.**

### *Funciones de la rótula*

Como sucede con otros huesos sesamoideos, la rótula potencia la capacidad del músculo en que se localiza para generar una fuerza o torque eficaces. La rótula aumenta el brazo de palanca, es decir, la distancia perpendicular de la línea de acción del cuádriceps femoral al eje de rotación de la articulación de la rodilla (figura 5.15B). Como el torque está determinado por la fuerza generada por el músculo *multiplicada por* la distancia perpendicular desde la línea de tracción del músculo hasta el eje de rotación (véase el capítulo 2), la misma fuerza de contracción del cuádriceps generará mayor torque que si no existiera la rótula y el cuádriceps discurriera más cerca del punto medio de la articulación de la rodilla (figura 5.15C). Se ha documentado una disminución de hasta 49° en el torque del cuádriceps cuando la rótula se extirpa quirúrgicamente (Levangie y Norkin, 2001). La rótula también sirve para centralizar las tracciones divergentes de los cuatro músculos del cuádriceps femoral, actúa como dispositivo de retención para prevenir que el fémur se deslice y caiga anteriormente a la tibia, y logra una mejor distribución de las tensiones compresivas sobre el fémur al aumentar la superficie de contacto. La reducción de las fuerzas compresivas se produce gracias a que la superficie posterior de la rótula está revestida de espeso cartílago articular que se deforma bajo la carga distribuyendo las fuerzas sobre un área de contacto incluso mayor. Las propiedades de este cartílago también permiten la transmisión de la fuerza del cuádriceps en ángulo durante la flexión de la rodilla, reduciendo las pérdidas debidas a la fricción. Estas últimas funciones son críticas para prevenir lesiones en el tendón del cuádriceps, porque los tendones no están pensados para sufrir grandes fuerzas compresivas o una elevada fricción.

### *Movimientos de la rótula*

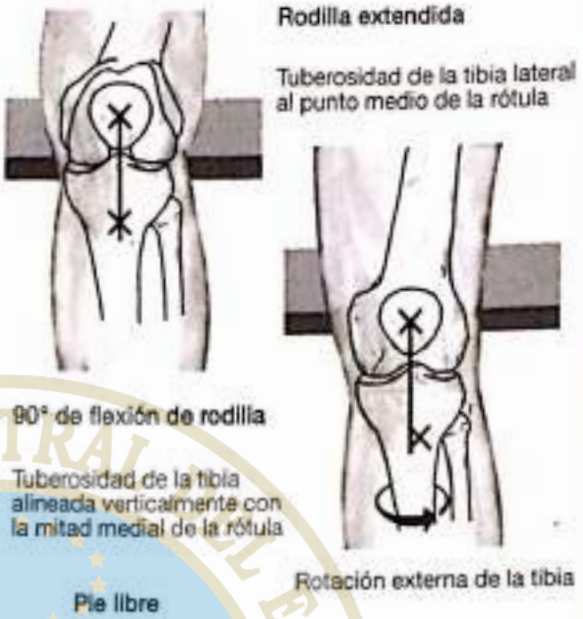
Durante la flexión y extensión de la articulación de la rodilla propiamente dicha, la rótula experimenta un complejo movimiento deslizante que implica un ascenso y descenso con muy ligeros componentes medial, lateral y rotacional. Esto hace que algunos autores consideren que se trata de una articulación sinovial plana modificada (Magee, 1997), mientras que otros no creen que sea una articulación verdadera. La rótula se mantiene a una distancia relativamente constante de la tibia debido al tendón rotuliano. Así, el cambio de posición de la rótula ocurre respecto al fémur; la rótula desciende deslizándose durante la flexión y asciende durante la extensión dentro de la tróclea femoral. Se produce una excursión de la rótula sobre los cóndilos del fémur de unos 7 centímetros de extensión a flexión completa (Frankel y Nordin, 1980). A medida que se produce esta excursión, también hay una transición continua en el tamaño de la superficie de contacto y localización que tiene implicaciones importantes para el riesgo potencial de lesiones cartilaginosas.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 5.1

### *El mecanismo de bloqueo de la rodilla*

Practica las siguientes observaciones y acude a la figura 5.13 para tener más clara la mecánica de bloqueo de la rodilla.

- **Demuestra la rotación de la tibia que acompaña a la extensión genicular en movimientos en cadena cinética abierta.** Sentado en el borde de una mesa con las rodillas flexionadas 90°, usa un bolígrafo para marcar una X en el punto medio de tu rótula y otra X en la tuberosidad de la tibia de tu pierna izquierda. Extiende lentamente la rodilla izquierda. Fíjate en el movimiento de la tuberosidad de la tibia respecto a la marca hecha en la rótula. Vuelve a pintar la marca tibial con la rodilla completamente extendida, y fíjate en que se ha desplazado lateralmente, lo cual demuestra la ligera rotación externa de la tibia respecto al fémur que ocurre en las fases finales de la extensión genicular con el pie libre, como se ve en las figuras.
- **Demuestra la rotación del fémur que acompaña a la extensión genicular en movimientos en cadena cinética cerrada.** De pie en primera posición paralela y con las rodillas flexionadas 30°. En esta posición de ligera flexión, extiende lentamente las rodillas, y de nuevo fíjate en el cambio relativo de la tuberosidad tibial y el punto medio de la rótula. La marca en el punto medio de la rótula debería estar ahora situada más medialmente, mostrando la ligera rotación interna del fémur respecto a la tibia que ocurre en las fases finales de la extensión genicular cuando el pie está fijo.




## *Restricciones del tejido conjuntivo*

Además de estar anclada caudalmente a la tibia mediante el tendón rotuliano, la rótula está estabilizada por distintas estructuras de tejido conjuntivo como se ve en la figura 5.14A. Por ejemplo, las extensiones laterales de los tendones del cuádriceps (llamados ligamentos rotulianos) y las expansiones fibrosas de los músculos vastos y la cintilla iliotibial (retináculos medial y lateral de la rótula) también aportan estabilidad lateral y medial a la rótula y son claves a la hora de prevenir que la rótula se salga de su surco (subluxaciones y luxaciones rotulianas).

## *Músculos de la articulación femororrotuliana*

Como el cuádriceps femoral se inserta directamente en la rótula, es esencial una fuerza suficiente y equilibrada de sus componentes para la estabilidad y la movilidad correcta de la rótula. Otros músculos, como el grupo de la pata de ganso y los isquiotibiales, pueden influir en la rótula menos directamente. La relación entre estos músculos es importante en los estadios iniciales de la flexión genicular, antes de que la rótula se asiente bien y sea más estable a partir de 20° de flexión.

## Alineación femororrotuliana y ángulo Q

La forma, altura, movilidad y orientación de la rótula en la tróclea femoral, así como su relación angular con la tibia, son importantes para determinar la estabilidad y trayectoria de la rótula. Esta relación angular se denomina ángulo Q. El **ángulo Q o del cuádriceps** es una medida estática del ángulo que el tendón rotuliano establece respecto a la diáfisis del fémur, como se muestra en la figura 5.16. Como la rótula tiene libertad relativa para moverse sobre el fémur cuando la rodilla está extendida, cuando el cuádriceps femoral se contrae, intentará establecer una línea recta entre su inserción proximal en el fémur y la pelvis y su inserción dis-

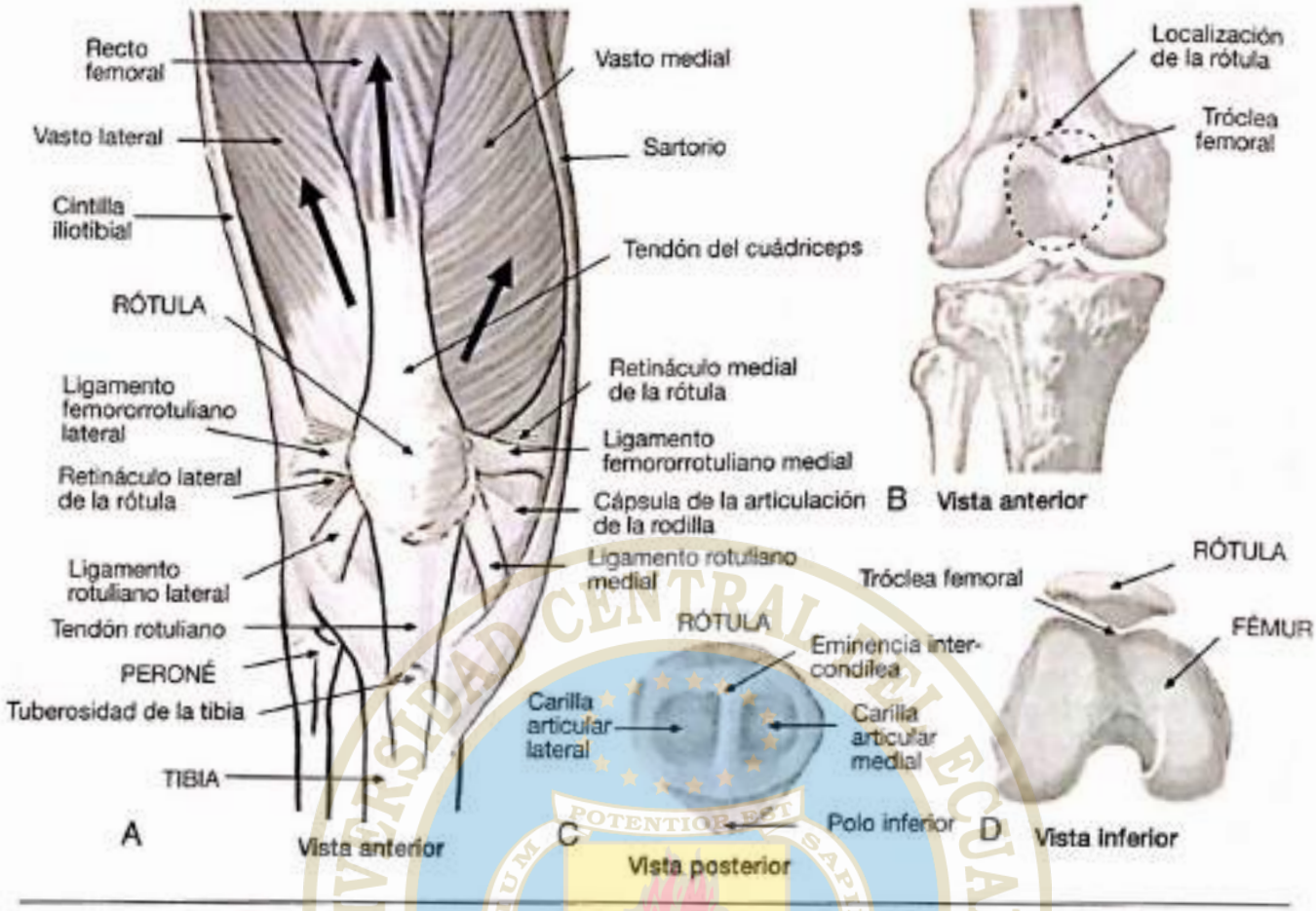



FIGURA 5.14. Articulación femororrotuliana (rodilla derecha). (A) Vista anterior de la articulación femororrotuliana y músculos y tejidos conjuntivos clave; (B) vista anterior de la localización de la rótula respecto al fémur; (C) vista posterior de la rótula mostrando sus carillas articulares; (D) vista inferior de la localización de la rótula respecto al fémur.

tal en la tuberosidad de la tibia. Así, el ángulo Q sirve de indicación de la fuerza lateral (vector) aplicada a la rótula, la cual hace que la rótula siga una trayectoria lateral para establecer una relación de línea recta entre las inserciones proximal y distal del músculo cuádriceps. Las mujeres, por lo general, presentan un ángulo Q mayor que los hombres, siendo valores normales de 8° a 15° en los hombres y de 10° a 19° en las mujeres (Diduch, Scuderi y Scott, 1997; Hamill y Knutzen, 1995; Palmer y Epler, 1990) cuando la rodilla está extendida y el cuádriceps está relajado. Aunque es controvertido, los ángulos Q superiores a 15° (Insall, Bullough y Burstein, 1979; Quirk, 1987), 17° (Hamill y Knutzen, 1995) o 20° (Caillet, 1996; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996) se consideran anormales y un factor de riesgo de sufrir problemas femororrotulianos.

## Mecánica femororrotuliana

La posición subyacente, el movimiento, y las fuerzas asociadas con la función femororrotuliana conforman dos principios importantes. Estos principios son la ley del valgo y las fuerzas de compresión femororrotulianas.

### *Ley del valgo*

Como el fémur normalmente presenta una ligera orientación oblicua interna, el ángulo Q antes descrito se forma por su tendencia a ejercer tracción lateral sobre la rótula, como se ve en la figura 5.17. Esta predisposición al movimiento lateral de la rótula se denomina **ley del valgo**. Esta tendencia de la rodilla normal se puede exagerar en rodillas anormales debido a factores estructurales y funcionales, como anteversión femoral, rodilla valga, torsión tibial, ubicación lateral de la tuberosidad tibial, rótula alta, una rótula excesivamente móvil (hipermóvil), tirantez de los estabilizadores laterales de la rótula y debilidad generalizada del cuádriceps. La trayectoria lateral hace que la rótula sobresalga de la porción lateral de la tróclea femoral. Las excesivas fuerzas de cizallamiento resultantes pueden dañar el revestimiento de cartílago situado en la cara

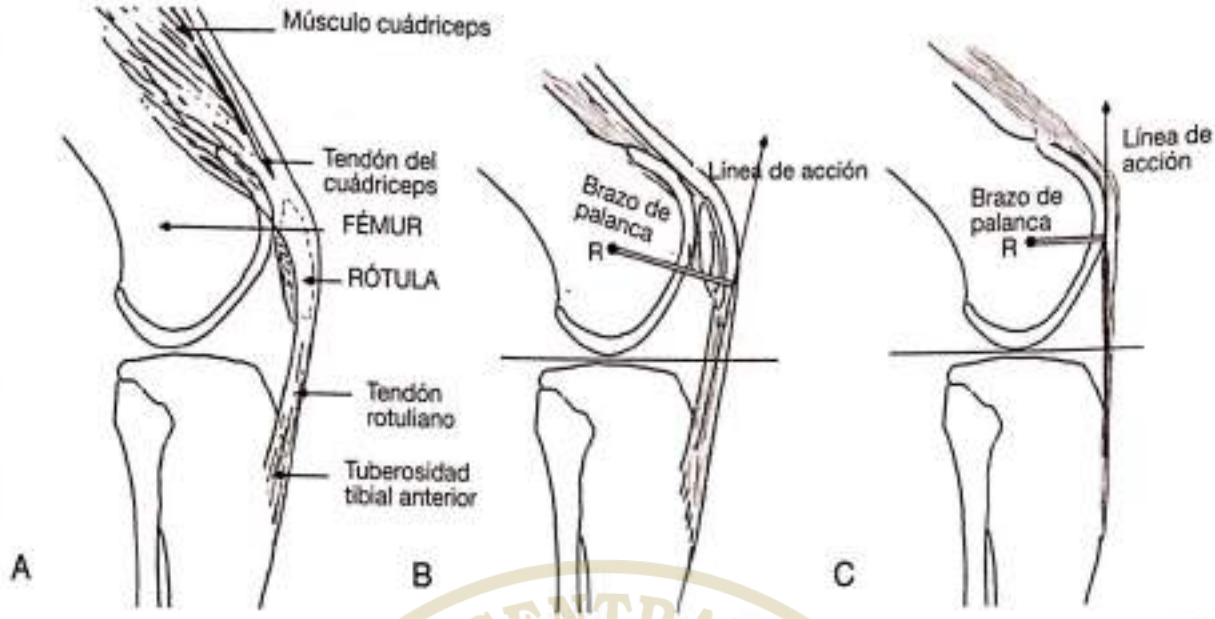



FIGURA 5.15. Función de la rótula para aumentar el brazo de palanca y el torque del músculo cuádriceps femoral (rodilla derecha). (A) Vista de perfil de la articulación femororrotuliana. (B) Aumento del brazo de palanca por la presencia de la rótula. (C) Disminución del brazo de palanca si la rótula está ausente.

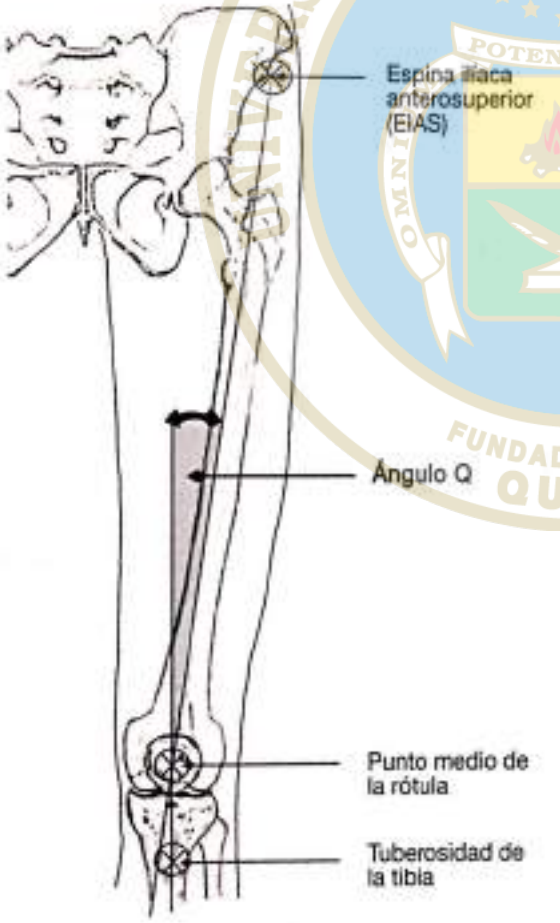



FIGURA 5.16. Ángulo Q (rodilla derecha, vista anterior).

interna de la rótula y derivar en daños y dolor femororrotulianos.

Es importante reparar en que, aunque muchos de los factores que tienden a aumentar la trayectoria lateral son estructurales y difíciles de modificar, la fuerza del cuádriceps se puede mejorar fácilmente y el músculo vasto medial está en una posición perfecta para contrarrestar esta tendencia de la rótula a seguir una trayectoria lateral. Por tanto, la fuerza adecuada y equilibrada del cuádriceps es una medida esencial para mejorar la mecánica rotuliana y prevenir las lesiones femororrotulianas.

## *Fuerzas de compresión femororrotulianas*

Otra consideración importante sobre la mecánica rotuliana son las fuerzas de compresión femororrotulianas. La **fuerza de compresión femororrotuliana** es la fuerza que presiona la rótula posteriormente contra el fémur subyacente. Esta fuerza puede llegar a ser muy intensa, y el conocimiento de su origen es importante para prevenir y aliviar problemas femororrotulianos.

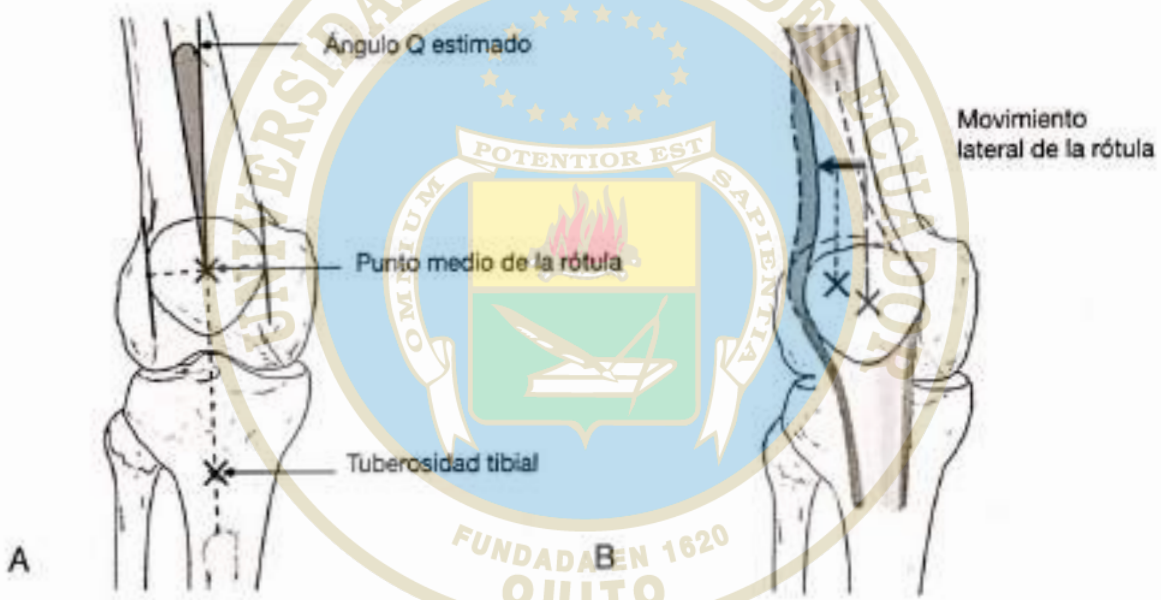
Los dos determinantes más importantes de las fuerzas de compresión femororrotulianas son la magnitud de la contracción del cuádriceps y el ángulo de flexión genicular. Es decir, cuanto más fuerte se contraiga el cuádriceps, mayor será la fuerza de compresión, y cuanto más se flexione la rodilla, mayor será la fuerza de compresión. No obstante, a menudo estos dos factores están relacionados. Por ejemplo, cuando se flexiona la rodilla en bipedestación para realizar un *grand plié*, el centro de gravedad del cuerpo se proyecta

PRUEBAS Y MEDICIONES 5.3

### *Alineación femororrotuliana: el ángulo Q y la trayectoria rotuliana*

Practica los siguientes procedimientos para medir tu ángulo Q, y fíjate en los movimientos de la rótula y en su trayectoria lateral.

1. Siéntate con las piernas extendidas hacia delante y los cuádriceps relajados. Ase los lados de la rótula entre el índice y el pulgar, y mueve la rótula de lado a lado. Fíjate en lo móvil que es con el cuádriceps relajado. El movimiento pasivo de la rótula hasta la mitad de su anchura en sentido medial y en sentido lateral se considera normal (Magee, 1997). Ahora dibuja una X en la tuberosidad tibial y otra en el punto medio de la rótula. Traza una línea que una estos puntos y extiéndela unos 7,6 centímetros más allá de la rótula. Dibuja una segunda línea desde el punto medio de la rótula hacia arriba, en línea con la espina ilíaca anterosuperior de la pelvis. El ángulo descrito con su vértice en el punto medio de la rótula es el ángulo Q. Emplea un goniómetro para medirlo y fíjate en si está por encima de los valores normales para tu sexo.
2. Ahora tensa lentamente el cuádriceps, centrándote en ejercer tracción ascendente hacia la cintura sobre la rótula y sin dejar que la rodilla se desplace hacia atrás en hiperextensión. Al tiempo que mantienes el cuádriceps contraído, dibuja otra X en el punto medio de la rótula, y fíjate en cualquier excursión lateral de ésta que se haya producido, como en B. Además, con el cuádriceps firmemente contraído, ase los lados de la rótula entre el índice y el pulgar y trata con cuidado de mover la rótula lateralmente. Fíjate en lo limitado que es el movimiento pasivo de la rótula cuando el cuádriceps está contraído y en lo importante que es este músculo para estabilizar y dirigir el movimiento de la rótula.




UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

más posterior al eje de rotación de la articulación de la rodilla a medida que se ejecuta el *plié*. Esto aumenta el efecto que la gravedad ejerce sobre las rodillas aumentando la tendencia a flexionarlas más (aumento del brazo de palanca de la resistencia), lo cual exige más fuerza al cuádriceps para contrarrestar este efecto de la gravedad y, por tanto, se genera una mayor fuerza de compresión.

Al mismo tiempo, a medida que se flexiona la rodilla, el efecto del ángulo cambiante entre el tendón del cuádriceps y el tendón rotuliano también contribuye al incremento de la fuerza de compresión. Cuando la rodilla está completamente extendida o en muy ligera flexión, la rótula experimenta una tracción ascendente casi paralela al fémur, y el tendón del cuádriceps y el tendón rotuliano están casi alineados. De ahí que esta fuerza actúe sobre todo en dirección vertical y que la fuerza compresiva sea pequeña o nula (C 1) con independencia de la magnitud de la tensión del cuádriceps (Fm 1), como se ve en la figura 5.18A. No obstante, a medida que se sigue flexionando la rodilla, el ángulo entre el tendón del cuádriceps y el tendón rotuliano cambia; ahora la fuerza no actúa sólo verticalmente, sino que hay un componente mayor de la fuerza del cuádriceps que actúa comprimiendo la rótula contra el fémur subyacente (C 2), como se ve en la figura 5.18B. Así, al aumentar la flexión genicular, se produce un au-

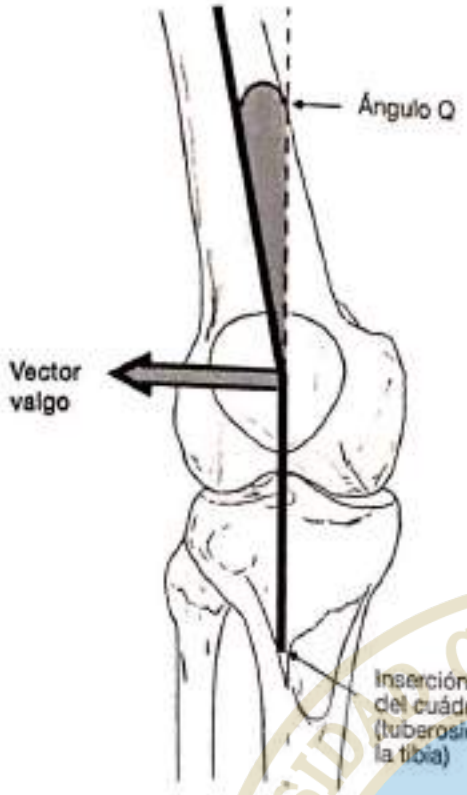



FIGURA 5.17. Ley del valgo. Orientación del cuádriceps en el plano frontal, ángulo Q y vector valgo consiguiente (rodilla derecha, vista anterior).

mento de la fuerza del cuádriceps (Fm 3) y del porcentaje de esta fuerza que se dirige hacia la articulación femororrotuliana y actúa multiplicando las fuerzas compresivas (C 3), como se aprecia en la figura 5.18C.

Deducido de actividades de la vida diaria, a medida que aumentan el ángulo de flexión genicular y la magnitud de la contracción del cuádriceps al pasar de caminar a subir escaleras o a practicar sentadillas completas, se ha calculado que las fuerzas de compresión se elevan desde 0,5 a 1,2 hasta 3,3 y luego 7,6 veces el peso del cuerpo (Reilly y Martens, 1972). En el caso de una bailarina que pese 54 kilogramos, estas actividades se asociarían con 27 a 65, 180 y 414 kilogramos de compresión, respectivamente. Ejemplos de movimientos de danza en que las fuerzas de compresión femororrotuliana son muy elevadas son el *grand plié*, el *tendu*, las tijeras, los movimientos para levantarse del suelo y los saltos. Se ha calculado que los saltos grandes se asocian con fuerzas de hasta 20 veces el peso del cuerpo (Dowson y Wright, 1981), es decir, 1.089 kilogramos de fuerza compresiva para una bailarina de 54 kilogramos de peso.

## Análisis muscular de los movimientos fundamentales de la rodilla

Como se ha descrito previamente, la rodilla es sobre todo capaz de flexión y extensión, con algo de rotación transversal. La articulación de la rodilla actúa sosteniendo el peso del cuerpo así como cambiando la longitud de la extremidad inferior de acuerdo con las exigencias del movimiento. Por ejemplo, al caminar, mediante una alternancia precisa de flexión y extensión de la rodilla, el movimiento vertical del centro de gravedad del cuerpo se reduce al mínimo y se ahorra mucha energía. Un resumen de los músculos clave capaces de generar los movimientos fundamentales de la rodilla aparece en la tabla 5.2.

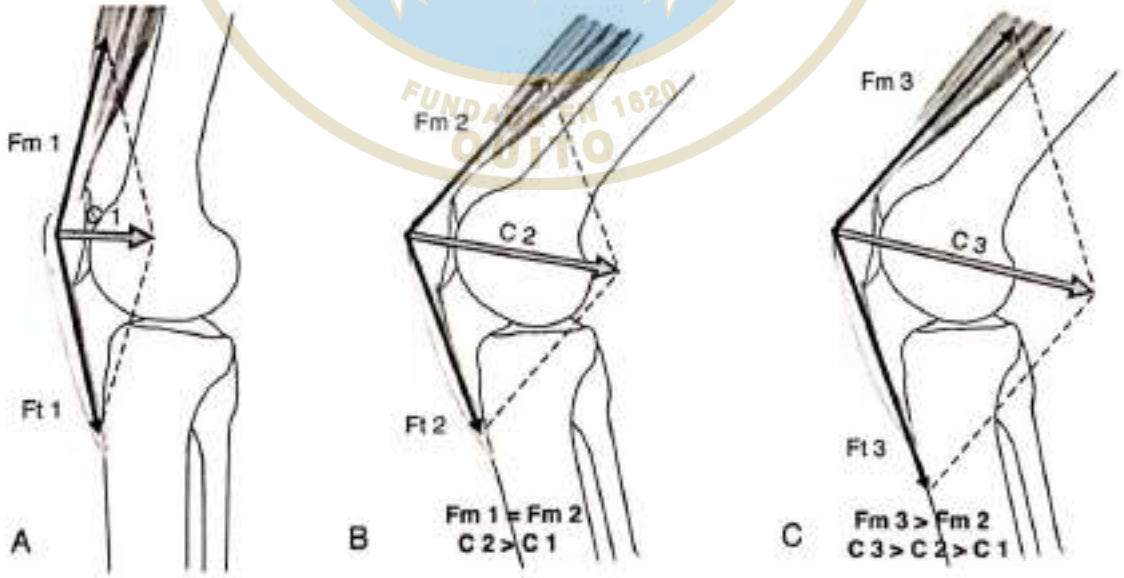



FIGURA 5.18. Aumento de la fuerza de compresión femororrotuliana. (A) Rodilla casi extendida; (B) rodilla un poco flexionada; (C) mayor magnitud de contracción del cuádriceps.

## Flexión de la rodilla

Recuerda que la flexión de la rodilla implica el acercamiento de las superficies posteriores del muslo y la pierna. Los isquiotibiales y otros músculos flexores de la rodilla (tabla 5.2) se usan concéntricamente cuando se produce la flexión contra la gravedad o resistencia, como en los *curls* de rodilla en decúbito prono (tabla 5.3E, pág. 277) o de pie (tabla 5.3F, pág. 278). Los músculos flexores de la rodilla también se usan concéntricamente para flexionar la rodilla mientras la pierna oscila hacia atrás al caminar y al correr. En danza, los flexores de rodilla también se emplean para acortar la longitud de la extremidad y facilitar los giros, como en *fouettés-pirouettes*, y para dar la forma deseada en un *passé*, una *attitude* o a la pierna retrasada del estilizado *stag leap* (*grand jeté* con la pierna anterior en *plié*), como se ve en la figura 5.19.

No obstante, en ortostatismo con el peso del cuerpo soportado por el pie, la situación es diferente. Una vez que se desbloquea la rodilla y empieza a doblarse, la gravedad se convierte en la fuerza primaria y tiende a potenciar la flexión de la rodilla. En esas circunstancias, los flexores geniculares no trabajan en la flexión, sino que son los músculos extensores los que trabajan para mantener el ángulo de flexión de la rodilla (isométricamente), como se ve en la figura 5.20, o para controlar la flexión (excéntricamente), como cuando el cuerpo desciende hasta el suelo. Así, en la danza, los extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) cumplen este papel «antigravitatorio» o postural sobre la pierna o piernas de apoyo con mucha frecuencia. En movimientos con impacto como saltos, esta flexión excéntrica de la rodilla es vital para amortiguar los choques y desacelerar la caída del cuerpo.

## Extensión de la rodilla

Recuerda que la extensión de la rodilla implica su «enderezamiento» o la disminución del ángulo de flexión geniculer. Los cuatro músculos cuádriceps son los extensores de la rodilla y se emplean concéntricamente para extenderla cuando el pie está libre y en carga. Cuando el pie está libre (cadena cinemática abierta), el cuádriceps se usa para extender la rodilla isométricamente en ejercicios como las elevaciones de la pierna extendida (tabla 5.3B, pág. 276) y concéntricamente en ejercicios como la extensión terminal de la rodilla (tabla 5.3C, pág. 276) y las extensiones de rodilla en sedestación (tabla 5.3D, pág. 276). En la danza, los extensores de la rodilla se pueden usar concéntricamente para extender la rodilla de la pierna que trabaja en el *développé* o isométricamente para mantenerla extendida en el *tendu*, los *dégagés*, *battements* y el movimiento de la figura 5.21.

Con el pie en carga (cadena cinética cerrada), el cuádriceps actúa concéntricamente para extender la rodilla. Este movimiento se usa al subir escaleras o al levantarse de una silla. Ejemplos de ejercicios de fortalecimiento que incluyan esta forma de extensión de rodilla son las sentadillas contra la pared (tabla 5.3G, pág. 278), el *plié/press* de piernas (tabla 5.3H, pág. 279) y las tijeras (tabla 5.3I, pág. 279). En danza, esta forma de extensión genicular se usa al levantarse de un *plié* o un *fondu*. El poderoso uso concéntrico de los músculos extensores de la rodilla también es operativo en movimientos como el despegue de un salto para conseguir la elevación vertical deseada del centro de gravedad e impulsar el cuerpo en el espacio, como con la pierna izquierda de la figura 5.21. La extensión de rodilla también se emplea isométricamente en danza para mantener extendida la rodilla de la pierna de apoyo en muchos movimientos practicados en la barra o en el centro de la sala.

## Rotación de la rodilla

Los músculos rotadores internos y externos de la rodilla enumerados en la tabla 5.2 son claves para controlar los movimientos de torsión o pivotaje del cuerpo cuando el pie está en el suelo y los asociados con cambios de dirección. En la danza, las sutiles rotaciones de la tibia también se usan a ve-

**Tabla 5.2. Movimientos y músculos de la rodilla que los producen**

| Movimiento de la rodilla | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| Flexión | Isquiotibiales | Popliteo*<br>Recto interno<br>Sartorio<br>Gastrocnemio |
| Extensión | Cuádriceps femoral | Tensor de la fascia lata |
| Rotación externa | Bíceps femoral | Tensor de la fascia lata |
| Rotación interna | Semitendinoso<br>Semimembranoso<br>Popliteo (cuando el pie está libre) | Recto interno<br>Sartorio |

* Desbloquea la rodilla al inicio de la flexión.

FIGURA 5.19. Movimiento de danza que muestra flexión de la rodilla por parte de los agonistas asociados.
Fotografía: Roy Blakey. Bailarín: Douglas Nielsen en *Last Call* de Viola Farber.

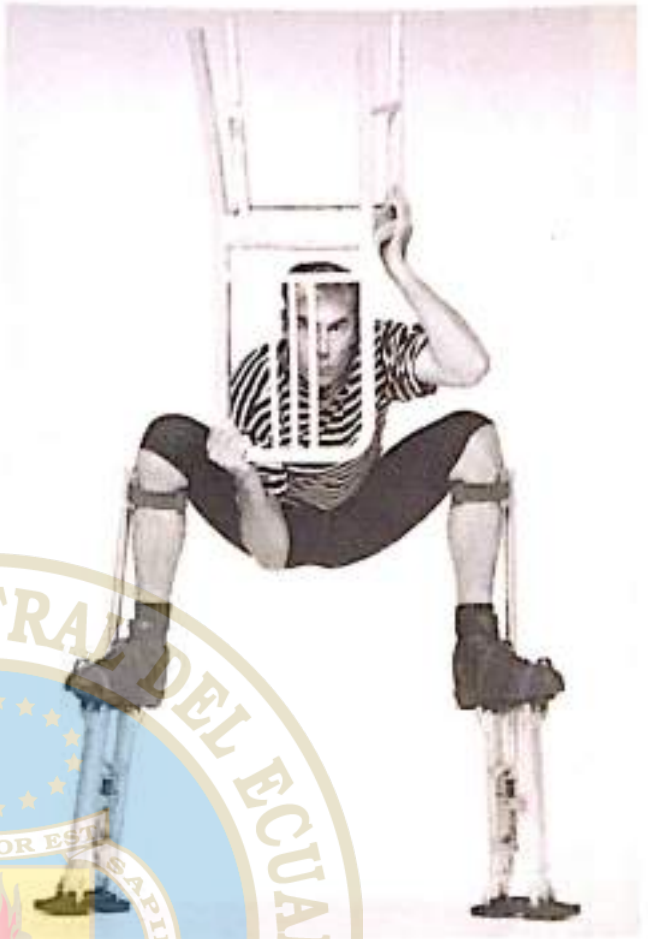


FIGURA 5.20. Extensores de la rodilla trabajando isométricamente para impedir que la gravedad aumente la flexión de rodilla.
Fotografía: Roy Blakey. Bailarín: Douglas Nielsen.

ces cuando el pie está en el aire para mejorar la estética del movimiento. Por ejemplo, en una *attitude en arrière*, se favorece en ocasiones una ligera rotación externa de la tibia y *en dehors* del pie en el ballet clásico para lograr el efecto de la línea de apertura deseada de la extremidad inferior. Con menos frecuencia, las rotaciones de la tibia se incorporan al movimiento, como en el *rond de jambe en l'air* que comprende el movimiento circular del pie *(en dehors y en dedans)*. Con este movimiento, los bailarines aprenden a mantener la rodilla estática mientras el pie describe un semicírculo, o un movimiento oval o en forma de lágrima (dependiendo del método del profesor).

## Consideraciones clave sobre la rodilla respecto al movimiento del cuerpo

Al analizar movimientos más complejos en que intervienen múltiples articulaciones, es importante tener en cuenta las acciones de los músculos multiarticulares y, específicamente, la paradoja de Lombard.

### *Acciones de los músculos biarticulares*

De los doce músculos que actúan sobre la articulación de la rodilla, todos excepto los vastos y el poplíteo cruzan la articulación coxofemoral o la articulación tibioastragalina además de la rodilla. Cuando estos músculos se contraen para mover la rodilla, también tienden a mover otras articulaciones. En algunos casos, las acciones múltiples de un músculo dado se aplican juntas. Por ejemplo, en un *développé en avant*, las acciones del recto femoral (flexión coxofemoral y extensión genicular) se emplean para generar el movimiento. Sin embargo, se trata de una situación difícil para el músculo porque se acorta en ambas articulaciones y alcanza con tal facilidad esa posición acortada que le resulta difícil generar fuerza (insuficiencia activa). Y muchos bailarines pueden experimentar molestias o calambres en el recto femoral cuando practican un *développé en avant*, sobre todo cuando tratan de aumentar la altura de la pierna, hasta que desarrollan suficiente fuerza en los otros flexores de la cadera, como el psoasilíaco.

FIGURA 5.21. Movimiento de danza que muestra extensión de la rodilla.
© Martha Swope. Bailarina: Susan McLain en *Diversion of Angels* con la Martha Graham Dance Company.

Sin embargo, con más frecuencia, las acciones múltiples no se requieren simultáneamente, y el músculo conserva la misma longitud o se elonga en una articulación y se acorta en la otra. Un ejemplo del primer caso se da en los *relevés*, donde el músculo gastrocnemio mantiene la misma longitud en la articulación de la rodilla, ya que aquí no ocurre ningún cambio en el ángulo articular, al tiempo que se acorta en la articulación del tobillo para ejecutar flexión plantar. Un ejemplo del segundo caso ocurre cuando se extiende la pierna hacia atrás desde un *passé* (como en un *arabesque*), en que el recto femoral se elonga en la articulación coxofemoral (mediante hiperextensión) al tiempo que se acorta en la articulación de la rodilla para extenderla. Esto último permite disponer al músculo de una longitud más favorable para mantener la generación de tanta fuerza y diferir la insuficiencia activa. El empleo consciente de este principio al practicar este movimiento –es decir, concentrarse en hiperextender por completo la cadera y sentir el estiramiento del recto femoral en la cadera y cómo los extensores de la cadera (isquiotibiales) elevan la rodilla, antes de extenderla– a menudo ayuda a mantener una mayor altura de la pierna mientras se extiende la rodilla.

### *Paradoja de Lombard*

Como se expuso en el capítulo 2, según la paradoja de Lombard, cuando se contraen simultáneamente el cuádriceps femoral y los isquiotibiales, predomina la extensión de la rodilla y la cadera (Lombard y Abbott, 1907). Esta cocontracción del cuádriceps y los isquiotibiales que extiende la rodilla y la cadera se emplea con frecuencia en la vida diaria así como en movimientos de danza, como al levantarse de una silla, en la fase ascendente de los *pliés* y en la fase de despegue de los saltos.

## Consideraciones especiales sobre la rodilla en la danza

Cuando se tiene en cuenta la mecánica de las articulaciones femorotibial y femororrotuliana, hay varios aspectos en la danza que precisan más atención. Estos temas son el uso del *grand plié*, el giro de la rodilla *en dehors* y otros movimientos, la hiperextensión de la rodilla, y el uso de músculos específicos para lograr el efecto estético deseado y mantener bajo el riesgo de lesiones.

### *El* grand plié

Es grande la controversia sobre el uso de la sentadilla completa o *grand plié*. Así, preocupan las grandes tensiones que soportan los meniscos y el ligamento cruzado posterior (Escamilla, 2001) y la fuerza luxante debida a la aproximación de la pantorrilla y el dorso del muslo y al componente paralelo de los músculos isquiotibiales (ángulo de inserción de los músculos: véase el capítulo 2), así como las elevadísimas fuerzas de compresión femororrotuliana. Estos aspectos han llevado a recomendar la limitación de la flexión activa de las rodillas (como sentadillas, *pliés* y tijeras) a 90° o a una posición en que el muslo esté paralelo al suelo (sentadilla paralela) para los deportistas recreativos o personas mayores en baja forma.

Sin embargo, la aplicación de estas recomendaciones a los deportistas competitivos, entre los que se incluyen las bailarinas y bailarines en buena forma, es muy discutible. Los críticos de estas medidas conservadoras afirman que se necesita una mayor amplitud de movimiento para desarrollar la fuerza y potencia explosiva adecuadas para el rendimiento deportivo a gran nivel. También afirman que estos ejercicios, si se ejecutan con una buena técnica y progresan apropiadamente, pueden tener un efecto protector mediante el fortalecimiento de las estructuras de la rodilla y la musculatura implicada, de modo que se pueden soportar mayores fuerzas durante la actividad antes de que sobrevengan las lesiones.

Si este problema se relaciona específicamente con la danza, existen varios factores adicionales que se deberían tener en cuenta. Primero, el riesgo potencial para la rodilla posiblemente disminuya mediante (1) el empleo tradicional de música y tempo para favorecer una subida y bajada lenta y controlada de un *plié*; (2) la orden habitual de «levantarse sobre las rodillas» así como evitar los titubeos, o «sentarse» al final del *plié* y mantener un movimiento continuo; (3) el uso en algunos tipos de danza de una barra que ayuda a mantener el equilibrio y que en algunos casos evita cargar todo el peso sobre las rodillas; (4) la ausencia de pesos externos (como mancuernas), de modo que el único peso sea el del cuerpo, y (5) el empleo habitual de posiciones *en dehors* que puedan reclutar otros músculos, como los aductores de la cadera, y reducir la magnitud requerida de contracción del cuádriceps y las fuerzas compresivas femororrotulianas resultantes. Además, la ejecución de *pliés* en distintas posiciones puede producir beneficios y riesgos ligeramente distintos. Por ejemplo, los *grand pliés* en tercera y cuarta posiciones en el centro de la sala no sólo requieren bastante fuerza de los cuádriceps, sino también niveles elevados de destreza para mantener el equilibrio, el *en dehors* y la alineación, y se ha descubierto que implican una mayor rotación longitudinal general de la rodilla respecto a los *grand pliés* en segunda posición (Barnes *et al.*, 2000).

Finalmente, hay que plantearse los beneficios potenciales de la fuerza funcional. Muchas bailarinas presentan unos niveles menores de fuerza absoluta en el cuádriceps que otros tipos de deportistas, o que los que podrían desear (Kirkendall

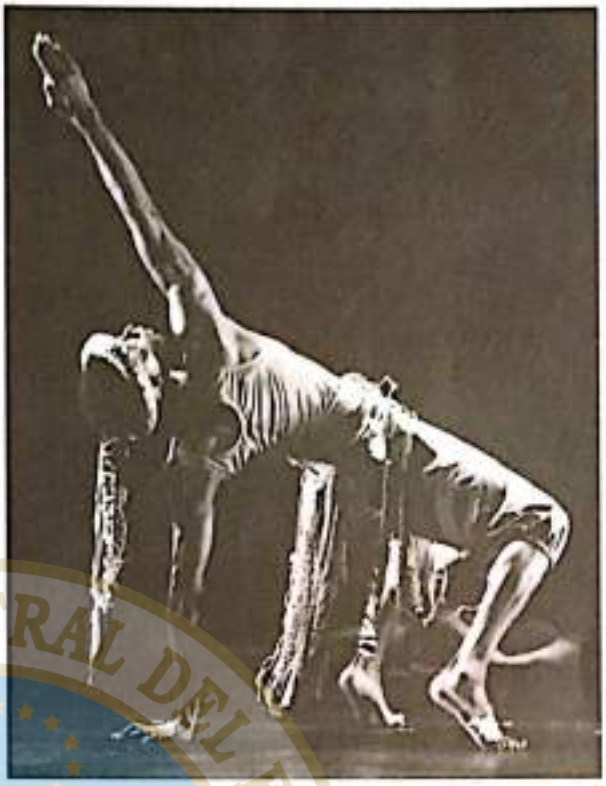


FIGURA 5.22. Ejemplo de movimiento de danza que exige grandes niveles de flexión de rodilla, fuerza del cuádriceps y coordinación neuromuscular.
Fotografía por cortesía de Keith Ian Polakoff. Bailarín: Dwayne Worthington, del CSULB.

ÓRDENES EN LA DANZA 5.1

### «Elévate sin apoyarte en las rodillas»

Los profesores usan a veces la orden «elévate sin apoyarte en las rodillas» para reducir la tensión sobre ellas cuando los bailarines practican movimientos exigentes como *grand pliés* o movimientos de acercamiento al suelo. Esta orden se especifica a menudo diciendo «no dejes que el peso caiga sobre las rodillas». Se pueden interpretar estas órdenes desde una perspectiva anatómica de varias formas. Una interpretación es que se favorece el uso de los músculos para controlar la movilidad de las rodillas, en vez de permitir un momento excesivo y una dependencia de los anclajes pasivos. Por ejemplo, la contracción excéntrica de los músculos cuádriceps (junto con la cocontracción de muchos otros músculos) se usa para controlar la flexión de la rodilla mientras el cuerpo desciende al suelo; y cuando se aproxima la flexión completa, esta contracción muscular se mantiene en vez de relajar el cuádriceps y «sentarse» durante el *plié* dependiendo así de tejidos pasivos como los ligamentos de la rodilla para mantener la postura flexionada. Este método es ventajoso porque se consigue una mayor estabilidad articular y menor tensión ligamentaria.

Otra interpretación de esta orden se relaciona con la contracción de los músculos situados por encima de la rodilla, en especial de la cadera y el torso. Por ejemplo, usar excéntricamente los extensores de la cadera y ejercer tracción ascendente con los abdominales y los extensores de la espalda para mantener la posición deseada del torso respecto a la rodilla durante la flexión de ésta pueden reducir la tensión sobre esta articulación. La influencia potencial del empleo de los músculos sobre las fuerzas que soporta el cuerpo quedó demostrada en un estudio que incluyó órdenes para mejorar la técnica de salto, lo cual determinó un mayor uso de los isquiotibiales y en una reducción del 22% en el pico de las fuerzas de impacto (Hewett *et al.*, 1999).

*et al.*, 1984; Koutedakis, Agrawal y Sharp, 1998; Koutedakis *et al.*, 1997; Mostardi *et al.*, 1983), y los *grand pliés* (así como los saltos y *hinges*) son algunos de los pocos ejercicios con suficiente sobrecarga para mejorar la fuerza con eficacia. No aportar suficiente estímulo para mejorar la fuerza del cuádriceps y no practicar patrones motores que incluyan una acusada flexión genicular en una forma más lenta y controlada suponen un triste servicio para los bailarines y aumenta su riesgo cuando la coreografía exige el uso de toda la flexión genicular, a menudo a un tempo más rápido y en un patrón de movimientos más complejo en las clases, ensayos o actuaciones (figura 5.22).

Teniendo presentes todos estos factores, aunque parezcan prudentes las recomendaciones sobre limitar la flexión de las rodillas a 90° para los deportistas recreativos que estén comenzando, es necesario otro enfoque en el caso de la danza. Uno de los métodos recomendados consiste en usar juiciosamente los *grand pliés* en bailarines con «rodillas sanas», limitando las repeticiones consecutivas y prestando especial atención a la técnica y la forma física y nivel de destreza. Destreza y fuerza suficientes son necesarias para controlar la bajada y subida, desplazando las rodillas lateralmente tanto como lo permita la apertura de la cadera, y manteniendo la pelvis vertical, como se ve en la figura 5.23A, evitando el error habitual de inclinar el torso y la pelvis en sentido anterior con la resultante rotación interna del fémur y la orientación medial de las rodillas, como se ve en la figura 5.23B. Teniendo en cuenta las fuerzas luxantes en flexión completa, se debe aconsejar a los bailarines que mantengan una contracción activa de los músculos con una rápida inversión de la dirección al llegar al final de los *pliés* para mejorar la estabilidad articular y evitar una posición en que el soporte dependa únicamente de los elementos pasivos como los ligamentos.

Debido a la mayor fuerza inherente y los retos para el equilibrio, se puede emplear un método más conservador

FIGURA 5.23. *Grand plié en* primera posición con colocación (A) ideal y (B) errónea del cuerpo.

FIGURA 5.24. Ejemplo de *hinge* (inclinación lateral), como se ve en la técnica Graham.
Fotografía por cortesía de Scott Peterson. Bailarina: Susan McLain.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIA SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

cuando no se usa «la barra» en *grand pliés* en las posiciones primera, tercera, cuarta y quinta, como suele pasar en la danza moderna y jazz. Estos movimientos en el centro de la sala son para bailarines más expertos que no experimentan molestias en las rodillas; y cuando se enseñan estos movimientos a bailarines más bisoños, se debe emplear una progresión lógica. Por ejemplo, la destreza se puede adquirir (1) mirando a la barra y con apoyo bilateral; (2) de lado en la barra con apoyo unilateral decreciente; (3) en el centro de la sala con una amplitud de movimiento creciente de acuerdo con la capacidad para mantener el equilibrio y la posición del cuerpo, y (4) en el centro de la sala con los retos de una coreografía específica que añada movimientos descentrados de brazos y del torso.

## *Los* hinges

Los *hinges* adoptan distintas formas, pero, por lo general, implican mantener el torso en línea con las rodillas, que se flexionan y descienden hacia el suelo en diagonal. Representan un elemento importante del vocabulario de la danza jazz y algunas formas de danza moderna, como las técnicas Horton y Graham, como se muestra en la figura 5.24. La posición del torso vuelve este movimiento más complicado que el *grand plié* porque requiere más fuerza del cuádriceps y mayor coordinación neuromuscular. De ahí que se recomiende una progresión bien concebida y similar a la usada con los *grand pliés* para bailarines menos expertos o en baja forma, o para quienes empiecen a practicar este movimiento. Un ejemplo de progresión sería: (1) una serie de sentadillas contra la pared (tabla 5.3G, pág. 278) practicadas muy lentamente o con ayuda de los brazos; (2) practicar un *hinge* de lado en la barra con apoyo unilateral y aumentar gradualmente la amplitud manteniendo siempre la figura; (3) en el centro de la sala con un aumento gradual de la amplitud manteniendo siempre la figura, y (4) sumando de forma gradual retos propios de la coreografía, como la suma de movimientos del torso o los brazos o movimientos clásicos encadenados. Cuando se haya adquirido la fuerza y destreza necesarias, los riesgos disminuyen espectacularmente, y los *hinges* suponen un elemento artístico importante y un medio eficaz para desarrollar fuerza y destreza en muchos movimientos exigentes en que se precisa el descenso del cuerpo hacia el suelo o el levantamiento del cuerpo del suelo.

## *Torsión de la rodilla en danza*

Aunque la movilidad rotatoria relativa entre la tibia y el fémur aumente la capacidad de generar movimientos funcionales, la rotación excesiva puede provocar tensiones ligamentarias y femororrotulianas potencialmente perjudiciales. Por eso, hay que tener especial cuidado de evitar la rotación excesiva en los *en dehors* y otros movimientos de danza.

### *En dehors* forzado

Algunos bailarines recurren a una rotación excesiva desde la rodilla hacia abajo para ejecutar los *en dehors*, práctica que se denomina «torciendo la rodilla». Para evitar el *en dehors* forzado durante un movimiento dinámico, es importante recordar que la flexión de la rodilla permite una mayor rotación de la tibia debido a la laxitud de los ligamentos, así como la rotación externa del fémur asociada con el desbloqueo de la rodilla. Así, cuando se flexiona la rodilla, como en la base de un *plié* o durante un desplazamiento del peso, es sencillo desplazar el talón adelante para aumentar el *en dehors* de los pies. Sin embargo, esta práctica se debe evitar porque, al extender la rodilla, el fémur rota internamente y los ligamentos se tensan, y sobrevienen torsiones no deseables en la rodilla si el pie está en una postura en valgo excesivo (figura 5.25). Por el contrario, cuando se extienden las rodillas, es fácil exagerar la rotación interna asociada del fémur si no se mantiene la rotación externa de la articulación coxofemoral. Una vez más, la porción distal de la tibia se

FIGURA 5.25. Bailarina de pie en primera posición mostrando un *en dehors* extremo y forzado.

mantiene en mayor rotación externa mediante el apoyo del pie en el suelo mientras el fémur gira internamente, lo cual genera estrés y torsión en la rodilla. Ambas prácticas, poco deseables, también sitúan la tuberosidad de la tibia más lateral respecto al punto medio de la rótula, aumentando el ángulo Q y el estrés femororrotuliano.

Por desgracia, el grado de rotación «normal» por debajo de la rodilla y no potencialmente dañino es discutible. En realidad, el entrenamiento en formas de danza en que se trabaja la perfección del *en dehors* exige que porciones significativas de la apertura se generen en la rodilla, el tobillo-pie, o ambos. En un estudio sobre bailarines de ballet de elite, sólo aproximadamente el 58% de la apertura activa procedió de la cadera (Hamilton *et al.*, 1992). Mientras que algunas personas critican la apertura completa de los pies, el tema se complica porque esta posición de los pies a edad temprana puede facilitar el desarrollo de una rotación externa de la cadera, y no se ha demostrado que la incidencia de lesiones de rodilla sea mayor en las escuelas que exigen una apertura mayor frente a las escuelas que permiten una posición menos lateral de los pies. Además, cierta rotación de la tibia es normal. Por ejemplo, se documentaron de 7° a 14° de rotación externa al subir escaleras (Hamill y Knutzen, 1995). En un estudio sobre danza, se documentaron 27° de rotación externa de la rodilla en los *plié* y 22° de rotación externa de la rodilla en la pierna de apoyo durante un *penché* (Worthen, Patten y Hamill, 1998). Así, se necesitan nuevos estudios para aclarar la relación entre la rotación de la tibia y el riesgo de lesiones.

Sin embargo, sean cuales fueren las exigencias estéticas de la escuela de danza, es lógico que cuanta mayor proporción de la apertura se origine en la cadera, menor será la rotación requerida de la rodilla hacia abajo. La necesidad de subrayar el desarrollo completo de la rotación externa de la cadera está respaldada por datos según los cuales: (1) los estudiantes de ballet muestran una mayor amplitud activa de rotación externa de la cadera, pero no de la rotación externa por debajo de la cadera en comparación con estudiantes universitarios no bailarines (Khan *et al.*, 1997); (2) las bailarinas de ballet de elite con más lesiones presentan valores más bajos del grado total de apertura (Hamilton *et al.*, 1992), y (3) según la experiencia clínica personal, muchos bailarines con el síndrome de dolor femororrotuliano experimentan alivio de los síntomas cuando mejora su técnica en las aperturas.

Para reducir la tensión sobre la rodilla, se potencia el uso de los músculos rotadores externos de la cadera para dirigir la rodilla sobre el pie durante movimientos como *plié*, y para evitar el deslizamiento del talón hacia delante cuando la rodilla está flexionada. Además, hay que mantener toda la rotación externa posible en el extremo proximal del fémur (articulación coxofemoral), y no exagerar la ligera rotación interna del fémur respecto a la tibia (asociada con el mecanismo de bloqueo de la rodilla) cuando se extienden las rodillas en movimientos como levantarse de un *plié*. Cuando el pie está libre, como en *dégagés*, el acento se pone en rotar la cadera y trasladar la rotación externa por la pierna de modo que «se adelante el talón» en vez de «desplazarlo hacia delante» mediante una excesiva rotación tibial. Por experiencia de la autora, la mayoría de los bailarines no emplean por completo ni mantienen la rotación externa potencial de la cadera que sus cuerpos poseen.

### Tensión en valgo en danza

El trabajo de suelo en danza jazz y moderna a menudo incluye posiciones que incorporan rotación interna de la extremidad atrasada, donde la pierna y el pie miran atrás,

ÓRDENES EN LA DANZA 5.2

**«Adelanta el talón»**

Los profesores a veces usan la orden «adelanta el talón» o «presenta el talón» para potenciar el *en dehors* en los movimientos en cadena cinética abierta en que el pie se mueve por el suelo o se levanta del suelo, como en un *tendu* o un *dégagé*.

Una interpretación anatómica pasa por concebir el muslo y la pierna como una unidad continua en donde la rotación que empieza en el extremo proximal (articulación coxofemoral) genera rotación en el extremo distal, de modo que el talón gira desde su posición original, mirando hacia atrás (con la pierna en paralelo), medialmente y hacia delante. Para reforzar este concepto, se emplea a veces la imagen de extender la pierna y trazar una espiral en torno al eje longitudinal medio de la extremidad. Este movimiento se puede concebir como el de un destornillador, donde la rotación del extremo proximal generado por la mano provoca la rotación del extremo distal. En contraste con este inicio deseado, algunos bailarines responden a esta orden adelantando el talón y rotando externamente la tibia respecto al fémur en la articulación de la rodilla. De ahí que pueda ser útil incorporar la cadera en esta orden, como pidiendo que se inicie la rotación atrasando el trocánter y prosiguiendo la rotación por la pierna de modo que el talón gire «hacia dentro y adelante».

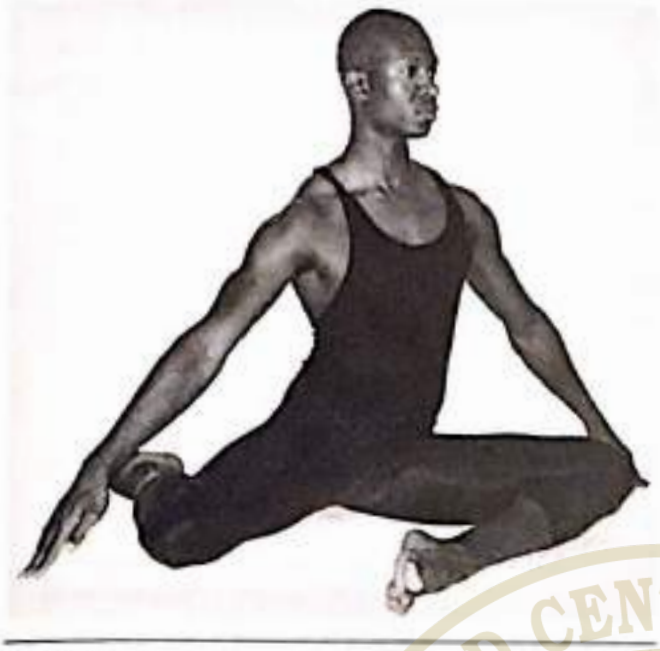


FIGURA 5.26. La tensión potencial en valgo se puede reducir permitiendo que la tuberosidad isquiática derecha se levante ligeramente del suelo.

como en la figura 5.26. Aunque la ejecución de estas posturas no es a menudo recomendable para personas sedentarias o deportistas recreativos, es un elemento importante de algunas formas de danza; y muchos bailarines cuentan con suficiente movilidad en las caderas para adoptar estas posturas sin generar tensión inadecuada en las rodillas. No obstante, si la flexibilidad del cuádriceps o la cadera es insuficiente (sobre todo en hombres con limitada rotación interna de la cadera), estas posturas podrían causar una tensión en valgo excesiva así como molestias en la rodilla.

Si los bailarines experimentan molestias en las rodillas, pueden practicar a diario estiramientos suplementarios, y la postura se puede modificar temporalmente, como se muestra en la figura 5.26, mientras se desarrolla la flexibilidad adecuada de la cadera.

Las tensiones rotacionales, en valgo y varo también se producen en la rodilla durante movimientos dinámicos, como cuando un bailarín cambia de dirección, se desplaza lateralmente o se mueve en diagonal. Los estudios sobre los pasos laterales y las otras maniobras dando pasos cruzados sugieren que estos movimientos pueden generar mayor tensión sobre los ligamentos cruzado anterior y colaterales de la rodilla, de magnitud suficiente como para causar lesiones ligamentarias si los músculos de la rodilla no aportan suficiente estabilidad (Besier, Lloyd, Cochrane y Ackland, 2001). Estas tensiones son muy altas en casos en que los cambios no se anticipan y los músculos no tienen tiempo suficiente para compensar el aumento de las cargas que soporta la rodilla (Besier, Lloyd, Ackland y Cochrane, 2001). Es probable que los bailarines que entrenen con regularidad desarrollen estrategias que reduzcan la tensión sobre los ligamentos de la rodilla.

## Rodillas hiperextendidas en danza

Cuando el cuerpo está de pie y erguido, la línea de la gravedad cae ligeramente delante del eje de la articulación de la rodilla, causando el «bloqueo» de la rodilla en extensión mediante un mínimo torque gravitacional. Este bloqueo también se debe a la rotación terminal asociada con la extensión completa de la rodilla previamente expuesta (p. ej., el mecanismo de bloqueo de la rodilla). Como esta posición final es pasiva y no implica la contracción de los músculos de la extremidad inferior, los bailarines con *genu recurvatum* no muestran el mismo punto final pasivo y las rodillas no se detienen en un punto de extensión, sino que siguen hasta una posición de hiperextensión (figura 5.27A). Las rodillas hiperextendidas predominan entre los bailarines, y un estudio (Trepman *et al.*, 1994) demostró que todos los bailarines estudiados mostraban hiperextensión de rodilla en bipedestación en primera posición *en dehors*, siendo significativamente mayor la magnitud entre los bailarines de ballet que entre los bailarines de danza moderna (13° de promedio frente a 5°). No obstante, incluso los bailarines con hiperextensión extrema pueden aprender a controlar el grado de hiperextensión en bipedestación y durante los movimientos de la danza.

Hay dos tácticas para controlar la hiperextensión de las rodillas en la danza: (1) limitar el grado de extensión de las rodillas, y (2) limitar el grado de rotación interna femoral. La primera táctica se basa en el principio de detener antes el movimiento de la rodilla durante la extensión, cuando el centro de masas de todo el cuerpo se halla justo sobre el eje de la articulación de la rodilla en vez de anterior a dicha articulación, de modo que se evite la hiperextensión pasiva de la rodilla. A veces dar órdenes para esto, es decir, pedir que se lleven las rodillas hacia arriba y no «llevar las rodillas atrás» puede ser suficiente para prevenir el problema. De forma similar, pensar en ejercer tracción ascendente justo debajo de las corvas al mismo tiempo que se tira hacia arriba de la cara anterior de las rodillas puede potenciar la cocontracción de los isquiotibiales y el cuádriceps femoral. Como los isquiotibiales son músculos flexores de la rodilla, si se reclutan lo bastante temprano cuando la rodilla sólo está ligeramente doblada, se pueden usar para prevenir la excesiva extensión de las rodillas. Como alternativa, mantener las rodillas adelantadas, por delante del tobillo, mientras se extienden también previene que el centro de masas del cuerpo se sitúe anterior al eje de la rodilla, donde tenderá a causar hiperextensión de la rodilla.

La segunda táctica depende de la vinculación entre la rotación interna del fémur y la hiperextensión de la rodilla. Como los grados últimos de la extensión genicular incor-

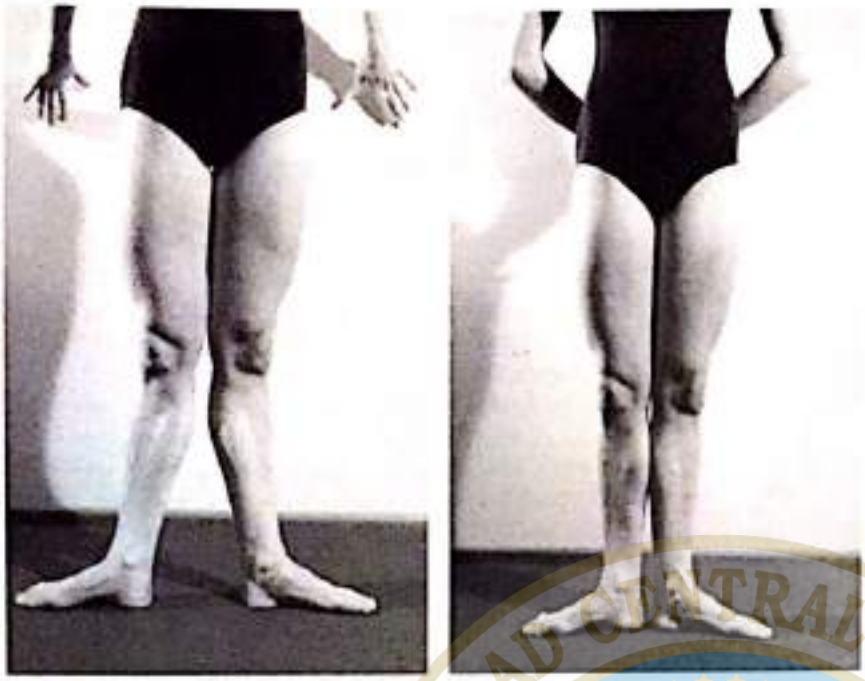


FIGURA 5.27. Hiperextensión de las rodillas. (A) De pie con los talones separados y las rodillas hiperextendidas; (B) corrección de la hiperextensión de las rodillas, lo cual permite que los talones se junten.

poran naturalmente la rotación interna del fémur debido al mecanismo de bloqueo de la rodilla, centrarse en el uso de los músculos rotadores externos de la cadera para limitar esta rotación interna del fémur y mantener las rodillas directamente hacia delante y sin torsión medial puede prevenir la hiperextensión no deseada de las rodillas. La excesiva rotación interna del fémur también se evita centrándose en la tracción ascendente ejercida por los abdominales mientras se echa adelante la base de la pelvis para que adopte una postura neutra, de modo que se evite la rotación femoral interna asociada con la inclinación anterior.

No obstante, sea cual fuere el método usado, como la hiperextensión parece «extensión» al bailarín acostumbrado a hiperextender las rodillas, esta nueva posición se suele percibir como si las rodillas estuvieran dobladas. A menudo un espejo y la corrección visual son necesarios inicialmente hasta que se reaprende la sensación interna de rectitud de las rodillas.

## Hiperextensión de la rodilla y genu varo

En los casos de genu varo, permitir la hiperextensión de las rodillas aumenta la distancia entre las rodillas, dando a las piernas un aspecto más arqueado. En contraste, usar las técnicas antes descritas para corregir la hiperextensión genicular –de modo que las rodillas estén más adelantadas respecto a los tobillos y miren hacia delante y no hacia dentro mientras la cara interna de los muslos (aductores coxofemorales) está ligeramente contraída para «juntar y subir» las piernas– ayuda a mejorar el aspecto distorsionado que confieren los genu varos. Con el tiempo, algunos bailarines consiguen reducir este defecto aparente del varo de rodillas.

## Hipertrofia del cuádriceps

En algunos tipos de danza como el ballet, se desea desarrollar el cuerpo de modo que las piernas parezcan «largas», por lo que se evitan los muslos «cortos, gruesos e hiperdesarrollados». Aunque la genética, el somatotipo y la longitud de las piernas contribuya al aspecto de los muslos, y se anima a los bailarines a que se sientan a gusto con su somatotipo, el entrenamiento influye en este desarrollo. Mientras que algunos afirman que el desarrollo de los muslos está sencillamente relacionado con el esfuerzo o sobrecarga de los cuádriceps y con el aumento resultante de tamaño (hipertrofia), otros apuntan la conjetura de que otros factores como el tipo de contracción muscular (mayor énfasis en la contracciones concéntricas que en las excéntricas), la velocidad de las contracciones musculares o la amplitud de la movilidad también influyen en sutiles diferencias en el desarrollo muscular. En el caso de la danza, el cuerpo de muchos bailarines cambia para parecer «más largo», menos «voluminoso» cuando ingresan en escuelas de danza que dan preponderancia a este efecto estético. Se necesitan nuevos estudios científicos en esta área, aunque hay dos posibles mecanismos para reducir el desarrollo de los muslos, como son la economía del movimiento y la alteración de los patrones de reclutamiento muscular.

En el caso de la economía del movimiento, los bailarines con un desarrollo muy marcado a veces parecen aplicar esfuerzos excesivos en los movimientos, lo que los profesores llaman «agarrotamiento» o «trabajar en tensión». En contraste, los bailarines con músculos largos parecen trabajar de forma más económica, sin esfuerzo aparente. Dos ejemplos de estos extremos aparecen en la figura 5.28, donde la ejecución de un *plié* en segunda posición se asocia con un 25% frente a un 125% de contracción isométrica máxima del cuádriceps en un bailarín de ballet muy diestro caracterizado por «largas líneas» (figura 5.28A) en comparación con un bailarín menos experto caracterizado por trabajar «agarrotado» (figura 5.28B). Considerando la acusada diferencia en el esfuerzo muscular asociado con la ejecución del mismo movimiento, se podría apuntar que el segundo bailarín presenta mayor hipertrofia del cuádriceps producto de los en-

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 5.2

### *Control de las rodillas hiperextendidas cuando el pie está en carga*

De pie y mirando un espejo de perfil en primera posición paralela, extiende las rodillas por completo. Fíjate en si las rodillas parecen un poco dobladas, rectas (extendidas) o si se arquean hacia atrás (hiperextensión o *genu recurvatum*). Si las rodillas están hiperextendidas, prueba con el siguiente ejercicio para controlar esta hiperextensión.

- **Limita el grado de extensión de la rodilla.** Mientras te miras en el espejo, flexiona lentamente las rodillas y luego extiéndelas. Identifica visual y cinestésicamente la posición en que las rodillas están rectas y no hiperextendidas. A continuación intenta hallar esta posición cinestésicamente y comprueba visualmente en el espejo si has sido preciso. Céntrate en ejercer presión contra el suelo con todo el pie y mantén las tuberosidades isquiáticas orientadas hacia abajo y adelante encima de los tobillos, en vez de mirando atrás sobre los talones, mientras extiendes las rodillas (A).
- **Limita el grado de rotación interna del fémur.** Ahora, flexiona ligeramente las rodillas y deja que caigan hacia dentro. A continuación, usa los músculos rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) para abrir las rodillas respecto al pie como se aprecia en B. Repite el procedimiento varias veces, y, cuando sepas activar sin problema los rotadores externos, concéntrate en usar estos mismos rotadores externos profundos para mantener la rodilla mirando hacia delante mientras extiendes lentamente las rodillas hasta una posición extendida, no hiperextendida. Céntrate también en usar el par de fuerzas abdominal-isquiotibial para mantener «debajo la base de la pelvis» de modo que conserve una postura neutra mientras se extienden las rodillas. Fíjate cuando relajes los rotadores externos profundos y los abdominales en si las rodillas se «meten hacia atrás y hacia adentro» y la pelvis se inclina en sentido anterior.

En el caso de bailarines con *genu recurvatum* extremo, estas claves técnicas se pueden usar para que los talones se acerquen estando de pie en primera posición *en dehors* (figura 5.27B). Trabajar con los pies separados y las rodillas hiperextendidas tiende a estirar la cápsula posterior y otros elementos de contención, aumentando con el tiempo el grado de hiperextensión de la rodilla, y exigiendo progresivamente una mayor separación de los talones. En el caso de bailarines acostumbrados a trabajar con los talones separados más de 2,50 centímetros, puede ser necesario ir acercando los talones durante varios meses mientras se desarrolla la destreza para controlar la hiperextensión, y se aprenden nuevas estrategias de equilibrio.

sayos de danza. Este concepto de la economía asociada con el nivel de destreza está respaldado por otro estudio que documentó niveles significativamente inferiores de activación del recto femoral y del bíceps femoral en las fases clave de un *demi-plié en dehors* en los bailarines más experimentados (Ferland, Gardiner y Lèbé-Neron, 1983).

Por lo que a la alteración de los patrones de reclutamiento muscular se refiere, tal vez los bailarines con mayor desarrollo de los muslos recluten más el cuádriceps femoral en distintos movimientos de danza. Esto podría guardar relación con aspectos de la alineación, como la colocación del torso o el grado de *en dehors* de la cadera. Por ejemplo, inclinar el torso ligeramente adelante en movimientos como un *plié en dehors* se suele asociar con una mayor sensación de esfuerzo en el cuádriceps que practicar el mismo movimiento con el torso más vertical. Como al-

FIGURA 5.28. Registro EMG durante un *plié* en segunda posición de (A) un bailarín experto con economía del movimiento, y (B) un bailarín menos experto que desarrolla un esfuerzo muscular excesivo. Clave: 1 = aductor largo (de la cadera); 2 = cuádriceps femoral (vasto medial); 3 = isquiotibiales (bíceps femoral).

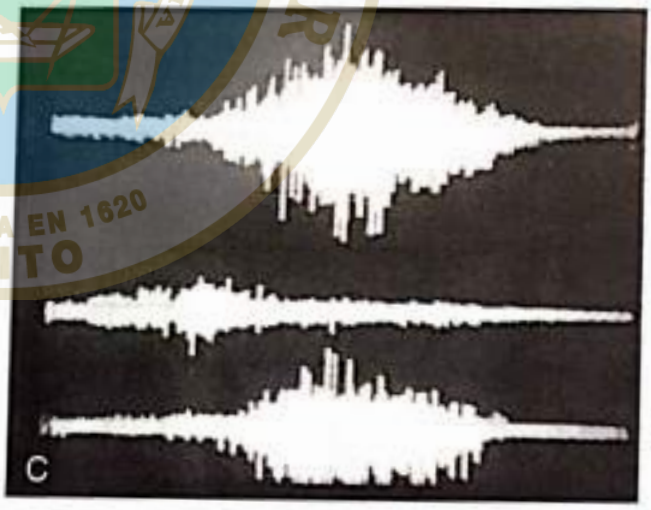



FIGURA 5.29. Ejemplo de patrones de activación muscular de un bailarín experto que ejecuta un *grand plié* en segunda posición en (A) una actuación rutinaria; (B) tras recibir la orden de «dejar que las rodillas se metan hacia dentro», y (C) tras recibir la orden de «extiende las rodillas a los lados». Clave: 1 = aductor largo (de la cadera); 2 = cuádriceps femoral (vasto medial); 3 = isquiotibiales (bíceps femoral).

ternativa, el grado de activación del cuádriceps puede relacionarse más con el hábito y con las estrategias preferidas de reclutamiento muscular. Los trazados electromiográficos (EMG) de bailarines que aparecen en las figuras 5.28 y 5.29 muestran una gran variedad de patrones de reclutamiento en términos de magnitud de contracción del cuádriceps y de la contribución relativa de los isquiotibiales y los aductores de la cadera. Enseñar a los bailarines a usar más los extensores y aductores de la cadera puede permitir una menor contribución de los músculos extensores de la rodilla, lo cual es potencialmente ventajoso para reducir las fuerzas de compresión femororrotulianas, así como para lograr el desarrollo estético del cuádriceps. Teóricamente,

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

estos patrones de reclutamiento se favorecen con órdenes que encaminan a los estudiantes a usar más el interior de los muslos (aductores de la cadera) y la parte posterior (isquiotibiales). Cuando las órdenes están pensadas para potenciar el uso de los músculos de la cadera (p. ej., extender las rodillas lo más lateralmente posible durante la fase descendente y luego tirar de la cara interna de los muslos hacia arriba y hacia dentro durante la fase ascendente de un *plié*), los patrones de reclutamiento muscular cambian de tal modo que se produce una mayor actividad en los músculos aductores e isquiotibiales, como se ve en la figura 5.29C. En contraste, las órdenes para potenciar la técnica poco aconsejable de «dejar que las rodillas desciendan hacia dentro» provocan una mayor activación del cuádriceps de este bailarín experto (figura 5.29B).

Aunque se deba desaconsejar el uso excesivo del cuádriceps femoral para cumplir las exigencias estéticas de algunas formas de danza, esto no significa que no se deba usar ni deba ser fuerte. Como se ha expuesto previamente, el cuádriceps es un músculo esencial para controlar la posición de la rodilla. Lo importante es la contribución relativa del cuádriceps y la magnitud de su contracción, no evitar su uso.

## Ejercicios de acondicionamiento para la rodilla

La fuerza y flexibilidad adecuadas de los músculos que cruzan la rodilla son importantes para la ejecución de movimientos exigentes como saltos, *hinges*, caídas, trabajo de suelo y *grand pliés*. Un equilibrio entre fuerza y flexibilidad también es importante para prevenir lesiones.

### *Ejercicios de fuerza para la rodilla*

Los grupos musculares clave que actúan en la rodilla y la articulación femororrotuliana son el cuádriceps femoral (extensores) y los isquiotibiales (flexores). Para una buena estabilidad articular y una mecánica correcta, es esencial que estos grupos musculares tengan una fuerza suficiente y equilibrada. Con el uso habitual del cuádriceps como músculo antigravitatorio, éste puede llegar a ser tres veces más fuerte que sus antagonistas los isquiotibiales (Hamill y Knutzen, 1995) y es importante que los bailarines no abandonen el fortalecimiento de estos últimos. Ejercicios de muestra para estos músculos aparecen en la tabla 5.3, a lo cual sigue una breve descripción sobre su importancia. Como los isquiotibiales y un componente del cuádriceps femoral (recto femoral) actúan sobre la cadera y sobre la rodilla, en el capítulo 4 describimos algunos ejercicios de fortalecimiento para estos músculos. También se describieron ejercicios para otros miembros del grupo de la pata de ganso y el tensor de la fascia lata en el capítulo anterior sobre la cadera, y en el capítulo 6 se describen ejercicios para el gastrocnemio.

#### Fortalecimiento de los músculos extensores de la rodilla (cuádriceps femoral)

Los extensores de la rodilla son músculos antigravitatorios muy importantes que controlan el descenso del cuerpo, lo impulsan por el espacio o mantienen una postura extendida de la rodilla. Además, la fuerza adecuada del cuádriceps desempeña un papel importante en la estabilidad articular de la rodilla, en la prevención o progresión de la osteoartritis de la rodilla (Sutter y Herzog, 2000) y en la trayectoria correcta de la rótula. Aunque a algunas bailarinas les preocupa el desarrollo de una masa muscular excesiva en el cuádriceps femoral, la fuerza adecuada es esencial para la prevención de lesiones; y los ejercicios de la tabla 5.3 se pueden usar para desarrollar la fuerza sin una hipertrofia excesiva dado que la cantidad de peso (resistencia) y volumen (número de series o repeticiones) es por lo general demasiado baja para estimular un gran incremento del tamaño muscular (hipertrofia).

La extensión de la rodilla se puede reforzar isométricamente ejerciendo tracción ascendente de la rótula (ejercicio estático para el cuádriceps) o isotónicamente oponiendo resistencia a la extensión de la rodilla. En el caso de bailarines con problemas de rótula o con molestias en la rodilla al ejecutar *grand pliés*, es aconsejable empezar con ejercicios estáticos para el cuádriceps (tabla 5.3A) y las elevaciones de las piernas extendidas (tabla 5.3B) donde la rodilla se mantiene isométricamente extendida para que las fuerzas de compresión femororrotulianas sean bajas. Los ejercicios que incorporan sólo de 20° a 30° de extensión final, como la extensión terminal de la rodilla (tabla 5.3C), también son útiles para generar una mayor sobrecarga en el cuádriceps mientras las fuerzas de compresión femororrotulianas se mantienen relativamente bajas. Sin embargo, para hombres sin problemas rotulianos y mujeres que hayan desarrollado suficiente estabilidad rotuliana y no tengan dolores, practicar ejercicios de extensión de la rodilla usando una mayor amplitud de movimiento (tabla 5.3D) es útil para desarrollar la fuerza necesaria para los exigentes movimientos de la danza que utilizan mayores grados de flexión de rodilla.

Cuando se practica cualquiera de estos ejercicios de extensión, la técnica correcta es importante. Debido a la prevalencia de hiperextensión genicular en los bailarines, es importante vigilar que la rodilla adopte sólo una posición extendida sin alcanzar hiperextensión. El uso persistente de la hiperextensión en estos ejercicios puede reducir la estabilidad de la rodilla e irritar los tejidos en vez de lograr el aumento deseado de la estabilidad articular y la fuerza de los músculos.

*(El texto continúa en la página 280.)*

**Tabla 5.3. Selección de ejercicios de fuerza para la rodilla**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la rodilla<br>Músculos trabajados: vasto medial | | |
| Movimiento articular: extensión mantenida de la rodilla | | |
| A. Ejercicio estático de cuádriceps *(quad set)*<br> | Siéntate en el suelo con las piernas extendidas al frente, y ejerce tracción ascendente de la rótula hacia la cadera mediante una firme contracción del cuádriceps; aguanta la contracción 5 segundos. Relaja lentamente el músculo. (Concéntrate en ejercer la tracción ascendente sobre la rótula sin tirar de la rodilla hacia atrás para evitar la hiperextensión.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con una pierna extendida y la otra flexionada con el pie en el suelo. | 1. Aumenta el número de repeticiones de 8 a 12.<br>2. Aumenta el número de series de 1 a 2 y luego a 3. |
| Grupo muscular: extensores de la rodilla y flexores de la cadera<br>Músculos trabajados: cuádriceps femoral, en especial el vasto medial | | |
| Movimiento articular: flexión de la cadera con extensión mantenida de la rodilla | | |
| B. Elevación de la pierna extendida (tobillera lastrada) *(straight leg raise)*<br> | Siéntate con una rodilla flexionada y el pie en el suelo mientras extiendes la otra pierna al frente con una tobillera lastrada. Haz una serie estática para el cuádriceps y luego, al tiempo que mantienes una contracción firme del cuádriceps, eleva la pierna extendida, cuenta hasta 4 y baja la pierna hasta la posición inicial.<br>(Emplea el cuádriceps para mantener una posición extendida pero no hiperextendida de la rodilla mientras usas los flexores de la cadera para elevar y bajar toda la pierna.) | 1. Aumenta gradualmente el peso de 1 a 5 kg, con incrementos de 0,5 a 1 kg. |
| Grupo muscular: extensores de la rodilla<br>Músculos trabajados: cuádriceps femoral, en especial el vasto medial | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla | | |
| C. Extensión terminal de la rodilla (tobillera lastrada)<br> | Siéntate con una rodilla flexionada y el pie en el suelo mientras la otra pierna está extendida al frente con un molde de gomaespuma o una toalla enrollada debajo de la porción distal del muslo y una tobillera lastrada en el tobillo. Extiende lentamente la rodilla, cuenta hasta 4 contrayendo firmemente el cuádriceps, y vuelve a la posición inicial.<br>(Evita hiperextender la rodilla.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio sentado en una silla con la pierna que vas a extender flexionada 30°.<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio en una máquina de pesas, usando sólo los últimos 30° de extensión. | 1. Aumenta gradualmente el peso de 2,5 a 7,5 kg, con incrementos de 0,5 a 1 kg. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM LUMEN
FUNDADA EN 1620
QUITO

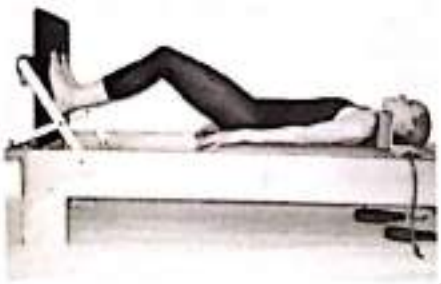
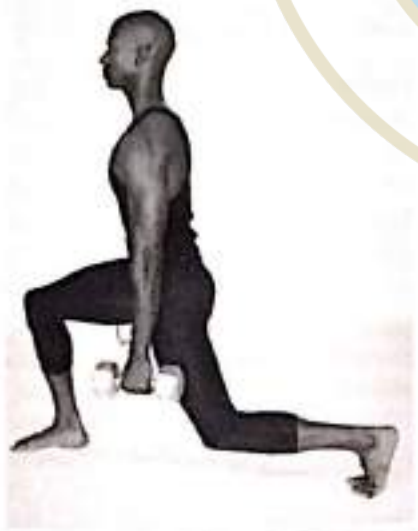
| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la rodilla<br>Músculos trabajados: cuádriceps femoral, en especial el vasto medial | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla con flexión de cadera mantenida | | |
| D. Extensión de la rodilla en sedestación (máquina Universal Reformer)<br> <br> <br> <br>Variación 1 | Siéntate en la máquina Reformer, usando los brazos para aguantar un muslo y pasando la cinta alrededor del pie de esa extremidad. Luego extiende lentamente la rodilla, haz una pausa, y vuelve a la posición inicial.<br>(Mantén el muslo quieto mientras el pie ejerce tracción sobre la cinta mientras la rodilla se extiende pero sin llegar a hiperextensión.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio en la misma posición, sentándote en el suelo con una cinta anclada debajo del pie de apoyo y alrededor del empeine o el tobillo de la pierna que trabaja. | 1. Aumenta la resistencia de la cinta gradualmente con pequeños incrementos.<br>2. Pon el torso más vertical con la columna lumbar en una posición neutra. |
| Grupo muscular: flexores de la rodilla<br>Músculos trabajados: isquiotibiales | | |
| Movimiento articular: flexión de la rodilla | | |
| E. *Curl* de rodilla en decúbito prono (máquina Universal Reformer)<br> | Túmbate boca abajo sobre la caja con las rodillas ligeramente flexionadas y las cintas alrededor de los pies. A continuación, acerca lentamente los talones a las nalgas, haz una pausa y baja lentamente las piernas hasta la posición inicial.<br>(Contrae con firmeza los abdominales para mantener la pelvis en una posición neutra y evita una inclinación anterior.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con una pierna cada vez.<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio con una máquina de pesas para flexiones de rodilla.<br>*Variación 3.* Haz el ejercicio con una pierna cada vez y una banda elástica alrededor de los pies para generar resistencia. | 1. Aumenta gradualmente la resistencia.<br>2. Aumenta el grado de flexión genicular.<br>3. Eleva las rodillas 1,30 centímetros de la caja (ligera hiperextensión coxofemoral) y mantén esta posición durante el ejercicio sin que la pelvis se incline anteriormente. |

*(Continúa)*

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 5.3. Selección de ejercicios de fuerza para la rodilla (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la rodilla<br>Músculos trabajados: isquiotibiales | | |
| Movimiento articular: flexión de la rodilla | | |
| F. *Curl* de rodilla en bipedestación (tobillera lastrada)<br> | De pie con el peso del cuerpo apoyado en una pierna, con el pie separado 60 cm de la pared y los antebrazos apoyados en ella. Empieza con el otro pie retrasado, y acerca lentamente el talón hacia las nalgas llevando una tobillera lastrada, haz una pausa y vuelve lentamente a la posición inicial.<br>(No muevas la rodilla al flexionarla, y evita que se desplace hacia delante.)<br>*Variación 1.* Tras flexionar la rodilla unos 30°, eleva la pierna atrás hacia el techo (extensión de la cadera).<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio con una banda atada en torno al arco del pie de apoyo y alrededor de la pierna que trabaja para generar resistencia. | 1. Aumenta gradualmente el peso de 2,5 a 6 kg, con incrementos de 0,5 a 1 kg. |
| Grupo muscular: extensores de la rodilla y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: cuádriceps femoral | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla con extensión de la cadera | | |
| G. Sentadilla contra la pared *(squat)*<br> | De pie con la espalda contra la pared y los pies separados la anchura de las caderas, y de 45 a 60 cm de la pared. Flexiona lentamente las rodillas hasta que los muslos estén paralelos al suelo con las rodillas encima de los tobillos, cuenta 4 y extiende lentamente las rodillas hasta volver a la posición inicial.<br>(Mantén una firme contracción de los abdominales de modo que la pelvis adopte una postura neutra con el dorso del sacro y la porción torácica media de la columna en contacto con la pared en todo momento.) | 1. Aumenta gradualmente la sentadilla de 4 a 5 segundos.<br>2. Coge una mancuerna en cada mano. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la rodilla y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: Isquiotibiales/par de fuerzas abdominal-isquiotibial | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla con extensión de la cadera | | |
| H. *Plié, press* o prensa de piernas (máquina de pesas Reformer)<br>  | Empieza tumbado boca arriba sobre la máquina Reformer, con los pies paralelos y alineados con las caderas y sobre los estribos, y las rodillas flexionadas. Extiende lentamente las rodillas, haz una pausa y vuélvelas a flexionar lentamente hasta la posición inicial. (Evita hiperextender las rodillas; dirige las rodillas hacia el II dedo; mantén el torso estable y la pelvis neutra.)<br>*Variación 1.* Aumenta la amplitud del movimiento dejando que los pies se levanten de los estribos hasta que las rodillas se flexionen 90°, y añade un *relevé* después de extender las rodillas.<br>*Variación 2.* Haz el ejercicio *en dehors*. (El *en dehors* debe concordar con el grado de rotación externa de las caderas cuando las rodillas están estiradas.)<br>*Variación 3.* En una máquina de pesas, en paralelo y con los talones en contacto durante todo el ejercicio. | 1. Aumenta gradualmente la resistencia.<br>2. Realiza el ejercicio con una pierna y menor resistencia. |
| Grupo muscular: extensores de la rodilla y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales y cuádriceps femoral | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla con extensión de la cadera | | |
| I. Tijeras (*lunge*)<br>  | De pie con los pies paralelos y separados la anchura de las caderas y los brazos colgando a los lados sosteniendo una mancuerna. Da un paso largo adelante y luego baja lentamente el cuerpo hasta que la rodilla adelantada se flexione 90°. Luego extiende lentamente la rodilla, y haz fuerza con el pie adelantado para volver a la posición inicial. (Dirige la rodilla sobre el pie adelantado y mantén el torso vertical en vez de inclinarlo hacia delante o atrás.) | 1. Aumenta gradualmente el peso. |

*(Continúa)*

**Tabla 5.3. Selección de ejercicios de fuerza para la rodilla (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la rodilla y extensores de la cadera<br>Músculos trabajados: isquiotibiales y cuádriceps femoral | | |
| Movimiento articular: extensión de la rodilla con extensión de la cadera | | |
| J. Tijera adelante *(forward lunge)* (silla de Pilates) | De pie mirando la silla. Haz fuerza para bajar el pedal con un pie, y pon el otro pie sobre la plataforma superior de la silla. A continuación, eleva lentamente el cuerpo sobre el pie superior, haz una pausa, baja el cuerpo y el pedal hasta que la rodilla superior se flexione 90° y vuelve a subir.<br>(Dirige la pierna adelantada sobre el pie; evita inclinar el torso demasiado hacia delante y mantén una posición casi vertical, centrándote en ejercer presión sobre el pie superior hacia abajo y en activar los extensores de la cadera mientras el cuerpo se eleva sobre el pie superior; trabaja sólo en una amplitud en que se pueda mantener una buena postura y sin experimentar molestias en las rodillas.) | 1. Reduce gradualmente la resistencia de los muelles. |

### Fortalecimiento de los músculos flexores de la rodilla

Los músculos flexores de la rodilla, incluidos los isquiotibiales, son importantes para alcanzar y mantener flexionada la rodilla de la pierna que trabaja en *passé* o en *attitude*. Con las tremendas exigencias que impone la danza a la flexibilidad de los isquiotibiales, es aconsejable seguir los ejercicios de flexión genicular descritos a continuación junto con ejercicios de estiramiento, para que los isquiotibiales no se vuelvan más tirantes, o utilizar ejercicios que hagan hincapié en la extensión de la cadera para fortalecer los isquiotibiales.

Las flexiones de rodilla en decúbito prono o de pie potencian la flexión resistida de las rodillas. El *curl* de rodilla en decúbito prono (tabla 5.3E) se pueden practicar con muelles o una banda elástica que opongan resistencia a la flexión genicular. El *curl* de rodilla en bipedestación (tabla 5.3F) también se pueden practicar con una resistencia elástica, pero la relación de la posición respecto a la gravedad permite que una tobillera lastrada ofrezca una resistencia eficaz a las flexiones de la rodilla. La elevación posterior de la pierna que aparece en el capítulo 4 (tabla 4.5D, pág. 216) ofrece una variación que potencia la función extensora de la cadera de los isquiotibiales.

### Ejercicios de fortalecimiento en cadena cinética cerrada

Como se expuso en el capítulo 1, los ejercicios en cadena cinética cerrada para la extremidad inferior implican movimientos en múltiples articulaciones (cadera, rodilla y tobillo) mientras el pie se mantiene fijo o se enfrenta a una resistencia considerable. Esto contrasta con un ejercicio en cadena cinética abierta en el que el segmento distal de la extremidad (p. ej., el pie) tiene libertad de movimiento. Los ejercicios de fuerza previamente descritos para la rodilla, como la extensión terminal de la rodilla y las flexiones de rodilla en decúbito prono, son ejemplos de ejercicios en cadena cinética abierta. Ejemplos de ejercicios en cadena cinética cerrada descritos en la tabla 5.3G a J incluyen sentadillas contra la pared, *pliés/press* de piernas, tijeras y tijera adelante *(forward lunge)*.

Las sentadillas contra la pared (tabla 5.3G) son un medio eficaz para fortalecer el cuádriceps mientras se trabaja

para mantener la estabilización del tronco y evitar el error habitual de inclinar el torso hacia delante en los *pliés*. Los *pliés/press* de piernas (tabla 5.3H) ofrecen resistencia para desarrollar fuerza en la rodilla de forma similar a la usada en los *pliés* y en la preparación para giros y saltos. Se pueden practicar con máquinas de pesas tradicionales (máquina de *press* de piernas) o en una máquina Reformer con un gran número de muelles ofreciendo resistencia. Las tijeras (tabla 5.3I) y en especial las tijeras adelante *(forward lunge)* (tabla 5.3J) se usan para desarrollar la fuerza del hemicuerpo inferior, pero pueden causar lesiones si se practican de forma incorrecta, con una sobrecarga excesiva, o cuando hay problemas biomecánicos subyacentes. Así, estos ejercicios se deben reservar a bailarines en buena forma y con gran destreza, sin antecedentes de problemas de rodilla, y sólo practicarse bajo supervisión cualificada.

En cualquiera de estos ejercicios en cadena cinética cerrada, una buena técnica es especialmente importante. Además de la estabilización y el interés por una correcta posición del torso, hay que tener cuidado de mantener la rodilla sobre el segundo dedo del pie, evitar que la rodilla se venza hacia dentro y bajar sólo hasta un punto en que se pueda mantener la posición correctamente y no se experimente dolor alguno en las rodillas.

Los ejercicios en cadena cinética cerrada han adquirido gran popularidad en el campo del *fitness* y la rehabilitación en los últimos años porque reproducen mejor los movimientos funcionales en lo que respecta a las cargas que soportan las articulaciones y las complejas contracciones musculares implicadas en la coordinación de múltiples articulaciones. También se ha propuesto que imponen menos tensión sobre el ligamento cruzado anterior y se asocian con menos fuerza de compresión femororrotuliana en los ángulos de 0° a 53° de flexión genicular (Hungerford y Barry, 1979). Sin embargo, algunas de sus ventajas teóricas se han cuestionado por los datos de estudios recientes (Irrgang y Neri, 2000); por ejemplo, parece que tanto los ejercicios en cadena cinemática cerrada como abierta pueden ser eficaces para mejorar la propiocepción articular (Perrin y Shultz, 2000). Además, los ejercicios en cadena cinética abierta tal vez ofrezcan ventajas por producir una sobrecarga eficaz con menor resistencia, lo cual ayuda a corregir desequilibrios musculares y a reproducir las exigencias de la danza sobre la pierna que trabaja. Así, una recomendación consiste en incluir una combinación de ejercicios de fortalecimiento en cadena cinética abierta y cerrada en programas suplementarios de acondicionamiento para bailarines (Clippinger, 2002). En términos de rehabilitación, los profesionales médicos seleccionarán los ejercicios apropiados de acuerdo con las lesiones específicas y las ventajas y desventajas relativas de estos dos tipos de ejercicios.

## DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 5.3

### *Control de la hiperextensión de rodilla sin el pie en carga*

Siéntate con una pierna estirada al frente y la otra rodilla flexionada con el pie en el suelo. Practica la acción de mantener la rodilla extendida pero no hiperextendida en los siguientes ejercicios.

- **Ejercicio estático de cuádriceps** (tabla 5.3A, variación 1). Pon dos dedos 3,8 centímetros por encima de la rótula y 1,3 centímetros mediales al borde interno de la rótula. Céntrate en ejercer tracción ascendente de la rótula hacia la cadera sin llevar la rodilla atrás en hiperextensión. Se debe sentir una firme contracción del músculo bajo los dedos (vasto medial). Si se tienen problemas para no llevar la rodilla atrás, se pondrán los dedos de la otra mano detrás de la rodilla extendida para evitar su hiperextensión. La cocontracción del cuádriceps y los gastrocnemios (flexores de la rodilla) puede ser necesaria para lograr una posición recta pero no hiperextendida. Para la mayoría de los bailarines (dependiendo del tamaño de los músculos de la pantorrilla), el talón de la pierna extendida debería mantenerse en el suelo, y levantar el talón del suelo manifiesta que la rodilla está hiperextendida.
- **Elevación de la pierna extendida** (tabla 5.3B). Practica un ejercicio estático de cuádriceps y luego levanta la pierna del suelo, cuenta hasta cuatro y vuelve a bajar la pierna a la posición inicial. Usa los dedos para comprobar que el músculo vasto medial se está contrayendo y cerciórate de que la rodilla se mantiene recta y no hiperextendida durante el movimiento. Evita el error habitual de sustituirlo por los isquiotibiales. Cuando se hiperextiende la rodilla, la línea de tracción de los isquiotibiales puede pasar de ser posterior a anterior al eje de la articulación de la rodilla, y por eso los isquiotibiales pueden generar extensión en lugar de su función normal de flexión de la rodilla. Cuando se levanta la pierna del suelo, algunos bailarines hiperextienden la rodilla y usan los isquiotibiales (y no el cuádriceps) para mantener la hiperextensión mientras otros flexores coxofemorales como el psoasiliaco se usan para elevar la pierna. Con esta sustitución, no se apreciará la firme contracción del músculo vasto medial bajo los dedos. Esta sustitución indeseable no producirá el fortalecimiento del cuádriceps ni desarrollará un patrón deseable de activación muscular.

## Estiramientos para la rodilla

La tabla 5.4 muestra la amplitud normal de movimiento para la población general (no bailarines) así como las principales estructuras que limitan la movilidad en flexión y extensión de las rodillas. Y en la tabla 5.5 aparecen estiramientos que mejoran la amplitud de estos movimientos.

Además, la flexibilidad de algunos músculos multiarticulares que cruzan la rodilla es importante para una mecánica articular óptima. Por ejemplo, la tirantez de la cintilla iliotibial puede generar fuerzas laterales en la rótula y aumentar el riesgo de lesión (Jenkinson y Bolin, 2001; Reid *et al.*, 1987). Igualmente, la flexibilidad de los aductores de la cadera también es importante para la correcta ubicación de las rodillas sobre los pies en posiciones como el *en dehors* en segunda posición (Clippinger, 2005). Distalmente, la tirantez de los músculos de la pantorrilla limita la profundidad del *plié* y contribuye a la pronación compensatoria de los pies y a la resultante mecánica subóptima de la rodilla. Los estiramientos de los abductores y aductores de la cadera se describieron en el capítulo 4, y los estiramientos de las pantorrillas se describirán en el capítulo 6.

### Estiramientos para los músculos extensores de la rodilla (cuádriceps)

A pesar de la elevada flexibilidad en otras áreas, los bailarines suelen presentar poca flexibilidad en los músculos extensores de la rodilla o en el cuádriceps femoral. Esta tendencia a la tirantez parece ser más predominante en las bailarinas (al menos en las de ballet) con muchos años de entrenamiento y casi universal en los bailarines; el 75% de las bailarinas y el 100% de los bailarines de elite sometidos a prueba mostraron tirantez en el cuádriceps (Clippinger-Robertson, 1991). Otro estudio sobre bailarines profesionales de ballet demostró que el 95% de estos bailarines presentaba al menos tirantez mínima del recto femoral (Molnar y Esterson, 1997). Una rápida prueba exploratoria aparece en Pruebas y mediciones 5.4 y se aplica fácilmente para comprobar la flexibilidad del cuádriceps. Los estiramientos de este grupo muscular a menudo se pasan por alto en las rutinas de estiramiento habituales de los bailarines. La tirantez del cuádriceps puede aumentar el riesgo de sufrir problemas femororrotulianos, por lo que es importante alcanzar y mantener una flexibilidad adecuada.

Con el fin de estirar de forma efectiva los vastos del cuádriceps, la rodilla debe ser llevada a una flexión completa, pero la posición de la pelvis es irrelevante dado que estos músculos no cruzan la articulación de la cadera. Por el contrario, dada la inserción proximal del recto femoral en la parte anterior de la pelvis, se debe tener el cuidado de mantener la pelvis neutra o ligeramente inclinada hacia atrás, pues la inclinación pélvica anterior aflojaría el recto femoral, disminuyendo la eficacia del estiramiento. Debido a que el recto femoral es un flexor de cadera, colocar la cadera en hiperextensión antes de flexionar la rodilla también aumentará el estiramiento del recto femoral.

El cuádriceps se suele estirar usando la mano para acercar el talón a las nalgas estando en bipedestación (estiramiento de talón a las nalgas, tabla 5.5A), en sedestación (tabla 5.5B), en decúbito lateral o en decúbito prono (tabla 5.5A, variaciones 1 y 2). Sea cual fuere la variación usada, es importante darse cuenta de que, debido a la estructura de la articulación de la rodilla, cuando la rodilla se flexiona por completo, la porción distal de la tibia debe adoptar un ángulo medial respecto a la diáfisis del fémur. De ahí que haya que favorecer este movimiento normal y evitar la torsión de la tibia. El estiramiento del cuádriceps en una silla (tabla 5.5B) permite estirar el cuádriceps en una posición en que el torso está vertical y mantener la pelvis neutra con mayor facilidad. Las tijeras bajas estiran el cuádriceps y generan una posición difícil para los bailarines más flexibles con adecuada flexibilidad en los flexores coxofemorales ya que el peso se carga sobre el muslo y por encima de la rótula de la pierna retrasada (figura 5.30A). Sin embargo, este estiramiento a menudo es inapropiado para los bailarines de nivel principiante y con tirantez, pues la flexibilidad inadecuada requiere una posición poco confortable en la que el peso se carga sobre la rótula (fi-

**Tabla 5.4. Movilidad normal y restricciones a los movimientos primarios de la rodilla**

| Movimiento de la rodilla | Amplitud normal de movimiento* | Factores limitadores pasivos normales |
|---|---|---|
| Flexión | 0°-135° | Aposición de tejidos blandos: caras posteriores del muslo y pantorrilla o talón y nalgas<br>Músculo: cuádriceps femoral |
| Extensión | 0°-10° | Cápsula: porción posterior<br>Ligamentos: cruzados, colateral medial, colateral lateral y poplíteo oblicuo (ligamento situado posteriormente)<br>Músculos: isquiotibiales (con la cadera en flexión acusada) |

* De la American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965).

**Tabla 5.5. Selección de estiramientos para la rodilla**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: extensores de la rodilla<br>Músculos trabajados: cuádriceps femoral | | |
| Posición articular: flexión de la rodilla con extensión de la cadera | | |
| A. Estiramiento llevando el talón a las nalgas en bipedestación (estático)<br> | De pie sobre una pierna y con ligera inclinación pélvica posterior, con una mano asiendo el pie, lleva suavemente la rodilla atrás hasta que el muslo quede casi vertical. Luego acerca el talón a las nalgas hasta sentir un estiramiento moderado en la cara anterior del muslo mientras mantienes una posición neutra de la pelvis.<br>(Mantén una contracción firme de los abdominales para prevenir la inclinación anterior de la pelvis y evita la torsión de la rodilla.)<br>*Variación 1.* En decúbito lateral, usando el brazo superior para tirar del talón de la pierna superior hacia las nalgas.<br>*Variación 2.* En decúbito prono en el suelo. | 1. Acerca más el talón a las nalgas.<br>2. Lleva la rodilla más atrás antes de acercar el talón a las nalgas para aumentar el estiramiento aplicado sobre el músculo recto femoral. |
| B. Estiramiento de cuádriceps en una silla (estático)<br> | Siéntate de lado en una silla con un pie en el suelo y la otra rodilla colgando sobre el borde frontal de la silla, aproximadamente perpendicular al suelo. Usa la mano del mismo lado para acercar hacia las nalgas el talón de la pierna que pende, hasta percibir un estiramiento moderado a lo largo de la cara anterior del muslo.<br>(Mantén una firme contracción de los abdominales para prevenir una inclinación pélvica anterior; desplaza la rodilla que pende directamente hacia el suelo, y evita la torsión de la rodilla.) | 1. Igual que en el ejercicio A. |

*(Continúa)*

**Tabla 5.5. Selección de estiramientos para la rodilla (continuación)**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores de la rodilla<br>Músculos trabajados: isquiotibiales | | |
| Posición articular: extensión de la rodilla con flexión de la cadera | | |
| C. Estiramiento de isquiotibiales de pie (estático)<br> | De pie sobre una pierna con la otra elevada al frente y con el tobillo apoyado en «la barra», en una silla o una caja. Al tiempo que mantienes la rodilla extendida, inclina el tronco sobre esta pierna hasta sentir un estiramiento moderado en el dorso de la rodilla o del muslo. (Tensa el cuádriceps si fuera necesario para mantener la rodilla totalmente extendida, pero no hiperextendida; inclina el tronco adelante flexionando la cadera al tiempo que mantienes la porción superior de la espalda extendida y no encorvada.) | 1. Aumenta gradualmente la altura del objeto en que descansa la pierna extendida.<br>2. Acerca más el tronco a la pierna adelantada. |

gura 5.30B). En tales casos, se recomiendan alternativas como la práctica de tijeras sin aproximar el talón a las nalgas (con la pierna inferior en el suelo o levantada, figura 5.30C) o su sustitución por decúbito prono, lateral o en bipedestación (figura 5.30D).

### Estiramientos para los músculos flexores de la rodilla

Con la cadera flexionada como en un *développé en avant*, la falta de suficiente flexibilidad en los isquiotibiales puede limitar la capacidad de extender por completo la rodilla. Como los isquiotibiales también cruzan la cadera, en el capítulo 4 se han descrito los estiramientos relacionados con la cadera para estos músculos. Sin embargo, hay ocasiones en que aunque la cadera no esté flexionada algunos bailarines no son capaces de extender las rodillas. Esto puede deberse a factores estructurales como el ángulo entre la tibia y el fémur, así como a restricciones de tejidos blandos como ligamentos y la cápsula enumerados en la tabla 5.4, y la prudencia sobre los estiramientos de tales estructuras es controvertida. Por ello es importante que tales bailarines acudan a un ortopeda para determinar sus restricciones y si es aconsejable estirar la rodilla. Sin embargo, si no están contraindicados, los estiramientos habituales, suaves y cuidadosos de la rodilla, como el estiramiento de isquiotibiales de pie (tabla 5.5C), a menudo logran una mejora gradual (que en muchos casos lleva meses o un año). Como las estructuras que se estiran no son principalmente musculares, los estiramientos se deberían practicar con particular cuidado de que el cuerpo esté suficientemente calentado, evitando una fuerza excesiva o el dolor que puede derivar en lesiones.

## Lesiones de rodilla en los bailarines

El hecho de que la articulación de la rodilla se localice entre los huesos más largos del cuerpo y que, aunque ancha, sea una articulación poco profunda, la vuelve muy vulnerable a las tensiones en valgo y varo con el riesgo potencial de lesión en ligamentos y meniscos. Esta vulnerabilidad potencial aumenta con la rotación de la rodilla cuando está flexionada. En sentido anterior, el cuádriceps, la rótula y el tendón rotuliano (llamados conjuntamente mecanismo extensor) desempeñan funciones clave antigravitatoria, de desaceleración, aceleración y estabilidad, y también pueden sufrir lesiones agudas y crónicas.

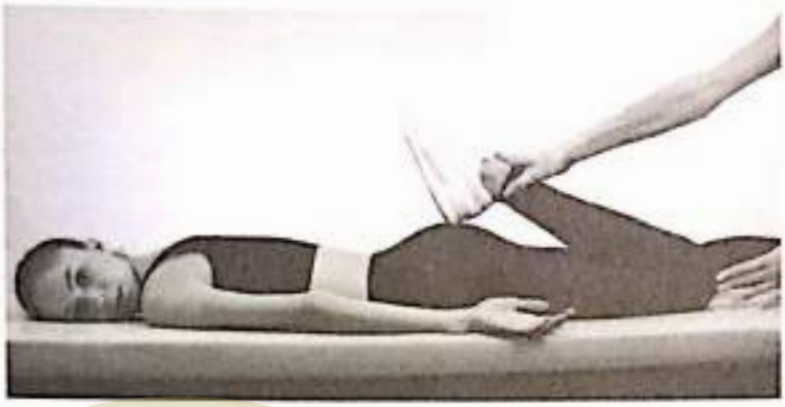
Con esta vulnerabilidad general a las lesiones y con las grandes demandas impuestas a la rodilla en los saltos, el trabajo de suelo y la flexión repetitiva, no sorprende que las le-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

PRUEBAS Y MEDICIONES 5.4

### *Prueba exploratoria de la flexibilidad del cuádriceps femoral*

Con el bailarín en decúbito prono, el examinador aplica ligera presión sobre el tobillo para acercar un talón a las nalgas como se ve en la figura. Se detendrá el movimiento si se experimenta cualquier dolor. El bailarín se debe centrar en usar los músculos abdominales para impedir que la pelvis se incline anteriormente durante la prueba. El objetivo es acercar con facilidad el talón a las nalgas con el pie relajado, pero, si no se aproximara con facilidad, el examinador usará una regla para medir la distancia entre el talón y las nalgas mientras se mantiene una ligera presión. Mantener el tobillo en un ángulo recto vuelve la prueba más exigente, aunque algunos bailarines se verán detenidos por la aproximación entre los músculos de la cara posterior del muslo y los de la pantorrilla frente a la tirantez del cuádriceps con esta variación de la prueba.



siones de rodilla sean habituales en los bailarines. Se ha documentado que el porcentaje del total de lesiones de rodilla es del 16,1% al 17,3% en los bailarines de ballet (Garrick, 1999; Quirk, 1987) y del 14,5% al 18% en los bailarines de las escuelas de arte (Rovere *et al.*, 1983; Wiesler *et al.*, 1996). Una encuesta a bailarines de danza moderna reveló que la rodilla era el punto anatómico que más lesiones registraba; el 20,1% de los bailarines refirieron lesiones en esta área (Solomon y Micheli, 1986), mientras que una encuesta a bailarines de Broadway detectó un 15% de lesiones en la rodilla durante la representación de las obras (Evans, Evans y Carvajal, 1996).

## Prevención de lesiones de rodilla

Como la fuerza absoluta del cuádriceps de algunos bailarines puede ser inferior a lo deseable y como una producción baja de potencia por los muslos suele estar relacionada con una mayor gravedad de las lesiones de la extremidad inferior (Koutedakis *et al.*, 1997), muchos bailarines se beneficiarían de incluir ejercicios suplementarios de fortalecimiento del cuádriceps y los isquiotibiales (estos últimos para mantener las fuerzas equilibradas) dentro de sus regímenes de entrenamiento regular. Además de ejercicios aislados, este entrenamiento también debería incluir ejercicios dirigidos a desarrollar fuerza funcional, como saltos, en los cuales la propiocepción y la destreza neuromuscular se desarrollen en movimientos que se suelen asociar con lesiones. Un estudio demostró que un programa que utilizaba prácticas con rebotes (entrenamiento pliométrico) redujo las lesiones en el LCA a casi un tercio de las registradas en deportistas sin esta preparación (Hewett *et al.*, 1999).

Una flexibilidad adecuada del cuádriceps y prestar mucha atención a la técnica también ayudan a reducir el riesgo de lesiones. Respecto a la técnica, la torsión excesiva de la tibia respecto al fémur, la estabilización inadecuada de la cadera durante el *en dehors*, dejar que las rodillas caigan hacia dentro respecto a los pies, el uso excesivo del cuádriceps o la pronación excesiva de los pies pueden generar tensión indebida en la rodilla y aumentar el riesgo de ciertas lesiones de rodilla.

## Lesiones habituales de rodilla en los bailarines

Son muchos los tipos distintos de lesiones que pueden ocurrir en la rodilla. A continuación abordamos algunas de

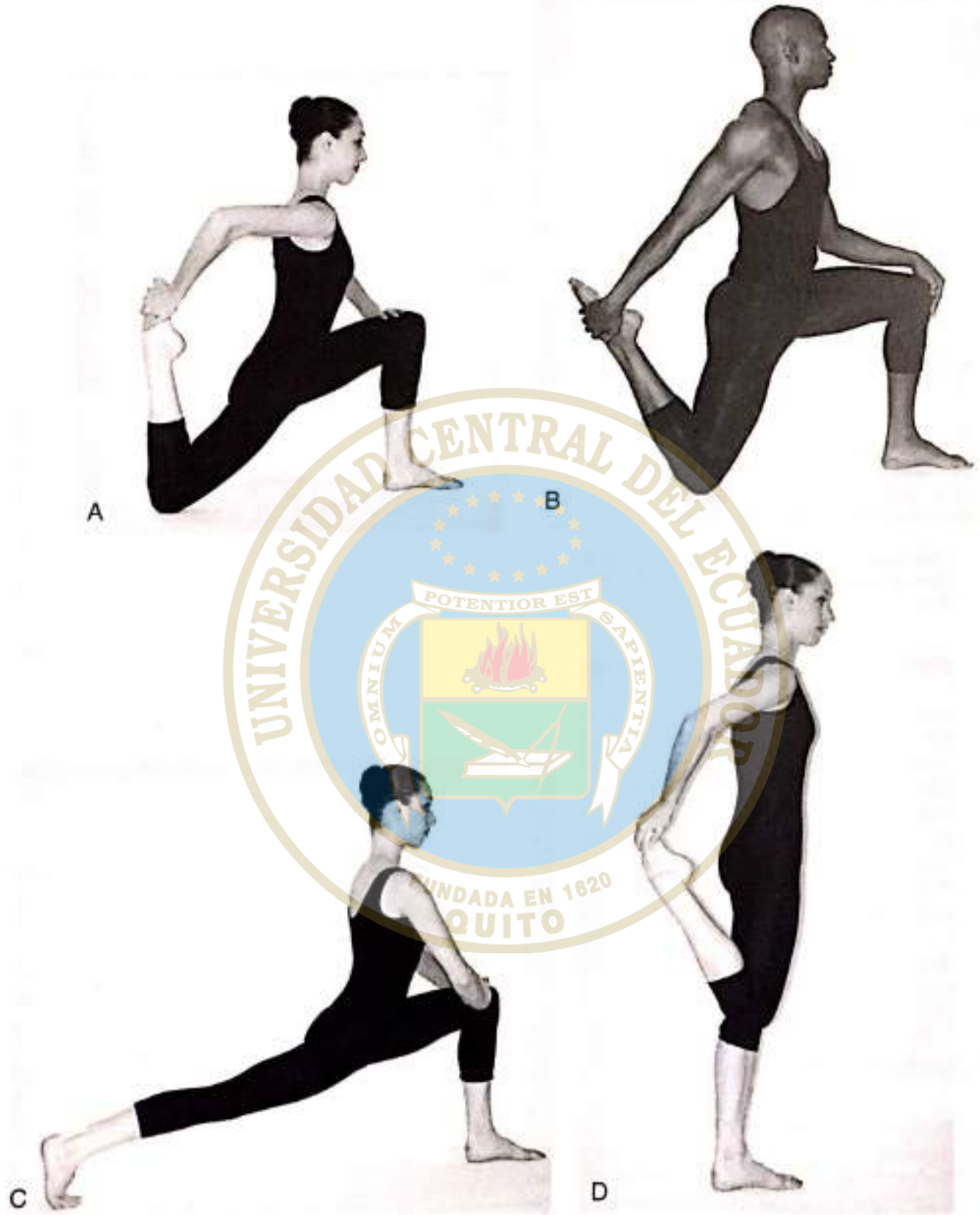



FIGURA 5.30. Estiramiento de cuádriceps con una tijera baja. (A) Bailarina flexible con el peso sobre el muslo, encima de la rótula; (B) bailarín menos flexible con el peso sobre la rótula; (C) estiramiento alternativo de los músculos flexores de la cadera; (D) estiramiento alternativo del músculo cuádriceps.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

estas lesiones que suelen sufrir con más frecuencia los bailarines, y remitimos a aquellos que estén interesados a las publicaciones de James Garrick (1989, 1999), Ronald Quirk (1987) y otros autores citados en esta sección para un estudio más detallado de las lesiones de rodilla.

## Lesiones ligamentarias de rodilla

Las lesiones ligamentarias graves en la rodilla son muy habituales en esquí y deportes de contacto. Aunque menos habituales en danza, cuando ocurren afectan gravemente la capacidad de los bailarines para bailar y es esencial un tratamiento médico inmediato. Con los jóvenes hay que tener especial cuidado de que el tratamiento médico sea adecuado, ya que los ligamentos de la rodilla suelen ser más fuertes que las láminas de crecimiento y una lesión ligamentaria puede significar también una lesión epifisaria.

Los ligamentos son claves para la estabilidad de la rodilla, por lo que, cuando se rompe un ligamento, la estabilidad genicular queda temporalmente comprometida. Los dos ligamentos que sufren daños con más frecuencia en los bailarines son el ligamento colateral medial y el LCA. Los bailarines con movilidad articular extrema generalizada (hipermovilidad) son probablemente más vulnerables a estas lesiones ligamentarias.

***Lesión del ligamento colateral medial.*** La lesión de ligamentos más corriente en el deporte afecta el ligamento colateral medial (Caillet, 1996). Estas lesiones a menudo se deben a una fuerza en sentido medial que incide sobre el lado externo de la rodilla (fuerza deformante en valgo) y que tiende a abrir la región medial de la rodilla, como se ve en la figura 5.31. En la danza, este tipo de fuerza puede darse cuando un bailarín cae sobre otro, como puede ocurrir, por ejemplo, en una improvisación con contacto. Las lesiones sin contacto del ligamento colateral medial pueden ser producto de una desaceleración, un pivotaje o con *en dehors* forzado con empuje anterior de la rodilla respecto al pie, como en los *pliés en dehors* en quinta posición (Quirk, 1988). Parece que el ligamento colateral medial es particularmente vulnerable a la torsión externa de la tibia (Hall, 1999).

Los síntomas de esta lesión son dolor en la cara interna de la rodilla donde se localiza el ligamento colateral medial. Cuando se palpa el ligamento, suele haber hipersensibilidad e inflamación. Las pruebas practicadas por el médico con el fin de generar tensión en este ligamento (véase Pruebas y mediciones 5.1 en la pág. 244) también suelen ser positivas.

El tratamiento variará mucho dependiendo de la gravedad del esguince y del enfoque de la lesión por parte del médico. Los esguinces más graves pueden requerir inmovilización inicial y muletas o un bastón para la locomoción (Diduch, Scuderi y Scott, 1997; Mercier, 1995), mientras que los esguinces menos graves pueden exigir sólo limitación temporal de movimientos específicos de danza como la quinta posición. Se procede al fortalecimiento del cuádriceps y al ulterior fortalecimiento de otros músculos que cruzan la rodilla, con cuidado de adoptar posiciones y amplitudes que sean indoloras y eviten tensiones indebidas en valgo. Con su localización fuera de la articulación (extraarticular), este ligamento tiene buena capacidad de curación (Scioscia, Giffin y Fu, 2001). De ahí que la recuperación de desgarros del ligamento colateral medial con tratamientos conservadores tienda a ser excelente, con un muy buen pronóstico de reanudar sin problemas la danza.

***Lesión del ligamento cruzado anterior.*** Una de las lesiones más temidas por los bailarines es la rotura del LCA, que se muestra en la figura 5.32. Las lesiones del ligamento cruzado anterior ocurren con más frecuencia en deportes que implican desaceleración, torsión, pivotaje y saltos; todos ellos movimientos que se dan en danza. Las mujeres parecen mostrar una incidencia mucho mayor de desgarros del ligamento cruzado anterior que los hombres en deportes competitivos; según distintas fuentes, se calcula que el riesgo es dos a siete veces mayor en las mujeres (Diduch, Scuderi y Scott, 1997; Ireland, 2000; Scioscia, Giffin y Fu, 2001). Esta elevada incidencia en las mujeres se ha atribuido a la forma y tamaño de la tróclea femoral, al menor desarrollo muscular, a la mayor laxitud ligamentaria, a una propiocepción menos desarrollada, a la mayor flexibilidad de los isquiotibiales que tal vez reduzca su potencial efecto protector sobre el ligamento y a la alineación anatómica que tiende a crear un ángulo Q mayor (Boden, Griffin y Garrett, 2000; Scioscia, Giffin y Fu, 2001).

Un mecanismo habitual de las lesiones de este ligamento en deportes de contacto es un golpe lateral en la rodilla

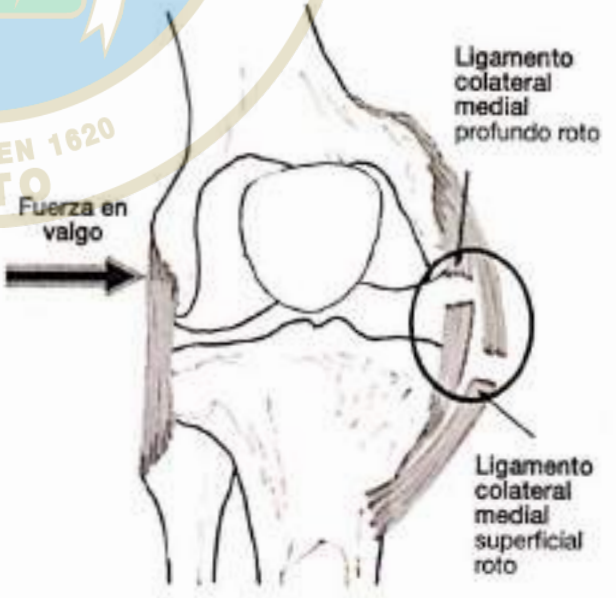



FIGURA 5.31. Lesión en el ligamento colateral medial (rodilla derecha, vista anterior).

acompañado de rotación externa. En lesiones del LCA sin contacto, una posición habitual de aterrizaje comprende la caída del cuerpo de modo que la cadera esté en aducción y rotación interna, con hundimiento de la rodilla en valgo mientras la tibia se traslada adelante desde una posición de rotación externa. Esta posición se denomina «posición de no retorno» y aparece en la figura 5.32B. El mecanismo más habitual de la lesión en danza moderna, ballet y jazz parece ser la recepción en hiperextensión tras un salto sobre una pierna, como se ve en la figura 5.32C (Liederbach y Dilgen, 1998).

Lo habitual es que el bailarín sienta un chasquido sordo y no pueda seguir bailando en el momento de la lesión del ligamento. La rodilla se suele sentir inestable, con dolor significativo y la aparición rápida de inflamación. Sin embargo, como los ligamentos en sí no suelen contener receptores del dolor, el grado de dolor no es necesariamente un buen indicador del grado de la lesión, y los bailarines deberían someterse a un examen médico si hay inestabilidad, aunque el dolor sea limitado. Las pruebas que practica el médico pensadas para comprobar la integridad de este ligamento, como la prueba del cajón anterior (véase Pruebas y mediciones 5.1C en la pág. 244), suelen ser positivas, y algunos traumatólogos usan un aparato para medir el desplazamiento anterior exacto de la tibia en el lado dañado en comparación con el lado sano.

El tratamiento recomendado para lesiones menores del ligamento cruzado anterior comprende inmovilización inicial en un vendaje compresivo con aplicación de hielo y elevación, al cual seguirá el fortalecimiento de los isquiotibiales y el cuádriceps (Mercier, 1995). No obstante, si la rotura es completa, esta lesión suele requerir reparación quirúrgica en personas activas. Los bailarines con deficiencia del ligamento cruzado anterior suelen describir que la rodilla se separa o «se sale» (p. ej., deslizamiento de la tibia anterior y luego posterior) en movimientos como bajar escaleras. Los episodios repetidos de inestabilidad pueden agravar dicha inestabilidad y causar lesiones de menisco y degeneración de la superficie articular (Evans, Chew y Stanish, 2001; Sutter y Herzog, 2000). De ahí que a menudo se recomiende cirugía para mejorar la estabilidad y la función articular, y Weiker (1988) afirma que la reparación quirúrgica de una rotura del LCA ofrece del 85% al 95% de posibilidades de seguir la carrera de bailarín profesional en contraste con sólo un 25-30% de posibilidades sin cirugía.

El LCA tiende a curar mal porque se localiza dentro de la articulación (intraarticular), donde el líquido articular interfiere con la formación de trombos de fibrina esenciales para el proceso de curación (Scioscia, Giffin y Fu, 2001). Así, a menudo el tratamiento de elección con bailarines consiste en la reconstrucción, y no reparación, del ligamento roto. Un método habitual consiste en emplear un injerto obtenido del tercio central del tendón rotuliano del bailarín lesionado (incluyendo un fragmento óseo de la tuberosidad de la tibia y otro de la rótula), que se fija a la tibia y el fémur. Otro método emplea un injerto tomado del isquiotibial medial del bailarín lesionado.

Sea quirúrgico o conservador el método elegido, el bailarín debe buscar un tratamiento de rehabilitación a cargo de un fisioterapeuta cualificado que trabaje en estrecha colaboración con el médico. Los ejercicios de extensión de la rodilla en cadena cinética abierta, como la extensión terminal, pueden imponer grandes tensiones al LCA que tal vez causen daños al ligamento dañado o reconstruido. De ahí que haya recomendaciones específicas sobre el grado de mo-

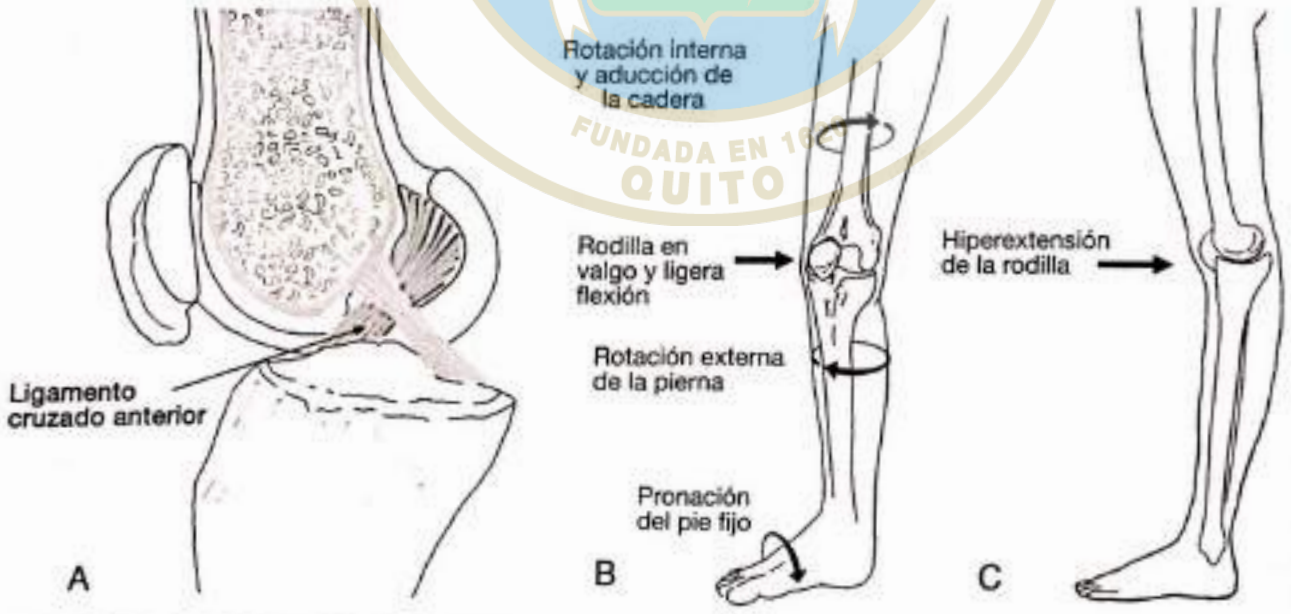



FIGURA 5.32. Lesión del ligamento cruzado anterior (rodilla derecha, vista medial). (A) Movimiento anterior anormal de la tibia; (B) posición de no retorno; (C) mecanismo clásico en danza.

vilidad apropiado, sobre el uso adecuado de ejercicios en cadena cinética abierta y cerrada, y sobre la carga de la articulación en distintas fases de la rehabilitación, que hay que seguir al pie de la letra. Además, a diferencia de lo que ocurre con muchas otras lesiones, se potencia en particular la fuerza de los isquiotibiales, ya que éstos traccionan posteriormente de la tibia y ayudan a la función del ligamento cruzado anterior. Los objetivos a largo plazo de la rehabilitación para esta y otras lesiones de rodilla son potenciar al máximo la estabilidad dinámica de la rodilla y prepararla para funcionar con las diversas cargas presentes en la danza (Boden, Griffin y Garrett, 2000; Brown y Clippinger, 1996; Irrgang, 1993; Loosli y Herold, 1992).

## Lesiones de menisco

El menisco está pensado para moverse con la tibia sobre el fémur de forma muy coordinada. Sin embargo, si este movimiento coordinado se interrumpe, el menisco puede quedar atrapado entre las superficies articulares en oposición de la tibia y el fémur, con lesión resultante por compresión, torque o tracción. El menisco se puede partir, romper en trozos o aflojarse por desgarro de sus inserciones ligamentarias. Se ha documentado que el menisco medial se rompe de 10 (Mercier, 1995) a 20 veces (Caillet, 1996) con más frecuencia que el lateral en la población general. Un estudio con bailarines también mostró el predominio de las roturas del menisco medial, siendo el menisco medial el afectado en 13 de las 15 roturas de menisco examinadas artroscópicamente (Oliver y Campbell, 1985). Esta mayor vulnerabilidad del menisco medial probablemente esté relacionada con su reducida movilidad debido a su inserción en el ligamento colateral medial y en la cápsula articular.

Uno de los mecanismos más habituales de las lesiones de menisco es la extensión desde una posición de flexión y abducción de la rodilla (tensión en valgo) mientras la pierna se rota externamente con el pie fijo. En los deportes de contacto, como el fútbol americano, este mecanismo suele ser repentino y traumático. Sin embargo, en la danza, se cree que este mecanismo puede ser crónico, es decir, que el *en dehors* repetitivo y forzado puede causar un desgaste crónico y la rotura del menisco (Quirk, 1987; Scioscia, Giffin y Fu, 2001; Silver y Campbell, 1985). Los bailarines también han referido lesiones de menisco asociadas con pérdidas del equilibrio o torsión en una posición de flexión profunda de la rodilla, como las asociadas con el trabajo en suelo en la danza moderna o jazz, o en los *grand pliés* en primera o quinta posiciones en los ejercicios en el centro de la sala. En flexión completa, los meniscos quedan atrapados entre los huesos articulados, y, si se produce una torsión en esta posición vulnerable, puede devenir una lesión. Para reducir el riesgo de lesión, se debe adoptar con cautela la flexión completa de la rodilla en carga, con progresiones apropiadas para principiantes y haciendo hincapié en la buena ejecución.

En algunos casos de lesiones de menisco repentinas, se experimenta un chasquido o desgarro, seguido de dolor intenso (Mercier, 1995). Con más frecuencia, los síntomas consisten en dolor moderado que remite gradualmente (Diduch, Scuderi y Scott, 1997). Es habitual sentir hipersensibilidad localizada en la línea articular sobre el menisco. La hinchazón suele ser pequeña, a menudo no alcanza un máximo hasta el día después de la lesión inicial y puede reproducirse en múltiples ocasiones (Scioscia, Giffin y Fu, 2001). Los *grand pliés* pueden ser dolorosos, y el grado de movilidad de la rodilla puede ser limitado. A menudo hay aprensión ante adoptar sentadillas completas. En los días o semanas posteriores a la lesión inicial, a menudo se siente un bloqueo, engatillamiento o cesión dolorosos, sobre todo en movimientos de flexión y torsión. La atrofia del cuádriceps femoral suele producirse con rapidez.

El tratamiento inicial recomendado para lesiones de menisco suele implicar limitar la actividad, aplicar hielo, compresión y elevación, y el uso de antiinflamatorios, seguido por el fortalecimiento del cuádriceps (Diduch, Scuderi y Scott, 1997; Mercier, 1995). Muchas roturas de menisco, en especial las pequeñas, se localizan en el tercio externo del menisco, donde el riego sanguíneo es adecuado (figura 5.33B), y pueden curar espontáneamente. Sin embargo, si la rodilla no responde de forma adecuada al tratamiento conservador o se producen episodios repetidos de engatilla-

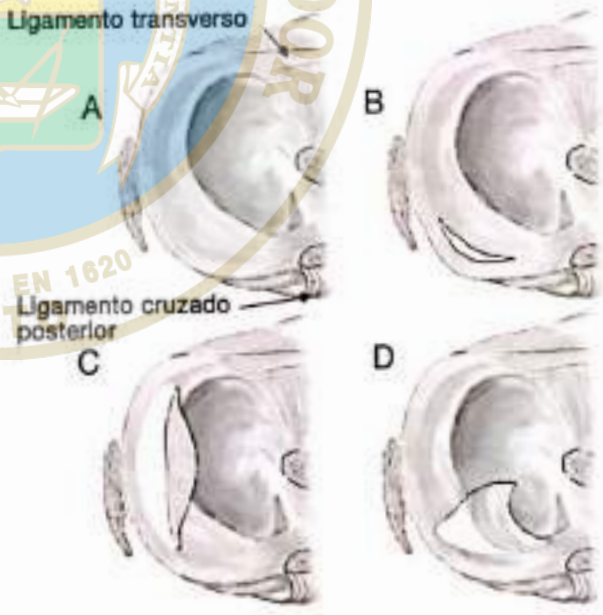



FIGURA 5.33. Lesión de menisco (rodilla derecha, vista superior). (A) Menisco normal; (B) pequeño desgarro circunferencial; (C) desgarro parcial e invasión de la articulación (desgarro pedunculado); (D) desgarro del área posterior e invasión de la articulación (desgarro del «cuerno posterior»).

miento, bloqueo o cesión, a menudo se recomienda la cirugía. Estos episodios se pueden relacionar con la invasión de la articulación por la porción rota del menisco, donde queda atrapada entre los cóndilos, como se ve en la figura 5.33C y D. Si continúa el pinzamiento, se cree que esta compresión mecánica puede causar daños y cambios artríticos en la superficie articular de la rodilla.

Sin embargo, incluso si la cirugía está indicada y el tipo de lesión lo permite, la cirugía se suele practicar artroscópicamente para preservar o reparar la parte del menisco que es viable o tiene suficiente riego sanguíneo para curar (Quirk, 1987; Scioscia, Giffin y Fu, 2001). Este método permite un período de recuperación más corto y menos riesgo de sufrir en el futuro artritis degenerativa que la cirugía abierta con extirpación completa del menisco. Se ha calculado que la presión que soporta la articulación femorotibial en carga es tres veces mayor cuando no hay menisco (Hall, 1999).

La recuperación de lesiones de menisco, incluso cuando se requiere cirugía, suele ser excelente. A largo plazo, este tipo de lesión presenta muy buen pronóstico para la vuelta a la danza sin restricciones.

### La tríada de O'Donoghue

En algunas lesiones se ven implicadas múltiples estructuras. Cuando se suma un componente rotacional a la fuerza medial que incide en la rodilla, se pueden lesionar al mismo tiempo el LCA, el menisco medial y el ligamento colateral medial. Esta lesión combinada se denomina **«tríada de O'Donoghue»**. Es una lesión grave que requiere un diagnóstico y tratamiento médico inmediatos.

### Lesión del mecanismo extensor de la rodilla

Cualquier componente del mecanismo extensor de la rodilla, incluidos el músculo cuádriceps en sí, los tendones del cuádriceps y la rótula, se puede lesionar, si bien los dos últimos se ven afectados con mayor frecuencia. A continuación ofrecemos una descripción de varias lesiones que afectan estas dos últimas estructuras.

*Síndrome del dolor femororrotuliano.* El **síndrome del dolor femororrotuliano** es un dolor anterior en la rodilla que se relaciona con la rótula y se asocia con el retináculo, como se muestra en la figura 5.34A. En casos documentados de daños en el espeso cartílago que reviste el dorso de la rótula, el dolor femororrotuliano se puede clasificar de forma más específica como **condromalacia rotuliana**, que significa literalmente cartílago blando. El dolor femororrotuliano es el tipo de dolor genicular predominante en adolescentes y adultos jóvenes, y uno de los síntomas más corrientes que lleva a los deportistas a las consultas de medicina deportiva (Caillet, 1996; Garrick, 1989; Mercier, 1995; Weiker, 1988). El dolor femororrotuliano se suele apreciar en actividades que comprenden impactos elevados o una flexión repetitiva de la rodilla. Como la danza contiene ambos elementos, no sorprende que sea un síndrome predominante en los bailarines. En una encuesta a 362 bailarines preprofesionales y profesionales de danza moderna y ballet, el 38% refirió tres o más síntomas clásicos del síndrome de dolor femororrotuliano asociados con la danza en algún momento de los ensayos (Clippinger-Robertson *et al.*, 1986).

Además de las fuerzas de compresión altas y repetitivas asociadas con la danza, existen factores anatómicos y biomecánicos subyacentes que tienden a aumentar el riesgo de sufrir dolor femororrotuliano. Por ejemplo, factores que tienden a reducir la estabilidad de la rótula como el *genu recurvatum* y la debilidad del músculo vasto medial –así como factores que producen alineación defectuosa de la rótula como la rodilla valga, la anteversión excesiva del fémur, el aumento del ángulo Q o la tirantez de la cintilla iliotibial– aumentan el riesgo del síndrome del dolor femororrotuliano (Grabiner, Koh y Draganich, 1994; Reider, Marshall y Warren, 1981; Sheehan y Drace, 1999; Winslow y Yoder, 1995). Algunas de estas alineaciones defectuosas se suelen dar simultáneamente, y ello se denomina síndrome de mala alineación, como se muestra en la figura 5.34B. En general, el síndrome del dolor femororrotuliano ocurre con más frecuencia en las mujeres que en los hombres. Se cree que esto se debe a su mayor ángulo Q y al vector valgo asociado con la mayor anchura de la pelvis, a la tendencia a una mayor hiperextensión de la rodilla o a la mayor debilidad del cuádriceps de las mujeres respecto a los hombres. En esencia, se cree que los factores de la inestabilidad rotuliana y la alineación defectuosa permiten la excursión lateral y anormal de la rótula contra el borde lateral de la tróclea femoral, lo cual provoca una excesiva fuerza de cizallamiento en la rótula.

Los síntomas clásicos del síndrome del dolor femororrotuliano son: (1) dolor generalizado (inespecífico) detrás o en torno a la rótula, y sobre todo medial a la rótula; (2) dolor durante la flexión de la rodilla, como en los *grand plié*; (3) dolor al llevar mucho tiempo sentados; (4) dolor al bajar escaleras, y (5) debilidad, hinchazón y dolor durante o después de una actividad. Uno de los síntomas que distingue con más claridad este síndrome de otras lesiones de rodilla es el dolor al llevar cierto tiempo sentados, como en el cine, el coche o en un avión. Mientras que otras lesiones con frecuencia no duelen en reposo, el cuádriceps está ligeramente estirado por la posición flexionada de la rodilla al sentarnos, lo cual genera un poco de compresión femororrotuliana y, por tanto, dolor. El examen médico suele revelar dolor cuando se aplica presión sobre el dorso de la rótula, y puede haber hinchazón y crepitación (Mercier, 1995). La atrofia relativa del músculo vasto medial también suele ser aparente, y con frecuencia se distinguen otros factores de inestabilidad o alineación defectuosa como los previamente descritos.

El tratamiento inicial recomendado suele consistir en aplicación de hielo después de la actividad, modificación de

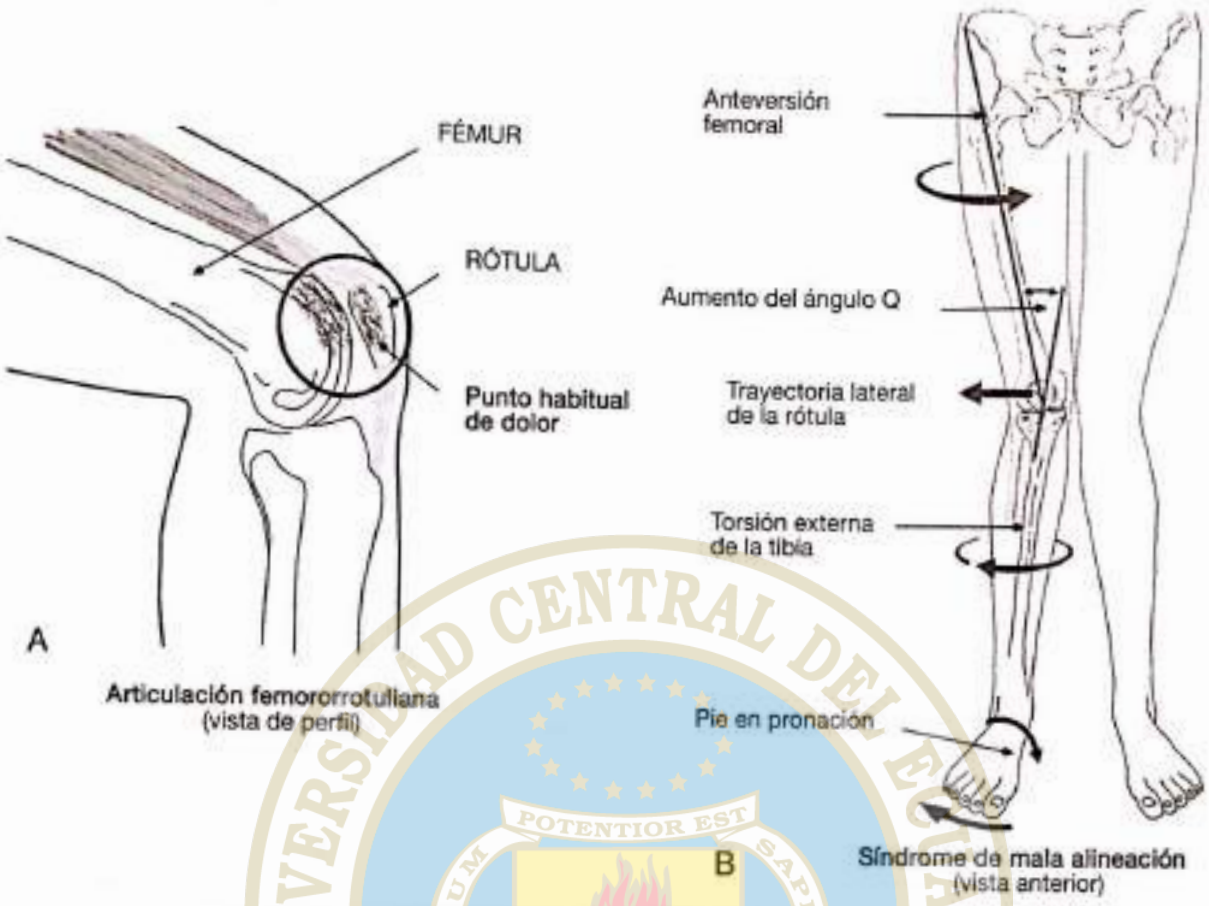



FIGURA 5.34. Síndrome del dolor femororrotuliano. (A) Lugar habitual del dolor; (B) alineaciones defectuosas habitualmente asociadas.

la actividad y administración de antiinflamatorios (Garrick, 1989; Roy e Irvin, 1983). Los movimientos de danza asociados con elevadas fuerzas de compresión o dolor, como los *pliés*, tijeras, saltos y el trabajo en el suelo, se deben evitar temporalmente o modificar para trabajar dentro de una amplitud indolora (tabla 5.6).

Sin embargo, el aspecto más importante a largo plazo del éxito de la rehabilitación es el desarrollo de la fuerza del cuádriceps para compensar la tendencia al valgo y restablecer la trayectoria óptima de la rótula. Por desgracia, la atrofia del cuádriceps parece ocurrir con rapidez, y la inhibición refleja puede reducir la capacidad de este músculo para generar la fuerza deseada en cuestión de horas (Kennedy, Alexander y Hayes, 1982; Urbach *et al.*, 1999). Muchos ejercicios clásicos usados para fortalecer el cuádriceps tienden a agravar la situación. De ahí que suela ser muy eficaz un programa supervisado de fisioterapia que emplee inicialmente ejercicios isométricos (p. ej., ejercicio estático de cuádriceps y elevación de la pierna extendida, tabla 5.3A y B) y con un arco reducido de movimiento (extensión terminal de la rodilla, tabla 5.3C), donde las fuerzas de compresión sean bajas, y prestando especial atención a la activación de los músculos apropiados y a evitar la hiperextensión de la rodilla. Cuando la atrofia del cuádriceps o la inhibición son acusadas, puede prescribirse también la estimulación eléctrica del cuádriceps femoral mientras el bailarín genera una contracción consciente.

También es útil prestar atención y corregir cualquier anomalía subyacente o error técnico que se pueda mejorar, como tirantez de la cintilla iliotibial, hiperextensión de las rodillas o *en dehors* forzado. Según la experiencia de la autora, trabajar con bailarines para mantener el *en dehors* en la cadera y potenciar el uso de los músculos aductores de la cadera mientras se deja de usar con tanto énfasis el cuádriceps durante movimientos como *pliés* también sirve para aliviar los síntomas (Clippinger-Robertson *et al.*, 1986). En algunos casos, los vendajes (vendaje de McConnell) o una rodillera (de estabilización) pueden tener una sutil influencia positiva sobre la mecánica articular (Jenkinson y Bolin, 2001; Powers *et al.*, 1999) mientras se desarrolla fuerza adecuada en el cuádriceps.

Aunque en una gran mayoría de los casos un tratamiento conservador que favorezca el fortalecimiento del

**Tabla 5.6 Movimientos de danza que con frecuencia agravan la condición de las rodillas en bailarines de ballet y danza moderna que refieren problemas femororrotulianos**

| Movimiento de danza | Ballet | Danza moderna | Ambas |
|---|---|---|---|
| *Plié* | 60% (27) | 69% (41) | 65% (68) |
| Saltos | 27% (12) | 22% (13) | 24% (25) |
| Flexión a extensión | 18% (8) | 22% (13) | 20% (21) |
| *En dehors* | 20% (9) | 10% (6) | 14% (15) |
| Trabajo de suelo/de rodillas | 0% (0) | 20% (12) | 12% (12) |
| Número de bailarines | 45 | 59 | 104 |

Bailarines que refirieron tres o más síntomas clásicos de condromalacia rotuliana. De Clippinger-Robertson *et al.* (1986).

cuádriceps suele aliviar los síntomas; en un pequeño número de casos que no responden al tratamiento, se puede recomendar cirugía (Weiker, 1988). Un procedimiento quirúrgico habitual es descomprimir la cara posterior de la rótula y tratar de favorecer la curación del cartílago. Otro procedimiento quirúrgico emplea distintas técnicas para mejorar la alineación del mecanismo extensor de la rodilla.

***Rodilla del saltador.*** La **rodilla del saltador** es una lesión del tendón rotuliano justo en su unión con el polo inferior de la rótula, como se muestra en la figura 5.35. Algunos autores también consideran en esta categoría la lesión del tendón del cuádriceps en su unión con la porción superior de la rótula (Bergfeld, 1982; Blazina *et al.*, 1973; Cook *et al.*, 2000). Se cree que la rodilla del saltador consiste en un desgarro repentino inicial del tendón del cuádriceps durante un movimiento que implica una contracción explosiva del músculo cuádriceps. Entonces, antes de que este punto se haya podido curar, un traumatismo adicional agrava la lesión, que deviene crónica, a menudo con una pequeña área de tejido de granulación en el lugar del desgarro original (Quirk, 1987).

Como su nombre implica, esta lesión es particularmente habitual en los jugadores que practican deportes en los que se salta constantemente, como el voleibol o el baloncesto. También se diagnostica en deportes que someten a tensión repetitiva el cuádriceps, como correr, dar patadas o escalar. Teniendo en cuenta que la danza implica saltos y muchos movimientos repetitivos que generan tensión en el cuádriceps, no sorprende que la rodilla del saltador se diagnostique en bailarines. En teoría, los factores que aumentan el riesgo de sufrir esta lesión en los bailarines son la participación en papeles muy atléticos con muchos saltos (Quirk, 1987), un aumento excesivo de la sobrecarga, cambios bruscos en el estilo de danza, ensayar en suelos duros, fuerza inadecuada del cuádriceps, estirones de crecimiento y tirantez en la pantorrilla, dando lugar a un *plié* limitado que requiere la absorción de grandes fuerzas en un período corto de tiempo (Khan *et al.*, 1995; Poggini, Losasso e Iannone, 1999; Quirk, 1987).

El dolor suele ser de lenta aparición y se centra en el tendón, justo superior o inferior a la rótula (Blazina *et al.*, 1973). Este dolor suele ser fijo y continuo y tiende a remitir tras un período de descanso. En los casos leves de tendinitis, el dolor suele aparecer al inicio de la actividad, desaparece o disminuye significativamente tras un «calentamiento» y luego reaparece al término de la actividad. En estadios más avanzados, el dolor se vuelve más persistente y tiende a manifestarse antes, durante y después de la actividad. En general, este dolor se exacerba al practicar saltos y se puede reproducir extendiendo la rodilla contra una resistencia. En algunos casos, el dolor se acompaña de una sensación de «debilidad» o de que la rodilla «cede».

El tratamiento que se suele recomendar para los casos más leves de rodilla del saltador consiste en calor o un calentamiento extra antes de la actividad (o ambas cosas), aplicación de hielo tras la actividad, antiinflamatorios y,

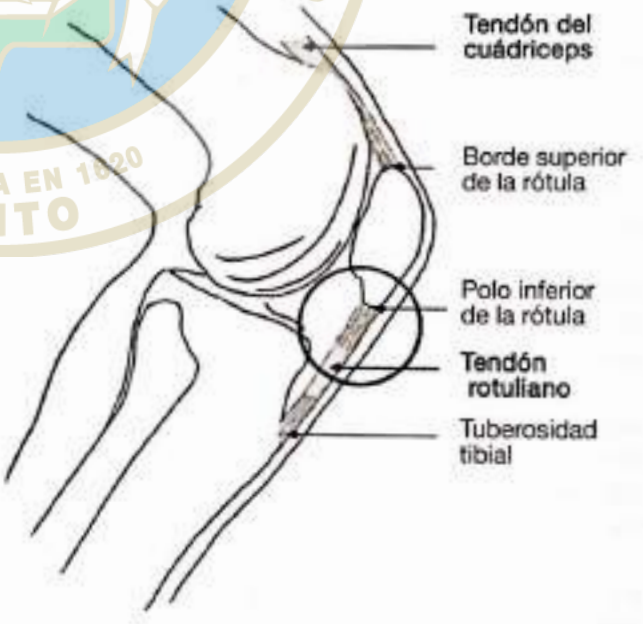



FIGURA 5.35. Rodilla del saltador y puntos asociados de dolor (rodilla derecha, vista de perfil).

en algunos casos, modalidades de fisioterapia (Bergfeld, 1982). Los saltos y otros movimientos de flexión genicular con elevadas cargas se evitarán temporalmente mientras se inicia el fortalecimiento y estiramiento del cuádriceps (Diduch, Scuderi y Scott, 1997). Aunque el fortalecimiento del cuádriceps sea esencial, hay que evitar los ejercicios pliométricos en todo el arco de movimiento porque a menudo agravan la lesión. Por el contrario, el tratamiento inicial suele comprender ejercicios de extensión terminal de la rodilla (tabla 5.3C, pág. 276) dentro de un grado de movilidad indolora, así como elevación de la pierna extendida (tabla 5.3B, pág. 276) con la rodilla en una posición indolora (que a menudo requiere una flexión muy ligera en vez de extensión completa). Los estadios finales del tratamiento pueden consistir en el fortalecimiento excéntrico del cuádriceps. Además, hay que corregir factores técnicos, como una mala técnica de aterrizaje en los saltos, si fuera lo indicado. En la mayoría de los casos, el tratamiento conservador conllevará una rehabilitación exitosa. Sin embargo, si fracasa, algunos médicos recomiendan la extirpación quirúrgica del área pequeña de tejido de granulación en el tendón del cuádriceps (Quirk, 1983, 1987).

*Enfermedad de Osgood-Schlatter.* La **enfermedad de Osgood-Schlatter** también afecta el tendón del cuádriceps; pero, al contrario que la rodilla del saltador, afecta la inserción inferior del tendón rotuliano donde se une a la tuberosidad de la tibia, como se ve en la figura 5.36. Esta afección no es realmente una enfermedad, sino que implica una lesión en el centro de crecimiento de la tuberosidad de la tibia (apófisis) debida a la tracción generada por el cuádriceps por mediación del tendón rotuliano (Micheli, 1987). Esta lesión suele volverse evidente entre los 8 y 15 años de edad, y sobre todo durante el período de grandes tirones de crecimiento (Mercier, 1995; Stanitski, 1993). Aunque en la población general predomine más en los hombres que en las mujeres, en los bailarines adolescentes es habitual en ambos sexos. La enfermedad de Osgood-Schlatter es corriente en deportes que requieren una contracción rigurosa o repetitiva del cuádriceps, como al correr, saltar y en *grand pliés*. Los factores expuestos en el contexto del síndrome del dolor femorrotuliano y que tienden a causar alineación errónea de la rótula también aumentan la tensión sobre el tendón del cuádriceps y el riesgo de esta enfermedad.

La enfermedad de Osgood-Schlatter se caracteriza por dolor e hinchazón en la tuberosidad de la tibia. La tuberosidad tibial suele mostrar hipersensibilidad exquisita al tacto o cuando se aplica presión, como al arrodillarse, y a veces muestra un aumento de tamaño.

El tratamiento recomendado suele incluir aplicación de hielo después de la actividad y antiinflamatorios (Stanitski, 1993). Hay que modificar la danza para reducir los movimientos que generan tensión y dolor en el tendón, como el *grand plié*, el *fondu* profundo y el salto. Se pueden llevar protectores acolchados en forma de herradura diseñados para absorber la presión directa sobre la tuberosidad de la tibia si la coreografía requiere trabajo en el suelo, y a veces se prescriben rodilleras (Micheli, 1987). El fortalecimiento y los estiramientos del cuádriceps y la corrección de cualquier factor técnico relacionado también pueden reportar alivio. Felizmente, esta afección casi siempre es autolimitante y desaparece cuando la tuberosidad se une con la porción principal de la tibia (Diduch, Scuderi y Scott, 1997; Quirk, 1987). Sin embargo, si el dolor persiste en la edad adulta, es importante que esa persona vuelva al médico, ya que en algunos casos se ha desprendido por completo un fragmento de la tuberosidad de la tibia.

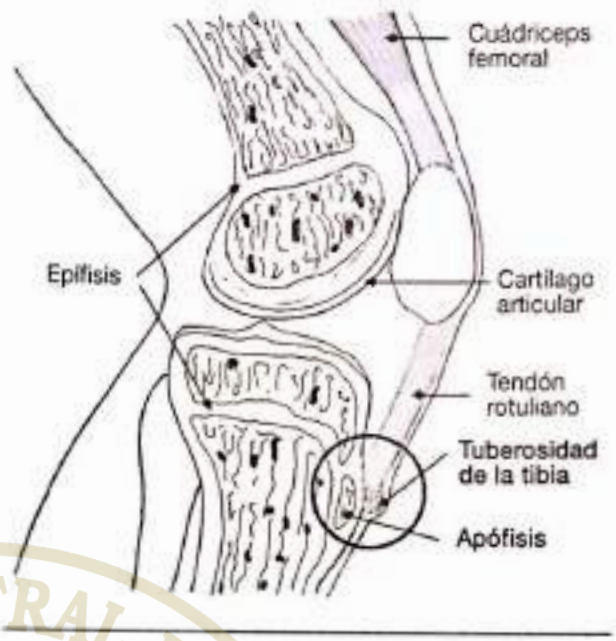



FIGURA 5.36. La enfermedad de Osgood-Schlatter implica daños en el centro de crecimiento asociado con la tuberosidad de la tibia (rodilla izquierda, sección sagital).

## Rehabilitación de lesiones de rodilla

Aunque los métodos de tratamiento varíen según el tipo de lesión y otros factores, una preocupación habitual de la rehabilitación es el restablecimiento eficaz de la fuerza y función del cuádriceps. El cuádriceps femoral, en particular el músculo vasto medial, parece ser muy propenso a la inhibición después de la cirugía, de una lesión o incluso tras un traumatismo pequeño o hinchazón (Hopkins *et al.*, 2001). La **inhibición muscular** es la incapacidad de activar por completo las unidades motoras de un músculo dado con una contracción voluntaria. Esta inhibición tiende a generar debilidad muscular, atrofia y una disminución del control neuromuscular. Los investigadores han hallado que es

corriente un déficit del 20% en la fuerza del cuádriceps, oscilando los déficits más graves entre el 30% y el 45% (Hurley, Jones y Newman, 1994; Sutter y Herzog, 2000).

La inhibición y los déficits relativos de fuerza también pueden ser muy persistentes, patentes meses o incluso años después de la lesión original. Por ejemplo, se documentó una inhibición media del 20% en la fuerza extensora de la rodilla en pacientes 22 meses después de una operación de reconstrucción del LCA. Estos déficits en la fuerza del cuádriceps interfieren potencialmente con el restablecimiento de la función normal de la rodilla, aumentan el riesgo de recidivas y tal vez predispongan a la articulación de la rodilla a enfermedades degenerativas como la osteoartritis. Se ha comprobado que esta inhibición de los músculos extensores se produce con lesiones agudas y crónicas, y puede afectar la extremidad sana además de la lesionada, haciendo desaconsejable usar el lado sano como referencia de lo «normal» cuando se practiquen pruebas de fuerza (Urbach *et al.*, 1999). De ahí que se recomiende una rehabilitación eficaz incluso para lesiones de rodilla leves, para evitar lesiones más graves o recidivantes.

## Resumen

La articulación de la rodilla propiamente dicha se forma entre los cóndilos medial y lateral del fémur y la tibia, y se denomina articulación femorotibial. Esta articulación es una trocleartrosis modificada que permite sobre todo flexión y extensión, pero también algo de rotación transversal. Aunque el área de contacto articular sea muy amplia, su poca profundidad hace de ella una articulación inestable. La necesaria estabilidad adicional procede de una combinación de ligamentos, cápsula articular, meniscos y poderosos músculos. Los ligamentos cruzados son estabilizadores clave que limitan el movimiento anteroposterior y la rotación, además de guiar el deslizamiento del fémur respecto a la tibia durante la flexión de la rodilla. Los ligamentos colaterales son estabilizadores clave en el plano frontal y limitan el movimiento lateromedial y la tensión en valgo y varo. La cintilla iliotibial aporta apoyo lateral adicional a la rodilla. Por encima de los ligamentos y la cápsula hay doce músculos con sus tendones, que proporcionan sujeción adicional y generan movimiento. La acción del cuádriceps femoral es la extensión de la rodilla, mientras que los isquiotibiales y los músculos restantes generan flexión, ligera rotación de la rodilla o ambas cosas. En carga, una vez que la rodilla comienza a flexionarse, la gravedad tiende a acentuar este movimiento; de ahí que los músculos extensores de la rodilla desempeñen un papel clave no sólo para generar extensión concéntrica de la rodilla, sino también para mantener isométricamente la posición flexionada de la rodilla o para controlar excéntricamente la flexión adicional de la rodilla.

El diseño femorotibial favorece la estabilidad y la movilidad, en parte mediante elementos estructurales estáticos, como la anchura de la articulación (que favorece la estabilidad) y su poca profundidad (que favorece la movilidad). Estas exigencias antagónicas también se cumplen mediante la capacidad de la articulación femorotibial para cambiar sus características según la posición. Cuando la rodilla está extendida, las amplias superficies articulares proporcionan sujeción, los ligamentos principales están tensos, la rotación es limitada y se favorece la estabilidad. Sin embargo, cuando la rodilla se flexiona, los ligamentos colaterales se relajan, aumentan las fuerzas que tienden a luxar la articulación, se incrementa la rotación y se favorece la movilidad. Esta movilidad es deseable para permitir los movimientos de rotación cuando el pie está en carga y para situar el pie en el espacio cuando está libre. No obstante, este aumento de la inestabilidad también hace que la articulación corra más riesgo de lesionarse. Las desviaciones habituales en la alineación como la rodilla vara, la rodilla valga y el genu recurvatum también influyen en la predisposición a las lesiones. Para favorecer una mecánica óptima de la rodilla y prevenir lesiones es importante que los bailarines desarrollen suficiente flexibilidad y fuerza equilibrada en la musculatura clave, se potencie la mecánica óptima y se eviten posiciones o movimientos que generen excesivo valgo, varo o rotación de la rodilla.

La articulación femororrotuliana se forma entre la superficie posterior de la rótula y la tróclea femoral subyacente. En contraste con lo que ocurre en la articulación femorotibial, la estabilidad de la rótula es baja cuando la rodilla está extendida, si bien aumenta cuando aumenta la flexión. Sin embargo, como se trata de un hueso sesamoideo y no hay una «verdadera» articulación entre la rótula y el fémur subyacente, en la estabilidad y la excursión de la rótula influyen mucho factores anatómicos y biomecánicos como la ley del valgo. La ley del valgo y el ángulo Q afín generan una tendencia a que la rótula siga una trayectoria lateral, que se puede exagerar por anomalías en la alineación, por fuerza insuficiente del cuádriceps o por torsión de la tibia, como ocurre en los *en dehors* forzados. Para favorecer la mecánica femororrotuliana óptima y reducir el riesgo de lesión, es importante que los bailarines desarrollen suficiente fuerza en el cuádriceps y unos patrones de activación muscular equilibrados, y que se centren en la correcta alineación entre la cadera, la rodilla y el pie.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Localiza los siguientes puntos óseos de referencia en un esqueleto humano: (a) cóndilo y epicóndilo mediales del fémur; (b) cóndilo y epicóndilo laterales del fémur; (c) meseta de la tibia; (d) tuberosidad de la tibia, y (e) la rótula.

2. Dibuja los siguientes músculos sobre un esqueleto y usa una flecha para indicar la línea de tracción de cada músculo. A continuación, junto a cada músculo, enumera sus acciones: (a) recto femoral, (b) vasto lateral, (c) vasto intermedio, (d) vasto medial, (e) bíceps femoral, (f) semitendinoso, (g) semimembranoso y (h) poplíteo.

3. Localiza los siguientes músculos en un compañero, y haz que practique las acciones que estos músculos generan mientras palpas cómo se contraen: (a) cuádriceps femoral, (b) bíceps femoral, (c) semitendinoso y (d) semimembranoso.

4. Sentado en una silla, opón resistencia a la flexión de la rodilla poniendo el pie izquierdo detrás del derecho mientras empujas hacia atrás con la pierna derecha (flexión isométrica resistida). Pon la mano derecha debajo del lado derecho del dorso del muslo y la mano izquierda debajo del lado izquierdo. Palpa los isquiotibiales mientras tiras hacia atrás con (1) la tibia y el pie en rotación externa, (2) paralelos y (3) en rotación interna respecto al fémur. Explica las diferencias que percibes en la contracción muscular en cada caso.

5. Enumera dos ejercicios para fortalecer y dos para estirar los siguientes músculos: (a) cuádriceps femoral, (b) isquiotibiales.

6. Explica las diferencias en el diseño de ejercicios necesarias para aislar el fortalecimiento y estiramiento del recto femoral y no de los músculos vastos.

7. Marca el punto medio de la rótula y la tuberosidad de la tibia con un rotulador o un adhesivo. Luego practica un *demi-plié* en primera posición y fíjate en el cambio en la relación entre los puntos de la rótula y la tuberosidad de la tibia cuando la rodilla se extiende en la fase ascendente del movimiento. Explica su relación con el mecanismo de bloqueo de la rodilla.

8. Usa un rotulador para dibujar el ángulo Q de tu rodilla (o en tu compañero) según las indicaciones dadas antes en este capítulo. A continuación, sentado con ambas piernas extendidas adelante, percibe cualquier movimiento lateral de la rótula mientras practicas un ejercicio estático con los cuádriceps. Compara el ángulo Q con el de otros tres bailarines. Describe la relación de la ley del valgo con esta trayectoria lateral de la rótula, y enumera otras dos desviaciones en la alineación que potencien esta tendencia.

9. Pon una mano en la cara anterior del muslo 15 centímetros por encima de la rótula y la otra detrás y por encima de la rodilla sobre los isquiotibiales. Palpa estos músculos mientras practicas un *demi-plié* en primera posición paralela y fíjate en la contracción de ambos grupos musculares. Explica cómo puede ocurrir esto aunque desempeñen funciones antagónicas en la cadera y la rodilla.

10. Haz un análisis de una *attitude en arrière*, teniendo en cuenta los movimientos articulares, los grupos musculares y ciertos músculos de la cadera y la rodilla de la pierna que trabaja. A continuación, describe de qué modo es operativa la insuficiencia activa y pasiva.

11. El profesor de un bailarín se ha dado cuenta de que sus rodillas están «hiperextendidas» durante el despegue y «se meten hacia dentro» al aterrizar en *plié*.

a. Describe los movimientos articulares que ocurren en la columna vertebral, la cadera y la rodilla y pudieran contribuir a estos errores técnicos.

b. Describe la forma en que el «mecanismo de bloqueo» de la rodilla contribuye a estos errores técnicos y cómo se puede reducir su efecto negativo.

c. Identifica ejercicios adecuados de fuerza y flexibilidad que se puedan usar para potenciar la altura de los saltos y prevenir los movimientos indeseables de la rodilla.

d. Proporciona tres órdenes que sirvan para ejecutar los ajustes apropiados en la técnica.

# El tobillo y el pie

Fotografía de Rex Tranter: estudiantes de la Pacific Northwest Ballet School.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

En este capítulo se estudia el tobillo y el pie. El tobillo actúa de conexión entre el pie y la pierna, y es vital para la traslación de fuerzas y para la movilidad del pie respecto a la pierna y de la pierna respecto al pie. El pie es una estructura compleja que ha evolucionado pasando de ser un órgano de prensión flexible a una estructura relativamente rígida, lo cual le permite cumplir las exigencias asociadas con la locomoción y el soporte del peso del cuerpo. La presencia de distintos arcos y la postura relativa de distintas articulaciones permiten al pie desempeñar el papel dual de una palanca rígida para la propulsión y de una estructura flexible para amortiguar choques. Una de las características de los bailarines es el acusado desarrollo de la movilidad articular y la fuerza fina de los pies en flexión plantar, como demuestra la fotografía de la página 297, de las que es un ejemplo el *pointé*. Sin embargo, dadas las grandes fuerzas generadas y absorbidas por el complejo del tobillo-pie, no sorprende que sea el lugar más habitual de lesiones en la danza.

Este capítulo presentará la anatomía básica y la mecánica del tobillo y el pie que influyen en el rendimiento óptimo y en la vulnerabilidad de estas articulaciones a las lesiones. Los temas tratados son los siguientes:

- Huesos y puntos óseos de referencia del tobillo y el pie.
- Estructura articular y movimientos del tobillo y el pie.
- Descripción y funciones de los músculos específicos del tobillo y el pie.
- Alineación y desviaciones habituales del tobillo y el pie.
- Mecánica del tobillo y el pie.
- Análisis muscular de los movimientos fundamentales del tobillo y el pie.
- Consideraciones clave sobre el tobillo y el pie respecto al movimiento del cuerpo.
- Consideraciones especiales sobre el tobillo y el pie en la danza.
- Ejercicios de acondicionamiento para el tobillo y el pie.
- Lesiones de tobillo y pie en los bailarines.

## Huesos y puntos óseos de referencia del tobillo y el pie

La tibia, el peroné y 26 huesos de los pies forman parte de las distintas articulaciones del tobillo y el pie. Los huesos de los pies se componen de siete en el tarso (G. *tarsos*, planta del pie), 5 metatarsianos (G. *meta*, más allá), y 14 falanges (L. *phalanx*, hueso entre dos articulaciones de los dedos), como se ve en la figura 6.1, que ayudan a formar los arcos que cruzan el pie a lo ancho (arco transverso) y a lo largo (arcos longitudinales) del pie. Respecto a los huesos específicos, la tibia es fácil de palpar bajo la piel a lo largo de la porción anterior de la pierna. La tibia es el hueso más grande, resistente y más medial de los dos huesos de la pierna. Termina distalmente en una superficie cóncava y una proyección medial que se extiende más en sentido inferior, llamada **maléolo medial** (L. *malleus*, martillo). El maléolo medial es fácil de palpar en el lado medial del tobillo (véase la figura 6.5, pág. 303). El peroné, más delgado y lateral, también termina distalmente con una proyección, llamada **maléolo lateral** (figura 6.2B), que es fácil de palpar en el lado lateral del tobillo. Estas estructuras inferiores de la tibia y el peroné entran en contacto con la superficie superior del gran hueso del tarso llamado **astrágalo** para formar la articulación del tobillo.

El astrágalo se considera con frecuencia la piedra angular del pie porque las fuerzas que descienden de la pierna se transmiten hacia delante y atrás del pie a través del astrá-

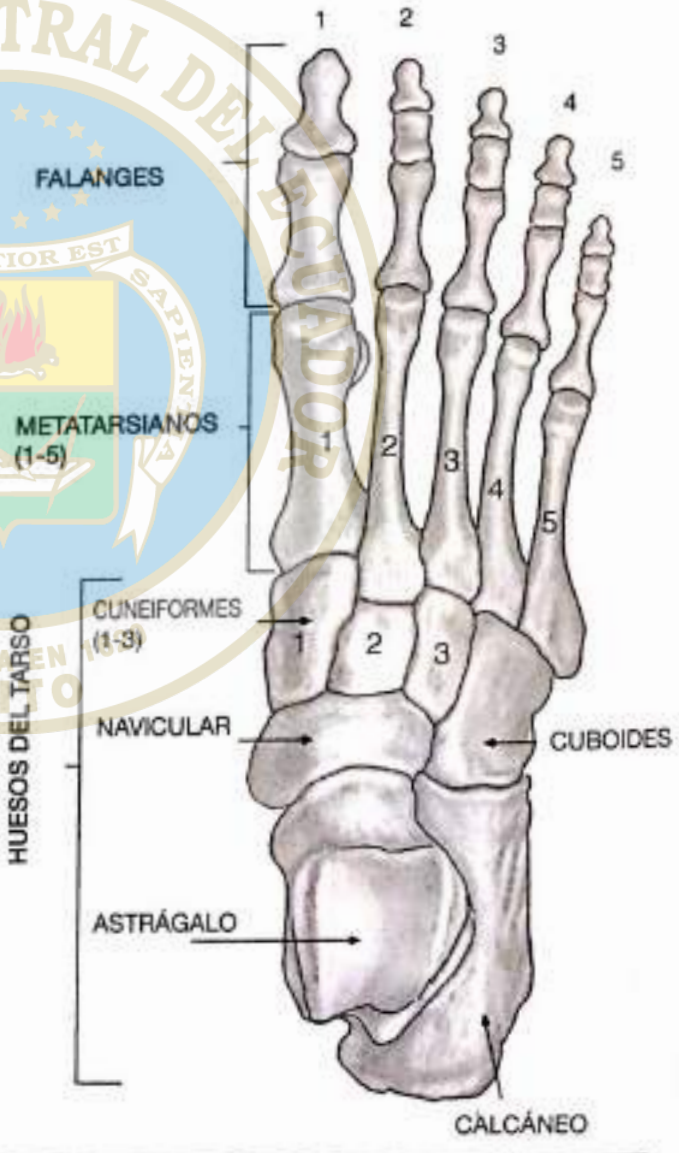



FIGURA 6.1. Huesos del pie (pie derecho, vista superior).

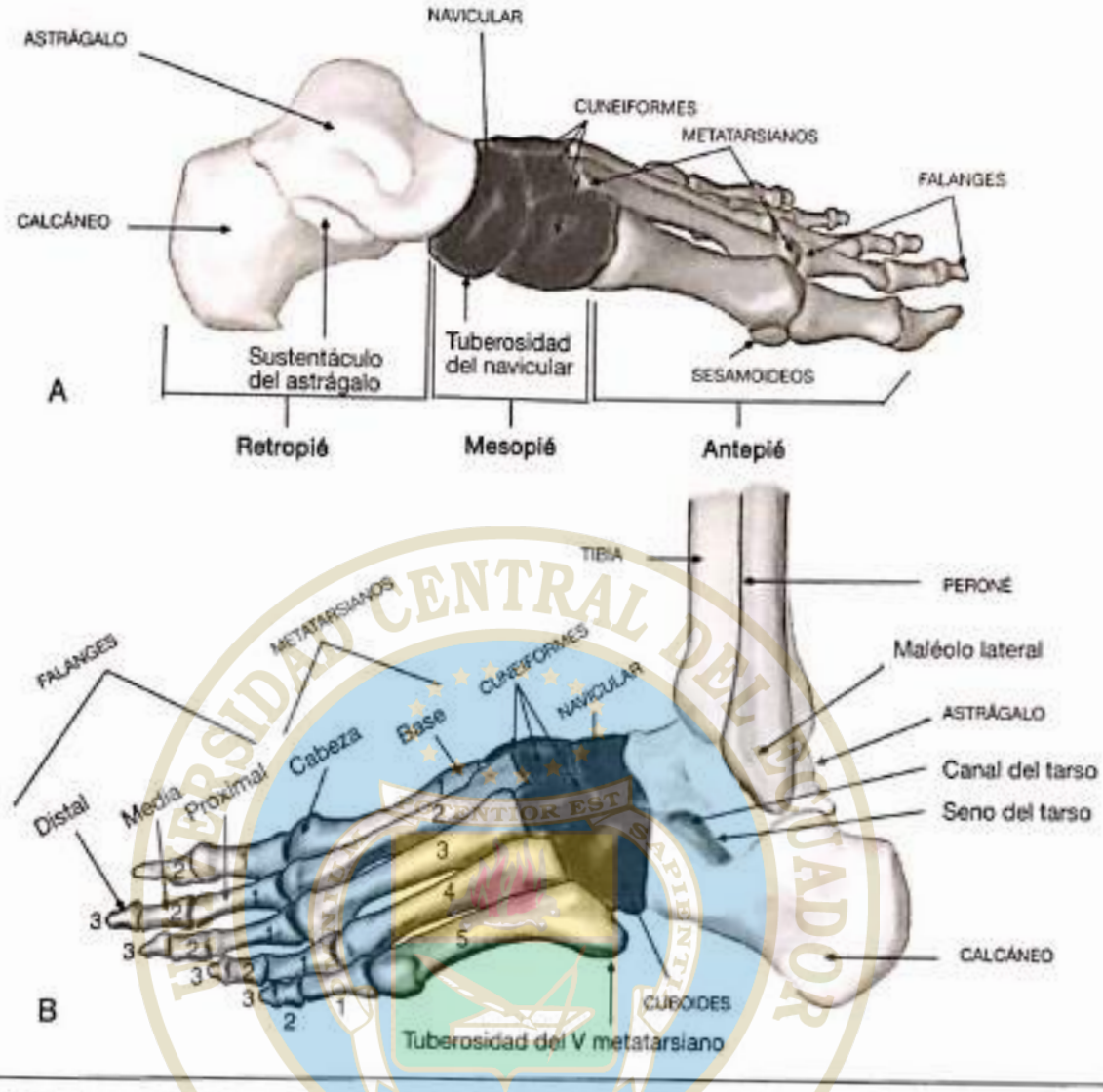



FIGURA 6.2. Puntos óseos de referencia en el pie (pie izquierdo). (A) Vista medial; (B) vista lateral.

galo. Éste se apoya sobre el hueso más grande del tarso, el **calcáneo** (L. *calcaneum*, talón). El calcáneo se proyecta posteriormente para formar el «talón» y es fácil de palpar en dicha área. Hay un pequeño espacio, formado por una porción del astrágalo (su cuello) y el calcáneo subyacente, que se denomina **canal del tarso.** Este canal óseo se abre lateralmente por medio de una pequeña depresión ósea ocupada por tejidos blandos que se denomina **seno del tarso** (L. *sinus*, cavidad, + G. *tarsos*, planta del pie) (figura 6.2B). Este punto anatómico de referencia es importante para localizar los ligamentos laterales del tobillo y a menudo es el lugar que se inflama cuando se producen esguinces laterales de tobillo.

Anteriormente, el calcáneo se articula con un hueso del tarso llamado **cuboides** (G. *kybos*, cubo, + *eidos*, con forma de), como se ve en la figura 6.2B, y el astrágalo se articula con otro hueso del tarso llamado **navicular** (L., con forma de barco), como se aprecia en la figura 6.2A. El navicular contiene una pequeña proyección llamada **tuberosidad del navicular.** Esta proyección se palpa 2,5-3,8 centímetros anterior y el ancho de un dedo por debajo del maléolo medial. Esta referencia anatómica se puede usar para evaluar los arcos plantares.

Los tres huesos restantes del tarso, llamados **cuñas** o **huesos cuneiformes,** forman una fila delante del navicular y se denominan cuñas primera, segunda y tercera en sentido de medial a lateral. Estas cuñas se alinean con los tres metatarsianos mediales, mientras que los dos metatarsianos laterales se alinean con el cuboides. Cada **metatarsiano** se compone de una **base** (proximal), un **cuerpo** y una **cabeza** (distal). Mientras que las bases de los metatarsianos se articulan con el cuboides y los cuneiformes, las cabezas se articulan con sus falanges respectivas. Las cabezas de los metatarsianos son fáciles de palpar en la superficie inferior del pie (superficie plantar) en la base de los dedos cuando éstos se flexionan y extienden de forma re-

petitiva. Los metatarsianos y los dedos del pie se numeran de 1 a 5, de medial a lateral. Hay tres falanges en cada dedo excepto en el dedo gordo. Se denominan **falanges proximal, media** y **distal** de los dedos 2 a 5. El primer dedo también se llama **hallux** (L. *hallux*, dedo gordo), y contiene sólo dos falanges, una proximal y otra distal. Situados directamente debajo de la cabeza del primer metatarsiano, hay dos **huesos sesamoideos** llamados **medial y lateral** (figura 6.2A).

Dado el gran número de huesos presentes en el pie y dada la complejidad de las articulaciones, es obligatorio referirnos a segmentos del pie más que a huesos individuales para hacer algunas descripciones del movimiento o la mecánica. Los segmentos del pie son el retropié, el mesopié y el antepié (figura 6.2A). El **retropié** se compone del astrágalo y el calcáneo. El **mesopié** se compone del navicular, el cuboides y las cuñas. El **antepié** se compone de los metatarsianos y las falanges.

## Estructura articular y movimientos del tobillo y el pie

Hay treinta y cuatro articulaciones en el complejo del tobillo-pie (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Las articulaciones tibioastragalina, subastragalina y transversa del tarso son clave para el funcionamiento de esta región, y sus movimientos están íntimamente relacionados. Otras articulaciones más distales son importantes para lograr sutiles ajustes del pie y para los movimientos de los dedos. Un resumen de las principales articulaciones del tobillo y el pie aparece en la tabla 6.1. La mayoría de estas articulaciones reciben su nombre de acuerdo con los huesos que las componen (p. ej., tarsometatarsiana), lo cual vuelve su aprendizaje más fácil y lógico. Muchas cápsulas articulares y aproximadamente cien ligamentos proporcionan estabilidad y limitan los movimientos del complejo del tobillo-pie. Por razones de simplicidad, este libro sólo se referirá a algunos ligamentos del retropié.

### *Movimientos y clasificación de la articulación del tobillo*

Como la «articulación del tobillo» se forma entre los huesos de la pierna y la porción superior del astrágalo, el término técnico es articulación **tibioperoneoastragalina.** Esta articulación se clasifica como una trocleartrosis y, más específicamente, está formada por la estructura articular de la cabeza del astrágalo con la porción distal de la tibia y el peroné. La tibia es el principal hueso de la pierna que soporta el peso del cuerpo, y transmite la mayor parte del peso entre el fémur y el astrágalo, mientras que el maléolo medial se extiende para ofrecer un soporte medial al tobillo. El peroné sirve de puntal lateral, y ofrece estabilidad adicional porque ayuda a formar una mortaja en la que se encaja el astrágalo. También se ha calculado que el peroné transmite en torno a un 6-7% de la carga cuando el tobillo está en una posición neutra, pero hasta una sexta parte de la carga de la pierna cuando el tobillo-pie está en flexión dorsal y eversión (DiFiori, 1999; Sammarco, 1980).

Las porciones distales de tibia y peroné forman una articulación fibrosa (articulación tibioperonea inferior), y la poderosísima membrana interósea y los ligamentos adyacentes (entre ellos los ligamentos tibioperoneos anterior y posterior) permiten a la tibia y al peroné actuar como una unidad estructural semejante a una mortaja. Esta mortaja se ajusta sobre la porción superior convexa del astrágalo, sujetándolo con fuerza por sus costados aplanados para aportar la estabilidad tan necesaria para esta articulación, al tiempo que permite una mínima movilidad al peroné respecto a la tibia –necesaria para acomodarse a los cambios del área de contacto con el astrágalo que acompañan al movimiento de la articulación del tobillo. Si sacáramos un molde de esta mortaja, reproduciría estrechamente la forma del astrágalo, lo cual hace de ella la articulación más congruente del cuerpo humano.

Debido a la arquitectura de esta mortaja, con los maléolos medial y lateral proyectándose caudalmente, esta articulación sólo permite mínimos movimientos laterolaterales y de rotación; y, de acuerdo con su clasificación como articulación troclear, sus movimientos fundamentales son flexión y extensión. Los términos especializados de flexión dorsal y flexión plantar del tobillo se usan por la falta de consenso sobre qué movimiento se debe considerar flexión y cuál extensión: las perspectivas funcional y anatómica sugieren respuestas contradictorias. Por eso, como se ve en la figura 6.4, la posición neutra o anatómica es aquella en que el pie adopta un ángulo de 90° con la tibia, y la flexión dorsal es el acercamiento del empeine (dorso) del pie a la espinilla, como cuando «se flexiona el pie». Por el contrario, la flexión plantar es el movimiento opuesto de alejar la planta del pie de la espinilla, como cuando se procede a la «punta» del pie. El eje de este movimiento se aproxima a un plano frontal, pero se desvía un poco posterior, inferior y lateralmente, y tampoco permanece fijo, sino que se desplaza ligeramente durante las flexiones dorsal y plantar. Se puede obtener un cálculo aproximado del eje poniendo el pulgar y el índice sobre los maléolos medial y lateral, e imaginando una línea que discurra a través de estos puntos. Sin embargo, existen grandes diferencias individuales, y se obtienen promedios divergentes según las fuentes en la localización de este eje. Por ejemplo, Levangie y Norkin (2001) afirman que la rotación lateral media del eje es de 20° a 30° en el plano transversal y que sufre una inclinación descendente de 10° por el lado lateral, mientras que Kreighbaum y Barthels (1996) sugieren valores medios mucho menores, de 13° de rotación y 7° de inclinación.

**Tabla 6.1. Resumen de las articulaciones del tobillo y el pie**

| Nombre | Tipo de articulación | Movimientos |
|---|---|---|
| **Tobillo y pie** | | |
| Tobillo (tibioperoneoastragalina) | Troclear | Flexión plantar<br>Flexión dorsal |
| Subastragalina | Artrodial | Inversión<br>Eversión<br>Abducción<br>Aducción<br>Ligera flexión plantar<br>Ligera flexión dorsal |
| Transversa del tarso<br>Astragalonavicular<br>Calcaneocuboidea | Enartrosis modificada<br>Artrodial | Sobre todo inversión y eversión<br>Ligera abducción<br>Ligera aducción<br>Ligera flexión plantar<br>Ligera flexión dorsal |
| Otras intertarsianas | Artrodial | Sobre todo ligera flexión dorsal y algo de flexión plantar |
| Tarsometatarsiana | Artrodial | Sobre todo ligera flexión dorsal y algo de flexión plantar |
| **Dedos del pie** | | |
| Metatarsofalángicas | Condílea | Flexión metatarsofalángica<br>Extensión metatarsofalángica<br>Abducción metatarsofalángica<br>Aducción metatarsofalángica |
| Interfalángicas | Troclear | Flexión de las falanges de los dedos<br>Extensión de las falanges de los dedos |

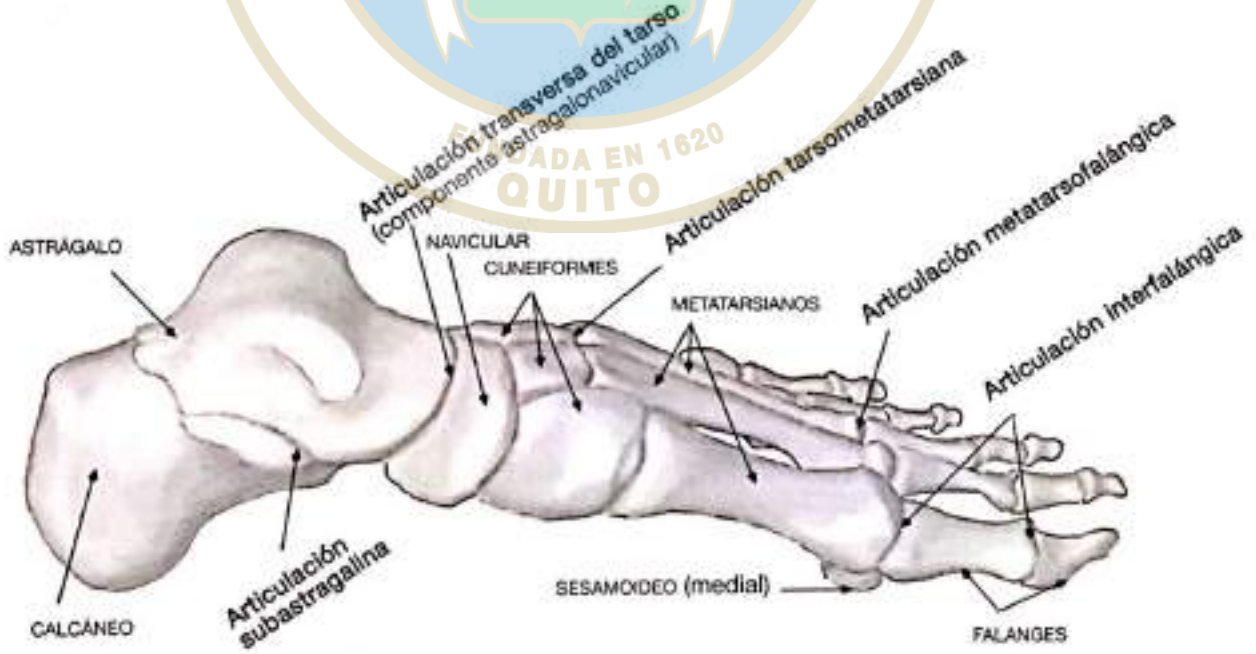



FIGURA 6.3. Articulaciones clave del pie (pie izquierdo, vista medial).

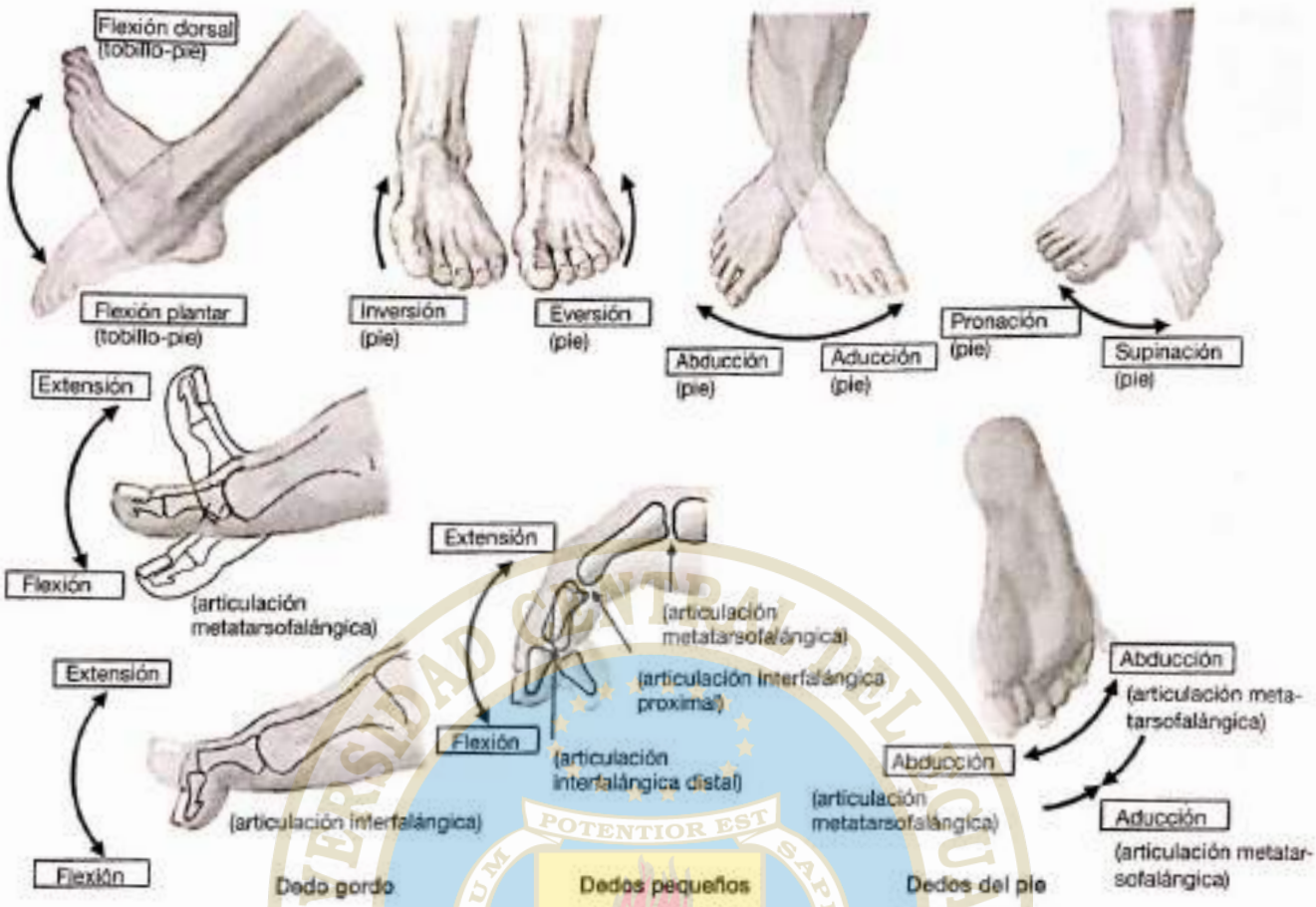



FIGURA 6.4. Movimientos del tobillo y el pie.

## Movimientos y clasificación de la articulación subastragalina

La articulación subastragalina se forma entre la porción inferior del astrágalo y la porción superior del calcáneo (figura 6.3). Las superficies articulares de estos huesos encajan bien, y consiguen estabilidad adicional mediante un área aplanada en la parte medial del calcáneo, llamada sustentáculo del astrágalo, que actúa como un estante que soporta la porción medial del astrágalo. Esta articulación se suele clasificar como una articulación sinovial artrodial (Moore y Dalley, 1999), aunque permite más movimiento del que a menudo se asocia con una articulación anfiartrodial.

La terminología especializada de *inversión-eversión*, *abducción-aducción* y *flexión plantar-flexión dorsal* se usa para describir estos movimientos (figura 6.4). Inversión implica elevar el borde interno del pie de modo que la porción distal del calcáneo y la planta del pie se orienten medialmente o hacia dentro. La eversión es el movimiento opuesto, que implica la elevación del borde externo del pie, de modo que la porción distal del talón y la planta del pie se orienten lateralmente. La abducción se puede concebir como el alejamiento del antepié del plano medio o la línea media del cuerpo, mientras que la aducción se refiere al movimiento opuesto del antepié hacia la línea media del cuerpo. Fíjate, sin embargo, en que esta forma especializada de abducción-aducción del pie ocurre sobre todo en un plano transversal sobre un eje vertical, más parecido a la abducción-aducción horizontales del hombro o la cadera. Las ligeras flexiones dorsal y plantar se producen en la misma dirección que la descrita para el tobillo, pero implican al astrágalo sobre el calcáneo y no el movimiento del astrágalo respecto a la mortaja articular.

## Cápsula de la articulación del tobillo y ligamentos del retropié

La articulación tibioperoneastragalina está rodeada por una delgada cápsula fibrosa relativamente débil, pero que está reforzada a ambos lados por poderosos ligamentos, llamados ligamentos colaterales medial y lateral. Otros ligamentos muy cercanos mantienen unidos la tibia y el peroné en la mortaja articular (ligamentos tibioperoneos anterior y

posterior), mientras que otros ofrecen estabilidad clave a la articulación subastragalina.

### Ligamento colateral medial

El ligamento colateral medial –también llamado **ligamento deltoideo**– se compone de cuatro porciones que se abren en abanico desde su inserción en el maléolo medial hasta sus respectivas inserciones en los huesos circundantes. Como se aprecia en la figura 6.5, una porción discurre hacia abajo (lig. tibiocalcáneo) desde el maléolo medial para insertarse en la cara medial del calcáneo; dos componentes discurren diagonalmente hacia abajo y adelante del maléolo medial para insertarse en el astrágalo y el navicular (lig. tibioastragalino anterior y lig. tibionavicular), y el último componente discurre diagonalmente hacia abajo y atrás desde el maléolo medial para insertarse en el astrágalo (lig. tibioastragalino posterior). Juntos, estos ligamentos impiden el desplazamiento anterior o posterior de la tibia o del astrágalo, y son vitales para ofrecer estabilidad medial a la articulación tibioperoneoastragalina. Como una banda se inserta en el calcáneo, el ligamento deltoideo también aporta estabilidad a la articulación subastragalina y ayuda a limitar la eversión y abducción del pie. Estos ligamentos también ayudan a solidarizar movimientos entre la tibia y las articulaciones tibioastragalina y subastragalina, sobre todo la inversión del pie y la rotación externa de la tibia (Hintermann, 1999). Como sucede con la rodilla, la integridad y función de los ligamentos se manifiesta mediante pruebas de tensión manual practicadas por un médico. Si el lado medial de la articulación se abre y deja un hueco durante la eversión, es señal de una lesión en el ligamento deltoideo.

El ligamento deltoideo es muy resistente y amplio. Su fuerza es importante porque el maléolo medial no se proyecta distalmente tanto como el maléolo lateral, y por eso la menor estabilidad de la arquitectura ósea se compensa en parte con las mayores dimensiones de los ligamentos mediales. De hecho, el deltoideo es tan resistente que, cuando las fuerzas son lo bastante grandes como para causar lesión, el maléolo medial puede verse arrancado y otros huesos fracturados, en vez de que se rompa el ligamento deltoideo.

### Ligamento colateral lateral

El ligamento colateral lateral se compone de tres bandas discretas, que aparecen en la figura 6.6, y que conectan el maléolo lateral con los huesos adyacentes del pie. El **ligamento peroneoastragalino anterior** (LPAA) discurre casi horizontalmente y anterior al maléolo lateral (peroneo) hasta la cara lateral del astrágalo, y limita la movilidad anterior del astrágalo respecto al peroné, o la movilidad posterior del peroné respecto al astrágalo. También puede limitar la aducción e inversión del pie, sobre todo cuando el pie está en flexión plantar. El **ligamento peroneoastragalino posterior** (LPAP) se dirige posteriormente desde la porción posterior del maléolo lateral al astrágalo, y previene el deslizamiento posterior excesivo del astrágalo sobre el peroné, o el deslizamiento anterior del peroné sobre el astrágalo. El **ligamento calcaneoperoneo** discurre hacia abajo y ligeramente posterior desde el extremo distal del maléolo lateral para insertarse en la cara lateral del calcáneo. Cruza la articulación tibioastragalina y la articulación subastragalina, y es muy importante para prevenir la inversión y aducción del pie cuando éste está en flexión dorsal (Hintermann, 1999).

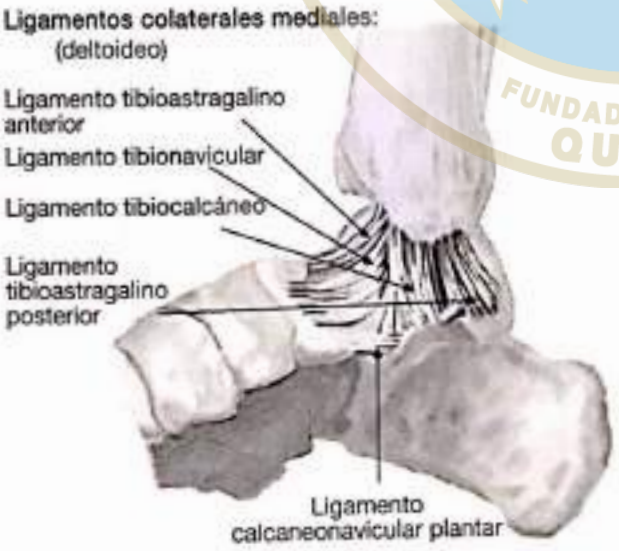



FIGURA 6.5. Ligamentos clave de la cara medial del tobillo (pie derecho).

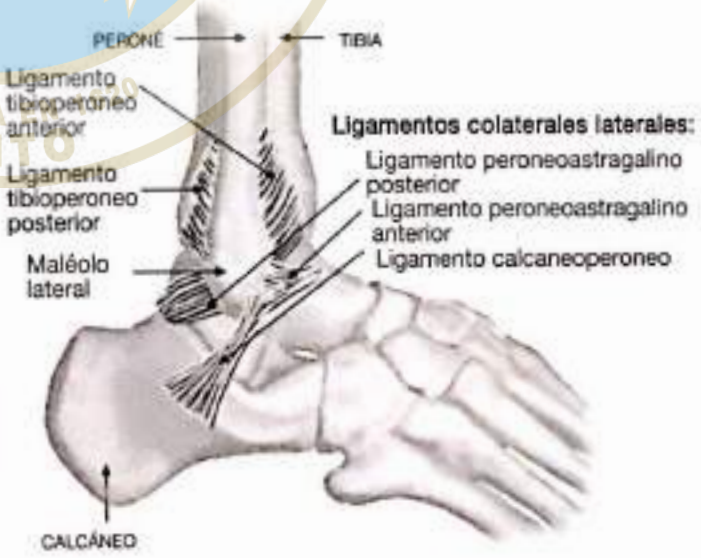



FIGURA 6.6. Ligamentos clave de la cara lateral del tobillo (pie derecho).

En conjunto, los ligamentos colaterales laterales son importantes en movimientos conjuntos entre la tibia y el pie, particularmente la eversión del pie y la rotación interna de la tibia. También son vitales para la estabilidad lateral del tobillo y, más específicamente, para prevenir la excesiva inversión del pie. Su contribución relativa parece variar con la posición del pie, de modo que el LPAP y el ligamento calcaneoperoneo están tensos y aportan estabilidad primaria en la flexión dorsal del tobillo-pie, mientras que el LPAA se tensa y es especialmente responsable de aportar estabilidad en flexión plantar. Con el frecuente uso de la flexión plantar en danza y por el hecho de que sea el más débil de los ligamentos colaterales laterales, no sorprende que el LPAA se lesione con frecuencia en los bailarines. Estos ligamentos laterales son tan esenciales para la estabilidad del tobillo que, cuando se lesionan grave o crónicamente, el tobillo suele sufrir inestabilidad crónica (véase Esguinces de tobillo, pág. 360 para más información), y tal vez se aprecie una movilidad anormal cuando el médico practique pruebas de tensión manuales (véase Pruebas y mediciones 6.1, pág. 305) (Malone y Hardaker, 1990; Sammarco y Tablante, 1997).

### Ligamento calcaneonavicular plantar

La articulación subastragalina tiene su propia cápsula articular y ligamentos adicionales, como el ligamento calcaneonavicular plantar y los ligamentos astragalocalcáneos interóseos, que aportan estabilidad adicional. El **ligamento de resorte** (ligamento calcaneonavicular plantar), que aparece en la figura 6.5, es ancho y se expande entre el sustentáculo del astrágalo del calcáneo y la superficie inferior del navicular. Forma un soporte tenso bajo la cabeza del astrágalo, con lo cual ayuda a soportar el peso del cuerpo que recibe el astrágalo y a mantener el arco longitudinal medial. Se cree que el estiramiento permanente de este ligamento contribuye a que el arco longitudinal medial pierda altura y al «pie plano».

El canal del tarso, formado por un surco cóncavo en la porción inferior del astrágalo y en la superior del calcáneo, discurre del lado medial al lateral del tobillo y está ocupado por bandas cortas y poderosas de los llamados **ligamentos astragalocalcáneos interóseos.** Estos ligamentos mantienen juntos estos huesos y contienen abundantes receptores neurales que se cree que son importantes para dar las rápidas respuestas necesarias para mantener el equilibrio y prevenir lesiones como esguinces de tobillo (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

## Movimientos y clasificación de la articulación transversa del tarso

La articulación transversa del tarso se halla justo delante del astrágalo y el calcáneo, y forma una S poco profunda vista por arriba (figura 6.3). La **articulación transversa del tarso** es en realidad una combinación de las articulaciones **astragalonavicular** (entre el astrágalo y el navicular) y **calcaneocuboidea** (entre el calcáneo y el cuboides). La astragalonavicular se clasifica por lo general como una articulación esferoidea modificada, mientras que la calcaneocuboidea se clasifica como una articulación artrodial (Hamilton y Luttgens, 2002; Moore y Dalley, 1999) o sellar (Hall-Craggs, 1985; Magee, 1997). Aunque la forma de cada articulación permita una mayor movilidad, los huesos navicular y cuboides se articulan entre sí de modo que permiten muy poca movilidad entre ellos, y, por tanto, restringen el movimiento general y hacen que ambas articulaciones funcionen como un único segmento. Juntas, estas articulaciones permiten inversión-eversión y en menor medida flexión plantar-flexión dorsal y abducción-aducción.

Estos movimientos de la articulación transversa del tarso se usan para aumentar la amplitud de los mismos movimientos del retropié o para mover el antepié en una dirección opuesta a la del retropié. Un ejemplo de lo primero ocurre cuando se suma la flexión plantar de la articulación transversa del tarso a la de las articulaciones subastragalina y tibioperoneoastragalina para que los bailarines adopten la «punta» con el pie. Un ejemplo de lo segundo ocurre al caminar, donde la inversión de la articulación transversa del tarso se usa para evitar que la porción lateral del antepié se levante del suelo cuando se produce la eversión de la articulación subastragalina y la rotación interna de la tibia. Sin embargo, esta capacidad de rotar en sentido opuesto el antepié es mayor cuando el retropié se mueve en eversión, y se reduce mucho cuando la articulación subastragalina se mueve en inversión. De ahí que, cuando ocurre inversión extrema del pie –como cuando se da un traspié en un bordillo o se aterriza mal tras un salto–, el antepié tenga capacidad limitada de contrarrotación y se produzca un esguince de tobillo a menos que los músculos (eversores del pie) actúen con rapidez y compensen esta inversión extrema indeseable.

## Clasificación y movimientos de otras articulaciones del mesopié y el antepié

Las restantes articulaciones entre los huesos del tarso (articulaciones intertarsianas) y las articulaciones entre los huesos del tarso y los extremos proximales de los metatarsianos II a V (articulaciones tarsometatarsianas [TMT]) son articulaciones artrodiales. Estas articulaciones permiten unos movimientos mínimos que prosiguen la función de la articulación transversa del tarso, continuando o contrarrestando los movimientos del retropié de acuerdo con el objetivo del movimiento. Las articulaciones tarsometatarsianas también contribuyen a la «convexidad» o «aplanamiento» del pie en carga, de forma parecida a lo que ocurre en la mano para facilitar la prensión de objetos.

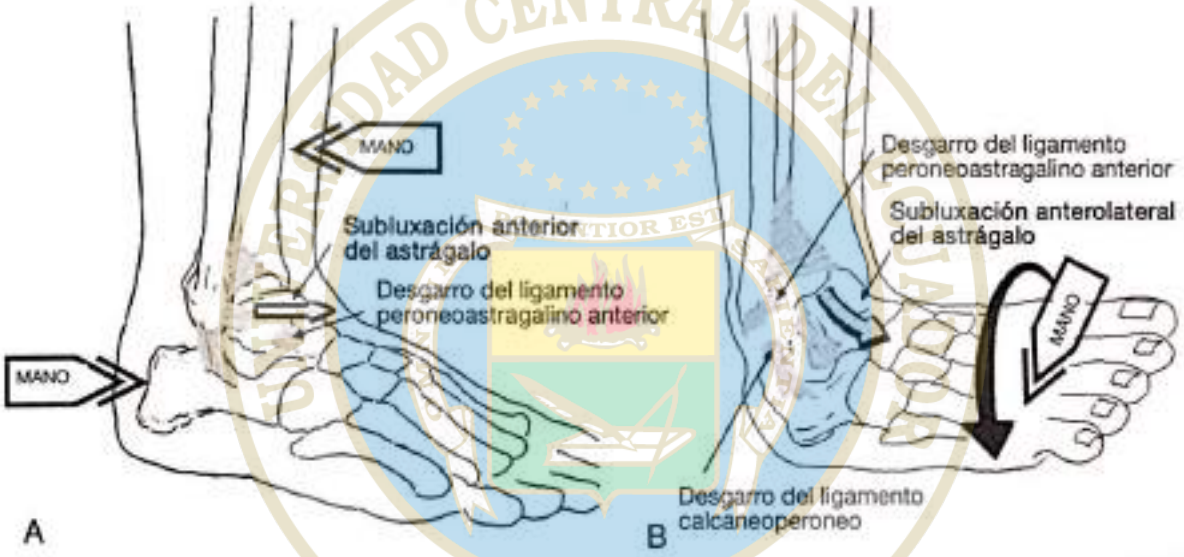
PRUEBAS Y MEDICIONES 6.1

### *Selección de pruebas clínicas de estabilidad del tobillo*

Mostramos dos pruebas que suelen realizar los médicos para comprobar la estabilidad del tobillo y evaluar lesiones de los ligamentos laterales. Hay que plantearse cada prueba en función de las restricciones ofrecidas por un ligamento normal intacto y de la movilidad excesiva cuando se produce una lesión.

**Prueba del cajón «anterior»**
Cuando se usa una mano para empujar hacia atrás la porción inferior de la tibia mientras la otra tira del calcáneo (y el astrágalo) hacia delante, el LPAA opone resistencia al movimiento. Cuando este ligamento se rompe, el astrágalo se desliza anteriormente debajo de la tibia. Esto se llama signo del cajón anterior positivo, como se muestra en A.

**Prueba de inclinación astragalina**
Cuando el pie se mueve en inversión, el ligamento calcaneoperoneo opone resistencia a esta tensión en varo. Cuando se rompen los ligamentos calcaneoperoneo y peroneoastragalino anterior, se detecta un varo excesivo del calcáneo, y el astrágalo ocupa el hueco y gira dentro de la mortaja del tobillo. Esto se considera un signo de inclinación astragalina positivo, como se muestra en B.




Las articulaciones entre las cabezas de los metatarsianos y las falanges proximales adyacentes –las **articulaciones metatarsofalángicas (MTF)**– son condíleas. Estas articulaciones permiten considerable movilidad en flexión (30°-45°) y extensión (90°), siendo mayor la movilidad en extensión (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Esta movilidad en extensión (a veces llamada hiperextensión) es importante en funciones en carga como caminar o ponerse de puntillas en *demi-pointé*, permitiendo a los dedos mantener el contacto con el suelo mientras se eleva el talón. El movimiento de abducción-aducción es más limitado y se define respecto a una línea que atraviesa el segundo dedo. Así, la abducción de los dedos implica su alejamiento del II dedo, mientras que la aducción consiste en el acercamiento de los dedos al II dedo.

Finalmente, las articulaciones entre falanges adyacentes –las **articulaciones interfalángicas (IF)**– son trocleartrosis. Permiten flexión y extensión de los dedos del pie. La flexión supone el acercamiento de las superficies plantares de los dedos, como cuando se encogen los dedos, mientras que la extensión se refiere a la reducción de la flexión o al estiramiento de los dedos.

## *Los movimientos compuestos de pronación y supinación*

Debido a la orientación oblicua de los ejes de las articulaciones del tobillo, la subastragalina y la transversa del tarso, y debido a la estrecha relación estructural de muchas de ellas,

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

el movimiento aislado de una articulación individual en un plano único es poco habitual o incluso imposible, dependiendo de la articulación. Muchos de los movimientos funcionales son compuestos, implicando a las articulaciones del retropié, mesopié y antepié en múltiples planos. Dos ejemplos de particular importancia son la pronación y supinación. En carga, la pronación se puede describir como un movimiento compuesto que implica flexión dorsal (del tobillo), eversión (sobre todo del retropié) y abducción (sobre todo del antepié), mientras que la supinación implica movimientos opuestos de flexión plantar, inversión y aducción (Hall, 1999). Como se expondrá más adelante en este capítulo, estos movimientos combinados cumplen funciones muy importantes en actividades en carga como caminar, correr y bailar.

## Estructuras especiales del tobillo y el pie

Hay muchas estructuras especializadas asociadas con el tobillo y el pie que mejoran su función. A continuación ofrecemos una descripción de algunas de estas estructuras especialmente importantes.

### Fascia plantar

Una banda inelástica y muy resistente de tejido conjuntivo, llamada **fascia plantar**, se localiza en la planta del pie, como se ve en la figura 6.7. Se inserta en el talón (superficie inferior del calcáneo) y discurre hacia delante, abriéndose en abanico y dividiéndose en cintillas que se insertan en las vainas de los tendones flexores de los dedos del pie, en la cara inferior de las falanges proximales y en las estructuras ligamentarias cercanas a las cabezas de los metatarsianos. La fascia plantar está cubierta sólo por grasa y piel, y es fácil de palpar en la cara inferior del arco medial del pie cuando éste y los dedos se mueven en flexión dorsal simultáneamente.

Además de proteger y separar en compartimientos los músculos del área plantar del pie, esta estructura fascial es muy importante para sostener el arco longitudinal medial del pie. Crea una estructura de entramado (Frankel y Nordin, 1980) rígida y compuesta por elementos que se sujetan por la base para prevenir el movimiento entre elementos individuales y para mantener su forma (figura 6.8A). Así, el retropié y antepié se mantienen unidos por la fascia plantar, y se previene el aplanamiento del arco esperable en ortostatismo y en carga. Además, debido a su inserción en la base de las falanges, cuando los dedos se extienden –como antes de la fase de despegue al caminar–, la banda se tensa al quedar estirada en las articulaciones metatarsofalángicas: mecanismo de *windlass* (o cabrestante), como se ve en la figura 6.8B. Esta tensión de la banda tiende a elevar el arco longitudinal medial y mueve el pie en supinación, lo que a su vez bloquea las articulaciones mediotarsianas y vuelve el pie más estable durante la fase de despegue al caminar y al correr (Levangie y Norkin, 2001). El soporte del arco y la estabilización del pie mediante este mecanismo también son operativos cuando los bailarines adoptan el *demi-pointé* (figura 6.8C).

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 6.1

### Supinación y pronación del pie

De pie en primera posición paralela con los pies mirando adelante y las rodillas ligeramente flexionadas.

- **Identificación de la inversión y eversión del pie.** Sin cambiar la posición de la rodilla o la orientación del antepié, eleva el borde interno del talón y el arco de un pie, pensando en girar sobre el eje longitudinal del pie que discurre por el segundo dedo. Este movimiento es el de inversión del pie. Ahora, levanta ligeramente el borde externo del talón y el pie. Este movimiento es el de eversión del pie. Fíjate en que el grado de movilidad posible del pie es pequeño si la rodilla se mantiene orientada hacia delante y no se permite que se mueva en varo o valgo respecto al pie.
- **Identificación de la supinación del pie.** De pie en primera posición, balancea el peso del cuerpo sobre los talones de modo que el antepié se pueda mover. Manteniendo el peso en los talones, eleva con cuidado y lentamente los bordes internos de los pies y fíjate en cómo el antepié tiende a apuntar muy ligeramente hacia dentro. Esta posición refleja los tres elementos de la supinación del pie: flexión plantar (relativa), inversión y aducción del antepié.
- **Identificación de la pronación del pie.** Volviendo a la posición primera original, flexiona las rodillas *(plié)* y deja que desciendan hacia dentro de los pies mientras levantas con cuidado el borde externo de los pies. Fíjate en que el antepié apunta muy ligeramente hacia fuera. Esta posición refleja los tres elementos de la pronación del pie: flexión dorsal, eversión y abducción del antepié.

FIGURA 6.7. Fascia plantar (pie derecho, vista inferior).

## Fascia profunda y tabiques intermusculares de la pierna

En la pierna y el pie existen poderosas hojas de fascia que dividen los músculos en tres **compartimientos** principales: anterior, posterior y lateral. El compartimiento posterior se puede subdividir en los compartimientos superficial y profundo, como se ve en la figura 6.9. Estos compartimientos permiten una división funcional de los músculos de forma que todos los músculos de un compartimiento dado comparten al menos una acción común sobre el complejo del tobillo-pie. El hueso y la poderosa fascia que forman las fronteras de cada compartimiento limitan su capacidad de expansión, lo cual en determinadas personas puede derivar en incrementos indeseables de la presión compartimental.

## Retináculo

Gruesas bandas de tejido conjuntivo, llamadas retináculos, se localizan en torno al tobillo y pie, y ayudan a mantener los tendones en su sitio y evitar que se arqueen hacia delante sobre la cara anterior del tobillo o se deslicen por delante del maléolo medial o lateral. Por ejemplo, el **retináculo superior de los músculos peroneos** se extiende desde el maléolo lateral hasta la fascia del dorso de la pierna y la cara lateral del calcáneo (figura 6.10). Ayuda a mantener los músculos peroneos en su sitio detrás del maléolo lateral.

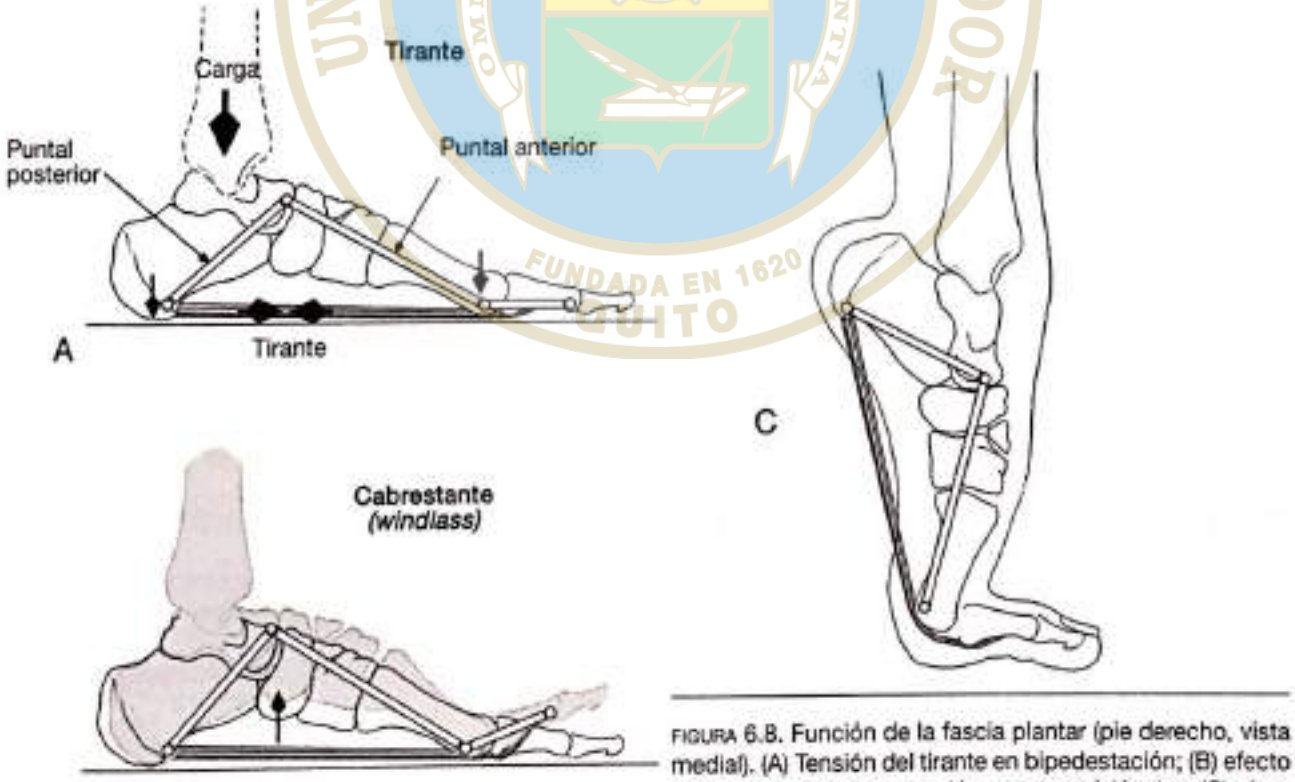



FIGURA 6.8. Función de la fascia plantar (pie derecho, vista medial). (A) Tensión del tirante en bipedestación; (B) efecto *windlass* durante la extensión metatarsofalángica; (C) efecto *windlass* en *demi-pointé*.

### Vainas tendinosas

Muchos de los tendones del pie están envueltos en un tejido sinovial, formando vainas tendinosas que protegen los tendones de una fricción excesiva. Por ejemplo, en el dorso del pie, las vainas tendinosas envuelven los tendones de los músculos tibial anterior, extensor largo del dedo gordo y extensor largo de los dedos (figura 6.10).

### Almohadilla plantar

La **almohadilla plantar** se compone de adipocitos localizados en cámaras formadas por paredes de tejido fibroso (tabiques) construidos de modo que soporten la tensión y la presión. Esta almohadilla es muy importante para amortiguar golpes (Jorgensen, 1985), y se ha demostrado que su pérdida de capacidad amortiguadora se asocia con un aumento de la amplitud de las ondas de choque durante el contacto del talón y un aumento de la actividad del sóleo y la carga sobre el tendón de Aquiles. La eficacia del amortiguamiento ofrecido por la almohadilla del talón tiende a declinar con la edad, siendo apreciable en la mayoría de las personas de más de 40 años (Levangie y Norkin, 2001).

### Huesos sesamoideos

Dos huesecillos sesamoideos se encuentran debajo de la cabeza del primer metatarsiano, dentro del tendón del músculo flexor corto del dedo gordo (figura 6.2A, pág. 299). Su función es parecida a la de la rótula localizada en el músculo cuádriceps femoral en la rodilla. Aumentan el brazo de palanca del músculo en que se localizan, incrementando la capacidad del músculo para generar torque. Así mismo ayudan a distribuir la carga y presión debajo de la cabeza del metatarsiano al caminar y al correr. Además, protegen los tendones de su músculo asociado y el tendón del músculo flexor largo del dedo gordo que cursa entre ellos, todo lo cual sin los huesos sesamoideos se vería sometido a grandes fuerzas de compresión con cada paso o al ponerse en *demi-pointé*.

### Bolsas

Hay numerosas bolsas en la región del tobillo y el pie. Algunas de estas bolsas se pueden inflamar y causar dolor en los bailarines. Por ejemplo, la bolsa localizada entre la inserción del tendón de Aquiles en el talón y la piel (bolsa **subcutánea del calcáneo**, figura 6.11) se puede irritar fácilmente con calzado o zapatillas de ballet que ajusten mal, mientras que la bolsa más profunda corre un mayor riesgo de inflamación cuando existe un ángulo superior prominente del calcáneo (Mercier, 1995). Una alza en el talón, una almohadilla, el uso de zapatillas de ballet cuya zona del talón esté rebajada o la modificación del calzado de ballet para reducir la presión en el área a veces alivian la irritación de la bolsa más superficial.

### Músculos

Además de los numerosos ligamentos y cápsulas articulares del complejo del tobillo-pie, son muchos los músculos que actúan aportando estabilidad y generando los complejos movimientos de las numerosas articulaciones de esta re-

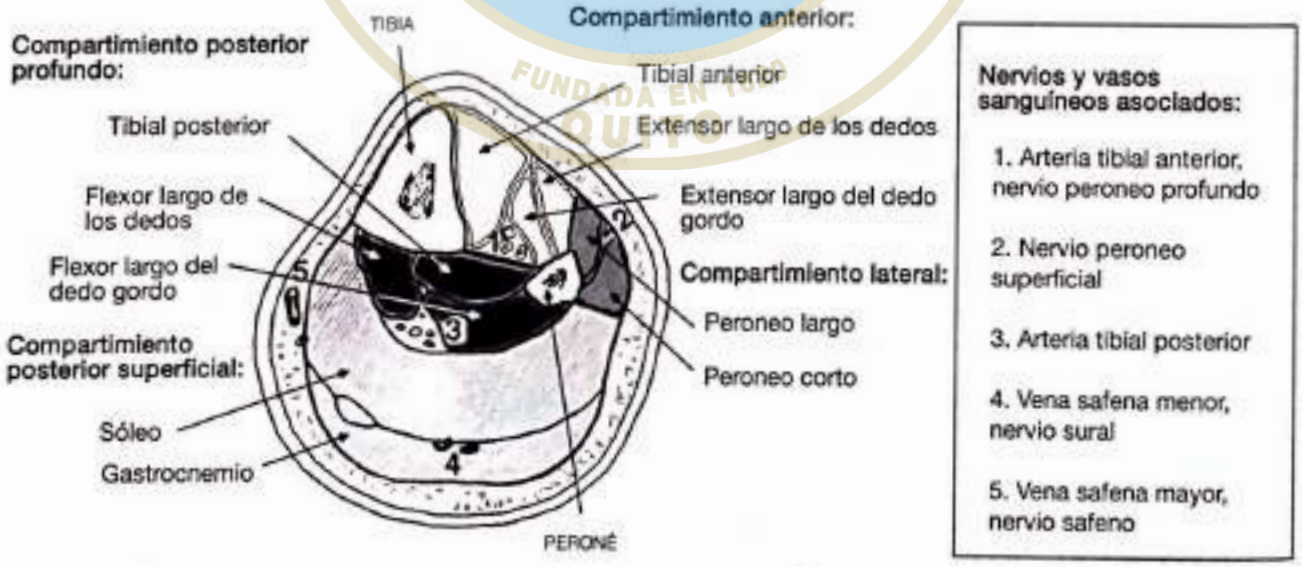



FIGURA 6.9. Compartimientos de la pierna (pierna derecha, sección transversal).

FIGURA 6.10. Retináculos y vainas tendinosas (pie derecho, vista de perfil).

gión. Algunos de estos músculos desempeñan un papel vital en el desplazamiento del peso del cuerpo a la posición deseada respecto al pie, así como en la amortiguación de las grandes fuerzas asociadas con los impactos en los movimientos en carga al andar, correr y saltar.

## Descripción y funciones de los músculos específicos del tobillo y el pie

Hay veinticuatro músculos en el tobillo y el pie. Doce de estos músculos se localizan enteramente en el pie y se llaman **músculos intrínsecos.** Los restantes doce músculos presentan las inserciones de los tendones distales en el pie, pero se hallan fuera de él. Por eso se llaman **músculos extrínsecos.** Los músculos extrínsecos del pie se agrupan por su localización en músculos crurales anteriores, posteriores, posteromediales y laterales. Estos grupos comparten al menos una acción común en el tobillo-pie, y se localizan en el mismo compartimiento osteofibroso de la pierna (figura 6.9).

Todos estos músculos extrínsecos cruzan al menos dos articulaciones y por eso desempeñan acciones en más de una articulación. Sin embargo, por razones de simplicidad, no se diferencian aquí las acciones en las articulaciones tibioastragalina, subastragalina y media del tarso y en otras articulaciones relevantes. La flexión dorsal y la plantar se enumeran respecto al tobillo-pie, mientras que, dado que el tobillo no puede contribuir a otros movimientos, la inversión y eversión aparecen sólo en relación con el pie. Además, por razones de simplicidad y para seguir lo que dicen muchos manuales de anatomía, las acciones de abducción y aducción del pie no aparecerán en las tablas. Sin embargo, y en general, los músculos que generan inversión del pie también generan aducción, mientras que los músculos que generan eversión del pie también generan abducción. Muchos de los nombres de los músculos del tobillo y el pie reflejan la acción que generan, facilitando así su aprendizaje. (Véase Músculos específicos del tobillo y pie, págs. 310-324.)

FIGURA 6.11. Bolsas del talón (pie izquierdo, vista de perfil).

# Músculos específicos del tobillo y el pie

## Músculos crurales anteriores

Los músculos crurales anteriores se localizan en la cara anterior de la pierna. Se encuentran en el compartimiento anterior de la pierna y son: tibial anterior, extensor largo de los dedos, extensor largo del dedo gordo y tercer peroneo. Como estos músculos discurren anteriores al eje de la articulación tibioperoneoastragalina, comparten la acción de flexión dorsal. Cuando el pie está libre, esta flexión dorsal se puede usar para levantar los dedos y el empeine del pie, y prevenir su golpe con el suelo al caminar y correr. La pérdida de los flexores dorsales del tobillo hace que el pie penda hacia abajo, una afección llamada «pie caído» (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996), cuando la pierna oscila hacia delante al caminar. La pérdida de los flexores dorsales también imposibilita el descenso armónico del pie hasta el suelo al caminar, en cuyo caso se produce un choque característico del antepié con el suelo (Moore y Agur, 1995).

**Inserciones y acciones principales del músculo tibial anterior**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Tibial anterior | Dos tercios superiores de la cara lateral de la tibia y membrana interósea adyacente | Superficies medial e inferior de la primera cuña y la base del primer metatarsiano | Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Inversión del pie |

### Tibial anterior

Como su nombre implica, el **tibial anterior** se origina en la cara anterior de la espinilla (figura 6.12). Desciende por la porción anterolateral de la tibia y luego cruza medialmente sobre la cara superior del tobillo para insertarse en la superficie inferior medial del pie (primera cuña y base del primer metatarsiano). El músculo tibial anterior es responsable del aspecto redondeado de la pierna en esta región, y su parálisis causa aplanamiento o incluso una concavidad en esta área, acompañada de una prominencia anterior excesiva de la tibia (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Este músculo es un poderoso flexor dorsal del tobillo-pie y se calcula que aporta el 80% de la potencia de flexión dorsal del pie (Frey y Shereff, 1988; Scheller, Kasser y Quigley, 1980). En carga, esta flexión dorsal sirve para propulsar el peso del cuerpo hacia delante y evitar que el cuerpo caiga hacia atrás, y también lo prepara para un movimiento ascendente como ponerse rápidamente de puntillas (Karpovich y Manfredi, 1973). Debido a su progresión medial en la superficie plantar del pie, cuando el músculo se contrae es capaz de producir una ligera inversión del pie así como flexión dorsal. Durante el movimiento con el pie en carga, esta función de inversión del músculo tibial anterior ayuda a soportar el arco longitudinal medial y prevenir la pronación excesiva.

*Palpación.* El tendón del músculo tibial anterior es fácil de ver y palpar cuando cruza la cara anterior del tobillo con el pie en flexión dorsal activa. El vientre superior del músculo se puede palpar en el lado lateral del borde anterior de la tibia.

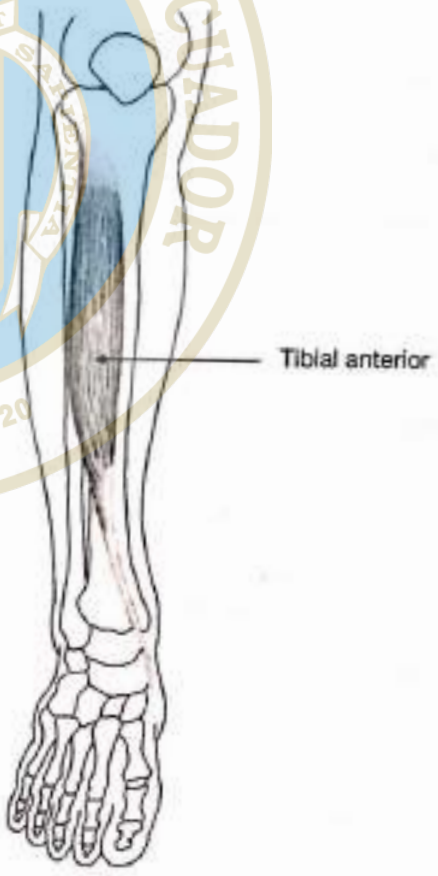



FIGURA 6.12. Músculo tibial anterior (pie derecho, vista anterior).

**Inserciones y acciones principales de los músculos extensor largo del dedo gordo y extensor largo de los dedos**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Extensor largo del dedo gordo | Porción anterior del peroné y membrana interósea adyacente en la mitad de la pierna | Superficie superior de la base de la falange distal del dedo gordo | Extensión del dedo gordo<br>Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| Extensor largo de los dedos | Cóndilo lateral de la tibia<br>Porción anterosuperior del peroné | Superficie superior de los dedos II-V y sus expansiones extensoras | Extensión de los dedos II-IV<br>Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Eversión del pie |

## *Extensor largo del dedo gordo*

El dedo gordo posee un músculo extensor propio, el **extensor largo del dedo gordo** (ELDG) (figura 6.13). Esto se debe a que el dedo gordo es muy importante para la marcha. La porción superior del músculo extensor largo del dedo gordo se localiza a nivel profundo de los músculos tibial anterior y tercer peroneo, pero sale a la superficie para situarse entre estos músculos en el tercio distal de la pierna. Su tendón cruza la cara anterior del tobillo, justo lateral al músculo tibial anterior, y discurre ligeramente medial para insertarse en la superficie dorsal del dedo gordo. Como su nombre implica, su acción principal es extender la primera articulación MTF y la articulación IF del dedo gordo. Debido a que se halla anterior al eje de la articulación tibioastragalina, y debido a su línea medial de tracción, este músculo también ayuda a la flexión dorsal del tobillo-pie y a la inversión del pie.

*Palpación.* El tendón de este músculo se localiza justo lateral al músculo tibial anterior en la cara anterior del tobillo. Si se alza el dedo gordo hacia la espinilla, el tendón será más prominente y podrás palparlo en el dedo gordo y a lo largo del dorso del pie.

## *Extensor largo de los dedos*

El músculo **extensor largo de los dedos** y el músculo tercer peroneo son los músculos situados más lateralmente del grupo crural anterior (figura 6.14). El extensor largo de los dedos presenta un largo tendón que empieza a medio camino de la pierna; cuando cruza la cara anterior de la articulación tibioastragalina, este tendón se divide en cuatro cintillas que se insertan distalmente en la superficie dorsal de los dedos. Como su nombre implica, su acción principal es extender los dedos (extensión de las articulaciones MTF e IF proximales y distales de los dedos II a V). Al cruzar la cara anterior del tobillo con sus tendones discurriendo lateralmente, también genera flexión dorsal del tobillo-pie y eversión del pie. El extensor largo de los dedos actúa junto con el tibial anterior como sinergista, neutralizando la inversión del tibial anterior para lograr la a menudo deseada flexión dorsal neutra del tobillo-pie.

*Palpación.* El tendón del músculo extensor largo de los dedos se localiza justo lateral al tendón del músculo extensor largo del dedo gordo a nivel del tobillo. Extender los dedos II a IV contra una resistencia manual hace que los tendones sean más prominentes; y mientras que el tendón conjunto se puede palpar cerca del tobillo, distalmente el tendón se divide en cuatro porciones, las cuales se pueden palpar desde debajo del tobillo hasta su inserción en la cara superior de los dedos II a V.

FIGURA 6.13. Músculo extensor largo del dedo gordo (pie derecho, vista anterior).

FIGURA 6.14. Músculos extensor largo de los dedos y tercer peroneo (pie derecho, vista anterior).

**Inserciones y acciones principales del músculo tercer peroneo**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Tercer peroneo | Porción anterior del peroné y membrana interósea adyacente en el tercio distal de la pierna | Cara superior de la base del V metatarsiano | Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Eversión del pie |

### *Tercer peroneo*

Algunos consideran que el músculo **tercer peroneo** tiene un nombre erróneo porque no se halla contenido en el compartimiento lateral de los músculos peroneos, y genera flexión dorsal del tobillo-pie y no flexión plantar como los otros músculos peroneos. En realidad, se considera parte del músculo extensor largo de los dedos, su quinto tendón. El músculo tercer peroneo se origina en la porción inferior del peroné y la membrana interósea, y se inserta en la cara dorsal de la base del V metatarsiano (figura 6.14). Debido a su localización lateral y al hecho de que cruce anteriormente el eje de la articulación tibioperoneoastragalina, sus acciones son la flexión dorsal del tobillo-pie y la eversión del pie. El músculo tercer peroneo sólo se ha observado en humanos y grandes antropoides, y no está presente en todas las personas.
*Palpación.* Cuando está presente, se puede palpar el tendón del tercer peroneo justo lateral al tendón del músculo extensor largo de los dedos para el V dedo mientras se practica el mismo movimiento que para la palpación del extensor largo de los dedos.

## *Músculos crurales posteriores*

Los músculos crurales posteriores se localizan en el dorso de la pierna. Estos músculos se hallan en el compartimiento posterior superficial de la pierna y son: gastrocnemio, sóleo y plantar. El músculo plantar se considera un vestigio rudimentario y está ausente en casi el 8% de los seres humanos (Rasch, 1989). Además de ser un débil flexor de la rodilla, el músculo plantar contribuye a la flexión plantar. Sin embargo, debido a que su contribución es mínima en términos de producción de fuerza respecto al gastrocnemio y el sóleo (Levangie y Norkin, 2001), el músculo plantar no aparecerá más en este libro. Todos los músculos crurales posteriores generan flexión plantar del tobillo-pie y son muy importantes para la propulsión.

**Inserciones y acciones principales del músculo triceps sural**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Tríceps sural** | | | |
| Gastrocnemio | Cara posterior de los cóndilos medial y lateral del fémur | Cara posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles | Flexión plantar del tobillo-pie (flexión genicular) |
| Sóleo | Cara posterior de la porción superior de la tibia, el peroné y la membrana interósea | Cara posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles | Flexión plantar del tobillo-pie<br>Estabiliza la pierna sobre el pie |

### *Gastrocnemio*

El gastrocnemio (*gaster*, vientre, + *kneme*, pierna) es un músculo superficial de dos vientres que se inserta por encima de la rodilla en los cóndilos medial y lateral del fémur, y es responsable del aspecto redondeado de la pantorrilla (figura 6.15). Desciende por el dorso de la pierna como dos vientres separados (medial y lateral) hasta casi la mitad del dorso de la pantorrilla, donde las cabezas se unen en una aponeurosis que se convierte en el **tendón de Aquiles**. Este tendón sigue descendiendo por la pierna hasta insertarse en el talón (calcáneo) y es el tendón más grande y poderoso del cuerpo (Whiting y Zernicke, 1998). El músculo gastrocnemio contie-

ne sobre todo fibras de contracción rápida (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996) y es un poderosísimo flexor plantar del tobillo, lo cual lo vuelve vital para la ejecución de movimientos enérgicos como saltos.
Como el músculo gastrocnemio cruza la rodilla, también ayuda a flexionarla. Y, como cruza la rodilla, la posición de esta articulación también influye en la capacidad del gastrocnemio para estirarse o generar fuerza. Adoptar una posición de insuficiencia pasiva extendiendo la rodilla y moviendo en flexión dorsal el tobillo-pie favorece su estiramiento eficaz, mientras que una posición de insuficiencia activa mediante flexión de la rodilla y flexión plantar del tobillo-pie reduce la capacidad del gastrocnemio para generar fuerza y exige que el sóleo desempeñe un mayor papel en la producción de la flexión plantar necesaria. Se puede capitalizar el uso diferencial de estos músculos practicando ejercicios de fortalecimiento de las pantorrillas (flexores plantares) con las rodillas flexionadas y extendidas.
*Palpación.* El gastrocnemio se puede ver contrayéndose y es fácil de palpar en la porción superior de la pantorrilla cuando nos ponemos de puntillas (*relevé;* p. ej., flexión plantar).

## *Sóleo*

El nombre del músculo **sóleo** (*soleus*, lenguado) deriva de su aspecto plano, que recuerda al de este pez. Este músculo se encuentra a nivel profundo del gastrocnemio, como se ve en la figura 6.16. Se puede ver debajo del prominente gastrocnemio de dos vientres, y más medialmente en la región posteroinferior de la pierna. A diferencia del gastrocnemio, no cruza la articulación de la rodilla. Tiene su origen en la cara posterior de la tibia y el peroné y desciende por el dorso de la pierna hasta insertarse junto con el gastrocnemio en la cara posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles. El músculo sóleo es un importante flexor plantar del tobillo y desempeña un papel postural importante para estabilizar la pierna sobre el pie en bipedestación. El sóleo contiene un elevado porcentaje de fibras de contracción lenta, permitiéndole generar una actividad tónica sostenida (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996); y los datos electromiográficos respaldan la idea de que el sóleo es el músculo activo en ortostatismo que evita que el cuerpo se precipite hacia delante (Basmajian y De-Luca, 1985). Aunque todavía exista cierta controversia, hay datos que respaldan el concepto de que la mitad medial del sóleo podría actuar también de inversora del calcáneo (Levangie y Norkin, 2001).
El sóleo y el gastrocnemio componen en conjunto tres vientres musculares y, por eso, reciben el nombre colectivo de **tríceps sural** (L. *tri*, tres, + *caput*, cabeza, + *sura*, pantorrilla).

FIGURA 6.15. Músculo gastrocnemio (pie derecho, vista posterior).

FIGURA 6.16. Músculo sóleo (pie derecho, vista posterior).

*Palpación.* Aunque gran parte del sóleo está cubierta por el más superficial gastrocnemio, el sóleo sobresale por ambos lados de aquél en la porción inferior de la pantorrilla. Se puede percibir la contracción del sóleo en esta área en *demi-pointé* sentado en una silla con la rodilla flexionada.

## Músculos crurales posteromediales

Los músculos crurales posteromediales o posteriores profundos se localizan en el compartimiento posterior profundo de la pierna. Son el poplíteo, el flexor largo del dedo gordo, el flexor largo de los dedos y el tibial posterior. La función principal del poplíteo se concentra en la rodilla, como se expuso en el capítulo 5. Aunque los tres músculos restantes se localicen posteriormente, al acercarse al tobillo discurren medialmente, detrás del maléolo medial, hasta insertarse en el pie. La línea de tracción resultante de estos tres músculos les permite actuar de inversores del pie y flexores plantares.

**Inserciones y acciones principales del músculo tibial posterior**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Tibial posterior | Cara posterior de la mitad superior de la membrana interósea y la tibia y el peroné adyacentes | Superficie plantar del navicular con ramificaciones a los huesos adyacentes | Inversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Soporte del arco plantar |

### Tibial posterior

El músculo tibial posterior se halla a nivel profundo del tríceps sural en la porción medial del compartimiento posterior profundo. Tiene su origen en la porción superior de la membrana interósea y en las porciones adyacentes de la tibia y el peroné. Desciende medialmente por el dorso de la pierna, pasa por debajo del maléolo medial, y luego discurre anteriormente hasta insertarse en la superficie inferior del hueso navicular y (por medio de expansiones fibrosas) en los huesos adyacentes del tarso y en las bases de los metatarsianos, como se ve en la figura 6.17. Su línea de tracción lo convierte en un poderoso inversor del pie tanto si éste está en flexión plantar como en flexión dorsal. El tibial posterior también ayuda a la flexión plantar del tobillo-pie en carga. Se considera un músculo importante en la prevención de una pronación no deseada; y con sus expansiones fibrosas y su acción suspensoria del astrágalo, tiene una posición adecuada para ayudar a mantener el arco longitudinal medial y bloquear las articulaciones del tarso durante los movimientos. Debido a estas últimas funciones, el tibial posterior se considera un músculo estabilizador dinámico medial del pie (Frey y Shereff, 1988; Levangie y Norkin, 2001). La importancia del músculo tibial posterior en esta función queda demostrada por la eversión, la pérdida de altura del arco longitudinal medial y la abducción del antepié que acompañan a la rotura del tendón de este músculo.

*Palpación.* El tendón del músculo tibial posterior se puede palpar justo debajo del maléolo medial mientras desciende anteriormente hacia el navicular. Colocando el pie en punta y mirando hacia dentro (flexión plantar del tobillo-pie e inversión del pie), el tendón se volverá más prominente.

FIGURA 6.17. Músculo tibial posterior (pie derecho, vista posterior).

**Inserciones y acciones principales de los músculos flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Flexor largo del dedo gordo | Cara posterior de los dos tercios inferiores del peroné<br>Membrana interósea inferior | Superficie plantar de la base de la falange distal del dedo gordo | Flexión del dedo gordo<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| Flexor largo de los dedos | Superficie posterior de la tibia y la fascia del músculo tibial posterior | Bases de las falanges distales de los dedos II-V. Cada tendón pasa a través de la abertura o división del tendón correspondiente del músculo flexor corto de los dedos | Flexión de los dedos<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Inversión del pie |

## *Flexor largo del dedo gordo*

El músculo **flexor largo del dedo gordo** se origina en la cara posterior del peroné, discurre medialmente por el dorso de la pierna y cruza el maléolo medial por detrás, y luego discurre anteriormente a lo largo de la porción medial de la cara plantar del pie hasta insertarse en la superficie inferior del dedo gordo (figura 6.18). Como su nombre implica, la acción principal de este músculo es flexionar el dedo gordo en las articulaciones MTF e IF. Sin embargo, en movimiento, esta acción parece ser más importante para establecer contacto firme del dedo gordo con el suelo en movimientos en cadena cinética cerrada, y para producir un despegue poderoso al caminar, correr y saltar (Fernino *et al.*, 2000; Moore y Agur, 1995), que para generar flexión del dedo gordo. El flexor largo del dedo gordo ayuda a la flexión plantar del tobillo-pie y a la inversión del pie. De forma parecida a lo que ocurre con el músculo tibial posterior, esta inversión puede servir para elevar el arco longitudinal medial, bloquear la articulación transversa del tarso y, por tanto, estabilizar el pie. El curso del músculo flexor largo del dedo gordo bajo el sustentáculo del astrágalo es particularmente ventajoso para sostener el astrágalo y prevenir una pronación excesiva. De puntillas, este músculo también es importante para prevenir la pronación excesiva, sostener el arco longitudinal medial y ayudar a estabilizar el dedo gordo.

*Palpación.* Se puede palpar la porción distal del flexor largo del dedo gordo poniendo dos dedos de la mano debajo de la falange proximal del dedo gordo mientras se flexiona activamente este dedo.

FIGURA 6.18. Músculo flexor largo del dedo gordo (pie derecho, vista posterior).

## *Flexor largo de los dedos*

El músculo **flexor largo de los dedos** (FLD) se origina en la cara posterior de la porción superior de la tibia y en la fascia que tapiza el músculo tibial posterior, y desciende por la porción posteromedial de la tibia (figura 6.19). Como su nombre implica, la función principal de este músculo es flexionar los dedos del pie. El tendón distal de este músculo se divide en cuatro tendones, cada uno de los cuales se inserta en la base de las falanges distales de los dedos II a V, generando flexión de las articulaciones IF proximal y distal. Este movimiento produce una presión de los dedos contra el suelo que es clave para aplicar fuerza contra el suelo durante la fase de despegue del pie en movimientos en cadena cinética cerrada como al correr y saltar, y se puede usar de forma más sutil para ayudar a mantener la estabilidad. El flexor largo de los dedos también ayuda a la flexión plantar del tobillo-pie, a la inversión del pie y a mantener el arco longitudinal en carga dinámica.

FIGURA 6.19. Músculo flexor largo de los dedos (pie derecho, vista posterior).

*Palpación.* Se puede palpar la porción distal de los tendones del músculo flexor largo de los dedos poniendo un dedo de la mano debajo de la falange media de cualquiera de los dedos II a V al tiempo que se flexiona activamente ese dedo. Proximalmente, los músculos tibial posterior, flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo discurren por detrás del maléolo medial en estrecha proximidad. Sus tendones se sitúan de anterior a posterior en el siguiente orden: tibial posterior, flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo (figura 6.20). De ahí que el tendón que se ve y palpa justo posterior al maléolo medial sea el del músculo tibial posterior, situándose secuencialmente los otros dos detrás de este tendón.

FIGURA 6.20. Posición relativa de los músculos tibial posterior, flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo (pie derecho, vista medial).

ÓRDENES EN LA DANZA 6.1

### «Usa el suelo»

La orden «usa el suelo» suelen utilizarla los profesores en movimientos como *tendus* y *dégagés*. Como se acaba de exponer, uno de los papeles importantes del músculo tibial posterior y de los flexores largos de los dedos es presionar con éstos sobre el suelo para el «despegue» del pie en la marcha. Por eso, una interpretación anatómica deseable de esta orden es potenciar la presión sobre el suelo mientras el pie se desliza hacia delante por el suelo, en vez de sólo adaptar el pie a la flexión plantar con poco o ningún contacto con el suelo al desplazarse hacia delante. La primera de estas ideas de potenciar la presión contra el suelo es una forma útil de fortalecer estos músculos crurales posteromediales (y muchos de los músculos intrínsecos del pie), así como de ensayar la destreza de hacer presión contra el suelo para generar las fuerzas (de reacción) responsables de impulsar el cuerpo en la dirección deseada. Si se practican con el énfasis deseado aunque sin percatarse, movimientos relativamente simples como *tendus* y *dégagés* pueden aportar beneficios significativos a los bailarines.

## Músculos crurales laterales

Los músculos crurales laterales se localizan en la porción lateral de la pierna, en el compartimiento lateral. Estos músculos son el peroneo largo y peroneo corto. Se hallan estrechamente asociados en su origen y función, y a veces se consideran en conjunto. Estos músculos cruzan la porción lateral del tobillo por detrás del maléolo y ambos generan eversión del pie y flexión plantar del tobillo-pie.

**Inserciones y acciones principales de los músculos peroneos**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Peroneo largo | Cóndilo lateral de la tibia<br>Cara lateral de los dos tercios superiores del peroné | Cara lateral de la primera cuña<br>Parte proximal del primer metatarsiano | Eversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Deprime la cabeza del primer metatarsiano |
| Peroneo corto | Cara lateral de los dos tercios inferiores del peroné | Tuberosidad del extremo proximal del V metatarsiano | Eversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie |

## *Peroneo largo*

El músculo peroneo largo se origina en las porciones lateral y superior de la tibia y el peroné. Cursa superficialmente a lo largo de la cara lateral de la pierna y luego prosigue debajo del pie hasta insertarse en la superficie inferior del primer hueso cuneiforme y el primer metatarsiano (en la base del dedo gordo), como se ve en la figura 6.21. Como el músculo peroneo largo discurre por detrás del maléolo lateral para insertarse en la superficie plantar del pie, su línea de tracción ayuda a la flexión plantar del tobillo-pie, además de su función principal de eversión del pie. Además, como el peroneo largo discurre debajo del pie hasta la cara interna, tiene capacidad para ejercer tracción descendente de la cara medial del pie sobre la superficie de sustentación y ayudar a controlar la presión descendente de la cabeza del primer metatarsiano en movimientos en cadena cinética cerrada. Por tanto, el peroneo largo está en posición de desplazar el peso del cuerpo medialmente y ayudar a iniciar la pronación al caminar, así como ayudar a colocar el dedo gordo en la posición apropiada para el despegue. El músculo peroneo largo también está en posición de ofrecer soporte a distintos arcos plantares del pie. Primero, el peroneo largo discurre por debajo del vértice del arco longitudinal lateral y, por tanto, aporta sujeción a este arco. Segundo, su inserción medial permite sostener el arco transverso, actuando como una cuerda de arco que ejerce tracción sobre el borde medial hacia el borde lateral, y ayudando a limitar la depresión del cuboides (Levangie y Norkin, 2001; Soderberg, 1986).

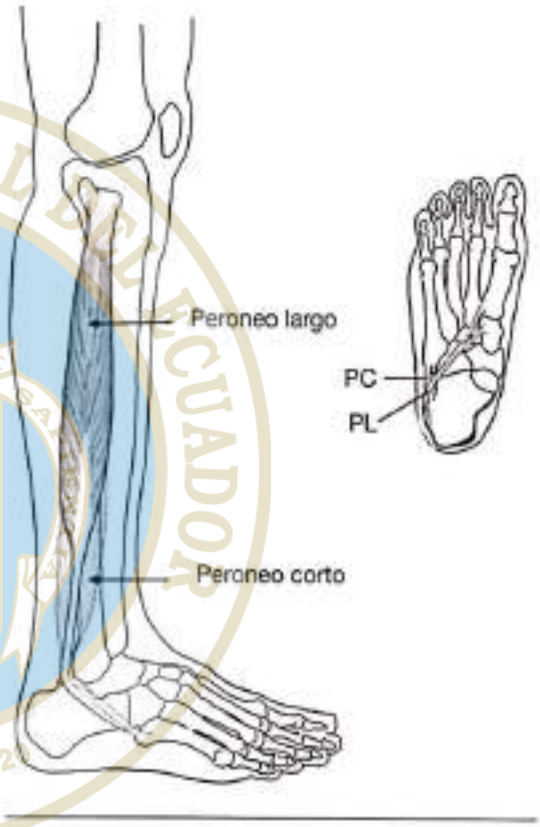



FIGURA 6.21. Músculos peroneos largo y corto (pie derecho, vistas de perfil e inferior).

## *Peroneo corto*

El músculo **peroneo corto** se origina en una porción más inferior del peroné que el peroneo largo y discurre en gran parte de su longitud a nivel profundo. Como su nombre sugiere, el peroneo corto es un músculo corto que se inserta distalmente en la cara lateral del pie (V metatarsiano, parte proximal), en vez de cursar por debajo del pie, como se ve en la figura 6.21. Comparte una línea de tracción proximal parecida a la del peroneo largo, y por eso también ayuda a la flexión plantar del tobillo-pie y es un agonista de la eversión del pie. La línea de tracción de los músculos peroneos también les permite generar abducción del antepié, un movimiento usado por los bailarines para orientar oblicuamente el pie, posición habitual en muchas escuelas de ballet y de danza moderna.

En carga, tanto el peroneo largo como el corto se consideran importantes estabilizadores dinámicos del pie y de la pierna respecto al pie. Estos músculos son importantes para compensar los músculos inversores del pie, como el tibial anterior, el tibial posterior y el flexor largo del dedo gordo, y son esenciales para prevenir esguinces de tobillo por inversión.

*Palpación.* Los tendones de los músculos peroneos son más prominentes cuando se apunta y «orienta oblicuamente» el pie (flexión plantar y eversión). Se pueden palpar debajo y encima del maléolo lateral. El peroneo corto pasa muy cerca del maléolo lateral, mientras que el peroneo largo discurre justo posterior al peroneo corto. El peroneo corto es más prominente con la flexión plantar del tobillo-pie y la eversión del pie, y su curso se puede seguir a lo largo de la cara lateral del pie hasta la base del quinto metatarsiano.

## *Resumen de las acciones e inserciones de los músculos extrínsecos del tobillo-pie*

Un resumen de las inserciones de los músculos extrínsecos del tobillo y el pie aparece en la tabla 6.2, y estos músculos y algunas de sus inserciones aparecen en las figuras 6.22A y B, 6.23A, B y C, y 6.24A y B. A partir de esta información, deduce la línea de tracción y las posibles acciones resultantes de los principales músculos extrínsecos del tobillo y el pie, y luego comprueba la exactitud remitiéndote a las figuras 6.22C, 6.23D y 6.24C.

**Tabla 6.2. Resumen de inserciones y acciones principales de los músculos extrínsecos del tobillo-pie**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos anteriores** | | | |
| Tibial anterior | Dos tercios superiores de la cara lateral de la tibia y membrana interósea adyacente | Superficies medial e inferior de la primera cuña y la base del primer metatarsiano | Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| Extensor largo del dedo gordo | Porción anterior del peroné y membrana interósea adyacente en la mitad de la pierna | Superficie superior de la base de la falange distal del dedo gordo | Extensión del dedo gordo<br>Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| Extensor largo de los dedos | Cóndilo lateral de la tibia<br>Porción anterosuperior del peroné | Superficie superior de los dedos II-V y sus expansiones extensoras | Extensión de los dedos II a V<br>Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Eversión del pie |
| Tercer peroneo | Superficie anterior del peroné y membrana interósea adyacente en el tercio distal de la pierna | Cara superior de la base del V metatarsiano | Flexión dorsal del tobillo-pie<br>Eversión del pie |
| **Músculos posteriores** | | | |
| Tríceps sural | | | |
| Gastrocnemio | Cara posterior de los cóndilos medial y lateral del fémur | Cara posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles | Flexión plantar del tobillo-pie<br>(flexión genicular) |
| Sóleo | Cara posterior de la porción superior de la tibia, el peroné y la membrana interósea | Cara posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles | Flexión plantar del tobillo-pie<br>Estabiliza la pierna sobre el pie |
| **Músculos posteromediales** | | | |
| Tibial posterior | Cara posterior de la mitad superior de la membrana interósea y de la tibia y peroné adyacentes | Superficie plantar del navicular con ramificaciones a los huesos adyacentes | Inversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Soporte del arco plantar |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos posteromediales** | | | |
| Flexor largo del dedo gordo | Cara posterior de los dos tercios inferiores del peroné<br>Membrana interósea inferior | Superficie plantar de la base de la falange distal del dedo gordo | Flexión del dedo gordo<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| Flexor largo de los dedos | Superficie posterior de la tibia y la fascia del músculo tibial posterior | Bases de las falanges distales de los dedos II-V. Cada tendón pasa a través de la abertura o división del tendón respectivo del músculo flexor corto de los dedos | Flexión de los dedos<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Inversión del pie |
| **Músculos laterales** | | | |
| Peroneo largo | Cóndilo lateral de la tibia<br>Cara lateral de los dos tercios superiores del peroné | Cara lateral de la primera cuña<br>Primer metatarsiano, parte proximal | Eversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie<br>Deprime la cabeza del primer metatarsiano |
| Peroneo corto | Cara lateral de los dos tercios inferiores del peroné | Tuberosidad del extremo proximal del V metatarsiano | Eversión del pie<br>Flexión plantar del tobillo-pie |

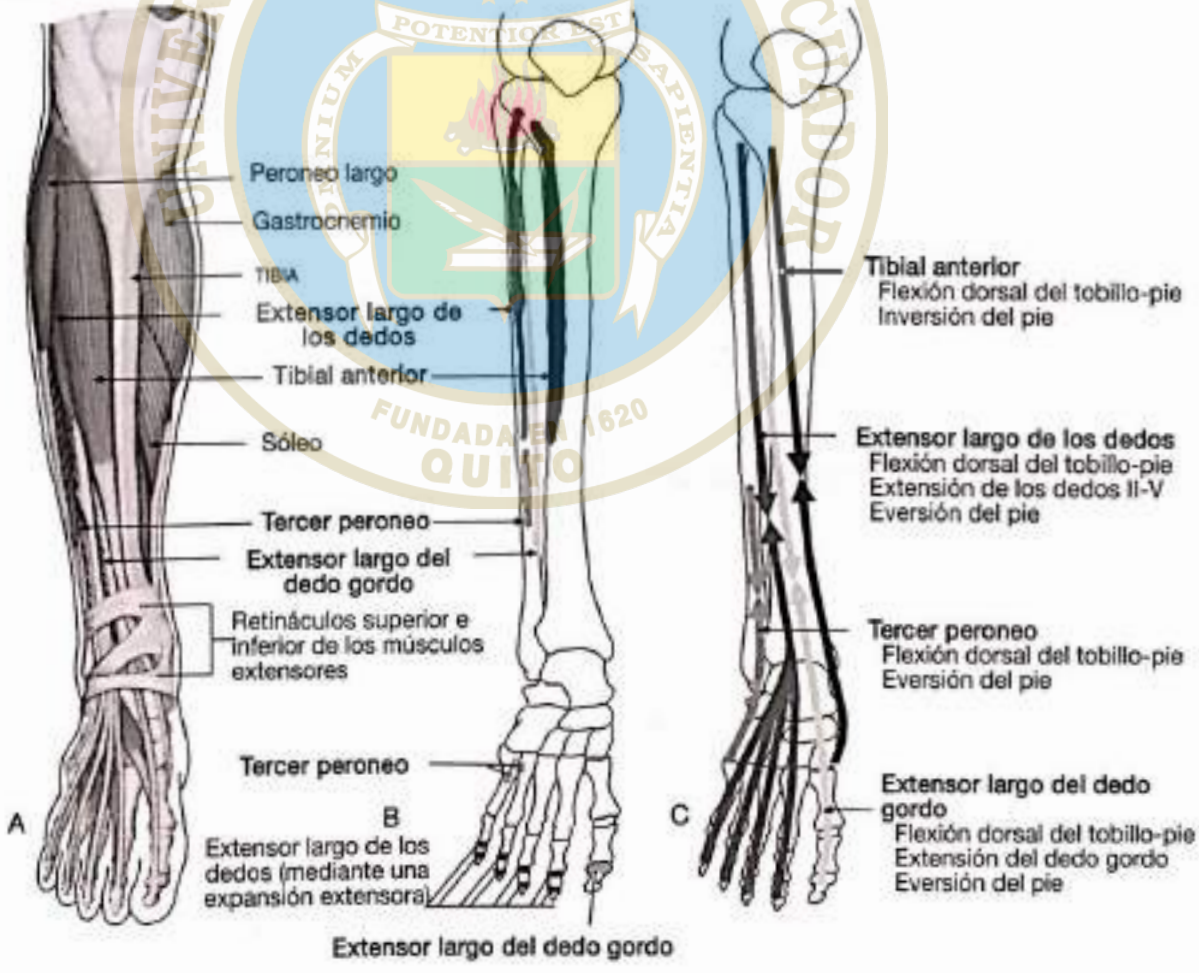



FIGURA 6.22. Vista anterior de los principales músculos que actúan en el tobillo y pie (pie derecho). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

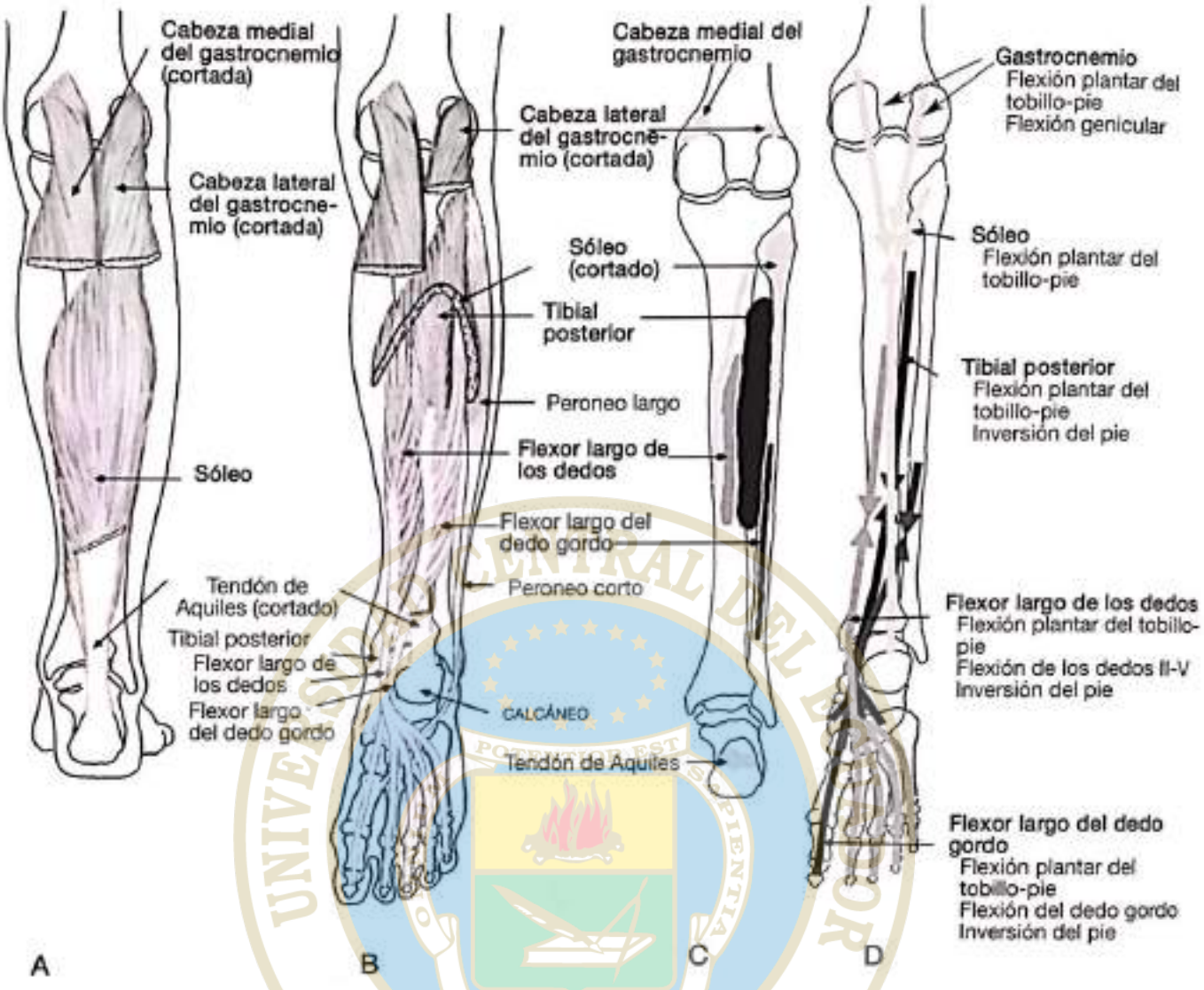



FIGURA 6.23. Vista posterior de los principales músculos que actúan sobre el tobillo y el pie (pie derecho). (A) Vista más superficial de los músculos; (B) vista más profunda de los músculos; (C) inserciones; (D) líneas de tracción y acciones.

## *Músculos intrínsecos del pie*

Recuerda que, por definición, los músculos intrínsecos presentan sus inserciones proximales y distales en el pie, aunque algunos de ellos ejerzan funciones similares a los músculos extrínsecos. Para distinguir entre extrínsecos e intrínsecos con funciones similares, se usan los términos corto y largo. Por ejemplo, el extensor extrínseco del dedo gordo se llama extensor largo del dedo gordo, mientras que el extensor intrínseco se llama extensor corto del dedo gordo. Este extensor corto del dedo gordo, así como los extensores cortos de los dedos, se localizan en el dorso del pie, como se ve en la figura 6.25. Los diez músculos intrínsecos restantes se llaman músculos plantares y se pueden agrupar en cuatro capas, como se aprecia en la figura 6.26. Mientras que los tres primeros grupos se localizan en la cara plantar del pie y en capas progresivamente más profundas, la cuarta capa se localiza realmente entre los metatarsianos y las falanges.

Los músculos intrínsecos del pie son responsables de la abducción, aducción, flexión y extensión de los dedos. Algunos de estos músculos también son importantes para el mantenimiento dinámico de los arcos plantares, la propulsión y los ajustes finos de los pies. Una de las funciones importantes, y a menudo obviada, de los músculos intrínsecos es mantener las articulaciones IF extendidas para ayudar al flexor largo del dedo gordo y al flexor largo de los dedos a producir un poderoso despegue del pie en los movi-

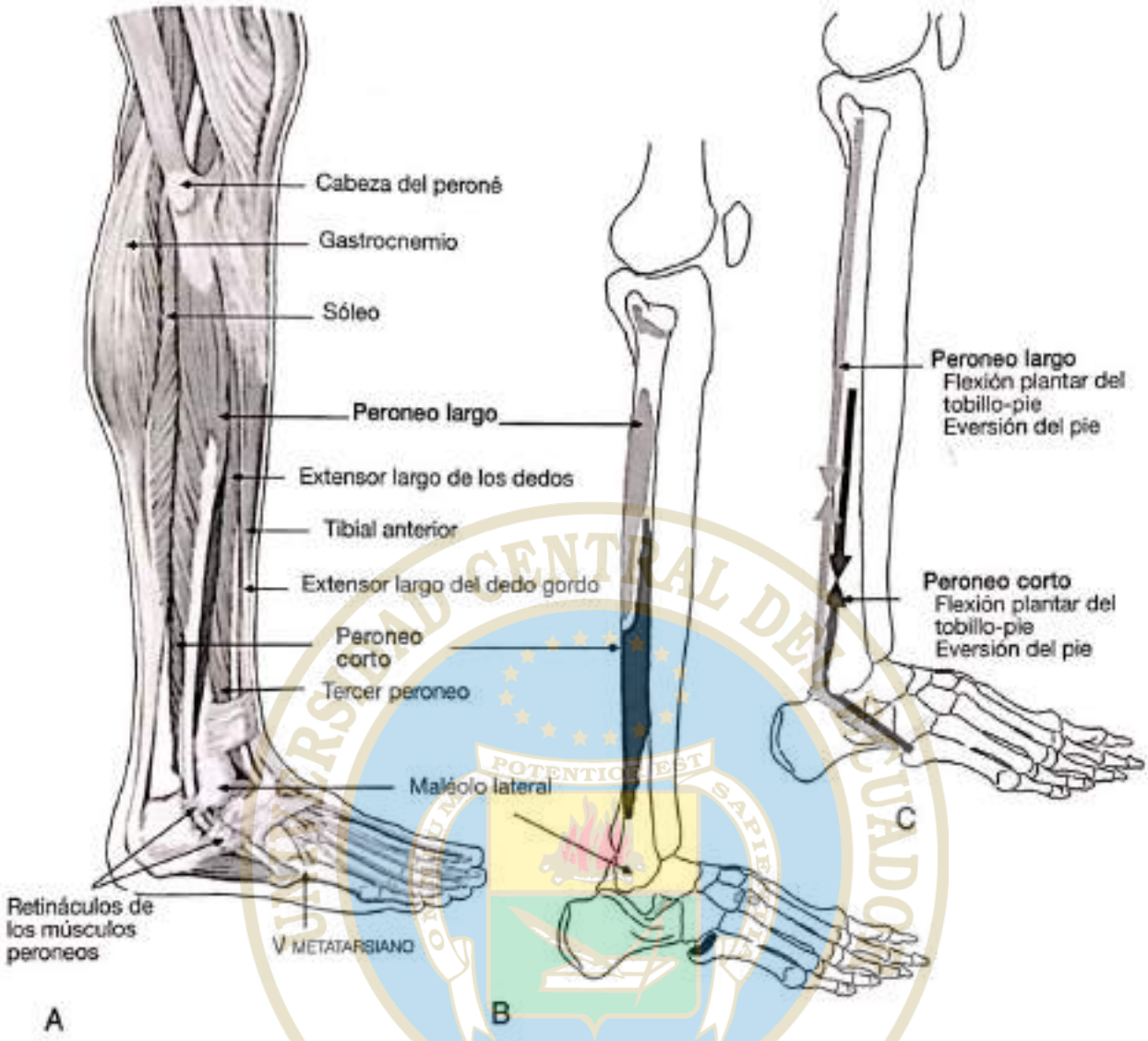



FIGURA 6.24. Vista lateral de los principales músculos que actúan en el tobillo y el pie (pie derecho). (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones.

mientos de la marcha. Si los dedos no se mantienen extendidos, se encogen y eso reduce mucho la eficacia del despegue. Una explicación detallada de los músculos intrínsecos de los pies queda fuera del alcance de este libro. Sin embargo, es importante que los bailarines sean conscientes de la amplitud de estos músculos y recuerden que son muy importantes dadas las complicadas exigencias, de gran magnitud y precisión, impuestas a los pies. Para los lectores interesados, la tabla 6.3 ofrece los nombres, localización y funciones de estos músculos.

FIGURA 6.25. Músculos intrínsecos dorsales del pie (pie derecho, vista superior).

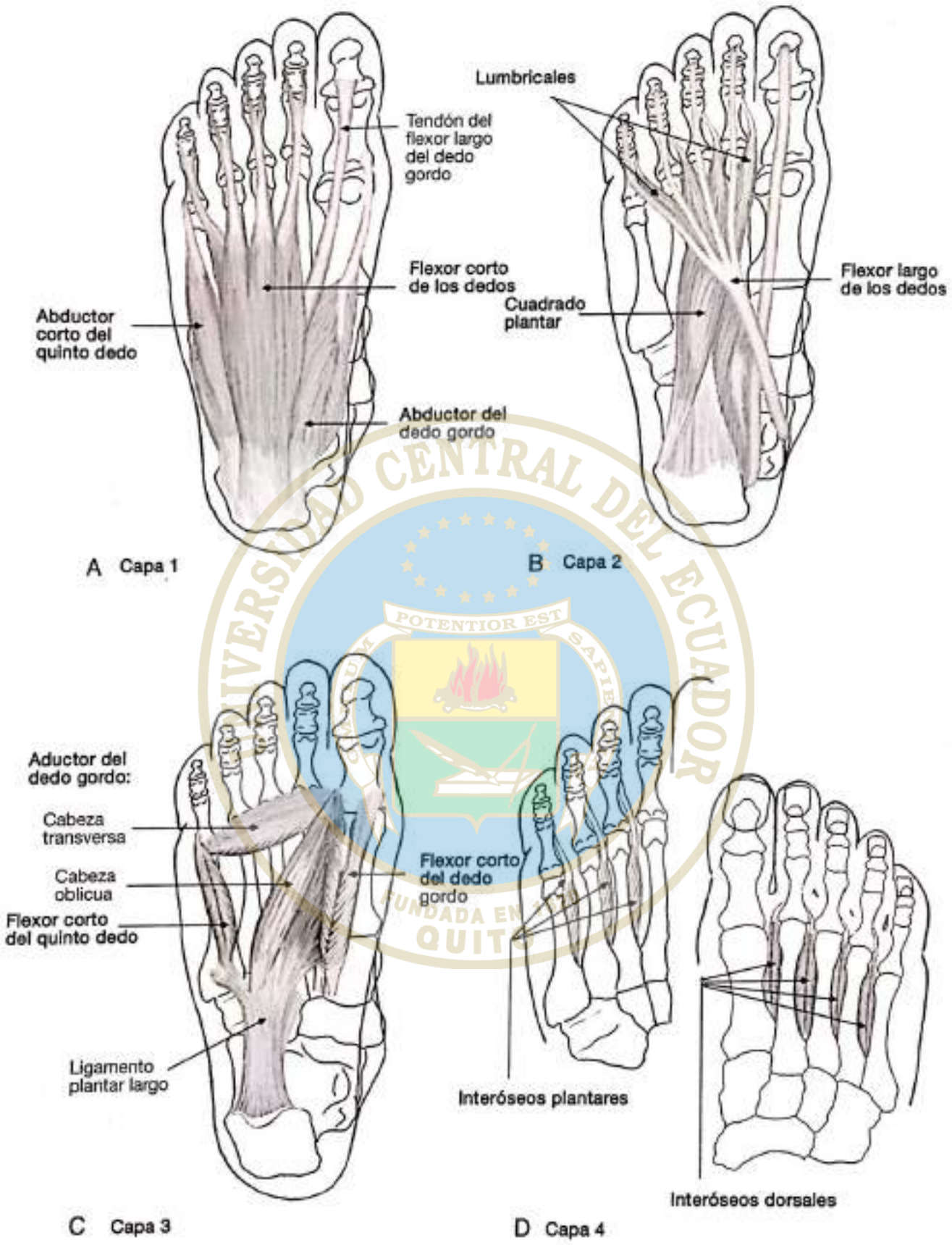



FIGURA 6.26. Capas de los músculos plantares intrínsecos del pie (pie derecho; vista inferior excepto vista superior para la capa 4, músculos interóseos dorsales).

**Tabla 6.3. Resumen de inserciones y acciones principales de los músculos intrínsecos del pie**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Cara dorsal** | | | |
| Extensor corto del dedo gordo | Porción lateral de la superficie dorsal del calcáneo | Superficie dorsal de la base de la falange distal del dedo gordo | Extensión de la art. MTF del dedo gordo |
| Extensor corto de los dedos | Porción lateral de la superficie dorsal del calcáneo | Tendones del extensor largo de los dedos (II-IV) | Extensión de las art. MTF e IF de los dedos II-IV |
| **Cara plantar** | | | |
| Primera capa | | | |
| Abductor del dedo gordo | Tuberosidad del calcáneo<br>Aponeurosis plantar | Superficie medial de la base de la falange proximal del dedo gordo | Abducción y flexión de la art. MTF del dedo gordo |
| Flexor corto de los dedos | Tuberosidad del calcáneo<br>Aponeurosis plantar | Ambos lados de las falanges medias de los dedos II-V | Flexión de las art. MTF e IF proximal de los dedos II-V |
| Abductor corto del quinto dedo | Tuberosidad del calcáneo<br>Aponeurosis plantar | Lado lateral de la base de la falange proximal del V dedo | Abducción de la art. MTF del V dedo<br>Flexión de la art. IF proximal del V dedo |
| Segunda capa | | | |
| Cuadrado plantar | Dos cabezas:<br>Superficie medial<br>Borde lateral de la superficie plantar del calcáneo | Tendones del flexor largo de los dedos | Ayuda al flexor largo de los dedos en la flexión de las art. IF distales de los dedos II-V |
| Lumbricales | Tendones del flexor largo de los dedos | Cara medial de la expansión sobre los dedos II-V | Flexión de las art. MTF de los dedos II-V<br>Extensión de las art. IF proximales y distales de los dedos II-V |
| Tercera capa | | | |
| Flexor corto del dedo gordo | Superficies plantares del cuboides y las cuñas laterales | Ambos lados de la base de la falange proximal del dedo gordo | Flexión de la art. MTF del dedo gordo |
| Aductor del dedo gordo | Cabeza oblicua: bases de los metatarsianos II-IV<br>Cabeza transversa: ligamentos plantares de las articulaciones metatarsofalángicas | Tendones de ambas cabezas se insertan en el lado lateral de la base de la falange proximal del dedo gordo | Aducción de la art. MTF del dedo gordo<br>Flexión de la art. MTF del dedo gordo<br>Ayuda a sostener el arco transverso del pie |
| Flexor corto del quinto dedo | Base del V metatarsiano | Base de la falange proximal del V dedo | Flexión de la art. MTF del V dedo |

(Continúa)

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 6.3. Resumen de inserciones y acciones principales de los músculos intrínsecos del pie (continuación)**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Cuarta capa | | | |
| Interóseos plantares (tres músculos) | Bases y lados mediales de los metatarsianos III-V | Lados mediales de las falanges proximales de los dedos III-V y los tendones del extensor largo de los dedos | Aducción de los dedos III-V<br>Flexión de las art. MTF de los dedos III-V<br>Extensión de las art. IF distales de los dedos III-V |
| Interóseos dorsales (cuatro músculos) | Lados adyacentes de los metatarsianos I-V | Primero: lado medial de la falange proximal del II dedo<br>Segundo a cuarto: lados laterales de los dedos II-IV y tendones del extensor largo de los dedos | Abducción de las art. MTF de los dedos II-IV<br>Flexión de las art. MTF de los dedos II-IV<br>Extensión de las art. IF distales de los dedos II-IV |

## Alineación y desviaciones habituales del tobillo y el pie

Existen numerosos problemas de alineación que afectan el tobillo y el pie, como la posición anormal de la tibia, los arcos plantares, el retropié y los dedos. Algunos de estos problemas se describen teniendo en cuenta la dirección en que se desvían los huesos; y, de forma parecida a la situación de la rodilla, el valgo se refiere a una desviación lateral del segmento distal mientras que el varo se refiere a una desviación medial del segmento distal. Como en otras regiones del cuerpo, es necesario un exhaustivo examen médico para distinguir entre los problemas estructurales y funcionales de alineación. Además, es importante darse cuenta de que las desviaciones maleolares y podales son muy habituales en los bailarines y la población en general, y su importancia en las lesiones y la necesidad de corrección son muy controvertidas.

### *Torsión de la tibia*

Como se expuso en el capítulo anterior, la tibia suele mostrar rotación externa longitudinal, llamada torsión tibial externa, de forma que en el adulto la mortaja articular del tobillo se orienta unos 15° lateralmente con la punta de los maléolos mediales ligeramente anterior y superior respecto a los maléolos laterales, como se ve en la figura 6.27. Sin embargo, la variación individual puede ser grande, con mediciones que varían entre 4° de torsión tibial interna y 56° de torsión tibial externa (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La torsión tibial interna se asocia con la desviación medial de los pies respecto a las rodillas durante la marcha, mientras que la torsión tibial externa se asocia con una orientación lateral o externa de los pies respecto a la rodilla al caminar. Teóricamente, un aumento de la torsión tibial externa podría ser ventajoso para potenciar el *en dehors* de los pies. Sin embargo, un estudio con bailarines profesionales de ballet no constató un aumento de la rotación tibial externa respecto a la población general (Hamilton *et al.*, 1992).

### *Arcos del pie*

Los huesos de los pies no adoptan una estructura plana, sino que forman una serie de arcos longitudinales y transversos parecida a una media cúpula elástica, como se ve en la figura 6.28A. Es más fácil visualizar estos arcos en ortostatismo con un pie junto al otro y fijándonos en que, mientras que los bordes laterales de ambos pies permanecen en contacto con el suelo, la cara interna de las plantas de los pies forman una cúpula somera; la porción central forma un arco que por lo general no está en contacto con el suelo. Esta concavidad central corresponde al **arco longitudinal medial,** compuesto por los tres metatarsianos mediales, las cuñas, el navicular y el calcáneo. El arco longitudinal medial es el más alto de los arcos longitudinales y es el arco al que la gente se suele referir al hablar del pie. Está concebido para adaptarse a superficies irregulares, a los cambios de dirección y al desplazamiento del peso del cuerpo de un lado del pie al otro. En contraste, el **arco longitudinal lateral,** formado por los dos metatarsianos laterales, el cuboides y el calcáneo, está concebido para proporcionar estabilidad y soportar el peso del cuerpo y generalmente está en contacto con el suelo en bipedestación.

FIGURA 6.27. Torsión tibial (pie izquierdo, vista superior).

Mientras que los arcos longitudinales son responsables del arqueamiento del pie en sentido longitudinal, el **arco transverso** es clave para la convexidad lateromedial. El arco transverso se compone de los huesos del tarso en el mesopié (navicular, cuñas y cuboides) y los metatarsianos. Este arco transverso se divide a su vez en los arcos del tarso, metatarsiano posterior y metatarsiano anterior (Magee, 1997). La altura del **arco transverso del tarso,** especialmente influido por las cuñas, varía mucho entre personas y colabora en la adopción de un empeine elevado en el ballet clásico. El **arco metatarsiano anterior** también es muy importante para los bailarines, y la pérdida de este arco a menudo se manifiesta en la formación de callosidades bajo la cabeza del segundo metatarsiano y en dolor metatarsiano.

En ortostatismo relajado (estabilidad estática), estos arcos se sustentan por la forma de los huesos, la fascia plantar y los ligamentos que mantienen su cohesión, sin ayuda de los músculos de los pies (Basmajian y DeLuca, 1985; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Sin embargo, en movimiento (estabilidad dinámica), distintos músculos intrínsecos y extrínsecos aportan sustentación activa y sirven de segunda línea de estabilidad a los arcos del pie, entrando en acción cuando aumentan las demandas (figura 6.28B).

La presencia de estos arcos permite a los pies soportar grandes fuerzas manteniendo su integridad, absorber mejor los choques, y tener mayor movilidad y estabilidad. En carga, el pie tiende a extenderse un poco, lo cual ayuda a absorber el impacto de la fuerza; sin embargo, los poderosos arcos, similares a muelles gracias a sus ligamentos asociados y fascia,

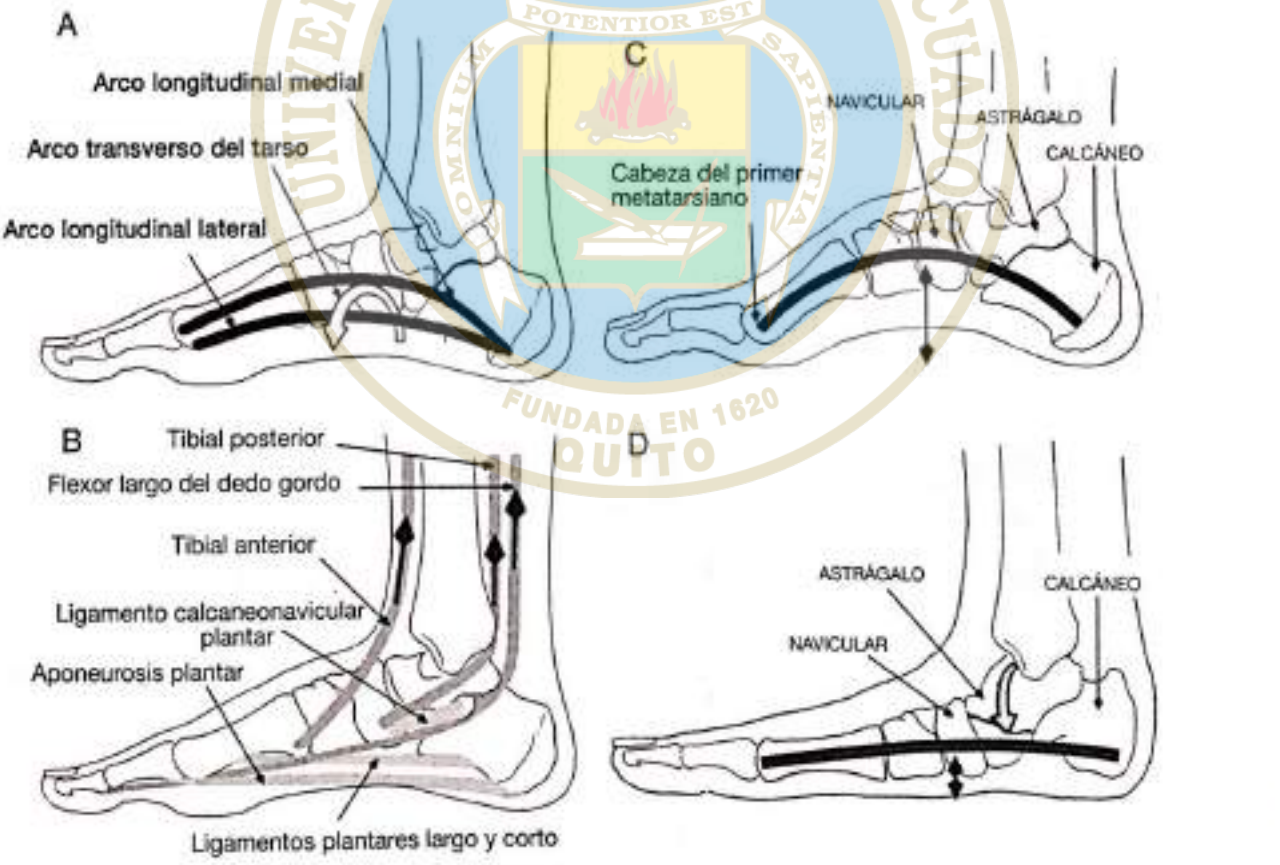



FIGURA 6.28. Arcos plantares. (A) Arcos óseos normales; (B) ligamentos y músculos clave que ayudan a sostener el arco longitudinal medial; (C) pie cavo; (D) pie plano.

oponen resistencia a su aplanamiento y generan un retroceso elástico que ayuda a la marcha (Hamill y Knutzen, 1995).

### Pie plano

Cuando el pie muestra una reducción o pérdida del arco longitudinal medial, el fenómeno se llama **pie plano**. La huella del pie muestra un área de contacto mucho mayor de lo normal (figura 6.29B). El pie plano se puede clasificar a su vez como flexible o rígido. En el caso de un pie plano rígido, hay una reducción del arco tanto en carga como en descarga. Este tipo de pie plano suele ser secundario a factores estructurales o patológicos y es relativamente poco habitual. Por el contrario, en el caso de un pie plano flexible o funcional, se observa un arco plantar cuando el pie no está en carga o en *demi-pointé*, pero, cuando el bailarín está en bipedestación, el arco longitudinal medial se aplana; la cabeza del astrágalo se mueve en sentido inferomedial y causa pronación del pie (figura 6.28D). Este movimiento del astrágalo también arrastra al hueso navicular adyacente, un punto anatómico de referencia que se usa para la evaluación de los arcos. Se ha postulado que la laxitud ligamentaria congénita o la excesiva pronación provocarían el estiramiento de los tejidos blandos, como el ligamento calcaneonavicular plantar y el tendón del músculo tibial posterior, con la pérdida resultante de altura en el arco longitudinal medial del pie en carga (Hamilton y Luttgens, 2002; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996; Soderberg, 1986). Se ha documentado la presencia de un pie plano flexible en aproximadamente el 15% de la población general (Omey y Micheli, 1999) y es habitual en los bailarines.

Las personas con pies planos manifiestan una mayor activación de los músculos en bipedestación, probablemente para intentar prevenir el aplastamiento de los arcos y ofrecer estabilidad a las articulaciones intertarsianas. Hay evidencias de que el pie plano y su excesiva pronación asociada aumentan el riesgo de ciertos tipos de lesiones, como el síndrome del compartimiento tibial, la fascitis plantar y las fracturas por sobrecarga de los metatarsianos. Sin embargo, la relación habitual propuesta de los pies planos con un aumento del riesgo de lesiones es controvertida y compleja, tal vez porque las tensiones indeseables adicionales sobre las estructuras que sostienen el arco medial se compensan, al menos en parte, por la absorción eficaz de choques que ofrece este tipo de pie.

### Pie cavo

La alteración opuesta al pie plano es el **pie cavo** (L. *cavus*, hueco). El pie cavo implica un arco anormalmente elevado (figura 6.28C), y la huella muestra un área de contacto menor que en un pie normal o plano (figura 6.29A y C). En qué grado el pie cavo es congénito o en qué grado se puede desarrollar es materia controvertida, pero, según la experiencia de la autora, los bailarines pueden incrementar el arco en cierto grado con preparación suplementaria y entrenamiento en danza. Aunque la estética del pie cavo se valore en la mayoría de las formas de danza, este tipo de pie suele ser más rígido, permitiendo sólo una pronación limitada para el amortiguamiento de choques. De ahí que el pie cavo pueda aumentar el riesgo de ciertos tipos de lesiones, como fracturas por sobrecarga, esguinces del tarso al colocar el pie en punta, fascitis plantar y problemas con los metatarsianos (Conti y Wong, 2001; Hamilton, 1982; McCrory *et al.*, 1999; Yakut *et al.*, 1997).

## *Retropié valgo y varo*

Otra consideración importante sobre la alineación de los pies es la posición del calcáneo. Como el calcáneo forma parte del arco longitudinal medial, de la articulación subastragalina y de una de las articulaciones transversas del tarso, su posición influirá en la del retropié, el mesopié y el antepié.

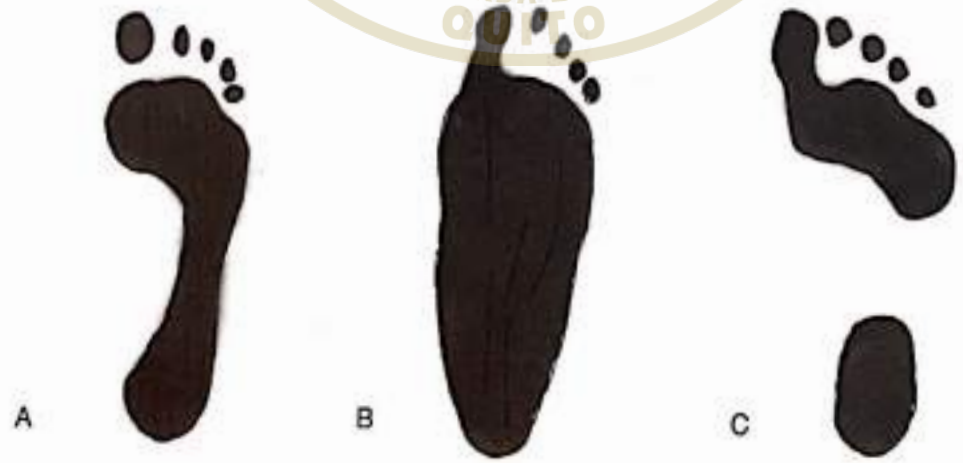



FIGURA 6.29. Huellas asociadas con (A) un pie normal; (B) un pie plano; (C) un pie cavo.

PRUEBAS Y MEDICIONES 6.2

## *Pie plano*

Practica las siguientes observaciones para identificar la presencia de un caso de pie plano flexible o rígido.

1. En sedestación (en descarga), señala los siguientes puntos anatómicos de referencia en un pie:
a. Cara inferolateral de la cabeza del primer metatarsiano.
b. Tuberosidad del navicular.
c. Punto distal del maléolo medial.
Repara en la relación entre estos tres puntos. Si la tuberosidad del navicular se encuentra en la línea entre la cabeza del primer metatarsiano y el maléolo medial, el arco se considera normal; por el contrario, si la tuberosidad del navicular se encuentra muy por debajo de esta línea, se considera un pie plano rígido.

2. Ahora ponte de pie, carga el peso del cuerpo sobre el pie con las marcas, y repara en si cambia la relación entre estos puntos. Si los tres puntos siguen alineados, el arco se considera normal. Sin embargo, si el navicular estaba alineado en descarga y ahora queda por debajo de la línea en carga, se considera pie plano flexible. El grado en que el navicular desciende refleja la gravedad del pie plano.

La posición del retropié se puede determinar a partir de la intersección en la articulación subastragalina de una línea que desciende por el dorso del tercio inferior de la tibia y una línea que biseca el dorso del calcáneo, como se ve en la figura 6.30 (Kreighbaum y Barthels, 1996). Una línea que biseque el calcáneo debería ser casi perpendicular al suelo en ortostatismo y al mirar al bailarín por detrás (Kreighbaum y Barthels, 1996), y ello se consideraría una postura neutra del retropié (figura 6.30A). Si la línea que biseca el calcáneo se desvía distalmente hacia fuera más de 2° (Levangie y Norkin, 2001), el pie está en eversión, y ello se denomina **retropié valgo** (girado hacia fuera) (figura 6.30B). Esta afección se suele asociar con una pronación excesiva durante la marcha y requiere inversión tarsiana media para que los dedos laterales entren en contacto con el suelo en el mismo plano que el dedo gordo en bipedestación. A un bailarín con retropié valgo le resultará más fácil la pronación, es decir, cargar la mayor parte del peso del cuerpo sobre la cara interna del pie, y tenderá a levantar los dedos externos del suelo.

Si la línea que biseca el calcáneo se desvía distalmente hacia dentro y no hacia fuera, esta alineación defectuosa se denomina **retropié varo** (hacia dentro) (figura 6.30C). El retropié varo se suele asociar con una excesiva supinación durante la marcha y un aumento del riesgo de esguinces de tobillo, y exige eversión tarsiana media para poner los dedos mediales en el suelo y en el mismo plano que los dedos laterales en bipedestación. A un bailarín con retropié varo le resultará más fácil la supinación del pie, es decir, cargar la mayor parte del peso del cuerpo sobre la cara externa del pie e inadecuadamente sobre el dedo gordo.

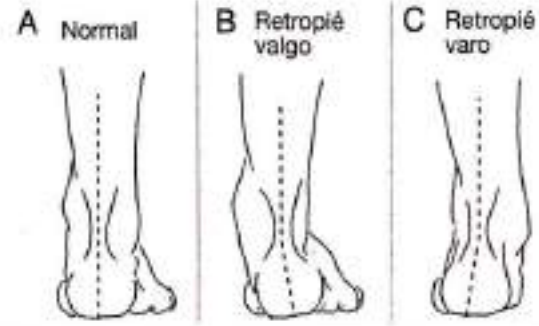



FIGURA 6.30. Posición del retropié (pie derecho, vista posterior). (A) Neutra; (B) retropié valgo; (C) retropié varo.

## Posición de los dedos del pie

Los arcos y posición del retropié, así como factores genéticos, también influyen en la posición de los dedos del pie. Son problemas predominantes de los dedos del pie la deformidad en garra, los dedos en martillo y el *hallux valgus*.

### Dedos en garra y dedos en martillo

Los dedos en garra y en martillo representan afecciones en que los dedos II a V del pie, sobre todo el II, se mantienen excesivamente flexionados. Con los **dedos en garra**, la articulación MTF suele estar fija en hiperextensión y ambas articulaciones IF están fijas en flexión, como se ve en la figura 6.31. Con los **dedos en martillo**, la articulación MTF suele estar fija en hiperextensión, la articulación IF proximal está fija en flexión, y la articulación IF distal está en hiperextensión, de forma que la punta del dedo se deprime hacia abajo (Levangie y Norkin, 2001; Mercier, 1995). Estas afecciones se suelen asociar con pie cavo porque el arco exagerado implica un descenso de las cabezas de los metatarsianos respecto al retropié. Estas alteraciones tienden a imponer tensión excesiva sobre las cabezas de los metatarsianos, pueden alterar el equilibrio y la colocación del pie en *demi-pointé* y *pointé*, y vuelven las articulaciones flexionadas vulnerables a las ampollas y callos.

Es importante que bailarines y profesores sean conscientes de que estas alteracones se suelen deber a un acortamiento de los músculos flexores de los dedos o a un desequilibrio de los músculos intrínsecos, y que la relajación de los dedos no producirá la corrección deseada. Sin embargo, la práctica diaria de estiramientos agresivos usando la mano para extender los dedos (articulaciones IF apropiadas) mientras se mantiene la articulación MTF en una posición neutra a veces permite una mejoría gradual pero apreciable. Además, el uso de los músculos intrínsecos, lumbricales e interóseos para estabilizar la articulación MTF en una posición neutra y no hiperextendida también reduce la deformidad en garra en ortostatismo con los pies planos en vez de en *demi-pointé* o *pointé* (Levangie y Norkin, 2001). Estos músculos pueden crear la flexión deseada de la articulación MTF sin aumentar la flexión IF no deseada de los dedos. Además, los músculos extensores extrínsecos e intrínsecos de los dedos se pueden usar para extender activamente los dedos tanto como las contracturas lo permitan. La fuerza y uso de estos músculos pueden mejorar con ejercicios de arqueamiento del empeine en sedestación (tabla 6.6J, pág. 349), seguidos por la repetición del ejercicio de pie, y centrándose en levantar muy ligeramente las cabezas de los metatarsianos (en vez de dejar que desciendan) mientras se extienden los dedos hacia delante (extensión IF). Las deformidades leves también mejoran o se alivian con vendajes por encima y debajo de los dedos adyacentes, mediante la selección de la danza y de calzado que no sea demasiado corto, con el uso de almohadillas o protectores para los dedos que eviten heridas por presión y callos por la fricción anormal con el calzado, y asegurándose de que el bailarín permanece de pie con el peso del cuerpo apropiadamente distribuido (y no demasiado atrás) de modo que los músculos flexores de los dedos no se tengan que usar en exceso para mantener la estabilidad. Aunque en la población en general a veces se recomienda cirugía para los casos resistentes de estas deformidades, este tipo de cirugía no se suele recomendar a los bailarines.

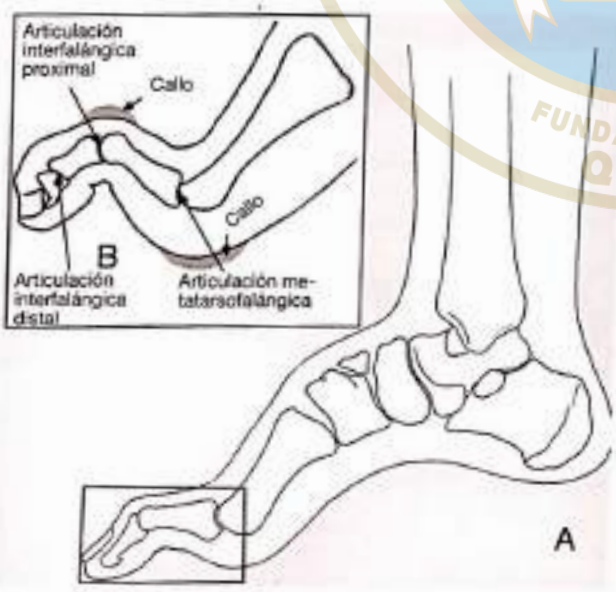



FIGURA 6.31. Dedos en garra asociados con pie cavo (pie derecho, vista medial). (A) Dedo gordo; (B) segundo dedo.

### *Hallux valgus* y juanetes

El *hallux valgus* (L., dedo gordo + girado hacia fuera) es una desviación lateral del extremo distal del dedo gordo (*hallux*) en la articulación MTF, y a menudo también implica una desviación del primer metatarsiano hacia la línea media del cuerpo (*metatarsus primus varus*), como se ve en la figura 6.32. Esta desviación ósea cambia la línea de tracción de los músculos que cruzan la articulación MTF, de modo que muchos de estos músculos tienden a generar un efecto de cuerda de arco que incrementa la deformidad en valgo, y, en los casos más avanzados, hace que los huesos sesamoideos se desplacen al lado lateral de la cabeza del primer metatarsiano. Esta desviación en valgo del dedo gordo también tiende a hacer que la cara medial de la cabeza del primer metatarsiano se vuelva más prominente, y la fricción resultante y traumatismo causados por el calzado pueden derivar rápidamente en una exostosis, una inflamación de la bolsa entre la exostosis y la piel, y un callo en la piel. Este hueso y el engrosamiento de los tejidos blandos en la parte medial de la cabeza del primer metatarsiano se denominan juanete.

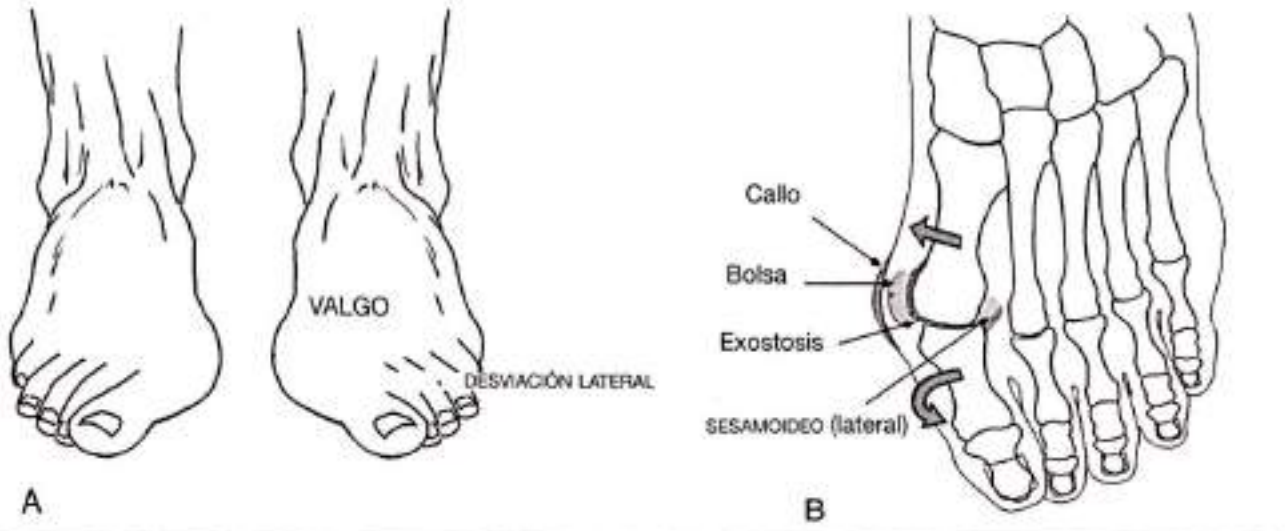



FIGURA 6.32. (A) *Hallux valgus* (vista anterior) con (B) formación de un juanete (pie izquierdo, vista superior).

Se ha documentado que el *hallux valgus* afecta hasta al 22-36% de los adolescentes; hay un mayor predominio en las mujeres activas, sobre todo las bailarinas de ballet (Kravitz *et al.*, 1986; Omey y Micheli, 1999). La etiología sigue siendo controvertida, pero probablemente estén implicados factores familiares y de otro tipo que tienden a aumentar las fuerzas de desviación laterales sobre el dedo gordo, como zapatos apretados, *pointé*, *metatarsus primus varus*, pies planos, pronación excesiva, *en dehors* forzados e hiperlaxitud articular. En los estadios iniciales, el uso de calzado ancho, una almohadilla de fieltro, un separador de dedos, un vendaje para el tratamiento del *hallux valgus*, el control de la pronación y el fortalecimiento de los músculos de los arcos plantares y el músculo abductor del dedo gordo pueden lograr algún alivio. Sin embargo, en estadios posteriores, la pérdida de movilidad, el dolor y el grado de desviación suelen impedir una mecánica óptima y volver ineficaces estos métodos de tratamiento. Aunque a menudo se recomiende cirugía en este estadio tardío para otras poblaciones, su idoneidad en bailarines en activo es controvertida; y algunos traumatólogos recomiendan no operarse dada la tendencia a perder la capacidad de extensión del dedo gordo, tan necesaria para la danza (Baxter, 1994; Dyal y Thompson, 1997; Howse, 1983).

## Tipo de pie

El pie en conjunto se puede clasificar en distintos tipos basados en su forma y en la longitud relativa de los dedos. Una clasificación divide los pies en tres tipos: (1) el pie cuadrado, en que los dedos primero y segundo son de la misma longitud; (2) el pie egipcio, en que el primer dedo es más largo que el segundo, y (3) el pie de Morton o pie griego, en que el segundo dedo es más largo que el primero. Por lo general se afirma que un pie de tipo cuadrado, ancho y relativamente corto es menos propenso a las lesiones, y hay cierto respaldo a esta conjetura entre los bailarines (Ende y Wickstrom, 1982; Hamilton *et al.*, 1997).

El tipo de pie y la longitud relativa de los metatarsianos y los dedos influyen en qué huesos del pie permanecen en contacto al ponerse sobre el antepié. El eje sobre el cual se dobla el pie (p. ej., donde los dedos se extienden en las articulaciones MTF), llamado *«metatarsal break»*, no es perpendicular, sino que forma un ángulo oblicuo de 50° a 70° con el eje longitudinal del pie (Sammarco, 1980). Así, en *demi-pointé*, los dos o tres metatarsianos laterales no permanecerán en contacto con el suelo, y el contacto de los dedos laterales dependerá del ángulo de este *metatarsal break* y de la longitud de los dedos. De ahí que la orden que a veces dan los profesores de danza de mantener los metatarsianos y dedos en contacto con el suelo en *demi-pointé* no es apropiada para la mayoría de los bailarines. Probablemente, una orden mejor sea centrarse en mantener el peso del cuerpo centrado sobre las cabezas del primer y segundo metatarsianos con la porción media del dorso del calcáneo alineado con el punto medio de la cara posterior de la parte inferior de la tibia (es decir, retropié en posición neutra sin inversión o eversión indebidas del retropié o mesopié). Sin embargo, esta postura neutra tendrá que modificarse ligeramente en las escuelas de danza que deseen conseguir la línea oblicua en *demi-pointé* o *pointé*. En *pointé*, el tipo de pie, el diseño del calzado y los aspectos estéticos (posición neutra frente a oblicua) influyen en el contacto de los dedos y en la distribución del peso. Un estudio consistente en practicar *relevés* con calzados de *pointé* demostró que las máximas presiones se concentraban en el dedo gordo, y que las presiones sobre el segundo dedo variaban con la longitud de éste, de modo

que las mayores presiones se daban con un segundo dedo largo o con *capping* (cubrimiento) del segundo dedo (Teitz, Harrington y Wiley, 1985).

## Mecánica del tobillo y el pie

El diseño del complejo formado por el tobillo y el pie es tal que ciertas posturas ofrecen mayor estabilidad y otras más movilidad, algo importante para conseguir las numerosas funciones que esta estructura debe cumplir. Mientras que en bipedestación el peso se distribuye de forma que se evita la tensión excesiva en cualquiera de las estructuras, en movimiento el uso de la flexión dorsal, la flexión plantar, la pronación y la supinación alteran las características y la estabilidad del pie.

### Distribución del peso sobre el pie en ortostatismo

En ortostatismo ideal, aproximadamente el 50% del peso corporal debe apoyarse en el talón y el 50% restante en las cabezas de los metatarsianos (Sammarco, 1980). En carga, el arco anterior transverso de los metatarsianos tiende a aplastarse, de modo que las cabezas de los cinco metatarsianos entran en contacto con el suelo. Sin embargo, la carga no se distribuye por igual entre los metatarsianos; la carga en la cabeza del metatarsiano del dedo gordo debe ser casi el doble que la de las cabezas de los metatarsianos de los otros dedos (figura 6.33) Ésta es una pauta útil que hay que tener presente, ya que muchos bailarines cargan excesivamente el peso sobre los talones o sobre las cabezas de los metatarsianos mediales o laterales. Llevar tacón alto también altera esta distribución del peso y tiende a aumentar las cargas que soportan las cabezas de los metatarsianos de los dedos II a V, mientras que disminuye la carga sobre la cabeza del metatarsiano del dedo gordo (Rasch, 1989).

FIGURA 6.33. Distribución ideal del peso sobre el pie en bipedestación (pie derecho, vista inferior).

### Influencia de la flexión dorsal y la flexión plantar del tobillo sobre la estabilidad

La integridad que brinda la arquitectura de la mortaja articular del tobillo no es uniforme en todas las posiciones. Aunque hay grandes variaciones individuales en la forma, el astrágalo suele tener una forma ligeramente de cuña con la superficie articular anterior más ancha que la posterior (figura 6.34A). Esta estructura asegura el ajuste y la estabilidad

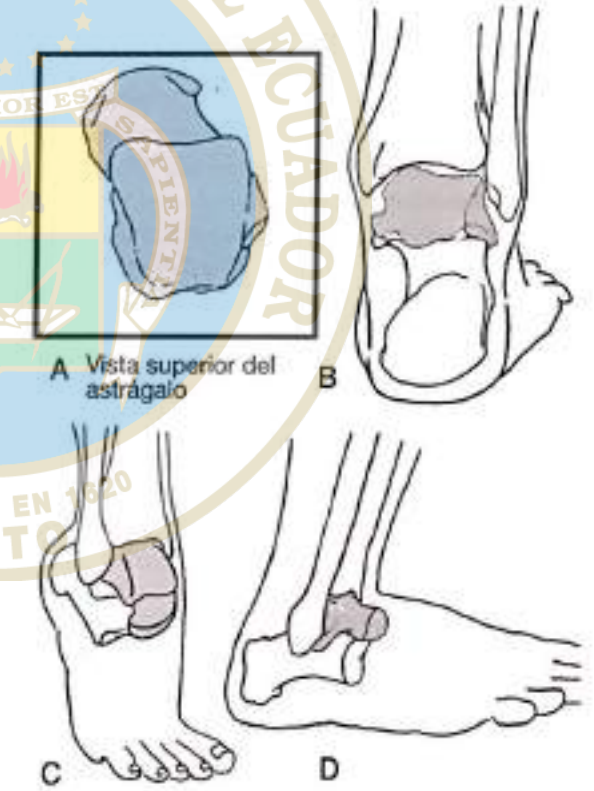



FIGURA 6.34. Cambio en la estabilidad del tobillo según la postura. (A) Astrágalo con una superficie articular anterior más ancha; (B) astrágalo sobre la mortaja formada por los maléolos y reforzada por los ligamentos; (C) disminución de la estabilidad en flexión plantar con la porción más estrecha del astrágalo en la mortaja; (D) aumento de la estabilidad en flexión dorsal con la porción más ancha del astrágalo en la mortaja.

cuando el tobillo está en flexión dorsal o en posición neutra con el pie en un ángulo de 90° respecto a la tibia, como en bipedestación (figuras 6.34B y D). Sin embargo, cuando el tobillo adopta flexión plantar, como cuando se llevan zapatos con tacones altos, al ponerse de puntillas o al saltar, la porción más estrecha del astrágalo se sitúa entre los maléolos, permitiendo un mayor juego articular y reduciendo la estabilidad (figura 6.34C). Esta posición de flexión plantar requiere una mayor participación de los ligamentos y músculos para mantener la estabilidad y suele estar implicada en el mecanismo de los esguinces de tobillo.

### *Influencia de la pronación y la supinación sobre la mecánica del pie*

En movimiento, la transferencia del peso del cuerpo y la posición relativa de los huesos del pie pueden hacer que el pie sea más o menos estable (Levangie y Norkin, 2001). La supinación distribuye el peso del cuerpo sobre el arco longitudinal lateral, diseñado para proporcionar estabilidad, y, debido al diseño de los ligamentos y ejes de la articulación transversa del tarso, el pie está «bloqueado» y estable. Esta posición estable del pie es deseable para la transferencia del peso al pie y para tener un segmento estable sobre el que se pueda mover el resto del cuerpo, así como para usar el pie como una palanca rígida para la propulsión en movimientos como caminar, correr o saltar. Sin embargo, el pie también tiene necesidad de poderse acomodar a superficies irregulares y absorber choques. Estas cualidades se logran en pronación, cuando el pie «se desbloquea» y se convierte en la estructura flexible necesaria para permitir pequeños movimientos entre los huesos del tarso y el antepié respecto al retropié. Esta pronación también desplaza el peso del cuerpo hacia el arco longitudinal medial del pie, que está concebido para la movilidad. Por tanto, la disposición de los distintos arcos y articulaciones permite al pie actuar como una palanca rígida para la propulsión y como una estructura adaptativa para amortiguar choques y acomodarse al terreno, acciones que se logran con el uso de las posturas de supinación y pronación.

## Análisis muscular de los movimientos fundamentales del tobillo y el pie

Los movimientos se simplifican en esta exposición reduciéndose a flexión dorsal del tobillo-pie, flexión plantar del tobillo-pie, inversión y eversión del pie, sin diferenciar la contribución de las distintas articulaciones del retropié y mesopié. Además, por razones de simplificación, los movimientos de los dedos no aparecen en el libro, sino que sólo se nombran en la tabla 6.4. Cuando se piense en los movimientos de los dedos, es importante tener presente que una de las funciones clave de los dedos es ejercer presión contra el suelo para impulsar el cuerpo en el espacio. Un resumen de los músculos clave capaces de generar los movimientos fundamentales del tobillo y el pie aparece en la tabla 6.4.

### *Flexión plantar*

La flexión plantar del tobillo-pie implica que la superficie anterior de la espinilla se aleje del dorso del pie. Por ejemplo, el músculo tríceps sural y otros flexores plantares del pie (tabla 6.4) se usan concéntricamente para colocar el pie en punta, como en *tendus*, *dégagés* o *pointés* en sedestación (tabla 6.6B, pág. 344), cuando el pie no está en carga. Con el pie en carga, se usan los mismos músculos para ponerse de puntillas, como en *pointé* (figura 6.35) o en el ejercicio de tríceps sural (tabla 6.6A, pág. 343), o para impulsar el cuerpo en el espacio, como en saltos (tabla 6.6C, pág. 345). Aunque muchos músculos son capaces de producir flexión plantar, debido a su tamaño y localización (palanca eficaz debido a la gran distancia entre el talón de Aquiles y el eje de la articulación tibioperoneoastragalina), el gastrocnemio y el sóleo son los principales flexores planteares, mientras que otros músculos sólo aportan una pequeña contribución. La im-

FIGURA 6.35. Movimiento de danza que muestra la flexión plantar del tobillo-pie.
Fotografía de Richard Newman. Bailarina: Lauren Newman, con el Inland Ballet Theatre.

**Tabla 6.4. Movimientos del tobillo-pie y músculos extrínsecos que los producen**

| Movimiento articular | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| **Tobillo-pie** | | |
| Flexión plantar | Tríceps sural:<br>Gastrocnemio<br>Sóleo | Tibial posterior<br>Flexor largo del dedo gordo<br>Flexor largo de los dedos<br>Peroneo largo<br>Peroneo corto |
| Flexión dorsal | Tibial anterior<br>Extensor largo de los dedos | Extensor largo del dedo gordo<br>Tercer peroneo |
| **Pie** | | |
| Inversión | Tibial posterior<br>Tibial anterior | Flexor largo del dedo gordo<br>Flexor largo de los dedos<br>Extensor largo del dedo gordo |
| Eversión | Peroneo largo<br>Peroneo corto | Extensor largo de los dedos<br>Tercer peroneo |
| **Dedos** | | |
| Flexión | | |
| Dedo gordo | Flexor largo del dedo gordo | * |
| Dedos II-V | Flexor largo de los dedos | * |
| Extensión | | |
| Dedo gordo | Extensor largo del dedo gordo | * |
| Dedos II-V | Extensor largo de los dedos | * |

*Aunque no hay otros músculos extrínsecos, son muchos los intrínsecos, enumerados en la tabla 6.3, que ayudan a generar estos movimientos.

portancia del tríceps sural se demuestra con la incapacidad para ponerse de puntillas cuando existe parálisis de este músculo (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

## Flexión dorsal

La flexión dorsal del tobillo-pie implica acercar la superficie anterior de la espinilla al dorso del pie. El músculo tibial anterior y otros flexores dorsales del tobillo-pie (tabla 6.4) se usan concéntricamente para flexionar el pie en descarga, por ejemplo, durante la fase de oscilación de la marcha; cuando el pie se flexiona activamente como un gesto de la danza moderna; en flexión dorsal del pie lastrado en sedestación (tabla 6.6D, pág. 343), o antes o después de golpear con el pie en el suelo en flamenco o tap claqué (figura 6.36). Aunque todos los músculos crurales anteriores puedan generar flexión dorsal, el tibial es el flexor dorsal más poderoso.

Cuando el pie está en el suelo y en carga, los músculos flexores dorsales se pueden usar para ejercer una ligerísima tracción de la pierna hacia el pie, para ayudar a desplazar el peso del cuerpo hacia delante como antes de un *relevé* o como preparación para moverse hacia delante en el espacio. Sin embargo, en la mayoría de los casos, cuando el pie está en carga, la gravedad es la fuerza principal y tiende a generar flexión dorsal del pie. De ahí, que en tales circunstancias los músculos flexores dorsales del pie no trabajen concéntricamente para generar flexión dorsal, sino que son los flexores plantares los que se usan para mantener el ángulo de flexión dorsal (isométricamente), como en bipedestación estática, o para controlar el aumento de flexión dorsal (excéntricamente), como al aterrizar de un salto.

## Inversión

La inversión del pie implica elevar el borde interno del pie. Con el pie en descarga, la inversión del pie suele estar

FIGURA 6.36. Movimiento de danza que muestra flexión dorsal del tobillo-pie y los agonistas asociados.
Fotografía por cortesía de Steve Zee y Jazz Tap Ensemble. Bailarín: Steve Zee.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIA SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

relacionada con la aducción del antepié, como en los ejercicios de fuerza en que se levanta y separa el dedo gordo en sedestación (tabla 6.6F, pág. 347) y en decúbito lateral (tabla 6.6G, pág. 347). Sin embargo, esta postura no se suele usar en danza y se considera inadecuada estéticamente en algunos tipos de danza como el ballet (colocar el pie con la punta hacia dentro). El músculo flexor largo del dedo gordo se ha mostrado capaz de generar inversión y aducción del antepié (Femino *et al.*, 2000).

La importancia funcional es más operativa cuando el pie está en carga. En tal caso, los músculos tibial anterior, tibial posterior, flexor largo del dedo gordo y otros inversores del pie (tabla 6.4) se pueden usar para desplazar el peso lateralmente y crear una posición de bloqueo estable para limitar la pronación. Este ligero desplazamiento lateral del peso puede utilizarse en ciertos saltos (como se observa en la figura 6.37) para disponer de una base estable deseable para la generación de grandes fuerzas que impulsen el cuerpo en el espacio, así como para crear la dirección deseada de la fuerza (fuerza de reacción del suelo), de modo que el cuerpo viaje en la dirección deseada y la extremidad adopte la postura apropiada respecto al resto del cuerpo. A menudo, después de completar la fase de despegue, el pie se ajusta a una posición neutra u oblicua, de acuerdo con los valores estéticos y coreográficos. En contraste, la función de limitar la pronación es muy importante para mantener el centro de gravedad en la posición deseada sobre el pie para que sea más fácil mantener el equilibrio. El control apropiado de la pronación es también importante para prevenir lesiones como el síndrome del compartimiento tibial.

FIGURA 6.37. Movimiento de danza que muestra inversión del pie. Fotografía por cortesía de Steve Zee y Jazz Tap Ensemble. Bailarín: Steve Zee.

### *Eversión*

La **eversión** del pie implica la elevación del borde externo del pie. Con el pie en descarga, la eversión se suele combinar con abducción del antepié. Esta combinación de movimientos se considera deseable estéticamente en algunas formas de danza como el ballet, y a menudo se denomina «biselado del pie», y se favorece cuando se adopta la punta en movimientos como los *arabesques* (véase la figura 4.25, pág. 190) o en ejercicios de fortalecimiento como la elevación y separación de los dedos II-V del pie en sedestación (tabla 6.6H, pág. 348). El músculo peroneo largo parece ser particularmente importante en la creación de este movimiento combinado de abducción, ligera eversión y flexión plantar del antepié (Femino *et al.*, 2000).

El movimiento de eversión también es muy importante cuando el pie está en carga. Aquí, los músculos eversores (tabla 6.4) se pueden usar para desplazar el peso muy ligeramente en sentido medial para adoptar una postura amortiguadora del pie, como al caminar, o para crear la línea oblicua que desean muchas escuelas de danza en *demi-pointé* o *pointé*, como se ve en la figura 6.38. Para lograr este efecto estético, los músculos eversores se pueden usar para desplazar el peso del cuerpo y colocar el antepié y el mesopié respecto al retropié mientras la cocontracción de los flexores plantares y los inversores se usa para mantener el equilibrio. Los músculos eversores cumplen la importante función de limitar la supinación del pie. Dicha función es muy importante para mantener el equilibrio, prevenir la «caída» en los giros y prevenir los esguinces de tobillo.

## Consideraciones clave sobre el tobillo y el pie respecto al movimiento del cuerpo

Al considerar movimientos más complejos del cuerpo, es útil fijarse de nuevo en el papel de la pronación y supinación del pie, ya que estos movimientos no sólo son importantes para el pie, sino que también cumplen importantes funciones en carga para el cuerpo en conjunto. La importancia de la pronación y supinación se abordará de nuevo al examinar su papel al caminar, las implicaciones negativas de la pronación excesiva y el acoplamiento de la pierna y el pie con estos movimientos.

FIGURA 6.38. Movimiento de danza que muestra eversión del pie.
Fotografía por cortesía de Marty Sohl. Bailarina: Maurya Kerr, de Alonzo King's Lines Ballet.

## Pronación y supinación del pie al caminar

La interacción de pronación y supinación se ilustra fácilmente con la marcha al caminar. La marcha se divide clásicamente en dos fases: la fase de apoyo y la fase de oscilación. Durante la **fase de apoyo**, el pie está en contacto con el suelo, mientras que durante la **fase de oscilación** el pie se desplaza hacia delante en el espacio para alcanzar la posición adecuada para el siguiente paso. La fase de apoyo es la fase en que el peso del cuerpo se carga sobre el tobillo y el pie, y será el centro de esta exposición. La fase de apoyo se divide a su vez en tres períodos: período de contacto, período de apoyo medio y período de propulsión. El pie entra en contacto inicialmente con el suelo (período de contacto del talón) por medio de la porción lateral del talón y con el pie en ligera supinación (Taunton, Clement y Webber, 1981). Esto sitúa el pie en una posición estable para transferir el peso sobre dicho pie. A continuación, mientras el peso del cuerpo se comienza a desplazar sobre el pie, la tibia comienza con rapidez a rotar internamente sobre este pie fijo, generando pronación y desplazamiento medial del peso del cuerpo. Esta pronación del pie le permite adaptarse a la superficie y ayuda a la absorción de choques. Entonces, mientras el cuerpo se desplaza más sobre el pie durante el apoyo medio, el pie comienza a moverse de nuevo en supinación y el peso del cuerpo se desplaza un poco lateralmente hacia la cabeza del segundo metatarsiano (Sammarco, 1980). Esta vuelta a la supinación estabiliza el retropié y permite al pie actuar de palanca rígida sobre la que los flexores plantares puedan ayudar a impulsar el cuerpo hacia delante (período de propulsión).

## Pronación excesiva

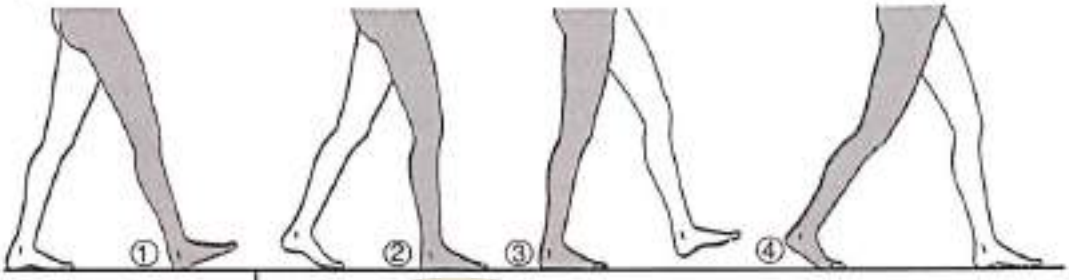
Aunque, como acabamos de describir, la pronación es un elemento esencial de la mecánica normal del pie, la pronación excesiva puede aumentar el riesgo de algunos tipos de lesiones (Hall, 1999). Cuando la pronación se produce a gran velocidad o es excesiva, se cree que genera una tensión indebida sobre la porción medial del pie y los ligamentos, fascia y músculos que ayudan a sostener el arco longitudinal medial. Además, cuando la pronación se prolonga y se extiende al período de propulsión de la marcha, cuando el pie debería volver a la supinación, y por tanto, cuando se aplican las fuerzas de propulsión, el pie es más inestable, viéndose sometido a tensión indebida y disminuyendo la eficacia del impulso. También se cree que con el tiempo la pronación anormal repetitiva causa un estiramiento de los tejidos que sostienen el arco y contribuye a la producción del pie plano.

La excesiva pronación puede deberse a muchas causas, como una alineación defectuosa, desequilibrios musculares y la técnica. Respecto a la alineación defectuosa, el retropié varo y el varo tibial requieren más pronación antes de que la porción interna del pie pueda entrar en contacto con el suelo (Taunton, Clement y Webber, 1981). Respecto a los desequilibrios musculares, si el músculo tríceps sural está tenso, se precisa de una pronación compensatoria que desbloquee las articulaciones transversas del tarso para adoptar la flexión dorsal aparentemente necesaria. Una fuerza inadecuada en los músculos inversores extrínsecos del pie y en los músculos intrínsecos que ayudan a mantener el arco longitudinal medial también puede ser un factor que condicione el fracaso en la limitación adecuada en magnitud y duración de la pronación. Respecto a la técnica, no lograr mantener la apertura adecuada en la cadera, de modo que las rodillas «se sitúan medialmente respecto a los pies» en movimientos como *pliés*, puede causar una rotación interna relativa de las piernas y pronación compensatoria de los pies.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 6.2

## *Supinación y pronación del pie al caminar*

• **Identificación de la mecánica podal normal al caminar.** Camina con mucha lentitud y marca en tu cuerpo la mecánica podal normal durante la fase de apoyo de la marcha que acabamos de describir en el texto y que aparece en la figura A.

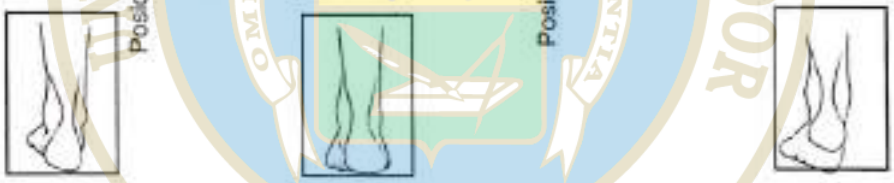



| | | | |
|---|---|---|---|
| PERÍODO DE LA MARCHA: | **Período de contacto** (0-25% de la fase de apoyo) | **Período de apoyo medio** (25-75% de la fase de apoyo) | **Período de propulsión** (75-100% de la fase de apoyo) |
| MOVIMIENTO DEL PIE | PRONACIÓN | SUPINACIÓN | |
| (FUNCIÓN): | (Estabilidad) | (Amortiguador, adaptador móvil) | (Palanca rígida para la propulsión) |
| POSICIÓN DEL PIE: | Supinación | Pronación (grados variables) | Supinación (grados variables) |

Posición neutra

Posición neutra

(Vista posterior del pie derecho)



A

• **Observación de tres a cinco personas caminando.** Sitúate de modo que un bailarín camine directamente hacia ti y luego se aleje. Observa la mecánica expuesta en el texto y fíjate en si la supinación–pronación–supinación ocurre y en qué grado y con qué sincronización. Repara en las asimetrías en la misma persona y en cualquier alineación defectuosa en las rodillas, cadera y columna vertebral que pudiera influir en la marcha.

• **Observación de ti mismo caminando.** Ahora fíjate en ti mismo caminando hacia un espejo o atendiendo a las órdenes internas. Haz las mismas observaciones que arriba. Fíjate también en el patrón de desgaste de tu calzado. Observa la trayectoria ideal del centro de presiones en el pie de la figura B, y plantéate qué claves sobre el desgaste del calzado se pueden dar según la mecánica podal al caminar.

B

SUPINACIÓN (posición durante el contacto del talón)

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

### Acoplamiento de la pierna y el pie

Debido al eje oblicuo de la articulación subastragalina, a la forma de los distintos huesos y a la interacción de los tejidos blandos, se produce un acoplamiento de los movimientos entre la pierna y el pie cuando el pie está fijo y en carga, como se ve en la figura 6.39 (Hinterman, 1999). Como la articulación tibioperoneoastragalina es troclear y no permite mucha rotación, la rotación de la pierna se traslada al pie; y a la inversa, la rotación (abducción y aducción) del pie se traduce en rotación de la pierna. Este acoplamiento es tal que la supinación se acompaña de rotación externa de la pierna, y la rotación externa de la pierna se acompaña de supinación obligada (Soderberg, 1986). Por el contrario, la pronación se acompaña de rotación interna de la pierna, y la rotación interna de la pierna genera pronación del pie.

Al caminar, este acoplamiento es importante para absorber las rotaciones de la pierna cuando la tibia rota interna y externamente al comienzo y final de la fase de apoyo, respectivamente (Hamill y Knutzen, 1995). Si no se dispusiera de este mecanismo, estas rotaciones de la pierna tenderían a hacer girar el pie sobre el suelo o a alterar la integridad de la articulación tibioperoneoastragalina causando la rotación del astrágalo dentro de la mortaja tibioperonea (Levangie y Norkin, 2001). También es importante que el bailarín tenga presente este acoplamiento respecto a la técnica, ya que la rotación de la pierna se puede usar para mantener el peso del cuerpo adecuadamente sobre el eje del pie, de modo que se evite la pronación o supinación excesivas. Por otra parte, la tendencia habitual de permitir que el pie se mueva en pronación en bipedestación generará rotación interna de la tibia con la pérdida resultante del *en dehors* si se permite el acompañamiento de toda la extremidad, o tensión en la rodilla si el *en dehors* del fémur se mantiene en la cadera mientras la tibia rota internamente.

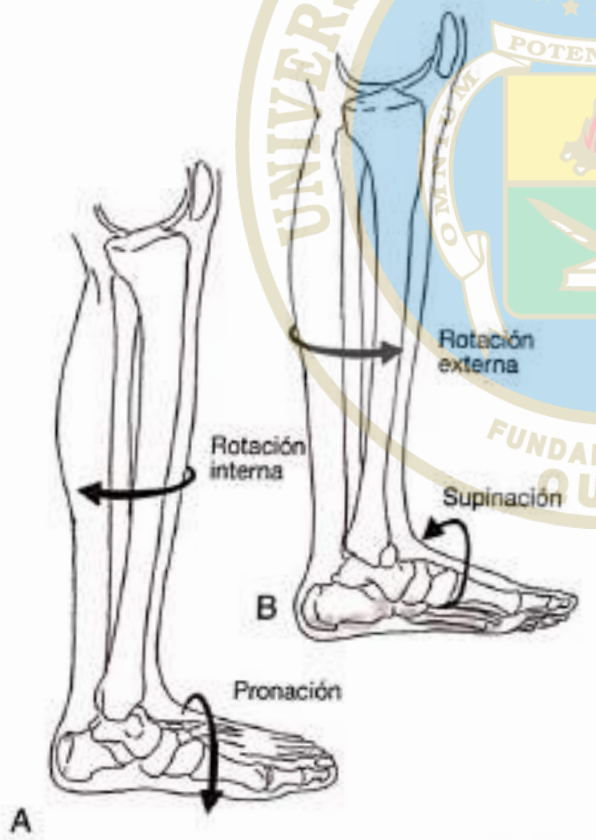



FIGURA 6.39. Acoplamiento de la pierna y el pie (pie izquierdo, vista de perfil). (A) Rotación interna de la pierna y pronación del pie; (B) rotación externa de la pierna y supinación del pie.

## Consideraciones especiales sobre el tobillo y el pie en la danza

Cuando se intenta aplicar la mecánica del tobillo y el pie a la danza, hay varias áreas técnicas que merecen más atención. Una es la consecución de la estética deseada y la adopción de las posiciones en *demi-pointé* y *pointé*. Otra es lograr la posición deseada del pie cuando se flexiona la rodilla, como en los *pliés*. En ballet, otro problema importante es la introducción del *pointé*.

### Demi-pointé, pointé y músculos «estribo»

El uso repetitivo del *demi-pointé* y el *pointé* en la danza impone grandes demandas al pie y requiere fuerza, flexibilidad y técnica especializadas. En términos de flexibilidad, la flexión plantar extrema del tobillo-pie es necesaria para lograr el efecto estético deseado en estas posturas y permitir al bailarín alcanzar altura suficiente para situar el peso del cuerpo adecuadamente sobre el antepié *(demi-pointé)* o los dedos del pie *(pointé)*. Para la mecánica y estética correctas en *pointé*, se recomienda que la bailarina logre de 90° a 100° de flexión plantar de tobillo (Hamilton *et al.*, 1992). También se necesitan 90° de extensión del dedo gordo en la articulación MTF (figura 6.40) para alcanzar la altura deseada en *demi-pointé* (Sammarco, 1980).

Respecto a la fuerza y amplitud de la flexión plantar, los músculos flexores plantares se tienen que contraer fuertemente para lograr y mantener esta posición del pie, y se ha documentado que las bailarinas de ballet tienen niveles muy altos de fuerza en los flexores plantares. Aunque el músculo tríceps sural genera un elevado porcentaje del torque de flexión plantar, otros músculos colaboran para reducir ligeramente las demandas impuestas al tríceps sural y lograr la estética deseada. Dos de estos flexores plantares son el flexor largo del dedo gordo y el flexor largo de los dedos. Ambos músculos han demostrado que tienen un efecto

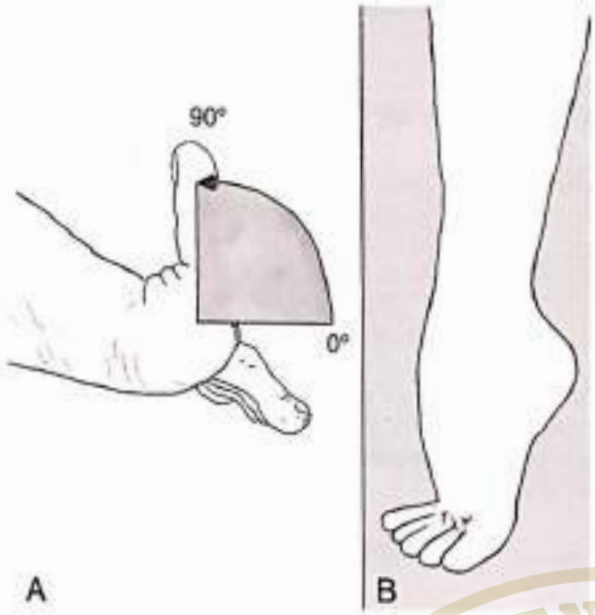



FIGURA 6.40. (A) Amplitud de movimiento del dedo gordo y *demi-pointé*. Se necesitan 90° de extensión de la articulación metatarsofalángica para (B) una postura óptima en *demi-pointé*.

de acortamiento sobre el pie en dirección anteroposterior (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996) y, por tanto, también ayudan a lograr el deseado «arco elevado» en *pointé*. Otros tres flexores plantares –tibial posterior, tibial anterior y peroneo largo– actúan juntos para elevar el arco y mantener el equilibrio en *demi-pointé* y *pointé*. Estos tres músculos se denominan **músculos «estribo»** porque se extienden por detrás de los maléolos medial y lateral para converger e insertarse en la cara inferior del arco longitudinal medial con una arquitectura similar a la de un estribo. Estos tres músculos presentan inserciones en la superficie plantar de los cuneiformes, con el tibial anterior y el peroneo largo insertándose también en la base del primer metatarsiano, mientras que el tibial posterior cuenta con inserciones adicionales en el navicular y la base de los otros metatarsianos. Sus inserciones les permiten estar en una posición ideal para elevar más el mesopié durante la flexión plantar, con independencia de la posición de los dedos del pie.

En términos de estabilidad, estos músculos se usan para mantener el peso del cuerpo en una posición adecuada en dirección medial-lateral sobre el eje del pie. Su cocontracción (junto con la de otros músculos) se usa para que el peso del cuerpo se eleve o descienda sobre los dedos del pie sin la indeseable inversión o eversión, y para hacer sutiles ajustes del peso corporal con que mejorar el equilibrio y el efecto estético de la danza. Por ejemplo, la contracción o tracción ascendente con los músculos «estribo» laterales desplazará el peso del cuerpo medialmente sobre el pie (eversión) y evitará la excesiva inversión del pie, como se suele ver al finalizar (recolocar el pie plano y en contacto con el suelo) múltiples piruetas. Por el contrario, la contracción de los músculos «estribo» mediales desplazará lateralmente el peso del cuerpo (inversión) y evitará la eversión excesiva del pie. Teóricamente, respecto a estos músculos «estribo» mediales, habría que potenciar más el músculo tibial posterior que el tibial anterior en *demi-pointé* o *pointé* debido a su acción adicional de flexión plantar del tobillo-pie.

## Adoptar la punta con el pie en movimientos en cadena cinética abierta

Este mismo empleo equilibrado de los músculos «estribo» se puede aplicar durante la flexión plantar del pie en descarga, como en un *tendu*. Los músculos peroneos y el tibial posterior se usan sinergísticamente y de acuerdo con la estética del tipo de danza para adoptar una postura neutra o ligeramente «oblicua» del pie, o adoptar una postura más en punta, con el «estiramiento» deseado del empeine. Debido a su inserción más distal, estos músculos «estribo» se pueden usar para añadir una ligera flexión plantar de las articulaciones intertarsianas y tarsometatarsianas, mientras que los músculos gastrocnemio y sóleo, que se insertan distalmente en el calcáneo, provocan principalmente la flexión plantar de la articulación tibioperoneoastragalina propiamente dicha.

El músculo flexor largo del dedo gordo y el flexor largo de los dedos también sirven para aumentar el *pointé*, y se ha demostrado que la tensión del flexor largo del dedo gordo aumenta la altura del arco longitudinal medial (Femino *et al.*, 2000). Estos músculos también pueden aumentar la posición de punta del pie flexionando la articulación MTF. Sin embargo, para prevenir el encogimiento de los dedos (flexión IF) que acompaña al uso de estos músculos flexores, los músculos extensores intrínsecos de los dedos (lumbricales e interóseos) deben actuar sinergísticamente para mantener extendidas las articulaciones IF. Finalmente, otros músculos intrínsecos sirven para «elevar el arco» y aumentar la colocación en punta. Concebir la tracción posterior que se ejerce sobre la base de los dedos y la superficie inferior del arco como si fueran cuerdas que discurren lateralmente por detrás de los maléolos, mientras se estira el empeine y se extienden los dedos en valgo, a veces ayuda a lograr la activación muscular deseada.

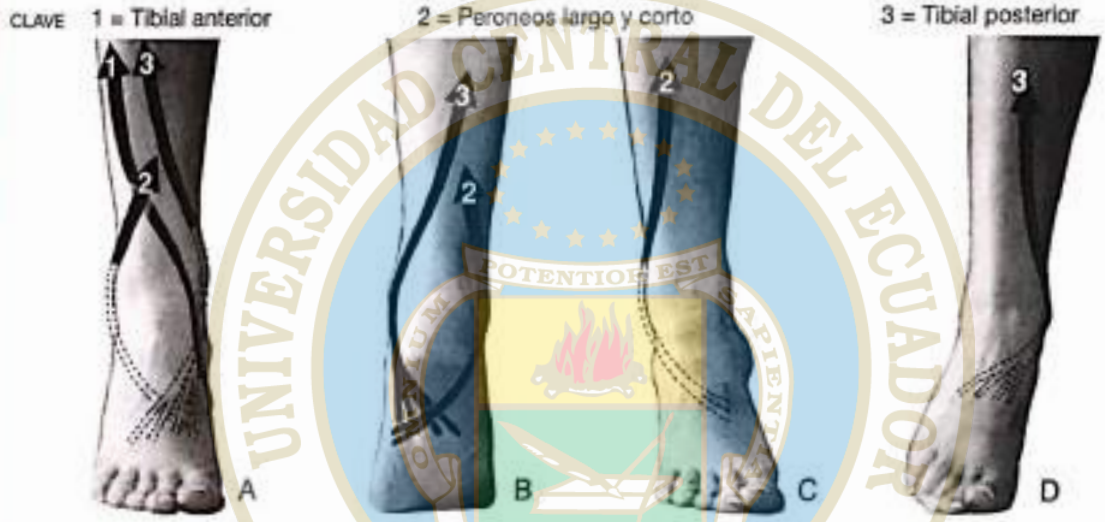
## Alineación de la rodilla-pie

Debido al acoplamiento de la pierna y pie expuestos antes, la posición de la rodilla respecto al pie es importante para la correcta mecánica podal. Usar la orden de mantener la rodilla alineada con el pie (con una plomada que vaya desde el centro de la rótula hasta el segundo dedo) en mo-

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 6.3

## *Función de los músculos «estribo» en* relevé

• **Empleo de los músculos «estribo» para ajustar la distribución del peso del cuerpo.** Elévate sobre el antepié apoyando la mano en una pared o en la «barra» para mantener el equilibrio. Desplaza el peso del cuerpo hacia fuera para que el pie se mueva en inversión y el exceso de peso se distribuya sobre los dedos IV y V, como se ve en C. Luego tira hacia arriba con los músculos «estribo» externos pensando en elevar la superficie inferior del borde externo del pie hacia el techo para desplazar el peso del cuerpo de nuevo sobre el eje longitudinal del pie. Ahora, desplaza el peso del cuerpo hacia dentro para que el pie se mueva en eversión con el exceso de peso sobre el dedo gordo, como se ve en D. Luego ejerce tracción con los músculos «estribo» internos pensando en elevar la parte inferior del arco medial hacia el techo para devolver el peso del cuerpo a su posición centrada entre los dedos I y II. Finalmente, manteniendo el peso sobre el eje del pie, contrae los músculos «estribo» de ambos lados para mantener distribuido adecuadamente el peso del cuerpo y elevar el arco un poco más y alcanzar la altura completa en *demi-pointé*, como se ve en A y B.




• Practica un *relevé* normal. Practica varios *relevés* como harías normalmente sin pensar en los músculos «estribo». Fíjate en la distribución del peso del cuerpo. A continuación, haz cualquier corrección necesaria con los músculos «estribo», y repite el *relevé* tratando de mantener la postura correcta. ¿En qué músculos te tienes que concentrar para usarlos más? ¿Qué orden podrías usar para adoptar esta corrección con rapidez, por ejemplo en clase?

vimientos en bipedestación que impliquen la flexión de una o ambas rodillas, como *pliés* o desplazamientos del peso, ayuda a mejorar la mecánica podal de muchos bailarines y a prevenir la tendencia habitual a no mantener la rotación externa de la cadera, dejando que las rodillas se vayan hacia dentro y los pies se muevan en pronación. Sin embargo, es importante darse cuenta de que la relación específica de la rodilla respecto al pie que proporciona una posición neutra de las articulaciones tibioperoneoastragalina y mediotarsiana variará mucho de uno a otro bailarín, dependiendo de muchos factores, como la torsión femoral, la torsión tibial y la abducción del antepié. Por tanto, aunque esta orden a menudo sea útil en las clases, cada bailarín puede necesitar adecuar esta orden a su cuerpo. Además, en los tipos de danza que requieren que los pies miren casi directamente a los lados, los bailarines deben darse cuenta de que esto tiende a generar pronación del pie y rotación interna de la tibia cuando la rotación externa de la cadera no es suficiente. Centrarse en usar los rotadores externos de la cadera y la rodilla para potenciar la apertura de la cadera e impedir la rotación interna de la tibia puede ayudar a reducir la tendencia o el grado de pronación del pie.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR QUITO

ÓRDENES EN LA DANZA 6.2

### «Apunta el extremo del pie»

La orden «apunta el extremo del pie» suele darse junto con la de no usar el tendón de Aquiles. Los profesores usan esta orden para lograr un mayor apuntamiento del pie sin causar molestias bajo el tendón de Aquiles (pinzamiento posterior). Sin embargo, desde un punto de vista anatómico, esta orden puede resultar confusa porque los músculos de la cara superior del pie no hacen que el pie se apunte (son flexores dorsales) y el tendón de Aquiles y los músculos asociados gastrocnemio y sóleo son los motores principales de la flexión plantar. Una orden más segura desde la perspectiva anatómica sería centrarse en el estiramiento de la parte superior del pie extendiéndolo «hacia fuera y abajo», pensando en articular todas las articulaciones que puedan contribuir a la flexión plantar/flexión (articulaciones tibioperoneoastragalina, subastragalina, intertarsianas, tarsometatarsianas y MTF) en vez de sólo la articulación tibioperoneoastragalina. Además, centrarse en usar los músculos «estribo» y los músculos intrínsecos del pie para ejercer tracción sobre la base de los metatarsianos hacia el talón puede aumentar la colocación del pie en punta con menos tendencia a la compresión.

## Inicio del pointé

El inicio del *pointé* es un paso importante y a menudo muy esperado en la preparación de las bailarinas de ballet clásico. Con las grandes exigencias técnicas del ballet profesional, profesores y padres suelen plantearse preguntas sobre el momento adecuado para iniciar el *pointé*. El objetivo es evitar lesiones en bailarinas que están todavía madurando y a la vez permitirles alcanzar la perfección en el *pointé* necesaria para ser competitivas en el mundo del ballet. Por desgracia, la respuesta a esta pregunta no es sencilla; comprende muchos factores individuales como la madurez esquelética, la madurez mental, la destreza técnica y los años de entrenamiento. Teniendo en cuenta todos estos factores, distintos traumatólogos famosos por su experiencia con bailarines han recomendado que se inicie la práctica del *pointé* con un mínimo de 11 años de edad si ya llevan tres o cuatro años de preparación disciplinada en ballet y muestran suficiente fuerza, destreza técnica y madurez mental y esquelética (Hamilton, 1988; Sammarco, 1982; Weiker, 1988).

Sin embargo, estas pautas sobre la edad estaban en parte basadas en la preocupación por las lesiones de estructuras todavía en proceso de crecimiento. Y el limitado número de lesiones que parece estar relacionado con la práctica prematura del *pointé* ha llevado a hacer recomendaciones menos conservadoras y a poner más énfasis en la aptitud funcional. En términos de edad, dos grupos de médicos especializados en bailarines sugieren que, si se cumplen otros criterios, la selección de jóvenes con un mínimo de 10 años de edad podría ser adecuada (Solomon, Micheli e Ireland, 1993), al menos para iniciar el *pointé* en la barra (Ryan y Stephens, 1987). En términos funcionales, hay una creciente conciencia de la edad variada a la que las bailarinas alcanzan el grado adecuado de fuerza, flexibilidad y destreza técnica. Tal vez sea apropiado un mayor énfasis en la aptitud individual. Las pruebas funcionales que se sugieren son la capacidad para la flexión plantar del pie en una línea paralela a la línea de la tibia (Solomon, Micheli e Ireland, 1993), que se mide con un goniómetro o se evidencia en un *tendu* y *relevé*. Otra prueba que se suele usar es la capacidad para mantener el equilibrio en *retiré* en *demi-pointé* con buena alineación del tobillo, la rodilla extendida, manteniendo la apertura en la cadera y con una buena alineación pélvica y vertebral (Khan *et al.*, 1995). La autora también recomienda el uso de una pirueta, para fijarse en la alineación arriba descrita en el *retiré*, prestando especial atención a la capacidad para prevenir la excesiva inversión del pie. La capacidad de adoptar el *pointé* sin flexionar los dedos o curvar el pie es otro criterio que se suele tener en cuenta.

De acuerdo con estas sugerencias, desde una perspectiva cinesiológica la autora subraya que hay retos únicos relacionados con el *pointé* que no se manifiestan en el *demi-pointé*. Estas exigencias comprenden: (1) un mayor reto para el músculo flexor largo del dedo gordo debido a la necesidad de generar fuerza en una longitud menor (porque no se elonga en la articulación MTF como en el *demi-pointé*) y a su papel clave en ejercer presión contra el suelo y facilitar el paso de *demi-pointé* a *pointé* (flexión MTF); (2) una mayor fuerza y contracción coordinada requeridas de otros músculos flexores y extensores de los dedos (sobre todo el dedo gordo) para estabilizar los dedos en extensión y prevenir la flexión de los dedos en *pointé* (figura 6.41), y (3) las mayores fuerzas que soportan los primeros dos dedos y los retos para el equilibrio asociados con la disminución de la base de sustentación desde el antepié hasta el pequeño espacio para los dedos de las zapatillas de punta.

Por tanto, además de las sugerencias anteriores, la autora preconiza el uso de ejercicios suplementarios de entrenamiento y el uso inicial y progresivo del *pointé* en las clases técnicas para ayudar a la transición. Algunos ejercicios específi-

cos para el *pointé* aparecen en la figura 6.42; otros ejercicios relevantes, que se describirán en la siguiente sección, se incluyen en el programa de ejercicios de preparación para el *pointé* de la tabla 6.5. Estos ejercicios se deben empezar de tres a seis meses antes de iniciar el *pointé* y practicarse sólo si no se experimenta dolor y no hay contraindicaciones médicas. Los dos últimos ejercicios son más avanzados y se deben integrar sólo después de llevar practicando los otros ejercicios unas seis semanas. Si el tiempo es limitado, los ejercicios con un asterisco son más específicos para el *pointé* y se les puede dar prioridad, seleccionándose ejercicios adicionales de acuerdo con las necesidades técnicas de cada bailarina.

Respecto a la introducción del *pointé* en las clases técnicas, el método empleado por algunas escuelas de ballet de empezar con ejercicios sencillos en la barra durante los últimos 15 a 30 minutos de la clase técnica, que avanzan gradualmente en dificultad y duración, es muy seguro desde la perspectiva fisiológica. Toda introducción inicial del *pointé* que sea demasiado difícil o de demasiada duración para los niveles actuales de fuerza y coordinación puede derivar en el desarrollo de compensaciones indeseables o lesiones. En contraste, un programa bien diseñado que se practique inicialmente dos a tres veces por semana y avance gradualmente en duración y dificultad debería permitir el necesario desarrollo de la fuerza y destreza para proceder a un trabajo más avanzado con una técnica segura.

## Ejercicios de acondicionamiento para el tobillo y el pie

El área del tobillo y pie es un lugar habitual de lesiones en la danza, y se necesitan fuerza y flexibilidad para reducir el riesgo de lesiones, así como para mejorar el rendimiento.

### Ejercicios de fuerza para el tobillo-pie

Los ejercicios de fuerza para el tobillo-pie aparecen en la tabla 6.6, y a continuación ofrecemos una breve descripción de su importancia. Cuando se practican ejercicios de fortalecimiento para esta región, hay que tener especial cuidado con respecto al desarrollo equilibrado de la fuerza entre los músculos antagonistas. Por ejemplo, los movimientos practicados en clase como *relevés* y saltos tienden a desarrollar los músculos flexores plantares del tobillo-pie, y se recomienda poner énfasis en el fortalecimiento suplementario de los músculos flexores dorsales para que los bailarines mantengan una ratio saludable entre estos antagonistas. De forma parecida, muchos bailarines muestran debilidad en los músculos eversores del pie respecto a los inversores. Cuando hay un desequilibrio conocido, un método consiste en repetir el ejercicio en una segunda serie de repeticiones para el lado más débil (tras 2-3 minutos de recuperación) durante un tiempo limitado hasta lograr un mejor equilibrio en la fuerza. Para algunos movimientos clave, se incluyen ejercicios que emplean bandas elásticas y pesas. Las bandas ofrecen una mayor ventaja en términos de comodidad y son fáciles de llevar en la bolsa de deporte, y los ejercicios se pueden practicar durante un descanso. Sin embargo, en el caso de bailarines que descubran una acusada debilidad en ciertas áreas, las pesas permiten un mayor desarrollo de la fuerza en un mayor grado de amplitud y monitorizar el progreso fácilmente.

#### Fortalecimiento de los músculos flexores plantares

La fuerza de los músculos flexores plantares es importante para la práctica del *demi-pointé* y el *pointé*, y para un poderoso despegue del pie en giros y saltos. También se ha hallado que los músculos flexores plantares desempeñan un papel vital en la absorción de energía en los aterrizajes de

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 6.4

### *Influencia de la posición de la rodilla sobre la mecánica del pie*

- **Posición de la rodilla en un *plié* paralelo.** Practica un *demi-plié* en primera posición paralela. A medida que se flexionen las rodillas, dirige a propósito el punto medio de la rótula hacia dentro de los pies y fíjate en que los pies tienden a la pronación. Ahora sitúa las rodillas alineadas encima de los pies, y encuentra una trayectoria para las rodillas en que los pies permanezcan en una postura neutra sin eversión ni inversión y con la adecuada distribución del peso sobre los pies. Finalmente, dirige el punto medio de las rodillas por fuera de los pies, y fíjate en la inversión de éstos. Practica un *plié* paralelo como harías normalmente y observa si necesitas establecer alguna corrección en la colocación de las rodillas para mantener la postura neutra de los pies.
- **Posición de la rodilla en un *plié en dehors*.** Repite los procedimientos que acabamos de describir mientras practicas un *demi-plié* en segunda posición *en dehors*. ¿Aprecias alguna diferencia con la adición del *en dehors*? Ajusta la orientación de los pies ligeramente hacia fuera y hacia dentro respecto a la bipedestación normal, y fíjate en el efecto sobre tus pies. ¿De qué forma los cambios en la posición de los pies influyen en la mecánica podal? ¿Cómo el mantenimiento del *en dehors* en la cadera influye en la mecánica de los pies? ¿Qué relación guardan estos factores con el acoplamiento de la pierna y el pie?

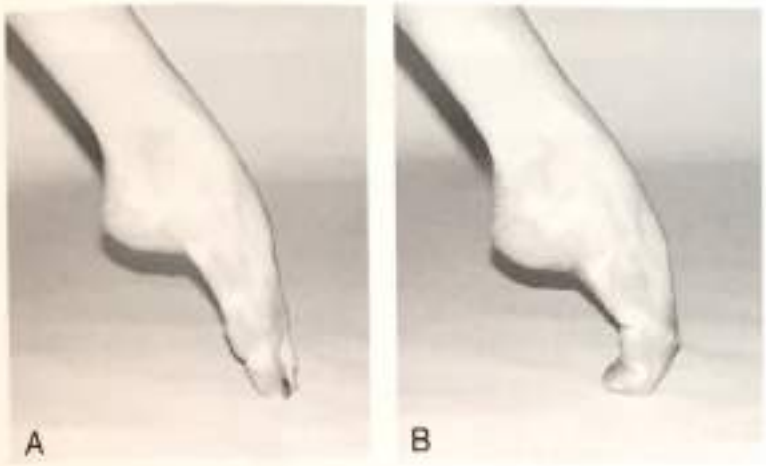



FIGURA 6.41. (A) Cocontracción coordinada de los músculos flexores y extensores de los dedos, necesaria para una correcta posición cuando se apunta el pie o se adopta *pointé* para evitar (B) una flexión indeseable de los dedos (flexión IF excesiva).

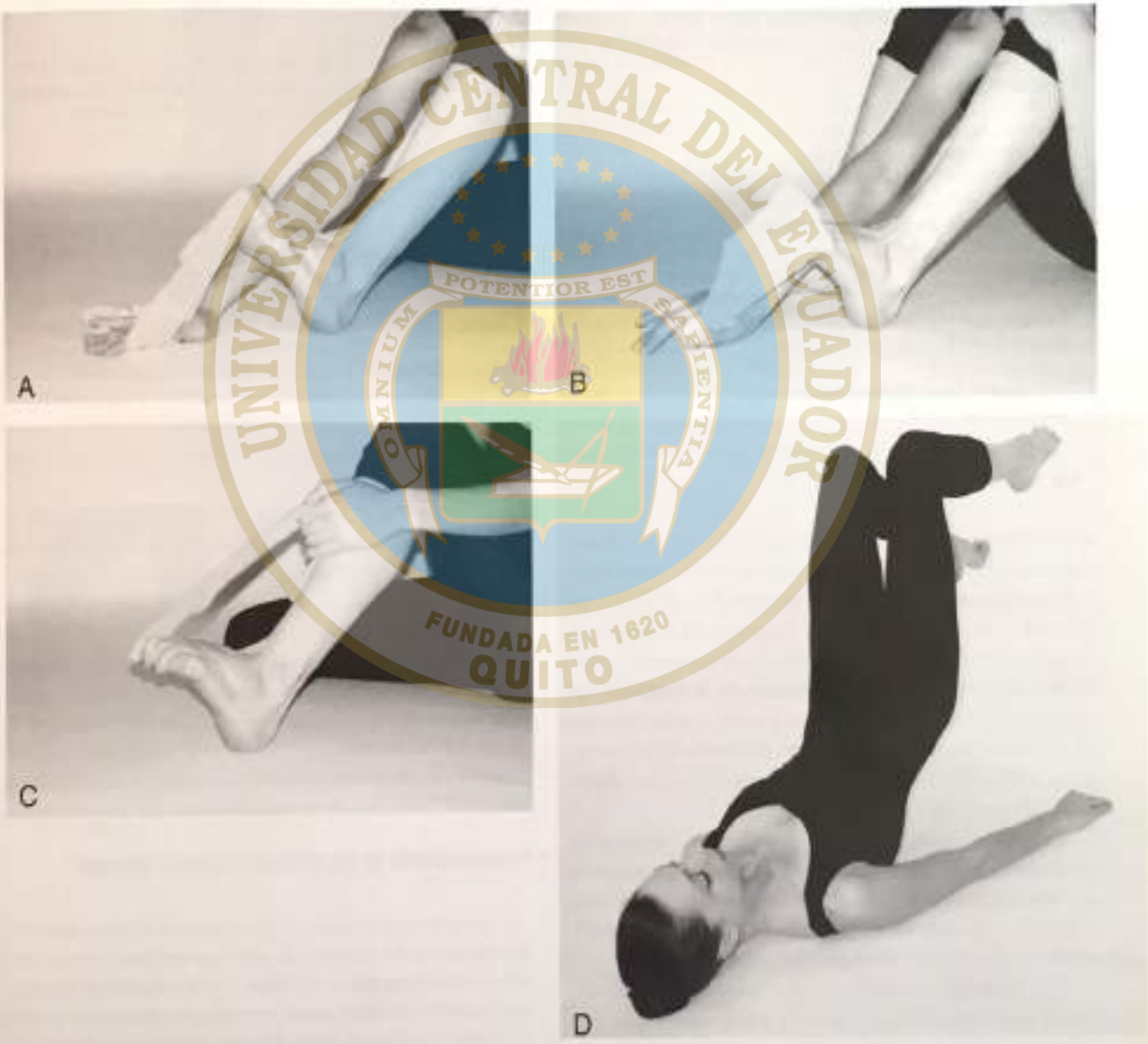



FIGURA 6.42. Ejercicios de muestra para iniciar o mejorar el *pointé*. (A) Extensión del dedo gordo; (B) extensión de los dedos; (C) flexión del dedo gordo; (D) escalada por la pared con los dedos del pie.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 6.5 Muestra de una rutina de ejercicios de preparación del *pointé***

| Ejercicio | Repeticiones | Propósito |
|---|---|---|
| **Demi-pointé* a *pointé* (con banda elástica) (tabla 6.6B, variación 2) | 6 veces (todos los dedos) | Fuerza para pasar de *demi-pointé* a *pointé* |
| Flexión del dedo gordo (figura 6.42C) | 6 veces (sólo el dedo gordo) | Fuerza para pasar de *demi-pointé* a *pointé* |
| *Extensiones de los dedos (con banda elásticas (figura 6.42A) (figura 6.42B) | 6 veces (sólo el dedo gordo)<br>6 veces (todos los dedos) | Estabilidad en *pointé* y para prevenir la flexión excesiva de los dedos |
| Separación y elevación del dedo gordo en sedestación (con banda elástica) (tabla 6.6F) | 8-12 veces | Prevención de la eversión del pie |
| Separación y elevación de los dedos II a V en sedestación (con banda elástica) (tabla 6.6H) | 8-12 veces | Prevención de la inversión del pie |
| *Arqueamiento del empeine (tabla 6.6J) | 8-12 veces | Estabilidad de la articulación MTF y fuerza para mantener los dedos extendidos y no flexionados |
| Flexión dorsal en sedestación (con banda elástica) (tabla 6.6E, variación 1) | 8-12 veces | Equilibrio muscular |
| *Estiramiento *en pointé* en sedestación (tabla 6.8F) | 3 veces aguantando 20 segundos | Amplitud de movimiento para lograr la postura ideal del cuerpo sobre los dedos del pie |
| Escalar con los dedos por la pared (figura 6.42D) | 1-4 veces arriba y abajo | Fuerza para pasar de *demi-pointé* a *pointé* |
| *Fondu* con arco forzado (tabla 6.6A, variación 2) | 6-12 veces | Músculos «estribo» y colocación del empeine sobre los dedos |

* Ver texto.

saltos (Devita y Skelly, 1992). Los bailarines de ballet muestran una fuerza en los flexores plantares mucho mayor que la de muchos otros deportistas (Hamilton *et al.*, 1992), lo cual subraya la importancia para los bailarines de la fuerza en esta área. También se cree que la fuerza de los flexores plantares es importante para la prevención de la tendinitis del Aquiles; un estudio con corredores mostró niveles menores de fuerza en los músculos flexores plantares de los corredores con tendinitis del Aquiles en comparación con corredores sin tendinitis (McCrory *et al.*, 1999).

Los ejercicios de tríceps sural (tabla 6.6A) suponen un medio funcional de aumentar la fuerza y la técnica, mientras que la colocación del pie en punta en sedestación (tabla 6.6B) es un ejercicio adecuado que se puede practicar fácilmente con una banda elástica.

Los bailarines también pueden fortalecer funcionalmente estos músculos practicando saltos repetitivos, empezando con las dos piernas y pasando progresivamente a saltos con una pierna (tabla 6.6C). Los bailarines deben calentar a fondo antes de practicar saltos y hacerlo sobre una superficie elástica. La práctica de saltos en una máquina Universal Reformer de Pilates también brinda una oportunidad de trabajar la técnica incrementando la resistencia, la altura de los saltos o la expresión en rapidez y complejidad de los saltos. Los saltos son especialmente útiles para desarrollar la potencia explosiva del gastrocnemio, necesaria para practicar saltos altos y rápidos propios de la coreografía en la danza. En contraste, la práctica de la flexión plantar del tobillo-pie con las rodillas flexionadas, como se describe en la tabla 6.6A (variación 3), potenciará el uso del músculo sóleo.

### Fortalecimiento de los músculos flexores dorsales

La fuerza inadecuada de los músculos flexores dorsales podría aumentar el riesgo de algunas lesiones como el síndrome del compartimiento tibial. Los resultados de los estudios han sido contradictorios, pero algunos bailarines tienden a mostrar poca fuerza en los flexores dorsales en términos de

*(El texto continúa en la página 352.)*

**Tabla 6.6 Selección de ejercicios de fuerza para el tobillo-pie**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: tríceps sural y músculos «estribo» | | |
| Movimiento articular: flexión plantar del tobillo-pie | | |
| A. Ejercicio de tríceps sural *(calf rise)* (mancuernas)<br> <br> <br> <br>Variación 2 | En monopedestación con el otro pie apoyado en el tobillo de la pierna de apoyo. Elévate lentamente sobre el antepié, haz una pausa, y desciende lentamente a la postura inicial.<br>(Mantén el peso del cuerpo centrado entre los dedos I y II, y evita la inversión y eversión del pie; elévate sobre el antepié centrándote en usar los músculos «estribo» para elevar un poco más el arco del pie.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio de tríceps sural en decúbito supino en la máquina Reformer.<br>*Variación 2. Fondu* con arco forzado. Flexiona la rodilla de la pierna de apoyo *(fondu)* y elévate todo lo posible sobre el antepié con la rodilla flexionada. Luego extiende la rodilla (tratando de mantener el talón lo más alto posible), haz una pausa, y vuelve a la postura inicial con la rodilla recta de pie en el suelo o en decúbito supino sobre la máquina Reformer, con el pie sobre la tabla de saltos.<br>*Variación 3.* Practica el ejercicio de tríceps sural sentado en una silla con las rodillas flexionadas 90°, con anteroflexión del tronco y apoyando las manos en los muslos o en una pesa sobre los muslos para generar resistencia. | 1. Aumenta gradualmente la altura del *relevé*.<br>2. Aumenta gradualmente el peso de las mancuernas de 2,5 a 5 kg.<br>3. Aguanta un poco la postura. |

*(Continúa)*

UNIVERSIDAD RAFAEL ECUADOR OMNIUM FUNDADA EN 1620 QUITO

**Tabla 6.6 Selección de ejercicios de fuerza para el tobillo-pie (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie y flexores MTF<br>Músculos trabajados: músculos «estribo» y flexores MTF | | |
| Movimiento articular: flexión plantar del tobillo-pie con flexión MTF | | |
| B. Colocación del pie en punta en sedestación (banda elástica) | Siéntate con una pierna extendida al frente con la banda alrededor del antepié y con las manos tensando dicha banda. Apunta lentamente el pie, empezando por el antepié y sumando los dedos sólo al final del movimiento. Haz una pausa y vuelve lentamente a la postura inicial.<br>(Céntrate en usar los músculos «estribo», en mantener el pie en una postura neutra en todo momento y en evitar la inversión y eversión del pie.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio con la rodilla un poco flexionada y el talón apoyado en el suelo.<br>*Variación 2.* Mantén la flexión plantar en todo momento, y empieza con los dedos atrás (extensión metatarsofalángica) como en un *demi-pointé*. Luego flexiona los dedos para alinearlos con los metatarsianos (flexión metatarsofalángica), haz una pausa y deja lentamente que los dedos vuelvan a la postura inicial en *demi-pointé*. | 1. Tensa más la banda en la posición inicial.<br>2. Emplea una banda más resistente |

Variación 2

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR ECUADOR
OMNIUM SCIENTIA SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: gastrocnemio | | |
| Movimiento articular: flexión plantar del tobillo-pie | | |
| C. Saltos con una pierna (peso del cuerpo)<br> | Tras un adecuado calentamiento con saltos con los dos pies, practica saltos repetitivos saltando y aterrizando sobre la misma pierna. Mantente mirando a la barra con las yemas de los dedos sobre ésta si fuera necesario.<br>(Céntrate en mantener la mecánica correcta del pie, y evita la excesiva pronación o el contacto doble del talón en el aterrizaje.)<br>*Variación 1.* Haz el ejercicio en decúbito supino sobre la máquina Reformer con una tabla de saltos. | 1. Aumenta la altura pero mantén la técnica correcta.<br>2. Aumenta la velocidad y altura al tiempo que mantienes una buena técnica. |
| Grupo muscular: flexores dorsales del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: tibial anterior y extensor largo de los dedos | | |
| Movimiento articular: flexión dorsal del tobillo-pie | | |
| D. Flexión dorsal en sedestación (pesas)<br> | Siéntate con las piernas flexionadas sobre el borde de una tabla, en la máquina Cadillac de Pilates o en una camilla, con una pesa colgando del extremo de un pie y en ligera flexión plantar. Levanta lentamente el pie hacia la espinilla, haz una pausa y vuelve lentamente a la postura inicial.<br>(Mantén el pie en una postura neutra, dirigiendo el espacio entre el I y II dedos hacia el centro de la espinilla.)<br>*Variación 1.* Céntrate en empezar por el dedo gordo y en invertir el pie, en vez de mantenerlo en una postura neutra, para trabajar el músculo tibial anterior.<br>*Variación 2.* Céntrate en empezar con el V dedo y mover el pie en eversión, en vez de mantenerlo en una postura neutra, para trabajar el músculo extensor largo de los dedos y el tercer peroneo. | 1. Aumenta gradualmente la altura a la que se elevan los dedos.<br>2. Aumenta gradualmente el peso de 2,5 a 7,5 kg. |

*(Continúa)*

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA

**Tabla 6.6 Selección de ejercicios de fuerza para el tobillo-pie (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores dorsales del tobillo-pie e inversores del pie<br>Músculos trabajados: tibial anterior | | |
| Movimiento articular: flexión dorsal del tobillo-pie con inversión | | |
| E. Elevación medial del dedo gordo en sedestación<br>(banda elástica)<br> <br> <br>Variación 2 | Siéntate con una pierna extendida y la otra flexionada y sujetada por los brazos. Rodea con la banda el arco plantar del pie de la pierna extendida y los dedos del pie de la pierna flexionada. Flexiona la rodilla lo suficiente como para tensar la banda. Luego flexiona dorsalmente el pie (dirigiendo la acción con el dedo gordo), haz una pausa y vuelve lentamente a la postura inicial. (Céntrate en elevar el dedo gordo hacia dentro de modo que la inversión se combine con la flexión dorsal del pie.)<br>*Variación 1.* Flexión dorsal sentado: flexiona dorsalmente el pie en una posición neutra en vez de dirigir el movimiento con el dedo gordo para potenciar el fortalecimiento general de los flexores dorsales.<br>*Variación 2.* Sentado con el V dedo elevado medialmente: flexiona dorsalmente el pie, dirigiendo el movimiento con el V dedo para potenciar la acción de los músculos extensor largo de los dedos y tercer peroneo.<br>*Variación 3.* Practica cualquiera de estos ejercicios mirando el extremo de la máquina Cadillac de Pilates con un pie metido en la cincha que está atada al extremo inferior de la máquina Cadillac. | 1. Acerca el talón de la pierna flexionada a las nalgas para tensar más la banda.<br>2. Usa una banda más resistente. |

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL DEL ECUADOR
OMNIUM BONUM
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: Inversores del pie<br>Músculos trabajados: tibial posterior | | |
| Movimiento articular: inversión del pie y aducción del antepié con flexión plantar del tobillo-pie | | |
| F. Elevación y separación del dedo gordo en sedestación (banda elástica)<br> <br> <br>Variación 2 | Siéntate con las piernas cruzadas al frente y una banda en torno a la punta de los pies, con los talones separados de modo que la banda esté tensa. Con los pies en punta, mueve los pies (dirigiendo la acción con el dedo gordo) hacia arriba y alejando uno de otro, haz una pausa y vuelve lentamente a la postura inicial.<br>(Mantén ambos pies en punta durante el ejercicio, y aísla el movimiento en los pies, evitando mover las rodillas.)<br>*Variación 1.* Asegura la banda debajo o alrededor de algo resistente. Pon sólo un pie dentro del lazo, y mueve el pie arriba y medialmente (dirigiendo la acción con el dedo gordo).<br>*Variación 2.* Practica el mismo movimiento sentado al lado del extremo de la máquina Cadillac de Pilates y un pie en el lazo que tiene un muelle prendido al otro extremo. | 1. Tensa más la banda alejando más el pie al principio.<br>2. Usa una banda más resistente. |
| G. Elevación del dedo gordo en decúbito lateral (pesas)<br> | Túmbate de lado con una pesa colgando del extremo del pie inferior. Con el pie en punta, eleva el antepié hacia el techo, dirigiendo la acción con el dedo gordo. Haz una pausa, y controla lentamente el descenso hasta la posición inicial.<br>(Mantén el pie en punta durante todo el movimiento.) | 1. Eleva gradualmente más arriba el dedo gordo.<br>2. Aumenta gradualmente el peso de 2,5 a 7,5 kg. |

*(Continúa)*

**Tabla 6.6 Selección de ejercicios de fuerza para el tobillo-pie (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: eversores del pie<br>Músculos trabajados: peroneos | | |
| Movimiento articular: eversión del pie y abducción del antepié con flexión plantar del tobillo-pie | | |
| H. Elevación y separación de los dedos II a V en sedestación (banda elástica)<br> <br> <br>Variación 2 | Siéntate con las piernas extendidas y una banda en torno a los extremos de los pies separados de modo que la banda esté tensa. Con los pies en punta, eleva y separa la cara anterior de los pies, dirigiendo el movimiento con los dedos II a V. Haz una pausa, y controla lentamente la vuelta a la posición inicial.<br>(Mantén los pies en punta durante el movimiento; aísla el movimiento en los pies, y concéntrate en mantener las rodillas hacia delante para no mover las caderas.)<br>*Variación 1.* Asegura el lazo en torno o debajo de algo resistente. Mete sólo un pie en el lazo, y eleva lateralmente el antepié (dirigiendo la acción con los dedos II a V).<br>*Variación 2.* Practica el mismo movimiento, sentado de lado mirando el extremo de la máquina Cadillac de Pilates y un pie en el lazo que tiene un muelle prendido al extremo de la máquina Cadillac. | 1. Amplía el movimiento de los dedos II a V.<br>2. Extiende y aparta más los pies en la posición inicial.<br>3. Usa una banda más resistente. |
| I. Elevación del V dedo en decúbito lateral (pesas)<br> | Túmbate de lado con una pesa colgando del extremo del pie superior. Con el pie en punta, eleva el antepié hacia el techo, dirigiendo la acción con el V dedo. Haz una pausa, y baja suavemente el pie hasta la posición inicial.<br>(Mantén el pie en punta durante el movimiento.) | 1. Eleva gradualmente más arriba el V dedo.<br>2. Aumenta gradualmente el peso de 2,5 a 7,5 kg. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores MTF<br>Músculos trabajados: músculos intrínsecos del pie (lumbricales e interóseos) | | |
| Movimiento articular: flexión MTF con extensión IF | | |
| J. Arqueamiento *(doming)* del empeine (la mano)<br> | Sentado, haz presión firme con los dedos hacia abajo y atrás contra el suelo mientras elevas el arco de los metatarsianos. Aguanta 5 segundos.<br>(Mantén los dedos del pie extendidos mientras empujas con ellos hacia abajo y evita que se curven.) | 1. Usa una mano para oponer resistencia a la elevación del arco plantar. |
| Grupo muscular: flexores MTF y flexores de los dedos del pie<br>Músculos trabajados: músculos intrínsecos del pie | | |
| Movimiento articular: flexión MTF y flexión de los dedos | | |
| K. Flexión de los dedos con una toalla *(towel curl)* (pesas)<br> | Siéntate con una rodilla flexionada y el talón en el suelo con una pesa de medio kilo sobre una toalla pequeña delante del pie. Aleja un poco el extremo más cercano de la toalla de modo que formes arrugas en ella. Ase una arruga con los dedos del pie, y luego tira de la toalla hacia ti.<br>(Céntrate en flexionar por completo los dedos y en asir la toalla para luego elevar el arco de los metatarsianos y el arco longitudinal medial mientras tiras de la toalla.) | 1. Aumenta gradualmente el peso de 0,5 a 5 kg. |

*(Continúa)*

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 6.6 Selección de ejercicios de fuerza para el tobillo-pie (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: eversores e inversores del pie<br>Músculos trabajados: peroneos y tibial anterior/propiocepción del tobillo-pie | | |
| Movimiento articular: eversión e inversión del pie con flexión dorsal del tobillo-pie | | |
| L. Inversión-eversión *(side-to-side)* (cuña de espuma)<br> | De pie, con el peso del cuerpo sobre un pie en el lado plano de una cuña de espuma con la otra pierna ligeramente flexionada y el pie tocando el tobillo de la pierna de apoyo. Desplaza lentamente el peso del cuerpo hacia fuera y luego mueve rápidamente el pie en eversión para volver al centro. A continuación, desplaza lentamente el peso del cuerpo hacia dentro y luego mueve rápidamente el pie en inversión para volver al centro. Pon los dedos de la mano en la pared o la «barra» para mantener el equilibrio si fuera necesario. | 1. Practica el ejercicio con una mayor amplitud de movimiento pero dentro de un margen de seguridad para evitar esguinces de tobillo.<br>2. Practica el ejercicio con los dedos de las manos entrelazados detrás de la cabeza.<br>3. Practica el ejercicio con los ojos cerrados.<br>4. Practica en *demi-pointé* con movimientos muy pequeños, de forma que puedas usar la mano para mantener el equilibrio si fuera necesario. |
| Grupo muscular: flexores plantares y dorsales del tobillo-pie e inversores y eversores del pie<br>Músculos trabajados: inversores y eversores del pie/propiocepción del tobillo-pie | | |
| Movimiento articular: flexión plantar del tobillo-pie, eversión del pie, flexión dorsal del tobillo-pie e inversión del pie combinadas para producir un movimiento circular | | |
| M. Trazar círculos con un disco inestable<br> | De pie con el peso apoyado sobre una pierna y el pie en el centro del disco. Desplaza lentamente el peso del cuerpo y usa los pies para trazar un círculo en sentido contrario a las agujas del reloj con el borde del disco, entrando en contacto con el suelo secuencialmente. Apoya los dedos de la mano en una pared o en la barra para mantener el equilibrio si fuera necesario. Después de seis veces, invierte la dirección del círculo *(dextrorsum)*.<br>(Intenta que el círculo sea lo más fluido y simétrico posible, y potencia el uso de los músculos del tobillo-pie.) | 1. Practica con un apoyo mínimo o nulo de las manos para mantener el equilibrio.<br>2. Usa un disco con una semiesfera más grande en la parte inferior. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: músculos «estribo» /propiocepción del tobillo-pie | | |
| Movimiento articular: flexión plantar del tobillo-pie | | |
| N. *Relevé* en el disco inestable<br> <br> | Subido al disco con el antepié situado en el centro del disco para que durante el *relevé* se conserve el equilibrio sin que ningún borde toque el suelo. Empieza con los talones en el disco y el borde posterior del disco tocando el suelo. Levántate lentamente sobre el antepié, y aguanta esta posición 4 segundos. Luego vuelve con cuidado a la postura inicial. Pon una mano en la barra o pared para mantener el equilibrio si fuera necesario.<br>(Mantén el peso del cuerpo centrado entre los dedos I y II, y céntrate en usar los músculos «estribo» para adoptar un *demi-pointé* completo.) | 1. Practica el ejercicio con un uso mínimo o nulo de la mano para mantener el equilibrio.<br>2. Practica el ejercicio con los ojos cerrados.<br>3. Practica el ejercicio con una pierna cada vez. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

ÓRDENES EN LA DANZA 6.3

### «Elévate con la pelvis alineada al adoptar un relevé»

Los profesores a veces emplean la orden «elévate con la pelvis alineada en el *relevé*» para favorecer el mantenimiento de una alineación vertical de la pelvis y el torso mientras el cuerpo se eleva. Como se expuso en el capítulo 3, en una alineación ideal en bipedestación, el centro de masas del cuerpo se halla justo delante de la articulación tibioperoneoastragalina. Así, para ponerse en *demi-pointé* o *pointé*, el centro de masas del cuerpo se debe desplazar adelante varios centímetros para que quede encima de la nueva base de sustentación. Hay muchas tácticas para facilitar este desplazamiento. Una interpretación anatómica de esta orden es desplazar progresivamente la pelvis y el torso hacia delante como una unidad (manteniendo la alineación vertical deseada), centrándose en usar los músculos extensores de la cadera para situar la base de la pelvis encima de la base móvil de sustentación mientras se usan los flexores plantares para elevar el cuerpo, y los músculos abdominales y extensores de la espalda para mantener el torso encima de la pelvis. En posiciones *en dehors*, se añade el interés por usar los músculos rotadores externos profundos inferiores además de utilizar el par de fuerzas abdominal-isquiotibial, y para algunos bailarines la sensación es de elevarse «arriba y adelante» sobre la pelvis. Por el contrario, un método indeseable para desplazar el centro de masas hacia delante se basa en que el desplazamiento consista sobre todo en la anteroflexión del tronco (flexión coxofemoral), alterando la alineación deseada del cuerpo y reforzando programas motores indeseables para mantener el equilibrio.

equilibrio con los flexores plantares y en relación con otros deportistas (Hamilton *et al.*, 1992; Liederbach y Hiebert, 1997). Esta tendencia parece ser específica de la forma de danza, ya que los bailarines de flamenco (Wilmerding *et al.*, 1998) y de tap claqué (Mayers, Judelson y Bronner, 2003) no muestran específicamente este desequilibrio en la ratio o debilidad observados en los bailarines de ballet. La tabla 6.6 ofrece un ejercicio para el fortalecimiento de estos músculos con una pesa (tabla 6.6D) o una banda elástica (tabla 6.6E, variación 1) que generen resistencia. Todos los músculos que producen flexión dorsal del tobillo-pie también generan inversión o eversión del pie, y por eso también se pueden fortalecer con ejercicios que incorporen estos movimientos con flexión dorsal.

#### Fortalecimiento de los músculos inversores del pie

La fuerza de los músculos inversores del pie es importante para prevenir una excesiva pronación y las lesiones asociadas con este movimiento. La elevación y separación del dedo gordo en sedestación (tabla 6.6F) y decúbito lateral (tabla 6.6G) fortalecerá los músculos inversores en flexión plantar y es especialmente útil para prevenir la pronación excesiva durante o al adoptar *demi-pointé* o *pointé*. La elevación medial del dedo gordo en sedestación (tabla 6.6E) fortalecerá los músculos inversores en flexión dorsal y es particularmente útil para prevenir la pronación excesiva con el pie plano o en un *plié*.

#### Fortalecimiento de los músculos eversores del pie

Cuando se ponen de puntillas, la mayoría de los bailarines que se inician en el ballet y muchos bailarines entrenados tienden a invertir el pie, y en conjunto los músculos inversores del pie tienden a ser más fuertes que los eversores (Levangie y Norkin, 2001). Por eso, el desarrollo de suficiente fuerza y el uso de los eversores es importante para lograr el efecto estético deseado de elevarse sobre el eje del pie. Además, el músculo peroneo largo se puede considerar como una prolongación directa del bíceps femoral respecto a su localización (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996), y el uso apropiado de estos dos músculos ayuda a mantener el *en dehors* deseado en los segmentos de la extremidad inferior. Además, la fuerza de los músculos eversores es importante para prevenir los esguinces de tobillo o sus recidivas, y la debilidad persistente de los músculos peroneos es habitual en los bailarines tras una lesión (Ende y Wickstrom, 1982). La elevación y separación de los dedos II a V en sedestación (tabla 6.6H) y del V dedo en decúbito lateral (tabla 6.6I) sirve para fortalecer estos músculos eversores. Ambos ejercicios se practican en flexión plantar porque ésta es la postura en que se suelen producir los esguinces de tobillo y en que el pie es menos estable. Sin embargo, los bailarines con problemas de supinación en bipedestación pueden beneficiarse de sumar otra serie con el pie en una postura neutra y no en flexión plantar.

#### Fortalecimiento de los músculos intrínsecos del pie

Hay muchos ejercicios para los músculos intrínsecos del pie. Dos especialmente útiles para los bailarines son el arqueamiento del empeine (tabla 6.6J) y las flexiones de los dedos con toalla (tabla 6.6K). Ambos ejercicios se centran en fortalecer músculos importantes para mantener los arcos plantares del pie.

### Ejercicios de propiocepción del tobillo-pie

Los **ejercicios de propiocepción** están concebidos para trabajar los reflejos relacionados con el equilibrio y la coordinación de movimientos. A menudo incorporan herramientas como tablas de equilibrio, tablas oscilantes, rodillos de espuma, discos inestables o la tabla oscilante BAPS. El uso de estos ejercicios ha demostrado ser importante para mejorar el equilibrio, introducir rápidas correcciones en movimientos como a la salida de un giro y en la prevención de lesiones como esguinces de tobillo. Los ejercicios de propiocepción a menudo pasan de movimientos en un solo plano a múltiples planos, con dos pies y luego uno, con los ojos abiertos y luego cerrados, con el pie plano en el suelo al incorporar un *relevé*. En la tabla 6.6 L-N, aparecen tres ejemplos de ejercicios con predominio propioceptivo.

## *Estiramientos para el tobillo-pie*

La flexibilidad adecuada en flexión plantar y flexión dorsal del tobillo-pie es particularmente importante para los bailarines. La tabla 6.7 aporta la amplitud media de movimiento de estos movimientos en la población general así como las restricciones principales a estos movimientos. Como se ha descrito previamente, el grado de movilidad adecuado del dedo gordo (extensión de la articulación MTF) también es importante para lograr la correcta posición en *demi-pointé*.

### Estiramientos de los músculos flexores plantares (pantorrilla)

La flexibilidad adecuada de los músculos flexores plantares, sobre todo el gastrocnemio y el sóleo, es esencial para lograr la flexión dorsal del tobillo-pie necesaria en movimientos como *pliés* y tijeras. Cuando la rodilla está flexionada, como en un *plié*, el gastrocnemio se relaja en la articulación de la rodilla, y el sóleo suele ser la restricción principal al movimiento. Cuando la rodilla está extendida, el gastrocnemio se estira igual que el sóleo. Tener flexibilidad suficiente y simétrica en los músculos de la pantorrilla es vital para que el bailarín cuente con tiempo suficiente para absorber las grandes fuerzas asociadas con los aterrizajes tras un salto. Además, cuando el tríceps sural está tenso, se suele permitir al pie moverse en pronación excesiva para desbloquear la articulación media del tarso y lograr una mayor flexión dorsal aparente. Esta pronación excesiva puede aumentar el riesgo de lesiones en la rodilla y el pie.

Por desgracia, al menos los bailarines de ballet de elite tienden a presentar una amplitud de flexión dorsal del tobillo-pie menor incluso que controles sedentarios (Clippinger-Robertson, 1991; Hamilton *et al.*, 1992; Liederbach y Hiebert, 1997). Un estudio con bailarines de elite demostró que el 67% carecía de los 10° de flexión dorsal necesarios para caminar con normalidad (Molnar y Esterson, 1997). Otro estudio demostró una reducción del 50% de la flexión dorsal en comparación con la norma general (Hamilton *et al.*, 1992). En este último estudio, las bailarinas de ballet con un mayor número de lesiones también se asociaban con un menor *plié* bilateral y una disminución de la flexión dorsal del tobillo-pie. En un estudio que realizó el seguimiento durante un año de estudiantes de ballet y danza moderna, los que refirieron lesiones previas en la pierna mantuvieron una correlación significativa con valores inferiores de flexión dorsal y con más lesiones nuevas (Wiesler *et al.*, 1996).

Este estudio respalda la necesidad de incorporar de forma habitual estiramientos de los músculos de la pantorrilla en la rutina de los bailarines para contrarrestar el efecto del entrenamiento y reducir el riesgo de lesión. Hamilton (1988) afirma que sólo con dotar de tablas inclinadas a los estudios o academias y animar a los bailarines a practicar estiramientos regulares del tríceps sural se consiguió reducir mucho la incidencia de tendinitis del Aquiles en los bailarines de ballet profesionales. La tabla 6.8 muestra dos estiramientos con la rodilla extendida que trabajan el músculo gastrocnemio (tabla 6.8A y B, pág. 356) y dos estiramientos con la rodilla flexionada para trabajar el músculo sóleo (tabla 6.8C y D, pág. 357). En todos estos ejercicios, hay que tener especial cuidado en que el pie esté paralelo (alineado con la tibia) y se mantenga en una postura neutra o en ligera inversión, nunca en pronación. También es importante que el estiramiento se aprecie en la pantorrilla. Si se experimenta dolor y limitación de la movilidad en la cara anterior del tobillo, el bailarín sólo debería estirar la pierna dentro de un grado de movilidad indoloro y someterse al examen de un médico deportivo para descartar una compresión u otra patología que podría agravarse al forzar el estiramiento.

### Estiramientos para mejorar el apuntamiento del pie

La flexibilidad adecuada de los músculos flexores dorsales del tobillo-pie es necesaria para alcanzar la gran movilidad en flexión plantar usada en movimientos como *pointé* y *relevé*. En contraste con la amplitud en flexión dorsal, la amplitud en flexión plantar del tobillo-pie de los bailarines tiende a ser mucho mayor que en la población general. Un estudio sobre bailarines profesionales de ballet de elite mostró que la media en los bailarines era 113° (Hamilton *et al.*, 1992), y en otro estudio fue 97° (Clippinger-Robertson, 1991). Estas cifras reflejan una desviación extrema de la norma de 50° expuesta por la American Academy of Orthopaedic Surgeons. En ballet, se recomiendan al menos 90° de flexión plantar para cumplir las exigencias biomecánicas y estéticas del *pointé*. Aunque otras formas de danza como la danza moderna y jazz no requieren valores de movilidad tan extremos, una gran amplitud de movimiento en

**Tabla 6.7. Amplitud de movimiento normal y restricciones a la flexión plantar y flexión dorsal del tobillo-pie**

| Movimiento articular del tobillo-pie | Amplitud de movimiento normal | Factores limitantes pasivos normales |
|---|---|---|
| Flexión plantar | 0°-50° | Cápsula: porción anterior<br>Ligamentos: peroneoastragalino anterior, porción anterior del deltoideo<br>Músculos: flexores dorsales del pie<br>Oposición ósea: porción posterior del astrágalo y la tibia |
| Flexión dorsal | 0°-20° | Cápsula: porción posterior<br>Ligamentos: peroneoastragalino posterior, calcaneoperoneo y deltoideo<br>Músculos: flexores plantares del pie<br>Oposición ósea: porción anterior del astrágalo y la tibia |

flexión plantar del tobillo-pie es importante para la estética al apuntar el pie y para una postura correcta en *demi-pointé*. De ahí que los estiramientos para los pies con el fin de mejorar la flexión plantar sean importantes para cumplir las exigencias de la danza.

Este grado de movilidad plantar no sólo depende de la articulación del tobillo, sino de una combinación de las articulaciones tibioperoneoastragalina, subastragalina, transversa del tarso y metatarsofalángicas. La contribución de estas otras articulaciones a menudo se infravalora; incluso en la población general, del 10% al 40% de la flexión plantar procede de las articulaciones distales a la tibioperoneoastragalina (Levangie y Norkin, 2001). No obstante, como se ve en la tabla 6.7, aunque aumentar la movilidad comprenda estiramientos de los músculos flexores dorsales del pie (sobre todo el tibial anterior, el extensor largo del dedo gordo y el extensor largo de los dedos), también es probable que incluya el estiramiento de los ligamentos y cápsulas articulares. De ahí que estos estiramientos se deban practicar tras un calentamiento exhaustivo de los pies, y con la aplicación muy lenta y cuidadosa del estiramiento dentro de una amplitud indolora.

La tabla 6.8 muestra dos estiramientos para mejorar la amplitud de la flexión plantar: uno en bipedestación y el otro sentado. El estiramiento en *pointé* en bipedestación (tabla 6.8E, pág. 358) es fácil de practicar en clase antes de pasar a desplazamientos por el suelo, o justo después de clase. El estiramiento en *pointé* en sedestación (tabla 6.8F, pág. 358) ofrece la ventaja de que es más fácil controlar la magnitud y localización del estiramiento. La rápida aplicación de fuerzas elevadas, como las asociadas con meter los pies bajo un colchón y tumbarse de espaldas, puede causar esguinces de

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 6.5

### *Influencia de la pronación del pie sobre la amplitud del movimiento de flexión dorsal*

Lleva la pierna derecha hacia atrás para practicar un estiramiento de los músculos de la pantorrilla, adoptando una posición en tijera y poniéndote de perfil junto a un espejo.

- **Movilidad en flexión dorsal con el pie paralelo.** Comprueba que el pie retrasado esté paralelo, mirando directamente adelante y alineado con la tibia. Esta posición sitúa el peso del cuerpo ligeramente por fuera del pie y bloquea las articulaciones medias del tarso (ligera inversión podal). Ahora flexiona la rodilla de la pierna adelantada, e inclina el cuerpo hacia delante hasta sentir un estiramiento en el dorso de la pantorrilla. Repara en el ángulo de flexión dorsal que alcanza el dorso del tobillo-pie.
- **Movilidad en flexión dorsal con los pies orientados lateralmente.** Ahora desplaza el peso del cuerpo hacia delante sobre el pie adelantado, y ajusta el pie retrasado de modo que se oriente un poco externamente respecto a la tibia. Luego, flexiona más la rodilla adelantada e inclina el cuerpo hacia delante hasta sentir un estiramiento en el dorso de la pantorrilla. Fíjate en que el pie se desbloquea y mueve en pronación, permitiendo un ángulo mucho mayor de flexión dorsal aparente de lo que se alcanzaba antes.
- **Relación con la técnica.** Piensa en cómo este uso indeseable de la pronación influye en las estructuras que están siendo estiradas y en la ejecución de *pliés* poco profundos y *pliés* asimétricos (con menos flexión dorsal en un lado).

ligamentos y otras lesiones en los pies, y se deben evitar. Además, si el bailarín aprecia dolor y limitación en el dorso del tobillo cuando trata de practicar estos estiramientos, deberá usar una mano para mantener el talón en su sitio (tratando de prevenir una compresión posterior), al tiempo que pone la otra mano a medio camino del pie y aplica un estiramiento menor, como se muestra en la tabla 6.8F. Si el dolor todavía está presente, el bailarín debería someterse a un examen médico para descartar patologías médicas que se puedan agravar con estiramientos excesivos.

### Estiramientos para los flexores del dedo gordo

Como se describió previamente, se necesitan unos 90° de extensión en la articulación MTF del dedo gordo para que los bailarines se eleven adecuadamente en *demi-pointé*, y para mantener el peso sobre el eje del pie en vez de moverlo en inversión o eversión para aumentar la amplitud. Si el dedo gordo no se puede llevar atrás lo suficiente como para formar un ángulo recto, se añadirán estiramientos del dedo gordo (tabla 6.8G) en las prácticas rutinarias del bailarín. Este ejercicio implica el estiramiento no sólo de los músculos flexores del dedo gordo, sino también de la cápsula y ligamentos articulares. De ahí que se deba practicar con lentitud y cuidado. Si el bailarín experimenta dolor o limitación de la movilidad, sólo se moverá dentro de la amplitud indolora y se someterá a un examen médico para descartar artritis u otras enfermedades que pudieran agravarse por un excesivo celo en los estiramientos.

*(El texto continúa en la pág. 359.)*

PRUEBAS Y MEDICIONES 6.3

### *Prueba exploratoria de la amplitud del movimiento de flexión plantar del tobillo-pie*

Mostramos dos pruebas para medir la movilidad pasiva del tobillo-pie en flexión plantar. En el caso de muchos bailarines, en esta movilidad influye la estructura ósea de los arcos plantares, las cápsulas y los ligamentos articulares, así como las restricciones que imponen los músculos flexores dorsales. Con el bailarín sentado con las piernas extendidas al frente y un pie apuntado, el examinador pone una mano sobre el empeine de ese pie y ejerce una presión suave hacia abajo para que adopte una mayor flexión plantar.

En la primera prueba (A), el eje del goniómetro se sitúa justo debajo y ligeramente delante del maléolo lateral, el brazo fijo a lo largo del peroné y el brazo móvil paralelo a la base del pie. Se considera 0 cuando el pie adopta un ángulo recto respecto a la pierna, y entonces se mide la flexión plantar del pie desde esta posición como grados positivos. Mientras que 50° se considera una amplitud normal en la población general, el valor medio en las bailarinas de ballet de elite de un estudio fue 97° (Clippinger-Robertson, 1991), y se considera deseable alcanzar un valor de como mínimo 90° para una colocación óptima del cuerpo en *demi-pointé* y *pointé*.

Si no se dispone de un goniómetro, se puede poner una regla con su porción superior alineada con el medio de la porción lateral de la tibia y el maléolo medial, como se ve en B. Fíjate en si la cabeza del primer metatarsiano está por encima, en o debajo de la línea trazada por la parte superior de la regla. En el caso del *pointé*, el objetivo es que esta marca se halle aproximadamente en o debajo de la línea de la regla.

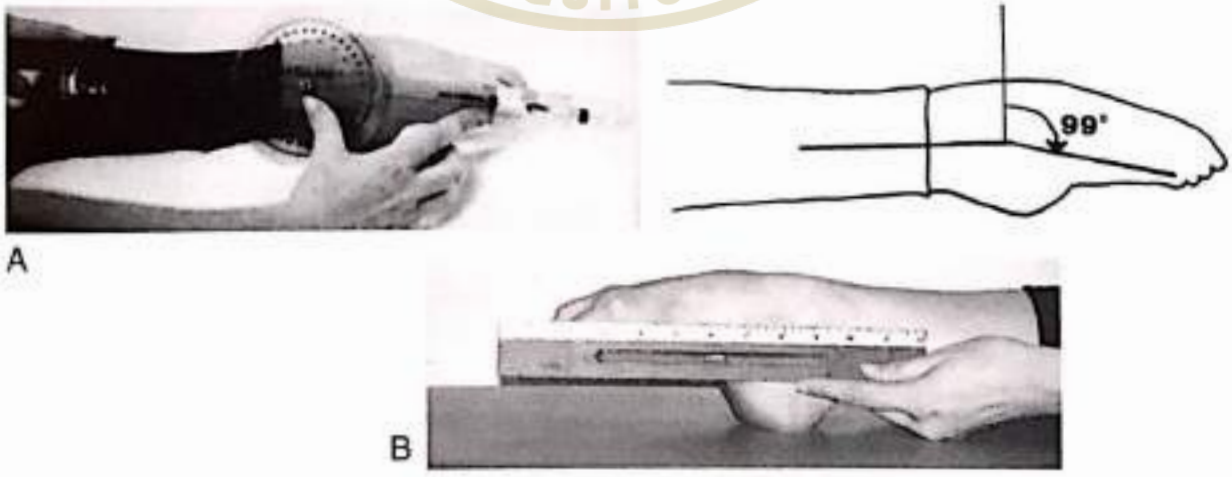


**Tabla 6.8. Selección de estiramientos para el tobillo-pie**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: gastrocnemio | | |
| Posición articular: flexión dorsal del tobillo-pie con extensión de la rodilla | | |
| A. Estiramiento de la pantorrilla con una tijera en bipedestación (estático)<br> | De pie en la postura de tijera con la pierna adelantada flexionada y la pierna atrasada extendida. Desplaza caderas y pelvis hacia delante hasta sentir el estiramiento en la pantorrilla de la pierna atrasada.<br>(Mantén ambos pies paralelos y mirando hacia delante en vez de dejar que el antepié se oriente lateralmente y el pie prone; mantén el talón del pie atrasado en contacto con el suelo.)<br>*Variación 1.* FNP: en la posición dicha, contrae la pantorrilla de la pierna atrasada ejerciendo presión con el antepié en el suelo como para proceder a la flexión plantar del pie. Relaja la pierna, y desplaza la base de la pelvis un poco más adelante para incrementar el estiramiento de la pantorrilla. | 1. Desplaza más el pie retrasado hacia atrás y desplaza las caderas y el torso más hacia delante. |
| B. Estiramiento de la pantorrilla con medio rodillo de espuma (estático)<br> | De pie y de cara a la pared con las manos en ella y un pie 30 centímetros detrás del otro y el antepié del retrasado apoyado en la superficie plana de medio rodillo de espuma. Deja que la rodilla adelantada se flexione mientras el talón retrasado ejerce presión hacia atrás y abajo contra el suelo, haciendo que el rodillo se balancee hacia atrás hasta percibir el estiramiento en la pantorrilla de la pierna retrasada.<br>(Mantén el pie retrasado mirando hacia delante y evita que los pies se muevan lateralmente o en pronación. Mantén la alineación del cuerpo de modo que pueda trazarse una línea recta entre la cara lateral del tobillo, rodilla, pelvis y hombro.) | 1. Haz que el talón descienda todavía más.<br>2. Desplaza las caderas y torso más hacia delante.<br>3. Usa un rodillo de mayor diámetro. |

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores plantares del tobillo-pie<br>Músculos trabajados: sóleo | | |
| Posición articular: flexión dorsal del tobillo-pie con flexión de la rodilla | | |
| C. Estiramiento de la pantorrilla mediante una tijera con las rodillas flexionadas<br> | En la posición usada en el ejercicio A, mete el pie retrasado unos 20 centímetros. Flexiona la rodilla retrasada hasta sentir un estiramiento en la pantorrilla. (Mantén ambos pies mirando hacia delante y evita el movimiento del antepié hacia fuera o en pronación.)<br>*Variación 1.* FNP: en dicha posición, contrae la pantorrilla retrasada ejerciendo presión con el antepié contra el suelo como para adoptar flexión plantar. Relaja la contracción, y aumenta un poco la flexión de la rodilla retrasada para aumentar el estiramiento. | 1. Flexiona más la rodilla retrasada y desplaza el peso del cuerpo más hacia delante sobre el pie retrasado. |
| D. Estiramiento de pantorrilla con la rodilla flexionada y sobre medio rodillo de espuma (estático)<br> | Practica el estiramiento como se describe en el ejercicio B, pero con la rodilla retrasada flexionada en todo momento y con el tronco más vertical. | |

(Continúa)

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 6.8. Selección de estiramientos para el tobillo-pie (continuación)**

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores dorsales del tobillo-pie y extensores de los dedos<br>Músculos trabajados: extensor largo de los dedos | | |
| Posición articular: flexión plantar del tobillo-pie con flexión de las articulaciones MTF e IF | | |
| E. En apoyo monopodal, estiramiento en *pointé* (estático)<br> | En monopedestación sobre el pie izquierdo, con la pierna ligeramente flexionada y la punta distal del pie derecho en contacto con el suelo. Ejerce suave presión con el talón derecho hacia delante hasta sentir un estiramiento en el empeine. Si fuera necesario, flexiona ligeramente la rodilla de la pierna de apoyo e incrementa la flexión de la rodilla derecha para enfatizar el estiramiento de la porción superior del pie respecto a la inferior. Repite el ejercicio con la otra pierna. | 1. Desplaza el peso del cuerpo un poco más hacia el pie que estás estirando. |
| F. En sedestación, estiramiento en *pointé* (estático)<br> | Sentado con el pie derecho en el suelo y la rodilla izquierda flexionada, con el tobillo apoyado sobre el muslo derecho. Con la mano izquierda asiendo el talón y manteniéndolo en su sitio, usa la mano derecha para aumentar la flexión plantar del pie hasta sentir un estiramiento en la cara anterosuperior del empeine. Repite con la otra pierna. (Céntrate en usar el pulgar derecho para ejercer presión ascendente sobre el arco plantar mientras los otros dedos tiran del antepié ligeramente «hacia fuera y luego hacia abajo».) | 1. Ejerce un poco más de presión sobre el antepié hacia abajo (es decir, mayor flexión plantar del tobillo-pie). |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA

| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupo muscular: flexores del dedo gordo<br>Músculos trabajados: flexores largo y corto del dedo gordo | | |
| Posición articular: extensión del dedo gordo en la articulación MTF | | |
| G. Estiramiento del dedo gordo (estático)<br> | Sentado, usa la mano para ejercer una ligera tracción sobre el dedo gordo en sentido medial y luego suavemente hacia el empeine hasta sentir un estiramiento a lo largo de la cara plantar del dedo gordo.<br>(Mantén el dedo gordo alineado con el primer metatarsiano y la articulación subastragalina en posición neutra mientras aplicas el estiramiento.) | 1. Lleva el dedo gordo un poco más hacia atrás dentro de una amplitud indolora y hasta un máximo de 90°. |

## Lesiones de tobillo y pie en los bailarines

Se generan y absorben grandes fuerzas en el complejo del tobillo-pie en la danza. Por ejemplo, se ha calculado que las fuerzas de compresión en la articulación del tobillo superan cinco veces el peso corporal al caminar, y de 9 a 13 veces al correr (Hamill y Knutzen, 1995). Teniendo en cuenta estas fuerzas elevadas y la compleja estructura y las demandas del pie, no sorprende que el complejo del tobillo-pie sea el lugar que más se lesiona en danza. En tres amplios estudios con bailarines de ballet, el 38% (Garrick y Requa, 1988), el 42,4% (Quirk, 1983) y el 48,5% (Garrick, 1999) de todas las lesiones afectaron el complejo del tobillo-pie. Estudios sobre danza moderna muestran que el 26,6% (Solomon y Micheli, 1986), el 36% (Schafle, Requa y Garrick, 1990) y el 38% (Hardaker y Moorman, 1986) de las lesiones se centraron en el tobillo y el pie. Los estudios con bailarines de flamenco indican que la incidencia de lesiones en el complejo del tobillo-pie suponen el 45% y el 40% (Salter-Pedersen y Wilmerding, 1998), y un estudio sobre bailarines de tap claqué mostró que el 36% de todas las lesiones se producía en el tobillo y el pie (Mayers, Judelson y Bronner, 2003). Por tanto, a pesar de las distintas exigencias de las variadas formas de danza, todos estos tipos de baile estudiados muestran una elevada incidencia de lesiones en el tobillo y el pie, aunque –al menos en el ballet– es mayor la incidencia en las mujeres que en los hombres (Liederbach, 2000).

### *Prevención de lesiones de tobillo y pie*

Si tenemos en cuenta la elevada incidencia de lesiones en el tobillo y el pie, la prevención de lesiones en esta región debe ser una prioridad para los bailarines. Las medidas de entrenamiento preventivo comprenden tratar de evitar bruscos incrementos en las prácticas de danza, y mantener la forma física durante los parones o descansos, practicando ejercicios suplementarios de fortalecimiento para el tobillo-pie dos o tres veces por semana, y practicar a diario estiramientos para mantener suficiente flexión dorsal del tobillo-pie, potenciar la amortiguación y evitar la excesiva pronación del pie. Son aspectos técnicos de prevención utilizar una ubicación apropiada del peso del cuerpo sobre el eje del pie con el fin de evitar una excesiva inversión o eversión, utilizar los músculos «estribo» para facilitar el equilibrio y lograr un *demi-pointé* o *pointé* más alto con menos tensión en el tendón de Aquiles, mantener la apertura en la cadera para prevenir la pronación compensatoria del pie,

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620 QUITO

e «ir a través del pie» (potenciando el patrón de contacto de dedos-talón) y usar una adecuada profundidad en los *pliés* para reducir el impacto al aterrizar en los saltos (Devita y Skelly, 1992; Dufek y Bates, 1990). Respecto al equipamiento, seleccionar con cuidado zapatillas que ajusten bien y suelos adecuados con superficies cuyas características de elasticidad y fricción sean óptimas (Fiolkowski y Bauer, 1997), siempre que sea posible, también ayuda a prevenir lesiones en el tobillo y el pie.

## Rehabilitación de lesiones de tobillo y pie

Como sucede con las lesiones en otras regiones del cuerpo, el tratamiento inicial recomendado suele consistir en la aplicación de hielo y antiinflamatorios para controlar el dolor y la hinchazón. En el caso de los bailarines, muchos médicos recomiendan usar antiinflamatorios no esteroideos en muchas lesiones, como tendinitis o fascitis plantar, reservando los corticosteroides para ciertas afecciones que no responden al tratamiento del dolor, ya que el uso repetido de esteroides se ha relacionado con el debilitamiento y rotura de los tejidos (Hardeker, 1989; Weiker, 1988), sobre todo si la actividad no se controla adecuadamente nada más aplicarse la inyección (Roberts, 1999). Otras modalidades de fisioterapia como baños de contraste, masajes, ultrasonidos, estimulación eléctrica y fonoforesis (ultrasonidos usados para la penetración de una crema de hidrocortisona) se suelen usar para aliviar el dolor, aumentar la movilidad y favorecer la curación.

En cuanto los síntomas lo permiten, se inician movilizaciones y estiramientos dentro de una amplitud indolora para restablecer la movilidad normal. Una vez más, a medida que los síntomas lo permitan, se sumarán ejercicios de fortalecimiento, a menudo pasando de ejercicios aislados a ejercicios funcionales y de propiocepción cuando la curación lo permita. Debido a que el peso en carga a menudo agrava las lesiones más graves de tobillo y pie, con frecuencia los ejercicios funcionales se practican inicialmente en situaciones con carga reducida, como en una piscina o en una máquina Universal Reformer (Brown y Clippinger, 1996; Henderson *et al.*, 1993), para luego avanzar progresivamente a ejercicios en carga normal en tierra.

Los ejercicios de propiocepción también son claves en la rehabilitación, ya que se ha comprobado que muchas lesiones deterioran las respuestas reflejas y aspectos sutiles de la coordinación de movimientos, todo lo cual puede interferir con la vuelta a la danza y aumenta el riesgo de recidivas. Finalmente, a medida que los síntomas lo permitan, se podrán reintroducir gradual y progresivamente movimientos específicos de la danza que al principio agravaron la afección, como saltos y giros, prestando especial atención a corregir cualquier problema técnico que pudiera contribuir a una recaída.

Como la alteración de la mecánica podal desempeña un papel importante en muchas lesiones del tobillo y el pie, hay que tener especial cuidado en corregir cualquier problema técnico subyacente. En algunos casos, técnicas como vendajes, plantillas y taloneras pueden formar parte del proceso de rehabilitación. Los mecanismos potenciales mediante los cuales estos medios actúan siguen siendo controvertidos y podrían relacionarse con cambios muy ligeros en el movimiento esquelético, en la amortiguación de choques o en la reducción del trabajo muscular (Marshall, 1988; Nigg, Nursae y Stefanyshyn, 1999; Scranton, Pedegana y Whitesel, 1982; Yakut *et al.*, 1997).

## Lesiones de tobillo y pie habituales en los bailarines

Dado el gran número de articulaciones y ligamentos que componen el complejo del tobillo-pie, no sorprende que pueda haber un vasto número de distintos tipos de lesiones en esta región. A continuación sigue una exposición sobre algunas lesiones clave, y remitimos a los bailarines interesados a las obras de Hamilton (1988), Malone y Hardeker (1990), Norris (1990), Spilken (1990) y otros autores citados en esta sección para una exposición más detallada sobre las lesiones del tobillo y el pie.

### Esguinces de tobillo

El esguince de tobillo es una de las lesiones agudas (traumáticas) más habituales en los bailarines. Aunque denominada esguince de tobillo, esta lesión implica técnicamente daños en los ligamentos de las articulaciones del tobillo y subastragalina. En torno al 85% de los esguinces de tobillo se produjeron en un movimiento de inversión (Whiting y Zernicke, 1998) y suelen ocurrir cuando el tobillo está en una postura menos estable de flexión plantar relativa, durante la carga o descarga del pie, como al aterrizar mal tras un salto, al finalizar un giro o al dar un mal paso.

Los esguinces de tobillo se clasifican en tres grados según los daños. Hamilton (1988) describe los esguinces de primer grado como leves, con una rotura parcial del LPAA y, ocasionalmente, del ligamento tibioperoneo anterior, con poca o ninguna inestabilidad resultante. Los esguinces de segundo grado son esguinces moderados con rotura completa del LPAA y daños mínimos en el ligamento calcaneoperoneo. Está presente un signo moderadamente positivo del «cajón anterior», aunque se aprecia una inclinación astragalina normal o mínimamente anormal en las radiografías de esfuerzo (véase Pruebas y mediciones 6.1, pág. 305). Hamilton afirma que éste es el tipo de esguince más habitual en los bailarines. En *demi-pointé* o en *pointé*, el LPAA está casi vertical y es fácil de romper cuando se aplica una fuerza de aducción-inversión, mientras que el ligamento calcaneope-

roneo está en una posición casi paralela al suelo en la que es probable que evite grandes fuerzas de rotura (figura 6.43A). Las lesiones de grado III son graves, pero raras. Las lesiones de tercer grado implican una rotura completa del complejo de ligamentos laterales y comportan una gran inestabilidad, dando positivo en las pruebas del cajón y en radiografías de esfuerzo (figura 6.43B).

Cuando el tobillo sufre un esguince, los bailarines suelen oír un chasquido o experimentan una sensación de desgarro con dolor inmediato. Sin embargo, es importante reparar en que el grado de dolor no es necesariamente un buen indicador de la gravedad de la lesión. La hinchazón sobreviene con rapidez en torno a los ligamentos (maléolo lateral); y si el esguince es lo bastante serio, el bailarín siente inestabilidad en el tobillo y es incapaz de seguir bailando o caminando con normalidad. Dependiendo de la gravedad, al cabo de unas horas la hinchazón avanza, la movilidad queda limitada y podría apreciarse decoloración. Durante la exploración física, la inversión pasiva del pie y la flexión plantar del tobillo-pie tienden a producir molestias.

Respecto al tratamiento, muchos médicos de bailarines recomiendan la reparación quirúrgica para esguinces de tercer grado si los bailarines son profesionales con el fin de alcanzar suficiente estabilidad del tobillo-pie y evitar una temprana degeneración articular que puede asociarse con inestabilidad (Hamilton, 1988; Hardaker, 1989; Safran, Benedetti *et al.*, 1999). Sin embargo, para los esguinces de tobillo de primer y segundo grados, se suele recomendar un tratamiento conservador. Como es una lesión traumática y no por movimiento repetitivo, el tratamiento inicial tiene por objetivo limitar los daños; y es una lesión para la que la aplicación de DHCE (descanso [relativo], hielo, compresión [con vendas de gasa y elásticas] y elevación) es particularmente relevante. La temprana protección con vendajes, una férula neumática, una ortesis de carga funcional o un yeso de carga se hará de acuerdo con la gravedad de la lesión.

A medida que los síntomas lo permitan, se procederá a un programa general de rehabilitación que comprenda estiramientos para restablecer la movilidad normal, ejercicios de fortalecimiento con énfasis especial en los músculos peroneos, ejercicios funcionales como *relevés* mientras se sostienen mancuernas, y ejercicios de propiocepción como *développés fondu* o laterolaterales sobre tablas de equilibrio y rodillos de espuma. Los ejercicios de propiocepción son claves para restablecer los reflejos necesarios con que recuperar la percepción de la estabilidad articular y prevenir recidivas (Eils y Rosenbaum, 2001). La alteración de la respuesta refleja de los músculos peroneos y el aumento de la oscilación postural persisten semanas o incluso meses después de la lesión inicial (Nawoczenski *et al.*, 1985) y en algunas personas la posibilidad de una recidiva del esguince lateral de tobillo es de hasta el 70% al 80% (Hertel *et al.*, 1999). Sin embargo, un estudio sobre futbolistas documentó sólo una recurrencia del 5% en los esguinces de tobillo en deportistas que practicaban con regularidad ejercicios de propiocepción frente al 25% en los controles (Tropp, Askling y Gillquist, 1985). De ahí que se anime a los bailarines con esguinces de tobillo a someterse a una rehabilitación exhaustiva (Sammarco y Tablante, 1997), a plantearse el uso de vendajes o tobilleras específicas para la danza (Rovere *et al.*,

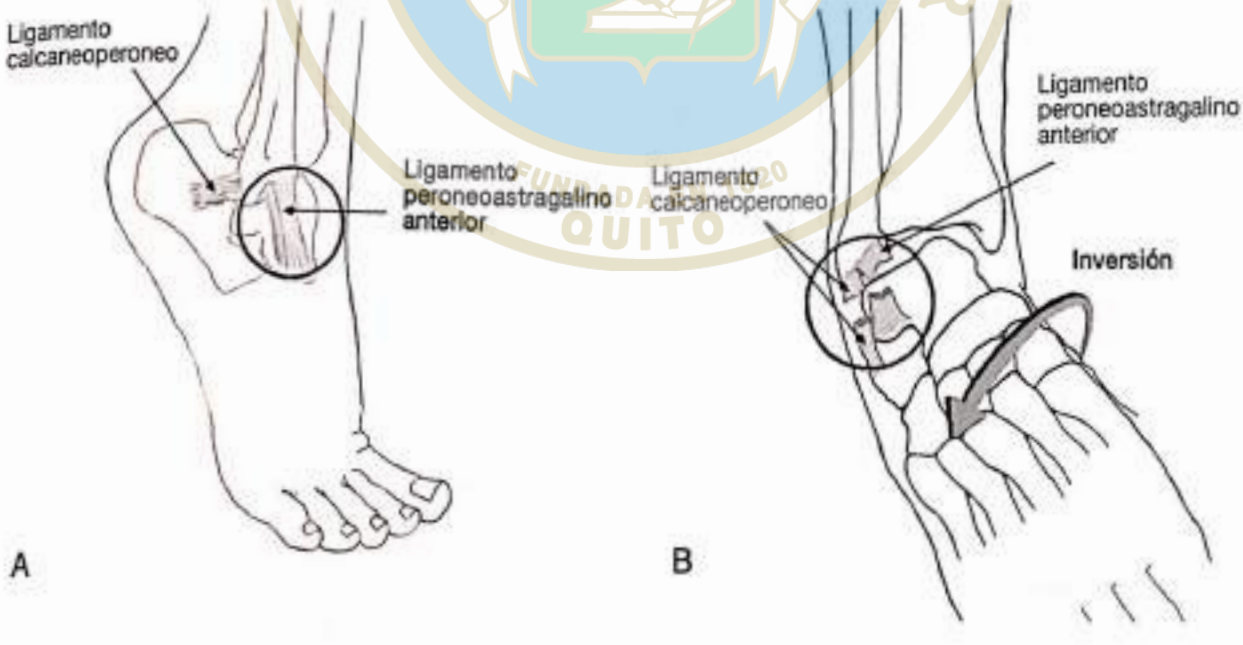



FIGURA 6.43. En flexión plantar (pie derecho), (A) el ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA) está casi vertical y puede sufrir fácilmente un esguince cuando (B) se aplica una fuerza en inversión-aducción.

1988) al volver a bailar, y a seguir seleccionando ejercicios de propiocepción y destinados a los músculos peroneos mucho después de la reincorporación completa a la danza.

### Fascitis plantar

La **fascitis plantar** es una inflamación de la fascia plantar, que a menudo comprende microdesgarros de la fascia que, si persisten, pueden causar la degeneración del colágeno de la fascia (Shea y Fields, 2002). Debido al papel clave que la fascia plantar desempeña en el mantenimiento del arco longitudinal, los saltos suelen estar implicados en esta lesión. Factores anatómicos y biomecánicos que aumentan el riesgo de lesión son los pies planos o los pies cavos, la tirantez del tríceps sural y la excesiva pronación del pie (Hall, 1999; Hamill y Knutzen, 1995; Kreighbaum y Barthels, 1996). En algunos casos, se desarrolla un espolón óseo junto con la fascitis plantar, y a veces la fascia plantar se rompe, a menudo asociado con una carga de impacto después de haberse debilitado por una inflamación crónica, o por el uso repetido de inyecciones de cortisona, o ambas cosas (Howse y Hancock, 1988; Roberts, 1999).

La fascitis plantar se caracteriza por dolor e hipersensibilidad en la superficie inferior del calcáneo en el área central o medial (figura 6.44) donde la fascia plantar se inserta en dicho hueso. Sorprendentemente, sólo un porcentaje relativamente pequeño de personas refieren dolor que se extiende distalmente a lo largo de la fascia plantar en sí, y esto suele ocurrir en bailarines con una afectación crónica. Por lo general, el dolor se agudiza mediante la extensión pasiva de las articulaciones MTF, que a su vez estiran la fascia plantar. Un rasgo característico de esta afección es la rigidez matutina. Algunos bailarines refieren que al dar los primeros pasos por la mañana, sienten los pies rígidos como si fueran tablas.

Además de hielo, fricciones (masajes) y otras modalidades de fisioterapia, la rehabilitación recomendada se centra en ejercicios de elevación de los talones sobre un escalón para fortalecer el tríceps sural y cargar excéntricamente el tendón de Aquiles (Shea y Fields, 2002), así como fortalecer los músculos intrínsecos y extrínsecos que mantienen el arco longitudinal. Debido al riesgo asociado con la pronación, los esfuerzos para controlar la pronación consisten en llevar ortesis, soportes para los arcos plantares y vendajes, así como modificaciones en la técnica y estiramientos del músculo tríceps sural (cuando esté indicado). El uso de plantillas o taloneras viscoelásticas para amortiguar los choques a veces alivia los síntomas (Marshall, 1988; Warren, 1983).

### Tendinitis del tobillo-pie

La **tendinitis** (tendón + G. *itis*, inflamación) es una inflamación de un tendón o su envoltura/vaina (o ambos) debido a desgarros microscópicos de fibras colágenas, secundarios a una sobrecarga (Fernández-Palazzi, Rivas y Mújica, 1990). Aunque los tendones presentan una resistencia a la tracción que es casi el doble que la del músculo (Frey y Shereff, 1988), sus fibras colágenas muestran poca elasticidad y por eso se pueden lesionar cuando se aplican fuerzas con rapidez, oblicuamente o durante grandes contracciones excéntricas de sus músculos asociados.

Cuando un tendón se lesiona, la superficie se vuelve áspera y ya no se mueve con fluidez, sino que tiende a quedar trabado en su vaina o cubierta, lo cual agudiza el dolor, la hinchazón, la hipersensibilidad y a veces la crepitación. Además, el nuevo colágeno que el cuerpo intenta depositar para «curar» el tendón puede resultar dañado por enzimas asociadas con la inflamación, razón por la que hay que limitar la respuesta inflamatoria con hielo, antiinflamatorios (Frey y Shereff, 1988) y con descanso relativo. Además, parece que estas nuevas fibras colágenas se orientan de acuerdo con las fuerzas aplicadas al tendón, lo cual sugiere que las grandes fuerzas asociadas con las contracciones excéntricas ayudan a las fibras a alinearse en la dirección longitudinal deseada. Sin embargo, hay que adoptar precauciones al practicar contracciones excéntricas para que el movimiento sea muy lento y controlado, o las lesiones se podrían agravar.

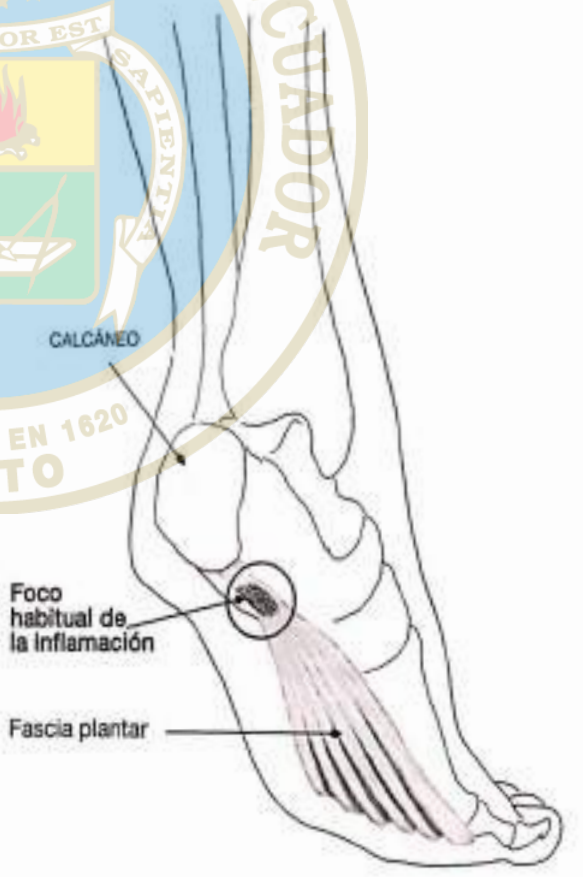



FIGURA 6.44. Punto habitual del dolor en casos de fascitis plantar (pie izquierdo, vista posterolateral).

Las tendinitis ocurren en cualquiera de los tendones que cruzan el tobillo, si bien el tendón de Aquiles y el del músculo flexor largo del dedo gordo son los que más se lesionan en los bailarines de ballet.

***Tendinitis del Aquiles.*** El tendón de Aquiles no está rodeado por la típica vaina sinovial, sino por una vaina compuesta de fascia que se llama paratendón. Puede haber inflamación o daños en el paratendón, en el tendón en sí o en ambos. No sorprende que este tendón se suela lesionar si tenemos en cuenta que el tríceps sural es responsable de generar la mayor parte de la fuerza usada en la flexión plantar y que se ha calculado que este tendón soporta fuerzas equivalentes a 4 a 10 veces el peso corporal en las carreras y saltos (Hamilton, 1988; Whiting y Zernicke, 1998).

Factores que teóricamente aumentan el riesgo de lesión son la tirantez del músculo tríceps sural, un tendón de Aquiles congénitamente pequeño o delgado, una pronación excesiva, la inversión o eversión excesivas en *demi-pointé* o *relevé*, una amplitud limitada de flexión plantar o la presencia de un hueso trígono que haga que el tríceps sural se tenga que contraer con mucha fuerza para lograr la altura adecuada en *relevé/pointé*, una fuerza y resistencia inadecuadas del tríceps sural, un pie cavo y una prominencia de la porción posterosuperior del calcáneo (Ende y Wickstrom, 1982; Frey y Shereff, 1988; Hall, 1999; Hamilton, 1988; Hardeker, 1989; Howse y Hancock, 1988; Norris, 1990). Se necesitarán nuevos estudios que demuestren cuáles de estos factores sirven realmente para predecir una tendinitis del Aquiles y en qué grado. Un estudio con corredores mostró que los corredores con tendinitis del Aquiles tendían a tener el pie más cavo, también una mayor magnitud y velocidad en la pronación máxima y menor fuerza flexora plantar, y que practicaban menos estiramientos (McCrory *et al.*, 1999). El tipo de suelo también parece ser un factor importante. En un estudio, el 45% de los casos de tendinitis del Aquiles ocurrieron cuando se bailó sobre cemento, frente a sólo un 4% de casos en suelos de madera (Fernández-Palazzi, Rivas y Mújica, 1990).

La **tendinitis del Aquiles** se caracteriza por dolor, hipersensibilidad e hinchazón, sobre todo 2-6 centímetros por encima de su inserción en el talón (figura 6.45). Se trata de un área donde el tendón es más estrecho y donde el riego sanguíneo es deficiente (Frey y Shereff, 1988; McCrory *et al.*, 1999). Los bailarines suelen referir tirantez y rigidez, sobre todo al despertarse por la mañana, y reducción de la movilidad en *pliés* y otros movimientos que implican flexión dorsal del tobillo-pie. En ocasiones se aprecia debilidad, y también puede haber crepitación asociada con la movilidad activa. El dolor se suele reproducir o agudizar durante la flexión plantar resistida, como en *relevés* y saltos. El dolor también tiende a manifestarse cuando el tríceps sural trabaja excéntricamente o se estira el tendón, como al aterrizar tras un salto o al final de un *plié*.

El tratamiento es particularmente complicado porque la curación y remodelación del tendón son lentas por su relativa avascularidad, y a menudo al bailarín le resulta difícil descansar lo suficiente como para permitir que se cure. Sin embargo, si el bailarín sigue bailando con una tendinitis del Aquiles, ésta puede derivar en formación de una cicatriz, en áreas de tejido necrosado en el mismo tendón y a veces en rotura del tendón (Weiker, 1988). Por tanto, es muy importante que las tendinitis se curen en su estadio inicial cuando los daños son mínimos, y seguir un programa de rehabilitación general bien supervisado en que se contemplen ejercicios adecuados que eviten nuevos daños en el tendón. Los estadios iniciales de la rehabilitación se suelen centrar en el uso de medicamentos y modalidades que limiten la respuesta inflamatoria y alivien los síntomas. El uso de alzas de talón de 1,3 centímetros, de calzado con un poco de tacón, de plantillas viscoelásticas para el talón, vendajes del tendón de Aquiles, y el control de la pronación excesiva (cuando esté indicado) y la corrección de errores técnicos también ayudan a veces a reducir los síntomas. Los estadios posteriores de la rehabilitación se suelen centrar en restablecer la flexibilidad y fuerza simétricas del tríceps sural. La deseable inclusión de contracciones excéntricas se puede lograr practicando ejercicios de gemelos mientras se aguantan mancuernas sobre un escalón o plataforma, dando importancia a la fase descendente practicándola con más lentitud.

Cuando una tendinitis del Aquiles no responde al tratamiento conservador o se produce la rotura del tendón, se suele recomendar cirugía. La rotura suele darse en bailarines varones de más de 30 años (Hamilton, 1988). La rotura suele ocurrir durante movimientos vigorosos como saltos o un rápido cambio de dirección, y el bailarín suele sentir como un «pinchazo» o como si le «hubieran dado una patada por detrás en la pierna» (Teitz, 1986). A menudo se recomienda la reparación quirúrgica del tendón a los bailari-

FIGURA 6.45. Punto habitual de dolor y engrosamiento en casos de tendinitis del Aquiles (pie izquierdo, vista de perfil).

nes profesionales, porque ha demostrado un mejor restablecimiento de la fuerza flexora plantar (Scheller, Passer y Quigley, 1980).

*Tendinitis del flexor largo del dedo gordo.* La **tendinitis del flexor largo del dedo gordo** muestra una prevalencia alta característica entre los bailarines de ballet (Hardaker, 1989). Su elevado predominio entre los bailarines se cree relacionado con la importancia de este músculo en la estabilización del pie y en la prevención de la excesiva eversión en *demi-pointé* y *pointé*, así como en la presión del dedo gordo contra el suelo para pasar de *demi-pointé* a *pointé*, y en la estabilización del dedo gordo en *pointé*, en que se halla en una posición muy acortada. Este músculo también es especialmente propenso a la tendinitis por razones anatómicas. El tendón del flexor largo del dedo gordo discurre por un túnel osteofibroso en el dorso del tobillo, justo detrás del maléolo medial (figura 6.46); y cuando se somete a tensión continua o sufre un engrosamiento, tiende a trabarse en vez de moverse con fluidez. Como cruza la articulación del tobillo y las articulaciones de los dedos del pie, será necesaria una excursión de 5-7,6 centímetros (Conti y Wong, 2001) del tendón para pasar de un *plié* a *pointé*, volviéndose propenso a la irritación si no se desliza fluidamente por su conducto osteofibroso.

La tendinitis del flexor largo del dedo gordo se caracteriza por dolor en la cara posteromedial del tobillo, a nivel más profundo que en las tendinitis del Aquiles (Fond, 1983). Puede haber hipersensibilidad, leve hinchazón y en algunos casos crepitación, síntomas que se suelen agravar con la flexión y extensión del dedo gordo. Puede existir debilidad en la flexión del dedo gordo en la exploración manual, y las bailarinas pueden referir debilidad en el dedo gordo en *pointé*. En casos más avanzados, se puede producir un engrosamiento fusiforme del tendón (nódulos) que se traba en la vaina tendinosa o en el conducto y que causa dolor, chasquidos y alteración de la capacidad para mover el dedo gordo («engatillamiento del dedo gordo»), como se ve en la figura 6.46. Los bailarines afectados pueden referir que el dedo gordo se queda trabado al flexionarlo o extenderlo, y la liberación del dedo gordo se suele acompañar de un chasquido en la cara posteromedial del tobillo (Sammarco y Miller, 1979).

El tratamiento recomendado para la tendinitis del flexor largo del dedo gordo comprende antiinflamatorios, masaje a base de fricciones profundas, masaje con hielo y otras modalidades, así como estiramientos y fortalecimiento de este músculo y otros afines dentro de una movilidad indolora a medida que remita la inflamación (Fond, 1983; Norris, 1990). Se suele recomendar no practicar temporalmente movimientos como *relevés* y *pointés*. La corrección de cualquier error técnico relevante, como una pronación excesiva o situar el peso del cuerpo demasiado medial o posterior (de modo que los dedos se tienen que «agarrar» al suelo), también suele ser beneficiosa.

El tratamiento conservador suele tener éxito y aliviar los síntomas. Cuando el tratamiento conservador fracasa, se recomienda cirugía según el caso concreto para eliminar las áreas necrosadas del tendón, reforzarlo, liberar el tendón de adherencias, abrir la vaina tendinosa o el retináculo de los músculos flexores, eliminar cualquier bloqueo óseo, o una combinación de estos tratamientos (Hamilton, Geppert y Thompson, 1996).

## El síndrome del compartimento tibial anterior

Con el nombre **síndrome del compartimento tibial anterior** nos referimos a un dolor relacionado con la actividad y con la palpación generalizado en el compartimiento medial o anterior de la tibia (figura 6.47) por tracción de los músculos sobre sus inserciones en la tibia, lo cual causa lesión e inflamación de la membrana que cubre el hueso (periostio), inflamación fascial, una reacción del hueso a la sobrecarga, o una combinación de estas afecciones. Mientras que antes se creía que el síndrome del compartimiento tibial anterior implicaba a los músculos tibial anterior y tibial posterior, hay pruebas de que el músculo sóleo (Hutchinson, Cahoon y Atkins, 1998; Michael y Holder, 1985) y el flexor del dedo gordo (Kortebein *et al.*, 2000) también pueden ser los responsables en algunos casos.

Los síndromes compartimentales anteriores a menudo se relacionan con un cambio o incremento demasiado rápidos en las sobrecargas, como al empezar a bailar tras un largo parón, al participar en talleres de trabajo intensivo al trabajar con un coreógrafo en un estilo inhabitual, o al cambiar a un tipo de suelo menos flexible, como sucede durante las giras. También se ha postulado que estos síndromes pueden estar relacionados con una pronación anormal, ya que los músculos habitualmente implicados son todos inversores que trabajan excéntricamente para controlar la pro-

FIGURA 6.46. Tendinitis crónica del flexor largo de los dedos con presencia de un nódulo cerca de la entrada del conducto osteofibroso (pie derecho, vista medial).

nación. En teoría, una pronación anormal podría generar una tensión excesiva sobre estos músculos inversores y sobre sus inserciones proximales en la tibia (Brukner, 2000). Distintos estudios, sobre todo con corredores, han mostrado una asociación entre el aumento de la pronación y el aumento del riesgo del síndrome del compartimiento tibial anterior (Kortebein *et al.*, 2000; Soderberg, 1986; Sommer y Vallentyne, 1995). En el mundo de la danza, un estudio llegó a la conclusión de que los bailarines con este síndrome tendían a mostrar golpes dobles con el talón durante los saltos (Gans, 1985). Se produce un doble golpeo del talón cuando un bailarín pone el talón en el suelo al aterrizar, lo levanta no intencionadamente, y luego lo vuelve a posar en el suelo para el despegue del siguiente salto.

Los síndromes tibiales por sobrecarga se manifiestan con un dolor habitual o crónico que se asocia con ejercicios repetitivos como la danza. Al principio, el dolor tiende a mitigarse o desaparecer después del calentamiento y vuelve sólo con movimientos vigorosos como los saltos o con la fatiga como al final de la clase o ensayo. Sin embargo, si no se le presta atención, con el tiempo el dolor aumenta de intensidad, no desaparece tan rápido con el calentamiento y se manifiesta en actividades menos intensas. Este dolor tibial se suele acompañar de hipersensibilidad generalizada en el borde lateral y la cresta de la tibia (figura 6.47A) o en el borde posteromedial de la porción inferior de la tibia (figura 6.47B).

El tratamiento recomendado para los síndromes tibiales por sobrecarga suele consistir en hielo tras la actividad y en una reducción suficiente de la actividad para mantenerse sin dolor. En la danza, esto suele significar la eliminación de movimientos como saltos o reducir la duración de la danza. Cuando los síntomas lo permitan, son claves el fortalecimiento de los músculos implicados y el desarrollo de una fuerza equilibrada entre los flexores dorsales y los flexores plantares del pie, ya que niveles bajos de fuerza flexora dorsal respecto a la fuerza flexora plantar aumentan el riesgo de aparición de este síndrome (Gehlsen y Seger, 1980). El uso de vendajes en el arco plantar o la espinilla, el uso de plantillas amortiguadoras (Thacker *et al.*, 2002) y el uso de ortesis y sistemas de sustentación del arco plantar en el calzado de calle para intentar controlar la pronación excesiva (Michael y Holder, 1985) a veces procuran alivio. Para muchos bailarines la modificación de la técnica para mantener la apertura en las caderas y limitar la pronación en vez de usar los músculos inversores del pie para «mantener los arcos plantares» es esencial para el éxito de la rehabilitación y la prevención de las recidivas de estos síndromes. Sin embargo, si a pesar del tratamiento conservador el dolor persiste o se agrava, es importante que el bailarín acuda al médico para descartar una patología más grave, como una fractura por sobrecarga o un síndrome compartimental.

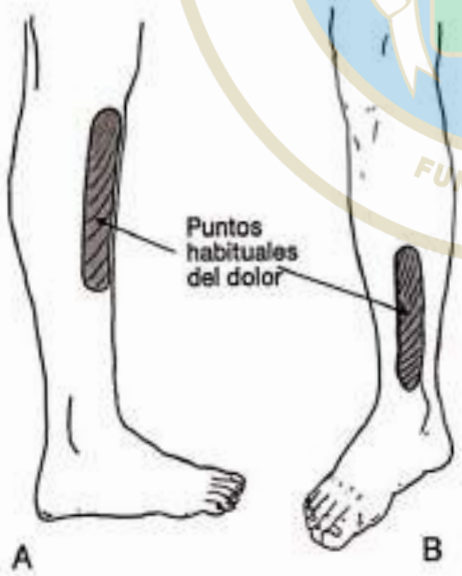



FIGURA 6.47. Se cree que el dolor asociado con síndromes del compartimiento tibial refleja afectación de los músculos (A) tibial anterior y (B) tibial posterior, flexor largo del dedo gordo y sóleo.

## Síndromes compartimentales por esfuerzo

Los síndromes compartimentales consisten en un incremento acusado –y relacionado con la actividad– en la presión de uno o más compartimientos de la pierna, lo cual causa dolor y puede interferir el riego sanguíneo de los músculos, de modo que no reciban suficiente oxígeno (Blackman, 2000; Martens *et al.*, 1984). Mientras que en su forma crónica o recurrente más habitual (Geary y Kelly, 1997) la presión desciende rápidamente cuando el ejercicio se interrumpe, en casos poco habituales y por razones poco comprendidas la afección deriva en una forma aguda en que las presiones siguen aumentando y se mantienen elevadas. Si el aumento de la presión es lo bastante grande y se mantiene elevada el tiempo suficiente, puede provocar la necrosis del tejido muscular implicado y lesiones nerviosas a no ser que se proceda a la descompresión del compartimiento mediante liberación quirúrgica de la fascia (Mercier, 1995; Whiting y Zernicke, 1998). Aunque esta lesión se produce con poca frecuencia en los bailarines (Lokiec, Siev-Ner y Pritsch, 1991), ellos deben conocerla porque es una urgencia médica con consecuencias directas y permanentes si el tratamiento quirúrgico no se inicia de inmediato.

Los síndromes compartimentales recidivantes se suelen asociar con dolor en la pierna descrito como un calambre profundo e indefinido, dolor fijo y continuo o dolor urente que por lo general tiene un momento de inicio característico y relacionado con la intensidad o duración del ejercicio, y que suele desaparecer poco después de interrumpir la actividad. Algunas personas, sin embargo, experimentan sobre todo debilidad en el tobillo, incapacidad para controlar el tobillo cuando se fatiga y entumecimiento del pie. Poco des-

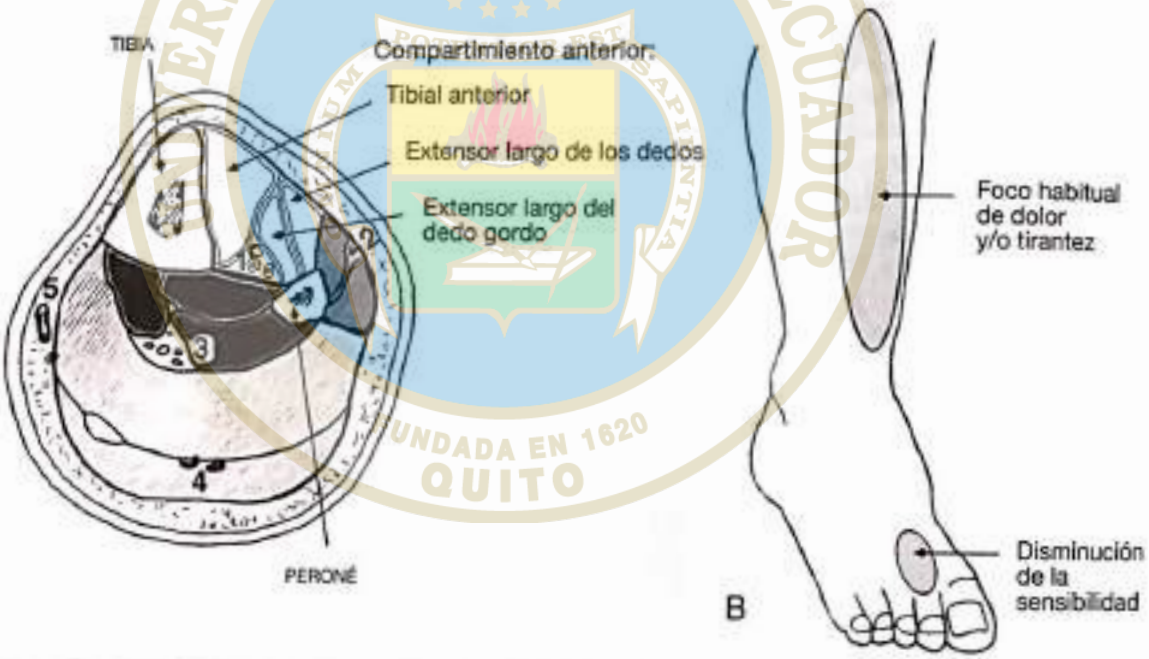
pués del ejercicio, podría apreciarse hipersensibilidad y tensión en la masa muscular del compartimiento implicado. Por ejemplo, el compartimiento anterior es el que se ve afectado con más frecuencia, y la patología se puede manifestar mediante debilidad en la flexión dorsal del tobillo y pie y en la extensión de los dedos; dolor en el compartimiento anterior al extender los dedos; disminución de la sensibilidad en el primer espacio interdigital dorsal, y tensión (tirantez) en el compartimiento anterior (Geary y Nelly, 1997; Korkola y Amendola, 2001; Leach y Corbett, 1979), como se ve en la figura 6.48. Cuando se sospeche la presencia de un síndrome compartimental, se usarán técnicas que midan la presión en estos compartimientos durante el ejercicio.

Por desgracia, hasta el momento se ha tenido poco éxito con el tratamiento conservador (Martens *et al.*, 1984), y las recomendaciones habituales consisten en ajustar el entrenamiento a un nivel inferior al nivel en que el dolor y la presión se manifiestan, o bien operarse. Los métodos quirúrgicos tienen por finalidad cortar la fascia de distintas formas para eliminar la presión y evitar que alcance niveles peligrosos. Dichos métodos han demostrado un elevado índice de éxitos.

### Fracturas por sobrecarga de la pierna y el pie

El riesgo de fracturas por sobrecarga en la pierna y el pie también aumenta por factores que tienden a incrementar la tensión que soportan los huesos durante la actividad, como la fatiga muscular o la debilidad muscular (Brukner, Bradshaw y Bennell, 1998; Couture y Karlson, 2002; Hockenbury, 1999), el pie cavo (Nigg, Nursae y Stefanyshyn, 1999) y el pie plano y otros factores asociados con una excesiva pronación (Hughes, 1985; Matheson *et al.*, 1987; Taunton, Clement y Webber, 1981). Estudios con reclutas del ejército y corredores sugieren que los factores relacionados con la pronación excesiva son factores predisponentes especialmente importantes en las fracturas por sobrecarga.

Una **fractura por sobrecarga** puede ocurrir en cualquier hueso de la pierna o el pie. En los bailarines de ballet, el lugar más habitual son los metatarsianos (Brukner *et al.*, 1996), y el metatarsiano más afectado es el segundo, en su base (Harrington *et al.*, 1993; O'Malley *et al.*, 1996; Sammarco, 1982), como se ve en la figura 6.49. Según un estudio con estudiantes de ballet de elite, el 45% de las fracturas por sobrecarga se produjeron en los metatarsianos, seguido por un




**Nervios y vasos sanguíneos asociados:**

1. Arteria tibial anterior, nervio peroneo profundo
2. Nervio peroneo superficial
3. Arteria tibial posterior
4. Vena safena menor, nervio sural
5. Vena safena mayor, nervio safeno

FIGURA 6.48. Síndrome compartimental por esfuerzo en la pierna, en este caso del compartimiento anterior (pie derecho). (A) Sección transversal de la pierna donde aparece el compartimiento anterior; (B) síntomas habituales.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

26% en el peroné, un 13% en la tibia y un 3% en el cuboides (Lundon, Melchor y Bray, 1999). Otro estudio con bailarines de ballet profesionales mostró un 63% de fracturas por sobrecarga en los metatarsianos y un 22% en la tibia.

Las fracturas por sobrecarga se suelen asociar con dolor e hipersensibilidad, localizados en el foco de la fractura, que se agravan en carga o por impacto. El dolor suele tener un inicio gradual e, inicialmente, suele ser un dolor fijo y continuo, de poca intensidad y asociado con ciertos movimientos (como saltos) o con la duración de la danza (p. ej., el bailarín se hace daño hacia el final de la clase o ensayo). Sin embargo, si no se le presta atención y se sigue bailando, el dolor puede volverse más intenso y persistente, e iniciarse con más facilidad. No se suelen apreciar cambios anormales en las radiografías durante al menos dos semanas (Brukner, 2000), aunque otras técnicas diagnósticas como las gammagrafías óseas y las resonancias magnéticas sirvan para establecer un diagnóstico definitivo en un estadio mucho más temprano (Hutchinson, Cahoon y Atkins, 1998).

Una piedra angular en el éxito del tratamiento de las fracturas por sobrecarga es la descarga temporal y, en algunos casos, la inmovilización del hueso el tiempo suficiente para permitir la remodelación completa de forma que el hueso se vuelva más resistente y capaz de soportar las cargas (Hershman y Mailly, 1990). La limitación de la actividad, necesaria para eliminar el dolor, varía mucho según el lugar, la gravedad y extensión de la lesión. Por ejemplo, una fractura por sobrecarga pequeña que se trate rápidamente puede exigir sólo interrumpir los movimientos de alto impacto como saltos, y el uso de plantillas viscoelásticas para amortiguar los choques. En contraste, una fractura por sobrecarga más grave o crónica, o en un lugar como la tibia, que suele curar mal, puede requerir no sólo una interrupción temporal de la danza, sino también inmovilización con una férula, calzado de suela de madera, muletas o escayola para incluso poder caminar sin dolor (Martire, 1994). La estimulación eléctrica también puede tener un efecto positivo estimulando a los osteoblastos a depositar nuevo hueso (Brukner, 2000).

Cuando la consolidación está avanzada, se puede iniciar de forma muy gradual y progresiva la actividad con impactos. Hay muchos enfoques distintos, y uno consiste en esperar a que el deportista deje de tener dolor durante 10 a 14 días antes de iniciar esta reintroducción gradual (Matheson *et al.*, 1987). La reintroducción de la actividad en días alternos puede resultar beneficiosa, ya que los días de reposo han demostrado reducir la incidencia de fracturas por sobrecarga. Aunque el objetivo sea no sentir dolor, incluso las progresiones bien diseñadas a menudo presentan momentos en los que la ostealgia reaparece. Si esto sucediera, un método a menudo eficaz es hacer reposo uno o dos días hasta que no se sienta dolor al caminar, para luego reanudar la actividad a un ritmo inferior al nivel en que se produjo el dolor (Brukner, 2000).

Durante la rehabilitación, hay que tratar otros factores de riesgo de fracturas por sobrecarga, como el fortalecimiento indoloro de los músculos asociados para amortiguar mejor los choques; corregir cualquier error en la técnica, como una excesiva pronación; estirar el tríceps sural si se aprecia insuficiente flexión dorsal, y abordar factores hormonales o dietéticos, como se expuso en el capítulo 1, si estuviera indicado. La corrección de los factores de riesgo es importante, pero también lo es prevenir las recidivas. Un estudio sobre fracturas por sobrecarga en bailarines profesionales registró ocho casos en que se repitió la fractura en los 51 bailarines del estudio (O'Malley *et al.*, 1996). Sufrir otra lesión por sobrecarga tras una rehabilitación prolongada no sólo es muy descorazonador para el bailarín, sino que también puede poner en peligro su carrera profesional.

FIGURA 6.49. Lugar habitual de las fracturas por sobrecarga en bailarines (pie derecho, vista superior).

### Síndromes por compresión del tobillo

Con acciones como adoptar la punta y flexionar el pie, el astrágalo cambia de posición en la mortaja tibioperonea. Con los grados extremos de movilidad empleados en la danza, el astrágalo puede entrar en contacto con la tibia en sentido anterior o posterior; este contacto se denomina compresión anterior o posterior.

***Síndrome por compresión anterior.*** Cuando el tobillo-pie está en flexión dorsal, como al caminar, la cara anteroinferior de la tibia se suele acomodar en una depresión, llamada surco, en el cuello del astrágalo. Sin embargo, en la flexión dorsal extrema usada en danza, como en un *demi-plié*, algunos bailarines alcanzan un punto en que la tibia entra en contacto directo con el astrágalo, y este contacto se denomina **compresión.** Con la compresión repetitiva, el hueso puede responder al traumatismo generando excrecencias

(osteófitos o espolones óseos). Estos osteófitos pueden provocar que el pinzamiento se produzca en un grado menor de flexión dorsal, y generar osteófitos más grandes, entrando así en un círculo vicioso (Hamilton, 1988). La compresión anterior suele ocurrir en deportes con saltos, y es más habitual en bailarines que en bailarinas, tal vez debido a la mayor exigencia en los saltos que se suele imponer a los hombres.

Los bailarines con **síndrome por compresión anterior** suelen referir un dolor sordo y crónico en la cara anterior del tobillo, dolor que tiende a exacerbarse con la flexión dorsal del tobillo-pie. También suelen notar una disminución en la profundidad del *plié*, y que tienen que parar por molestias o una sensación de bloqueo en la parte anterior del tobillo mucho antes de notar el estiramiento de los músculos de la pantorrilla. También puede haber hipersensibilidad e hinchazón en esta cara anterior del tobillo (Hardaker y Moorman, 1986). La sospecha de un posible síndrome por compresión anterior en el tobillo se puede confirmar mediante radiografías por la presencia de exostosis en el punto donde la cara anterior del astrágalo entra en contacto con la cara anterior de la tibia.

El tratamiento sintomático recomendado para esta afección comprende antiinflamatorios y una disminución de la flexión dorsal haciendo los *pliés* menos marcados y usando alzas para el talón (bilateral) en el calzado de calle (Malone y Hardaker, 1990), y si es posible en las zapatillas de baile (p. ej., zapatillas de jazz). A diferencia de muchas otras lesiones en las que el aumento de la fuerza y flexibilidad mejora la lesión, éste no suele ser el caso con las compresiones; y el estiramiento forzado de la pantorrilla para intentar mejorar la profundidad del *plié* por lo general no hace más que agravar la afección. Mientras que la reducción de la inflamación y las modificaciones en la técnica a veces aportan algún alivio, cuando los síntomas son lo bastante graves como para limitar la movilidad en un grado inaceptable, se suele recomendar cirugía para extirpar las exostosis. Aunque éste sea el único tratamiento definitivo, en algunos casos recidivan las exostosis, y se requiere de nuevo su exéresis, por lo general en un plazo de tres a cuatro años (Hardaker, 1989).

***Síndrome por compresión posterior y síndrome del hueso trígono.*** En contraste con el síndrome por compresión anterior, este otro se presenta en un elevado número de casos en danza, probablemente debido al empleo repetitivo de una flexión plantar extrema del tobillo-pie. En el caso de las bailarinas de ballet, el énfasis se pone en potenciar al máximo la flexión plantar y cumplir con los criterios estéticos y biomecánicos del *pointé*; y no sorprende que el síndrome por compresión posterior se produzca con más frecuencia en las bailarinas que en los bailarines. Durante la flexión plantar extrema, la porción posterior del astrágalo se aproxima a la cara posterior de la tibia. El borde posterior del astrágalo presenta una tuberosidad lateral (llamada apófisis posterior) que normalmente se fusiona con el cuerpo del astrágalo entre los 9 y 12 años de edad (Kadel, Micheli y Solomon, 2000). Sin embargo, en algunos casos esta apófisis no se fusiona y se mantiene como un pequeño hueso separado, que recibe el nombre de **hueso trígono.**

Aunque algunos afirman que el hueso trígono representa en realidad una fractura por sobrecarga de la apófisis posterior (Howse y Hancock, 1988) y que el fracaso de la unión se debe a traumatismos repetitivos, esta conjetura sigue siendo objeto de controversia. Si el hueso trígono está presente, o si la apófisis posterior es especialmente larga (apófisis de Stieda), los tejidos capsulares y sinoviales adyacentes pueden resultar atrapados contra la cara posterior de la tibia, como se ve en la figura 6.50. Cuando el pinzamiento se repite y causa inflamación, estos tejidos blandos pueden aumentar de grosor y volverse fibróticos. Además de síndrome por compresión posterior del tobillo, esta afección recibe otros nombres, como síndrome del hueso trígono.

En el **síndrome por compresión posterior del tobillo**, el paciente suele experimentar dolor, hipersensibilidad y a veces hinchazón en el dorso del tobillo, detrás del maléolo lateral y a nivel profundo del tendón de Aquiles. Este dolor tiende a reproducirse cuando el tobillo-pie adopta flexión plantar completa, como en un *tendu*, *demi-pointé* y sobre todo en *pointé*. La flexión plantar pasiva también puede revelar una repentina detención o punto final duro en el movimiento. A menudo cursa con una reducción de la movilidad pasiva de la flexión plantar y una menor capacidad para apuntar el pie (amplitud activa de flexión plantar). También podría apreciarse debilidad y entumecimiento. El diagnóstico se suele confirmar con radiografías de perfil con el tobillo-pie en flexión plantar completa, como de pie en *pointé* o *demi-pointé*, y con el uso de otras técnicas diagnósticas por la imagen para comprobar la afectación de otros tejidos blandos (Hamilton, 1988; Marotta y Micheli, 1992).

El tratamiento inicial recomendado suele comprender antiinflamatorios no esteroideos, limitación de la flexión plantar en la danza a un grado de movilidad indolora, y fisioterapia que haga hincapié en el restablecimiento del grado de movilidad en flexión plantar, en el fortalecimiento de los músculos flexores plantares del tobillo-pie y en la corrección de cualquier error en la técnica, como un uso insuficiente de los músculos «estribo» en el *relevé*, lo cual podría aliviar la tensión continua en esta área. Si hay afectación dual del músculo flexor largo del dedo gordo, que discurre por el surco medial a la apófisis posterior del astrágalo, también habrá que tratar esta afección. No obstante, las grandes demandas de flexión plantar de las clases de danza pueden entorpecer el éxito del tratamiento conservador, y, si el tratamiento conservador fracasa, a menudo se recomienda la exéresis quirúrgica del hueso trígono a los bailarines profesionales, lo cual suele permitir la vuelta a la danza sin restricciones (Brodsky y Khalil, 1986; Marotta y Micheli, 1992; Weiker, 1988).

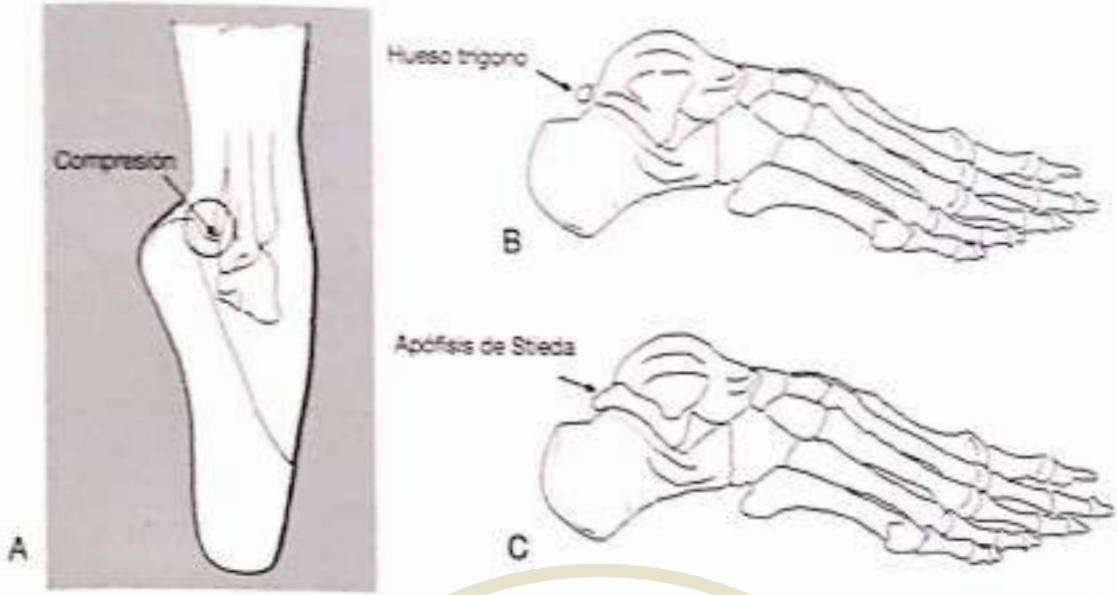



FIGURA 6.50. (A) El riesgo de compresión posterior del tobillo aumenta por la presencia de (B) el hueso trigono y (C) de la apófisis de Stieda (pie derecho, vista de perfil).

### Sesamoiditis

La **sesamoiditis** es una inflamación de los huesos sesamoideos situados dentro del músculo flexor corto del dedo gordo. Debido a su ubicación bajo la base del dedo gordo, estos huesos sesamoideos soportan grandes fuerzas durante movimientos como el *demi-pointé* o el despegue y aterrizaje en saltos. Se conjetura que las superficies duras, el tipo de pie cavo (Spilken, 1990) y los juanetes también aumentan el riesgo de sesamoiditis. En el caso de juanetes inflamados, la tendencia a desplazar el peso del cuerpo más medial o lateralmente para reducir el dolor somete a tensión indebida el hueso sesamoideo de ese lado, mientras que en el caso de juanetes más avanzados, la angulación del primer metatarsiano puede desplazar los huesos sesamoideos de su posición normal y generar una tensión excesiva.

La sesamoiditis se caracteriza por dolor e hipersensibilidad en uno o dos huesos sesamoideos (figura 6.51). Los huesos sesamoideos se localizan en seguida mediante hiperextensión pasiva del dedo gordo (extensión MTF) con una mano al tiempo que se palpan con la otra sobre la cabeza del primer metatarsiano. El dolor también se suele reproducir o agravar en *demi-pointé*.

Además de las modalidades de tratamiento con hielo, antiinflamatorios y fisioterapia, el tratamiento tiene por objetivo reducir la carga que soportan los huesos sesamoideos por medio de varias técnicas de almohadillado. No obstante, la sesamoiditis suele ser difícil de tratar en los bailarines por la extensión del dedo gordo que acompaña a movimientos como el *demi-pointé* y a la fase de despegue del pie durante la locomoción, y que suele agravar la afección. La restricción del *demi-pointé* dentro y fuera de las clases de danza y el empleo de una almohadilla de fieltro en el calzado deportivo relativamente rígido, o el uso de vendajes para limitar la hiperextensión del dedo gordo (Dyal y Thompson, 1997), se pueden utilizar temporalmente para controlar los síntomas. Sin embargo, si el dolor persiste, habrá que evaluar otras causas potenciales de dolor, como fracturas por sobrecarga o fracturas de los huesos sesamoideos. Detectar una fractura o una fractura por sobrecarga no siempre es tan sencillo como cabría esperar, ya que aproximadamente del 6% al 30% de los pies presentan huesos sesamoideos divididos en dos o más porciones desde el nacimiento (huesos sesamoideos bipartitos o multipartitos) y que son asintomáticos (Van Hal *et al.*, 1982). Las radiografías o gammagrafías óseas secuenciales, o ambas, se emplean a menudo para obtener el diagnóstico específico. En algunos casos persistentes, se requiere tratamiento quirúrgico (Conti y Wong, 2001).

### Neuroma de Morton

El **neuroma de Morton** implica proliferación de tejido fibroso fusiforme (pequeño tumor benigno) en torno a un nervio sensitivo del pie, como se aprecia en la figura 6.52. Este nervio discurre entre cada par de metatarsianos y se divide cerca del final de éstos para situarse en los lados adyacentes de los dedos contiguos. Debido a su ubicación entre los metatarsianos y los ligamentos que cursan entre los metatarsianos, estos nervios sensitivos son vulnerables a la compresión, y se cree que esta compresión repetida causa la evaginación del nervio y el neuroma (Dyal y Thompson,

FIGURA 6.51. Foco habitual de dolor e hipersensibilidad en lesiones de los huesos sesamoideos (pie derecho, vista inferior).

FIGURA 6.52. Neuroma de Morton (pie derecho, vista superior).

1997). Este neuroma es más habitual en el tercer espacio interdigital (espacio entre el III y IV metatarsianos), seguido en frecuencia por el segundo espacio interdigital (entre el II y el III metatarsianos).

El neuroma de Morton provoca un dolor agudo, eléctrico o urente en la región del tercer (o segundo) espacio interdigital, que puede irradiar a los dedos adyacentes. El entumecimiento u hormigueo pueden ser evidentes también en los dedos adyacentes. Por lo general, este dolor se puede reproducir o agudizar comprimiendo con suavidad el antepié o ejerciendo presión entre los metatarsianos apropiados. El dolor también se suele agudizar cuando se lleva calzado estrecho, sobre todo zapatos de tacón alto y estrechos, y se alivia al quitarse los zapatos.

El tratamiento consiste en antiinflamatorios y el uso de calzado de calle y ballet más ancho. El uso de una almohadilla de fieltro detrás de las cabezas de los metatarsianos (Ryan y Stephens, 1987) y la corrección de cualquier problema técnico que pudiera agravar la afección, como el desplazamiento excesivo del peso lateralmente, en ocasiones alivian la compresión. Resulta interesante que esta afección a menudo se mitigue al cabo de los años aun cuando no se haya tratado (Weiker, 1988), si bien el dolor puede ser discapacitante y la cirugía suele resolver el problema (Brown, 2002, correspondencia personal).

## Resumen

La articulación del tobillo propiamente dicha es una trocleartrosis que sobre todo permite flexión dorsal y flexión plantar. Esta articulación presenta una poderosa estructura ósea reforzada por la presencia de ligamentos colaterales laterales y mediales muy resistentes. Debajo y delante de la articulación del tobillo, la articulación subastragalina y la articulación transversa del tarso contribuyen ligeramente a aumentar la flexión plantar y la flexión dorsal del tobillo, y también permiten inversión, eversión, abducción y aducción del pie. Juntas, estas articulaciones posibilitan movimientos combinados de pronación y supinación. Las articulaciones MTF son condíleas y permiten flexión, extensión, ligera abducción y aducción de los dedos del pie en los metatarsianos. Las articulaciones IF son trocleartrosis que permiten flexión y extensión de los dedos en sí. Estas articulaciones adicionales presentan cápsulas y ligamentos que dotan de estabilidad adicional al complejo del tobillo-pie. Doce músculos intrínsecos y doce músculos extrínsecos permiten mover el pie y el tobillo. Los músculos extrínsecos presentan una arquitectura lógica en la que los músculos anteriores generan flexión dorsal; los músculos laterales, eversión; los músculos posteriores, flexión plantar, y los músculos mediales, inversión del tobillo o el pie. Muchos de estos músculos también ejercen acciones adicionales, importantes para la movilidad, la distribución del peso del cuerpo y el mantenimiento de los arcos plantares.

La disposición de los arcos plantares es importante para afrontar los diversos desafíos de la estabilidad y la movilidad. Con el pie en supinación, éste se vuelve más estable por el arco longitudinal medial, permitiendo un eficaz contacto inicial del pie con el suelo o propulsión del cuerpo. En contraste, la pronación desbloquea el pie, haciéndolo más flexible, lo que le permite acomodarse a superficies irregulares

y absorber las grandes fuerzas asociadas con el movimiento. Las diferencias individuales en la formación del arco plantar influyen en la capacidad del pie para enfrentarse a estas diversas demandas, siendo los rígidos pies cavos estables pero menos capaces de amortiguar los choques, y los flexibles pies planos más aptos para acomodarse a las irregularidades aunque menos estables.

Aunque la pronación y supinación son movimientos normales del pie, su exceso es fácil que cause problemas podales. Aprender a apoyar óptimamente el pie en el suelo en ortostatismo, a alinear correctamente la rodilla con el pie y a coordinar el empleo de los músculos «estribo» ayuda a desarrollar las destrezas de la danza. De forma similar, el fortalecimiento de los músculos «estribo» y otros, y su estiramiento para alcanzar la flexión dorsal y la flexión plantar adecuadas, mejoran la función del tobillo y el pie y previenen lesiones. Si se produce una lesión, un tratamiento eficaz y una rehabilitación agresiva son vitales para prevenir recidivas o inestabilidad y para asegurar la vuelta con éxito a la danza.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Localiza los siguientes huesos y puntos óseos de referencia en un esqueleto o un dibujo de un esqueleto, y luego sobre tu propio cuerpo: (a) tibia y maléolo medial, (b) peroné y maléolo lateral, (c) astrágalo, (d) calcáneo, (e) cuboides, (f) navicular y su tuberosidad, (g) huesos cuneiformes, (h) metatarsianos y su base y cabeza, (i) falanges (proximal, media y distal), (j) huesos sesamoideos.

2. Dibuja los siguientes músculos en un dibujo de un esqueleto, y traza una flecha para indicar la línea de tracción de cada uno. A continuación, junto a cada músculo, enumera sus acciones: (a) gastrocnemio, (b) sóleo, (c) tibial anterior, (d) tibial posterior, (e) peroneo largo, (f) peroneo corto.

3. Localiza los siguientes músculos en un compañero o en tu propio cuerpo, practica o haz que el compañero practique las acciones que generan estos músculos, y palpa su contracción durante dichos movimientos: (a) gastrocnemio, (b) sóleo, (c) tibial anterior, (d) extensor largo del dedo gordo, (e) extensor largo de los dedos, (f) tibial posterior, (g) flexor largo del dedo gordo, (h) flexor largo de los dedos, (i) peroneo largo, (j) peroneo corto.

4. Observa a un compañero en ortostatismo por detrás, y fíjate en la posición del retropié. ¿De qué forma influye en la pronación podal la presencia de retropié valgo o varo?

5. Explora el concepto de acoplamiento de la pierna y el pie. Fíjate en lo que ocurre en la pierna cuando el pie se mueve en inversión y en eversión. Luego fíjate en lo que le sucede al pie cuando la pierna rota internamente y cuando lo hace externamente. ¿Qué relación guarda este acoplamiento con los movimientos *en dehors* y pronación en la danza?

6. Trabajando con un compañero, ejecuta los movimientos fundamentales del tobillo y el pie (flexión plantar, flexión dorsal, inversión y eversión) en las siguientes situaciones:

   a. Cuando el pie está en contacto con el suelo (cadena cinética cerrada).

   b. Cuando el pie tiene libertad de movimiento (cadena cinética abierta).

   A continuación, usa un movimiento de danza que sirva de ejemplo de estas variaciones de los movimientos fundamentales del tobillo-pie, y describe el grupo muscular principal y los músculos escogidos usados para generar estos movimientos.

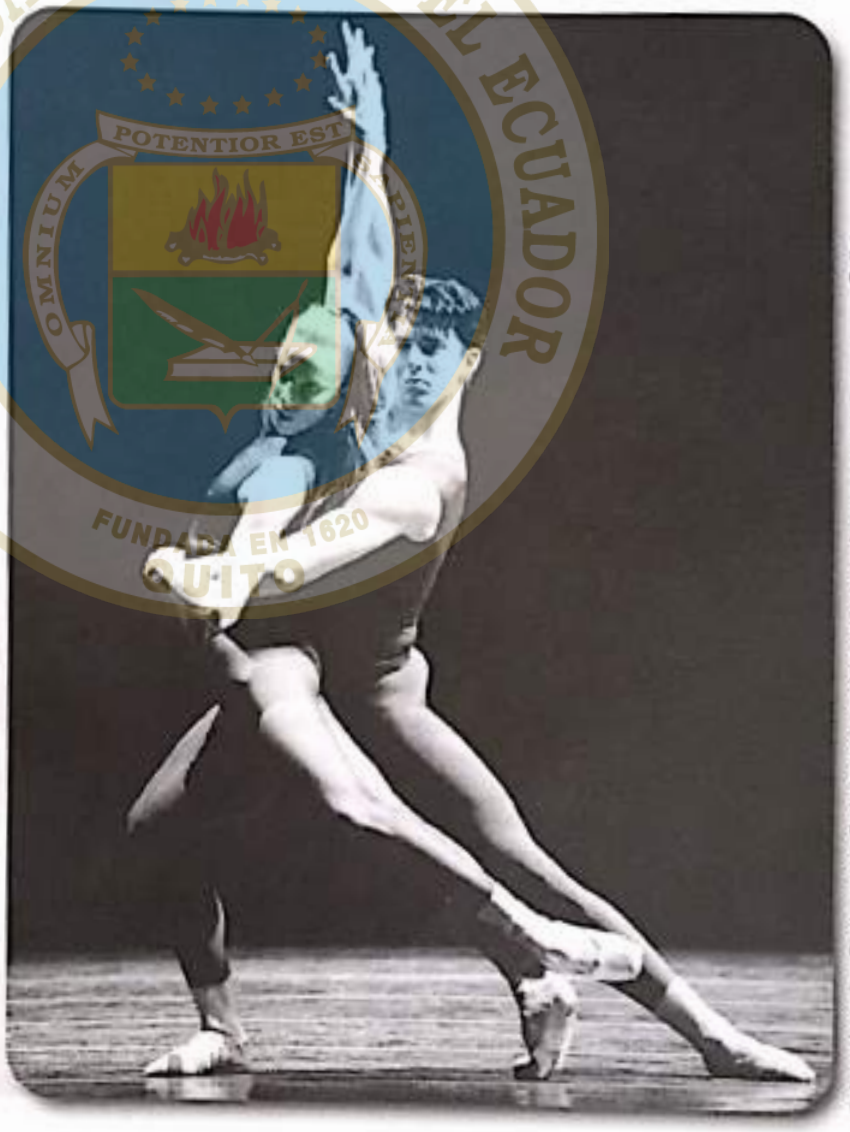
7. Pon de ejemplo dos ejercicios para estirar los músculos gastrocnemio y sóleo. ¿De qué modo la posición de la rodilla influye en el mayor estiramiento de uno u otro músculo?

8. Describe la forma de intentar corregir a un bailarín que emplea pronación excesiva durante un *plié* mediante cambios en el pie, pierna y cadera. ¿Qué método crees que resultará mejor a largo plazo y por qué?

9. Pon el ejemplo de un ejercicio de fortalecimiento que sea muy importante para prevenir las siguientes lesiones, e identifica el grupo de músculos trabajado con el ejercicio: (a) esguince lateral de tobillo, (b) síndrome tibial por sobrecarga.

10. Una bailarina ha tenido problemas para practicar múltiples *pirouettes en dehors* y sigue desequilibrándose hacia fuera durante los giros. Su profesora ha reparado en la inversión del pie mientras se produce el giro. Describe la forma en que los músculos «estribo» del pie guardan relación con este error en la técnica y cómo se podrían usar para corregir el problema. Identifica los ejercicios de fuerza adecuados que se puedan usar para prevenir el movimiento indeseado del pie, así como tres órdenes para tratar de conseguir los ajustes deseados en la técnica.

# La extremidad superior



© Angela Sterling Photography. Ballerinas: Casey Herd y Melanie Skinner, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST
FUNDADA EN 1620
QUITO

Las extremidades superiores, que comprenden la cintura escapular, los brazos y las manos, son el objetivo de este capítulo. Los brazos están íntimamente conectados con los movimientos de la cintura escapular, y por ello ésta y la articulación glenohumeral (del hombro) se deben considerar como una unidad funcional. La cintura escapular y la articulación del hombro se caracterizan por un diseño que potencia al máximo la movilidad necesaria para extender los brazos, asir, levantar y lanzar objetos. Esta movilidad hace que el desarrollo de la fuerza muscular específica y su activación sean importantes para aplicar una técnica correcta y prevenir lesiones. En la danza, el uso sutil y muy específico de los brazos suele ser necesario para cubrir las exigencias estéticas de la escuela de danza o de un coreógrafo concreto. En algunos casos, el uso estilizado de los brazos es vital para manifestar la cualidad emocional exigida al movimiento de danza. Además, durante el *porté*, los brazos suelen intervenir para sostener a la compañera, así como para expresar una relación entre los bailarines, tal como se ve en la fotografía de la página anterior.

La extremidad superior será objeto de estudio en este capítulo. Mientras que los deportes de lanzamiento, la natación, la halterofilia y la gimnasia imponen mucha tensión sobre las extremidades superiores, la danza tiende a imponer más tensión sobre las extremidades inferiores. Por eso, la extremidad superior no se trata con tanto detalle como la extremidad inferior en este libro, y el interés se centrará sobre todo en la articulación glenohumeral. Los temas tratados son los siguientes:

- Huesos y puntos óseos de referencia del complejo del hombro.
- Estructura articular y movimientos de la cintura escapular.
- Estructura articular y movimientos del hombro.
- Descripción y funciones de los músculos específicos del complejo del hombro.
- Alineación y desviaciones habituales del complejo del hombro.
- Mecánica del hombro.
- Análisis muscular de los movimientos fundamentales del hombro.
- Consideraciones especiales sobre el complejo del hombro en la danza.
- Otras articulaciones de la extremidad superior.
- Descripción y funciones de los músculos específicos del codo.
- Estructura y movimientos de las articulaciones radiocubitales.
- Consideraciones clave sobre la extremidad superior respecto al movimiento del cuerpo.
- Ejercicios de acondicionamiento para la extremidad superior.
- Lesiones de la extremidad superior en los bailarines.

## Huesos y puntos óseos de referencia del complejo del hombro

El complejo del hombro comprende la clavícula, la escápula y el húmero a ambos lados del cuerpo. Vista desde arriba, la clavícula tiene forma de una S extendida, convexa en sentido anterior por su porción medial y cóncava anteriormente por su porción lateral (figura 7.1). El extremo medial (esternal) de la clavícula se ensancha ligeramente, mientras que el extremo lateral (acromial) se ensancha mucho más y se aplana; dichas formas ayudan a su articulación con los huesos adyacentes respectivos.

La escápula es un hueso plano, grande y de forma triangular que, por lo general, se desliza sobre la cara posterior de la caja torácica. En este hueso se insertan muchos músculos, y se emplean muchos puntos óseos de referencia para aclarar sus puntos de inserción. Como se aprecia en la figura 7.2, la escápula presenta tres bordes, uno medial (vertebral), uno lateral (axilar) y uno superior, así como tres ángulos (**ángulos superior, inferior y lateral**). También cuenta con dos superficies: la superficie anterior, que se halla cerca de las costillas, se denomina **superficie costal**, mientras que la superficie posterior se denomina **superficie dorsal**. La superficie costal es un poco hueca para formar la **fosa subescapular**. La superficie dorsal está dividida por una gran **espina** en un área superior más pequeña pero más profunda llamada **fosa supraespinosa**, y otra área inferior más grande pero menos profunda llamada **fosa infraespinosa**. La espina escapular termina lateralmente en una gran apófisis aplastada llamada **acromion** (G. *akron*, punta, + *omos*, hombro). Esta apófisis se articula con la clavícula para formar la articulación acromioclavicular. El ángulo lateral de la escápula termina –antes de crear un verdadero ángulo– en un área cóncava que se llama **cavidad glenoidea** (G. *glenoeides*, cono de articulación). Justo medial a esta cavidad glenoidea, una gran apófisis con forma de pico se proyecta hacia delante desde la escápula y recibe el nombre de **apófisis cora-**

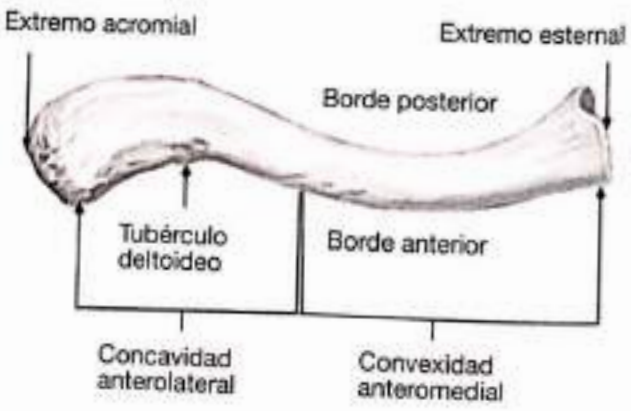



FIGURA 7.1. La clavícula (clavícula derecha, vista superior).

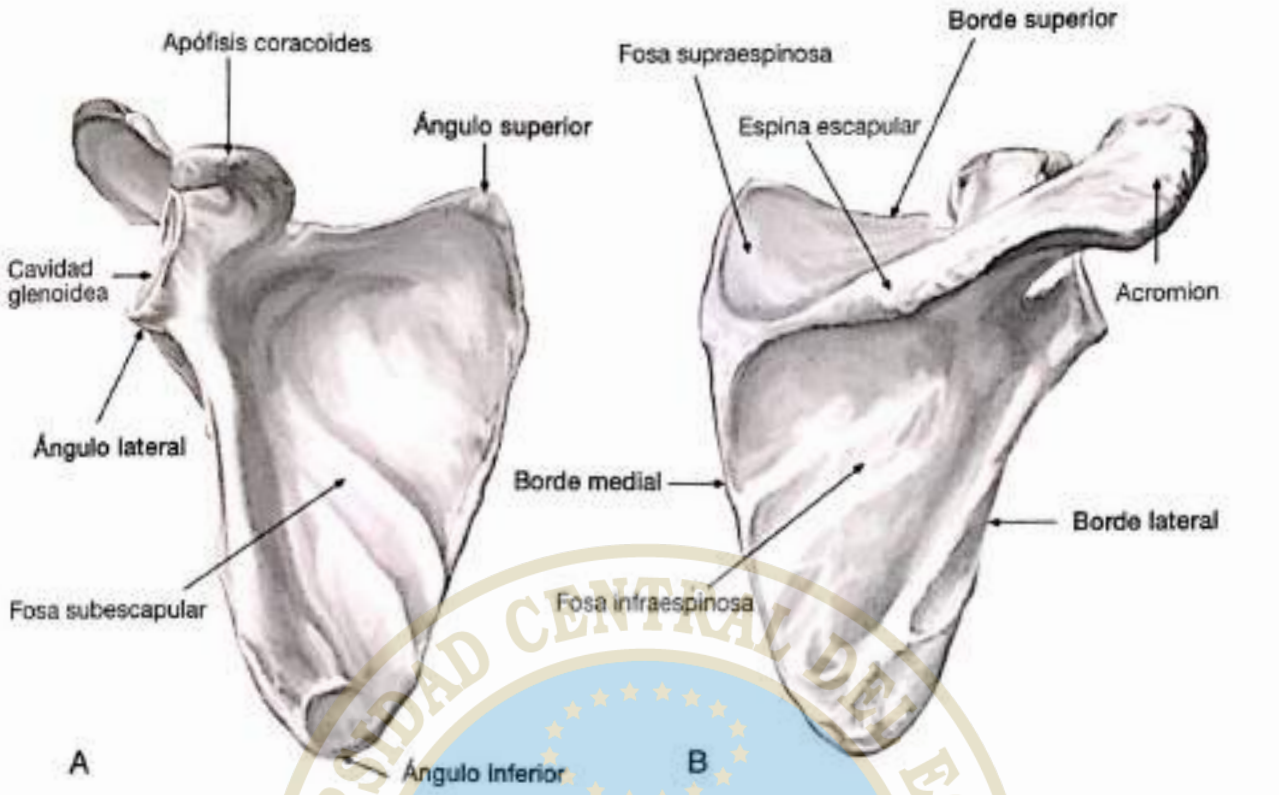



FIGURA 7.2. Puntos óseos de referencia de la escápula (escápula derecha). (A) Superficie costal; (B) superficie dorsal.

**coides** (G. *korakodes*, como el pico de un cuervo). Esta apófisis sirve de punto de inserción a músculos y ligamentos clave del hombro y la cintura escapular. Con su ubicación por encima de la cavidad glenoidea, el acromion y la apófisis coracoides ayudan a proteger la articulación del hombro.

El húmero es un hueso largo de cuerpo cilíndrico que cambia de forma por ambos extremos y es relativamente similar en estructura al fémur (figura 7.3). En su extremo proximal, el húmero se expande para formar su cabeza redondeada, cuya porción medial se articula con la cavidad glenoidea y forma la articulación del hombro. Ligeramente distal a esta superficie articular y en la cara anterior del húmero se encuentra medialmente el **tubérculo menor** y lateralmente el **tubérculo mayor.** El tubérculo mayor o troquiter se puede palpar justo debajo del acromion cuando el brazo pende junto al costado en una posición de rotación interna. El ligero estrechamiento del húmero, entre la superficie articular de la cabeza del húmero y los tubérculos mayor y menor, se denomina **cuello anatómico,** mientras que la región donde se unen cabeza y tubérculos con el cuerpo del húmero se denomina **cuello quirúrgico.** Los tubérculos menor y mayor están separados entre sí por un surco llamado **surco intertubercular.** El tendón de la cabeza larga del bíceps braquial discurre por dicho surco. Por lo general se puede palpar este surco con dos dedos debajo del acromion con el brazo en rotación externa completa y el codo junto al costado. Si se sigue el surco intertubercular brazo abajo, su porción lateral termina en una prominencia rugosa a medio camino del húmero denominada **tuberosidad deltoidea** (el lugar de inserción de las fibras distales del músculo deltoides). Los puntos anatómicos de referencia del extremo distal del húmero se describirán más adelante al hablar de la articulación del codo.

## Estructura articular y movimientos de la cintura escapular

La cintura escapular se puede describir como un anillo incompleto formado por las dos clavículas y las dos escápulas (figura 7.4). En sentido anterior, las dos clavículas se articulan con el esternón y el cartílago de la primera costilla (primer cartílago costal) para formar la **articulación esternoclavicular** (figura 7.4B).

La articulación esternoclavicular se puede clasificar como una articulación sellar (Moore y Agur, 1995), y contiene un disco articular de fibrocartílago que divide la cavidad articular en dos y sirve de amortiguador. Esta pequeña articulación sirve de único anclaje óseo de toda la extremidad superior en el esqueleto axial. Sin embargo, la articulación esternoclavicular está rodeada por una cápsula fi-

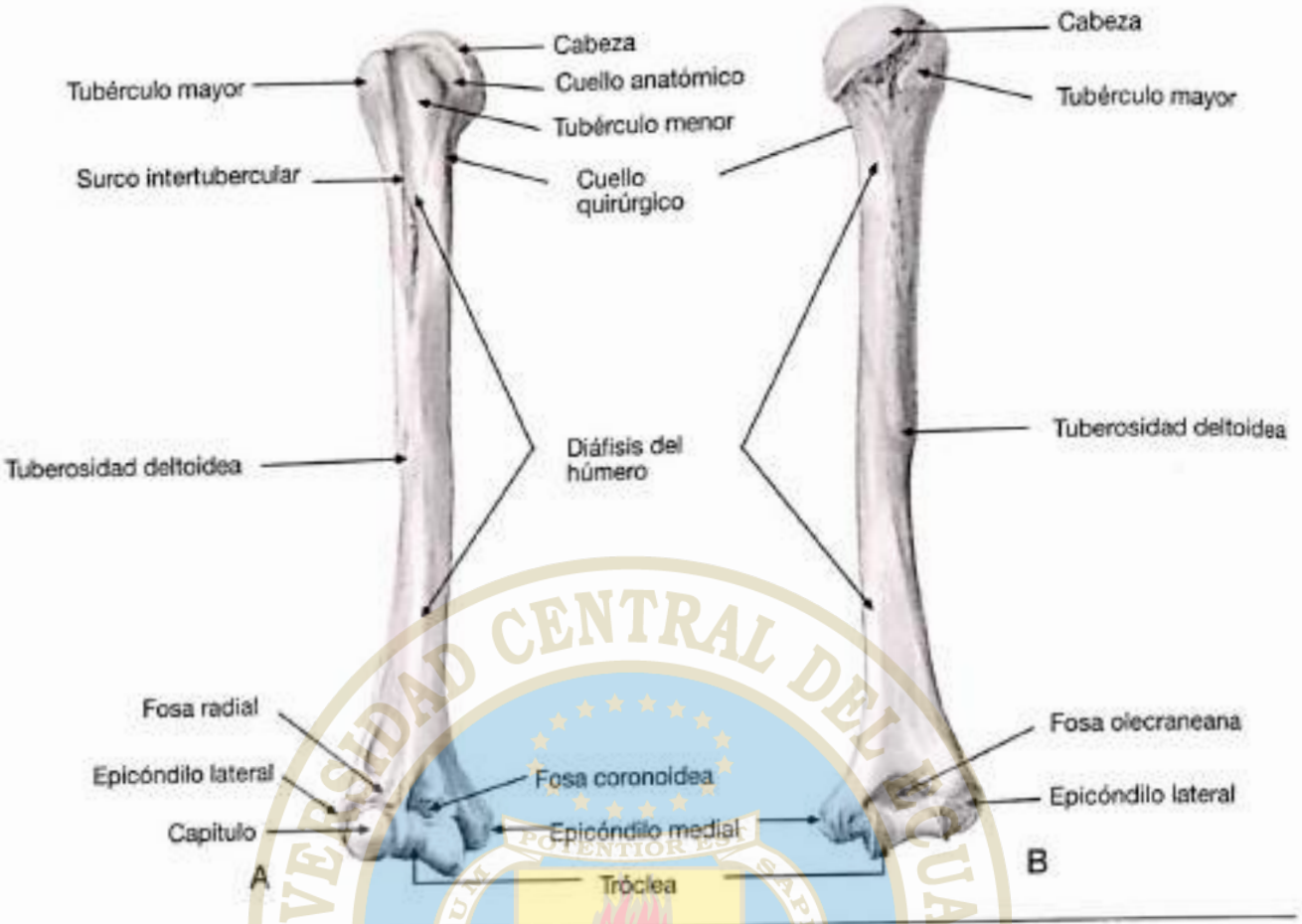



FIGURA 7.3. Puntos óseos de referencia del húmero derecho. (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

brosa reforzada por poderosos ligamentos, y es una articulación estable que pocas veces sufre luxaciones.

Lateralmente, las dos clavículas se articulan con los acromiones de sus escápulas respectivas en las **articulaciones acromioclaviculares** (figura 7.4A). Esta articulación plana (Moore y Agur, 1995) está rodeada por una cápsula y se refuerza con distintos ligamentos poderosos. Estos ligamentos limitan la amplitud de movimiento posible de esta articulación y previenen que la clavícula y el acromion se separen (Kreighbaum y Barthels, 1996). Sin embargo, no son muy eficaces para impedir que la clavícula se monte sobre el acromion cuando el hombro sufre un golpe lateral, y dos poderosos ligamentos cercanos (los ligamentos coracoclaviculares trapezoideo y conoideo) que unen la clavícula con la escápula a través de la apófisis coracoides aportan sujeción indirecta para impedir esta luxación.

Funcionalmente, los movimientos de la articulación esternoclavicular, y en menor grado los de la articulación acromioclavicular, colaboran en los movimientos de la cintura escapular. Es menos complejo describir los movimientos combinados de estas articulaciones en términos de la movilidad resultante de la escápula. Estos movimientos de la escápula sobre el tórax a veces se consideran movimientos en las «**articulaciones**» **escapulotorácicas,** aunque no sean articulaciones verdaderas. Posibles pares de movimientos de las escápulas son ascenso-descenso, abducción-aducción y rotación superior-inferior (figura 7.5) (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

Durante la **elevación,** la escápula en conjunto se mueve hacia arriba y hacia la oreja. Este movimiento ocurre cuando nos encogemos de hombros, como en las aislaciones de jazz. La **depresión** es el movimiento opuesto a la elevación y comprende el desplazamiento hacia abajo de toda la escápula. En ortostatismo, la gravedad tiende a deprimir las escápulas cuando los músculos elevadores de la escápula dejan de contraerse. Sin embargo, cuando el peso del cuerpo se apoya en las manos con los brazos a los lados, los músculos depresores escapulares deben contraerse para mantener las escápulas abajo e impedir su ascenso, y para estabilizarlas de modo que se pueda elevar el tronco. La **abducción** o protracción de las escápulas implica el alejamiento de las escápulas de la columna vertebral y una de otra, lo cual a veces se denomina «ensanchamiento de los omoplatos». La **aducción** o retracción de las escápulas es el movimiento opuesto, y consiste en el acercamiento de las escápulas entre sí y hacia la columna vertebral; en danza, esto a veces se denomina «pinzamiento de los

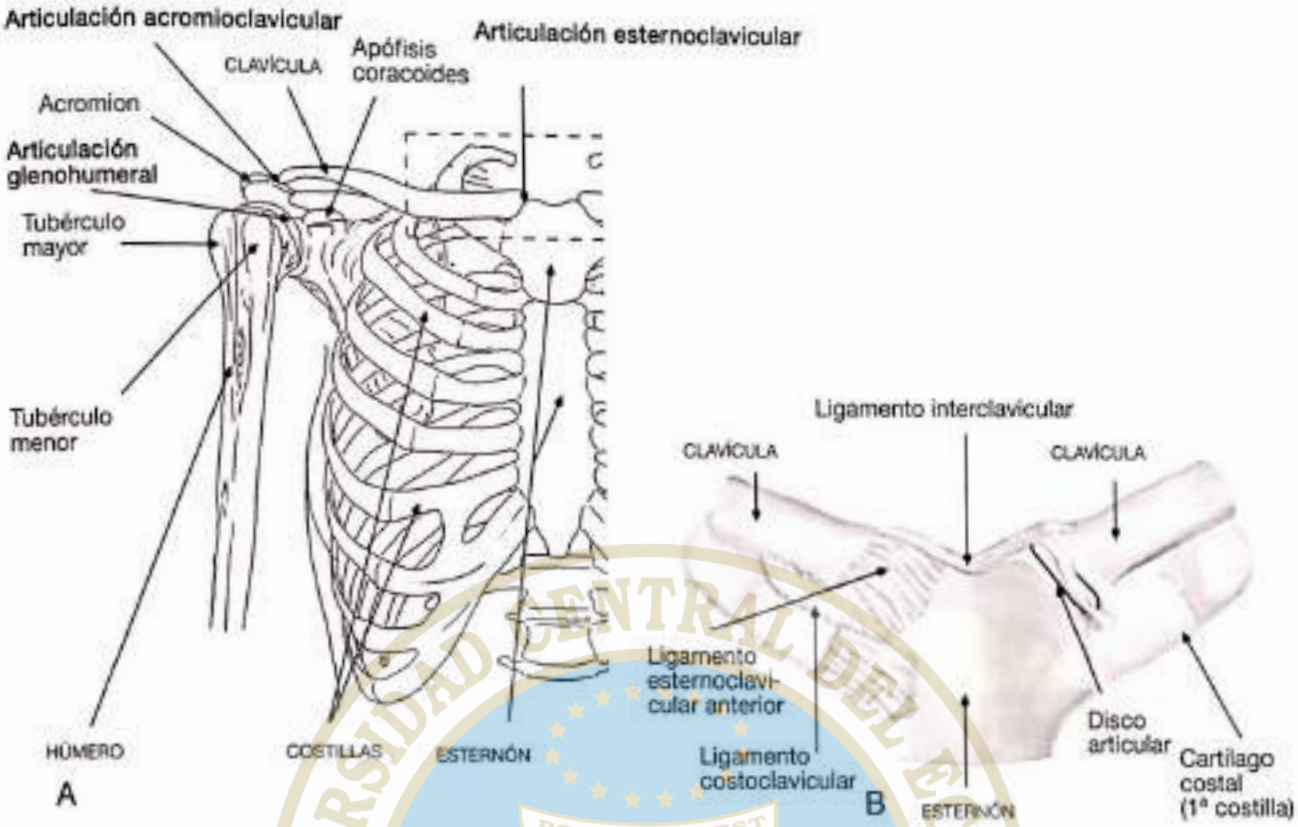



FIGURA 7.4. Huesos y articulaciones del complejo del hombro (vista anterior). (A) Articulación glenohumeral, articulación acromioclavicular y articulación esternoclavicular; (B) vista más detallada de la articulación esternoclavicular.

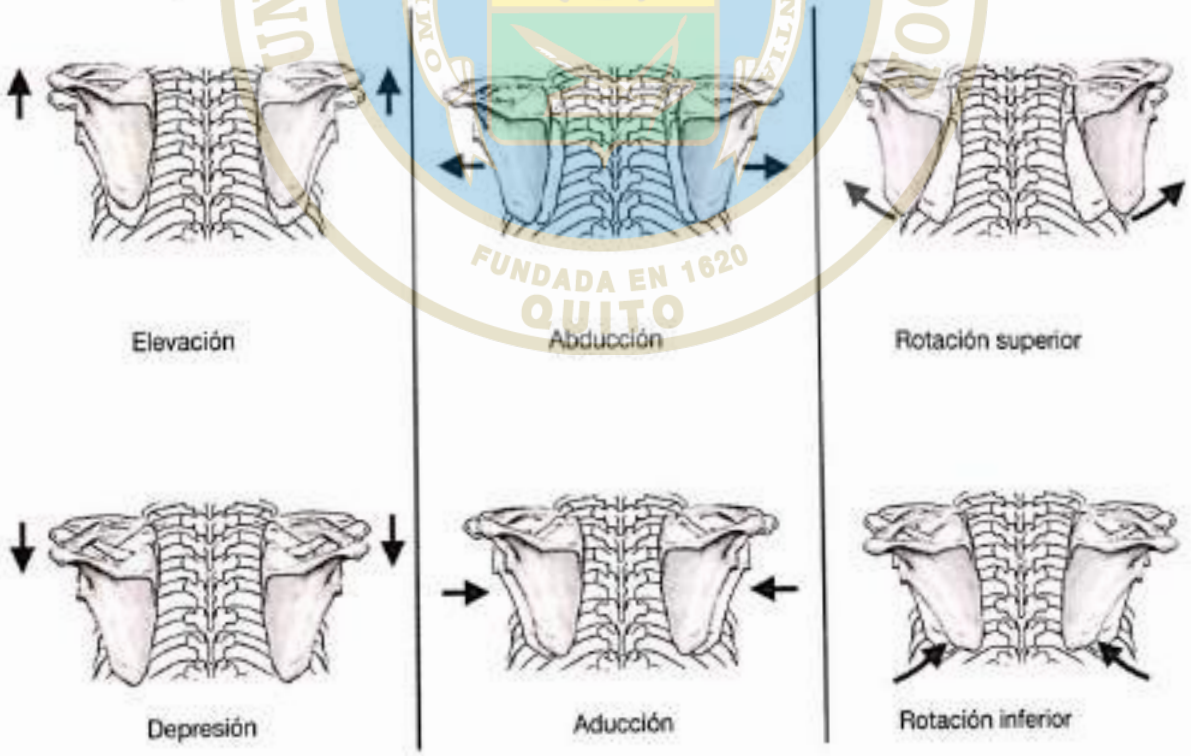



FIGURA 7.5. Movimientos de las escápulas.

omoplatos». La **rotación superior** de la escápula consiste en el giro de la escápula sobre un eje que atraviesa la espina escapular, de modo que la cavidad glenoidea asciende mientras el ángulo inferior se mueve lateral y anteriormente sobre el tórax. Este movimiento es difícil de generar de forma aislada, pero es esencial y acompaña a los movimientos del brazo por encima de la cabeza. El movimiento opuesto, la **rotación inferior**, implica una rotación hacia abajo de la cavidad glenoidea. Se puede exagerar poniendo la mano detrás de la región lumbar. Algunos autores también incluyen inclinaciones, que no serán tratadas en este libro.

Fíjate en que estos movimientos no tienen un par exacto en la extremidad inferior, porque los huesos de la pelvis no se pueden mover con independencia. Sin embargo, los movimientos de la cintura pélvica en conjunto respecto a la columna vertebral a nivel de la articulación lumbosacra desempeñan una función similar, la de ajustar la relación de la pelvis de modo que se favorezcan los movimientos del fémur. No obstante, una diferencia importante es que, debido a la unión relativamente rígida de la pelvis en sentido posterior con el sacro (en las articulaciones sacroilíacas), el movimiento de un lado de la pelvis tiene un efecto directo sobre el lado opuesto. En contraste, debido a que las escápulas sólo se unen muscularmente por detrás, el movimiento de una escápula y brazo puede darse con independencia con un efecto mínimo sobre la posición o función del brazo contralateral.

## Estructura articular y movimientos del hombro

Mientras que los movimientos de la escápula descritos le permiten facilitar los movimientos del brazo, éstos se producen en la articulación formada por la cavidad glenoidea de la escápula y la cabeza del húmero. Esta articulación se llama articulación del hombro o glenohumeral (véase la figura 7.4A). La articulación glenohumeral es una articulación esferoidea triaxial. Tanto la cabeza del húmero como la cavidad glenoidea están recubiertas por cartílago articular. Esta cavidad glenoidea es poco profunda y sólo de un cuarto a un tercio de la cabeza casi semiesférica del húmero entra en contacto con ella (Frankel y Nordin, 1980). Además, la forma de la cavidad glenoidea es menos curva y más elongada (piriforme), mientras que la cabeza del húmero es más esférica (Caillet, 1996), por lo que, en vez de girar simplemente sobre un eje fijo, el eje de rotación se desplaza mientras la articulación glenohumeral se mueve y la cabeza del húmero se traslada linealmente además de rotar (Hall, 1999). Así, la articulación del hombro representa una articulación esferoidea muy compleja, y mucho menos estable y más propensa a la luxación y a la subluxación recurrentes que la articulación coxofemoral.

Como sucede con otras articulaciones esferoideas, la articulación del hombro presenta tres grados de movimiento: flexión-extensión aproximadamente en el plano sagital (figura 7.6A); abducción-aducción aproximadamente en el plano frontal, y rotación interna-externa aproximadamente en el plano transversal (figura 7.6B). Los términos especializados de abducción y aducción horizontales (figura 7.6C) se dan a los movimientos del brazo en el plano horizontal con el brazo a la altura del hombro. Además, como sucede con la articulación de la cadera, muchos movimientos que ocurren en la danza no se producen en planos anatómicos exactos. Algunos libros usan un término especializado, abducción en el plano de la escápula (*scaption*) para uno de estos tipos de movimiento. Como la cavidad glenoidea se orienta un poco anterior al plano frontal, algunos autores afirman que un movimiento más natural es la abducción en el plano de la escápula en vez de la abducción pura en el plano frontal. Otro término único usado en la articulación del hombro es elevación. El término elevación se suele usar para describir el alejamiento del húmero del costado del cuerpo en cualquier plano. Fijémonos en que se trata de un movimiento del brazo, en contraste con la «elevación» usada para describir el movimiento de la escápula. Muchos de los movimientos de la articulación glenohumeral se dan en un grado de movilidad muy amplio, y la articulación del hombro es la más móvil del cuerpo humano (Hall, 1999).

### Cápsula y ligamentos clave de la articulación del hombro

La articulación del hombro está rodeada por una cápsula fibrosa con forma de manguito y revestida de una membrana sinovial que se inserta proximalmente en el perímetro de la cavidad glenoidea. Distalmente, se inserta en el cuello anatómico del húmero, excepto medialmente, donde se inserta un poco más abajo en el húmero. La cápsula es laxa; por ejemplo, cuando el brazo está junto al costado, hay pliegues colgantes en la porción inferior de la cápsula medial que permiten elevar el brazo lateralmente y por encima de la cabeza. Esta laxitud de la cápsula permite potencialmente 2,5-5 centímetros de separación entre el húmero y la escápula (Hamilton y Luttgens, 2002). Sin embargo, a pesar de sus limitaciones, la cápsula sigue siendo vital para la estabilidad articular (Warner *et al.*, 1990).

La cápsula articular está reforzada por distintos ligamentos, como se ve en la figura 7.7. En sentido anterior, la cápsula está reforzada por los **ligamentos glenohumerales superior, medio** e **inferior.** Estos ligamentos previenen el desplazamiento o traslación excesivos del húmero, sobre todo hacia delante. El ligamento glenohumeral inferior ha mostrado ser una restricción especialmente clave para prevenir la traslación anterior de la cabeza del húmero en los grados superiores de abducción del hombro (Warner *et al.*, 1990), mientras que los ligamentos glenohumerales medio y superior ofrecen resistencia a la traslación anterior en los

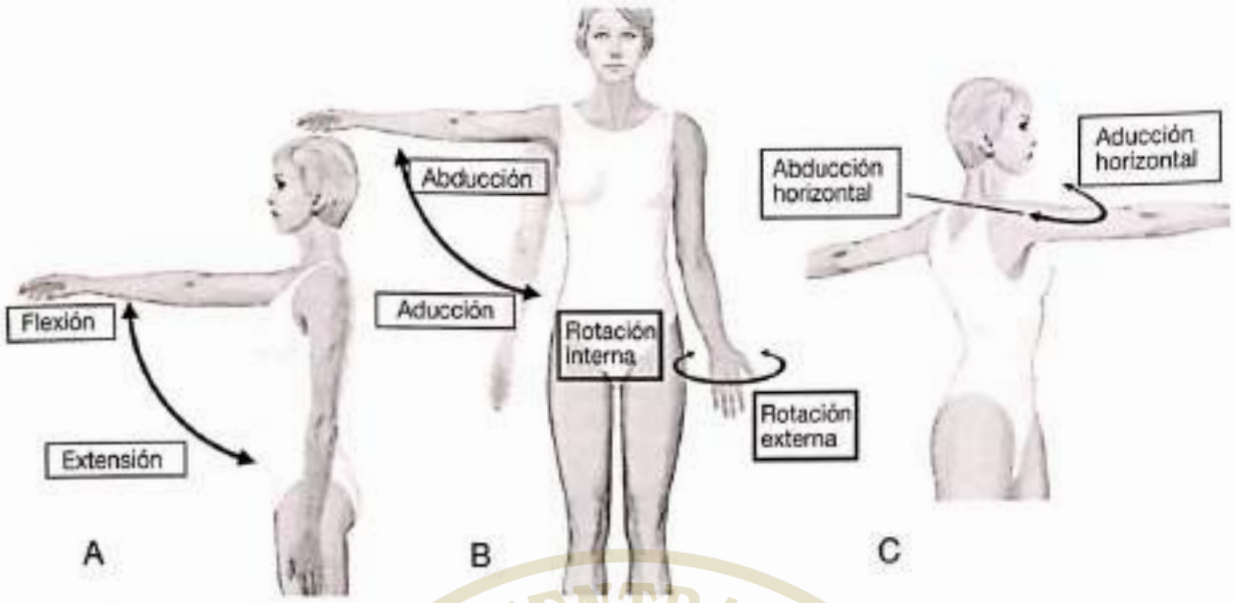



FIGURA 7.6. Movimientos de la articulación del hombro. (A) Flexión-extensión; (B) abducción-aducción y rotación interna-externa; (C) abducción horizontal-aducción horizontal.

grados inferiores de abducción. El ligamento glenohumeral superior también es vital para prevenir la traslación inferior de la cabeza del húmero (Cavallo y Speer, 1998).

En sentido superior, la cápsula está reforzada por el **ligamento coracohumeral** (no se muestra). Este ligamento se extiende desde la base de la apófisis coracoides y entra en la cápsula para insertarse en los tubérculos mayor y menor del húmero, ayudando a formar un conducto entre estos tubérculos por el que discurre el tendón de la cabeza larga del músculo bíceps braquial.

Un ligamento afín, el **ligamento coracoacromial**, se expande entre la apófisis coracoides y el acromion de la escápula para ayudar a formar un arco por encima de la cabeza del húmero. Este arco, compuesto por la apófisis coracoides, el ligamento coracoacromial y el acromion, se denomina **arco coracoacromial** (Lyons y Orwin, 1998). Los ligamentos coracohumeral y coracoacromial ayudan a prevenir la luxación superior del húmero, y el segundo puede estar implicado en la compresión del hombro. Clásicamente, el **síndrome por compresión del hombro** *(impingement)* describe el pinzamiento de los tejidos blandos, como el tendón del supraespinoso o la bolsa subacromial, entre la cabeza del húmero y el arco coracoacromial situado encima.

## *Estructuras especializadas de la articulación glenohumeral*

Distintas estructuras especializadas asociadas con el hombro ofrecen estabilidad adicional a la articulación y ayudan a la función del hombro. Estas estructuras comprenden el rodete glenoideo y distintas bolsas.

### Rodete glenoideo

El **rodete glenoideo** es un anillo de fibrocartílago situado en el perímetro de la cavidad glenoidea (figura 7.7B), funcionalmente similar al presente en la articulación coxofemoral (rodete acetabular).

El rodete glenoideo es más grueso en torno a la circunferencia que centralmente. Sirve para aumentar el tamaño y profundidad de la cavidad glenoidea, incrementando el diámetro superoinferior un 75% y el diámetro anteroposterior un 50% (Richards, 1999). Además, el rodete ofrece un lugar de inserción a la cápsula articular, a los ligamentos glenohumerales y a distintos tendones como el de la cabeza larga del bíceps braquial. El rodete glenoideo es vital para la estabilidad articular, así como para aumentar la superficie del área de contacto de la cabeza del húmero (Levine y Flatlow, 2000) y aumentar el efecto amortiguador contra los impactos asociados con los movimientos forzados de los brazos.

### Bolsas

Hay distintas bolsas situadas en la articulación del hombro. Dos bolsas, situadas a nivel profundo del músculo deltoides, separan y almohadillan los músculos del manguito

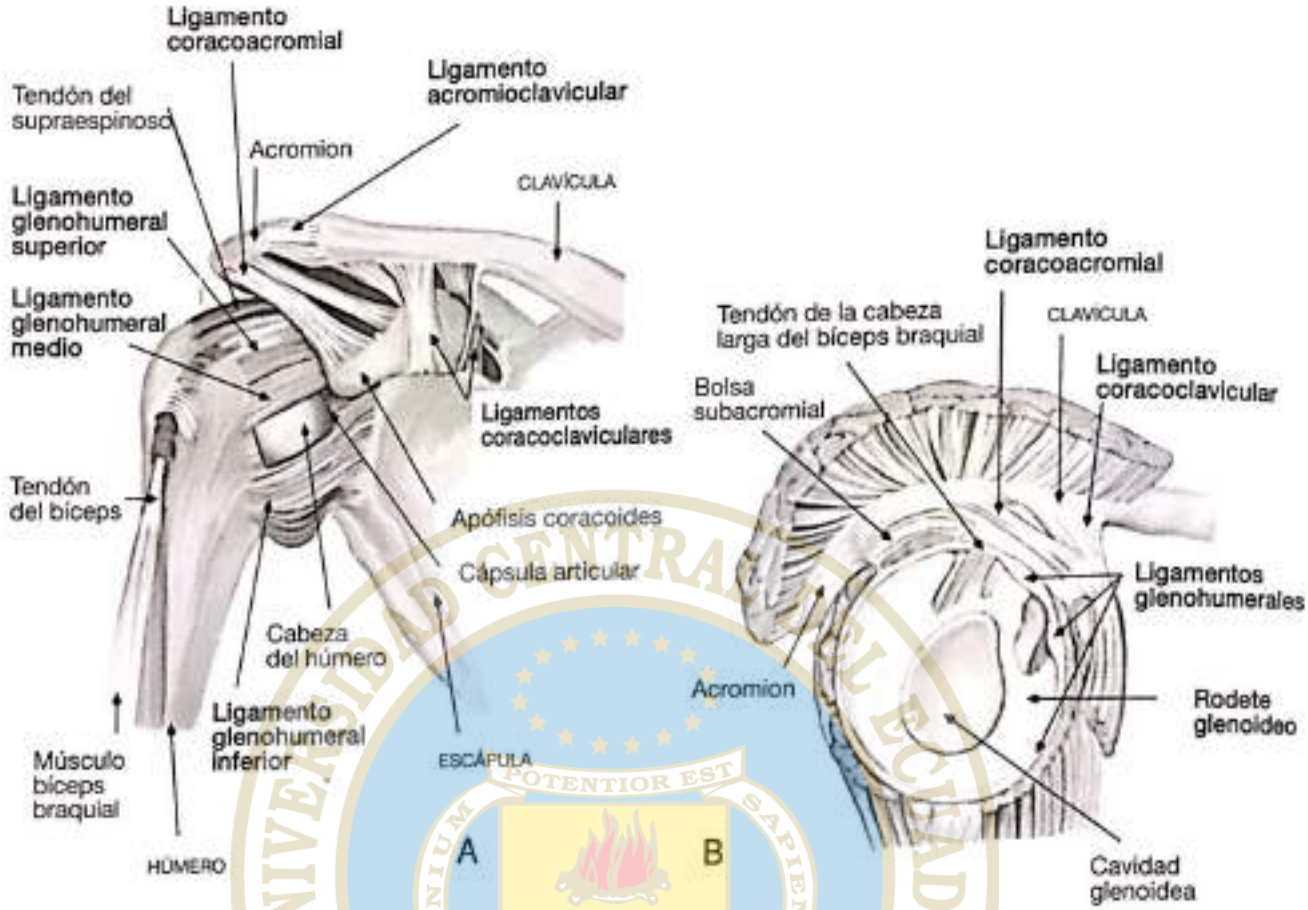



FIGURA 7.7. Articulación glenohumeral (hombro derecho). (A) Vista anterior; (B) vista de perfil con la cabeza del húmero retirada.

de los rotadores del arco coracoacromial; son las bolsas **subdeltoidea** y **subcoracoidea**. En algunas ocasiones se inflaman. Estas bolsas se localizan cerca una de otra, y a veces se conectan, por eso a menudo reciben el nombre colectivo de **bolsa subacromial** (figura 7.7B) (Mercier, 1995).

### *Músculos*

La articulación ósea y el rodete glenoideo ofrecen una estabilidad limitada, y los ligamentos glenohumerales y la cápsula representan sobre todo restricciones en los grados máximos del movimiento; de ahí que los músculos que circundan la articulación sean esenciales para la estabilidad (sobre todo en los grados medios de movilidad del hombro), así como para el movimiento (Park, Blaine y Levine, 2002). Este papel estabilizador queda demostrado por el hecho de que, cuando estos músculos están paralizados, la articulación del hombro tiende a sufrir subluxaciones, porque el peso del brazo separa la cabeza humeral de la cavidad glenoidea. Esta observación ha acuñado la expresión de que el hombro es una «articulación músculo-dependiente». Por eso, contar con fuerza suficiente y bien equilibrada y una activación coordinada de los músculos de esta región son esenciales para el óptimo funcionamiento y la prevención de lesiones.

## Descripción y funciones de los músculos específicos del complejo del hombro

Hay muchas formas en que los músculos del complejo del hombro se pueden organizar y describir. Este libro ha elegido un enfoque funcional, dividiendo los músculos en tres grupos: los músculos escapulares, el manguito de los rotadores y otros músculos glenohumerales importantes. (Véase Músculos específicos del complejo del hombro, págs. 381-394.)

# Músculos específicos del complejo del hombro

## *Músculos escapulares*

Los **músculos escapulares** son seis músculos que conectan la escápula con el esqueleto axial (cráneo, columna vertebral y caja torácica). Estos músculos sirven para mantener la escápula en su sitio (estabilización) y para generar los movimientos de la escápula antes descritos. La importancia de estos músculos a menudo se infravalora y, sin embargo, desempeñan un papel vital en movimientos funcionales de los brazos. Por ejemplo, los músculos elevadores de la escápula son esenciales para la eficacia de los movimientos de levantamiento; los depresores escapulares, para empujar hacia abajo con eficacia; los abductores escapulares, para empujar hacia delante; los aductores escapulares, para los movimientos de tracción; los rotadores superiores escapulares, para elevar el brazo por encima de la cabeza, y los rotadores inferiores escapulares, para la aducción forzada del brazo.

Los músculos escapulares se dividen por su localización en anteriores y posteriores. Los músculos anteriores son: subclavio, pectoral menor y serrato anterior. Debido a su pequeño tamaño y a su mínima contribución a los movimientos escapulares, el músculo subclavio no se tratará más aquí. En cambio, los otros dos músculos conectan la escápula con la cara anterior de la caja torácica y comparten la capacidad de ejercer tracción sobre la escápula en sentido anterior (abducción escapular). Los músculos escapulares posteriores son: trapecio, romboides y elevador de la escápula. Estos músculos conectan la escápula con la columna vertebral y ejercen tracción sobre el omoplato posteriormente (aducción escapular). Los músculos escapulares también desempeñan otras acciones que se describen a continuación y se resumen en la tabla 7.1 en la página 384.

**Inserciones y acciones principales del músculo trapecio**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Trapecio | Base del cráneo<br>Ligamento nucal<br>Apófisis espinosas de C7-T12 | Tercio externo de la clavícula<br>Porción superior del acromion<br>Porción superior de la espina escapular | Porción superior:<br>Elevación escapular<br>Rotación superior escapular<br>Aducción escapular<br>Porción media:<br>Aducción escapular<br>Porción inferior:<br>Depresión escapular<br>Rotación superior escapular<br>Aducción escapular |

### *Trapecio*

El **trapecio** (*trapezion*, figura irregular de cuatro lados) es un músculo par superficial situado en el dorso del cuello y en la porción superior de la espalda a ambos lados de la línea media (figura 7.8). Este par de músculos relativamente planos reciben su nombre del hecho de que juntos forman un diamante o trapecio. Debido a su forma, al trapecio también se le conoce como el músculo «chal» (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Dada la distinta línea de tracción e inervación de las distintas porciones del trapecio, éste se divide en las fibras superiores, medias e inferiores. Para visualizar sus acciones, es útil trazar mentalmente la línea de tracción de estas tres porciones. La porción superior cursa hacia abajo y lateralmente; la porción media es más horizontal, y la porción inferior cursa hacia arriba y afuera. En conjunto, el trapecio tiende a generar rotación superior y aducción de la escápula.

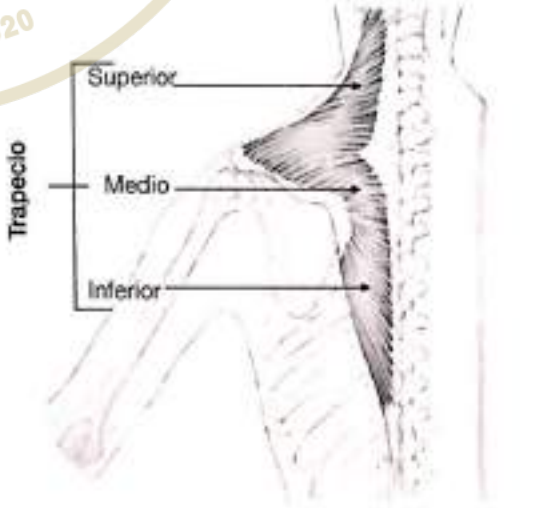



FIGURA 7.8. Músculos escapulares posteriores superficiales: trapecio (escápula izquierda).

Para entender la forma en que el trapecio genera rotación superior, es importante reparar en que se inserta en la porción superior de la escápula, formando un par de fuerzas (véase el capítulo 2) mediante el cual la porción inferior del trapecio ejerce tracción descendente sobre el borde medial de la escápula mientras las fibras superiores ejercen tracción ascendente sobre el acromion. La acción combinada genera rotación en la misma dirección, es decir, rotación superior de la escápula. Esta rotación acompaña a la elevación del brazo, y por eso el trapecio se activa siempre que se eleva el brazo lateralmente (abducción del hombro) y durante los grados superiores de la elevación del brazo al frente (flexión del hombro). La porción inferior del trapecio también tiende a deprimir la escápula, y esta función a menudo se potencia en la danza. En contraste, la porción superior del trapecio tiende a elevar la escápula (como cuando te encoges de hombros) y ofrece sujeción al extremo distal de la clavícula y al acromion de la escápula. Esta última función se desempeña cuando se sostiene en la mano un objeto pesado, como una maleta (Hamilton y Luttgens, 2002). En tales casos, se experimenta tensión y a menudo fatiga o dolor en las fibras superiores del trapecio. Esta última función de soporte lateral también afecta la postura del hombro, dado que la debilidad del trapecio puede derivar en una postura inferior y adelantada del hombro afectado como consecuencia de la rotación inferior de la escápula por el peso del brazo y de la abducción escapular (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Cuando la cabeza tiene libertad de movimiento, las fibras superiores del trapecio ayudan a la extensión, flexión lateral y rotación (hacia el lado opuesto) de la columna cervical.

*Palpación.* Pon los dedos de la mano izquierda justo detrás del tercio externo de la clavícula derecha con el brazo derecho por encima de la cabeza. Podrás percibir la porción superior del trapecio contrayéndose cuando diriges el hombro derecho hacia la oreja (elevación escapular) en esta posición. Con un compañero, podrás palpar la porción inferior del trapecio contrayéndose medial al ángulo inferior de la escápula cuando el compañero ejerza tracción activa para acercar los omoplatos y hacerlos bajar (depresión y aducción escapulares). También puedes ver y palpar todo el músculo contrayéndose cuando el compañero junta los omoplatos con los codos justo por encima de la altura de los hombros (aducción escapular).

**Inserciones y acciones principales del músculo elevador de la escápula**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Elevador de la escápula | Apófisis transversas de C1 a C4 o C5 (de la espina al borde superior) | Borde medial de la escápula | Elevación escapular<br>Rotación inferior escapular<br>Ayuda a la aducción escapular |

## *Elevador de la escápula*

El **elevador de la escápula** es un músculo pequeño situado detrás de la porción superior del trapecio y que se extiende desde las vértebras cervicales superiores hasta el borde superior medial de la escápula (figura 7.9). Por tanto, su línea de tracción es casi vertical, con una ligera progresión lateral en su curso inferior. Su acción principal es la elevación de la escápula, con capacidad para contribuir ligeramente a la aducción escapular. En ortostatismo, debido al peso del brazo, que ejerce tracción descendente sobre la cavidad glenoidea, la contracción de este músculo también tiende a generar rotación inferior de la escápula (Rasch y Burke, 1978; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La pérdida de este músculo se asocia con depresión del hombro, sobre todo cuando el trapecio tampoco funciona adecuadamente. La pérdida de ambos músculos se asocia con un encorvamiento pronunciado de los hombros y con delgadez del cuello. Cuando la cabeza tiene libertad de movimiento, el elevador de la escápula puede producir flexión lateral y rotación (hacia el mismo lado) de la columna cervical.

*Palpación.* Como el elevador de la escápula se halla debajo del trapecio y suele trabajar junto con él, resulta difícil de palpar de forma aislada.

FIGURA 7.9. Músculos escapulares posteriores profundos: elevador de la escápula y romboides (escápula izquierda).

**Inserciones y acciones principales del músculo romboides**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Romboides | Apófisis espinosas de C6 o C7 a T4 o T5 | Borde medial de la escápula, desde la espina al ángulo inferior | Elevación escapular<br>Aducción escapular<br>Rotación inferior escapular |

## *Romboides*

El romboides (G. *rhombos*, con forma de diamante) es un músculo par situado debajo del músculo trapecio (figura 7.9). Su nombre deriva del hecho de que tiene forma de rombo. A menudo se divide en una porción superior más delgada y débil, llamada **romboides menor**, y una porción inferior más gruesa y fuerte llamada **romboides mayor**. El romboides se extiende hacia abajo y afuera desde la columna vertebral hasta el borde medial de la escápula. Su línea de tracción es parecida a la del trapecio, excepto por que se inserta en el borde medial de la escápula. Por tanto, la contracción del romboides produce rotación inferior de la escápula en vez de rotación superior. También eleva y mueve la escápula en aducción. Como la rotación inferior de la escápula acompaña a la aducción o extensión del hombro, los músculos romboides se contraen cuando se practican estos movimientos de forma forzada o contra una resistencia.

*Palpación.* Con un compañero de pie con el dorso de su mano derecha apoyado en la región lumbar, pon los dedos debajo de la porción inferior del borde medial de la escápula derecha. Luego, haz que el compañero eleve la mano derecha hacia atrás (alejándola de la espalda) y sentirás la contracción del romboides para generar la rotación inferior de la escápula.

**Inserciones y acciones principales del músculo serrato anterior**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Serrato anterior | Cara lateral externa de las 8 ó 9 costillas inferiores | Ángulo inferior y borde medial de la escápula | Abducción escapular<br>Rotación superior escapular<br>Depresión escapular (fibras inferiores) |

## *Serrato anterior*

El **serrato anterior** (*serratus*, sierra) debe su nombre a la forma dentada de su borde anterior y se puede ver en la porción anterolateral de la caja torácica debajo de la axila. Discurre desde las 8 ó 9 costillas inferiores, pasa anteriormente a la escápula y va a insertarse en el ángulo inferior y a todo lo largo del borde medial de la escápula (figura 7.10). Parte de la porción anterior de este músculo está cubierta por el músculo pectoral mayor, y posteriormente está cubierto por la escápula. Las cuatro o cinco cintillas inferiores se interdigitan con las fibras de los músculos oblicuos externos del abdomen. El músculo serrato anterior fija con eficacia la porción medial de la escápula a la superficie del tórax. La línea de tracción lo convierte en un eficaz abductor de la escápula. Las fibras inferiores del serrato anterior y del trapecio también forman un par de fuerzas para la rotación superior de la escápula (figura 7.11), usado cuando se levantan los brazos hacia los lados (abducción del hombro) y al frente (flexión del hombro). Además, las fibras inferiores del músculo serrato anterior ayudan a la depresión escapular.

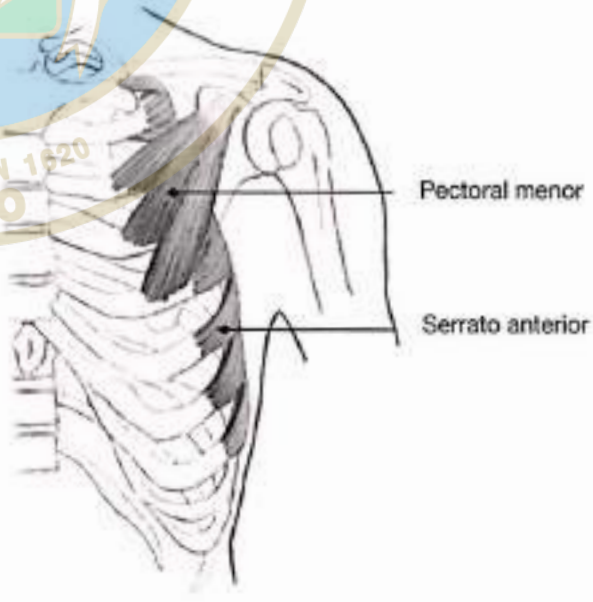



FIGURA 7.10. Músculos escapulares anteriores: serrato anterior y pectoral menor (hombro izquierdo, nivel profundo).

Funcionalmente, el serrato anterior se muestra activo en los movimientos de empuje, de extensión del brazo hacia delante, en lanzamientos y *press* de banca. En los movimientos de empuje, el músculo serrato anterior es vital para estabilizar la escápula y que la presión sobre la mano extendida no provoque que la escápula se mueva posteriormente. También se ha mostrado muy activo en natación (Nuber *et al.*, 1986). La importancia del serrato anterior en la rotación superior se manifiesta en la dificultad de elevar los brazos por encima de la altura de los hombros (o incluso en la incapacidad de hacerlo) cuando este músculo está paralizado. La pérdida de este músculo también se asocia con la proyección posterior del borde medial de la escápula (a lo cual se denomina escápula «alada») y el desplazamiento anterior inadecuado de la escápula sobre el tórax (abducción escapular), cuando el brazo se extiende hacia delante (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996).

*Palpación.* De pie con los dedos de la mano izquierda sobre la cara anterolateral de las costillas, justo delante de la porción inferior del borde lateral de la escápula. Se puede percibir la contracción del serrato anterior cuando el brazo derecho se eleva hacia delante por encima de la cabeza.

FIGURA 7.11. Par de fuerzas formado por el trapecio y el serrato anterior para la rotación superior de la escápula (escápula derecha, vista posterior).

**Inserciones y acciones principales del músculo pectoral menor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Pectoral menor | Superficie externa de la II o III costillas a la V costilla | Apófisis coracoides de la escápula | Abducción escapular<br>Rotación inferior escapular<br>Depresión escapular |

## *Pectoral menor*

Como su nombre implica, el pectoral menor (*pectus*, pecho, + *minor*, más pequeño) es un pequeño músculo situado en el área superior del pecho (a nivel profundo del pectoral mayor), como se ve en la figura 7.10. El pectoral menor se extiende hacia arriba y afuera desde las costillas superiores hasta insertarse en la apófisis coracoides de la escápula. Debido a su línea de tracción, tiende a generar abducción, depresión

**Tabla 7.1. Resumen de las acciones de los músculos escapulares**

| | Rotación superior escapular | Rotación inferior escapular | Elevación escapular | Depresión escapular | Abducción escapular | Aducción escapular |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fibras superiores del trapecio | X | | X | | | X |
| Fibras medias del trapecio | | | | | | X |
| Fibras inferiores del trapecio | X | | | X | | X |
| Elevador de la escápula | | X | X | | | X |
| Romboides | | X | X | | | X |
| Serrato anterior | X | | | X (fibras inferiores) | X | |
| Pectoral menor | | X | | X | X | |

y rotación inferior de la escápula. Sin embargo, es probable que actúe en el control motor fino y ayude a los músculos escapulares antes descritos en vez de actuar como motor principal (Moseley *et al.*, 1992). Posturalmente, puede ejercer tracción sobre el borde medial y particularmente sobre el ángulo inferior de la escápula alejándolos de la caja torácica (escápula alada). No obstante, si la escápula está adecuadamente estabilizada, la contracción del pectoral menor elevará las costillas superiores y contribuirá a una postura elevada del pecho (Hamilton y Luttgens, 2002), lo cual a menudo se emplea en danza como parte de la presentación.

## Manguito de los rotadores

El **manguito de los rotadores** se compone de los cuatro músculos que se expanden entre la escápula y la porción proximal del húmero: supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y subescapular. Estos músculos forman un manguito en torno a la cabeza del húmero, y sus tendones se fusionan con la cápsula de la articulación glenohumeral proporcionando una fuerza neta de compresión que ayuda a estabilizar la cabeza del húmero en la cavidad glenoidea. Además de ayudar a mantener el húmero en contacto con la cavidad glenoidea, estos músculos generan una rotación que a menudo se emplea para posicionar la cabeza del húmero o el brazo y facilitar una mecánica óptima. Algunos de estos músculos también desempeñan otras acciones en la articulación del hombro.

**Inserciones y acciones principales del músculo supraespinoso**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Supraespinoso | Porción interna de la fosa supraespinosa de la escápula | Porción superior del tubérculo mayor del húmero (troquiter) | Abducción del hombro<br>Estabilización del hombro |

### Supraespinoso

El **supraespinoso** es un músculo pequeño pero importante localizado bajo la porción superior del músculo trapecio. Como su nombre implica, el supraespinoso tiene su origen por encima de la espina escapular, en la fosa supraespinosa, y se extiende lateralmente hasta insertarse en la punta del húmero (figura 7.12). Cerca de la punta del hombro, las fibras del supraespinoso convergen y forman un tendón corto que discurre por debajo del acromion y se adhiere a la cápsula. Este tendón es un punto habitual de lesiones. La línea superior de tracción de este músculo le permite ser un abductor eficaz del hombro, y parece ser especialmente importante para iniciar la abducción cuando el brazo pende junto al costado (Hall-Craggs, 1985). A pesar de su pequeño tamaño, se ha demostrado que el supraespinoso es capaz de generar abducción completa del brazo cuando el deltoides no es operativo, y se calcula que contribuye normalmente con el 50% del torque abductor cuando el deltoides es operativo (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Su línea de tracción también permite a este músculo ejercer tracción sobre el húmero hacia la cavidad glenoidea y ayuda a prevenir la luxación descendente del hombro.

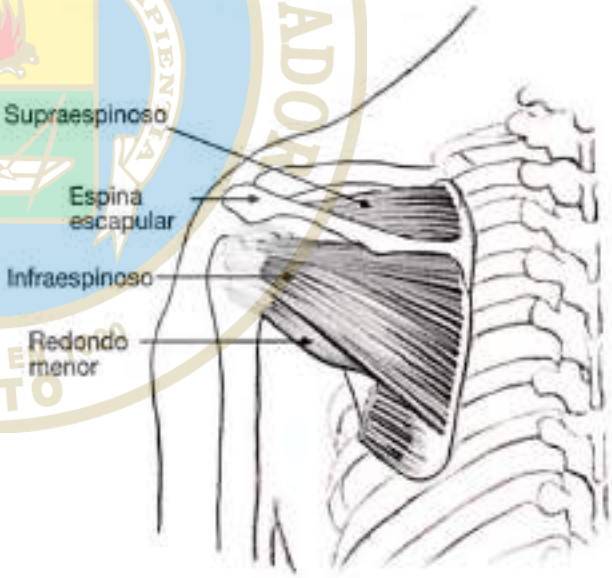



FIGURA 7.12. Vista posterior de los músculos del manguito de los rotadores: supraespinoso, infraespinoso y redondo menor (hombro izquierdo, nivel profundo).

*Palpación.* Pon los dedos de la mano izquierda justo encima de la espina de la escápula derecha. Apreciarás la contracción del músculo supraespinoso debajo del trapecio cuando elevas rápida y repetidamente el brazo unos 20 centímetros lateralmente (abducción del hombro).

**Inserciones y acciones principales de los músculos infraespinoso y redondo menor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Infraespinoso | Porción medial de la fosa infraespinosa de la escápula | En la parte media del tubérculo mayor del húmero | Rotación externa del hombro<br>Estabilización del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Componente del par de fuerzas SIR |
| Redondo menor | Cara dorsal del borde lateral de la escápula | Porción inferior del troquiter y la diáfisis adyacente del húmero | Igual que el infraespinoso |

## *Infraespinoso y redondo menor*

El infraespinoso y el redondo menor son los músculos alineados funcionalmente que se localizan en el dorso de la escápula (figura 7.12). Como su nombre implica, el infraespinoso se extiende desde debajo de la espina escapular (fosa infraespinosa, región medial) lateralmente y hacia arriba hasta insertarse en la cara posterior del tubérculo mayor en el dorso del húmero. El **redondo menor** se extiende desde el borde inferolateral de la escápula y se inserta justo debajo del infraespinoso sobre el tubérculo mayor y en la diáfisis adyacente del húmero. Como en el supraespinoso, los tendones de estos músculos se adhieren a la cápsula del hombro y son importantes para prevenir la luxación del hombro. Estos músculos generan rotación externa y abducción horizontal del hombro. También participan del par de fuerzas SIR, un par de fuerzas vital para la mecánica correcta del hombro y del que se hablará más adelante en este capítulo.

*Palpación.* Sentado en una silla, inclina el tronco 30° hacia delante y pon los dedos de la mano izquierda justo por fuera del borde lateral de la escápula derecha mientras el brazo derecho pende recto junto al costado y hacia el suelo. El infraespinoso y el redondo menor se pueden palpar cuando el brazo rota lenta y externamente en esta posición. La contracción del infraespinoso se palpa justo debajo de la porción lateral de la espina escapular. La contracción del redondo menor se aprecia justo debajo del infraespinoso.

**Inserciones y acciones principales del músculo subescapular**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Subescapular | Superficie costal de la escápula (fosa subescapular) | Tubérculo menor del húmero (troquín) | Rotación interna del hombro<br>Estabilización del hombro<br>Componente del par de fuerzas SIR |

## *Subescapular*

Como su nombre sugiere, el subescapular se localiza a nivel profundo de la escápula (figura 7.13). El subescapular discurre lateralmente, hacia arriba y un poco hacia delante desde su inserción en la superficie costal de la escápula hasta insertarse en el tubérculo menor del húmero. Esta inserción más anterior en el húmero permite al subescapular actuar de rotador interno del húmero y ayuda a prevenir la subluxación o luxación anterior de este hueso. Este músculo también previene la luxación inferior del hombro. Debido a la inclinación de la cavidad glenoidea, la luxación descendente del húmero requiere un desplazamiento lateral de la cabeza del húmero, que pueden prevenir los músculos con una línea de tracción horizontal como el subescapular, el infraespinoso y el redondo menor (Hamilton y Luttgens, 2002). Además, el subescapular forma parte del par de fuerzas SIR.

*Palpación.* Sentado en una silla, inclina el tronco hacia delante hasta quedar casi horizontal y coloca los

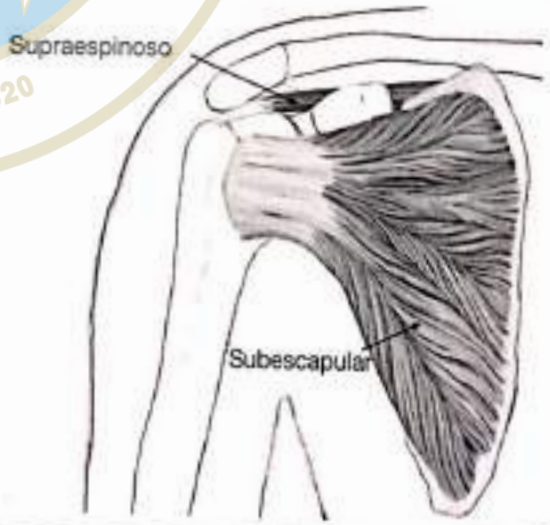



FIGURA 7.13. Vista anterior de los músculos del manguito de los rotadores: subescapular y supraespinoso (hombro derecho, a nivel profundo de la superficie costal de la escápula).

dedos de la mano izquierda con suavidad en la porción inferior de la axila derecha contra la superficie costal de la escápula mientras el brazo derecho cuelga hacia el suelo. La contracción del músculo subescapular se puede palpar cuando el brazo rota lenta e internamente en esta posición.

## Otros músculos glenohumerales importantes

El grupo restante de músculos presentan mayores dimensiones y conectan el húmero con el tronco (incluidos las costillas, clavícula, esternón, escápula, columna vertebral y pelvis). Estos músculos son importantes para generar grandes movimientos del brazo. Además de los músculos descritos en esta sección, el bíceps braquial y la cabeza larga del tríceps braquial también cruzan la articulación del hombro, y de ellos se hablará en relación con el codo más adelante en este capítulo.

**Inserciones y acciones principales del músculo pectoral mayor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Pectoral mayor | Dos tercios internos de la cara anterior de la clavícula<br>Esternón<br>Cartílago costal de las costillas I o II a VI o VII cerca del esternón | Surco intertubercular del húmero que se extiende hacia abajo 7.6 centímetros desde los tubérculos | Fibras claviculares:<br>Flexión del hombro<br>Abducción del hombro por encima de 90°<br>Ayuda a la aducción del hombro (amplitud menor)<br>Fibras esternales:<br>Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Ambas:<br>Aducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro |

### Pectoral mayor

Como su nombre sugiere, el **pectoral mayor** es un gran músculo superficial localizado en el pecho, y su desarrollo es fácil de observar en el área de la porción superior del pecho (figura 7.14). El borde inferolateral del pectoral mayor forma un pliegue muscular (pliegue axilar anterior), así como la mayor parte de la pared anterior de la axila. El pectoral mayor se extiende lateralmente desde la porción interna de la clavícula, el esternón y los cartílagos costales de las seis costillas superiores hasta insertarse mediante un tendón plano en el surco intertubercular del húmero. Cerca de la inserción distal, el músculo se tuerce 180° *dextrorsum*, quedando retorcido en la posición anatómica, y sin torsión cuando los brazos se levantan por encima de la cabeza. El músculo tiene forma de abanico y a menudo se divide en una porción clavicular o superior y otra inferior o esternal. La línea de tracción de la porción clavicular es tal que puede generar flexión del hombro y ayudar a la aducción del hombro. Sin embargo, cuando el brazo está por encima de la altura del hombro, la línea de tracción se desplaza por encima del eje articular del hombro y entonces puede generar la acción opuesta de abducción del hombro (véase el capítulo 2, figura 2.9, pág. 44). En contraste, la inserción proximal de la porción esternal está lo bastante baja como para generar con consistencia aducción del hombro (y extensión si el brazo está en una posición inicial de flexión). Ambas por-

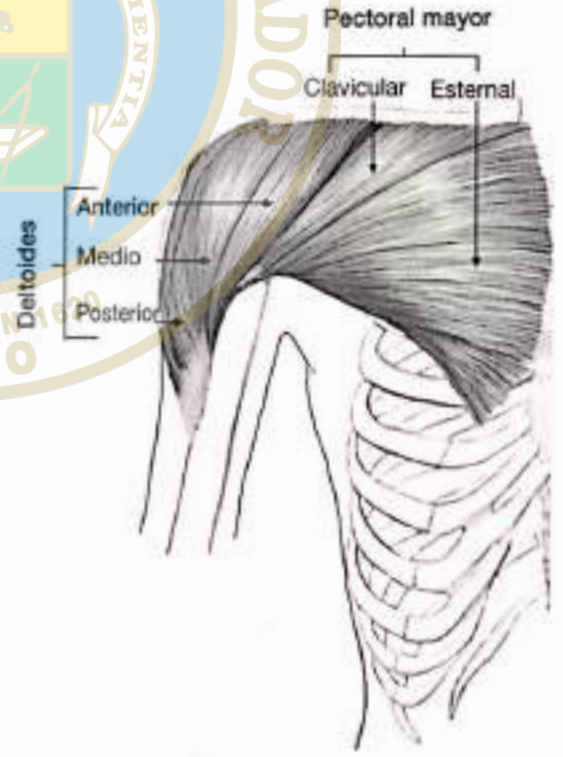



FIGURA 7.14. Vista anterior de los músculos superficiales del hombro: pectoral mayor y deltoides (hombro derecho).

ciones del pectoral mayor tienden a generar aducción horizontal y ayudan a la rotación interna del hombro. El pectoral mayor en conjunto es especialmente importante en movimientos de empuje, lanzamientos y puñetazos (Hamilton y Luttgens, 2002). En ausencia del músculo pectoral mayor, el brazo se sigue pudiendo elevar y bajar, pero la potencia de flexión y extensión del hombro disminuye de forma acusada (Rasch y Burke, 1978).

*Palpación.* Usa la mano izquierda para pellizcar el pliegue que el músculo forma en la cara anterior de la axila derecha mientras la mano derecha se apoya en un objeto estático como una mesa. Se puede apreciar la contracción de la cabeza esternal del pectoral mayor bajo los dedos cuando se ejerce una presión firme con la mano derecha sobre la mesa como para extender el hombro (extensión isométrica del hombro). Para palpar la porción clavicular, desplaza los dedos de la mano izquierda justo debajo de la porción media de la clavícula, y la mano derecha, bajo la mesa. Se puede palpar la contracción de la porción clavicular del pectoral mayor cuando se ejerce presión firme con la mano derecha hacia arriba contra la mesa (flexión isométrica del hombro).

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.1

### *Distintas acciones del músculo pectoral mayor*

Las distintas funciones de las porciones clavicular y esternal del músculo pectoral mayor se manifiestan con el siguiente ejercicio.

- **Flexión y extensión del hombro.** Sentado con las manos entrelazadas y a la altura de los hombros y con los codos extendidos. Simultáneamente baja el brazo derecho (extensión del hombro) y eleva (flexión del hombro) el brazo izquierdo, de modo que no se produzca ningún movimiento neto en los hombros. Fíjate en la contracción de la porción esternal inferior del pectoral mayor en el lado derecho del pecho, y de la porción clavicular superior del pectoral mayor en el lado izquierdo del pecho.
- **Aducción horizontal del hombro.** Ejerce presión entre sí con las manos y brazos, de modo que no se produzca ningún movimiento neto en el hombro (aducción isométrica del hombro). Fíjate en la contracción de las porciones clavicular y esternal del pectoral mayor en los lados derecho e izquierdo del pecho.

**Inserciones y acciones principales del músculo deltoides**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Deltoides | Cara anterior externa de la clavícula<br>Acromion de la escápula<br>Borde inferior de la espina de la escápula | Tuberosidad deltoidea del húmero | Fibras anteriores:<br>Flexión del hombro<br>Aducción horizontal del hombro<br>Ayuda a la rotación interna del hombro<br>Fibras medias:<br>Abducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Fibras posteriores:<br>Extensión del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Ayuda a la rotación externa del hombro |

### *Deltoides*

El **deltoides** (*delta*, triangular) es el músculo superficial que forma el contorno redondeado del hombro. Como su nombre implica, tiene forma triangular (figura 7.15). Se extiende desde la parte externa de la clavícula, el acromion y la espina escapular hacia abajo y afuera hasta insertarse en la tuberosidad deltoidea localizada en el punto medio de la cara lateral del húmero. Con sus extensas inserciones proximales, cruza la articulación de muchas formas y es mejor pensar que se trata funcionalmente de tres músculos: las porciones anterior, media y posterior del deltoides. La **porción anterior del deltoides** atraviesa la cara anterior del hombro, y su curso lateral y descendente genera una línea de tracción que determina sus principales acciones de flexión y aducción horizontal del hombro (figura 7.14). También ayuda a la abducción

y probablemente a la rotación interna del hombro. La **porción media del deltoides** discurre lateralmente por encima de la parte superior del hombro y luego desciende hasta insertarse en el húmero, lo que la convierte en un importante y poderoso abductor del hombro (figura 7.15). Su actividad aumenta progresivamente cuando el brazo se eleva y es máxima entre 90° y 180° de abducción del hombro (Basmajian y DeLuca, 1985; Hamill y Knutzen, 1995); el brazo no se puede elevar por encima de la altura del hombro si este músculo está ausente. La **porción posterior del deltoides** cruza el dorso de la articulación glenohumeral y se puede entender que ejerza acciones opuestas a la porción anterior del deltoides (figura 7.16). La porción posterior del deltoides es un importante extensor del hombro, y la pérdida de la capacidad para elevar el brazo hacia atrás por encima de la cintura tiende a acompañar a la pérdida de este músculo. La porción posterior del deltoides también genera abducción horizontal y probablemente contribuya un poco a la rotación externa del hombro, y ayuda a prevenir la luxación descendente del húmero.

FIGURA 7.15. Vista lateral del músculo deltoides (hombro derecho).

Sorprendentemente, hay un movimiento en que las porciones anterior y posterior del deltoides trabajan juntas, y es la aducción del hombro. En la aducción del hombro, su contracción sinérgica simultánea permite la aducción al tiempo que neutraliza otras acciones no deseadas de flexión-extensión, abducción-aducción horizontal y rotación externa-interna del hombro. Además, el músculo deltoides parece ayudar a estabilizar la articulación del hombro, y a menudo dos o tres porciones del músculo están activas cuando se mueve el brazo, siendo mayor la actividad de la porción del músculo que genera el movimiento deseado (Rasch, 1989).

*Palpación.* El deltoides es fácil de ver y palpar en las caras anterior, superior y posterior del hombro. Siéntate con los dedos de la mano izquierda en la cara anterior del hombro derecho. Sentirás la contracción de la porción anterior del deltoides cuando eleves el brazo derecho lentamente hacia delante en quinta posición de brazos baja (flexión del hombro). Se palpa la contracción de la porción media en la cara superior del hombro, justo inferior a la punta del acromion, cuando se eleva el brazo derecho de quinta posición de brazos baja a segunda posición (implica abducción del hombro). La contracción de la porción posterior se palpa en el dorso del hombro cuando el brazo derecho se eleva hacia atrás (hiperextensión del hombro).

**Inserciones y acciones principales del músculo coracobraquial**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Coracobraquial | Apófisis coracoides de la escápula | Cara anteromedial de la mitad del húmero | Flexión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Aducción horizontal del hombro |

## *Coracobraquial*

El **coracobraquial** es un pequeño músculo que se localiza debajo del pectoral mayor y la porción anterior del deltoides en la cara anteromedial del hombro y el brazo. Su nombre describe sus inserciones. Se extiende hacia abajo desde la apófisis coracoides de la escápula hasta insertarse en la cara anteromedial del húmero. Se describe más adelante en este capítulo al hablar del músculo braquial (véase la figura 7.42, pág. 417). Las acciones del músculo coracobraquial comprenden flexión y aducción horizontal del hombro aunque, debido a su pequeño tamaño, su contribución es menos significativa que la del pectoral mayor o la porción anterior del deltoides. También actúa con otros músculos para generar aducción del hombro.

**Inserciones y acciones principales del músculo dorsal ancho**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Dorsal ancho | Apófisis espinosas de T6-L5<br>Sacro<br>Cresta del ilion<br>Cara posterior de las 3 costillas inferiores | Porción inferior del surco intertubercular del húmero, paralelo a la inserción del pectoral mayor | Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro<br>Depresión del húmero |

## *Dorsal ancho*

El nombre de este músculo describe su forma y localización, y es el más ancho de la espalda y la porción lateral del tórax. El **dorsal ancho** se localiza a nivel superficial, excepto donde su porción superior es solapada por las fibras inferiores del músculo trapecio, y lateralmente ayuda a formar la pared posterior de la axila. Las inserciones proximales de este anchísimo músculo comprenden la porción inferior de la columna vertebral, la pelvis y la fascia asociada (fascia toracolumbar), como se ve en la figura 7.16. Se extiende hacia arriba y afuera y luego hacia delante. De forma parecida al músculo pectoral mayor, gira 180° antes de insertarse con un tendón plano en la cara anterior del húmero, paralelo a la inserción del pectoral mayor. Debido a su inserción anterior, tiende a generar rotación interna del hombro, además de ser un poderoso extensor del hombro usado en los movimientos resistidos de «tracción descendente y posterior» de los brazos, como en natación, remo, subida de cuerdas y flexiones de brazos. Cuando se usa junto con el pectoral mayor, el dorsal ancho es también un poderoso aductor del brazo (Hall-Craggs, 1985).

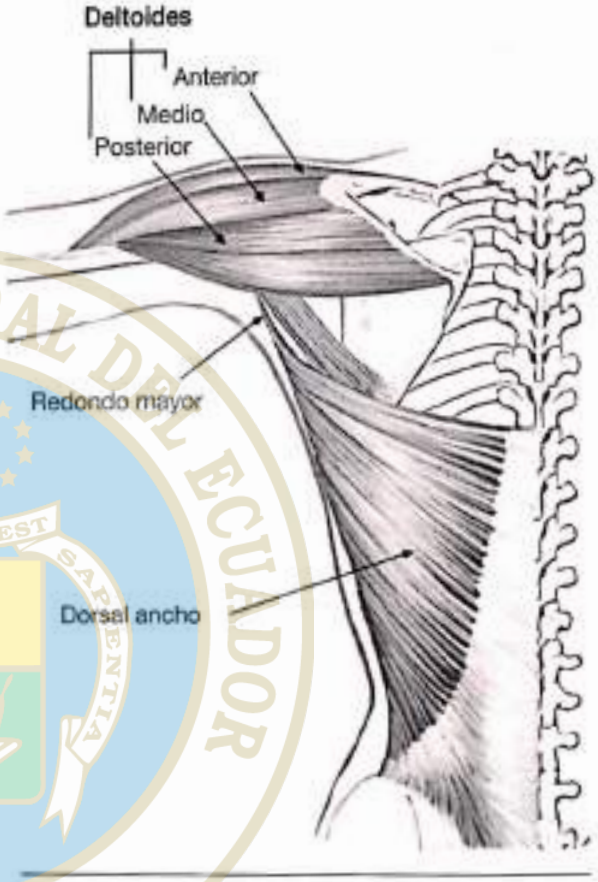



FIGURA 7.16. Vista posterior de los músculos superficiales del hombro: dorsal ancho, redondo mayor y deltoides (hombro izquierdo).

Debido a sus amplias inserciones óseas y fasciales, el músculo dorsal ancho también ejerce una importante función de estabilización del tronco; y cuando los brazos están fijos (movimiento en cadena cinética cerrada), la inserción distal del dorsal ancho ayuda a elevar la pelvis, como al andar con muletas, en los *push-ups* en sedestación o en el trabajo de suelo en la danza. Posturalmente, el dorsal ancho puede ayudar a la depresión del húmero, y esta función a veces se potencia en la danza. La pérdida del dorsal ancho se asocia con el desplazamiento anterior del hombro y la pérdida de fuerza en los movimientos descendentes del brazo contra una resistencia.

*Palpación.* Pon la mano izquierda sobre un objeto estático, como una mesa, con los codos ligeramente flexionados, y las yemas de los dedos de la mano derecha 20 centímetros por debajo de la porción dorsal de la axila izquierda en la cara posterolateral de la caja torácica. Se aprecia la contracción del músculo dorsal ancho bajo la mano derecha cuando se ejerce una presión firme con la mano izquierda (extensión isométrica del hombro).

## *Redondo mayor*

El músculo **redondo mayor** tiene una forma parecida a la del redondo menor, sólo que es más grande, y de ahí su nombre. Se extiende hacia fuera y arriba desde el borde lateral de la porción inferior de la escápula hasta insertarse en la cara anterior del húmero (figura 7.16). Cuando hay que superar una resistencia, el redondo mayor entra en juego y ejerce las mismas acciones que el dorsal ancho. Por tanto, a veces se le denomina «ayudante menor del dorsal ancho» (Rasch y Burke, 1978). Cuando el brazo está detrás de la espalda, el redondo mayor parece ayudar a la extensión (hiperextensión) y aducción, incluso en ausencia de resistencia (Hamilton y Luttgens, 2002).

**Inserciones y acciones principales del músculo redondo mayor**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Redondo mayor | Ángulo inferior de la escápula | Borde medial del surco intertubercular | Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro (depresión del húmero) |

*Palpación.* Usa el mismo movimiento que con el dorsal ancho, sólo que con las yemas de los dedos de la mano derecha situadas justo laterales al ángulo inferior de la escápula. Se puede palpar la contracción del músculo redondo mayor bajo la mano derecha cuando se ejerce presión firme hacia abajo con la mano izquierda (extensión del hombro).

## *Resumen de las inserciones y acciones de los músculos del complejo del hombro*

Un resumen de las inserciones proximales y distales de los músculos del complejo del hombro –los músculos escapulares, el manguito de los rotadores y otros músculos glenohumerales– aparece en la tabla 7.2. Muchos de estos músculos y sus inserciones aparecen en las figuras 7.17A y B, y 7.18A y B. Con la información de estas fuentes, deduce la línea de tracción y las posibles acciones resultantes de estos músculos y, a continuación, comprueba tu precisión consultando las figuras 7.17C y 7.18C respecto a los grandes músculos responsables de los movimientos fundamentales de la articulación del hombro (p. ej., la categoría de «otros músculos glenohumerales») y la columna de las acciones principales en la tabla 7.2 en el caso de los músculos escapulares y los músculos del manguito de los rotadores. Fíjate en que las figuras 7.17 y 7.18 incluyen los músculos bíceps braquial y tríceps braquial para mostrar su relación con la articulación glenohumeral. Sin embargo, de ellos se hablará más adelante en este capítulo en el apartado sobre el codo, y sus inserciones y acciones se muestran en la tabla 7.6 (pág. 420).

**Tabla 7.2. Resumen de las inserciones y acciones de los músculos del complejo del hombro**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos escapulares** | | | |
| Trapecio | Base del cráneo<br>Ligamento nucal<br>Apófisis espinosas de C7-T12 | Tercio externo de la clavícula<br>Porción superior del acromion<br>Porción superior de la espina escapular | Porción superior:<br>Elevación escapular<br>Rotación superior escapular<br>Aducción escapular<br>Porción media:<br>Aducción escapular<br>Porción inferior:<br>Depresión escapular<br>Rotación superior escapular<br>Aducción escapular |
| Elevador de la escápula | Apófisis transversas de C1 a C4 o C5 (de la espina al borde superior) | Borde medial de la escápula | Elevación escapular<br>Rotación inferior escapular<br>Ayuda a la aducción escapular |
| Romboides | Apófisis espinosas de C6 o C7 a T4 o T5 | Borde medial de la escápula, desde la espina al ángulo inferior | Elevación escapular<br>Aducción escapular<br>Rotación inferior escapular |
| Serrato anterior | Cara lateral externa de las 8 ó 9 costillas inferiores | Ángulo inferior y borde medial de la escápula | Abducción escapular<br>Rotación superior escapular<br>Depresión escapular (fibras inferiores) |
| Pectoral menor | Superficie externa de la II o III costillas a la V costilla | Apófisis coracoides de la escápula | Abducción escapular<br>Rotación inferior escapular<br>Depresión escapular |

*(Continúa)*

**Tabla 7.2. Resumen de las inserciones y acciones de los músculos del complejo del hombro (continuación)**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos del manguito de los rotadores** | | | |
| Supraespinoso | Porción interna de la fosa supraespinosa de la escápula | Porción superior del tubérculo mayor del húmero (troquiter) | Abducción del hombro<br>Estabilización del hombro |
| Infraespinoso | Porción medial de la fosa infraespinosa de la escápula | Región media del tubérculo mayor del húmero | Rotación externa del hombro<br>Estabilización del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Componente del par de fuerzas SIR |
| Redondo menor | Cara dorsal del borde lateral de la escápula | Porción inferior del troquiter y la diáfisis adyacente del húmero | Igual que el infraespinoso |
| Subescapular | Superficie costal de la escápula (fosa subescapular) | Tubérculo menor del húmero (troquín) | Rotación interna del hombro<br>Estabilización del hombro<br>Componente del par de fuerzas SIR |
| **Otros músculos glenohumerales** | | | |
| Pectoral mayor | Dos tercios internos de la cara anterior de la clavícula<br>Esternón<br>Cartílago costal de las costillas I o II a VI o VII cerca del esternón | Surco intertubercular del húmero que se extiende hacia abajo 7,6 centímetros desde los tubérculos | Fibras claviculares:<br>Flexión del hombro<br>Abducción del hombro por encima de 90°<br>Ayuda a la aducción del hombro (amplitud menor)<br>Fibras esternales:<br>Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Ambas:<br>Aducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro |
| Deltoides | Parte externa de la cara anterior de la clavícula<br>Acromion de la escápula<br>Borde inferior de la espina de la escápula | Tuberosidad deltoidea del húmero | Fibras anteriores:<br>Flexión del hombro<br>Aducción horizontal del hombro<br>Ayuda a la rotación interna del hombro<br>Fibras medias:<br>Abducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Fibras posteriores:<br>Extensión del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Ayuda a la rotación externa del hombro |
| Coracobraquial | Apófisis coracoides de la escápula | Cara anteromedial de la mitad del húmero | Flexión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Aducción horizontal del hombro |
| Dorsal ancho | Apófisis espinosas de T6-L5<br>Sacro<br>Cresta del ilion<br>Cara posterior de las 3 costillas inferiores | Porción inferior del surco intertubercular del húmero, paralelo a la inserción del pectoral mayor | Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro<br>Depresión del húmero |
| Redondo mayor | Ángulo inferior de la escápula | Borde medial del surco intertubercular | Extensión del hombro<br>Aducción del hombro<br>Abducción horizontal del hombro<br>Rotación interna del hombro<br>(depresión del húmero) |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

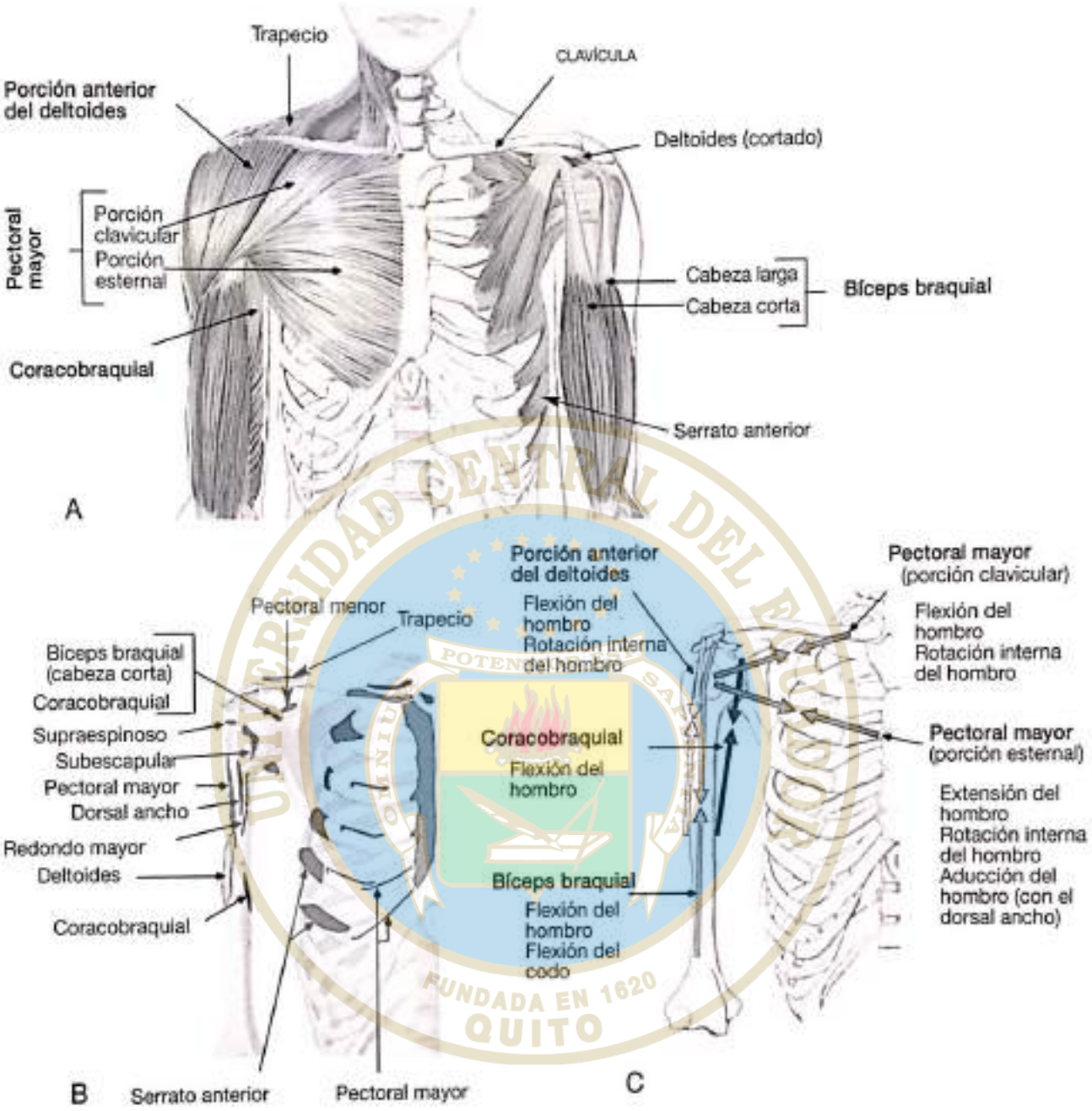



FIGURA 7.17. Vista anterior de los principales músculos que actúan en el complejo del hombro. (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones principales de algunos músculos de la articulación glenohumeral.

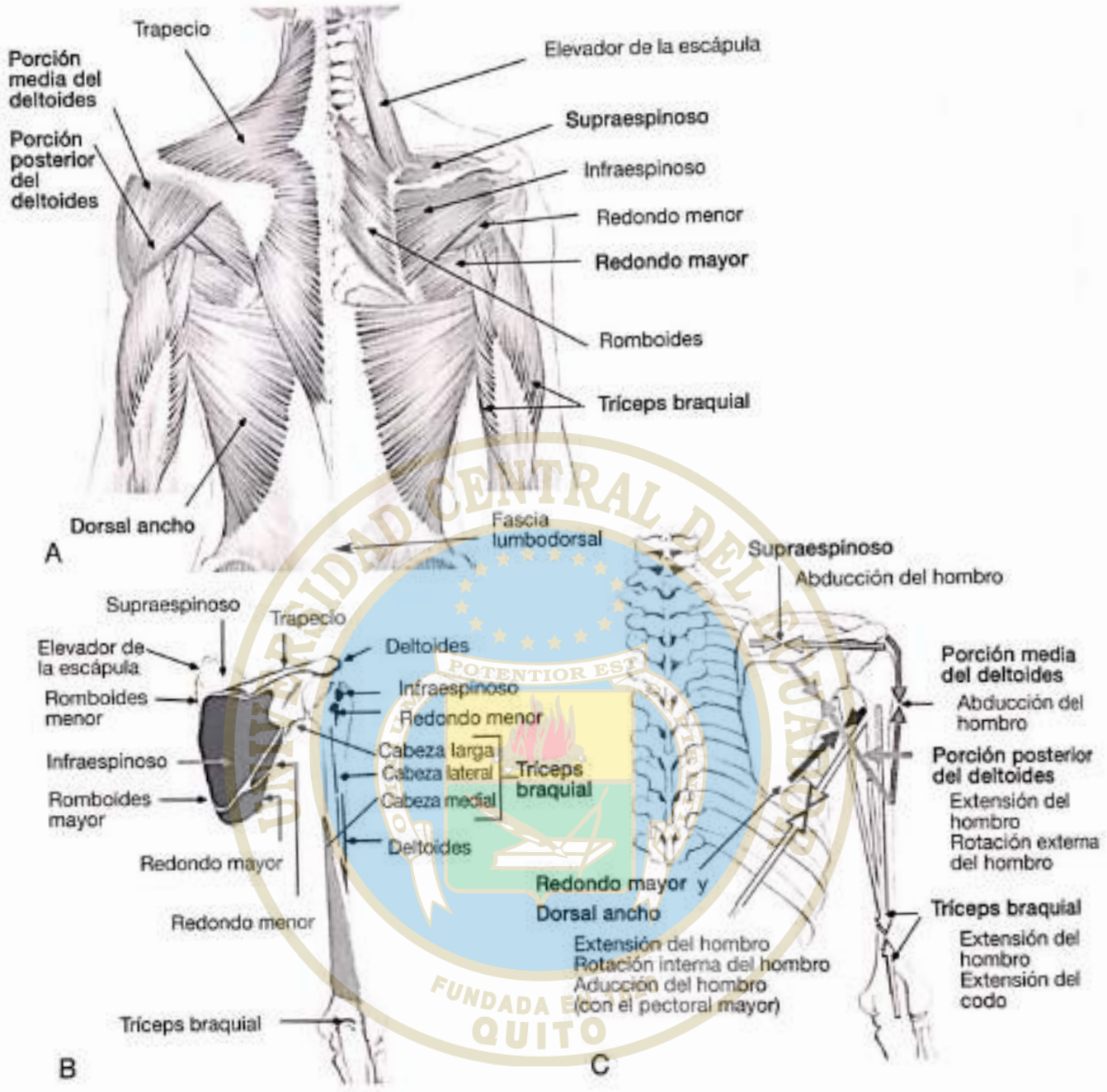



FIGURA 7.18. Vista posterior de los principales músculos que actúan en el complejo del hombro. (A) Músculos; (B) inserciones; (C) líneas de tracción y acciones principales de algunos músculos de la articulación glenohumeral.

## Alineación y desviaciones habituales del complejo del hombro

Con una alineación normal del complejo del hombro, las clavículas tienen que estar aproximadamente horizontales y las escápulas descansando planas contra la caja torácica posteriormente y extendiéndose desde aproximadamente la segunda hasta la séptima costillas (Rasch y Burke, 1978). Se producen distintas desviaciones de esta alineación ideal, como hombros encorvados y escápulas aladas. Como estas desviaciones con frecuencia se asocian con desequilibrios musculares, su frecuencia es amplia; pero se suelen corregir con más rapidez que algunas de las desviaciones vistas en otras articulaciones que implican elementos estructurales más permanentes.

### *Hombros encorvados*

Los hombros encorvados implican un redondeamiento hacia delante de los hombros que suele comprender una postura de excesiva abducción escapular y a menudo rotación interna del húmero (figura 7.19). La corrección exige el fortalecimiento de los músculos aductores escapulares (sobre todo el trapecio y el romboides) y en algunos casos el estiramiento de los abductores escapulares (en especial, el pectoral menor). Cuando también hay rotación interna del húmero, el fortalecimiento de los músculos rotadores externos y el estiramiento de los rotadores internos (sobre todo el pectoral mayor y el dorsal ancho) también resultan útiles. Cuando esta postura de hombros encorvados se adopta de forma crónica, con frecuencia también hay presente cifosis, y es necesario el fortalecimiento de los músculos extensores superiores de la espalda (véase el capítulo 3). Varios ejercicios para prevenir y corregir los hombros encorvados aparecen en la figura 7.20 y se describen en las tablas 7.10 y 7.12. La rotación externa bilateral de los hombros (figura 7.20B y tabla 7.10I, progresión 3, pág. 439) ofrece un ejercicio eficaz que combina rotación externa del hombro, aducción escapular y extensión torácica en un solo ejercicio. El ejercicio del espantapájaros unilateral (figura 7.20C y tabla 7.10H, variación 2, pág. 439) permite desarrollar la rotación externa del hombro al tiempo que mantiene la estabilidad del torso cuando el brazo está a la altura del hombro, una posición que se suele exigir en danza. Los estiramientos que ayudan a enderezar los hombros encorvados comprenden el estiramiento de hombros con los brazos por encima de la cabeza y en sedestación (figura 7.20A y tabla 7.12C, variación 1, pág. 450) y el estiramiento de hombros con los brazos por encima

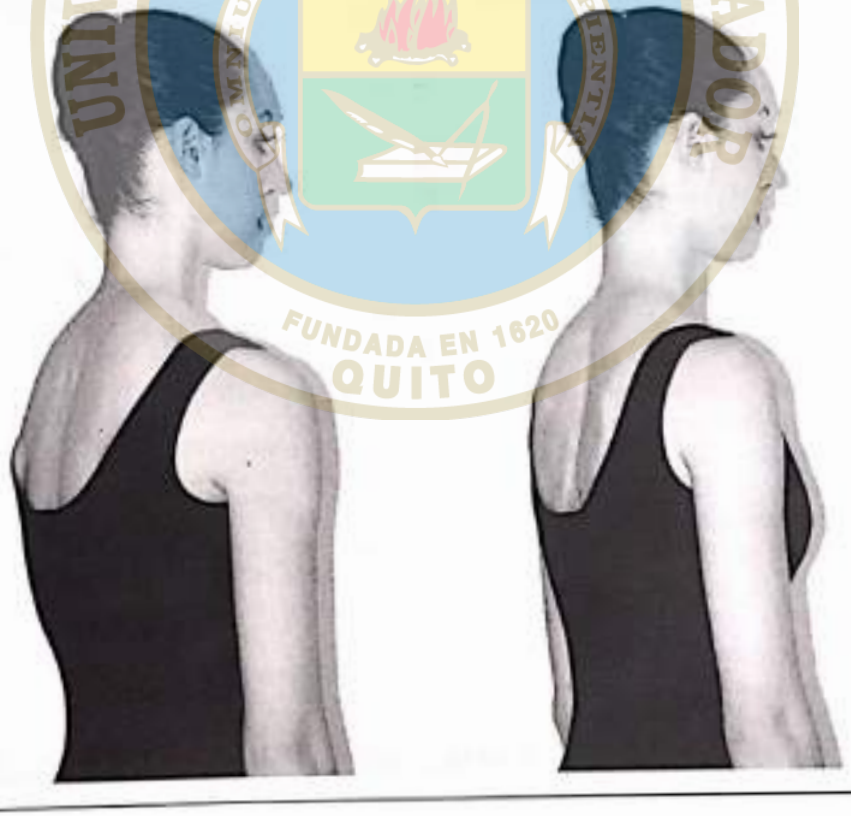


FIGURA 7.19. Alineación del hombro. (A) Hombros encorvados; (B) posición deseada de los hombros.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

de la cabeza y de rodillas (tabla 7.12B, pág. 449), que se centran en el estiramiento del dorsal ancho y de las fibras inferiores del pectoral mayor, así como el estiramiento del hombro contra la pared (tabla 7.12D, pág. 450), que hace hincapié en el estiramiento de los músculos pectoral mayor y la porción anterior del deltoides. Además de los ejercicios, las órdenes de hacer descender un poco y aproximar las escápulas entre sí mientras se tracciona de los hombros lateralmente puede ayudar a corregir los hombros encorvados durante posturas estáticas (figura 7.20D).

### *Escápula alada*

Dada la ausencia de una sujeción ósea entre la escápula y el dorso de la caja torácica, en la posición de la escápula influye mucho la fuerza, flexibilidad y activación relativas de los músculos circundantes, y en especial los músculos de la estabilización escapular. En algunos casos, el borde medial o el ángulo inferior de la escápula, o ambos, se proyectan posteriormente en vez de situarse planos contra la caja torácica como sería deseable (figura 7.21A y B). Esta desviación postural, llamada «es-

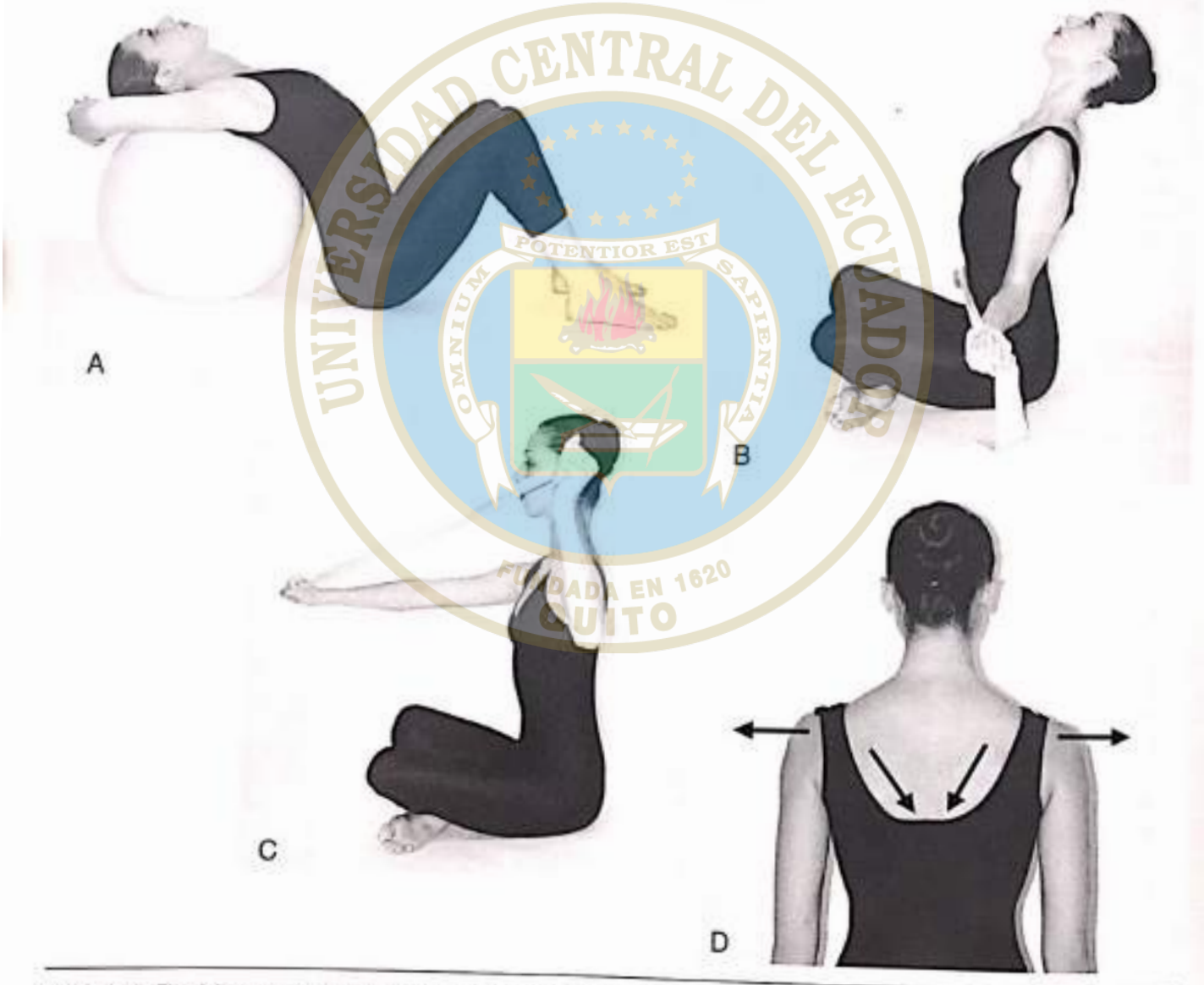



FIGURA 7.20. Ejercicios para enderezar los hombros encorvados. (A) Estiramiento de hombros con los brazos por encima de la cabeza y en sedestación; (B) rotación externa bilateral de los hombros; (C) el espantapájaros unilateral; (D) orden de aproximar las escápulas entre sí y desplazarlas un poco hacia abajo mientras los hombros se separan hacia los lados.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

ÓRDENES EN LA DANZA 7.1

### «Lleva los hombros atrás»

Los profesores de danza usan a veces la orden «lleva los hombros atrás» o «lleva los hombros atrás y saca pecho» cuando ven a un estudiante con los hombros encorvados y cifosis funcional. Una interpretación anatómica deseable de esta orden es potenciar el uso de los músculos aductores escapulares para mantener los hombros en una posición adecuada, y los extensores de la columna torácica para corregir la espalda encorvada. Sin embargo, algunos estudiantes responden a esta orden comprimiendo las escápulas entre sí (aducción escapular excesiva) y proyectando las costillas inferiores hacia delante (excesiva extensión lumbar en vez de la deseada extensión de la región torácica superior). En tales casos, dar la orden de «abrir los hombros hacia los lados» mientras la porción superior de la espalda «se eleva hacia el techo» o bajar un poco las escápulas y aproximarlas mientras los hombros se abren hacia los lados pueden ayudar a lograr la postura deseada.

cápula alada», puede estar causada por distintos desequilibrios musculares, como la tirantez del músculo pectoral menor o la fuerza o activación inadecuadas de los músculos serrato anterior o trapecio. Si el serrato anterior no funciona de forma sinergista con el trapecio, cuando el trapecio se contrae para colaborar en la rotación superior de las escápulas durante la elevación del brazo, la acción del trapecio sin oposición tenderá a elevar y mover en aducción la escápula y a proyectar en sentido posterior el borde medial de la escápula (figura 7.21C). La localización del músculo serrato anterior (figura 7.21D) lo convierte en un abductor clave de la escápula, y de ahí que este músculo se pueda reclutar y fortalecer centrándose en mantener las escápulas «separadas» (abducción escapular) en vez de «juntas» (aducción escapular) mientras se practica una flexión de brazos (figura 7.21E), y añadiendo una ligera antepulsión extra al final de la flexión, con lo que se abducen un poco más las escápulas (tabla 7.10A, variación 1, pág. 434). En contraste, si el trapecio no está funcionando correctamente, la acción sin oposición del serrato anterior durante la elevación del brazo tiende a deprimir la escápula, a moverla en abducción y a proyectar en sentido posterior el ángulo inferior de la escápula (figura 7.21F). Como la localización del trapecio le permite actuar de poderoso aductor de la escápula (figura 7.21G), practicar el ejercicio de remo en sedestación con una banda elástica (figura 7.21H y tabla 7.10D, variación 2, pág. 435) o el ejercicio de remo en decúbito prono con pesas, poniendo atención a mantener los codos a la altura de los hombros a la vez que se llevan un poco detrás del torso mientras las escápulas se acercan entre sí (aducción escapular), puede servir para reclutar y fortalecer este músculo. Sin embargo, la escápula alada también puede estar relacionada con otras enfermedades, como escoliosis o una lesión del nervio, y si la desviación es acusada, se recomienda un examen médico.

## Mecánica del hombro

Los movimientos coordinados entre la cintura escapular y los brazos son esenciales para la movilidad óptima y para prevenir lesiones. El ritmo escapulohumeral, en que se combina rotación externa con abducción del hombro, el par de fuerzas SIR y las sinergias se emplean para favorecer esta función coordinada del complejo del hombro.

### Ritmo escapulohumeral

Debido a que la poco profunda cavidad glenoidea sólo mantiene contacto con casi un tercio del área superficial de la cabeza del húmero, la articulación glenohumeral es propensa a la subluxación o luxación. Por eso los movimientos coordinados de la escápula son vitales para situar la cavidad glenoidea de forma que se mantenga un contacto adecuado con la cabeza del húmero y facilitar la gran movilidad del húmero mientras la superficie costal de la escápula se mantiene en estrecho contacto con el tórax. Este movimiento de la escápula también actúa con frecuencia manteniendo los músculos motores principales de la articulación del hombro en una longitud favorable para generar fuerza y evitar la insuficiencia activa o pasiva. Este movimiento sincrónico y coordinado con precisión entre la escápula y el húmero se denomina **ritmo escapulohumeral**.

El ritmo escapulohumeral implica movimientos escapulares característicos que complementan los movimientos específicos del húmero. La conexión más debatida es la rotación superior de la escápula que acompaña a la abducción del hombro, como se ve en la figura 7.22. Tras el movimiento inicial del brazo, que ocurre predominantemente en la articulación glenohumeral, existe una relación entre la rotación superior de la escápula y la elevación del brazo, de tal modo que tras 30° de abducción o de 45° a 60° de flexión, se producen 3° de movimiento glenohumeral por cada 2° de movimiento escapular. Por tanto, en una amplitud total de 180° de flexión o abducción, la proporción entre articulación glenohumeral y escápula es 2:1, es decir, unos 120° de movimiento glenohumeral y 60° de movimiento escapular, como se ve en la figura 7.23 (Kreighbaum y Barthels, 1996; Levangie y Norkin, 2001). Esta rotación superior de

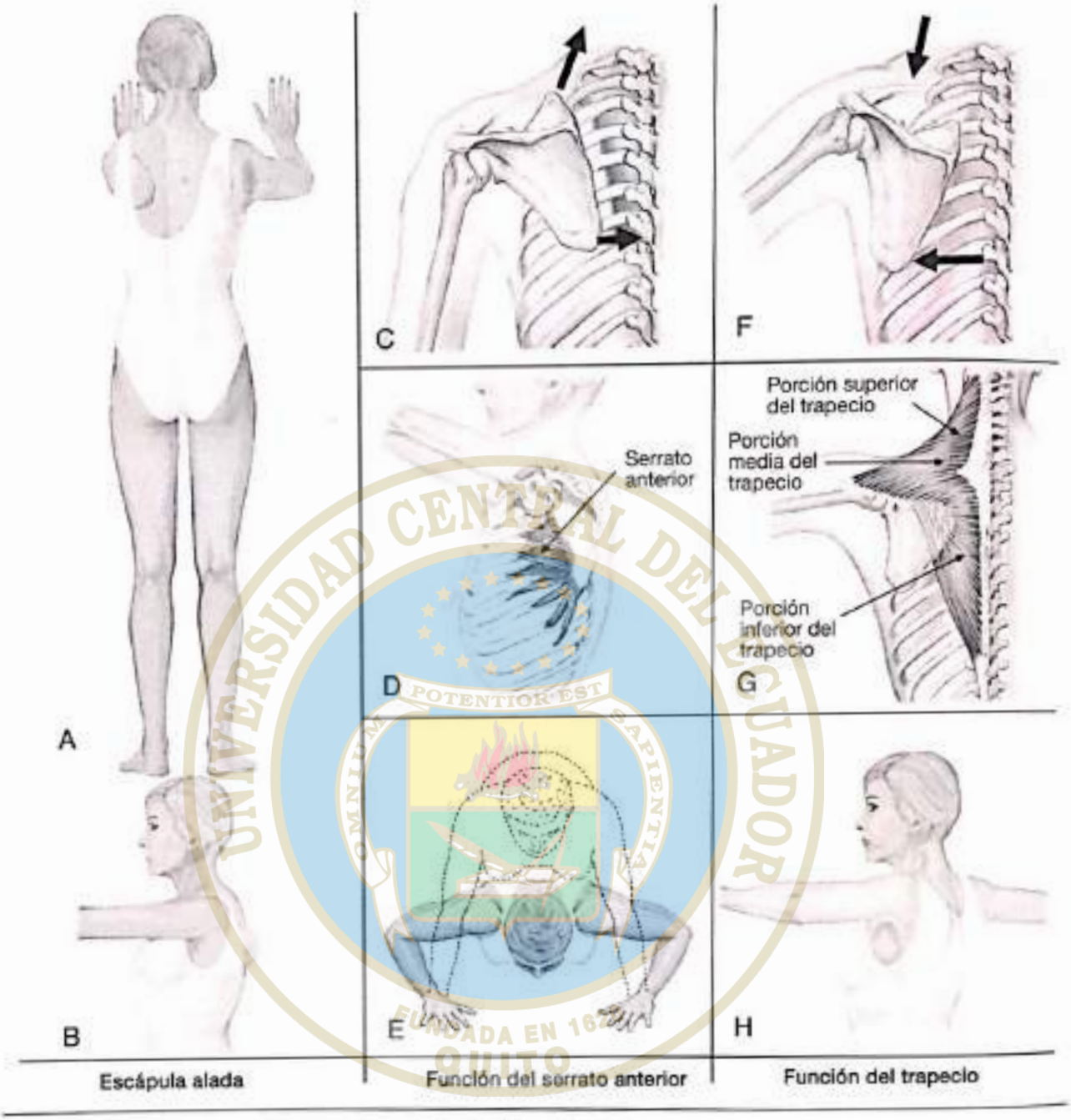



FIGURA 7.21. Escápula alada. (A) Vista posterior; (B) vista de perfil; debido a (C)-(E) la función inadecuada del músculo serrato anterior o (F)-(H) del trapecio.

la escápula no sólo permite al brazo elevarse más arriba, sino que también desplaza el acromion mientras el tubérculo mayor del húmero se le aproxima durante la abducción (Kreighbaum y Barthels, 1996). Esta última función es vital para prevenir pinzamientos.

Otros movimientos combinados entre el húmero y la escápula en bipedestación aparecen enumerados en la tabla 7.3. Fíjate en que existe una relación lógica en la que un par de movimientos opuestos de la articulación glenohumeral se corresponde con movimientos también opuestos de la escápula. Por ejemplo, la abducción glenohumeral se relaciona con la rotación escapular superior, mientras que la aducción glenohumeral se vincula con la rotación escapular inferior; la flexión glenohumeral se relaciona con la abducción y rotación superior de la escápula, mientras que la extensión glenohumeral se vincula con la aducción y rotación inferior de la escápula; y la rotación externa glenohumeral se relaciona con la aducción escapular, mientras que la rotación interna glenohumeral se vincula con la abducción escapular. Dependiendo de la relación con la gravedad y de los tipos de fuerzas externas presentes, estos movimientos pueden practicarse concéntricamente por los músculos con

FIGURA 7.22. Rotación superior de la escápula que acompaña a la elevación del brazo.

FIGURA 7.23. Ritmo escapulohumeral durante la abducción del hombro.

la acción asociada (véase tabla 7.4) o controlados excéntricamente por los músculos que tienden a generar el movimiento opuesto. Por ejemplo, cuando se levanta un peso lateralmente (abducción del hombro), la rotación superior ocurre por la contracción concéntrica sinergista de los rotadores superiores de la escápula. No obstante, cuando se baja un peso (aducción del hombro), la rotación inferior de la escápula tiende a ser generada por la gravedad, y la contracción excéntrica de los rotadores superiores de la escápula actúa controlando la rotación inferior.

Cuando dejamos de estar erguidos, las cosas son mucho más complejas; y es importante considerar qué efecto provoca la gravedad y qué músculos escapulares habrán de trabajar para estabilizar las escápulas. Por ejemplo, durante una flexión de brazos, la gravedad tiende a aproximar las escápulas entre sí (aducción escapular), y los músculos abductores escapulares tienen que trabajar para mantener las escápulas en la posición deseada. En otros casos, distintos tipos de resistencia externa, como el suelo, un compañero o las máquinas para entrenar la fuerza, influyen en el reclutamiento necesario de los músculos escapulares.

Mientras que algunos de los movimientos combinados, como la rotación superior de la escápula, son necesarios para alcanzar los grados máximos de flexión o abducción del hombro, otros movimientos son menos predecibles en su combinación y se pueden adaptar a la postura y patrones individuales de movimiento. En la danza, estos movimientos a veces se alteran conscientemente para alcanzar el efecto estético deseado. Por ejemplo, algunas escuelas de danza prefieren una posición más abierta de los brazos con ligera aducción escapular, mientras que otras optan por favorecer una «espalda ancha» en una posición neutra o incluso con ligera abducción de la escápula.

### *Influencia de la rotación del hombro sobre la abducción*

Al elevar el brazo lateralmente (abducción del hombro), la amplitud se facilita también rotando externamente el

**Tabla 7.3. Movimientos combinados de la escápula que acompañan a los del húmero en la articulación escapulohumeral**

| Movimiento del húmero | Movimiento de la escápula |
|---|---|
| Flexión | Abducción y rotación superior |
| Extensión | Aducción y rotación inferior |
| Abducción | Rotación superior |
| Aducción | Rotación inferior |
| Rotación interna | Abducción |
| Rotación externa | Aducción |
| Hiperextensión | Elevación |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1826
QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.2

### *Influencia de las fuerzas externas sobre la estabilización escapular*

Usa el siguiente ejercicio con un compañero para comprobar la influencia de los movimientos de empujar y tirar sobre los músculos que estabilizan la escápula.

- **Empujar.** De cara al compañero con las palmas de vuestras manos derechas en contacto y los brazos a la altura del hombro con los codos extendidos. Empuja la mano de tu compañero y fíjate en que, si relajas los músculos escapulares, la escápula derecha tiende a desplazarse hacia atrás (aducción escapular). Ahora céntrate en mantener la escápula quieta mientras empujas, y fíjate en el músculo serrato anterior, situado cerca de la axila en la cara anterior del pecho, que se contrae para estabilizar la escápula mediante su función abductora escapular.
- **Tirar.** De cara al compañero con las manos derechas de ambos asidas como para saludarse. El siguiente paso es que ambos tiréis con lentitud de la mano del otro. Fíjate en que, si relajas los músculos escapulares, la escápula derecha tiende a experimentar tracción anterior (abducción escapular). Ahora céntrate en mantener la escápula quieta mientras tiras, y fíjate en la contracción del trapecio y otros músculos interescapulares que producen aducción escapular e impiden el movimiento anterior de la escápula.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.3

### *Influencia de la rotación externa sobre los movimientos del brazo por encima de la cabeza*

En colaboración con un compañero, eleva su brazo izquierdo en abducción, como si fueras a llevarlo por encima de la cabeza pasando de segunda posición a quinta posición de brazos alta.

- **Rotación interna.** Primero, practica este movimiento con lentitud y suavidad mientras mantienes su brazo en rotación interna. Fíjate en cómo la escápula se eleva excesivamente, el hombro se «alza» y es difícil llevar el brazo por encima de la cabeza.
- **Rotación externa.** Ahora, en esta posición elevada, gira el brazo, lentamente en rotación externa, y fíjate en cómo la escápula y el hombro «caen», y el brazo se puede llevar fácilmente por encima de la cabeza. Ahora levanta con lentitud el brazo del compañero lateralmente de una posición baja a elevada, sumando una rotación externa gradual mientras le levantas el brazo, y fíjate en que con ello se logra el efecto estético deseado de mantener los hombros abajo mientras el brazo se lleva por encima de la cabeza.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

húmero (véase Demostración de conceptos 7.3). Durante los 90° finales de abducción, esta rotación externa permite al tubérculo mayor del húmero pasar por detrás del arco coracoacromial (Caillet, 1996; Magee, 1997), lo cual posibilita 30° adicionales de abducción al húmero (Hamill y Knutzen, 1995). Es interesante reparar en los paralelismos con la cadera, donde la rotación externa del fémur y el acercamiento del trocánter mayor a las tuberosidades isquiáticas permiten mucha más abducción coxofemoral que cuando el fémur se mantiene en una posición paralela o de rotación interna. Al igual que con la cadera, la fuerza adecuada y la activación apropiada de los músculos rotadores externos (sobre todo el infraespinoso y el redondo menor del manguito de los rotadores) son claves para una mecánica correcta.

### *Par de fuerzas SIR*

Con el brazo relajado y colgando al lado del cuerpo, la cabeza del húmero tiende a apoyarse sobre la porción superior de la cavidad glenoidea (Magee, 1997); y, con la contracción de la porción media del deltoides, una gran parte de la fuerza muscular tiende a ejercer tracción ascendente

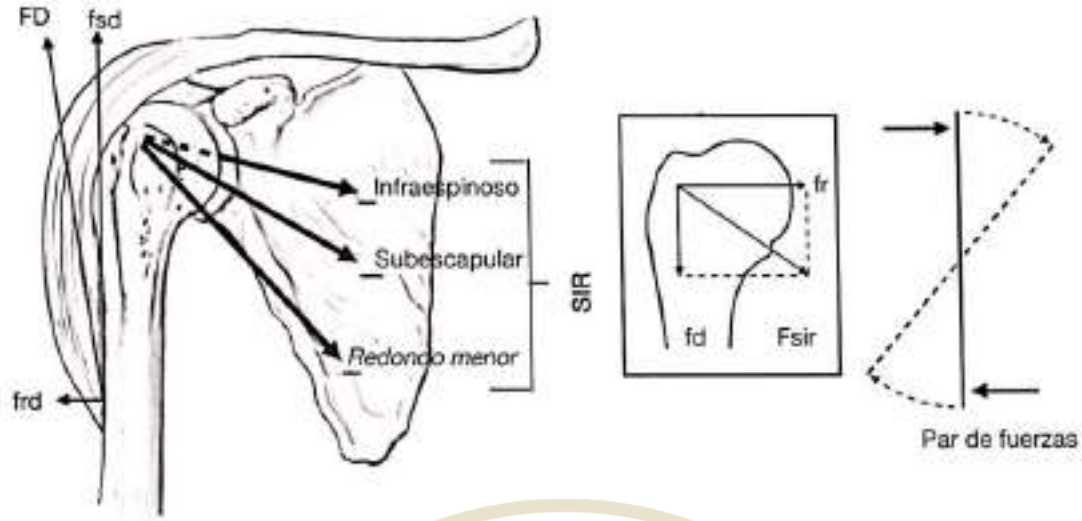



FIGURA 7.24. Par de fuerzas SIR. Cuando el brazo pende al costado y la porción media del deltoides se contrae (FD) para generar abducción del hombro, un gran componente de esta fuerza (fsd, componente estabilizador) tiende a ejercer tracción ascendente sobre la cabeza del húmero, mientras que sólo un pequeño componente de esta fuerza (frd, componente rotatorio) es capaz de producir el movimiento articular deseado. Sin embargo, los músculos SIR generan una fuerza (fd, componente dislocante) que ejerce tracción descendente sobre el húmero y un componente rotatorio mayor (fr), de modo que la fuerza resultante de los músculos SIR (Fsir) actúa de par de fuerzas para contrarrestar la tracción ascendente del deltoides y facilitar la abducción deseada del hombro.

sobre la cabeza del húmero (componente estabilizador) en vez de generar la rotación angular necesaria para la abducción del hombro. Sin embargo, esta posición natural y esta tracción ascendente del deltoides se contrarrestan con la acción de los músculos del manguito de los rotadores: subescapular, infraespinoso y redondo menor (figura 7.24). Estos músculos reciben el nombre colectivo **par de fuerzas SIR** (S de subescapular, I de infraespinoso y R de redondo menor). El par de fuerzas SIR, tal vez ayudado por algunos músculos adicionales (Hamill y Knutzen, 1995), deprime la cabeza del húmero y contrarresta el movimiento ascendente de la cabeza del húmero hacia el acromion que podría comprimir los tejidos blandos interpuestos (compresión del hombro). La posición no tan elevada de la cabeza del húmero en la porción más ancha de la cavidad glenoidea lograda por el par de fuerzas SIR también facilita la rotación deseada de la diáfisis del húmero (p. ej., abducción del hombro).

### *Sinergias*

Muchos de los músculos del complejo del hombro desempeñan múltiples acciones, y se requiere un sofisticado uso de sinergias para lograr las posiciones y movimientos deseados de los brazos, escápulas y torso. Por ejemplo, cuando se elevan los brazos al frente desde una quinta posición baja a alta, se activan varias sinergias. En la articulación glenohumeral, los dos flexores principales del hombro usados para levantar el brazo (porción anterior del deltoides y pectoral mayor) también tienden a generar rotación interna del hombro. Esta rotación interna no deseada se puede neutralizar con la acción sinérgica de los rotadores externos, como los músculos redondo menor e infraespinoso. Entre tanto, se produce otra sinergia que genera la rotación superior deseada de la escápula (figura 7.25). En este caso, la porción inferior del trapecio y las fibras inferiores del serrato anterior neutralizan la acción no deseada de elevación escapular generada por la acción de la porción superior del trapecio. De forma similar, el serrato anterior neutraliza la acción no deseada de aducción escapular que generaría el trapecio si no tuviera oposición. Éstos son ejemplos de las sinergias (véase el capítulo 2) que ayudan a generar las acciones deseadas de rotación superior de la escápula y a neutralizar su elevación o aducción potenciales.

## Análisis muscular de los movimientos fundamentales del hombro

Como sugiere la exposición previa, el análisis de la movilidad del hombro resulta complicado debido al uso de músculos para estabilizar la articulación, prevenir pinza-

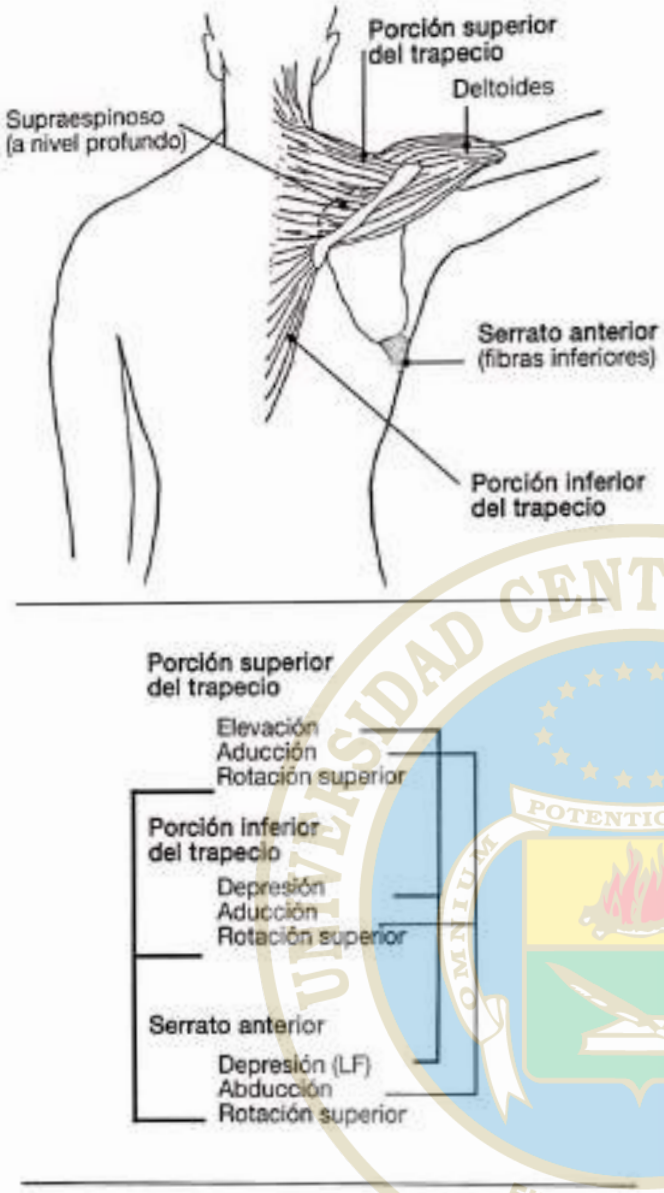



FIGURA 7.25. Ejemplo de sinergia escapular ideal durante la abducción del hombro.

mientos, ejecutar los movimientos combinados de la escápula y neutralizar las acciones secundarias indeseables de los motores principales. Además, debido a la gran movilidad del hombro, algunos músculos pueden cambiar su relación con el eje de movimiento de la articulación glenohumeral y, por tanto, su función en distintas amplitudes del movimiento. Por razones de simplicidad, esta sección tratará de dar ejemplos de los músculos principales capaces de generar el movimiento deseado del hombro, así como de los movimientos escapulares simultáneos. Sin embargo, los lectores deben recordar que esta exposición está muy simplificada, que hay otros músculos estabilizadores y sinergistas activos, y que las condiciones específicas del movimiento, como la velocidad y la resistencia, influyen en los músculos que realmente se reclutan.

## Flexión del hombro

En movimientos en cadena cinética abierta, la flexión del hombro implica desplazar el brazo al frente y arriba respecto a la posición anatómica en un plano aproximadamente sagital, como cuando se levantan ambos brazos al frente para pasar de quinta posición baja a alta o para elevar un brazo al frente de una posición baja a otra por encima de la cabeza (brazo derecho en la figura 7.26). Este mismo movimiento (flexión concéntrica del hombro) se usa en los ejercicios de fortalecimiento como la elevación de los brazos al frente en bipedestación (tabla 7.10B, pág. 434) y de rodillas (tabla 7.10M, pág. 442). Los músculos flexores del hom-

FIGURA 7.26. Movimiento de danza que muestra flexión del hombro.
Fotografía por cortesía de Myra Armstrong. Bailarín: Lorin Johnson, con el American Ballet Theatre.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.4

## *Movimiento del complejo del hombro y músculos usados en los* push-up

Observa a un bailarín practicando una flexión de brazos (con los codos fijos), centrándote en el movimiento articular y los músculos que actúan en el complejo del hombro.

- **Fase ascendente.** Fíjate que en la fase ascendente de la flexión de brazos el movimiento del hombro se produce contra la gravedad. Por tanto, el movimiento articular, la flexión de los hombros, se produce mediante la contracción concéntrica de los músculos flexores del hombro. Ejemplos de flexores principales del hombro son la porción anterior del deltoides y el pectoral mayor (porción clavicular).
- **Fase descendente.** Fíjate en que, por el contrario, durante la fase descendente, la gravedad tiende a generar el movimiento en la articulación del hombro. Por tanto, aunque el movimiento articular sea de extensión de los hombros, los músculos flexores del hombro están trabajando excéntricamente para controlar el descenso del cuerpo y evitar que caiga al suelo. Así, los músculos flexores del hombro deben trabajar en las fases ascendente y descendente del movimiento, concéntricamente en la fase ascendente y excéntricamente en la fase descendente.
- **Estabilización y movimiento escapulares.** Ahora examinemos la influencia de la gravedad sobre las escápulas, y fijémonos en que el peso del cuerpo tiende a provocar que las escápulas se aproximen entre sí o se muevan en aducción, sobre todo durante la fase descendente del movimiento. Usa los músculos serrato anterior y otros abductores escapulares para mantener separadas las escápulas durante la flexión de brazos y contrarrestar esta tendencia a la aducción. Además, los estadios finales de la flexión de los hombros (superior a 60°) tienden a vincularse con ligera abducción y rotación superior de la escápula. Una vez más, el serrato anterior, y en menor grado el trapecio, se pueden usar para lograr el ritmo escapulohumeral deseado.

bro se usan concéntricamente al caminar y correr cuando los brazos se balancean hacia delante, en los lanzamientos con la mano a la altura de la cintura, en ciertos movimientos en deportes de raqueta y en el juego de los bolos. La flexión concéntrica del hombro también ocurre en movimientos de empuje cuando la mano está fija (cadena cinética cerrada) y el codo está junto al costado, como en la fase ascendente de un *push-up* en decúbito prono (tabla 7.10A, pág. 434) o en un ejercicio de tríceps *(press-up)* (tabla 7.10C, pág. 435). Los flexores del hombro –sobre todo la porción anterior del deltoides y el pectoral mayor (porción clavicular, tabla 7.5)– se usan para generar estos movimientos (tabla 7.4). Los grados superiores de la flexión del hombro tienden a acompañarse de ligera abducción (serrato anterior) y rotación superior (trapecio y serrato anterior, tabla 7.4) de la escápula (tabla 7.3, pág. 399). Debido a la abducción escapular que normalmente acompaña a la rotación superior de la escápula, el músculo serrato anterior ha demostrado desempe-

**Tabla 7.4. Movimientos escapulares y músculos que los generan**

| Movimiento escapular | Músculos principales y accesorios |
|---|---|
| Elevación | Fibras superiores del trapecio<br>Elevador de la escápula<br>Romboides |
| Depresión | Fibras inferiores del trapecio<br>Pectoral menor<br>Serrato anterior (fibras inferiores) |
| Abducción (protracción) | Serrato anterior<br>Pectoral menor |
| Aducción (retracción) | Trapecio<br>Romboides<br>Elevador de la escápula |
| Rotación superior | Serrato anterior<br>Trapecio |
| Rotación inferior | Romboides<br>Pectoral menor<br>Elevador de la escápula |

**Tabla 7.5. Movimientos del hombro y músculos que los generan**

| Movimiento del hombro | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| Flexión | Fibras anteriores del deltoides<br>Pectoral mayor (porción clavicular) | Coracobraquial<br>Bíceps braquial |
| Extensión | Pectoral mayor (porción esternal)<br>Dorsal ancho<br>Redondo mayor | Fibras posteriores del deltoides<br>Tríceps braquial |
| Abducción | Fibras medias del deltoides<br>Supraespinoso | Fibras anteriores del deltoides (>15°)<br>Pectoral mayor (clavicular >90°)<br>Bíceps braquial (con el hombro en rotación externa) |
| Aducción | Pectoral mayor (sobre todo porción esternal) con el dorsal ancho | Fibras posteriores del deltoides<br>Fibras anteriores del deltoides<br>Redondo mayor<br>Coracobraquial<br>Bíceps braquial<br>Tríceps braquial |
| Rotación externa | Infraespinoso<br>Redondo menor | Fibras posteriores del deltoides<br>Coracobraquial (de rotación interna a posición neutra) |
| Rotación interna | Subescapular<br>Redondo mayor | Fibras anteriores del deltoides<br>Pectoral mayor<br>Dorsal ancho<br>Coracobraquial (>90°) |
| Abducción horizontal | Fibras medias del deltoides<br>Fibras posteriores del deltoides<br>Infraespinoso<br>Redondo menor | Dorsal ancho<br>Redondo mayor |
| Aducción horizontal | Fibras anteriores del deltoides<br>Pectoral mayor | Bíceps braquial (cabeza corta)<br>Coracobraquial |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
QUITO

ñar un papel más prominente respecto al trapecio en la flexión del hombro (Rasch, 1989).

## Extensión del hombro

En los movimientos en cadena cinética abierta, la extensión de los hombros suele implicar un movimiento posterior y descendente de los brazos desde una posición flexionada (como de quinta posición alta a baja) en un plano aproximadamente sagital. Sin embargo, cuando el tronco está erguido, la gravedad tiende a generar dicho movimiento, y la extensión de los hombros es controlada sobre todo mediante la contracción excéntrica de los flexores del hombro y los rotadores superiores de la escápula. No obstante, si el brazo se mueve más allá de la posición anatómica (hiperextensión) –de modo que el movimiento se ejecute ahora contra la gravedad (como se ve en el brazo derecho en la figura 7.27)– o si al movimiento se opone otra resistencia externa, como una polea de pared, un tubo elástico o muelles (p. ej., remo en sedestación [tabla 7.10D, pág. 435] o ejercicio de tríceps con impulso hacia atrás [tabla 7.10E y O, págs. 436 y 444]), los músculos extensores del hombro –incluidos la porción posterior del deltoides, el dorsal ancho y el redondo mayor– se usan concéntricamente para generar la extensión deseada, acompañada de relativa aducción escapular y rotación inferior (romboides, elevador de la escápula y porción inferior del trapecio neutralizan la elevación no deseada). De forma parecida, en un *pull-up* (cadena cinética cerrada), la extensión se produce contra la gravedad (p. ej., elevar el cuerpo) y los extensores del hombro (que incluyen el pectoral mayor [porción esternal], el dorsal ancho y el redondo mayor) trabajan concéntricamente durante la fase ascendente para generar esta extensión de los hombros. Así, esta posición del cuerpo colgando tiende a generar elevación extrema de las escápulas, y la depresión escapular fuerte y deliberada (porción inferior del trapecio, serrato anterior) acompaña idealmente a la extensión de los hombros.

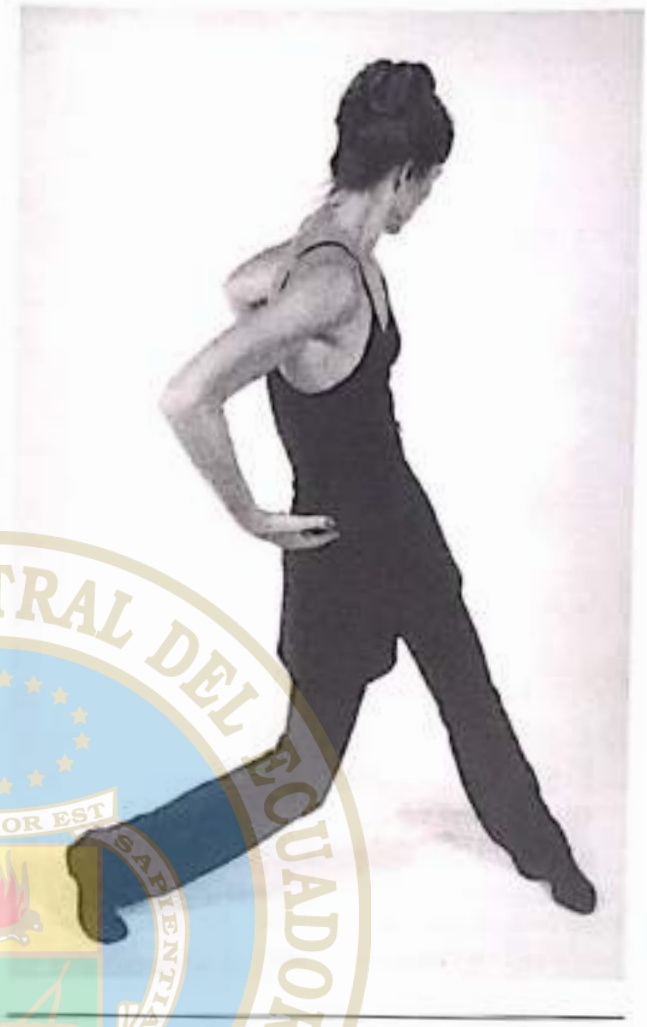


FIGURA 7.27. Movimiento de danza que muestra extensión de los hombros.

## Abducción del hombro

Cuando la mano tiene libertad para moverse (cadena cinética abierta), la abducción del hombro alude al movimiento lateral del brazo desde la línea media del cuerpo en un plano aproximadamente frontal, como al levantar los brazos lateralmente de quinta posición baja a alta, en los *jumping jacks* (saltos abriendo las piernas) o en la elevación lateral de los brazos (tabla 7.10F, pág. 437) con pesas. En danza, a menudo se mantiene uno o ambos brazos en 90° de abducción para facilitar el equilibrio o lograr la meta estética deseada (como se ve en el brazo izquierdo en la figura 7.28). Los músculos abductores del hombro –sobre todo el supraespinoso y el deltoides– se usan para generar estos movimientos. Cuando el hombro está en rotación externa, el bíceps braquial también colabora en la abducción del hombro (Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). Cuando los brazos se elevan por encima de la altura de los hombros, la porción clavicular del pectoral mayor también puede ayudar a la abducción (tabla 7.4). La abducción del hombro (mayor de 30°) se acompaña de rotación superior de la escápula (serrato anterior y trapecio), y la abducción completa hasta una posición por encima de la cabeza no es posible sin esta rotación superior coordinada de la escápula. El manguito de los rotadores también contribuye ayudando a deprimir la cabeza del húmero (par de fuerzas SIR: subescapular, infraespinoso y redondo menor) para prevenir la compresión en la amplitud media de abducción y ayudar a contrarrestar los componentes potencialmente luxadores superiores de la fuerza producida por la porción media del deltoides en los últimos grados de abducción (Hall, 1999). En los grados superiores de abducción, el manguito de los rotadores tam-

FIGURA 7.28. Movimiento de danza que muestra abducción del hombro.
Fotografía de Brooks Dierdoff. Bailarina: Nicole Robinson.

bién puede generar ligera rotación externa (infraespinoso y redondo menor) para ayudar a que el tubérculo mayor del húmero no choque con el acromion y permitir una mayor amplitud de movimiento al brazo.

### Aducción del hombro

En los movimientos en cadena cinética abierta, la aducción del hombro implica mover el brazo hacia abajo y hacia la línea media del cuerpo desde una posición de abducción en un plano aproximadamente frontal, como al llevar los brazos de segunda a quinta posición baja. Sin embargo, cuando el torso está erguido, la gravedad tiende a generar este movimiento, y la aducción del hombro y su rotación inferior asociada se suelen controlar mediante la contracción excéntrica de los abductores del hombro y los rotadores superiores de la escápula. No obstante, si los brazos se llevan más allá de la posición anatómica por delante o detrás del cuerpo, el movimiento se produce ahora contra la gravedad, como se ve en la figura 7.29 («hiper»-abducción del hombro izquierdo combinada con ligera flexión del hombro), o, si al movimiento se opone una resistencia externa como una máquina de pesas (p. ej., dominadas), un tubo elástico, agua (p. ej., el estilo braza en natación) u otro bailarín, entran en juego los aductores del hombro y los rotadores inferiores de la escápula (romboides, elevador de la escápula con la porción inferior del trapecio o el serrato anterior para neutralizar la elevación). De forma similar, en los movimientos en cadena cinética cerrada como el «Cristo» en gimnasia, los músculos aductores del hombro se usan concéntricamente contra la fuerza de la gravedad para elevar el cuerpo. A diferencia de lo que ocurre en la cadera, donde hay un grupo de músculos específicos que generan aducción coxofemoral, en el hombro no hay músculos específicos cuya función principal sea la aducción. Son los músculos localizados en la cara anterior y posterior del hombro los que se contraen simultáneamente para generar la aducción. Por ejemplo, la contracción combinada del pectoral mayor y del dorsal ancho genera aducción del hombro, al igual que la contracción combinada de las porciones anterior y posterior del deltoides.

### Rotación externa del hombro

Cuando la mano tiene libertad de movimiento, la rotación externa del hombro se refiere a la rotación lateral del húmero sobre su eje mayor en un plano aproximadamente horizontal, como cuando se rota el brazo externamente desde la posición anatómica de modo que la punta del codo (olécranon) mire hacia el costado del cuerpo. En los ejerci-

FIGURA 7.29. Movimiento de danza que muestra aducción del hombro.
Fotografía de Edward Cassidi. Bailarina: Maurya Kerr, del Lines Ballet de Alonzo King, en la obra *Baker Fix*, vestido de Colleen Quen Couture.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

cios de fuerza, este movimiento se suele practicar contra una resistencia externa y con los codos flexionados, como en el ejercicio del espantapájaros de rodillas (tabla 7.10H, pág. 439) y en el ejercicio de rotación externa bilateral de los hombros (tabla 7.10I, pág. 439). En danza, la rotación externa se suele sumar a otros movimientos del brazo como la flexión o abducción del hombro para generar el efecto estético deseado (brazo derecho en la figura 7.30). En el deporte, la rotación externa del hombro se suele incorporar al golpe de revés en los deportes de raqueta, y se usa en los lanzamientos de béisbol con la mano por encima del hombro. Mecánicamente, como se describió con anterioridad, la adición de rotación externa a la abducción completa del hombro disminuye la tensión en éste y aumenta la movilidad posible sin generar elevación escapular. Los rotadores externos del hombro –en especial el infraespinoso y el redondo menor del manguito de los rotadores (Warner *et al.*, 1990)– se usan concéntricamente para generar esta rotación. La rotación externa del hombro tiende a combinarse con la aducción de la escápula (trapecio, romboides).

FIGURA 7.30. Movimiento de danza que muestra rotación externa del hombro.
Fotografía por cortesía de Patrick Van Osta. Bailarín: Dwayne Worthington, del CSULB.

## Rotación interna del hombro

En movimientos en cadena cinética abierta, la rotación interna del hombro se refiere a la rotación medial del húmero sobre su eje longitudinal en un plano aproximadamente horizontal, como cuando se gira el brazo hacia dentro desde la posición anatómica para que la punta del codo (olécranon) mire hacia fuera o al frente. Como con la rotación externa, los ejercicios de fuerza contra una resistencia externa suelen incorporar una posición de los codos flexionada, como en el ejercicio de rotación interna unilateral del hombro (tabla 7.10J, pág. 440). En danza, de forma parecida a la rotación externa, la rotación interna se suele sumar a otros movimientos del brazo como flexión, extensión o abducción del hombro para crear el efecto estético deseado (brazo izquierdo en la figura 7.31). En el deporte, la rotación interna del hombro se incorpora a los lanzamientos por encima de la cabeza; a ciertos golpes de derecha y por encima de la cabeza en deportes de raqueta; y en los estilos crol, mariposa y braza en natación. La rotación interna del hombro puede ser importante para la colocación y aplicación de fuerza de la mano. Los rotadores internos del hombro –que incluyen el subescapular, el redondo mayor, el dorsal ancho y el pectoral mayor– se pueden usar concéntricamente para generar esta rotación. El subescapular (del manguito de los rotadores) es un rotador interno especialmente poderoso capaz de generar este movimiento solo. Muchos de los otros músculos intervienen cuando se necesita más fuerza, en distintos grados de movimiento, o cuando se produce una combinación específica de movimientos. Por ejemplo, el dorsal ancho tiende a generar extensión del hombro con rotación interna, mientras que el pectoral mayor (porción clavicular) tiende a generar flexión y rotación interna del hombro. La rotación interna del hombro se suele combinar con abducción de la escápula (serrato anterior y pectoral menor).

## Aducción y abducción horizontales del hombro

Aunque no formen parte de los pares de movimiento fundamentales en los tres planos clásicos asociados con las articulaciones esferoideas, los movimientos especializados de aducción y abducción horizontales se incluyen por su uso habitual en danza. La aducción horizontal se refiere a llevar los brazos al frente hacia la línea media desde una posición horizontal (90° de abducción) y a mantener los brazos a la altura de los hombros durante el movimiento. Un ejemplo de ballet es el movimiento de los brazos al frente al pasar a la segunda posición *en avant*. Cuando el torso está erguido, los aductores horizontales –que incluyen la porción anterior del deltoides, el pectoral mayor y el coracobraquial– pueden generar este movimiento, mientras que los abductores del hombro (supraespinoso y porción media del deltoides) se usan para mantener los brazos a la altura de los hombros. Si se quiere fortalecer estos músculos con pesas, tumbarse en decúbito supino ofrece la posición más eficaz dado que la

FIGURA 7.31. Movimiento de danza que muestra rotación interna del hombro.
Fotografía por cortesía de Keith Ian Polakoff. Bailarina: Holly Clark, del CSULB.

gravedad opone resistencia a la aducción horizontal en esta posición (p. ej., aperturas *(jing)* o *press* de banca en decúbito supino). La aducción horizontal de los hombros tiende a combinarse con abducción de la escápula (serrato anterior y pectoral menor).

La abducción horizontal se refiere al movimiento opuesto, consistente en el desplazamiento horizontal de los brazos alejándose del frente del cuerpo manteniéndolos a la altura de los hombros, movimiento parecido a llevar los brazos de quinta a segunda posición o a acompañar ciertos movimientos de hiperextensión vertebral propios de las danzas africanas o el jazz. Cuando el torso está erguido, los abductores horizontales –que incluyen el infraespinoso, el redondo menor y las porciones media y posterior del deltoides– pueden generar este movimiento, mientras que los abductores del hombro se usan para mantener los brazos a la altura de los hombros. Si quieres fortalecer estos músculos con pesas, tumbarte en decúbito prono permite que la gravedad actúe con más eficacia ofreciendo resistencia a la abducción horizontal (p. ej., en decúbito prono, *jings* o remo con los codos separados). La abducción horizontal de los hombros suele combinarse con aducción de la escápula (trapecio, romboides).

## Consideraciones especiales sobre el complejo del hombro en la danza

En las actividades de la vida diaria, muchos de los movimientos del hombro sirven sobre todo para que la mano adopte distintas posiciones. Sin embargo, en la danza, los movimientos del hombro tienen importancia estética y gestual, así como funcional. Los distintos tipos de danza suelen recurrir a una distinta ubicación prescrita de los brazos, que varía notablemente según los tipos de danza, como el

ÓRDENES EN LA DANZA 7.2

### «Mantén las escápulas abajo»

Los profesores a veces usan la orden «mantén las escápulas abajo» cuando los estudiantes elevan excesivamente los hombros al levantar los brazos por encima de la cabeza. Como ya se ha expuesto, una interpretación anatómica de esta orden consiste en potenciar el uso de los músculos depresores escapulares (sobre todo la porción inferior del trapecio y el serrato anterior) para neutralizar la elevación indeseada (porción superior del trapecio). Sin embargo, esta orden a veces se interpreta erróneamente y se cree que hay que mantener las escápulas fijas y no permitir que se muevan. Mantener las escápulas fijas supone suprimir el ritmo escapulohumeral normal y la deseable rotación superior de las escápulas que acompaña a los movimientos de los brazos por encima de la cabeza hacia el frente o los lados. Centrarse al principio en la base de la escápula (ángulo inferior), primero con una ligera tracción descendente y luego lateral (abducción escapular) –bastante por debajo de la axila– mientras se levantan los brazos a veces facilita el reclutamiento deseado del serrato anterior. Como alternativa, pensar en extender los brazos al principio un poco hacia abajo y hacia fuera mientras se aproximan a la segunda posición a veces ayuda a contrarrestar el hábito de elevar en exceso las escápulas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

ballet, la danza moderna y jazz y los bailes étnicos. Este empleo de los brazos suele ser sutil y su dominio puede requerir años de duro entrenamiento. Aunque el uso detallado de los brazos quede fuera del alcance de este libro, unos pocos principios generales aplicables a muchas formas de danza son útiles desde la perspectiva cinesiológica. Estos principios comprenden evitar una excesiva elevación de los hombros, mantener la distancia entre las escápulas y conectar los brazos con el torso. Además, se imponen demandas especiales al complejo del hombro en el *porté* y el uso de posiciones en que el peso del cuerpo es soportado por los brazos.

## Elevación de los hombros

Uno de los errores técnicos más frecuentes relacionado con el uso de los brazos en danza es el excesivo levantamiento de los hombros o, en terminología cinesiológica, la excesiva elevación escapular (figura 7.32A). En muchas formas de danza, el objetivo es potenciar la rotación superior de las escápulas sin elevarlas visiblemente cuando los brazos se alzan a los lados (figura 7.32B). Teóricamente, este efecto estético se puede conseguir con el uso apropiado de los músculos serrato anterior y la porción inferior del trapecio, los sinergistas que pueden colaborar en la rotación superior pero que también generan depresión escapular para contrarrestar la elevación provocada por la porción superior del trapecio (véase la figura 7.25, pág. 402). Sin embargo, muchos bailarines tienen problemas para lograrlo, y la tendencia a una elevación excesiva se puede contrarrestar fortaleciendo la porción inferior del trapecio y el serrato anterior (véase tabla 7.10C, pág. 435) y centrándose en usar más la depresión escapular. Órdenes como (1) centrarse en extender los brazos hacia abajo y luego lateralmente antes de levantarlos por encima de la cabeza, o (2) imaginarse que las escápulas están lastradas con pesas de modo que el borde medial tira hacia abajo mientras el acromion rota hacia arriba, a veces ayuda a reclutar los músculos depresores escapulares adecuados, al tiempo que permite la necesaria rotación superior de las escápulas.

En ciertos movimientos, como en el trabajo de suelo, los bailarines pueden evitar la excesiva elevación de los hombros contrayendo los músculos que tienden a deprimir el húmero además de usar los músculos descritos que deprimen la escápula. El dorsal ancho y la porción inferior del pectoral mayor pueden deprimir el húmero cuando los brazos penden junto al costado. Se puede percibir esta acción de depresión humeral y escapular cuando para levantarte de una silla presionas sobre los reposabrazos si te centras en ejercer primero tracción descendente sobre la escápula y el húmero contra la silla (figura 7.33).

### Separación de las escápulas

Otro error habitual en la técnica de danza es la posición de los brazos respecto al cuerpo. Este problema es muy fácil de visualizar cuando los brazos se extienden a los lados y a la altura de los hombros (en segunda posición). Si los brazos se mantienen demasiado atrás (excesiva abducción horizontal de los hombros), las escápulas se acercan excesivamente entre sí (aducción escapular excesiva), como se ve en la figura 7.34B. Por el contrario, si los brazos se extienden demasiado al frente (excesiva aducción horizontal de los hombros), las escápulas se mantienen excesivamente separadas (excesiva abducción escapular), como se ve en la figura 7.34C. Aunque las distintas formas de danza varían en el efecto estético exacto, muchas emplean una posición en que la distancia entre las escápulas se «ensancha» en vez de aproximarse, sin dejar de

ÓRDENES EN LA DANZA 7.3

### «Conecta los brazos con la espalda»

Fijándose en las posibles acciones de las porciones anterior, media y posterior del deltoides (remitimos a las figuras 7.14-7.16 [págs. 387, 389 y 390] y la tabla 7.2 [págs. 391-392], se aprecia que todos los movimientos fundamentales del hombro se pueden ejecutar sólo con estos músculos. Sin embargo, en la danza existe el deseo de usar alguno de los grandes músculos del hombro que conectan los brazos con el tronco en vez de usar sólo la cintura escapular. Por ejemplo, el dorsal ancho presenta amplias inserciones en la columna vertebral, la pelvis y las costillas inferiores. Cuando se mantienen los brazos en segunda posición, a veces se indica a los bailarines que traten de ejercer una ligera presión con los brazos hacia abajo, incluso cuando los brazos se mantienen quietos en el espacio. Al seguir esta orden, a veces se aprecia la contracción de los músculos dorsal ancho y pectoral mayor –actuando isométricamente como aductores del hombro– mientras los abductores se contraen para mantener los brazos a la altura del hombro. Esta cocontracción ofrece un aspecto diferente y una sensación cinestésica de mayor «conexión de los brazos con el tronco» debido al empleo de los músculos con inserciones más amplias en el tronco que las del músculo deltoides.

FUNDADA EN 1620 QUITO

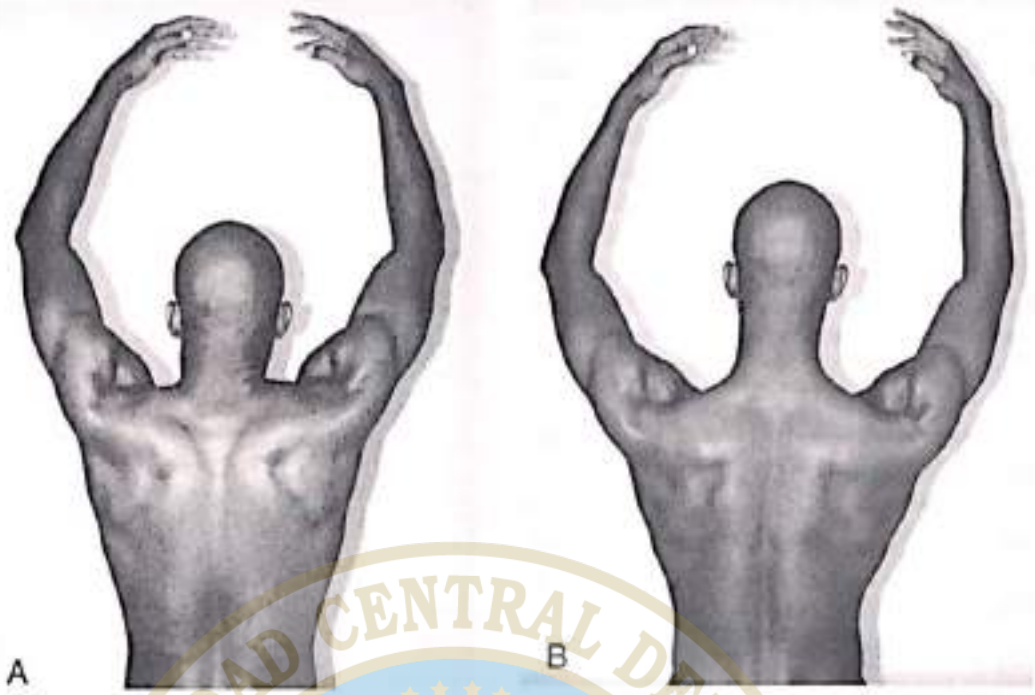



FIGURA 7.32. Elevación de los hombros durante movimientos de los brazos por encima de la cabeza. (A) Excesiva elevación escapular; (B) deseada rotación superior de la escápula sin elevación.

FIGURA 7.33. Uso de los músculos depresores de la escápula y el húmero al sostener el peso del cuerpo con los brazos. Fotografía por cortesía de Betsey Toombs. Bailarín: Wade Madsen.

mantenerlas planas sobre el dorso de la caja torácica en vez de aproximarlas a la cara anterior del cuerpo, como se ve en la figura 7.34A. Ésta es básicamente una postura «neutra» de las escápulas.

Tratar de mantener los codos y escápulas con ligera tracción lateral a veces ayuda a encontrar la posición adecuada de las escápulas. Esta posición se suele acompañar de una sensación de ligera contracción de la porción inferior del trapecio y el serrato anterior. Con las escápulas en esta posición, los brazos están ligeramente delante del plano coronal, es decir, en el plano de la escápula (*scaption*). En el caso de los bailarines que tienen dificultad para encontrar esta posición, es útil el fortalecimiento y el uso de órdenes que favorezcan la contracción de los músculos que corrigen la desviación (figura 7.34). Por ejemplo, si las escápulas se mueven excesivamente en aducción, se recomienda el fortalecimiento y un mejor desarrollo de la percepción de los abductores escapulares (tabla 7.10K, pág. 440).

### Conexión de los brazos con el torso

La posición de los brazos también influye en la del tronco, y viceversa. Por ejemplo, cuando los brazos se mantienen habitualmente demasiado atrás, esto se acompaña con frecuencia de un excesivo arqueamiento de la región lumbar (lordosis lumbar) y proyección de las costillas inferiores ha-

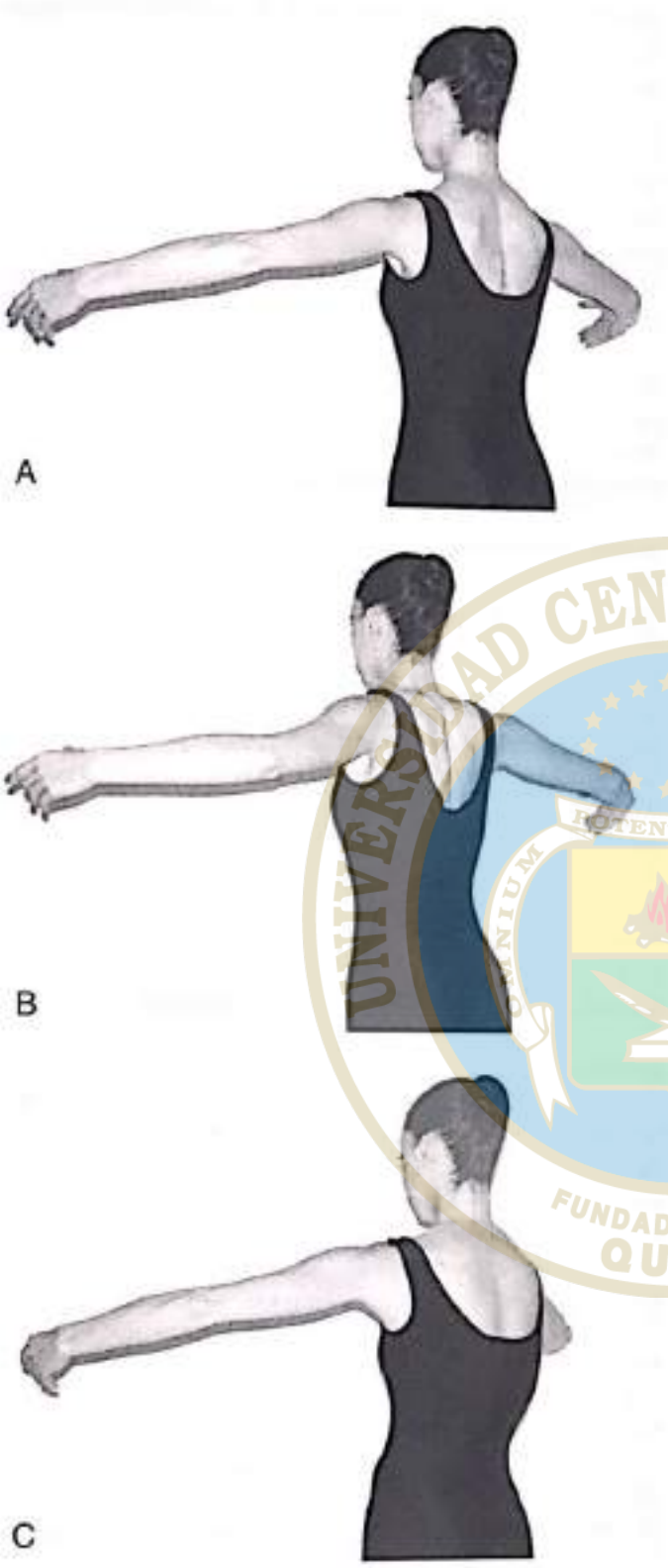



FIGURA 7.34. La colocación de los brazos varía mucho según la estética de la danza, pero por lo general se acerca a (A) una postura neutra de las escápulas y el torso sin (B) excesiva aducción escapular e hiperextensión vertebral, o (C) con excesiva abducción escapular y cifosis.

cia delante, así como de excesiva aducción escapular (figura 7.34B). Por el contrario, el mantener los brazos habitualmente demasiado hacia delante se suele acompañar del encorvamiento de la porción superior de la espalda (cifosis) y el «estrechamiento» del pecho, así como de excesiva abducción escapular (figura 7.34C). Así, el objetivo es poder utilizar una posición neutra de los brazos en que el torso también esté neutro y estabilizado, en vez de alterado por la ubicación de los brazos. A continuación, los brazos se pueden usar para mejorar el movimiento (por ejemplo, permitiendo más revoluciones en los giros) en vez de desestabilizar el centro del cuerpo. Desde esta postura neutra, los brazos también se pueden usar conscientemente de forma «no neutra» para cumplir un objetivo coreográfico dado; pero es importante que los bailarines sepan cuál es su posición neutra, así como saber elegir otras opciones sin perder el equilibrio.

Aprender a usar los brazos de forma que no alteren la alineación del torso o los hombros es un asunto complejo que incorpora muchos factores. Entre ellos, el aprendizaje de una estabilización adecuada del torso, la utilización de sinergias equilibradas y la contracción apropiada de los músculos que conectan los brazos con el torso. Respecto a este último factor, centrarse en usar algunos de los grandes músculos que conectan los brazos con el torso, como el pectoral mayor o el dorsal ancho, a veces ayuda a lograr una mayor sensación de conexión de los brazos con el torso y el «centro». Como se ha descrito previamente, el pectoral mayor y el dorsal ancho se pueden usar para deprimir el húmero. De ahí que centrarse en extender los brazos hacia abajo y al suelo antes de levantarlos hacia delante o atrás, a veces ayuda a localizar estos músculos. Como estos músculos se localizan más caudalmente que otros músculos motores principales –como el deltoides–, se puede percibir cómo estos músculos trabajan más si se piensa en usar los músculos bajos, junto a la axila, en vez de los de la porción superior del hombro.

### *Porté* y apoyo de los brazos

Se requiere mucha fuerza y una mecánica correcta para levantar a una bailarina, para ejecutar el *porté* correctamente y prevenir lesiones. En las escuelas de ballet clásico, a los jóvenes que aún estaban experimentando tirones de crecimiento y no habían alcanzado la madurez se les exigía a menudo levantar a bailarinas jóvenes que eran tan o más altas que ellos. En muchas formas de danza, como la danza moderna y jazz, los coreógrafos contemporáneos obligan a veces a las bailarinas a levantar a otras mujeres u hombres que pesan más que ellas. Muchos coreógrafos contemporáneos también recurren a posiciones y movimientos que exigen sostener el peso del cuerpo con los brazos, como al hacer la vertical, *cartwheels* o *back flips*. El tipo de fuerza necesaria para estos movimientos supera la que se necesita en las clases de danza tradicional, y se recomienda que los bailarines

practiquen ejercicios suplementarios de fortalecimiento de las extremidades superiores, sobre todo de los músculos flexores, extensores y abductores del hombro (véase la tabla 7.10, pág. 434). Desde la perspectiva de la prevención de lesiones, también es importante practicar ejercicios para el manguito de los rotadores y los músculos estabilizadores de la escápula. La importancia de estos músculos más pequeños se puede apreciar en la figura 7.35; aquí los músculos escapulares se emplean para estabilizar las escápulas como una plataforma estable para que los otros músculos de la extremidad superior soporten con eficacia el peso del cuerpo.

## Otras articulaciones de la extremidad superior

Distales a la articulación glenohumeral, se encuentran la articulación del codo, las articulaciones entre el radio y el cúbito, la articulación de la muñeca y las articulaciones entre los distintos huesos de la mano. Al hablar de estas articulaciones, tendremos en cuenta los parecidos y diferencias con articulaciones comparables de la extremidad inferior.

### *Estructura y movimientos de la articulación del codo*

El codo se compone de dos articulaciones distintas (figura 7.36). Más específicamente, el extremo distal del húmero se ensancha y forma prominencias óseas: el epicóndilo medial y el epicóndilo lateral. Entre estos epicóndilos hallamos una superficie articular medial llamada **tróclea** y una superficie articular lateral llamada **capítulo** (cabecita). La tróclea del húmero, que tiene forma de carrete, se articula con un área cóncava en la porción proximal del cúbito llamada **escotadura troclear** (escotadura semilunar) para formar la **articulación humerocubital,** mientras que el capítulo esférico del húmero se articula con el extremo proximal aplanado del radio (cabeza), para formar la articulación **humerorradial.**

Debido a los ligamentos que unen el radio con el cúbito, las articulaciones humerocubital y humerorradial actúan juntas, y la articulación del codo en conjunto se considera una trocleartrosis. Su eje discurre por el medio de la tróclea y el capítulo, permitiendo sólo movimientos de flexión y extensión (figura 7.37A). La escotadura troclear del cúbito termina en sentido inferior y anterior en una pequeña prominencia llamada **apófisis coronoides,** y en sentido superior y posterior en una prominencia llamada **olécranon.** Cuando el codo está completamente extendido, la cabeza del radio y la apófisis coronoides encajan en pequeñas muescas en la cara anterior del húmero (fosa radial y fosa coronoidea), mientras que el olécranon se puede palpar como la «punta» del codo. El olécranon entra en contacto con la mesa o suelo cuando te apoyas en los codos flexionados y con los antebrazos aproximadamente verticales. A veces al darte un codazo sientes un extraño hormigueo que baja por el antebrazo hasta el dedo meñique; esta sensación responde a la compresión del nervio cubital, que discurre por un surco entre el olécranon y el epicóndilo medial. Cuando el codo se extiende por completo, el olécranon se desplaza dentro de una gran depresión en el dorso de la porción inferior del húmero (fosa olecraneana).

La configuración ósea de la articulación del codo la hace más estable que la del hombro. Además, las articulaciones del codo están dentro de una cápsula articular reforzada por distintos ligamentos, como los ligamentos colaterales medial (o cubital) y lateral (o radial), que aumentan la estabilidad articular (figura 7.38). El ligamento colateral cubital es especialmente clave para estabilizar la articulación del codo, y su localización medial le permite aguantar la tensión en valgo asociada con el levantamiento de objetos pesados o el soporte del peso del cuerpo. Muchos músculos del codo y los músculos extrínsecos de la mano que cruzan la articulación del codo presentan líneas de tracción que también aportan considerable estabilidad articular, además de mover la articulación (Kreighbaum y Barthels, 1996).

FIGURA 7.35. Movimiento de danza con el peso del cuerpo apoyado en los brazos, lo cual exige mucha fuerza en las extremidades superiores y mucha estabilización escapular.

### *Alineación del codo*

Igual que sucede con la rodilla, el codo se puede hiperextender y variar su angulación. Conocer estas desviaciones ayuda a lograr el efecto estético deseado en la danza.

### Ángulo de carga

La tróclea se extiende más distalmente que el capítulo. Por tanto, en la posición anatómica con el codo extendido y el antebrazo en supinación, el antebrazo se desvía un poco lateralmente respecto al húmero. Esta angulación se denomina **ángulo de valgo o ángulo de carga** del codo (figura 7.39). Algunos autores han planteado la hipótesis de que este ángulo sirve para evitar que las manos golpeen las caderas cuando se acarrea algo con los codos junto a los costados, y de ahí su nombre. El ángulo de alineación varía mucho entre personas y tiende a ser mayor en las mujeres que en los hombres, y mayor en los adultos que en los niños (Goldamn y McCann, 1997). Se consideran valores normales de 10° a 25° en las mujeres y de 5° a 15° en los hombres cuando el codo está extendido en la posición anatómica (Frankel y Nordin, 1980; Magee, 1997). Un aumento de este ángulo por encima de lo normal y debido a una mayor desviación lateral del antebrazo se denomina **cúbito valgo**, mientras que una reducción de este ángulo por debajo de lo normal se denomina **cúbito varo**.

Debido a la forma asimétrica de la tróclea y al hecho de que el eje de la articulación del codo se angule ligeramente hacia abajo en su curso medial, el ángulo de carga disminuye o incluso se invierte cuando el codo se flexiona desde la posición anatómica. Un estudio documentó un cambio en el valor medio de 10° de valgo (angulación lateral del antebrazo respecto al eje longitudinal del húmero) con el codo totalmente extendido, hasta 8° de varo (angulación medial del antebrazo respecto al eje longitudinal del húmero) con el codo totalmente flexionado. Hay que tenerlo presente cuando se hagan ejercicios de fortalecimiento del codo en flexión o extensión, y, en el caso de la mayoría de los bailarines, hay que dejar que el antebrazo se desvíe lateralmente en vez de tratar de forzarlo y mantenerlo alineado con el húmero al extender el codo.

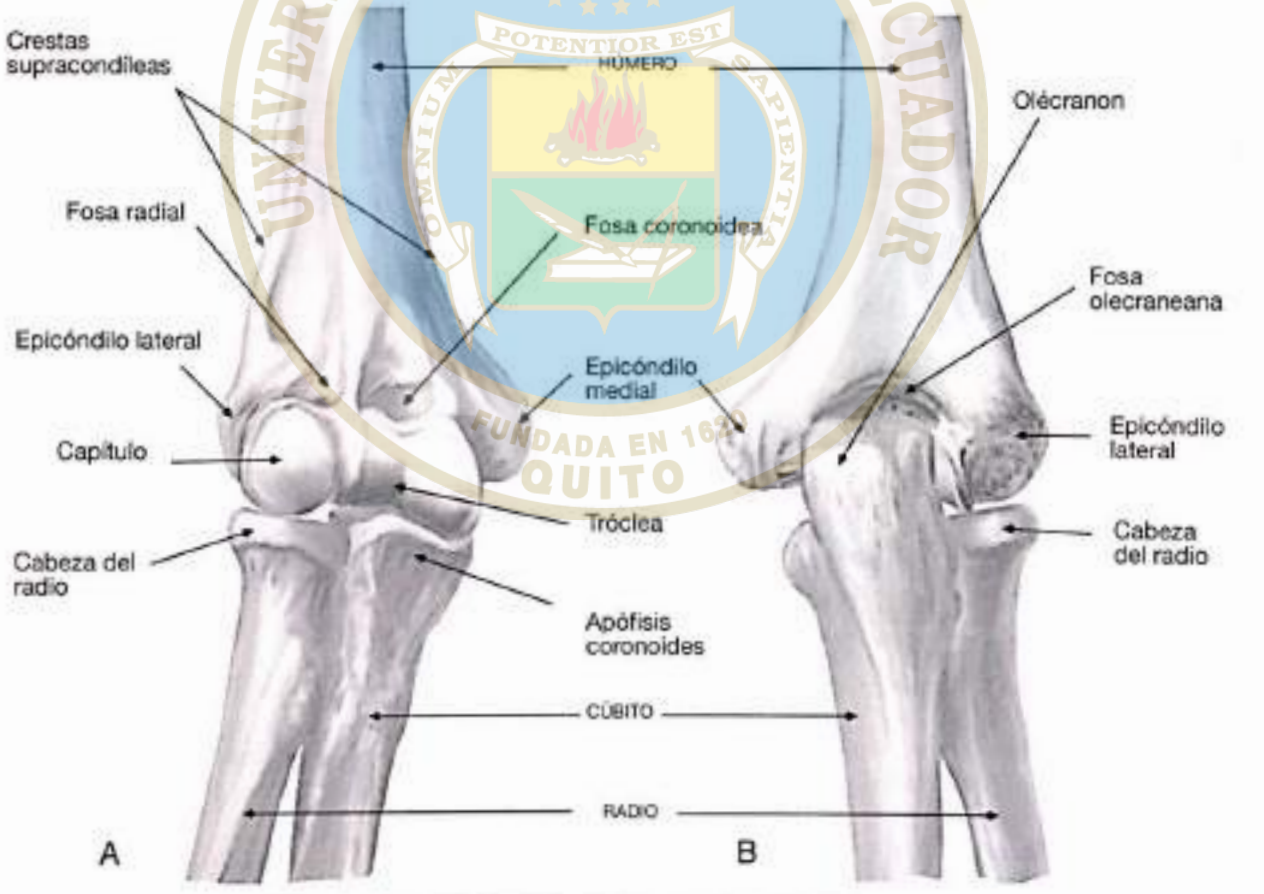



FIGURA 7.36. Huesos y puntos óseos de referencia de la articulación del codo derecho. (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1622
QUITO

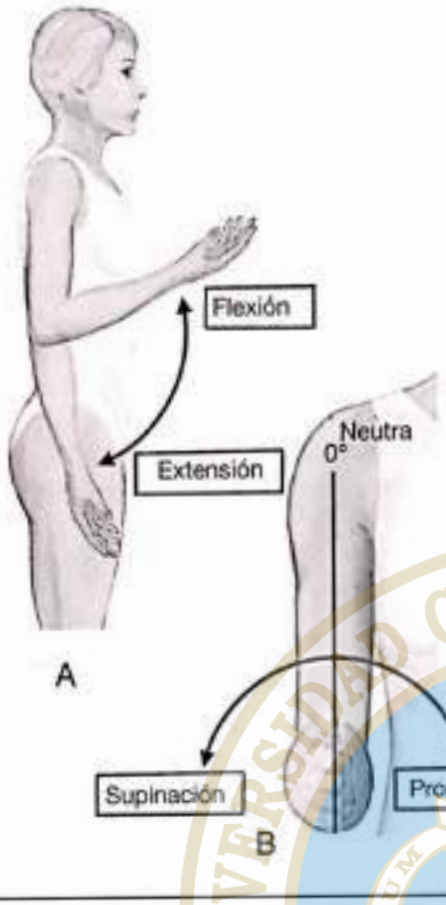



FIGURA 7.37. Movimientos de (A) la articulación del codo (flexión-extensión) y (B) articulaciones radiocubitales (pronación-supinación).

FIGURA 7.38. Vista medial del codo en que aparece la cápsula y los ligamentos mediales (codo derecho).

FIGURA 7.39. Ángulo de carga (brazo derecho, vista anterior).

### Hiperextensión del codo

Mientras que la flexión del codo a menudo queda limitada por el contacto de los tejidos blandos del brazo y antebrazo, la extensión puede quedar limitada por la tirantez de ligamentos o músculos en oposición, o por el contacto del olécranon del cúbito con el húmero. Sin embargo, el punto en que el codo se detiene al extenderse es muy variable de una a otra persona; y muchos bailarines, sobre todo mujeres, pueden hiperextender el codo (figura 7.40). Sea debido a laxitud ligamentaria o a la cortedad del olécranon, los bailarines con acusada **hiperextensión del codo** a menudo tienen que recurrir a una contracción de los músculos flexores del codo de forma aislada o coordinada con los extensores para evitar este efecto estético no deseado, sobre todo en movimientos que exijan apoyarse en los brazos. Al igual que con la hiperextensión de las rodillas, a menudo hay que volver a entrenar la sensibilidad cinestésica con retroalimentación externa, como mirarse

en un espejo o reaprender la posición del codo recto en vez de hiperextendido.

## Descripción y funciones de los músculos específicos del codo

La arquitectura de los músculos del codo es tal que los que lo cruzan en sentido anterior están en disposición de flexionar el codo, y los que lo cruzan posteriormente lo pueden extender. Esta arquitectura es parecida a la del hombro o la cadera, pero opuesta a la de la rodilla. (Véase Músculos específicos del codo, págs. 416-422.)

## Estructura y movimientos de las articulaciones radiocubitales

El radio y el cúbito se conectan por medio de dos articulaciones sinoviales: la articulación radiocubital proximal y la articulación radiocubital distal (figura 7.45). También se conectan mediante una capa ligamentaria (articulación radiocubital media).

La **articulación radiocubital proximal** es una articulación trocoide uniaxial situada dentro de la cápsula del codo. Está formada por la articulación entre los lados de la cabeza del radio y una escotadura en el cúbito (escotadura radial), como se ve en la figura 7.45A y B. Un poderoso ligamento, el **ligamento anular**, forma un anillo de tres cuartos alrededor de la cabeza del radio, manteniéndola cerca del cúbito de modo que se produzca la rotación deseada sin otros movimientos. Se puede percibir el movimiento de la cabeza del radio bajo la piel poniendo un dedo 2,5 cm debajo del epicóndilo lateral del húmero derecho, y llevando a continuación de forma lenta y repetitiva la palma de la mano derecha boca abajo (pronación del antebrazo) y boca arriba (supinación).

La **articulación radiocubital media** no es una articulación sinovial, sino fibrosa, que establece la unión mediante una lámina ligamentaria llamada **membrana interósea.** Esta articulación actúa evitando que el radio y el cúbito se separen demasiado o se alejen deslizándose en dirección longitudinal, como se ve en la figura 7.45A y B.

La **articulación radiocubital distal** es una articulación trocoide formada entre la cabeza del cúbito y una superficie cóncava del radio (escotadura cubital). Fíjate en que el radio es el hueso más pequeño proximalmente y termina en una «cabeza», y el cúbito es el hueso más pequeño distalmente y también acaba en una «cabeza». Esta articulación radiocubital distal permite al radio (con la muñeca y la mano) girar alrededor de la cabeza del cúbito (figura 7.45B). Un disco articular triangular conecta el radio y el cúbito y confiere estabilidad a la articulación.

En conjunto, las articulaciones radiocubitales permiten al radio girar respecto al cúbito de modo que la palma de la mano mire hacia abajo con el pulgar en posición medial (pronación), o la palma mire hacia arriba con el pulgar en posición lateral (supinación) (figura 7.45C). Se puede trazar el eje de este movimiento entre la cabeza del radio proximalmente y la cabeza del cúbito distalmente (figura 7.45A). Este movimiento es más complejo que la rotación pura sobre un hueso, porque en la posición de supinación (p. ej., la posición anatómica), el radio y el cúbito, se sitúan paralelos entre sí, con el radio situado lateral al cúbito. Sin embargo, en pronación, aunque la porción proximal del radio se mantenga al mismo lado del cúbito como en supinación, la porción distal del radio cruza por encima el lado medial del cúbito. (Véase Músculos específicos de las articulaciones radiocubitales, págs. 423-424.)

*(El texto continúa en la pág. 424)*

FIGURA 7.40. Hiperextensión del codo.

ARSOR CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

# Músculos específicos del codo

## Músculos anteriores del codo

Tres músculos importantes que flexionan el codo son el bíceps braquial, el braquial y el braquiorradial. Algunos de los músculos del antebrazo, muñeca y mano también colaboran en la flexión del codo, pero, por razones de simplicidad, no se expondrán aquí. La flexión del codo es importante para los movimientos de levantamiento, para llevar las manos hacia el hemicuerpo superior y en movimientos gestuales.

**Inserciones y acciones principales del músculo bíceps braquial**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Bíceps braquial | Cabeza larga: justo encima de la cavidad glenoidea de la escápula<br>Cabeza corta: apófisis coracoides de la escápula | Tuberosidad del radio por medio de un tendón común | Flexión del codo<br>Supinación radiocubital<br>(flexión del hombro: cabeza larga)<br>(abducción del hombro con el hombro en rotación externa: cabeza larga)<br>(aducción del hombro: cabeza larga) |

### Bíceps braquial

Como su nombre implica, el **bíceps braquial** (*biceps*, dos cabezas, + *brachium*, brazo) presenta dos cabezas. Se sitúa a nivel superficial en la porción frontal del brazo (figura 7.41). La cabeza larga tiene su origen por encima de la cavidad glenoidea en la escápula, y su tendón discurre por encima del húmero para luego cursar por el surco intertubercular del húmero. Debido a su localización, la cabeza larga del bíceps braquial puede deprimir la cabeza del húmero para evitar su compresión cuando se requiere una contracción potente del bíceps, como en una flexión resistida del codo (Schmitz y Ciullo, 1999; Smith, Weiss y Lehmkuhl, 1996). La cabeza corta se origina en la apófisis coracoides de la escápula. En la porción proximal del brazo, estos músculos forman vientres diferenciados, pero a mitad del húmero se unen en un solo vientre que se inserta en una tuberosidad en el lado medial del radio (tuberosidad del radio) por medio de un tendón común.

El bíceps braquial es un flexor importante del codo. Con su inserción en la tuberosidad del radio, cuando el antebrazo se mueve en pronación, el tendón del bíceps se torsiona a medio camino alrededor del radio, y la contracción del bíceps genera supinación del antebrazo además de flexión del codo. Sin embargo, tal vez debido a que se enrolla alrededor del radio, el bíceps braquial contribuye mínimamente a la flexión del codo con el antebrazo en pronación (Hamill y Knutzen, 1995). De ahí que practicar un *pull-up* con las palmas mirando en dirección opuesta al cuerpo (pronación de los antebrazos) sea

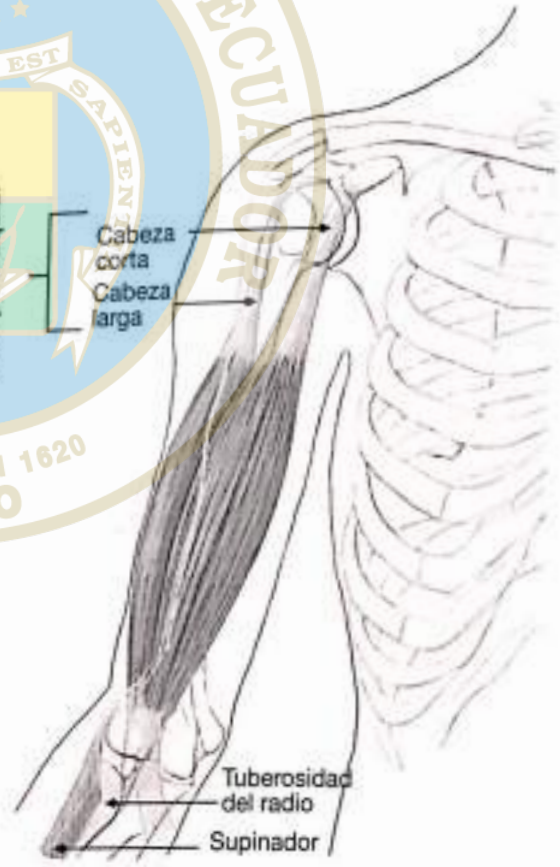



FIGURA 7.41. Músculos bíceps braquial y supinador (brazo derecho, vista anterior).

más difícil que con las palmas mirando hacia el cuerpo, y se ha comprobado que la fuerza generada por los flexores del codo en una contracción voluntaria máxima es mínima con el antebrazo en pronación, y máxima con el antebrazo en supinación (Hamilton y Luttgens, 2002). En el hombro, el bíceps braquial puede colaborar en la flexión del hombro (y en la abducción cuando el hombro está en rotación externa y el codo extendido). De ahí que practicar una flexión del codo con el hombro flexionado, como en el *porté* o al practicar una elevación de los brazos al frente de rodillas (tabla 7.10M, pág. 442), aumente la dificultad para el bíceps braquial, sin influir en la dificultad para los flexores del codo que no cruzan el hombro, como el músculo braquial. Además, el bíceps braquial puede ayudar a otros músculos en la aducción del hombro.

*Palpación.* El bíceps es fácil de ver y palpar en la cara anterior del brazo. Siéntate con los dedos de la mano izquierda en la cara anterior del brazo derecho, con el codo flexionado y la palma de la mano debajo de una mesa. Podrás percibir la contracción del bíceps braquial cuando hagas presión ascendente con la palma de la mano derecha contra la mesa como si fueras a doblar el codo (flexión isométrica del codo). Mueve los dedos distalmente sobre el bíceps, y palparás su tendón sobresaliendo en el pliegue del codo. Fíjate en que el bíceps braquial se inserta proximalmente en la escápula y distalmente debajo del codo, y que no tiene una inserción verdadera en el húmero. Por tanto, cuando relajas este músculo, es más fácil de mover lateralmente que el braquial, situado debajo, que cuenta con amplias inserciones en el húmero.

**Inserciones y acciones principales del músculo braquial**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Braquial | Cara anterior de la mitad inferior del húmero | Porción superior del cúbito | Flexión del codo |

## *Braquial*

El **braquial** se localiza en la cara anterior del brazo a nivel profundo del músculo bíceps braquial (figura 7.42). Se origina proximalmente en la porción anterior de la mitad inferior del húmero y se inserta distalmente en la porción superior del cúbito. Debido a su inserción en el cúbito, el músculo braquial no genera supinación ni pronación del antebrazo, y no influye en él la posición del antebrazo. El músculo braquial se llama a veces el «caballo percherón del codo» porque parece trabajar en casi todas las condiciones de flexión del codo, sin importar la velocidad, resistencia o posición del antebrazo.

*Palpación.* Siéntate con los dedos de la mano izquierda sobre la cara anterior del brazo derecho (a 2,5 cm por encima del pliegue del codo y a los lados del bíceps braquial) mientras el codo está flexionado y el antebrazo en pronación, de modo que el dorso de la mano derecha esté bajo una mesa. Podrás percibir la contracción del músculo braquial justo medial y lateral al bíceps cuando hagas presión ascendente con la mano derecha contra la mesa como si fueras a flexionar más el codo (flexión isométrica del codo).

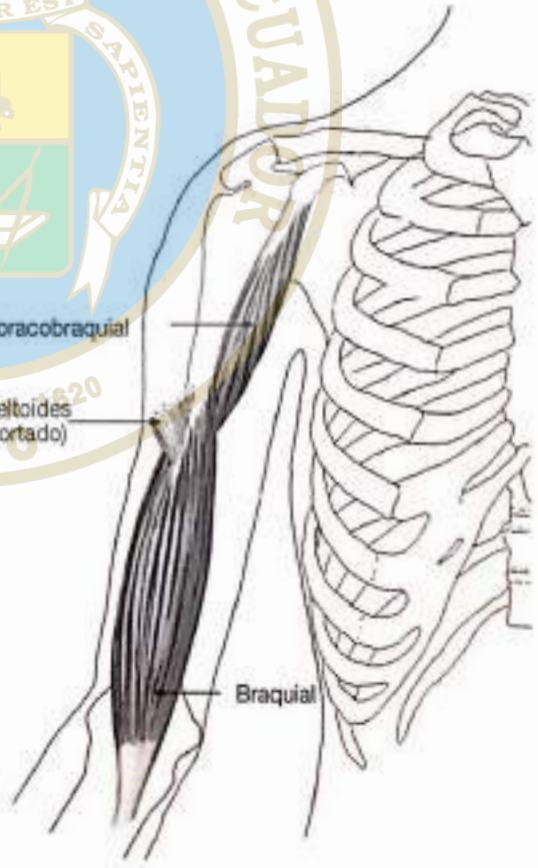



FIGURA 7.42. Músculos braquial y coracobraquial (brazo derecho, vista anterior a nivel profundo).

**Inserciones y acciones principales del músculo braquiorradial**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Braquiorradial | Encima del epicóndilo lateral del húmero | Cara lateral de la apófisis estiloides del radio | Flexión del codo<br>Supinación radiocubital en pronación, o viceversa, para alcanzar la posición media |

### *Braquiorradial*

Como su nombre indica, el **braquiorradial** discurre entre el brazo y el radio. Este músculo se origina por encima del epicóndilo lateral del húmero y desciende hasta insertarse distalmente en la porción inferior del radio, justo por encima de la apófisis estiloides (figuras 7.43 y 7.47, pág. 425). Es el músculo que conforma el contorno redondeado de la cara lateral del antebrazo. Cuando este músculo se contrae, flexiona el codo. Debido a su localización, se ha planteado la hipótesis de que este músculo lleve el antebrazo a una posición media (posición neutra) desde otra de pronación o supinación.

*Palpación.* Siéntate con los dedos de la mano izquierda en la cara anterolateral del antebrazo derecho justo distal al pliegue del codo, con el codo derecho flexionado y la mano derecha cerrada en un puño; el pulgar del puño bajo la mesa (antebrazo en una posición media entre pronación y supinación). Se puede ver y palpar la contracción del braquiorradial cuando se ejerce presión ascendente con el puño contra la mesa. Mueve los dedos distalmente sobre el músculo braquiorradial hasta la porción distal del radio siguiendo su curso.

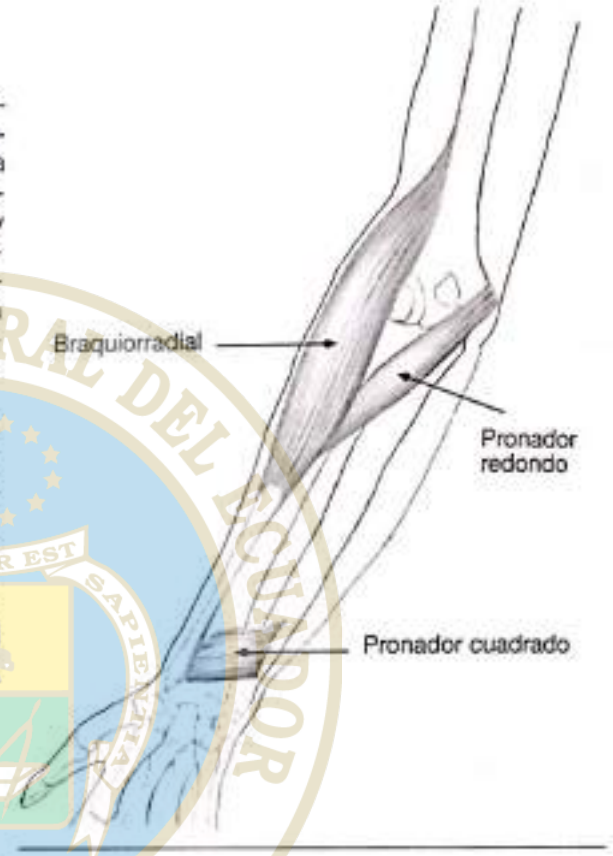



FIGURA 7.43. Músculos braquiorradial, pronador redondo y pronador cuadrado (brazo derecho, vista anterior).

## *Músculos posteriores del codo*

Los músculos posteriores del codo comprenden el tríceps braquial y el ancóneo. Como estos músculos se insertan distalmente en el cúbito, en vez de en el radio, la posición del antebrazo no influye en su función. Otros músculos extensores de la muñeca y los dedos que cruzan la articulación del codo posteriormente también contribuyen a la extensión del codo, aunque se han omitido por razones de simplicidad.

**Inserciones y acciones principales del músculo tríceps braquial**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Tríceps braquial | Cabeza larga: justo debajo de la cavidad glenoidea de la escápula<br>Cabeza lateral: mitad superior de la cara posterolateral del húmero<br>Cabeza medial: dos tercios inferiores de la cara posterior del húmero | Olécranon del cúbito por medio de un tendón común | Extensión del codo<br>(extensión del hombro: cabeza larga)<br>(aducción del hombro: cabeza larga) |

### *Triceps braquial*

El tríceps braquial se localiza a nivel superficial y conforma la masa muscular del dorso del brazo (figura 7.44A). Como su nombre sugiere, este músculo se compone de tres cabezas: larga, medial y lateral. La cabeza larga surge proximalmente justo debajo de la cavidad glenoidea de la escápula. La cabeza lateral surge proximalmente de la mitad superior posterolateral del húmero. La cabeza medial tiene su origen en los dos tercios inferiores de la cara posterior del húmero. Las tres cabezas se unen y luego se insertan distalmente en el olécranon del cúbito mediante un poderoso tendón plano. El tríceps es un poderoso músculo extensor del codo en el que no influye la pronación o supinación del antebrazo. Sin embargo, como la cabeza larga del tríceps braquial cruza el hombro, ésta se ve influida por la posición del hombro. Sus acciones en el hombro son extensión y aducción. Así, por ejemplo, practicar la extensión del codo con el brazo detrás del cuerpo, como en el ejercicio de tríceps en posición de tijera *(triceps kick back)* (tabla 7.10E, pág. 436), supondrá una desventaja para la cabeza larga (principio de longitud-tensión) y generará una mayor sobrecarga.

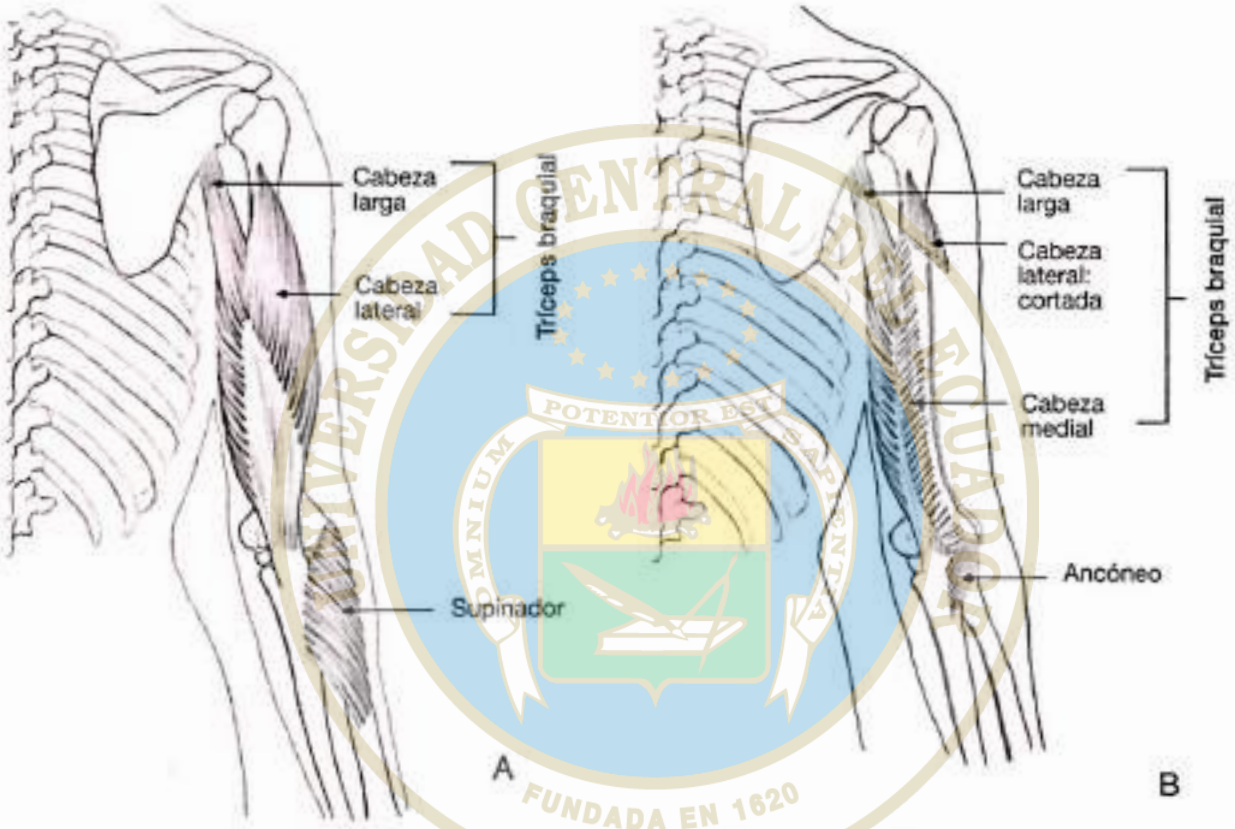



FIGURA 7.44. Músculos tríceps braquial, supinador y ancóneo (brazo derecho, vista posterior). (A) Vista a nivel superficial; (B) vista a nivel profundo.

*Palpación.* Siéntate en una silla con los dedos de la mano izquierda a medio camino sobre la cara posterior del brazo derecho y la palma de la mano derecha sobre el borde derecho del asiento. Percibirás la contracción del tríceps braquial bajo los dedos cuando la mano derecha ejerza presión descendente sobre el asiento para levantar el cuerpo (extensión del codo).

**Inserciones y acciones principales del músculo ancóneo**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Ancóneo | Cara posterior del epicóndilo lateral del húmero | Cara lateral del olécranon del cúbito<br>Cara posterosuperior del cúbito | Ayuda a la extensión del codo |

### *Ancóneo*

El ancóneo (*ancon*, codo) es un músculo pequeño situado justo distal al tríceps braquial (figura 7.44B). Desciende medialmente desde su inserción proximal en el epicóndilo lateral del húmero hasta su inserción distal en la porción posterosuperior del cúbito. Sus acciones son estabilizar el codo (Basmajian y DeLuca, 1985) y ayudar a la extensión del codo.

*Palpación.* Usando el mismo movimiento descrito para la palpación del músculo tríceps braquial, se aprecia la contracción del ancóneo colocando los dedos de la mano izquierda justo laterales al olécranon del cúbito cuando la mano derecha ejerce presión descendente sobre el asiento de la silla.

**Tabla 7.6. Resumen de inserciones y acciones principales de los músculos de las articulaciones del codo y radiocubitales**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Bíceps braquial | Cabeza larga: justo encima de la cavidad glenoidea de la escápula<br>Cabeza corta: apófisis coracoides de la escápula | Tuberosidad del radio por medio de un tendón común | Flexión del codo<br>Supinación radiocubital<br>(flexión del hombro: cabeza larga)<br>(abducción del hombro con el hombro en rotación externa: cabeza larga)<br>(aducción del hombro: cabeza larga) |
| Braquial | Cara anterior de la mitad inferior del húmero | Porción superior del cúbito | Flexión del codo |
| Braquiorradial | Encima del epicóndilo lateral del húmero | Cara lateral de la apófisis estiloides del radio | Flexión del codo<br>Supinación radiocubital en pronación, o viceversa, para alcanzar la posición media |
| Tríceps braquial | Cabeza larga: justo debajo de la cavidad glenoidea de la escápula<br>Cabeza lateral: mitad superior de la cara posterolateral del húmero<br>Cabeza medial: dos tercios inferiores de la cara posterior del húmero | Olécranon del cúbito por medio de un tendón común | Extensión del codo<br>(extensión del hombro: cabeza larga)<br>(aducción del hombro: cabeza larga) |
| Ancóneo | Cara posterior del epicóndilo lateral del húmero | Cara lateral del olécranon del cúbito<br>Cara posterosuperior del cúbito | Ayuda a la extensión del codo |
| Pronador redondo | Epicóndilo medial del húmero<br>Apófisis coronoides del cúbito | Cara lateral del tercio medio del radio | Pronación radiocubital<br>(ayuda a la flexión del codo) |
| Pronador cuadrado | Cara anterior del cuarto inferior del cúbito | Cara anterior del cuarto inferior del radio | Pronación radiocubital |
| Supinador | Epicóndilo lateral del húmero<br>Cara lateral de la porción superior del cúbito | Cara anterolateral de la porción superior del radio | Supinación radiocubital |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SCIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.7.** Movimientos de las articulaciones del codo y radiocubitales, y músculos clave que los generan

| Movimiento articular | Músculos principales | Músculos accesorios |
|---|---|---|
| Flexión del codo | Bíceps braquial<br>Braquial<br>Braquiorradial | Pronador redondo |
| Extensión del codo | Tríceps braquial | Ancóneo |
| Pronación radiocubital | Pronador cuadrado | Pronador redondo<br>Braquiorradial (hasta la posición media) |
| Supinación radiocubital | Supinador<br>Bíceps braquial | Braquiorradial (hasta la posición media) |

## *Resumen de las inserciones, acciones y papel en el movimiento de los músculos del codo*

Los músculos que cruzan la articulación del codo sirven para estabilizarla y generar flexión y extensión. Un resumen de las inserciones y acciones de los músculos clave del codo aparece en la tabla 7.6, mientras que los movimientos del codo y los músculos que los generan se exponen en la tabla 7.7. Estas tablas también comprenden los músculos clave y los movimientos de las articulaciones radiocubitales, que se describirán con más detalle en este libro.

Si el papel de estos músculos en el movimiento se plantea de la forma más simple, y si el movimiento se practica lentamente y sin una cualidad estilizada, son evidentes las siguientes generalizaciones. Los músculos flexores del codo –que incluyen el braquial y el bíceps braquial– se suelen usar concéntricamente (en cadena cinética abierta) para acercar el antebrazo al brazo contra la gravedad, como cuando se levanta algo del suelo (p. ej., un compañero), o contra otra resistencia externa como una mancuerna (*curl* de concentración, tabla 7.10L, pág. 441) o muelles (ejercicio de bíceps en posición de rodillas, tabla 7.10M, pág. 442). Los mismos músculos flexores del codo se usan después excéntricamente para controlar el descenso del antebrazo (extensión del codo). Sin embargo, cuando el brazo está fijo (cadena cinética cerrada), los músculos flexores del codo se usan con los músculos del hombro para acercar el torso a los brazos en movimientos de tiro o arrastre, como en un *push-up* o al trepar por una cuerda. En contraste, los músculos extensores del codo –sobre todo el tríceps braquial– se usan para extender el codo en movimientos en cadena cinética abierta, como en el saque de tenis o en un lanzamiento por encima de la cabeza. Los ejercicios de fortalecimiento a menudo incorporan la extensión del codo contra una resistencia externa, como unas mancuernas (trabajo de tríceps por encima de la cabeza, tabla 7.10N, pág. 443) o un muelle (de rodillas, extensión del codo hacia atrás, tabla 7.10O, pág. 444). Con la mano fija, los músculos extensores del codo se usan concéntricamente en movimientos de empuje en cadena cinética cerrada, como en una flexión de brazos *(push-up)* (tabla 7.10A, pág. 434) o para levantar el tronco de una silla (*press-up*, tabla 7.10C, pág. 435) o en el trabajo de suelo. En danza, los músculos flexores y extensores del codo también se usan gestualmente para dar forma a los brazos según las intenciones coreográficas.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.5

### *Cambio en la posición relativa de las porciones distales del radio y el cúbito con la pronación*

Emplea el siguiente ejercicio para mostrar la influencia de la pronación y la supinación en la posición relativa del radio y el cúbito.

Palpa el cúbito con las yemas de los dedos de la mano izquierda siguiendo el borde de este hueso en tu brazo derecho desde el olécranon hasta la pequeña proyección en la muñeca (apófisis estiloides). Mantén el codo flexionado 90° y junto al costado. A continuación, mueve el antebrazo en pronación mientras mantienes los dedos sobre la apófisis estiloides, y fíjate en cómo el radio se sitúa ahora medial respecto al cúbito, distalmente.

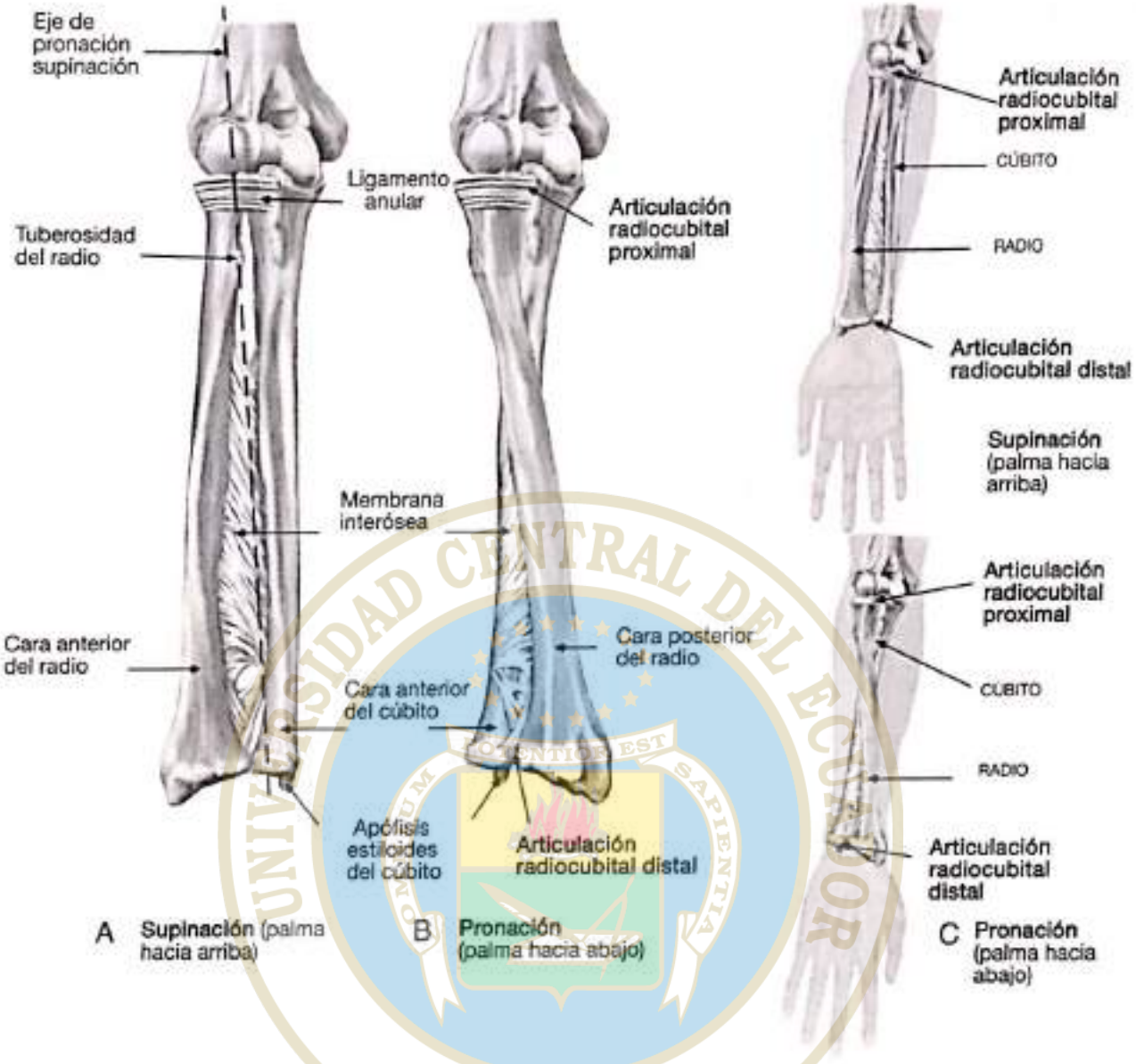



FIGURA 7.45. Articulaciones radiocubitales (antebrazo derecho). (A) Supinación; (B) pronación; (C) cambio en la posición de la mano con supinación y pronación.

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.6

### *Combinación de la rotación del hombro con movimientos del antebrazo para facilitar la posición de la mano*

Emplea el siguiente ejercicio para mostrar el modo en que la combinación de rotación del hombro con pronación y supinación del antebrazo permite un mayor grado de movilidad a la mano.

Extiende el brazo en segunda posición con la palma de la mano hacia arriba. A continuación, dirigiendo la acción con el pulgar, mueve el antebrazo en pronación y luego rota internamente el hombro, y fíjate hacia dónde se orienta el pulgar en la posición final. A continuación, mueve el brazo en pronación sin dejar que el hombro gire internamente. Para concluir, rota internamente el hombro sin permitir ningún movimiento en el antebrazo. Compara el grado de movilidad según la orientación del pulgar en la posición final en cada uno de estos casos.

# Músculos específicos de las articulaciones radiocubitales

## Selección de músculos de las articulaciones radiocubitales

Los dos principales músculos pronadores del antebrazo son el pronador redondo y el pronador cuadrado. Dos supinadores especialmente importantes del antebrazo son el bíceps braquial y el supinador. El bíceps braquial ya se ha descrito en el contexto de la flexión del codo, y a continuación sigue una descripción de los otros músculos.

**Inserciones y acciones principales de los músculos pronador redondo y pronador cuadrado**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Pronador redondo | Epicóndilo medial del húmero<br>Apófisis coronoides del cúbito | Cara lateral del tercio medio del radio | Pronación radiocubital (ayuda a la flexión del codo) |
| Pronador cuadrado | Cara anterior del cuarto inferior del cúbito | Cara anterior del cuarto inferior del radio | Pronación radiocubital |

### Pronador redondo

El **pronador redondo** (pronación, giro de la palma en sentido posterior o hacia abajo) es un pequeño músculo situado anteriormente en el área del codo, en parte cubierto por el músculo braquiorradial (figura 7.43, pág. 418). Se extiende lateral y oblicuamente desde sus inserciones proximales en el epicóndilo medial del húmero y en la cara anterosuperior del cúbito hasta su inserción distal en la porción lateral media del radio. Como su nombre sugiere, la acción principal de este músculo es la pronación del antebrazo, que se acompaña de tracción del radio por encima y delante del cúbito. También ayuda a la flexión del codo contra una resistencia (Hamilton y Luttgens, 2002).

*Palpación.* Siéntate con los dedos de la mano izquierda sobre la porción anterior del antebrazo, justo medialmente al tendón distal del músculo bíceps braquial, y justo debajo del pliegue del codo derecho mientras éste se flexiona y el antebrazo descansa sobre el muslo derecho. Puedes percibir la contracción del músculo pronador redondo bajo los dedos cuando mueves el antebrazo en pronación.

### Pronador cuadrado

El **pronador cuadrado** se localiza distalmente en la cara anterior del antebrazo ligeramente proximal a la muñeca (figura 7.43, pág. 418). Es un músculo cuadrado y delgado que se extiende transversalmente entre el radio y el cúbito, a nivel profundo junto a estos huesos. Como su nombre indica, su acción es la pronación del antebrazo, que se ejerce mediante tracción del extremo inferior del radio por encima y por delante del cúbito. Estudios electromiográficos sugieren que el pronador cuadrado es el principal músculo responsable de la pronación, ayudando también el pronador redondo, sobre todo cuando la pronación es resistida o rápida (Hall, 1999; Hamilton y Luttgens, 2002).

*Palpación.* Debido a su localización a nivel profundo, el pronador cuadrado es difícil de palpar.

**Inserciones y acciones principales del músculo supinador**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| Supinador | Epicóndilo lateral del húmero<br>Cara lateral de la porción superior del cúbito | Cara anterolateral de la porción superior del radio | Supinación radiocubital |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

### Supinador

El **supinador** (supinación, giro de la palma de la mano en sentido anterior o hacia arriba) es un músculo de forma triangular y pequeño, situado a nivel profundo y posteriormente (figura 7.44, pág. 419). Se extiende inferiormente en sentido lateral desde su inserción proximal posterolateral en la porción inferior del húmero y la porción superior del cúbito envolviendo el radio hasta insertarse distalmente en la cara anterolateral de la porción superior del radio (figura 7.41, pág. 416). Una forma de imaginarse su acción con más claridad es considerar una posición de pronación en que el radio se mueve hacia delante por delante del cúbito. El músculo supinador se encuentra en una posición apropiada para tirar del radio hacia atrás (supinación) hacia la posición anatómica, en que el radio y el cúbito se hallan casi paralelos. El músculo supinador parece generar activamente la supinación del antebrazo en todas condiciones (Hamilton y Luttgens, 2002).

*Palpación.* Siéntate con los dedos de la mano izquierda a 2,5 centímetros distales al epicóndilo lateral del húmero mientras el codo derecho está flexionado y apoyado en la cintura. Puedes sentir la contracción del músculo supinador bajo tus dedos cuando supinas ligeramente el antebrazo.

## Resumen de las inserciones, acciones y papel en el movimiento de los músculos de las articulaciones radiocubitales

En la tabla 7.6 se incluye un resumen de las inserciones y acciones de los principales músculos que generan pronación y supinación del antebrazo. Como en la extensión y flexión del codo, algunos de los otros músculos cuya acción principal se produce en la muñeca o mano también ayudan a la pronación y supinación, pero por razones de simplicidad no se incluyen en la tabla 7.7.

Respecto al movimiento funcional, los movimientos de pronación y supinación se usan a menudo para mover o ayudar a las acciones de la mano. Por ejemplo, la contracción concéntrica de los músculos pronadores –incluidos los pronadores redondo y cuadrado– se usa en movimientos como aflojar tornillos *(sinistrorsum)* y hacer regates con una pelota de baloncesto. En la danza, los músculos pronadores se usan en movimientos del brazo en que la palma se orienta hacia atrás, como en jazz. En contraste, la contracción concéntrica de los supinadores se emplea para apretar tornillos, para lanzamientos de sobaquillo y en el revés de tenis. En danza, los supinadores –incluidos el supinador y el bíceps braquial– trabajan cuando el bailarín eleva los brazos a los lados con las palmas mirando hacia arriba.

En el movimiento funcional, los movimientos del antebrazo también se combinan con los de la articulación del hombro. Así, cuando el codo está extendido, la supinación del antebrazo se suele acompañar de rotación externa del hombro, mientras que la pronación del antebrazo se suele combinar con rotación interna del hombro. Esta combinación permite una mayor movilidad a la mano y movimientos más forzados, como al girar el pomo de una puerta. En movimientos de danza, éstos se pueden combinar para aumentar la amplitud o generar un efecto estético deseado, como en danza moderna o jazz cuando el brazo anterior gira externamente con la palma de la mano hacia arriba y el brazo posterior o retrasado gira internamente con la palma hacia atrás.

Fíjate en que esta estructura es distinta a la de la pierna, en la que la tibia y el peroné están firmemente conectados y casi no se permite movimiento entre ellos. En la extremidad inferior, el cambio de orientación del pie se produce más distalmente en los huesos del pie en vez de en un punto más proximal como en el antebrazo en la extremidad superior.

## Estructura y movimientos de la muñeca y la mano

La mano es una estructura altamente especializada que contiene 27 huesos y más de 20 articulaciones. El complejo muñeca-mano comprende 25 músculos clave. Existen muchos paralelismos entre el pie y la mano, excepto una distinción esencial: mientras que el pie está principalmente diseñado para desarrollar fuerza y soportar el peso del cuerpo, la mano está diseñada para la manipulación.

Los huesos de la mano incluyen 8 huesos carpianos (dispuestos en dos hileras de cuatro), 5 metacarpianos (numerados de I a V empezando por el pulgar) y 14 falanges, como se ve en la figura 7.46. Sin embargo, mientras que existe un paralelismo respecto al número y la secuencia de estos huesos, los huesos del tarso y los metatarsianos del pie son mucho más grandes (para cumplir mejor su función en carga) que los correspondientes huesos del carpo y los metacarpianos de la mano, y en la mano las falanges son más largas (para manipular mejor los objetos) que las del pie. La hilera distal de huesos del carpo se articula con el extremo proximal o **base** de los **metacarpianos**. La diáfisis de los metacarpianos se llama **cuerpo**, y la **cabeza** distal y redondeada de los metacarpianos se articula anteriormente con su falange respectiva. Las cabezas de los metacarpianos son fáciles de palpar en los nudillos de la mano, y las falanges forman

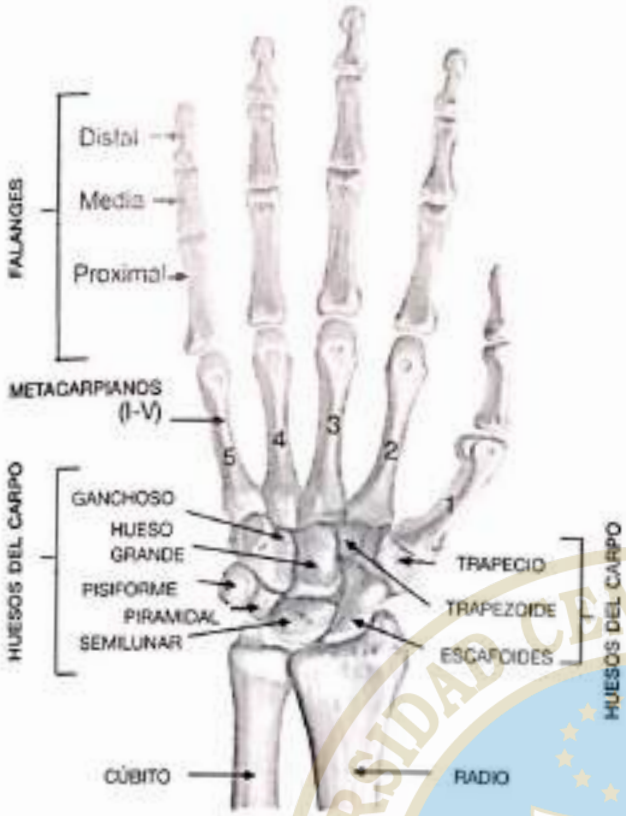



FIGURA 7.46. Huesos de la mano (mano derecha, vista anterior o palmar).

los dedos. Los dedos se numeran como los metacarpianos correspondientes, siendo el I para el pulgar. También reciben el nombre de pulgar, índice, corazón, anular y meñique. Las **falanges** se denominan **proximal, media y distal** en los dedos II a V. El pulgar, como el dedo gordo del pie, contiene sólo dos falanges, una proximal y otra distal.

La mano se une al antebrazo en la muñeca o **articulación radiocarpiana**. Más específicamente, la superficie cóncava inferior del radio y el disco fibrocartilaginoso triangular adyacente se articulan con la superficie articular convexa formada por la hilera proximal de huesos del carpo (escafoides, semilunar y piramidal), como se ve en la figura 7.47. Fíjate en que, debido a la presencia del disco fibrocartilaginoso, el cúbito no participa directamente en la articulación de la muñeca. Sin embargo, este disco confiere una estabilidad importante a la muñeca al unir el radio y el cúbito distalmente (Magee, 1997), y también ayuda a distribuir la carga entre el radio y el cúbito. Se ha calculado que el radio soporta el 60% de la carga y el cúbito el 40% con el disco en su sitio, en contraste con el 95% para el radio y el 5% para el cúbito si se ha retirado el disco. La forma de las superficies articulares convierte a la muñeca en una articulación condílea biaxial. De ahí que los movimientos comprendan flexión-extensión y una forma especialmente diseñada de abducción-aducción. Flexión se refiere al movimiento de aproximar la palma de la mano a la cara anterior del antebrazo, mientras que el movimiento inverso de alejar la palma de la mano se denomina extensión de la muñeca, como se ve en la figura 7.48. La abducción de la muñeca remite al alejamiento de la mano de la línea media, de modo que la super-

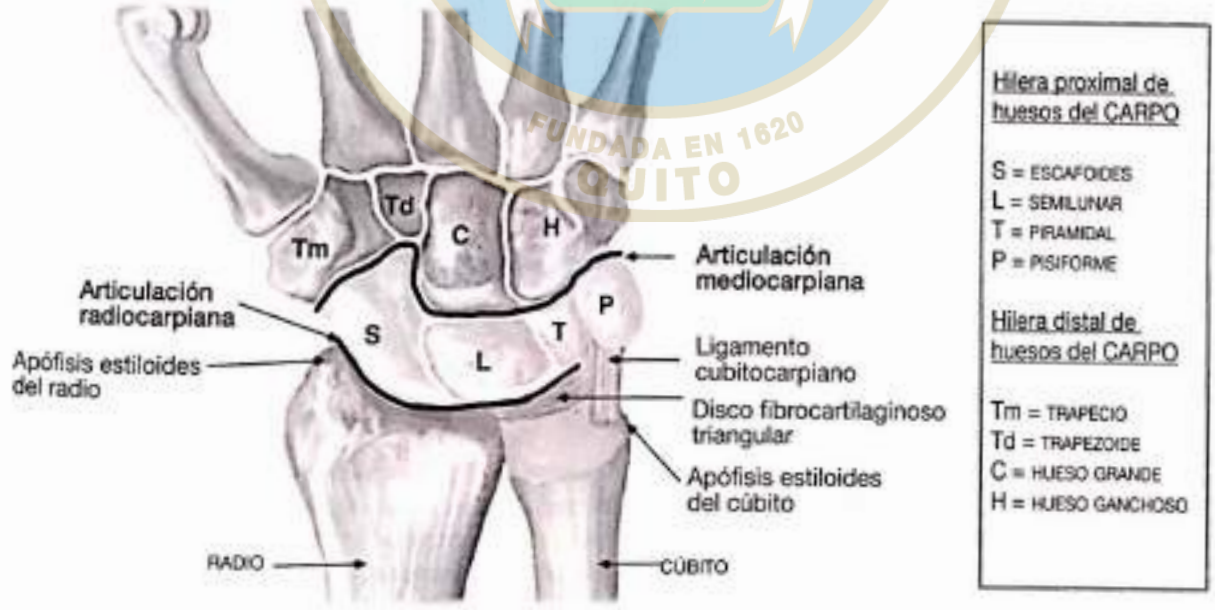



FIGURA 7.47. Articulaciones radiocarpiana y mediocarpiana (mano izquierda, vista anterior o palmar).

ficie lateral de la mano (pulgar) se acerque a la superficie lateral del antebrazo. Este movimiento suele denominarse con el término especializado **desviación radial.** El movimiento opuesto de acercar el lado medial de la mano (meñique) a la cara medial del antebrazo se denomina aducción o **desviación cubital.**

Sin embargo, estos movimientos de la articulación radiocarpiana no ocurren de forma aislada sino que incorporan la **articulación mediocarpiana.** Esta articulación se establece entre las hileras distal y proximal de huesos del carpo. Como en el pie, esta «articulación» en realidad incorpora varias, y en la mano son de naturaleza anfiartrodial. Así, los pequeños movimientos deslizantes de la articulación mediocarpiana contribuyen con unos grados de movilidad adicional, y se combinan automáticamente con movimientos de la articulación radiocarpiana.

Desplazándonos distalmente a la articulación mediocarpiana, hay muchas articulaciones adicionales que son importantes para permitir los movimientos complejos de la mano. Como en el pie, estas articulaciones se suelen denominar según los huesos que las forman, lo cual facilita el aprendizaje y lo vuelve lógico. Las articulaciones entre los huesos del carpo y los metacarpianos II a V, llamadas **articulaciones carpometacarpianas,** se clasifican de forma diferente según los libros, pero se suelen considerar anfiartrosis (Hall, 1999; Magee, 1997). Estas articulaciones están unidas por poderosos ligamentos, de modo que casi no hay movilidad en las articulaciones II y III, sí algo de flexión en la articulación IV, y más flexión en la V. Esta arquitectura facilita la habilidad de ahuecar la palma que, cuando se combina con movimientos del primer metacarpiano, facilita la capacidad esencial de asir objetos.

En contraste con otras articulaciones carpometacarpianas, la I articulación carpometacarpiana es sellar biaxial, y permite el movimiento especializado de oponer el pulgar a los otros dedos con el fin de «asir» objetos. **Oposición** se refiere a la capacidad de acercar la punta palmar del pulgar a la superficie palmar de los otros dedos, y **reposición** es el movimiento inverso. Este movimiento especializado de oposición se facilita no sólo por la presencia de esta articulación sellar y el ahuecamiento de la mano, sino también por la orientación de la articulación respecto a los otros dedos. A diferencia de lo que ocurre con el dedo gordo del pie, el pulgar está más separado del segundo dedo que los otros dedos entre sí y está girado sobre su eje de modo que se orienta en un plano perpendicular al de los otros dedos (Hamilton y Luttgens, 2002). Además del movimiento especializado de oposición-reposición, los movimientos fundamentales del pulgar incluyen flexión-extensión y abducción-aducción, como se ve en la figura 7.48. Fíjate en que, debido a la orientación rotada del pulgar, estos movimientos del pulgar ocurren en un plano perpendicular al plano en que suelen darse. Así, extensión se refiere al movimiento lateral del pulgar que se aleja del índice, mientras que flexión es la vuelta tras el movimiento de extensión; hiperflexión comprende el movimiento del pulgar sobre y paralelo a la palma de la mano (es decir, en un plano casi frontal en vez de sagital). Abducción remite al movimiento del pulgar hacia delante y lejos del segundo dedo en un plano perpendicular a la palma, mientras que aducción es el movimiento de vuelta a la posición anatómica (es decir, en un plano sagital aproximado y no frontal). Según la descripción de estos movimientos, la oposición se puede considerar una combinación de abducción e hiperflexión.

Si nos desplazamos más distalmente, la articulación entre el extremo distal del primer metacarpiano y la falange proximal adyacente, llamada **articulación metacarpofalángica,** es una trocleartrosis, que permite flexión y extensión. Sin embargo, las articulaciones metacarpofalángicas de los metacarpianos II a V son condilartrosis biaxiales, que permiten flexión, extensión y ligera abducción y aducción de los dedos. Flexión supone acercamiento de la superficie anterior del dedo a la superficie palmar de la mano, mientras que extensión se refiere al movimiento inverso de alejar la superficie anterior del dedo al volver a la posición anatómica o un poco más allá (hiperextensión), como se ve en la figura 7.48. Abducción y aducción se producen respecto al dedo corazón, y abducción remite al movimiento de alejamiento de los dedos segundo (índice), cuarto (anular) y quinto (meñique) del III dedo (corazón). El movimiento inverso de acercar de nuevo los dedos al dedo corazón se denomina aducción. Los movimientos laterolaterales del III dedo se llaman flexión radial y cubital en vez de abducción y aducción. Comparable a la situación de la muñeca, la flexión radial se refiere al movimiento lateral del III dedo hacia el lado radial del antebrazo, mientras que flexión cubital describe el movimiento medial del III dedo hacia el lado cubital del antebrazo. Finalmente, las articulaciones entre falanges adyacentes, las **articulaciones interfalángicas,** son trocleartrosis uniaxiales, que permiten flexión y extensión de los dedos y el pulgar. Estos movimientos de los dedos son comparables a los de las articulaciones metacarpofalángicas, donde la flexión describe la aproximación de las superficies anteriores de los dedos a la superficie palmar de la mano. Extensión implica el movimiento inverso. En general, los movimientos hacia la palma de la mano (flexión) son de mayor amplitud que los movimientos hacia el dorso de la mano (extensión).

Numerosos ligamentos interconectan los huesos y refuerzan las cápsulas de las numerosas articulaciones del complejo de la muñeca y la mano. Muchos músculos estabilizan también las articulaciones y generan movimientos. Como en el pie, hay una poderosa fascia que ayuda a estabilizar las articulaciones (aponeurosis palmar) y a mantener la forma ahuecada de la palma de la mano. La forma y estructura de los huesos del carpo y las diferencias en la movilidad de las articulaciones carpometacarpianas vuelve la palma un poco cóncava en sentido anterior, lo que es vital para la protección de nervios, tendones y vasos sanguíneos que cruzan la mano anteriormente. También hay retinácu-

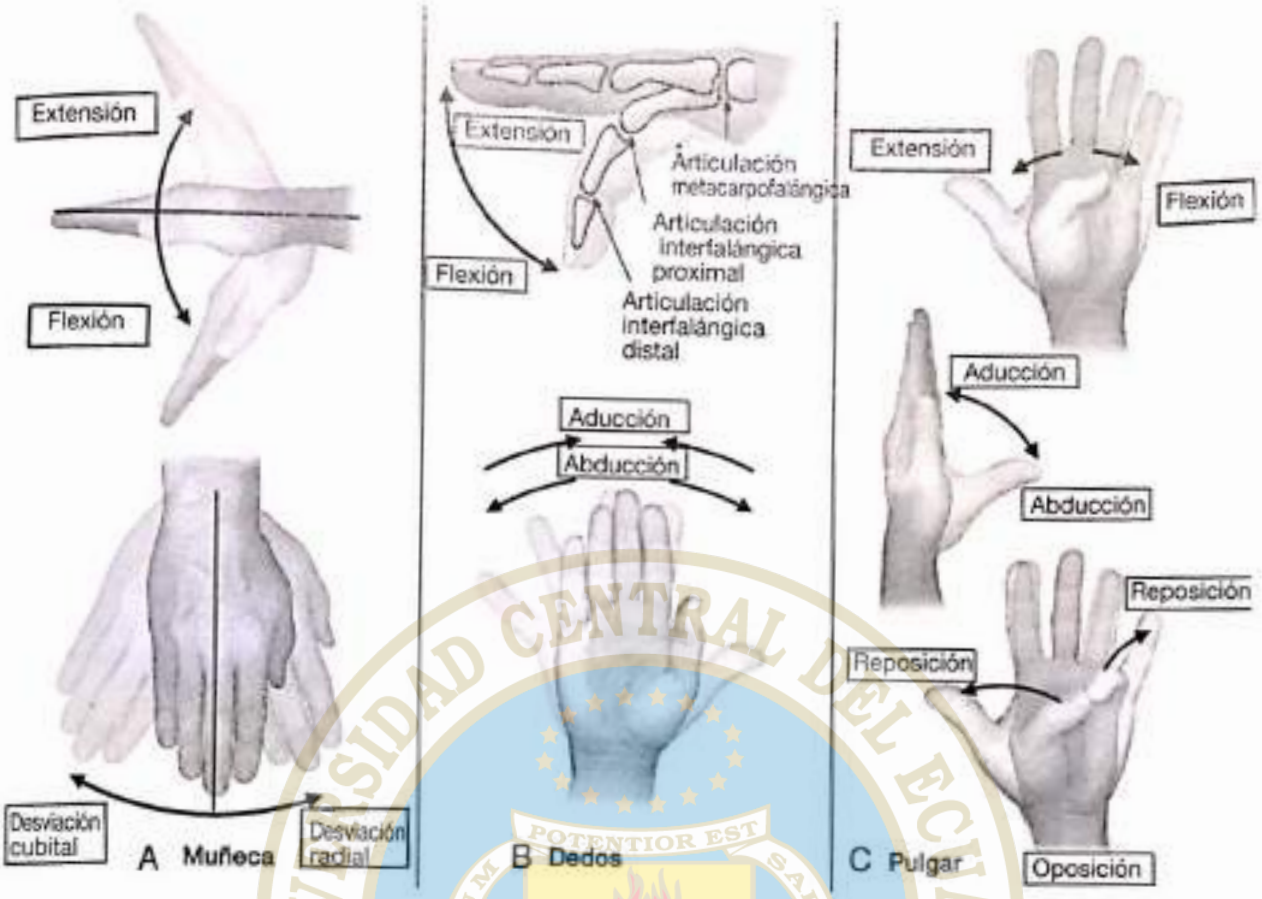



FIGURA 7.48. Movimientos de (A) la muñeca; (B) de los dedos II a V, y (C) del pulgar.

los que ayudan a conservar la posición de los tendones. Por ejemplo, el retináculo de los músculos flexores (compuesto por los ligamentos palmares y transversos del carpo) ayuda a mantener los tendones flexores cerca de la muñeca y previene que se separen de los huesos cuando se flexiona la muñeca. Vainas sinoviales rodean muchos de los tendones de esta área para facilitar el movimiento y reducir la fricción. Dos pequeños huesos sesamoideos se localizan en la cara palmar de la articulación metacarpofalángica del pulgar, entre los cuales discurre el músculo flexor largo del pulgar.

## *Músculos de la muñeca y la mano*

Hay aproximadamente veinticinco músculos principales (algunos con componentes múltiples) que cumplen funciones en la muñeca y la mano. Muchos de estos músculos ejercen acciones múltiples, y a menudo se requiere una coordinación intrincada de los músculos que actúan como motores principales, estabilizadores y sinergistas para lograr los movimientos deseados de la muñeca y la mano. A continuación ofrecemos una revisión de estos músculos. En la tabla 7.8 aparece un resumen de las inserciones y acciones de los músculos extrínsecos de la muñeca y la mano, mientras que los movimientos fundamentales de la muñeca y la mano, y los músculos extrínsecos e intrínsecos que los generan, aparecen en la tabla 7.9. Los lectores interesados en una exposición más detallada pueden acudir a los manuales de anatomía que aparecen en Referencias y Fuentes al final del libro.

### Principales músculos de la muñeca

Hay seis músculos principales que actúan en la articulación de la muñeca: flexor radial del carpo, palmar largo, flexor cubital del carpo, extensor radial largo del carpo, extensor radial corto del carpo y extensor cubital del carpo (figuras 7.49 y 7.50). También hay músculos extrínsecos de la mano que cruzan la articulación de la muñeca y colaboran en sus movimientos, como se aprecia en la tabla 7.8. Como en los pies, muchos de los nombres de estos músculos manifiestan su acción, su localización o ambas cosas. Para ayudarte a imaginar la acción de los músculos de la muñeca y la mano, piensa en la línea de tracción de los músculos respectivos en relación con la posición anatómica con el ante-

FIGURA 7.49. Principales músculos flexores de la muñeca (antebrazo derecho, vista anterior).

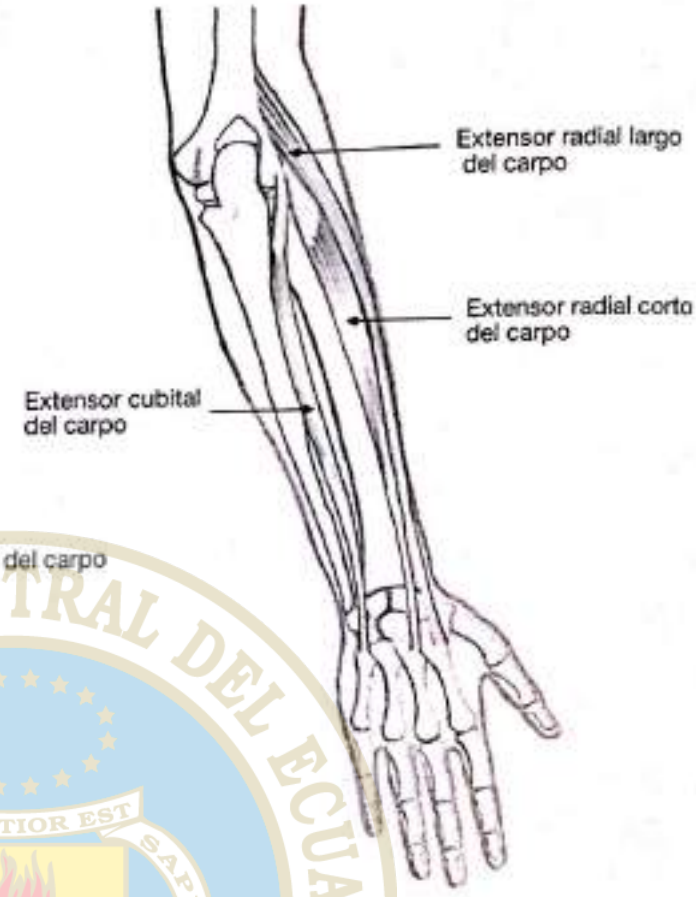



FIGURA 7.50. Principales músculos extensores de la muñeca (antebrazo derecho, vista posterior).

**Tabla 7.8. Resumen de las inserciones y acciones principales de los músculos extrínsecos de la muñeca y la mano**

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos de la muñeca** | | | |
| Flexor radial del carpo | Epicóndilo medial del húmero | Base del II y III metacarpianos | Flexión de la muñeca<br>Desviación radial de la muñeca |
| Flexor cubital del carpo | Cabeza humeral: epicóndilo medial del húmero<br>Cabeza cubital: olécranon y borde posterior del cúbito | Pisiforme, ganchoso y V metacarpiano | Flexión de la muñeca<br>Desviación cubital de la muñeca |
| Palmar largo | Epicóndilo medial del húmero | Porción distal del retináculo flexor y aponeurosis palmar | Flexión de la muñeca |
| Extensor radial largo del carpo | Cresta supracondílea lateral del húmero | Base del II metacarpiano | Extensión de la muñeca<br>Desviación radial de la muñeca |
| Extensor radial corto del carpo | Epicóndilo lateral del húmero | Base del III metacarpiano | Extensión de la muñeca<br>Desviación radial de la muñeca |
| Extensor cubital del carpo | Epicóndilo lateral del húmero y cara posterior del cúbito | Base del V metacarpiano | Extensión de la muñeca<br>Desviación cubital de la muñeca |

| Músculo | Inserciones proximales | Inserciones distales | Acciones principales |
|---|---|---|---|
| **Músculos [illegible] de los dedos** | | | |
| Flexor profundo de los dedos | Tres cuartos proximales de la cara anteromedial del cúbito | Base de las falanges distales de los dedos II a V | Flexión de los dedos y la mano (art. MCF e IF distales de los dedos II-V)<br>Ayuda a la flexión de la muñeca |
| Flexor superficial de los dedos | Epicóndilo medial del húmero y cara anterior y proximal del radio | Falanges medias de los dedos II a V | Flexión de los dedos y la mano (art. MCF e IF proximales de los dedos II-V)<br>Ayuda a la flexión de la muñeca |
| Extensor de los dedos | Epicóndilo lateral del húmero | Base de las falanges distal y media de los dedos II a V | Extensión de los dedos y la mano (art. MCF, IF proximales e IF distales de los dedos II-V)<br>Ayuda a la extensión de la muñeca |
| Extensor del índice | Porción posterior distal del cúbito | Expansión extensora del II dedo | Extensión del II dedo (art. MCF, IF proximales e IF distales del II dedo)<br>Ayuda a la extensión de la muñeca |
| Extensor del meñique | Epicóndilo lateral del húmero | Expansión extensora del V dedo | Extensión del V dedo (art. MCF, IF proximales e IF distales del V dedo)<br>Ayuda a la extensión de la muñeca |
| **Músculos extrínsecos del pulgar** | | | |
| Flexor largo del pulgar | Porción anteromedial del radio | Base de la falange distal del pulgar | Flexión del pulgar (art. CMC, MCF e IF del pulgar)<br>Ayuda a la oposición del pulgar y a la flexión de la muñeca |
| Extensor largo del pulgar | Porción posteromedial del cúbito | Base de la falange distal del pulgar | Extensión del pulgar (art. CMC, MCF e IF del pulgar)<br>Ayuda a la extensión y desviación radial de la muñeca |
| Extensor corto del pulgar | Porción posteromedial del radio | Base de la falange proximal del pulgar | Extensión del pulgar (art. CMC e IF del pulgar)<br>Ayuda a la abducción del pulgar (art. CMC del pulgar)<br>Ayuda a la desviación radial de la muñeca |
| Abductor largo del pulgar | Porción posteromedial del radio y el cúbito | Cara radial de la base del I metacarpiano | Abducción del pulgar (art. CMC del pulgar)<br>Ayuda a la extensión del pulgar (art. CMC del pulgar), a la flexión y a la desviación radial de la muñeca |

brazo en supinación y la palma mirando hacia delante. En esta posición, existe una disposición lógica de los músculos según la cual los flexores se localizan en la cara anterior, mientras que los extensores se sitúan en la cara posterior del antebrazo, muñeca y mano.

Otra clave organizativa útil para estudiar la muñeca consiste en que los músculos flexores principales de la muñeca se originan proximalmente en torno al epicóndilo medial del húmero, mientras que los extensores nacen proximalmente en torno al epicóndilo lateral del húmero. Dependiendo de su inserción distal y de la línea de tracción resultante, también colaboran en la desviación cubital o radial de la muñeca. Por ejemplo, el flexor radial del carpo y los extensores radiales largo y corto del carpo se insertan distalmente en el segundo y tercer metacarpianos, y por eso pueden generar desviación radial además de su respectiva flexión y extensión de la muñeca. En contraste, el flexor cubital del carpo y el extensor cubital del carpo tienen inser-

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIA SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.9. Movimientos fundamentales de la muñeca y la mano, y músculos que los generan**

| | Muñeca | | | | MCF | | | | IFP | | IFD | | CMC del pulgar | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Flexión | Extensión | Desviación radial | Desviación cubital | Flexión | Extensión | Abducción | Aducción | Flexión | Extensión | Flexión | Extensión | Flexión | Extensión | Abducción | Aducción | Oposición |
| **Músculos de la muñeca** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexor radial del carpo | P | | P | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexor cubital del carpo | P | | | P | | | | | | | | | | | | | |
| Palmar largo | P | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Extensor radial largo del carpo | | P | P | | | | | | | | | | | | | | |
| Extensor radial corto del carpo | | P | P | | | | | | | | | | | | | | |
| Extensor cubital del carpo | | P | | P | | | | | | | | | | | | | |
| **Músculos extrínsecos de los dedos y la muñeca** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexor profundo de los dedos | A | | | | P | | | | | | P | | | | | | |
| Flexor superficial de los dedos | A | | | | P | | | | P | | | | | | | | |
| Extensor de los dedos | | A | | | | P | | | | P | | P | | | | | |
| Extensor del índice | | A | | | | P | | | | P | | P | | | | | |
| Extensor del meñique | | A | | | | P | A | | | P | | P | | | | | |
| **Músculos intrínsecos de los dedos** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lumbricales | | | | | P | | | | | P | | P | | | | | |
| Interóseos dorsales | | | | | A | | P | | | A | | A | | | | | |
| Interóseos palmares | | | | | A | | | P | | A | | A | | | | | |
| Abductor del meñique | | | | | A | | P | | | | | | | | | | |
| Flexor corto del meñique | | | | | P | | | | | | | | | | | | |
| Oponente del meñique | | | | | P | | P | | | | | | | | | | |
| **Músculos extrínsecos del pulgar** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexor largo del pulgar | A | | | | A | | | | P | | | | A | | | | |
| Extensor largo del pulgar | | A | A | | | P | | | | P | | | | P | | | |
| Extensor corto del pulgar | | | A | | | P | | | | | | | | P | A | | |
| Abductor largo del pulgar | A | | A | | | | | | | | | | | A | P | | |
| **Músculos intrínsecos del pulgar** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Flexor corto del pulgar | | | | | | | | | | | | | P | | | | A |
| Oponente del pulgar | | | | | | | | | | | | | | | | | P |
| Aductor del pulgar | | | | | | | | | | | | | | | | P | |
| Abductor corto del pulgar | | | | | | | | | | | | | | | P | | A |

P = funciones principales del músculo; A = funciones accesorias del músculo; MCF = articulación metacarpofalángica; IFP = articulación interfalángica proximal (en el pulgar equivale a la articulación interfalángica); IFD = articulación interfalángica distal; CMC = articulación carpometacarpiana del pulgar.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 OMNIUM SCIENTIARUM

ciones distales que comprenden el V metacarpiano, y, por eso, pueden generar desviación cubital además de sus acciones respectivas de flexión y extensión de la muñeca.

### Músculos principales de los dedos

Hay cinco músculos con inserciones proximales en el antebrazo (músculos extrínsecos) que se usan para flexionar y extender los dedos. Tres de ellos actúan sobre los cuatro dedos a la vez, dos para flexionar (flexor superficial de los dedos, flexor profundo de los dedos) y uno para extender (extensor de los dedos). Los dos músculos restantes actúan selectivamente sobre dos dedos, uno para extender el dedo índice (extensor del índice) y el otro para extender el meñique (extensor del meñique). Además, hay catorce músculos más pequeños en la mano (músculos intrínsecos). Once de ellos flexionan, extienden, abducen y aducen los cuatro dedos. Se organizan en tres grupos llamados lumbricales (cuatro músculos), interóseos dorsales (cuatro músculos) e interóseos palmares (tres músculos). Tres músculos intrínsecos adicionales actúan selectivamente sobre el dedo meñique (abductor del meñique, flexor corto del meñique y oponente del meñique) para flexionar, abducir o ayudar a cruzar el meñique sobre la palma de la mano para el importante movimiento de oposición con el pulgar. Los músculos flexores y extensores de los dedos presentan una compleja división e inserciones de las cintillas tendinosas en varios puntos de las falanges para conseguir movimientos aislados o combinados de los distintos dedos.

### Músculos principales del pulgar

Además, hay cuatro músculos que tienen su origen en el antebrazo (músculos extrínsecos) que se usan para flexionar, extender, abducir y ayudar a la oposición del pulgar (flexor largo del pulgar, extensor largo del pulgar, extensor corto del pulgar, abductor largo del pulgar). Otros cuatro músculos intrínsecos también generan movimientos del pulgar (flexor corto del pulgar, oponente del pulgar, abductor corto del pulgar, aductor del pulgar). Estos músculos forman el contorno redondeado que se aprecia debajo y medial al pulgar (eminencia tenar).

## Consideraciones clave sobre la extremidad superior respecto al movimiento del cuerpo

En las extremidades superiores en conjunto, a menudo se usa una compleja interacción de músculos para permitir el movimiento aislado y la estabilización de las articulaciones relevantes. A menudo es necesario utilizar sinergias para lograr los movimientos deseados y evitar posiciones de insuficiencia activa o pasiva cuando intervienen músculos multiarticulares. Además, desde el punto de vista funcional, los movimientos de las distintas articulaciones de la extremidad superior a menudo se combinan, por lo que un análisis profundo de los movimientos debe tener en cuenta la contribución de las articulaciones relevantes.

### *Acciones de los músculos multiarticulares de la extremidad superior*

Muchos de los músculos de la extremidad superior, y en concreto de la mano, cruzan dos o más articulaciones y desempeñan acciones, *de facto* o potencialmente, en dichas articulaciones. Debido a la tendencia de los músculos multiarticulares a generar movimiento en todas las articulaciones que cruzan, a menudo se requieren otros músculos para actuar de estabilizadores y sinergistas, para que el movimiento ocurra en las articulaciones deseadas y en la dirección deseada para una tarea dada. Por ejemplo, cuando la acción deseada del músculo bíceps braquial es sólo supinación, los extensores del codo (tríceps braquial y ancóneo) se pueden contraer simultáneamente (actuando como sinergistas) para prevenir la acción indeseada del bíceps (flexión del codo). Por tanto, cuando giramos el pomo de una puerta (supinación), el codo puede situarse adecuadamente en extensión para completar la tarea, en vez de permitir su flexión y dejar que la mano se separe del pomo mientras se inicia la supinación.

En la danza, a menudo se emplean sinergias para neutralizar o controlar la magnitud de las funciones accesorias de los músculos a fin de lograr el efecto estético deseado. Por ejemplo, cuando el bailarín eleva los brazos a la segunda posición, de abajo arriba, el tríceps braquial actúa de nuevo limitando la flexión del codo mientras el bíceps braquial genera la supinación deseada del antebrazo. En la muñeca, la contracción simultánea del flexor radial del carpo y el flexor cubital del carpo permite una ligera flexión de la muñeca, neutralizándose las respectivas desviaciones radial y cubital.

Además, recuerda que, respecto a los músculos multiarticulares, el movimiento de una articulación altera la longitud del músculo y afecta la capacidad de dicho músculo para generar fuerza o ser estirado en las otras articulaciones que cruza. Por ejemplo, componentes del bíceps y el tríceps braquial cruzan la articulación glenohumeral y la articulación del codo. Funcionalmente, los movimientos a menudo emplean combinaciones articulares que elongan de forma simultánea el músculo en una articulación y lo acortan en la otra con el fin de evitar la insuficiencia activa y generar fuerza con eficacia. Por ejemplo, durante movimientos de arrastre, la extensión en el hombro elonga el bíceps braquial (en la articulación glenohumeral) para que se pueda generar

suficiente tensión mientras se flexiona el codo (que acorta el bíceps). Sin embargo, en otros casos, como cuando se levanta a una bailarina por delante cogiéndola por debajo, el bíceps braquial se acorta en ambas articulaciones (codo y hombro) y se produce insuficiencia activa. La insuficiencia activa y la pasiva también intervienen en los músculos extrínsecos de la mano, y se suele emplear una posición adecuada de la muñeca para evitar estas limitaciones potenciales.

### Movimientos coordinados de las múltiples articulaciones de la extremidad superior

En los movimientos funcionales suele haber una coordinación abstrusa entre las articulaciones de la mano, muñeca, radiocubital, codo y hombro para facilitar la ejecución del movimiento deseado. En movimientos en cadena cinética abierta, con frecuencia son muchas las articulaciones que contribuyen a la posición adecuada de la mano para manipular objetos. Por ejemplo, la última fase de un lanzamiento por encima de la cabeza implica flexión de la muñeca y desviación cubital, complementadas con pronación del antebrazo, rotación interna del hombro y abducción escapular (Kreighbaum y Barthels, 1996). En danza, a menudo imperan los criterios estéticos, y la colocación y uso característicos de los brazos se suelen asociar con las distintas formas y escuelas de danza. Por ejemplo, el ballet clásico a menudo utiliza una ligera rotación interna de la articulación del hombro, flexión del codo, supinación del antebrazo y flexión de la muñeca para lograr la alineación deseada del brazo al extenderlo lateralmente, como se aprecia en la foto inicial del capítulo 1 (pág. 1). Un ejemplo de uso estilizado de la extremidad superior en flamenco se puede ver en la figura 7.51A, y en danza africana, en la figura 7.51B. El desarrollo de una intrincada coordinación para desplegar la estética propia de una forma de danza puede llevar años de entrenamiento para perfeccionarse.

## Ejercicios de acondicionamiento para la extremidad superior

A diferencia de las otras articulaciones previamente descritas, para muchos bailarines, la flexibilidad de las extremidades superiores es menos importante que la fuerza. Como el hombro está concebido para la movilidad, la fuerza de los músculos circundantes es clave para la estabilidad y la prevención de lesiones. Además, en muchas clases de danza no se practican movimientos destinados al desarrollo progresivo de la fuerza de las extremidades superiores, así como ocurre con las inferiores. Por tanto, a menudo es necesario el fortalecimiento fuera de las clases para conseguir ejecutar los movimientos de danza que requieren niveles elevados de fuerza, como el *porté* y las posiciones invertidas.

### Ejercicios de fuerza para la extremidad superior

En la tabla 7.10 aparece una selección de ejercicios para fortalecer el hombro, la escápula y el codo, y a continuación le sigue una breve descripción de su importancia. Remitimos a los lectores interesados a los manuales de Kraemer y Fleco (2005), Peterson, Bryant y Peterson (1995), y otras obras disponibles en la National Strength and Conditioning Association para un estudio más amplio de los ejercicios de fuerza con las extremidades superiores. Cuando se practican ejercicios de fortalecimiento del hombro, es importante fijarse en que el brazo de palanca de la resistencia es muy largo cuando levantamos una pesa con el codo extendido. Debido a esta relación, la fuerza muscular requerida para sostener la extremidad a 90° de abducción del hombro es unas 8,2 veces el peso de la extremidad (Soderberg, 1986). Esto supone que sostener una pesa de 4,5 kilogramos en la mano requiere unos 37 kg de fuerza muscular. Por tanto, para lograr los beneficios deseados y evitar lesiones, hay que tener especial cuidado y practicar los ejercicios con lentitud y de forma controlada, con una técnica correcta y en una amplitud en que no se experimenten molestias articulares, y con incrementos graduales de la resistencia a medida que aumente la fuerza. También es importante darse cuenta de que existen grandes diferencias individuales en la fuerza de las extremidades superiores, que dependen de muchos factores, como el sexo y el somatotipo. Así, por ejemplo, un bailarín con brazos proporcionalmente más cortos puede levantar con seguridad un peso mucho más pesado que una bailarina con brazos proporcionalmente más largos. A la luz de estos factores, muchos de los ejercicios de la tabla 7.10 emplean el peso del cuerpo, bandas elásticas o mancuernas ligeras para generar resistencia. Sin embargo, los bailarines interesados en desarrollar más fuerza deberán trabajar con especialistas cualificados para hacer progresiones apropiadas.

#### Fortalecimiento de los músculos flexores del hombro

El desarrollo de la fuerza de los músculos flexores del hombro es muy importante en las coreografías en las que el cuerpo se tiene que sostener con los brazos. Las flexiones de brazos (tabla 7.10A) son un ejercicio útil para desarrollar esta fuerza y la destreza con que estabilizar el torso mientras se usan los brazos. Las pruebas de flexiones de brazos se suelen usar para evaluar la fuerza y resistencia de los músculos flexores del hombro. Muchas bailarinas obtienen valores

*(El texto continúa en la página 444.)*

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 7.7

### *Insuficiencia pasiva en la flexión de los dedos*

Flexiona totalmente los dedos con la muñeca en una posición neutra de extensión. Ahora, lentamente, flexiona la muñeca y fíjate en que los dedos comienzan a extenderse con lentitud, y repara en que no es posible mantener la flexión completa de los dedos. Esto se debe a la insuficiencia pasiva del músculo extensor de los dedos. El extensor de los dedos no es lo bastante largo como para poder elongarse en todas las articulaciones que cruza, incluidas las articulaciones de la muñeca, la articulación mediocarpiana y las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas. En condiciones normales, cuando se cierra el puño, los músculos extensores de la muñeca (extensor cubital del carpo y extensores radiales largo y corto del carpo) la mantienen extendida, actuando de sinergistas para neutralizar la flexión de la muñeca generada por los flexores extrínsecos de los dedos, de modo que se produzca la flexión completa de los dedos. La posición óptima para la prensión parece estar de 20° a 30° de extensión de la muñeca (Soderberg, 1986) y se puede provocar la flexión forzada de la muñeca de alguien que sostenga un arma para que la suelte.

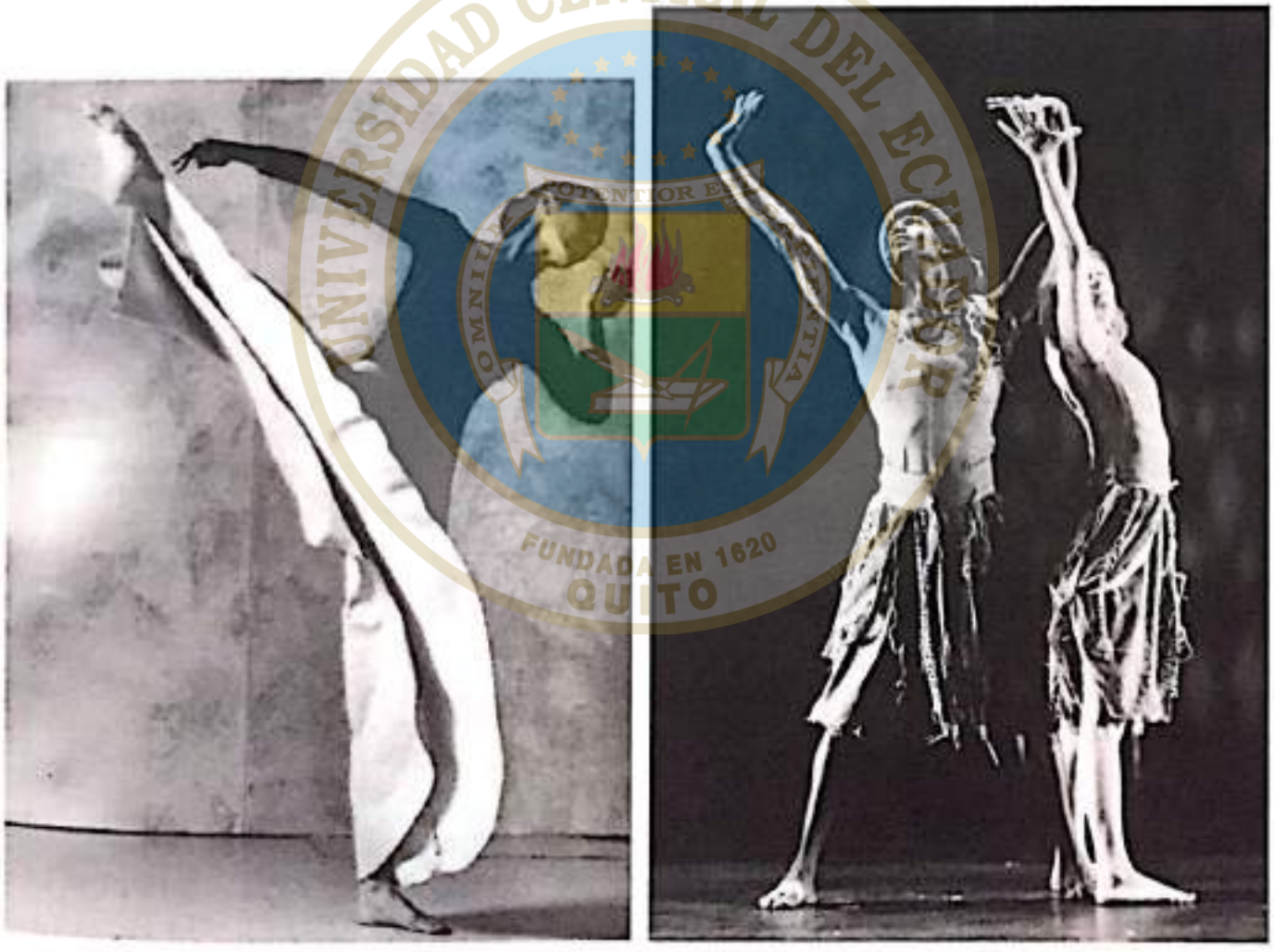


FIGURA 7.51. Ejemplo de uso estilizado de la extremidad superior en (A) el movimiento basado en Graham, y (B) en danza africana.

Figura 7.51A. Fotografía por cortesía de Scott Peterson. Bailarina: Susan McLain.

Figura 7.51B. Fotografía por cortesía de Keith Ian Polakoff. Bailarines: Delyer Anderson y Dwayne Worthington, del CSULB.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: flexores del hombro y extensores del codo<br>Músculos trabajados: pectoral mayor | | |
| Movimiento articular: flexión del hombro con extensión del codo | | |
| A. Flexiones de brazos *(push-ups)* con los codos hacia dentro en el suelo (peso del cuerpo)<br> <br> <br>Variación 1 | Apoya el peso del cuerpo en las rodillas o en los pies, así como en las manos según tu nivel de fuerza, con las manos separadas la anchura de los hombros. Flexiona lentamente los codos y vuelve a la posición inicial. (Mantén una posición neutra de la pelvis y evita arquear la región lumbar; intenta formar una línea recta con el lateral del hombro, de la cadera y la rodilla; mantén los codos cerca del cuerpo al flexionarlos y extenderlos.)<br>*Variación 1.* Flexiones con plus *(push-up plus)*: después de volver a la posición con los codos extendidos, sigue ejerciendo presión contra el suelo de modo que los omoplatos se desplacen hacia los lados de la caja torácica y la porción superior de la espalda se encorve. A medida que mejore tu destreza, podrás aislar el movimiento en abducción escapular mientras la porción superior de la columna se mantiene en su posición neutra extendida. | 1. Haz que el pecho se acerque más al suelo.<br>2. Pasa a hacer las flexiones apoyado en los pies si las hacías apoyado en las rodillas.<br>3. Practica las flexiones con las rodillas o los pies sobre una pelota o un escalón |
| Grupos musculares: flexores del hombro<br>Músculos trabajados: fibras anteriores del deltoides y pectoral mayor (porción esternal) | | |
| Movimiento articular: flexión del hombro con mantenimiento de la extensión del codo | | |
| B. Elevación del brazo al frente (mancuerna)<br> | En bipedestación con los pies separados la anchura de las caderas y una mancuerna en una mano con la palma hacia abajo. Eleva lentamente el brazo al frente en una amplitud indolora o hasta la altura del hombro, haz una pausa y vuelve lentamente a la posición inicial.<br>(Mantén una firme contracción de los abdominales para mantener la pelvis en una posición neutra y evitar la extensión del tronco mientras se eleva el brazo. Flexiona las rodillas un poco si fuera necesario para evitar la hiperextensión de las rodillas.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio levantando y bajando los dos brazos al mismo tiempo. | 1. Aumenta gradualmente el peso de la mancuerna de 1,5 a 4,5 kg. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: flexores del hombro, depresores escapulares y extensores del codo<br>Músculos trabajados: fibras inferiores del trapecio y serrato anterior | | |
| Movimiento articular: flexión del hombro con extensión del codo y depresión escapular | | |
| C. *Press-up* (ejercicio de triceps) (peso del cuerpo)<br> | Siéntate en el borde de una silla (apoyando el respaldo con firmeza contra una pared) con las manos en el borde de la silla y los dedos orientados hacia delante. A continuación, haz presión contra el asiento de modo que los codos se extiendan, y desplaza la pelvis hacia delante para que se halle justo fuera del asiento. A continuación, flexiona lentamente los codos y la porción inferior del tronco, haz una pausa, y extiende los codos para volver a la posición inicial.<br>(Céntrate en ejercer una tracción firme con los omoplatos hacia abajo, y trabaja sólo en una amplitud en que se puedan mantener la ligera depresión y aducción escapulares, y no se experimenten molestias en los hombros; mantén los codos cerca del cuerpo al flexionarlos y extenderlos.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio con las manos en el borde del asiento, pero con los dedos mirando hacia los lados y flexionando los codos lateralmente, para centrarte en fortalecer los músculos aductores de los hombros. | 1. Practica el ejercicio apoyando más peso del cuerpo sobre uno de los brazos.<br>2. Practica el ejercicio con un solo brazo. |
| Grupos musculares: extensores del hombro y aductores escapulares<br>Músculos trabajados: dorsal ancho y fibras inferiores del trapecio | | |
| Movimiento articular: extensión del hombro y aducción escapular con mantenimiento de la flexión del codo | | |
| D. Remo en sedestación (con los codos hacia dentro) (banda elástica)<br> | Siéntate con las piernas extendidas al frente y con la parte media de la banda alrededor del antepié de ambos pies, un cabo de la banda en cada mano y los codos extendidos. A continuación, tira de los codos hacia atrás, haz una pausa y vuelve lentamente a la posición inicial.<br>(Céntrate en ejercer ligera tracción sobre los omoplatos hacia abajo y para aproximarlos entre sí mientras los codos tiran hacia atrás.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sentado en la caja de la máquina Reformer mirando hacia las cinchas, con una en cada mano.<br>*Variación 2.* Remo en sedestación (codos hacia fuera). Practica el ejercicio con los codos a la altura de los hombros (abducción horizontal de los hombros) y las palmas hacia abajo. | 1. Lleva los brazos más hacia atrás manteniendo siempre una buena postura.<br>2. Ase la banda más adelante.<br>3. Usa una banda más resistente. |

*(Continúa)*

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: extensores del hombro y extensores del codo<br>Músculos trabajados: dorsal ancho y tríceps braquial | | |
| Movimiento articular: extensión del hombro y extensión del codo | | |
| E. Ejercicio de tríceps en posición de tijera (mancuerna)<br> | De pie adoptando una posición de tijera con el pie izquierdo delante, el torso apoyado parcialmente sobre la mano derecha que descansa en el muslo izquierdo, y el brazo izquierdo colgando hacia el suelo con el codo extendido y una mancuerna en la mano. A continuación, flexiona lentamente y levanta el codo izquierdo hacia atrás y hacia el techo, extiéndelo, haz una pausa, vuelve a flexionar el codo con lentitud, y vuelve a la posición inicial. Repite el ejercicio con el lado contralateral.<br>(Céntrate en mantener el codo en alto mientras lo extiendes, pero nunca hasta hiperextenderlo; mantén una estabilización firme del tronco.) | 1. Aumenta gradualmente el peso de la mancuerna de 2,5 a 4,5 kg. |

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| **Grupos musculares:** abductores del hombro<br>**Músculos trabajados:** fibras medias del deltoides y supraespinoso | | |
| **Movimiento articular:** abducción del hombro con extensión del codo | | |
| F. Elevaciones laterales del brazo (mancuerna)<br> | En bipedestación con los pies separados la anchura de las caderas y una mancuerna en una mano. Levanta el brazo lentamente hacia el lado hasta la altura del hombro como máximo, haz una pausa y vuelve lentamente a la posición inicial. Rota externamente el hombro mientras elevas el brazo para que el pulgar termine hacia arriba, y mantén el brazo un poco hacia delante respecto al plano frontal con un movimiento de abducción en el plano de la escápula. Repite el ejercicio con el otro brazo.<br>(Céntrate en dejar que la escápula rote hacia arriba mientras levantas el brazo sin excesiva elevación de la misma; usa poco peso y una amplitud que no cause molestias en el hombro.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sin rotación externa, de forma que la palma se mantenga mirando hacia abajo y en el plano frontal, pero limitando la amplitud a 60° de abducción (indolora).<br>*Variación 2.* Practica cualquiera de las versiones del ejercicio con una mancuerna en cada mano y levantando los dos brazos a la vez. | 1. Aumenta gradualmente el peso de 1,5 a 4 ó 5 kg. |

*(Continúa)*

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR DEL ECUADOR
OMNIUM SCIENTIA SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: abductores del hombro y extensores del codo<br>Músculos trabajados: porción media del deltoides | | |
| Movimiento articular: abducción del hombro con extensión del codo | | |
| G. En sedestación, *press* de brazos por encima de la cabeza<br> <br>Variación 2 | Siéntate con las rodillas flexionadas y los pies en el suelo, la banda alrededor de las corvas y sosteniendo cada extremo de la banda con una mano. Empieza con las palmas al frente y delante de los hombros, con los codos flexionados junto a los costados. A continuación, extiende lentamente los codos llevando las manos hacia el techo, haz una pausa y flexiona lentamente los codos para volver a la posición inicial. (Céntrate en llevar los codos hacia los lados y en que los omoplatos roten sin excesiva elevación mientras los brazos están por encima de la cabeza; extiende los codos con control pero sin hiperextenderlos; usa una cocontracción de los abdominales para evitar la inclinación pélvica anterior o la proyección de las costillas inferiores hacia delante mientras los brazos suben por encima de la cabeza.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sentado con unas mancuernas en las manos.<br>*Variación 2.* Practica el ejercicio de rodillas en la máquina Reformer, empezando con el esternón por encima de la barra para los pies y los codos hacia los lados. Haz presión contra la barra mientras los codos se extienden de modo que el carro se desplace hacia atrás.<br>*Variación 3.* Practica cualquiera de las versiones con los codos hacia delante en vez de hacia los lados para potenciar el trabajo de los músculos flexores en lugar de los abductores del hombro. | 1. Acorta la banda elástica asiéndola con las manos más cerca la una de la otra.<br>2. Usa una banda más resistente. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: rotadores externos del hombro y aductores escapulares<br>Músculos trabajados: infraespinoso, redondo menor y porción inferior del trapecio | | |
| Movimiento articular: rotación externa del hombro con aducción escapular | | |
| H. Espantapájaros *(scarecrow)* de rodillas (mancuernas)<br> | Arrodíllate en el suelo o sobre una colchoneta con el tronco descansando sobre una pelota suiza, los codos flexionados 90° y una mancuerna en cada mano, de modo que los puños miren hacia el suelo. Tensa los abdominales con firmeza para estabilizar la columna lumbar, levanta los codos hacia el techo, rota externamente los brazos en la articulación glenohumeral de modo que las manos se eleven hacia delante, cuenta hasta cuatro y vuelve lentamente a llevar los brazos a la posición inicial.<br>(Céntrate en juntar un poco los omoplatos mientras elevas los codos por encima del nivel de la espalda. Luego céntrate en mantener los omoplatos juntos y un poco hacia abajo mientras los brazos rotan externamente.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sentado, mirando hacia el respaldo de una silla con el pecho apoyado en el respaldo (como en la figura 3.26A en la pág. 99).<br>*Variación 2.* Practica el ejercicio sentado con una banda elástica, un brazo cada vez, mientras el otro brazo sujeta la banda delante del cuerpo (figura 7.20C, pág. 396). | 1. Después de completar la rotación externa de los hombros, extiende los codos y sube las manos por encima de la altura de las orejas y alineadas con los hombros.<br>2. Después de completar la rotación externa de los hombros, arquea la porción superior de la espalda.<br>3. Después de completar la rotación externa de los hombros, arquea la porción superior de la espalda y extiende los codos mientras las manos suben por encima de la cabeza. |
| Grupos musculares: rotadores externos del hombro<br>Músculos trabajados: infraespinoso y redondo menor | | |
| Movimiento articular: rotación externa del hombro con aducción escapular | | |
| I. Rotación externa bilateral de los hombros (banda elástica)<br> | Siéntate con las rodillas flexionadas y las piernas cruzadas o los pies en el suelo mientras sostienes un cabo de la banda con cada mano, con las palmas hacia arriba y los codos flexionados 90° y junto a los costados. A continuación rota externamente los brazos en la articulación glenohumeral llevando los pulgares hacia atrás.<br>(Mantén los codos junto a los costados; céntrate en juntar un poco los omoplatos y tirar de ellos hacia abajo mientras los brazos rotan externamente.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sentado en la caja o de rodillas, mirando hacia las cinchas de la máquina Reformer, con una cincha en cada mano y las palmas hacia arriba mientras flexionas los codos unos 90° junto a los costados. | 1. Aumenta la rotación para llevar las manos más hacia atrás.<br>2. Ase la banda teniendo las manos más cerca una de otra.<br>3. Después de la rotación externa de los brazos, arquea la porción superior de la espalda mientras tiras con firmeza de la inserción inferior de los abdominales para limitar la inclinación anterior de la pelvis.<br>4. Después de la rotación externa de los brazos, arquea la porción superior de la espalda y extiende los codos, llevando las manos hacia los lados y un poco por detrás de la espalda. |

*(Continúa)*

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: rotadores internos del hombro<br>Músculos trabajados: subescapular | | |
| Movimiento articular: rotación interna del hombro con flexión del codo mantenida | | |
| J. Rotación interna unilateral del hombro (máquina Reformer)<br> | De rodillas sobre la máquina Reformer con las rodillas separadas la anchura de los hombros y la rodilla izquierda contra el reposahombros, con el lado izquierdo mirando hacia las cinchas. Ase una cincha con la mano izquierda y la palma hacia arriba, el codo flexionado 90° y el hombro en rotación externa mientras la mano derecha sostiene el codo izquierdo. A continuación inicia con lentitud la rotación interna del brazo izquierdo en la articulación del hombro, acerca el meñique al codo derecho, haz una pausa y gira con lentitud y externamente el brazo para volver a la posición inicial. Repite la acción con el otro brazo.<br>(Mantén el codo cerca del costado mientras el brazo gira, y céntrate en mantener el omoplato un poco hacia abajo y atrás para que el hombro no se encorve hacia delante.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio usando una banda elástica o un tubo de resistencia que esté asegurado a una «barra». | 1. Usa muelles más resistentes.<br>2. Usa cinchas un poco más cortas. |
| Grupos musculares: abductores escapulares<br>Músculos trabajados: serrato anterior | | |
| Movimiento articular: abducción escapular con flexión y aducción horizontal combinadas del hombro | | |
| K. Cruce del brazo por delante del cuerpo (banda elástica)<br> | En bipedestación con los pies separados la anchura de los hombros, y un cabo de la banda asegurado bajo el pie izquierdo y el otro cabo en la mano izquierda, que se sitúa justo delante del muslo izquierdo con el codo extendido. A continuación, eleva lentamente el brazo en diagonal de modo que el movimiento concluya con la mano delante del hombro derecho, haz una pausa y baja lentamente el brazo hasta la posición inicial. Repite con el brazo contralateral.<br>(Céntrate en que el brazo se desplace hacia delante cruzando el cuerpo potenciando así la abducción escapular. Mantén el codo casi extendido por completo, pero no hiperextendido, durante todo el movimiento.) | 1. Acorta la banda elástica.<br>2. Usa una banda elástica más resistente. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: flexores del codo<br>Músculos trabajados: bíceps braquial y braquial | | |
| Movimiento articular: flexión del codo | | |
| L. *Curl* de concentración (mancuerna) | Siéntate en una pelota suiza o una silla, con el codo derecho apoyado contra la cara interna del muslo derecho y asiendo con la mano derecha una mancuerna, mientras el antebrazo izquierdo descansa sobre el muslo izquierdo para ayudar a sostener el torso, y la mano izquierda ayuda a estabilizar el brazo derecho. A continuación flexiona con lentitud el codo derecho, acercando la mano derecha al hombro derecho, haz una pausa y baja lentamente la mano hasta la posición inicial. Repite con el brazo contralateral.<br>(Céntrate en mantener la punta del codo quieta mientras flexionas y extiendes el codo; vuelve lentamente a una posición extendida, nunca hiperextendida, del codo.) | 1. Aumenta gradualmente el peso de la mancuerna de 2,5 a 5 kg. |

(Continúa)

UNIVERSIDAD DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: flexores del codo y flexores del hombro<br>Músculos trabajados: bíceps braquial y pectoral mayor (porción clavicular) | | |
| Movimiento articular: flexión del codo y flexión del hombro | | |
| M. De rodillas, elevación de los brazos al frente *(biceps lift)* (máquina Reformer)<br> <br> | De rodillas en la máquina Reformer mirando hacia los muelles, con las plantas de los pies contra los resposahombros. Ase una cincha con cada mano, las palmas hacia delante y los codos un poco flexionados y situados detrás del torso. A continuación, flexiona con lentitud los codos y levanta los brazos adelante hasta casi la altura de la frente, haz una pausa y vuelve los brazos gradualmente a la posición inicial. Sincroniza el movimiento de los codos para que se flexionen 90° cuando estén a los lados, y luego extiéndelos en los grados finales de la flexión de los hombros de modo que se mantengan en tensión las cinchas.<br>(Céntrate en mantener el tronco quieto y en permitir la rotación y una ligera abducción de los omoplatos sin una excesiva elevación mientras levantas los brazos.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio de pie con la espalda contra una «barra», con el tramo medio de la banda elástica rodeando la barra y un cabo en cada mano. | 1. Aumenta la resistencia de los muelles.<br>2. Acorta un poco las cinchas. |

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: extensores del codo<br>Músculos trabajados: tríceps braquial | | |
| Movimiento articular: extensión del codo con abducción mantenida del hombro | | |
| N. Extensión de codo por encima de la cabeza (mancuerna)<br> <br> | Sentado sobre una pelota suiza o una silla, con el codo derecho apuntando hacia el techo y la mano derecha aguantando una mancuerna mientras la mano izquierda ayuda a estabilizar el brazo derecho. A continuación extiende lentamente el codo derecho, dirige la mano derecha directamente hacia el techo, haz una pausa y flexiona lentamente el codo para volver a la posición inicial. Repite el ejercicio con el otro brazo.<br>(Céntrate en mantener el torso y el brazo quietos mientras extiendes lentamente el codo sin hiperextenderlo; controla la flexión del codo durante el movimiento de retorno.) | 1. Aumenta gradualmente el peso de la mancuerna de 2,5 a 5 kg. |

(Continúa)

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

**Tabla 7.10. Selección de ejercicios de fuerza para la extremidad superior (continuación)**

| Nombre del ejercicio (resistencia) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: extensores del hombro y extensores del codo<br>Músculos trabajados: tríceps braquial y dorsal ancho | | |
| Movimiento articular: extensión del codo con extensión del hombro | | |
| O. De rodillas, extensión del codo hacia atrás *(triceps kick back)* (máquina Reformer) | De rodillas en la máquina Reformer, mirando hacia las cinchas, con los muslos contra los reposahombros. Con una cincha en cada mano y los brazos al frente con 45° de flexión de hombro y los codos extendidos. A continuación tira de los codos hacia atrás hasta que queden detrás del torso, extiende lentamente los codos, haz una pausa y vuelve a flexionar los codos con lentitud hasta volver a la posición inicial. (Céntrate en mantener los codos elevados mientras los extiendes, pero sin hiperextenderlos; mantén las palmas hacia delante mientras extiendes los codos; mantén el tronco quieto con firmeza.) | 1. Aumenta la resistencia de los muelles.<br>2. Acorta un poco las cinchas. |

por debajo de la media en esta prueba, tal vez debido a la escasa preparación física de las extremidades superiores en las clases de baile, al predominio de un somatotipo de extremidades largas (al menos en el mundo de ballet), y a lo habitual que resulta la rápida pérdida de peso (dieta de adelgazamiento) asociada con pérdida de músculo en las extremidades superiores. El ejercicio de tríceps (tabla 7.10C) es otro ejercicio útil para desarrollar la fuerza con que sostener el peso del cuerpo con los brazos en el trabajo de suelo. La fuerza de los músculos flexores del hombro también es esencial para levantar o mantener en alto a un compañero, y la elevación del brazo al frente (tabla 7.10B) y el *press* de brazos por encima de la cabeza en sedestación (tabla 7.10G, variación 3) ayudan a desarrollar esta fuerza.

Sin embargo, estas posiciones de los brazos por encima de la cabeza, como en el caso del *press* de brazos, pueden derivar en lesiones de hombro por compresión y sólo se deben usar cuando no se experimente dolor y después de haber desarrollado la fuerza con ejercicios que empleen una menor amplitud, como las flexiones de brazos *(push-ups)* y la elevación del brazo al frente (limitadas a 60° o 90° de flexión).

### Fortalecimiento de los músculos extensores del hombro

El fortalecimiento de los músculos extensores del hombro es importante para los movimientos de arrastre y para

UNIVERSIDAD DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

el equilibrio muscular. Muchos deportistas trabajan en exceso el fortalecimiento de los músculos flexores del hombro en detrimento de los extensores, y el desequilibrio muscular resultante puede derivar en una postura encorvada de los hombros. Los músculos extensores del hombro se fortalecen con los *pull-ups*, si bien muchas bailarinas no tienen fuerza suficiente para hacerlos o no cuentan con el aparato apropiado. El remo en sedestación (tabla 7.10D) y los ejercicios de tríceps (tabla 7.10E y O) son alternativas para fortalecer los músculos extensores.

### Fortalecimiento de los músculos abductores del hombro

La fuerza de los abductores del hombro es importante para mantener los brazos en alto en segunda posición, así como para algunos tipos de levantamientos o el *porté*. La elevación lateral de los brazos (tabla 7.10F) es muy útil para mantener los brazos en alto, mientras que el press de brazos por encima de la cabeza en sedestación es más útil para sostener a una compañera por encima de la cabeza (tabla 7.10G). Los *push-ups* también deben progresar con cuidado en bailarines más fuertes, pasando a elevar más las caderas sobre las manos hasta que el bailarín pueda practicar el ejercicio haciendo la vertical con las piernas apoyadas contra una pared y los codos flexionados hacia los lados durante la fase descendente. Sin embargo, las posiciones de los brazos por encima de la cabeza y las que implican abducción de los hombros suponen un elevado riesgo de pinzamiento, y estos ejercicios sólo se deben practicar si no causan dolor y tras contar con una fuerza de base y una mecánica correcta alcanzadas con la práctica de ejercicios como la elevación lateral de los brazos.

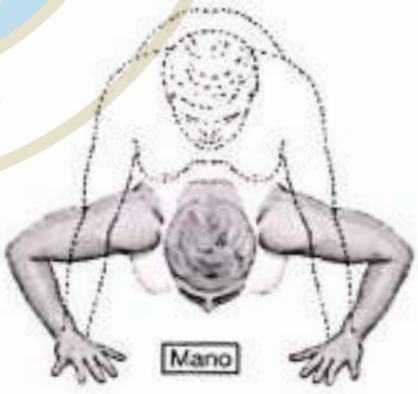
### Fortalecimiento de los músculos aductores del hombro

Como los músculos aductores del hombro no constituyen un grupo muscular diferenciado, sino que se componen de un par de flexores y extensores que actúan conjuntamente, no se incluyen ejercicios específicos para la aducción del hombro en este libro. Debido a la presencia de grandes músculos capaces de generar este movimiento, es posible generar una fuerza máxima en aducción, a menudo el doble que la generada en abducción (Hamill y Knutzen, 1995). Sin embargo, en el gimnasio, los ejercicios para los aductores del

PRUEBAS Y MEDICIONES 7.1

#### *Prueba del* push-up *(flexiones de brazos en el suelo)*

Practica la siguiente prueba con otro bailarín con el fin de evaluar la fuerza y tolerancia física de los músculos clave de la extremidad superior (flexores del hombro y extensores del codo). Empieza apoyado en las rodillas o en los pies (los dedos encogidos/en hiperextensión metatarsofalángica) según tu nivel de fuerza. Las manos se colocan aproximadamente a la anchura de los hombros y se sitúan debajo de éstos, con los dedos mirando hacia delante o un poco hacia dentro. Un compañero colocará un puño en el suelo debajo de tu pecho y contará el número de veces que tu cuerpo desciende consecutivamente y manteniendo la espalda recta hasta tocar el puño y volver a la posición inicial.




*Objetivos.* Varían según el sexo, el grupo de edad y el tipo de estudio realizado. Para edades de entre 20 y 29 años, las normas del Canada Physical Activity, Fitness and Lifestyle Appraisal (según lo cita Nieman, 1999) son las siguientes:

| | Hombres (completa) | Mujeres (de rodillas) |
|---|---|---|
| Excelente | >36 | >30 |
| Promedio | 22-28 | 15-20 |

hombro consisten en *pull-downs* laterales y con poleas de pared altas. El ejercicio de tríceps (tabla 7.10C, pág. 435) también se puede modificar orientando los dedos y flexionando los codos a los lados para favorecer el uso de los aductores del hombro. De forma parecida, el fortalecimiento de los aductores del hombro se puede incluir con facilidad mediante el *curl-up* practicado en la máquina Reformer (descrito con anterioridad en la tabla 3.4D, pág. 135) tirando de los brazos hacia abajo desde la altura de los hombros hacia los lados en el plano frontal, es decir, mediante aducción, y no flexión, de los hombros.

### Fortalecimiento de los músculos rotadores externos del hombro

El fortalecimiento de los músculos rotadores externos del hombro también debería ser una prioridad debido a su importancia para aplicar una mecánica correcta del hombro y prevenir el encorvamiento de los hombros, el síndrome por pinzamiento o compresión y otras lesiones de hombros. Las actividades diarias no proporcionan necesariamente la fuerza necesaria que requieren los rotadores externos, y por lo general suelen ser menos capaces de generar torque que los rotadores internos o cualquier otro grupo de músculos del hombro. Además, un estudio demostró que la ratio de rotación interna y externa era casi un 30% mayor en el hombro dominante en 15 personas normales, debido a la mayor rotación interna del brazo dominante y aproximadamente a la misma rotación externa en ambos brazos (Warner *et al.*, 1990). El ejercicio del espantapájaros de rodillas (tabla 7.10H, pág. 439) es un medio eficaz de trabajar los rotadores externos del hombro con pesas, mientras que la rotación externa bilateral de los hombros (tabla 7.10I, pág. 439) se puede practicar con una banda elástica.

Practicar este último ejercicio con el codo ligeramente delante del torso (con el hombro en el plano de la escápula) permite una mayor congruencia entre la cabeza del húmero y la cavidad glenoidea, una mayor producción de fuerza debido a la longitud más óptima de los rotadores externos del hombro y una mayor movilidad debido a la relajación de la cápsula articular (Greenfield *et al.*, 1990). Ejercer presión suave con el codo en sentido medial contra la mano contralateral (aducción del hombro en el plano de la escápula) también permite usar menos la porción posterior del deltoides y más el manguito de los rotadores para la rotación externa.

### Fortalecimiento de los músculos rotadores internos del hombro

El fortalecimiento de los músculos rotadores internos del hombro es recomendable para mantener el equilibrio muscular si se practican muchos ejercicios con los rotadores externos, o si hay antecedentes de una lesión de hombro. Los rotadores internos del hombro (sobre todo el músculo subescapular) se consideran claves para la estabilidad articular. La rotación interna unilateral de hombro (tabla 7.10J, pág. 440) es un ejercicio que se practica con facilidad en la máquina Reformer o empleando una banda elástica o un tubo de resistencia. Sin embargo, con el predominio de deportistas cargados de espaldas, a menudo es aconsejable –al menos al principio– potenciar el fortalecimiento exclusivo de los rotadores externos del hombro.

### Fortalecimiento de los músculos aductores y depresores de la escápula

La fuerza de los aductores escapulares es importante para prevenir los hombros encorvados y favorecer una colocación correcta de los brazos al bailar. Debido a la vinculación natural entre la aducción y la rotación externa de la escápula, centrarse en mantener juntas las escápulas al practicar los ejercicios para los rotadores externos del hombro (espantapájaros de rodillas [tabla 7.10H, pág. 439] o la rotación externa bilateral de los hombros [tabla 7.10I, pág. 439]) es una buena forma de fortalecer estos grupos musculares con un solo ejercicio. El uso de aducción escapular durante la abducción horizontal del hombro mientras el torso está inclinado (como se suele realizar en los remos de los gimnasios) también ha demostrado ser muy eficaz para sobrecargar el músculo trapecio (Brunnstrom, 1972). Durante la práctica de cualquiera de estos ejercicios, añadir el arqueamiento de la porción superior de la espalda supone un medio para contrarrestar en un solo ejercicio todos los elementos que tienden a asociarse con el encorvamiento de los hombros (rotación interna del hombro, abducción escapular y cifosis). Además, cuando se ejecutan estos ejercicios, centrarse en tirar de las escápulas hacia abajo es una buena forma de potenciar el fortalecimiento de la porción inferior del trapecio (depresor escapular), que es importante en danza para prevenir la elevación excesiva de los hombros durante los movimientos de los brazos y la lesión de hombros por compresión. Así mismo, el ejercicio de tríceps (tabla 7.10C, pág. 435), previamente descrito para el fortalecimiento de los músculos flexores del hombro, supone un ejercicio eficaz para aprender a activar y fortalecer los músculos depresores escapulares.

### Fortalecimiento de los músculos abductores de la escápula

El equilibrio entre la fuerza de los músculos abductores y aductores escapulares es importante para prevenir una escápula alada y favorecer una colocación apropiada de los brazos al bailar. La fuerza del músculo serrato anterior también es importante para prevenir el síndrome por pinzamiento del hombro. Se pueden fortalecer los abductores escapulares centrándose en mantener las escápulas separadas (en abducción) durante las flexiones de brazos (*push-up*), en

vez de dejar que las escápulas se aproximen entre sí durante la fase descendente de la flexión, así como incluir ligera abducción escapular adicional al final de la fase ascendente, lo cual se denomina flexión con un plus (tabla 7.10A, variación 1, pág. 434). De forma similar, en el gimnasio, se pueden fortalecer los abductores escapulares extendiendo los brazos al frente al final de un *press* de banca de modo que se muevan las escápulas en abducción («sacadas»). El ejercicio de cruzar el brazo por delante del cuerpo (tabla 7.10K, pág. 440) es otro ejercicio para los abductores escapulares resistido, mediante una banda elástica. Centrarse en mantener el omoplato deprimido mientras se desplaza hacia delante también ayuda a reforzar la función depresora del músculo serrato anterior.

### Otros músculos escapulares

Debido a las múltiples funciones de los músculos escapulares y a su acción combinada con los movimientos del hombro, en los ejercicios para fortalecer el complejo del hombro se reclutan distintos músculos escapulares. Sin embargo, un estudio electromiográfico llegó a la conclusión de que la combinación de abducción en el plano de la escápula con rotación externa, como en el remo, flexiones de brazos con un plus y ejercicio de tríceps hace trabajar todos los músculos escapulares y constituye un programa central para la rehabilitación y prevención de lesiones de hombro (Johnson, Gauvin y Fredericson, 2003; Moseley *et al.*, 1992).

### Fortalecimiento de los músculos flexores del codo

El fortalecimiento de los músculos flexores del codo es importante para el *porté*, que implica sostener a una bailarina con uno o ambos codos flexionados. El fortalecimiento de estos músculos también mejora el tono y la definición de la cara anterior del brazo. El *curl* de concentración (tabla 7.10L, pág. 441) es un ejercicio eficaz que se practica con mancuernas, mientras que la elevación de los brazos al frente de rodillas (tabla 7.10M, pág. 442) se puede practicar en la máquina Reformer o con una banda elástica para generar resistencia. Recuerda que la posición del antebrazo influirá en la contribución relativa de los músculos flexores del codo. Así, practicar la flexión del codo con el antebrazo en supinación potencia el uso del bíceps braquial, mientras que con el antebrazo en posición neutra potencia el uso del braquiorradial, y con el antebrazo en pronación se reduce la contribución del bíceps braquial.

### Fortalecimiento de los músculos extensores del codo

La inserción del músculo tríceps braquial está más próxima al eje de flexoextensión de la articulación del codo que la del bíceps braquial, lo cual le confiere un brazo de palanca más corto y una desventaja relativa en la producción de torque (Hall, 1999). Además, los músculos flexores del codo se emplean con más frecuencia en las actividades diarias, como al levantar y acarrear objetos. Por tanto, los flexores del codo en general son casi el doble de fuertes que los extensores (Hamill y Knutzen, 1995), lo cual hace importante potenciar el fortalecimiento de los extensores del codo. En danza, la fuerza de los extensores del codo es importante para el *porté* por encima de la cabeza y para el trabajo en el suelo que suponga alzar el cuerpo o sostenerlo con los brazos. El aumento de la fuerza de los extensores del codo también mejora el tono y contorno del dorso del brazo y ayuda a prevenir la laxitud poco estética que algunos bailarines experimentan en esta área.

Los músculos extensores del codo se pueden fortalecer con muchos ejercicios, como las flexiones de brazos (tabla 7.10A, pág. 434), el ejercicio de tríceps (tabla 7.10C, pág. 435) y en posición de tijera (tabla 7.10E, pág. 436), el *press* de brazos por encima de la cabeza en sedestación (tabla 7.10G, pág. 438), la extensión de codo por encima de la cabeza (tabla 7.10N, pág. 443) y la extensión del codo hacia atrás en posición de rodillas (tabla 7.10O, pág. 444). Mientras que la posición del antebrazo no influye en la capacidad de los extensores del codo para generar fuerza, la posición del hombro sí influye en la contribución de la cabeza larga del tríceps braquial. Por ejemplo, extender el hombro, como en el *triceps kick-back*, acorta la cabeza larga en el hombro y vuelve el ejercicio más exigente que si el hombro no estuviera extendido.

### Ejercicios compuestos de fortalecimiento

Otros ejercicios que trabajan múltiples articulaciones e incorporan patrones de movimiento parecidos a los usados en la actividad son útiles para desarrollar la fuerza funcional de las extremidades superiores, como el *press* en banco y la cargada. Los bailarines o las bailarinas que tengan que practicar un *porté* muy exigente o sostener el peso del cuerpo con los brazos tal vez se planteen una progresión en los ejercicios básicos descritos en este libro para pasar a ejercicios más avanzados con aparatos de Pilates, máquinas de pesas o pesas libres a medida que aumente su fuerza.

Se recomienda trabajar con un profesor titulado de Pilates, un preparador personal y un cinesiólogo o un entrenador de la fuerza que supervise y diseñe un programa seguro y eficaz para tus necesidades.

## *Estiramientos para la extremidad superior*

La tabla 7.11 presenta los valores promedio de amplitud de los movimientos fundamentales del hombro en la población general, así como las restricciones principales a dichos movimientos. Muchos bailarines muestran suficiente

**Tabla 7.11. Amplitud normal de movimiento y restricciones en los movimientos fundamentales del hombro (población general)**

| Movimiento de la articulación escapulohumeral | Amplitud de movimiento normal* | Factores limitadores pasivos normales |
|---|---|---|
| Flexión | 0°-180° | Cápsula articular: porción posterior<br>Ligamentos: coracohumeral (fibras posteriores)<br>Músculos: extensores y rotadores externos del hombro |
| Extensión | 0°-60° | Cápsula articular: porción anterior<br>Ligamentos: coracohumeral (fibras anteriores)<br>Músculos: pectoral mayor (porción clavicular) |
| Abducción | 0°-180° | Cápsula articular: porción inferior<br>Ligamentos: glenohumeral (fibras medias e inferiores)<br>Músculos: aductores del hombro |
| Aducción | 0°-45°** | Aposición con el tronco |
| Rotación externa<br>Con 90° de abducción del brazo<br>Con el brazo junto al costado | 0°-90°<br>0°-90° | Cápsula articular: porción anterior<br>Ligamentos: glenohumeral y coracohumeral<br>Músculos: rotadores internos del hombro (subescapular, pectoral mayor, redondo mayor y dorsal ancho) |
| Rotación interna<br>Con 90° de abducción del brazo<br>Con el brazo junto al costado | 0°-70°<br>0°-80° | Cápsula articular: porción posterior<br>Músculos: rotadores externos del hombro (infraespinoso y redondo menor) |

* De la American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965).
** De Gerhardt y Rippstein (1990). Esta medición permite al brazo moverse por delante del cuerpo.

flexibilidad en los hombros o incluso movilidad excesiva, y no se necesitan estiramientos suplementarios ni son aconsejables hasta que se conozca mejor la relación potencial entre el grado de movilidad del hombro y su inestabilidad (Rodeo *et al.*, 1998; Sauers *et al.*, 2001).

### Estiramientos para los músculos flexores del hombro

La flexibilidad de los músculos flexores es importante para poder llevar el brazo por detrás del cuerpo (hiperextensión del hombro). Si la flexibilidad es insuficiente, el hombro a menudo se encorva hacia delante con la escápula elevada, un efecto estético poco deseable en danza, en un esfuerzo por ampliar la movilidad.

El estiramiento de hombros con movimiento posterior de los brazos (tabla 7.12A) sirve para los flexores del hombro y se puede practicar con una barra, una barra de ballet o una toalla.

### Estiramientos para los músculos extensores del hombro

La flexibilidad de los músculos extensores del hombro es importante para mover los brazos por encima de la cabeza o más allá, algo necesario para movimientos como el *porté* o el *port de bras* en ballet. Si la flexibilidad es insuficiente, la espalda a menudo se arquea (hiperextendida) para que los brazos se puedan llevar todavía más atrás. Esto puede someter a tensión indebida la región lumbar y alterar la «línea» estética deseada. Se pueden evaluar con facilidad los extensores del hombro al flexionar el brazo hacia delante y comprobar que alcanza una posición por encima de la cabeza sin alterar la alineación del tronco, como se ve en Pruebas y mediciones 7.2.

En la tabla 7.12 aparecen dos estiramientos para estos músculos. El estiramiento de hombros con los brazos por

*(El texto continúa en la pág. 452.)*

**Tabla 7.12. Selección de estiramientos para el hombro**

| Nombre del ejercicio (técnica de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: flexores del hombro<br>Músculos trabajados: pectoral mayor (porción clavicular) y porción anterior del deltoides | | |
| Movimiento articular: extensión del hombro con extensión del codo | | |
| A. Estiramiento de hombros llevando los brazos hacia atrás (estático)<br> | Ase la barra o toalla por detrás de la espalda con las manos separadas un poco más que la anchura de los hombros y las palmas hacia delante. Eleva lentamente los brazos hacia atrás y arriba hasta sentir el estiramiento en la cara anterior de los hombros.<br>(Trata de mantener las escápulas hacia abajo y juntas, y eleva sólo los brazos todo lo posible manteniendo esta posición de las escápulas.) | 1. Levanta más la barra manteniendo una postura correcta.<br>2. Acerca las manos en la barra o toalla. |
| Grupos musculares: extensores del hombro<br>Músculos trabajados: pectoral mayor (porción esternal) y dorsal ancho | | |
| Movimiento articular: flexión del hombro | | |
| B. Estiramiento de hombros con los brazos por encima de la cabeza y de rodillas (estático)<br> | Arrodillate a 1,2 metros del respaldo de la silla o de la barra de ballet con las manos separadas un poco más que la anchura de los hombros. Flexiona lentamente las caderas y deja que el torso se incline entre los brazos hasta percibir el estiramiento en la cara anterior de los hombros.<br>(Contrae con firmeza los abdominales, centrándote en tirar de las costillas inferiores hacia abajo y atrás, y del pubis hacia arriba, de modo que se evite la hiperextensión de la espalda y la proyección de las costillas inferiores hacia delante, y se produzca el estiramiento en el punto deseado de los hombros.) | 1. Deja que más peso del torso cuelgue de los brazos.<br>2. Empieza arrodillado un poco más lejos de la silla o la barra. |

*(Continúa)*

**Tabla 7.12. Selección de estiramientos para el hombro (continuación)**

| Nombre del ejercicio (técnica de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: extensores del hombro<br>Músculos trabajados: pectoral mayor (porción esternal) y dorsal ancho | | |
| Movimiento articular: flexión del hombro | | |
| C. Estiramiento de hombros con los brazos por encima de la cabeza, en sedestación (estático)<br> <br>Variación 1 | Siéntate con las piernas hacia delante y las rodillas flexionadas, con los pies planos en el suelo mientras los dedos de las manos se entrelazan por encima de la cabeza. Lleva los brazos hacia atrás hasta sentir el estiramiento en el área inferior o posterior del hombro. (Contrae inicialmente los abdominales con firmeza para mantener una ligera flexión de la columna lumbar y dorsal inferior mientras los brazos se llevan hacia atrás. A medida que mejore la estabilización, emplea una posición neutra de la columna pero evita cualquier hiperextensión vertebral o la proyección de las costillas inferiores hacia delante mientras los brazos se llevan hacia atrás.)<br>*Variación 1.* Practica el ejercicio sentado con los brazos por encima de la cabeza, los codos flexionados o extendidos y la porción superior de la espalda apoyada en una pelota suiza para que la gravedad ayude y aumente el estiramiento de los hombros | 1. Lleva los brazos más hacia atrás. |
| Grupos musculares: aductores horizontales del hombro<br>Músculos trabajados: pectoral mayor y porción anterior del deltoides | | |
| Movimiento articular: abducción horizontal del hombro | | |
| D. Estiramiento de hombros contra la pared (estático)<br> | De pie con el lado derecho mirando hacia la pared y la palma de la mano derecha en la pared, los dedos mirando hacia arriba. Gira lentamente el torso hacia la izquierda, alejándolo de la pared hasta sentir un estiramiento en la cara anterior del hombro. Repite con el lado contralateral.<br>(Mantén el hombro derecho en rotación externa y la escápula deprimida mientras giras el torso.) | 1. Mueve el brazo un poco más hacia atrás en la pared.<br>2. Gira más el torso alejándolo un poco del brazo. |

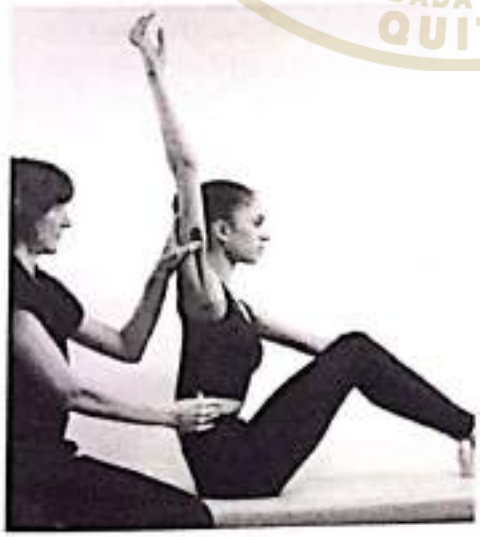
| Nombre del ejercicio (método de estiramiento) | Descripción (claves técnicas) | Progresión |
|---|---|---|
| Grupos musculares: abductores horizontales del hombro<br>Músculos trabajados: porción posterior del deltoides | | |
| Movimiento articular: aducción horizontal del hombro con flexión del codo | | |
| E. Estiramiento de hombros con el codo cruzado sobre el cuerpo (estático)<br> | En decúbito supino con el codo derecho flexionado y orientado lateralmente a la altura del hombro y la mano izquierda sobre el codo. Usa la mano izquierda para tirar del codo derecho sobre el pecho hasta sentir el estiramiento en el dorso del hombro. Repite con el lado contralateral. (Mantén las escápulas un poco juntas, y evita que se desplacen hacia delante mientras el brazo cruza el cuerpo.) | 1. Cruza el brazo un poco más sobre el pecho. |

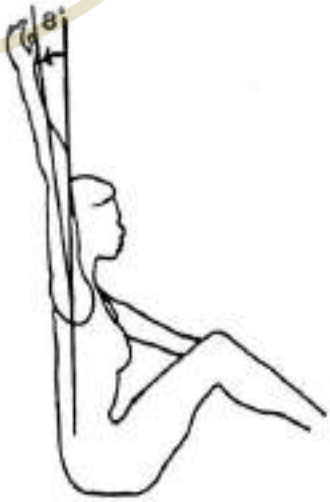
PRUEBAS Y MEDICIONES 7.2

## *Prueba exploratoria de la flexibilidad de los músculos extensores del hombro*

Ofrecemos una prueba para medir la flexión pasiva del hombro, movimiento que suele reflejar la flexibilidad de los músculos flexores del hombro en los bailarines sanos. Mientras el bailarín está sentado con las rodillas flexionadas y los pies en el suelo, el examinador estabiliza el torso con una mano mientras el bailarín lleva un brazo todo lo posible por encima de la cabeza sin alterar la alineación del torso.

El eje del goniómetro se sitúa en el eje aproximado de la articulación glenohumeral, el brazo fijo se mantiene vertical y alineado con el torso, y el brazo móvil se coloca a lo largo de la línea media de la porción superior del húmero. La posición con el brazo vertical por encima de la cabeza se considera 0°, y el número de grados que el brazo puede desplazarse hacia atrás superando este punto se considera un número positivo. La capacidad de adoptar la postura de 0° con facilidad es importante para desarrollar actividades como el *porté* sin compensaciones poco deseables del tronco. Sin embargo, muchos bailarines exhiben mucha más movilidad en esta dirección, y la autora considera deseable un mínimo de 10° para adoptar el *port de bras* y otros movimientos gestuales propios de la danza. Si no se dispone de un goniómetro, se puede tomar como regla el llevar el codo aproximadamente 7,6 centímetros por detrás de la oreja mientras se mantiene la alineación vertical de la cabeza y el torso.





encima de la cabeza y de rodillas (tabla 7.12B) se puede practicar con una silla o en la «barra» de ballet, mientras que el estiramiento de hombros con los brazos por encima de la cabeza y en sedestación (tabla 7.12C) se puede practicar sentándose erguido y tratando de mantener una postura correcta del torso o sentado con la espalda apoyada en una pelota suiza para adoptar una posición en que la gravedad colabore a generar el estiramiento de los hombros (tabla 7.12C, variación 1).

### Estiramientos para los músculos aductores horizontales del hombro

La flexibilidad de los músculos aductores horizontales del hombro es necesaria para lograr la «apertura» adecuada de los brazos en segunda posición y prevenir los hombros encorvados. El estiramiento de hombros contra la pared (tabla 7.12D) sirve para estirar este grupo muscular.

### Estiramientos para los músculos abductores horizontales del hombro y cápsula posterior

Estudios recientes sugieren que la tirantez de la cápsula posterior y de los músculos posteriores del manguito de los rotadores podría ser un factor asociado con algunas lesiones de hombro (como el síndrome por compresión). El estiramiento de hombro en decúbito supino con el codo cruzando el pecho (tabla 7.12E) está pensado para estirar esta área. Sin embargo, para que sea eficaz, la escápula se debe estabilizar mediante un uso consciente de los músculos aductores escapulares con el fin de mantener la escápula cerca de la columna y generar un estiramiento en la cara posterior del hombro.

## Lesiones de la extremidad superior en los bailarines

Como la danza se practica sobre todo con las extremidades inferiores en carga, la incidencia de lesiones en la extremidad superior ha sido históricamente muy inferior a la de la extremidad inferior. De hecho, muchos informes sobre lesiones en las bailarinas de ballet ni siquiera incluyen las lesiones en la extremidad superior, y existe un número muy limitado de estudios que aborden las lesiones de la extremidad superior en los bailarines. No obstante, algunas formas de danza como el *breakdance* (Washington, 1987) presentan una mayor incidencia de lesiones en la extremidad superior, y en el caso de algunas formas de baile moderno, jazz y ballet, la incidencia va en aumento.

Respecto al aumento de la incidencia, las exigencias impuestas a la extremidad superior han crecido de forma acusada en ciertas coreografías con el uso no clásico del *porté* de los bailarines, con el *porté* que practican las mujeres con otras mujeres y hombres, con el trabajo de suelo y con los exigentes movimientos en que el cuerpo descansa apoyado en los brazos. En la danza moderna, la improvisación con contacto puede generar tensión adicional en la extremidad superior en movimientos no anticipados que requieren un rápido uso de los brazos para sostener el peso del cuerpo del mismo bailarín u otro. En danza jazz, la tendencia a incorporar movimientos acrobáticos y coreografía de *breakdance* ha aumentado mucho la sobrecarga de la extremidad superior. Un antiguo estudio con cincuenta bailarines de *breakdance* demostró que en torno al 23% del total de lesiones se producía en la mano, el 7,5% en la muñeca y alrededor del 9% en el hombro (Washington, 1987). Después de revisar 20 años de lesiones de ballet en el Lewisham Hospital, Millar (1987) documentó un aumento lento pero firme en las lesiones de cuello y extremidad superior, que él atribuyó a las mayores y más variadas exigencias que la coreografía impone a los bailarines de ballet que se dedican a danza moderna.

### *Prevención de lesiones de la extremidad superior*

Un mecanismo habitual de lesión de la extremidad superior consiste en una caída que se para con el brazo extendido; en danza, las lesiones se suelen relacionar con la ejecución de movimientos repetitivos por encima de la cabeza o de movimientos exigentes en que la extremidad superior soporta el peso del bailarín o de un compañero. Cuando las fuerzas superan la movilidad pasiva, la estabilidad y el control dinámico de la articulación del hombro, puede sobrevenir una lesión (Warner *et al.*, 1990).

Los bailarines pueden reducir el riesgo de lesión desarrollando suficiente fuerza y haciéndolo de forma equilibrada, desarrollando y manteniendo la flexibilidad, calentando adecuadamente, evitando la fatiga y centrándose en una buena técnica. Respecto a la fuerza, la práctica de un entrenamiento suplementario de la fuerza dos o tres veces por semana permite crear una base para la fuerza de las extremidades superiores. A continuación, cuando una coreografía inhabitual imponga grandes demandas sobre el hemicuerpo superior, será menos probable que se produzca una lesión. Incluir ejercicios para los músculos escapulares y el manguito de los rotadores, así como para los grandes músculos del hombro, aportará mayor estabilidad articular y facilitará una correcta mecánica del hombro y la escápula que evite los síndromes por compresión. En último término, centrarse en una colocación correcta de los brazos con un ritmo escapulohumeral adecuado reducirá la tensión sobre los hombros.

### *Rehabilitación de lesiones de hombro*

Aunque las distintas lesiones a menudo requieren tratamientos específicos, el tratamiento del hombro sigue unos

principios generales. Para conocer los protocolos de tratamiento más específicos, remitimos a los lectores interesados a la bibliografía que aparece al final de este libro.

Como sucede con las lesiones en otras articulaciones, el tratamiento inicial recomendado suele comprender la aplicación de hielo, antiinflamatorios y reposo relativo/movimiento restringido para controlar el dolor, la hinchazón y la inflamación (Goldman y McCann, 1997). Cuando los síntomas se hayan controlado, a menudo se prescriben otras modalidades de fisioterapia como ultrasonidos, estimulación eléctrica o fonoforesis para restablecer la movilidad normal y favorecer la curación. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con otras articulaciones, la prioridad consiste en mantener la amplitud de movimiento durante los estadios iniciales de la lesión de hombro porque éste es especialmente propenso a las contracturas, capsulitis y pérdida grave de la movilidad cuando se mantiene inmovilizado. Por tanto, el tratamiento inicial suele consistir en ejercicios cuyo objetivo sea mantener la movilidad sin agravar la afección, practicados varias veces al día.

Cuando los síntomas lo permitan, se sumarán gradualmente ejercicios de resistencia progresiva. Estos ejercicios de fortalecimiento suelen incluir: (1) el manguito de los rotadores, vital para la estabilidad del hombro, y el par de fuerzas S/R; (2) los músculos escapulares, claves para restablecer un ritmo escapulohumeral adecuado, y (3) los otros principales músculos glenohumerales, importantes para la estabilidad y los movimientos de la articulación del hombro.

La evaluación y, si fuera necesario, la corrección de la mecánica del hombro son esenciales para el éxito de la rehabilitación y para la prevención de recidivas en las lesiones del hombro. En muchas lesiones de hombro, el ritmo escapulohumeral tiende a verse interrumpido (discinesia escapular), y se produce una elevación excesiva acompañada de rotación superior inadecuada o diferida de la escápula. El empleo de órdenes para mejorar la técnica y la reeducación, junto con el fortalecimiento selectivo de músculos como el serrato anterior y la porción inferior del trapecio, suelen ser necesarios para restablecer la mecánica correcta. Como con otras articulaciones antes descritas, lo deseable es progresar hasta ejercicios que consistan en soportar el peso del cuerpo (ejercicios en cadena cinética cerrada) e impongan retos propioceptivos (como ejercicios apoyándose en uno o los dos brazos sobre un rodillo de espuma, una pelota suiza o una tabla de equilibrio).

## Lesiones habituales de la extremidad superior

A continuación presentamos una breve exposición sobre algunas de las lesiones más corrientes de la extremidad superior. Aunque haya un número limitado de estudios sobre las extremidades superiores de los bailarines, remitimos a los lectores interesados a un gran número de estudios sobre deportes en que las lesiones de la extremidad superior son habituales, como la natación, los deportes de lanzamientos, los deportes de raqueta y la gimnasia.

### Esguince acromioclavicular (separación acromioclavicular)

El **esguince acromioclavicular** o «separación del hombro» implica un esguince y a menudo una luxación de la articulación acromioclavicular. Comprende el desgarro de los ligamentos y, con frecuencia, de la cápsula articular. Esta lesión suele ocurrir por una caída sobre la punta del hombro o sobre el brazo extendido (Hall-Craggs, 1985).

El esguince acromioclavicular se caracteriza por dolor intenso que se agudiza con movimientos del brazo, y por hipersensibilidad e hinchazón localizadas directamente sobre la articulación acromioclavicular (Roy e Irvin, 1983). Los esguinces menos graves se asocian con subluxación, mientras que los más graves se relacionan con una luxación completa de la articulación, como se ve en la figura 7.52. En los casos más graves, los ligamentos que conectan la clavícula con la apófisis coracoides de la escápula (ligamentos coracoclaviculares: ligamentos conoideo y trapezoideo) se rompen; el extremo distal de la clavícula se eleva respecto al acromion e incluso puede llegar a montarse encima de éste (figura 7.52B). El hombro tiende a descender y alejarse de la clavícula, debido al peso del brazo, y parece caído respecto a su par contralateral. El acromion de la escápula parece sobresalir más en el lado dañado (Moore y Agur, 1995).

El tratamiento recomendado suele comprender un cabestrillo para soportar el peso del brazo (Yamaguchi, Wolfe y Bigliani, 1997). Como la estabilidad de la articulación depende de los ligamentos, y los músculos circundantes contribuyen poco a la estabilidad, el interés del tratamiento inicial suele orientarse a la prevención de una movilidad excesiva de la articulación acromioclavicular para que los ligamentos se puedan curar. En el caso de luxaciones graves, suele ser difícil mantener la alineación deseada del acromion y la escápula sin que la clavícula se monte sobre el acromion, y en el caso de deportistas de elite, algunos médicos recomiendan cirugía para estabilizar la articulación.

### Luxación del hombro

Debido al diseño del hombro, que favorece la movilidad, y debido a su inestabilidad inherente, el hombro (articulación glenohumeral) es vulnerable a las luxaciones. Aunque haya cuatro tipos de luxaciones, las inferiores y sobre todo las anteriores son las más frecuentes en los deportistas en formación (Moore y Agur, 1995). En el caso de las **luxaciones anteriores** o **subcoracoideas** (figura 7.53B), al desplazarse la cabeza del húmero hacia delante, la cápsula articular, el ligamento glenohumeral inferior y a veces el rodete glenoideo se pueden desgarrar de su inserción anterior en

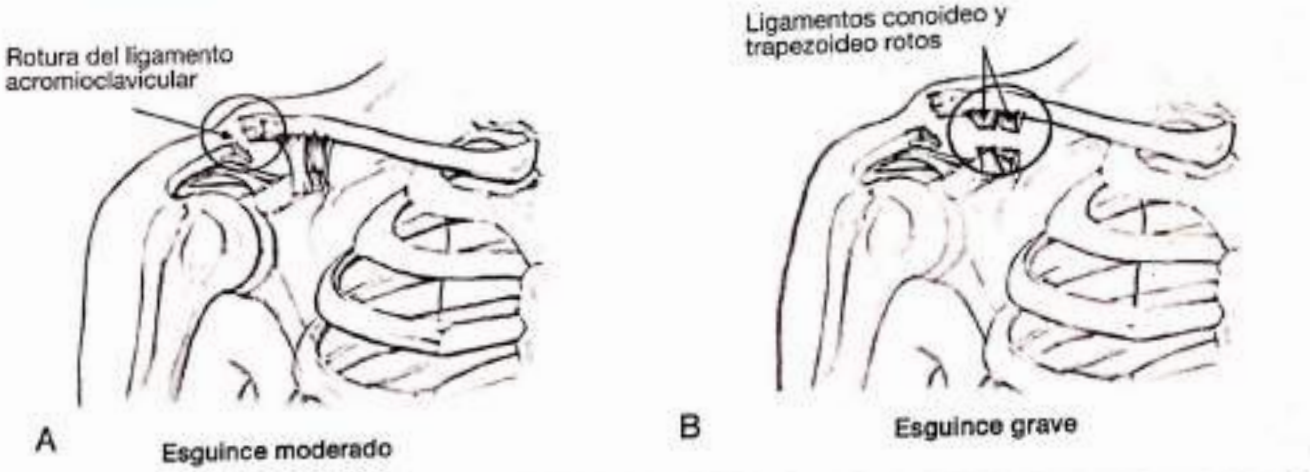



FIGURA 7.52. Esguince (A) moderado y (B) grave de la articulación acromioclavicular (hombro derecho, vista anterior).

FIGURA 7.53. Dos tipos habituales de luxación de hombro (hombro derecho, vista anterior). (A) Posición normal de la cabeza del húmero; (B) luxación anterior (subcoracoidea); (C) luxación inferior (subglenoidea).

la cavidad glenoidea. Los mecanismos habituales de esta lesión son una posición del brazo en abducción o rotación externa, o, con menos frecuencia, una posición del brazo en extensión extrema del hombro con rotación externa. Por el contrario, el mecanismo de una **luxación** inferior o **subglenoidea** (figura 7.53C) es un golpe o una gran fuerza descendente aplicada sobre el brazo en abducción completa y por encima de la cabeza. En danza, las luxaciones de hombro se producen pocas veces. Cuando se producen, son mecanismos de potenciales caídas, errores durante el *porté* o contactos improvisados, o posturas muy exigentes en que el peso del cuerpo descansa sobre un brazo.

La luxación anterior del hombro es apreciable a simple vista, porque desaparece el aspecto redondeado del hombro que le confiere el tubérculo mayor del húmero, y se palpa una cavidad debajo del acromion que ahora sobresale (Roy e Irvin, 1983). La luxación inicial del hombro se asocia con dolor intenso. El dolor es agudo al mover el hombro, y el bailarín tal vez trate de aguantarse el brazo lesionado con el otro. Puede haber hormigueo y entumecimiento en el brazo y la mano.

Se trata de una emergencia médica, y debe ser asistida por un médico en urgencias. En algunos casos, el húmero se recoloca en su cavidad por sí solo (reducción espontánea), pero en otros el médico tiene que practicar una maniobra de reducción específica porque los nervios y vasos sanguíneos pueden sufrir daños si la maniobra no se ejecuta correctamente. Además, puede haber daños adicionales, como fracturas y roturas del manguito de los rotadores, asociados con una luxación, daños que debe descartar un profesional sanitario cualificado antes de proceder a la reducción.

A menudo el brazo se inmoviliza inicialmente con un cabestrillo (Park, Blaine y Levine, 2002) mientras se controlan los síntomas iniciales. Cuando se lleva a cabo la rehabilitación, se pone mucho énfasis en mejorar la fuerza de los músculos del manguito de los rotadores. El fortalecimiento de los músculos escapulares y el deltoides, así como el paso a ejercicios propioceptivos y patrones de movimiento funcionales en cadena cinética abierta y cerrada, es importante para restablecer la mecánica correcta y la estabilidad (Shea, 2001). Por desgracia, las luxaciones de hombro traumáticas a menudo implican la rotura del rodete glenoideo

y el ligamento glenohumeral inferior, así como deformación de la cápsula articular. Estos daños pueden derivar en seguida en inestabilidad del hombro, y los informes sobre recidivas de luxaciones de hombro en los deportistas varían entre el 50% y el 90% (Yamaguchi, Wolfe y Bigliani, 1997). Por tanto, puede ser necesaria la cirugía correctiva, que a menudo consiste en la reparación del arrancamiento del rodete glenoideo, los ligamentos o la cápsula, que se desprendieron del borde de la cavidad glenoidea, y en «tensar» la cápsula articular (Levine *et al.*, 2000; Nelson y Arciero, 2000; Steinbeck y Jerosch, 1998).

### Síndrome de compresión del hombro

El **síndrome de compresión del hombro** (síndrome subacromial) es el término que suele usarse para describir el pinzamiento de los tejidos blandos inflamados o hipersensibles entre la cabeza del húmero y el ligamento coracoacromial superpuesto, el acromion o ambos. El espacio inferior al arco coracoacromial y superior a la cabeza del húmero, llamado espacio subacromial, ocupa sólo 1 centímetro cuando el brazo pende al lado del cuerpo (Kreighbaum y Barthels, 1996). El síndrome de compresión se divide en primario y secundario. La **compresión primaria** ocurre cuando este espacio subacromial se estrecha mecánicamente por factores como un acromion con forma de gancho, espolones óseos, un engrosamiento del manguito de los rotadores o la presencia de una bolsa subacromial fibrótica (Myers, 1999). Por el contrario, se produce una **compresión secundaria** cuando el espacio subacromial se estrecha funcionalmente por factores como la debilidad o fatiga de los músculos escapulares o del manguito de los rotadores, por tirantez posterior de la cápsula o por inestabilidad glenohumeral. Estos últimos factores tienen el efecto de permitir a la cabeza del húmero migrar hacia arriba o no mantenerse centrada en la cavidad glenoidea durante la flexión y abducción del hombro, lo cual deriva en compresión. La compresión secundaria suele darse con más frecuencia en personas de menos de 35 años (Cavallo y Speer, 1998), mientras que la compresión primaria es más corriente en personas mayores.

Dado que el tendón del supraespinoso discurre justo por encima del hombro hasta insertarse en la porción superior del tubérculo mayor (figura 7.54), no sorprende que la estructura inflamada que con más frecuencia sufre «compresión» en este síndrome sea la superficie externa del tendón del supraespinoso. No obstante, otras estructuras en esta área que a veces se ven afectadas son el tendón del bíceps braquial y la bolsa subacromial.

El síndrome de compresión predomina especialmente en deportes en los que se produce la flexión y abducción repetitivas del hombro, sobre todo en movimientos por encima de la cabeza, como en el béisbol, la natación, la gimnasia y la halterofilia (Briner y Benjamin, 1999; Cavallo y Speer, 1998; Kammer, Young y Niedfeldt, 1999; Warner *et al.*, 1990). Hasta el 50% de los nadadores de competición refieren dolor de hombro por compresión (Nuber *et al.*, 1986). En danza, se generan tensiones similares en el *porté* por encima de la cabeza, en coreografías que exigen el empleo muy rápido y con percusión de los brazos, y en movimientos que requieren soportar el peso del cuerpo con los brazos, como al ha-

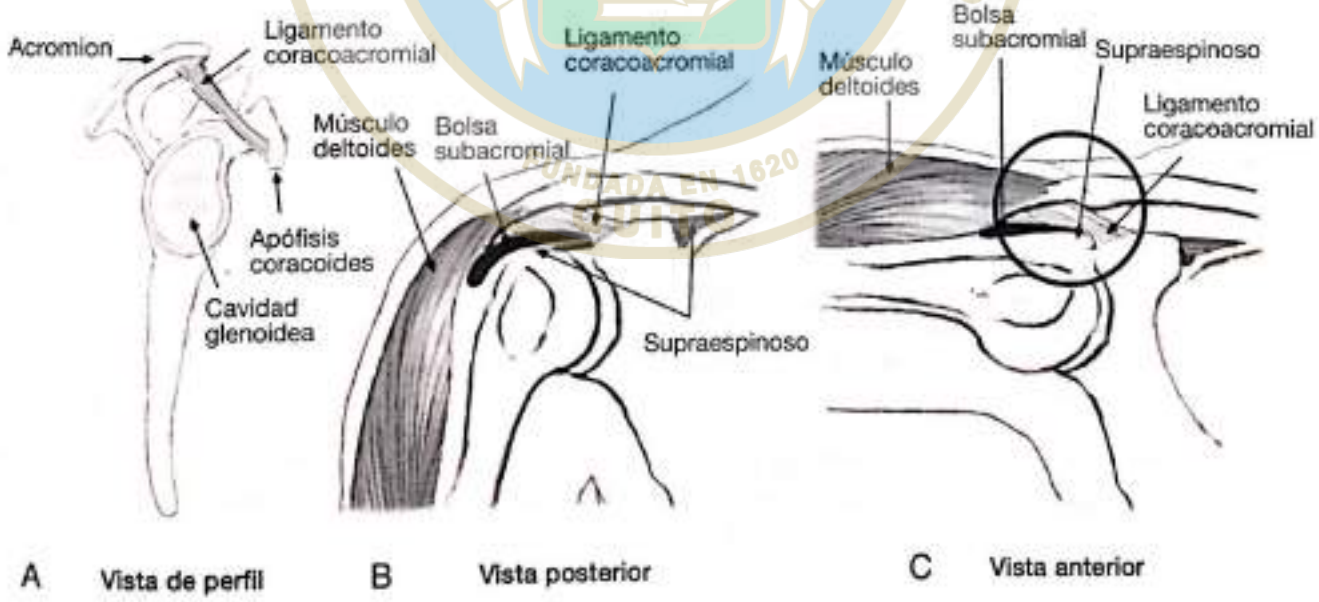



FIGURA 7.54. Síndrome de compresión (hombro derecho). (A) Vista de perfil del arco coracoacromial. (B) Con el brazo al lado del cuerpo, hay suficiente espacio entre el húmero y el arco coracoacromial, pero (C) con el hombro en abducción, el espacio se reduce y puede haber compresión.

FIGURA 7.55. Clásico arco doloroso durante la abducción del hombro en un síndrome de compresión.

cer la vertical, al hacer la rueda *(cartwheels)* y en los saltos de paloma *(hansprings)*.

El síndrome de compresión se caracteriza por dolor en las porciones anterior, superior o lateral del hombro (Wolin y Tarbet, 1997), que se agudiza con movimientos por encima de la cabeza, sobre todo entre 60° y 120° de abducción del hombro, como se ve en la figura 7.55. Debido a la mecánica del hombro, la abducción inicial no aproxima las estructuras implicadas lo suficiente como para causar compresión. No obstante, por lo general en 60° de abducción (aunque a veces sólo con 45°), la bolsa o tendones inflamados resultan comprimidos contra el arco coracoacromial superpuesto, lo cual causa dolor. El riego sanguíneo del tendón del supraespinoso puede resultar afectado en esta amplitud de movimiento (Kreighbaum y Barthels, 1996). En algunos casos, un chasquido o crepitación acompaña al dolor en este arco. El dolor es a veces lo bastante intenso como para impedir seguir levantando el brazo, pero, si no, el dolor suele disminuir pasados los 120°, cuando la rotación externa del húmero sitúa el tubérculo mayor detrás del acromion y deja de producirse la compresión. Debido al dolor, el empleo de la articulación del hombro a menudo queda limitado, y suele seguir inhibición, debilidad y atrofia muscular.

Durante las fases iniciales del tratamiento, a menudo se evitan o limitan los movimientos de abducción del hombro y por encima de la cabeza. Los bailarines pueden modificar temporalmente el empleo de los brazos hasta la altura de los hombros (o dentro de una amplitud indolora) o practicar combinaciones con y sin los brazos para evitar la fatiga y el dolor asociado. A menudo se recomiendan estiramientos para mantener la movilidad normal, dado que una disminución de la amplitud de movimiento de la abducción horizontal del hombro (Greipp, 1985), la rotación externa del hombro, la rotación interna del hombro y la aducción horizontal del hombro (Warner *et al.*, 1990) puede aumentar el riesgo de compresión. La disminución última de la amplitud suele deberse a tirantez en la cápsula posterior y se plantea que podría generar elevación y deslizamiento anterior no deseados de la cabeza del húmero durante la flexión del hombro.

Cuando los síntomas lo permitan, se iniciarán ejercicios de fortalecimiento. Se pone especial énfasis en fortalecer el manguito de los rotadores debido a su importante papel en la prevención de un movimiento ascendente excesivo de la cabeza del húmero (par de fuerzas SIR). Además, se ha demostrado que el síndrome de compresión se asocia con un bajo nivel de fuerza en los músculos rotadores externos respecto a los rotadores internos (Warner *et al.*, 1990), lo cual sugiere que se debe dar más importancia al fortalecimiento de la rotación externa del hombro. No obstante, a menudo hay que modificar las posiciones para fortalecer el manguito de los rotadores y evitar el arco entre 60° y 120° de abducción, y a menudo se recomienda una posición en la que el brazo esté ligeramente elevado (30° de abducción en el plano de la escápula) para que no se reduzca el riego sanguíneo y el riesgo de compresión sea mínimo. El fortalecimiento de los músculos rotadores superiores (porción inferior del trapecio y serrato anterior) y de los depresores de la escápula también es esencial para restablecer un ritmo escapulohumeral normal cuando el brazo se levanta por encima de la cabeza. Con una mecánica normal, la rotación superior de la escápula aleja el acromion cuando el húmero se le acerca durante la abducción (Kreighbaum y Barthels, 1996). Sin embargo, las personas con compresión parecen mostrar inhibición e interrupción de los patrones de reclutamiento del serrato anterior y la porción inferior del trapecio (Cools *et al.*, 2003), y un aumento de la actividad del romboides (Johnson, Gauvin y Fredericson, 2003) o de la porción superior del trapecio (Kibler, McMullen y Uhl, 2001). Esta interrupción de las sinergias escapulares puede derivar en una elevación excesiva de la escápula o del hombro cuando se levanta el brazo, tal vez para compensar la reducción de la movilidad glenohumeral, pero tendiendo a mover la cabeza del húmero hacia arriba y aumentando el riesgo de compresión. Por tanto, es necesario restablecer la fuerza y la mecánica del hombro para evitar la compresión y resolver los síntomas. Cuando esté indicada, tal vez sea prudente la corrección de los hombros encorvados y la cifosis, debido a la reducción del espacio subacromial asociada con estos problemas posturales (DePalma y Johnson, 2003).

### Rotura del manguito de los rotadores

En algunos casos, la lesión del manguito de los rotadores no implica sólo inflamación (tendinitis), sino también una rotura incompleta o completa del manguito. Esta lesión suele afectar el músculo supraespinoso (figura 7.56) en su unión musculotendinosa, donde el riego sanguíneo es escaso, pero también puede abarcar el tendón del infraespinoso. En de-

portistas jóvenes, esta rotura se suele asociar con un episodio traumático como una caída sobre la mano extendida, o una desaceleración forzada de la rotación interna en un lanzamiento (Duda, 1985; Yamaguchi, Wolfe y Bigliani, 1997). Durante la fase de aceleración del lanzamiento, la rotación interna del hombro puede alcanzar velocidades de 9.000° por segundo en jugadores varones de béisbol universitario (Brindle *et al.*, 1999). Nada más soltar la pelota, el manguito de los rotadores trabaja excéntricamente para desacelerar con rapidez esta rotación interna tan veloz, lo que lo vuelve vulnerable a las lesiones. La rotura del manguito de los rotadores también puede seguir al debilitamiento del tendón por tendinitis y compresión. Millar (1987) afirma que las distensiones del manguito de los rotadores son la lesión de hombro más habitual en los bailarines, sobre todo varones.

Los signos y síntomas de una **rotura del manguito de los rotadores** suelen ser muy parecidos a los de un síndrome de compresión, con hipersensibilidad cerca de la inserción del supraespinoso y dolor fijo y continuo que se exacerba con la abducción del hombro, sobre todo entre 60° y 120°. El dolor suele ser persistente en reposo e incluso por la noche (Wolin y Tarbet, 1997) y a menudo hay dolor referido en la inserción distal del deltoides. También puede darse una atrofia del supraespinoso; y en los casos de roturas más graves, puede haber incapacidad para abducir el brazo contra una resistencia o mantener el hombro en abducción (Caillet, 1996), probablemente debido al dolor. La prueba de la caída del brazo (véase Pruebas y mediciones 7.3) consiste en tratar de mantener el brazo en abducción después de haberlo elevado pasivamente 90° (Magee, 1997; Mercier, 1995).

El tratamiento inicial recomendado implica el uso de un cabestrillo y limitación de la abducción, con un tratamiento adicional parecido al usado con el síndrome de compresión del hombro que incluya un cuidadoso fortalecimiento del manguito de los rotadores, ejercicios de propiocepción y restablecimiento de la mecánica correcta del hombro. No obstante, en casos de rotura completa o cuando el tratamiento conservador no tenga éxito, podría recomendarse su reparación quirúrgica (Mercier, 1995; Yamaguchi, Wolfe y Bigliani, 1997).

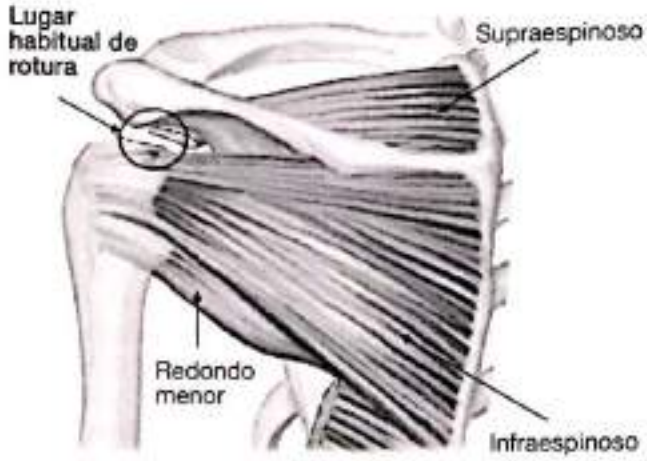



FIGURA 7.56. Rotura del manguito de los rotadores (hombro izquierdo, vista posterior).

## Bursitis

La **bursitis** es una inflamación de una bolsa, siendo la bolsa subacromial la que resulta más afectada en el hombro (figura 7.54). Como se describió en el síndrome de compresión del hombro, la localización de esta bolsa, inferior al arco coracoacromial y superior al tendón del supraespinoso, hace que se pueda inflamar rápidamente por compresión. La bursitis también puede ser producto de una irritación por la presencia de depósitos de calcio en los tendones del manguito de los rotadores (Wolf III, 1999), que aparecen como respuesta a los cambios degenerativos en estos tendones o secundarios a otras lesiones de la articulación del hombro o acromioclavicular. Como en los casos de compresión, la bursitis es especialmente habitual en las personas que practican movimientos repetitivos por encima de la cabeza.

La bursitis se suele asociar con molestias generalizadas en torno al hombro que se agudizan en abducción completa,

PRUEBAS Y MEDICIONES 7.3

### *Prueba de la caída del brazo para roturas del manguito de los rotadores*

Esta prueba corre a cargo de un médico o fisioterapeuta cuando se sospecha una rotura del manguito de los rotadores. El examinador levanta el brazo del paciente en 90° de abducción y luego lo suelta. El paciente trata de mantener el brazo en esta posición para luego hacerlo bajar con lentitud hasta quedar al lado del cuerpo. La incapacidad de mantener esta posición en sí o contra una ligera resistencia, o la incapacidad para bajar el brazo de forma suave y controlada sin dolor extremo, se considera un signo positivo y sugiere la presencia de una rotura del manguito de los rotadores.

así como en abducción con rotación interna o externa (Magee, 1997; McCarthy, 1989; Millar, 1987). También se suele agravar el dolor al dormir con el brazo por encima de la cabeza. Además puede existir hipersensibilidad en las caras anterior y lateral de la articulación del hombro.

El tratamiento recomendado suele implicar la modificación de la actividad para no elevar el brazo en movimientos que agraven la afección, y modalidades como hielo o calor, antiinflamatorios y, cuando los síntomas lo permitan, rehabilitación con énfasis en el fortalecimiento del manguito de los rotadores y en la corrección de cualquier error en la técnica o el entrenamiento (McCarthy, 1989). Algunos médicos también recomiendan una cuidadosa inyección de corticosteroides en la bolsa (evitando los tendones estrechamente alineados) en casos que no respondan a los otros tratamientos (Mercier, 1995; Millar, 1987).

### Capsulitis adhesiva (hombro congelado)

La **capsulitis adhesiva** implica inflamación crónica y fibrosis de la cápsula glenohumeral. En los estadios posteriores suele haber adherencias entre la cápsula y las superficies articulares, así como inflamación de la bolsa subacromial y del ligamento coracohumeral. Estos cambios causan una reducción espectacular de la movilidad del hombro (p. ej., incapacidad de elevar el brazo por encima de la cabeza), de ahí el término de hombro congelado. La etiología no se conoce del todo, pero suele producirse después de la inactividad del hombro causada por una lesión o inflamación del complejo. Aunque poco habitual en personas jóvenes activas, se puede diagnosticar en bailarines mayores, sobre todo mujeres (Mercier, 1995).

La capsulitis adhesiva se asocia con pérdida progresiva de movilidad en el hombro y un inicio lento del dolor, localizado en el área del manguito de los rotadores. Este dolor suele interferir con el sueño, impide tumbarse sobre el lado afectado y su naturaleza es progresiva. Suele haber hipersensibilidad en torno al manguito de los rotadores y el tendón del bíceps. Respecto a la movilidad, suele haber una pérdida generalizada de movilidad pasiva y activa, y siempre una pérdida de rotación externa (Yamaguchi, Wolfe y Bigliani, 1997). Aunque el paciente se suele sentir cómodo moviendo el brazo dentro del arco indoloro, sí suele sentir dolor intenso cuando supera accidentalmente esa amplitud.

El tratamiento suele consistir en antiinflamatorios y fisioterapia centrada en estiramientos y en la recuperación de la movilidad. No obstante, si falla el tratamiento conservador, el cirujano ortopédico podría optar por corticosteroides y medidas más agresivas como la rotura de las adherencias bajo anestesia local o liberación quirúrgica de la cápsula, a lo cual sigue una rehabilitación agresiva para evitar la nueva formación de adherencias (Caillet, 1996; Pearsall y Speer, 1998).

### Tendinitis y rotura del bíceps

El tendón del bíceps braquial puede resultar inflamado y derivar en tendinitis (figura 7.57). Ésta suele afectar el tendón de la cabeza larga del bíceps braquial y a su vaina (tenosinovitis). Esta tenosinovitis se produce más en adultos mayores de 40 años o en deportistas jóvenes cuyo deporte exija movimientos repetitivos con los brazos (Mercier, 1995). Factores como la estenosis del surco intertubercular, la subluxación repetitiva del tendón o la compresión bajo el arco coracoacromial podrían precipitar esta lesión.

La **tendinitis del bíceps** se caracteriza por dolor que irradia a la cara anterior del brazo, más abajo de lo que se suele experimentar cuando se ve afectado el tendón del supraespinoso. También suele haber hipersensibilidad sobre el surco bicipital durante la palpación. El surco intertubercular y el tendón del bíceps se palpan con facilidad en la cara anterior del hombro con el brazo en 90° de abducción y el codo flexionado 90°. El dolor se reproduce a menudo mediante maniobras que estiran el tendón del bíceps, como la hiperextensión del hombro con el codo extendido.

El tratamiento recomendado suele consistir en la limitación de la movilidad a un arco indoloro, antiinflamatorios y fisioterapia. Sin embargo, el éxito del tratamiento también requiere abordar las causas subyacentes potenciales, como la técnica o un síndrome por compresión del hombro. Si no se trata convenientemente, la tendinitis crónica, parecida a la descrita en el tobillo-pie, puede causar degeneración del tendón y precipitar su rotura completa (Mercier, 1995). La rotura suele sobrevenir tras una contracción forzada del bíceps y tal vez se acompañe de un «chasquido» con los consiguientes dolor y debilidad en el brazo. El aumento de ta-

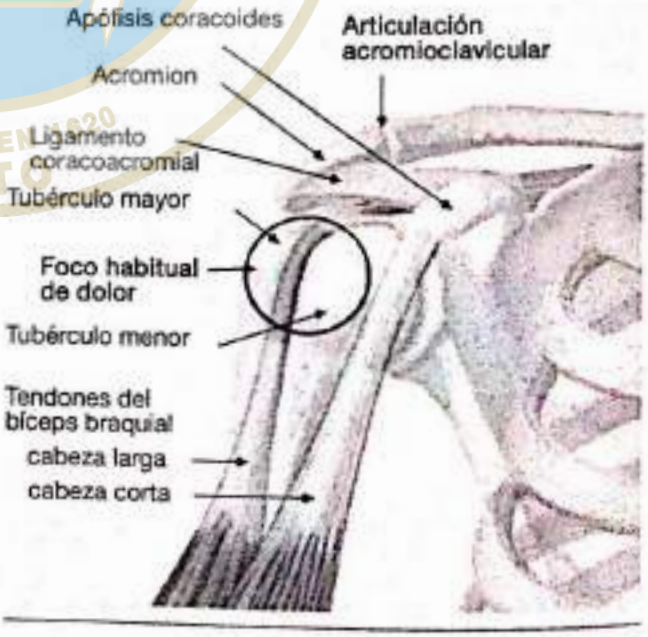



FIGURA 7.57. Tendinitis del bíceps (hombro derecho, vista anterior).

maño o la distorsión de la forma del bíceps retraído suelen ser visibles.

### Epicondilitis lateral o codo de tenista

La **epicondilitis lateral** implica una lesión en el área del epicóndilo lateral que se cree causada por inflamación y microdesgarros de las inserciones tendinosas proximales de los músculos extensores de la muñeca (Moore y Agur, 1995; Soderberg, 1986). La epicondilitis lateral es una lesión por uso excesivo habitual en deportistas que usan repetitivamente los músculos extensores de la muñeca, como lanzadores de béisbol y tenistas. De hecho, esta lesión es tan frecuente en el tenis que a menudo se le llama «codo de tenista». Aproximadamente el 45% de los tenistas que juegan a diario sufren esta lesión (Weldon, 1988). En los bailarines, es probable que la epicondilitis lateral relacionada con el *parté* y con la carga del peso del cuerpo sobre los brazos sea la lesión más corriente en el codo (Millar, 1987).

La epicondilitis lateral se caracteriza por dolor en la cara lateral del codo, normalmente 1-2 centímetros distal al epicóndilo lateral (Goldman y McCann, 1997), como se ve en la figura 7.58. El dolor se asocia inicialmente con la actividad y se alivia con reposo. El dolor se reproduce por lo general con la flexión pasiva de la muñeca u oponiendo resistencia a su extensión (Magee, 1997), y tiende a agravarse con movimientos que impliquen extensión activa de la muñeca, rotación del antebrazo (como al girar el pomo de una puerta o al abrir la tapa de un frasco) o asir objetos. Si prosigue la actividad, el dolor suele irradiar al antebrazo y progresar hasta sentirse durante y no sólo después de la actividad.

El tratamiento inicial recomendado implica la interrupción o modificación de los movimientos que agudizan el dolor, antiinflamatorios orales y modalidades de fisioterapia como crioterapia, termoterapia, estimulación eléctrica y ultrasonidos (Kulund *et al.*, 1979; Nirschl y Kraushaar, 1996a). Algunos médicos abogan por una inyección de corticosteroides en los pacientes que no respondan a otras medidas (Ciccotti y Charlton, 2001; Roberts, 2000). Cuando los síntomas lo permitan, se desarrolla de forma equilibrada la fuerza y la flexibilidad de los músculos del codo y el antebrazo, poniendo el énfasis en la fuerza y flexibilidad de los músculos extensores de la muñeca. También hay que evaluar la técnica y hacer correcciones si estuviera indicado. Algunos bailarines se benefician de usar una banda adhesiva 2,5 centímetros o más por debajo del codo (Barclay, 2004; Goldman y McCann, 1997) durante los ensayos o clases en que haya movimientos en que se impongan grandes tensiones o repetitivas sobre esta área. Las coderas de contrafuerza han demostrado reducir la aceleración angular del codo y la actividad de los músculos extensores de la muñeca (Groppel y Nirschl, 1986), lo cual es valioso para el tratamiento de la epicondilitis lateral.

FIGURA 7.58. Epicondilitis lateral (codo derecho, vista lateral).

### Síndrome del túnel carpiano (STC)

El canal carpiano es un conducto estrecho presente en la mano. Su base está formada por ciertos huesos del carpo que crean una superficie cóncava, y su techo está formado por una banda fibrosa del retináculo de los músculos flexores o por el ligamento transverso del carpo (figura 7.59). Por tanto, este canal es osteofibroso y se extiende unos 3 centímetros, siendo atravesado por los nueve tendones de los músculos flexores de los dedos y por el nervio mediano (Caillet, 1996; Kreighbaum y Barthels, 1996). Debido al limitado espacio disponible en este conducto, el canal carpiano es un lugar habitual de casos de compresión nerviosa, lo cual se denomina **síndrome del túnel carpiano** (STC).

Aunque no se conoce bien la causa de esta afección, existe un riesgo elevado en trabajos en los que se produce la flexión repetitiva de los dedos o la muñeca (como con el teclado del ordenador), una prensión repetitiva o una exposición repetitiva a vibraciones. Igualmente, los deportistas que practican actividades con flexión o prensión repetitivas como los deportes de raqueta, el golf y la escalada en roca tienden a sufrir el STC (Rosenwasser y Wilson, 1997). En danza, la coreografía que exige sostener de forma repetida el cuerpo con los brazos, sobre todo en el caso de bailarines que no estén acostumbrados a esta actividad, puede aumentar el riesgo de STC. Durante el embarazo, la retención de líquidos tiende a causar compresión del nervio mediano; y hasta el 20% de las embarazadas experimentan síntomas en el canal carpiano, los cuales tienden a desaparecer después del parto (Magee, 1997; Mercier, 1995).

El síndrome del túnel carpiano se caracteriza por entumecimiento y hormigueo de los dedos corazón e índice, o de éstos y del pulgar y la mitad lateral del dedo anular (Moore y Agur, 1995). El hormigueo de los dedos a menudo se puede reproducir o agudizar si se mantiene la muñeca en una posición de máxima flexión durante un período de al

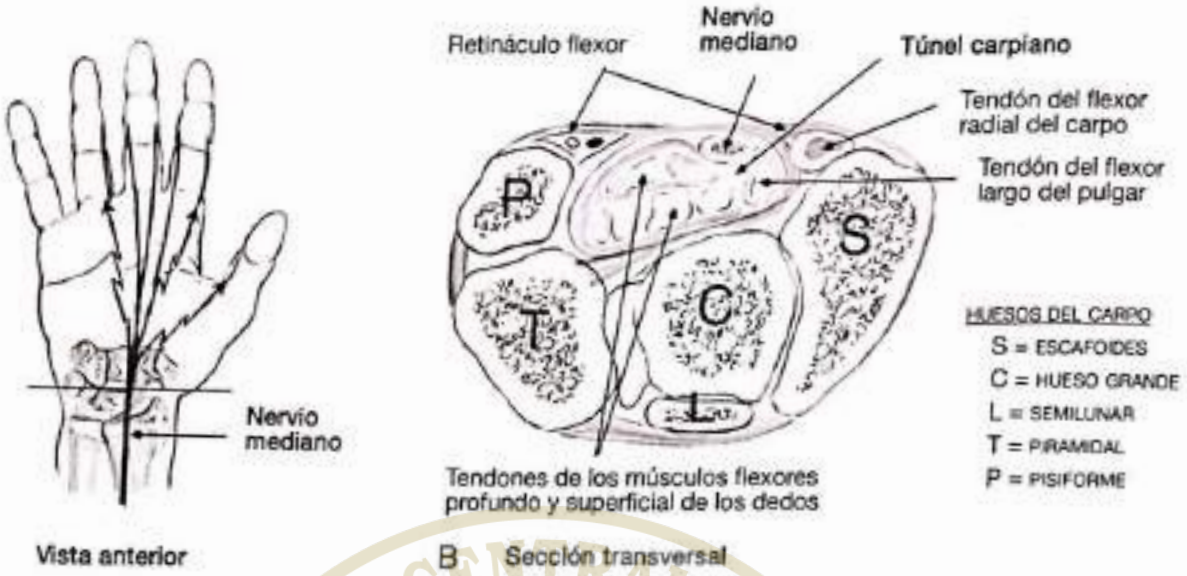



FIGURA 7.59. Túnel carpiano con el retináculo de los músculos flexores y los huesos del carpo, así como el nervio mediano y los músculos flexores de los dedos. (A) Vista anterior del canal; (B) sección transversal del canal.

menos 1 minuto (prueba de Phalen). El síndrome del túnel carpiano también se suele acompañar de nictalgia, que se cree debida a la flexión de la muñeca o a una ligera hinchazón asociada con la reducción de la actividad durante el sueño (Mercier, 1995). En casos graves, el dolor asociado con el STC irradia al antebrazo, al brazo e incluso al hombro. Si persiste la compresión, también resulta afectada la función motora, lo cual deriva en debilidad de la flexión de la muñeca; de la flexión de los dedos, y de la flexión, abducción y oposición del pulgar. En casos más avanzados esta debilidad se manifiesta por la falta de coordinación fina, pérdida de fuerza en la prensión, tendencia a dejar caer objetos y dificultad para abrir las tapas de los frascos.

El tratamiento suele consistir en el uso de una férula que impida la flexión o extensión extremas de la muñeca, y en la modificación o eliminación de los movimientos que agravan la afección. Antiinflamatorios y modalidades de fisioterapia como los ultrasonidos pueden reducir los síntomas (O'Connor, Marshall y Massy-Westropp, 2004). Cuando los síntomas lo permitan, se suelen recomendar ejercicios de flexibilidad y fuerza para el complejo de la mano y la muñeca. No obstante, al principio, los ejercicios de flexión-extensión de la muñeca o los dedos pueden incrementar la presión en el canal y agudizar la afección, por lo que la eficacia del ejercicio para esta patología es controvertida. En casos que no responden al tratamiento conservador y en que los síntomas son graves y se desarrolla debilidad motora, a veces se recomienda la liberación quirúrgica del ligamento transverso del carpo y los resultados suelen ser buenos (Barclay, 2002; Kao, 2003).

## Resumen

La extremidad superior presenta muchos paralelismos estructurales con la extremidad inferior, pero también importantes diferencias. Muchas de estas diferencias son necesarias para cubrir la exigencia primaria de dotarse de movilidad y poder manipular objetos, al contrario de las exigencias de estabilidad, soporte y locomoción de la extremidad inferior. En la figura 7.60 aparece un resumen de los huesos y articulaciones de la extremidad superior, mientras que la figura 7.61 muestra los músculos superficiales del brazo. Remitimos a las figuras 7.17 y 7.18 (págs. 393-394) para un resumen de los músculos principales del complejo del hombro. La cintura escapular, con forma de anillo, cuelga del esqueleto axial, conectada a él sólo por la articulación esternoclavicular. Esta estructura tan móvil permite movimientos de elevación, depresión, abducción, aducción, rotación superior e inferior para mejorar la relación entre la cavidad glenoidea y la cabeza del húmero durante el movimiento de este hueso. La articulación del hombro es la articulación esferoidea con más movilidad del cuerpo humano, pues permite de forma natural un enorme grado de amplitud en flexión, extensión, abducción, aducción, rotación externa y rotación interna. Muchos músculos ayudan a generar estos movimientos y se dividen funcionalmente en tres grupos: escapulares, manguito de los rotadores y otros músculos glenohumerales importantes. Además de producir los movimientos del hombro, estos músculos actúan dotando de estabilidad a esta articulación estructuralmente dé-

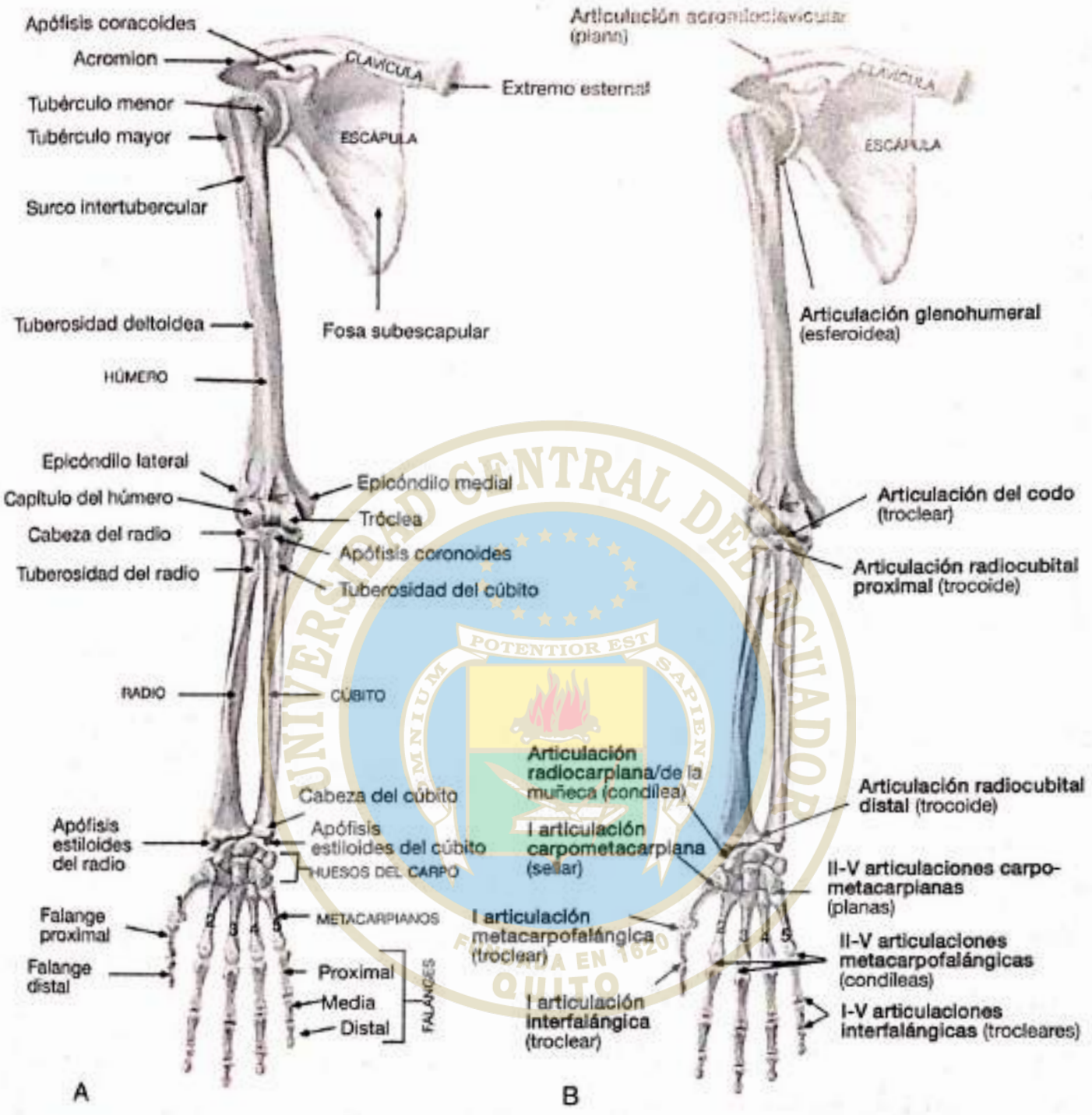



FIGURA 7.60. (A) Huesos; (B) articulaciones de la extremidad superior (lado derecho, vista anterior).

bil, manteniendo su correcta alineación y favoreciendo la mecánica del par de fuerzas SIR y del ritmo escapulohumeral.

Distalmente a la articulación del hombro, la articulación del codo actúa como una trocleartrosis que permite flexión y extensión. Las articulaciones radiocubitales proximal y distal son articulaciones trocoides que posibilitan al extremo distal del radio cruzar sobre la porción distal del cúbito en los movimientos especializados de pronación y supinación del antebrazo. La articulación de la muñeca es una condilartrosis que permite flexión, extensión, desviación radial y desviación cubital. Una de las funciones principales de estas articulaciones en conjunto es situar la mano en el espacio. La mano está diseñada para moverse con rapidez y precisión mediante su compleja red

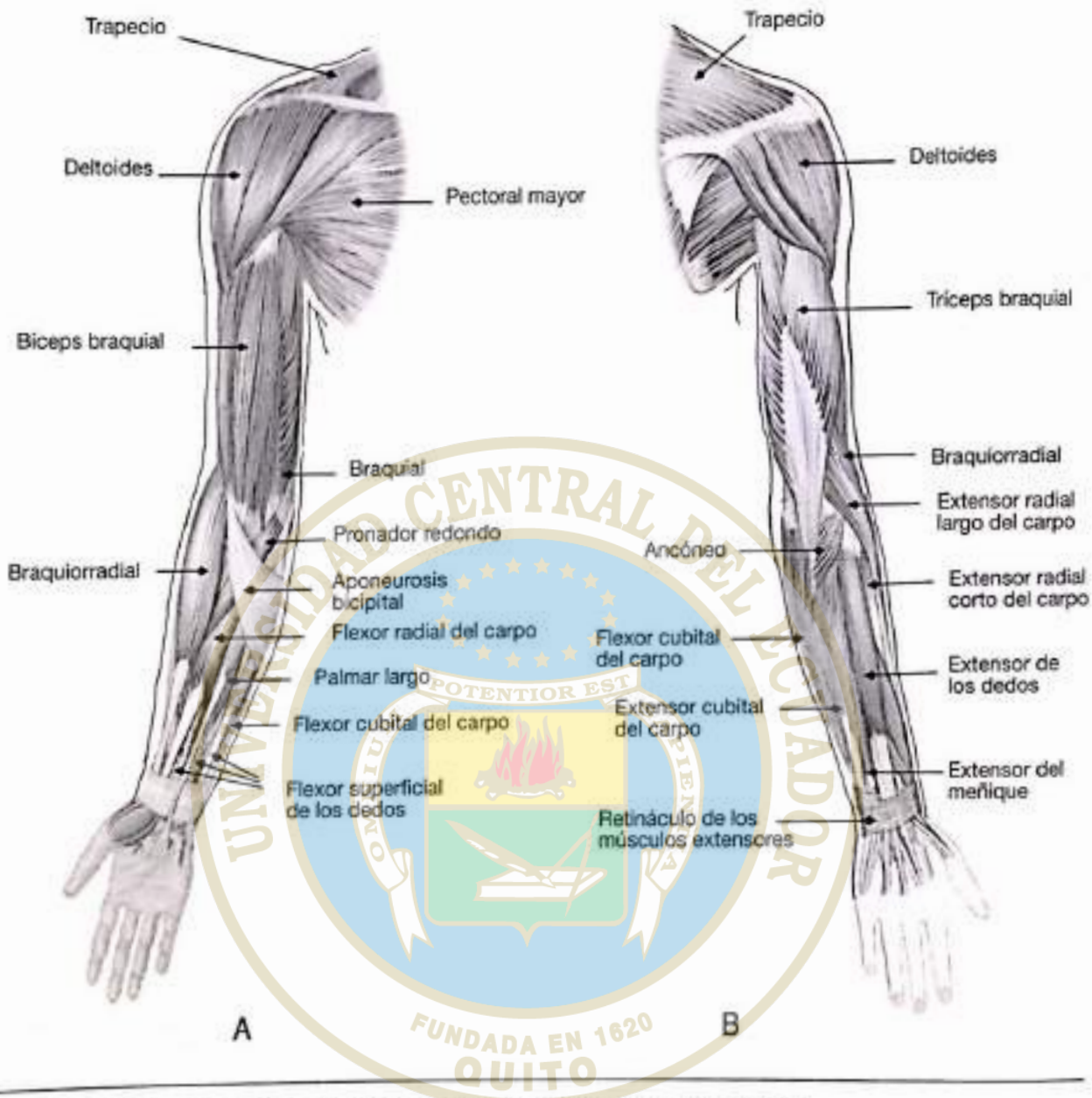



FIGURA 7.61. Músculos superficiales del brazo derecho. (A) Vista anterior; (B) vista posterior.

de articulaciones y músculos. Una de las propiedades exclusivas de la mano es la capacidad de realizar oposición, una función esencial para asir y manipular objetos. Muchos músculos cruzan estas articulaciones para generar movimiento; y debido a los numerosos músculos multiarticulares de esta región, la posición relativa de las articulaciones cruzadas por estos músculos influye en qué músculos se usan y en la cantidad de torque que los músculos pueden generar en un movimiento determinado.

Con el diseño estructural relativamente débil de la extremidad superior, la fuerza muscular es esencial no sólo para dotarla de estabilidad, sino también para prevenir lesiones en esta región. Aunque el predominio de lesiones en la extremidad superior en los bailarines sea bastante menor que en la extremidad inferior, la incidencia de lesiones es cada vez mayor, al menos en algunos tipos de danza. Con el aumento de las exigencias que las coreografías imponen a las extremidades superiores, es importante que los bailarines procedan a un fortalecimiento suplementario para mejorar la técnica y reducir el riesgo de lesión. En algunos casos, también es deseable practicar estiramientos del hombro. Cuando se produce una lesión, es importante un buen diagnóstico y tratamiento médico para prevenir la capsulitis adhesiva, las afecciones crónicas y la recidiva de las lesiones.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Localiza los siguientes huesos y puntos óseos de referencia en un esqueleto y luego en tu propio cuerpo: (a) escápula y articulación esternoclavicular; (b) espina, acromion, fosa supraespinosa, fosa infraespinosa, apófisis coracoides y cavidad glenoidea de la escápula; (c) clavícula y articulación acromioclavicular; (d) tubérculos mayor y menor, epicóndilo medial, epicóndilo lateral, tróclea y capítulo del húmero; (e) cúbito y olécranon del cúbito; (f) radio y cabeza del radio; (g) metacarpianos, y (h) falanges (proximal, media y distal).

2. Dibuja los siguientes músculos sobre un esqueleto y usa una flecha para indicar la línea de tracción de cada músculo. A continuación, junto a cada músculo, enumera sus acciones: (a) pectoral mayor, (b) dorsal ancho, (c) redondo mayor, (d) supraespinoso, (e) trapecio, (f) romboides, (g) serrato anterior, (h) bíceps braquial, (i) braquial, (j) tríceps braquial.

3. Localiza los siguientes músculos en un compañero o en tu propio cuerpo, practica o haz que tu compañero practique las acciones que estos músculos generan y palpa su contracción durante dichos movimientos: (a) pectoral mayor, (b) deltoides, (c) dorsal ancho, (d) bíceps braquial, (e) tríceps braquial.

4. Observa a un compañero y determina su ángulo de carga. ¿Cómo cambia este ángulo cuando se practica un *curl* de concentración (tabla 7.10L, pág. 441)?

5. Junto con un compañero, practica los movimientos fundamentales de la escápula, y observa y describe su vinculación con los siguientes movimientos de la articulación del hombro: (a) flexión del hombro, (b) abducción del hombro, (c) aducción horizontal del hombro, (d) rotación externa del hombro.

6. Analiza los siguientes movimientos teniendo en cuenta el movimiento articular, el grupo muscular y los músculos usados durante las fases ascendente y descendente en la escápula, en la articulación glenohumeral y en la articulación del codo. Asegúrate de tener en cuenta el efecto de la gravedad: (a) *push-up*, (b) flexiones de brazos, (c) atraer a un bailarín hacia ti, (d) llevar los brazos junto a los costados pasando de quinta posición baja a segunda.

7. Dibuja un diagrama del par de fuerzas SIR y describe su función y relación con el síndrome de compresión. Describe dos ejercicios de fortalecimiento que podrías practicar para favorecer el uso de este par de fuerzas.

8. Pon un ejemplo de ejercicio para fortalecer los siguientes músculos: (a) pectoral mayor, (b) porción media del deltoides, (c) dorsal ancho, (d) bíceps braquial, (e) tríceps braquial.

9. Describe la forma de corregir a un bailarín con los hombros encorvados que mantiene los brazos demasiado hacia delante en segunda posición, incluyendo (a) ejercicios de fuerza, (b) ejercicios de flexibilidad y (c) claves técnicas.

10. Una bailarina eleva en exceso las escápulas cuando lleva los brazos a los lados al pasar de quinta posición baja a alta. ¿Qué correcciones se pueden introducir mediante (a) ejercicios de fortalecimiento y (b) claves técnicas?

FUNDADA EN 1620 QUITO

# Análisis del movimiento humano

© Angela Sterling, Bailarines: Louise Nadeau y Christophe Maraval, del Pacific Northwest Ballet.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

Capítulos anteriores de este libro se dedicaron a la anatomía y mecánica de articulaciones específicas del cuerpo humano. Este capítulo aborda el movimiento del cuerpo en conjunto. Cuando examinamos los movimientos usados en danza, vemos que por lo general implican a muchas articulaciones en múltiples planos, como muestra la fotografía de la página 465. Esta pose implica una complicada coordinación de músculos motores principales, estabilizadores y sinergistas en numerosas articulaciones para lograr mantener el equilibrio con tan limitado soporte, además de los desafíos estéticos de unas líneas estilizadas y la emotividad. Poder analizar estos movimientos permite una mayor comprensión de los músculos principales responsables de generar y controlar el movimiento, las restricciones potenciales a la flexibilidad, las demandas de fuerza, y las claves que se pueden usar para favorecer la técnica y reducir la tensión sobre las articulaciones. Los temas tratados en este capítulo son los siguientes:

- Análisis anatómico de los movimientos del cuerpo en conjunto.
- Otros métodos para analizar el movimiento.
- Análisis del movimiento basado en estudios científicos.
- Modelos de ejecución óptima.
- Claves del movimiento.

## Análisis anatómico de los movimientos del cuerpo

En el capítulo 2 ofrecimos un esquema para el análisis simplificado de los movimientos (véase la tabla 2.5, pág. 64) y su aplicación en Preguntas de repaso y aplicaciones al término de los capítulos 3 a 7 para un análisis de movimientos sencillos de un número limitado de articulaciones. Ahora ese esquema se pormenoriza para incorporar elementos adicionales en el análisis de movimientos menos aislados y que implican el empleo simultáneo de más articulaciones del cuerpo.

### *Conceptos clave para el análisis anatómico de los movimientos*

Si bien siguen siendo operativos los principios aplicados a un análisis simplificado y centrado en los movimientos articulares y los músculos agonistas, el proceso a menudo se complica cuando observamos movimientos más complejos debido a la participación de más articulaciones, más fases, más cambios en la relación con la gravedad y debido a intrincados aspectos técnicos. A continuación ofrecemos una breve exposición sobre conceptos clave.

#### División del movimiento en fases

Un movimiento se divide en fases basándose en cambios de dirección o en distintos objetivos funcionales. Por ejemplo, en los movimientos sencillos previamente examinados, como ejercicios aislados de fuerza o *pliés*, el empleo de los términos fase ascendente y fase descendente refleja un cambio en la dirección del movimiento que facilita su análisis. No obstante, en movimientos como caminar, las fases tienen un origen más funcional, refiriéndose la fase de apoyo a aquella en que el pie está en contacto con el suelo y tiene que soportar el peso del cuerpo, en contraste con la fase de oscilación, momento en que el pie pierde el contacto con el suelo y se desplaza adelante en el espacio para situarse en la posición adecuada para el siguiente paso. En movimientos que se han estudiado con rigurosidad, como caminar, correr y saltar, hay varios términos estándar que se han adoptado para estas fases, mientras que, para muchos otros movimientos menos estudiados, los analistas pueden desarrollar con libertad sus propias fases en un formato lógico, por lo general de acuerdo con la dirección o función del movimiento.

En el caso de algunos movimientos que aparentemente tienen principio y fin, y a los que se les llama movimientos discretos, suele ser útil dividir el movimiento funcionalmente en una fase de preparación, una de ejecución y una de seguimiento o recuperación (Kreighbaum y Barthels, 1996). Ejemplos de movimientos de danza que se dividen con eficacia en estas fases son los saltos, las *pirouettes* y las caídas. Por el contrario, algunos movimientos, llamados continuos, implican ciclos repetidos que se convierten en una unidad funcional que se divide en fases lógicas. Ejemplos de movimientos continuos de danza fáciles de dividir en ciclos son las marchas, las carreras, los *tripplettes* y los cabriolés.

En el análisis de movimientos más complejos, pueden necesitarse más subdivisiones. Por ejemplo, al caminar, la dirección del movimiento articular y el tipo de contracción muscular de los motores principales cambian más de una vez durante la fase de apoyo, lo cual ha hecho que tradicionalmente ésta se haya dividido en los períodos de contacto, apoyo medio y propulsión, según se explica en el capítulo 6. Estas nuevas divisiones se pueden llamar fases, subfases o períodos, o aplicarles simplemente números. Además, en muchos movimientos, las dos extremidades tal vez no practiquen los mismos movimientos a la vez sino que hagan cosas distintas en una fase dada. En tales casos, hay que referirse a los movimientos de cada extremidad. Por ejemplo, en un *développé fondu en avant*, la pierna de apoyo y la pierna que trabaja se deben explicar por separado para una descripción precisa del movimiento.

#### Selección de las articulaciones clave

Selecciona las articulaciones en las que se aprecia un movimiento visible. En el caso de movimientos más complejos,

céntrate también en las articulaciones especialmente clave para corregir el movimiento, en contraste con los movimientos articulares cuya naturaleza sea más gestual o suplementaria.

### Identificación de los movimientos articulares clave

Identifica los movimientos articulares que se producen en las articulaciones clave en cada fase del movimiento. Recuerda que los términos sobre movimiento se refieren a la dirección y no al ángulo o posición articulares. Por ejemplo, cuando empiezas a levantarte después de un *plié* paralelo en primera posición, diríamos que la cadera se extiende porque ésa es la dirección del movimiento, a pesar de que, si interrumpieras el movimiento antes de completarlo, la cadera estaría flexionada (respecto a la posición anatómica).

### Identificación del tipo de contracción muscular

La identificación del tipo de contracción muscular requiere una valoración de las fuerzas externas en relación con las fuerzas internas, así como de la dirección resultante del movimiento (véase el capítulo 2). En danza, las contracciones concéntricas se suelen usar para mover el cuerpo o sus segmentos en una dirección opuesta a la de la gravedad y para acelerar las extremidades. Por el contrario, las contracciones excéntricas se suelen usar para mover el cuerpo o sus segmentos en la misma dirección que la gravedad y sirven para desacelerar las extremidades. Además, las contracciones isométricas se usan para mantener la posición del cuerpo o sus segmentos sin que ocurra ningún movimiento articular aparente.

### Identificación de los músculos motores principales

Una vez identificado el tipo de contracción muscular, resulta fácil determinar los músculos motores principales. Recuerda que, en una contracción concéntrica, los motores principales suelen ser el grupo muscular cuya acción se produce en la misma dirección que el movimiento articular observado, mientras que, en una contracción excéntrica, los músculos activos son aquellos cuya acción se opone al movimiento articular observado. Si tienes problemas para definir los motores principales, imagina qué movimientos articulares se producirían si se relajaran todos los músculos en torno a las articulaciones bajo observación. Los motores principales serían entonces los que actuaran generando o controlando en las articulaciones el movimiento en la dirección deseada. Si el objetivo es que no se produzca ningún movimiento en una articulación dada, sino que la relajación genere el movimiento, el grupo muscular antagonista estará trabajando isométricamente para mantener la postura articular deseada.

Como se hizo con análisis previos del movimiento, cuando se definen los músculos motores principales, primero se enumeran como grupo funcional (p. ej., flexores de la cadera) y luego se dan ejemplos específicos (p. ej., psoasilíaco, recto femoral) a partir de las figuras 8.1 y 8.2 y la tabla 8.1. Se recomienda incluir el grupo muscular funcional porque es un medio sencillo para reflejar con exactitud los músculos que tendrían que trabajar sin referirnos a estudios que analicen la contribución relativa de músculos específicos con factores como la velocidad de movimiento, los cambios en la línea de tracción respecto al eje relevante de rotación en distintas amplitudes de movimiento, las acciones accesorias de los músculos agonistas y el grado de resistencia a un movimiento dado. A continuación, aportar ejemplos de músculos específicos y elegir músculos motores principales frente a músculos accesorios para el movimiento articular dado (tabla 8.1) ayudarán a subrayar los músculos responsables de generar un gran porcentaje de la fuerza necesaria y que son operativos en muchas circunstancias. No obstante, si se necesita más exactitud, resulta útil referirse a estudios de investigación EMG y de otro tipo.

### Identificación de los músculos estabilizadores clave (opcional)

Recuerda que cuando un músculo se contrae, como se trató en el capítulo 2, el músculo tiende a acercar entre sí y sin preferencia ambas inserciones (ley de la aproximación). En muchos movimientos, se produce una cocontracción isométrica de numerosos músculos para estabilizar segmentos corporales e impedir movimientos indeseados causados por esta ley de la aproximación o por el alejamiento de segmentos de su centro de masas. Por ejemplo, en movimientos como *dégagés*, la cocontracción de muchos de los músculos de la cadera y la columna vertebral impide compensaciones indeseables de la pelvis o el torso.

Para simplificar el análisis del movimiento, se suelen destacar los segmentos corporales que se mueven. No obstante, es importante darse cuenta de que el funcionamiento adecuado de los músculos estabilizadores es clave para la técnica y la prevención de lesiones. Para el reconocimiento de su función, un método consiste en incluir uno o dos músculos estabilizadores que sean esenciales para prevenir errores corrientes en la técnica/alineación y para una correcta ejecución del movimiento. Otro método consiste en analizar los músculos estabilizadores con consideraciones técnicas sólo si se produce un error en la técnica que se relacione con el uso inadecuado de un estabilizador. Por ejemplo, en el análisis de un movimiento, la función de los abdominales como estabilizadores para prevenir la hiperlordosis (figura 8.3) podría aparecer bajo el membrete de «estabili-

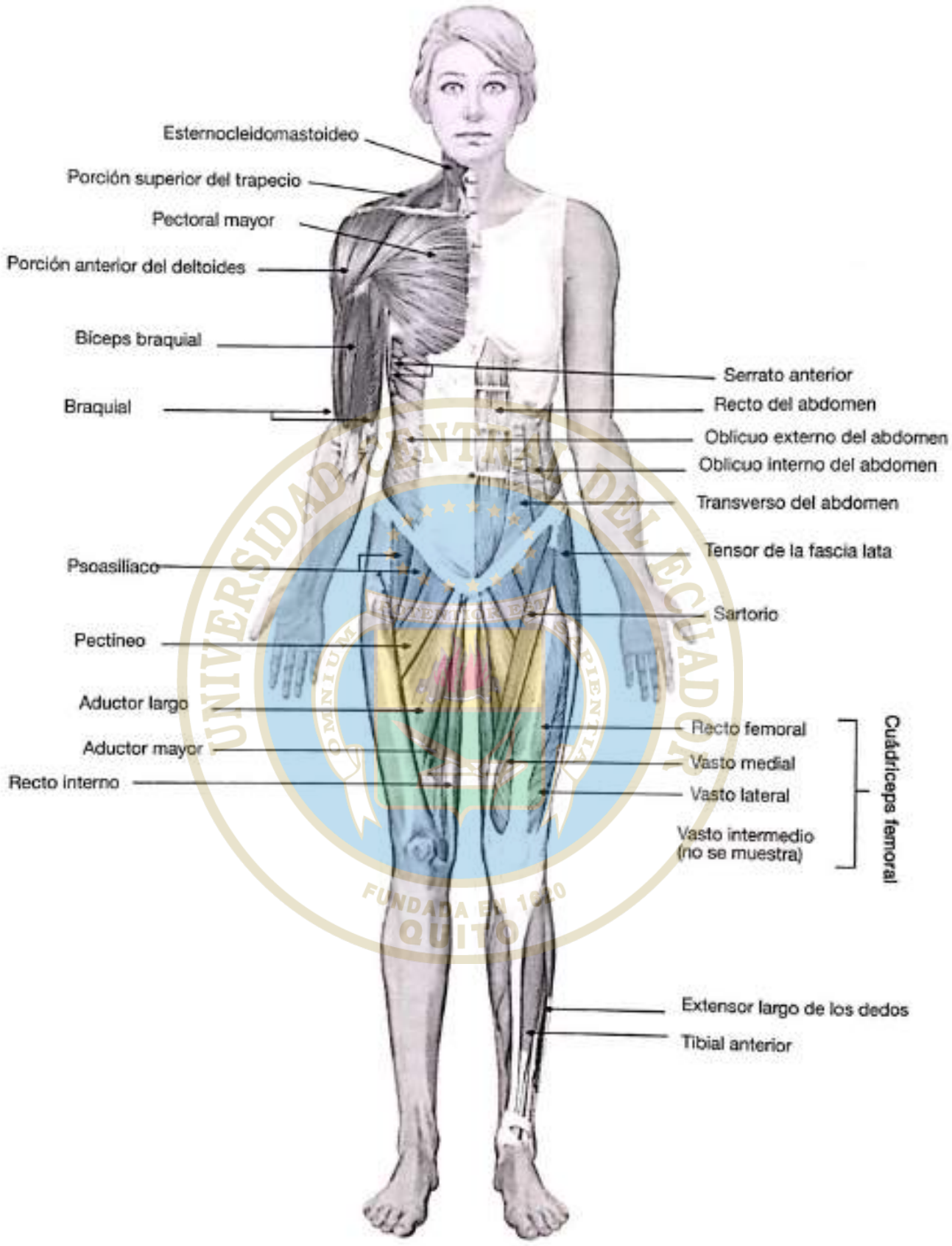



FIGURA 8.1. Vista anterior de los principales músculos.

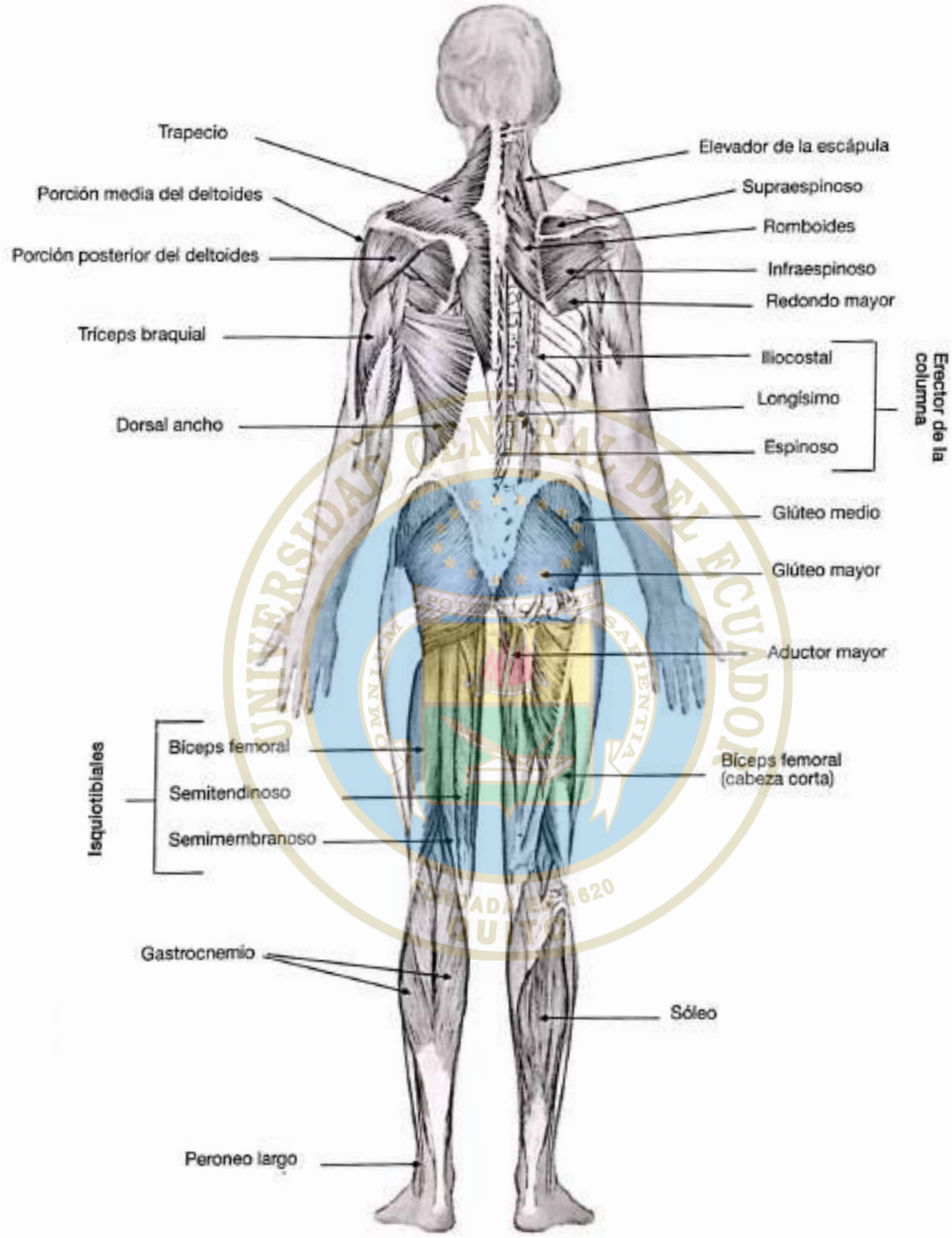



FIGURA 8.2. Vista posterior de los principales músculos.

**Tabla 8.1. Resumen de los movimientos fundamentales de las principales articulaciones y músculos que los generan**

| Principal articulación | Movimiento | Motor principal |
|---|---|---|
| Columna vertebral | Flexión | Recto del abdomen<br>Oblicuo externo del abdomen<br>Oblicuo interno del abdomen |
| | Extensión | Erector de la columna |
| | Rotación | Oblicuo externo del abdomen<br>Oblicuo interno del abdomen<br>Erector de la columna |
| | Flexión lateral | Cuadrado lumbar<br>Oblicuo externo del abdomen<br>Oblicuo interno del abdomen<br>Erector de la columna |
| Coxofemoral (cadera) | Flexión | Psoasilíaco<br>Recto femoral<br>Sartorio |
| | Extensión | Isquiotibiales<br>Glúteo mayor |
| | Abducción | Glúteo medio<br>Glúteo menor |
| | Aducción | Aductor largo<br>Aductor corto<br>Aductor mayor<br>Recto interno |
| | Rotación externa | Glúteo mayor<br>Rotadores externos profundos |
| | Rotación interna | Glúteo medio<br>Glúteo menor |
| Rodilla | Flexión | Isquiotibiales |
| | Extensión | Cuádriceps femoral |
| Tobillo-pie | Flexión plantar | Gastrocnemio<br>Sóleo |
| | Flexión dorsal | Tibial anterior<br>Extensor largo de los dedos |
| | Inversión | Tibial anterior<br>Tibial posterior |
| | Eversión | Peroneo largo<br>Peroneo corto |
| Hombro | Flexión | Pectoral mayor (porción clavicular)<br>Porción anterior del deltoides |
| | Extensión | Pectoral mayor (p. esternal)<br>Dorsal ancho<br>Redondo mayor<br>Porción posterior del deltoides |
| | Abducción | Porción media del deltoides<br>Supraespinoso |
| | Aducción | Pectoral mayor y dorsal ancho*<br>Porción anterior del deltoides y porción posterior del deltoides* |
| | Rotación externa | Infraespinoso<br>Redondo menor |
| | Rotación interna | Subescapular<br>Redondo mayor |
| Codo | Flexión | Bíceps braquial<br>Braquial |
| | Extensión | Tríceps braquial |

* La aducción se produce por la acción simultánea de estos pares de músculos.

zadores» o en una sección dedicada a «consideraciones sobre la técnica y la alineación» en caso de apreciarse un excesivo arqueamiento de la columna lumbar.

### Identificación de los músculos sinergistas clave (opcional)

Como acabamos de decir, cuando un músculo se contrae, tiende a generar todos sus movimientos articulares posibles. Si algunas de esas acciones no se utilizan en el movimiento analizado, es probable que uno o más músculos sinergistas hayan intervenido neutralizando la acción no deseada. Para simplificar el análisis de movimientos, a menudo se pasa por alto la acción de estos sinergistas. No obstante, como sucede con los estabilizadores, un análisis más sofisticado puede incluir uno o más sinergistas clave para la correcta ejecución del movimiento o bien abordar selectivamente esta área con consideraciones técnicas si se observa algún error relacionado. Por ejemplo, en movimientos en que los brazos están por encima de la cabeza, los depresores escapulares pueden actuar de sinergistas y prevenir la elevación excesiva de los hombros (figura 8.4), por lo que podrían aparecer en una lista bajo el título de «estabilizadores» o en una sección llamada «consideraciones sobre la técnica y la alineación» si se apreciara una elevación escapular no deseada.

### Identificación de cualquier requisito para la máxima amplitud de movimiento (específico del movimiento)

Algunos movimientos de danza requieren grados extremos de amplitud en una o más direcciones y articulacio-

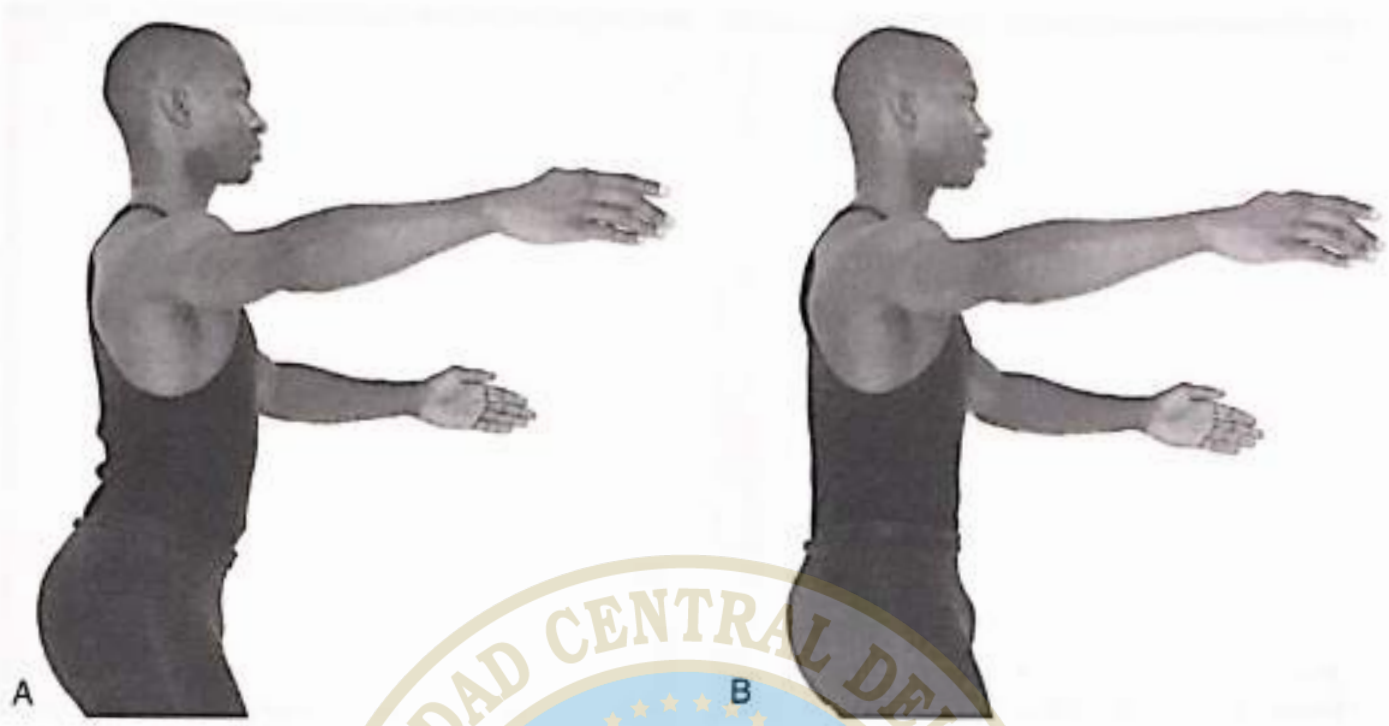



FIGURA 8.3. Empleo de los músculos abdominales como estabilizadores para impedir el arqueamiento de la región lumbar. (A) Hiperextensión excesiva de la columna; (B) estabilización deseada de la columna vertebral.

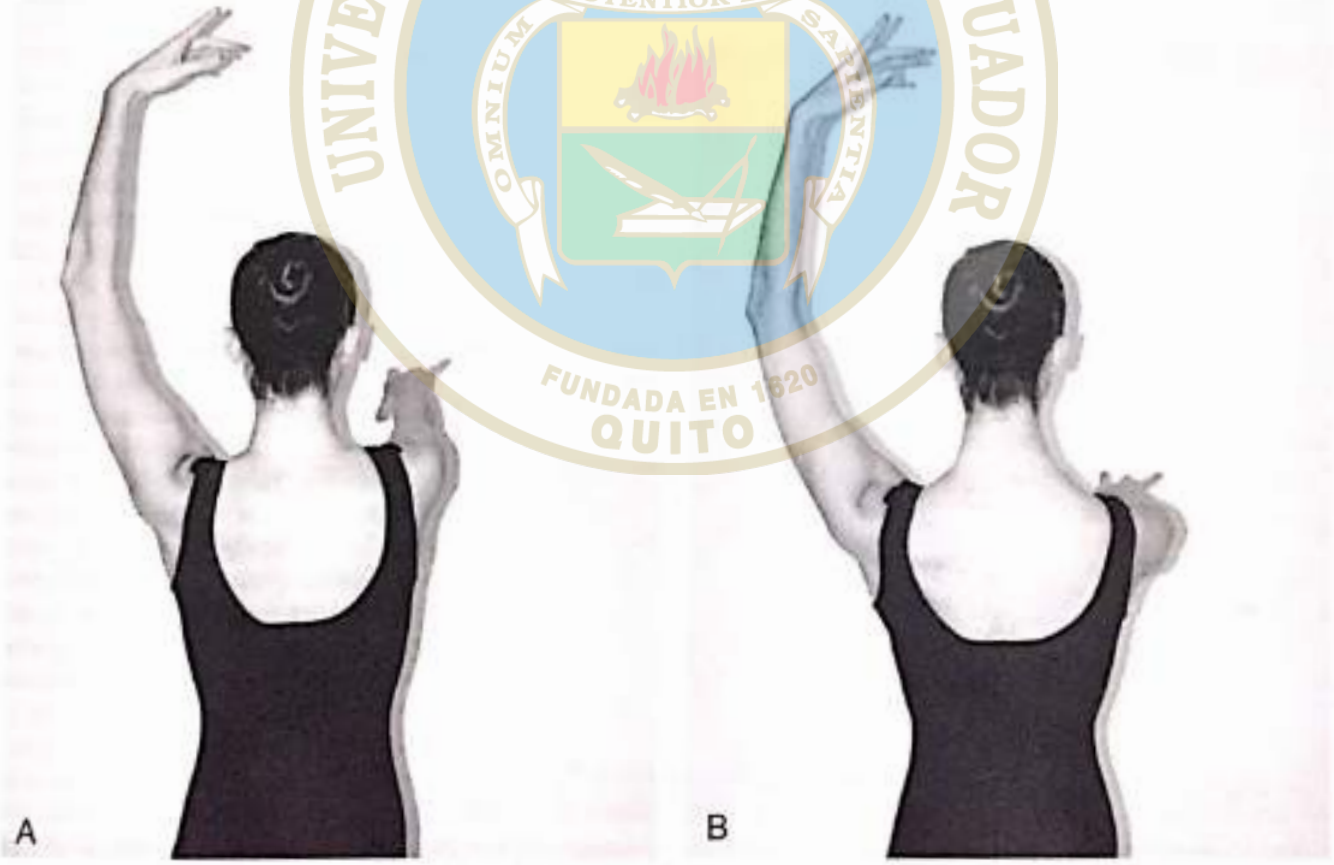



FIGURA 8.4. Empleo de los músculos depresores de la escápula para impedir la elevación no deseada de las escápulas. (A) Elevación escapular excesiva; (B) posición deseada de las escápulas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

nes. En tales casos, es importante que el análisis del movimiento tenga esto en cuenta, ya que tal vez sea relevante para la ejecución óptima del movimiento. Estos extremos del movimiento quizá representen puntos en el movimiento en que una fuerza insuficiente o una flexibilidad inadecuada pueden impedir alcanzar la postura deseada. Por ejemplo, la ejecución del salto de la figura 8.5 *(sissone ouverte)* requiere grandes niveles de fuerza en los flexores de la cadera, y de flexibilidad en los extensores de la cadera (isquiotibiales) de la pierna adelantada, así como niveles elevados de fuerza en los extensores de la cadera y flexibilidad en los flexores de la cadera de la pierna retrasada. Este concepto es especialmente importante para los músculos multiarticulares en los que la insuficiencia activa o la pasiva pueden limitar la amplitud potencial del movimiento, o cuando los movimientos requieran una amplitud que supere la de las actividades de la vida diaria, como en el salto de la figura o en la flexión plantar extrema del tobillo-pie necesaria para aportar la posición de punta del pie.

### Identificación de cualquier requisito para un alto grado de fuerza o potencia (específico del movimiento)

Algunos movimientos de danza requieren mucha fuerza o potencia (capacidad para generar mucha fuerza en poco tiempo) que tal vez limiten el rendimiento sin tener que ver con los grados extremos de la movilidad. Los ejemplos de movimientos de danza que dependen especialmente de la fuerza de las extremidades inferiores suelen implicar la proyección del cuerpo en el espacio, como los saltos y movimientos en que se produce el descenso del peso del cuerpo hacia el suelo como los *hinges* y caídas (figura 8.6). Ejemplos que requieren más fuerza de las extremidades superiores son el *porté* y apoyarse en los brazos, como al hacer la vertical o el *cartwheel* (figura 8.7).

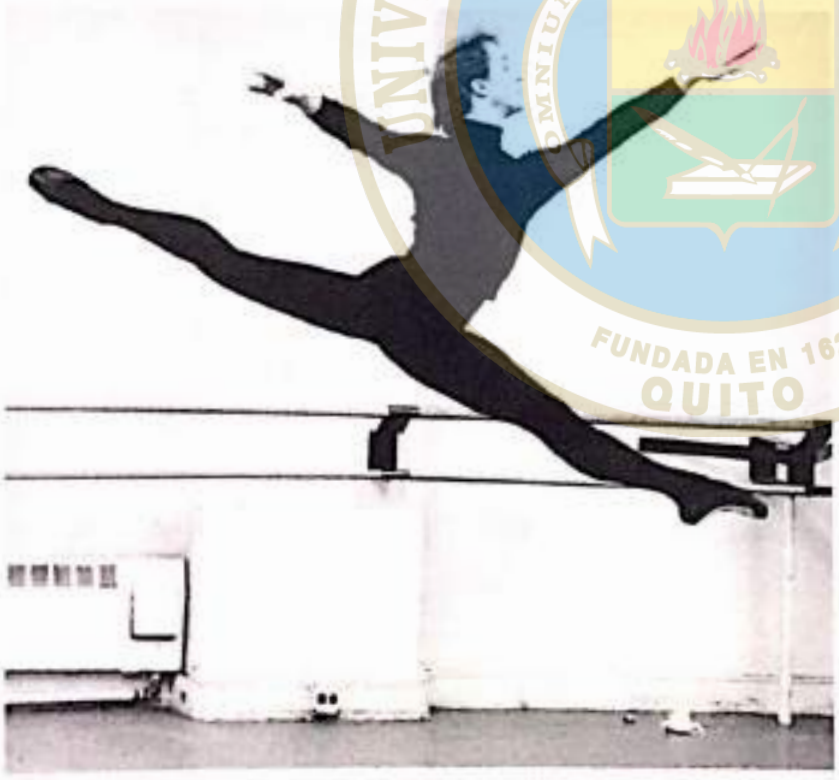


FIGURA 8.5. Movimiento de danza que requiere extensibilidad extrema de los isquiotibiales y los flexores de la cadera.
Fotografía por cortesía de Myra Armstrong. Bailarín: Lorin Johnson, con el American Ballet Theatre.

### Alineación del cuerpo y consideraciones técnicas

Tras haber determinado los movimientos articulares y los músculos clave implicados en el movimiento sometido a análisis, hay que estudiar más de cerca la ejecución del movimiento en cuanto se refiere a la alineación, la mecánica articular y las consideraciones sobre la danza expuestas en capítulos previos sobre articulaciones específicas. Por ejemplo, en la ejecución de ciertos movimientos más estáticos en la barra o en el centro de la sala, el objetivo con frecuencia es mantener una posición aproximadamente neutra en muchas articulaciones, evitando la pronación excesiva del pie, la hiperextensión de la rodilla, la inclinación de la pelvis o la elevación de los hombros.

En cambio, en un movimiento más dinámico, algunos de estos movimientos se producen de forma natural y el problema adquiere mayor magnitud. Por ejemplo, la pronación forma parte normal de los movimientos al andar o al correr, pues es importante para amortiguar los choques, si bien la excesiva pronación puede aumentar el riesgo de ciertos tipos de lesión. Igualmente se produce cierta inclinación anterior de la pelvis y un aumento de la hiperextensión vertebral durante los *arabesques* para lograr la altura deseada de la pierna, aunque, si son excesivas y ocurren sin una cocontracción coordinada de los músculos abdominales, puede aumentar el riesgo de lesión lumbar además de no ser deseables desde el punto de vista estético. En algunos casos, tal vez haya que conocer los valores «normales» mediante la lectura de estudios de investigación, mediante la ejecución de movimientos «correctos» o con conocimientos prácticos extraídos de la experiencia personal sobre la ejecución correcta e incorrecta de un movimiento dado antes de poder hacer una valoración de lo que es «excesivo». En otros casos, lo «normal» es más intuitivo o depende de los valores estéticos de una escuela específica de danza.

Algunos ejemplos de problemas habituales aparecen en la tabla 8.2. Estos errores pueden tener muy variado origen, como una estabilización

FIGURA 8.6. Movimiento de danza que exige mucha fuerza en los músculos extensores de la rodilla.
Fotografía por cortesía de Patrick Van Osta. Bailarines: Shana Menaker y Dwayne Worthington, del CSULB.

inadecuada de los músculos agonistas, un uso inadecuado de los sinergistas para neutralizar las acciones secundarias no deseadas de los músculos, una cocontracción desequilibrada de los antagonistas, una contracción muscular inadecuada para contrarrestar las fuerzas externas, y una colocación inapropiada del peso (o combinaciones de estos factores). En algunos casos, los problemas se pueden relacionar con una fuerza o flexibilidad inadecuadas o desequilibradas en músculos concretos, mientras que en otros casos los problemas se vinculan más con factores de control neural y una coordinación subóptima de los músculos que generan los movimientos deseados. Cuando se procede al análisis del movimiento, hay que fijarse en los errores clave en la técnica y la alineación, y si el análisis tiene suficiente alcance, se pueden hacer breves sugerencias para mejorar estos problemas. En la tabla 8.2 aparecen ejemplos de ejercicios para la fuerza, estiramientos, mecánica y claves técnicas que ayudan a mejorar estos problemas.

Sin embargo, si se hacen recomendaciones con el fin de corregir estos problemas técnicos, no sólo se requiere un conocimiento de lo que es «normal», sino también un análisis acertado para poder introducir las correcciones apropiadas que mejoren el rendimiento sin crear nuevos problemas. Un aspecto importante de esta habilidad es saber distinguir una relación causal entre los errores y decidir si es un problema en sí o un efecto procedente de otro problema más fundamental. Otra consideración importante es saber dar prioridad a los problemas y decidir las áreas que hay que tratar primero. Un factor clave en la priorización es saber el grado de mejoría esperable con la corrección de un problema.

Aunque se pueden adoptar muchos enfoques, uno que suele usar la autora es comenzar con correcciones más centrales o proximales, ya que suelen tener un impacto positivo sobre el rendimiento e influyen en los problemas más distales. Por ejemplo, cuando examinamos a un bailarín ejecutando un *plié* en segunda posición, la corrección de la lordosis lumbar excesiva y de la inclinación pélvica anterior suele corregir la posición asociada en valgo funcional de las rodillas y la pronación excesiva del pie. Por tanto, hay que dar prioridad a las órdenes (y ejercicios suplementarios si estuvieran indicados) para que el bailarín establezca una posición neutra de la columna y la pelvis, ya que ello tendrá un efecto positivo sobre las articulaciones distales. De forma parecida, dar órdenes e incorporar ejercicios para que el bailarín logre y mantenga una rotación externa adecuada de la cadera tendrán con frecuencia un efecto positivo sobre las articulaciones distales, como se dijo en capítulos previos. Añadir suficiente rotación externa

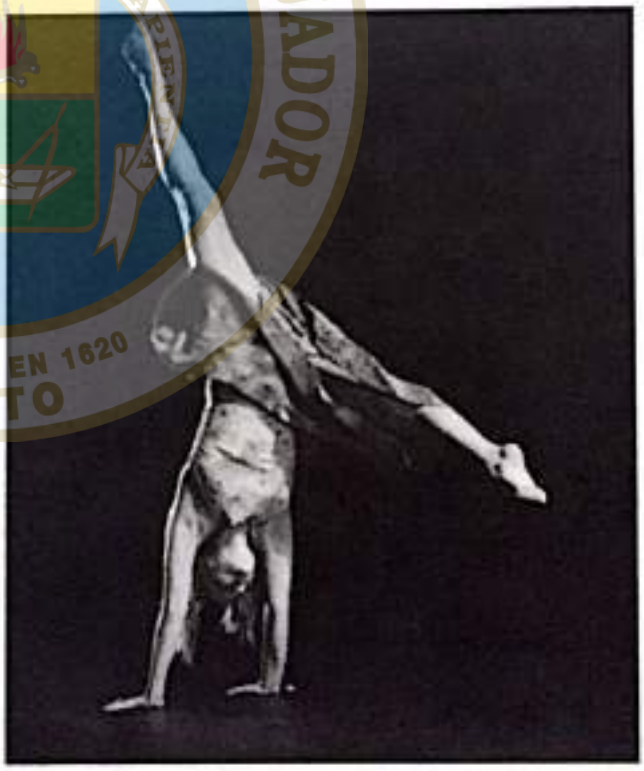


FIGURA 8.7. Movimiento de danza que exige mucha fuerza en las extremidades superiores.
Fotografía por cortesía de Patrick Van Osta. Bailarín: Dehyer Anderson del CSULB.

**Tabla 8.2. Alineación clave/problemas técnicos y medidas correctivas potenciales**

| Alineación articular/problema técnico (terminología común) | Medidas correctivas | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fortalecimiento | Estiramiento | Mecánica | Clave |
| **Columna vertebral** | | | | |
| Lordosis cervical excesiva (cabeza adelante sacando el mentón) | Flexores del cuello (ejemplo: figura 3.29B, pág. 103) | Extensores del cuello (ejemplo: figura 3.29C, pág. 103) | Usa los flexores de la cabeza y cuello para reducir la extensión cervical. | Echa el mentón atrás e imagina que estás suspendido por detrás de las orejas o justo detrás del punto medio de la coronilla. |
| Extensión toracolumbar excesiva (proyección de las costillas inferiores hacia delante) | Abdominales (sobre todo superiores) (ejemplos: tabla 3.4, B-D, págs. 134-135) | Extensores de la columna (porción inferior y media) (ejemplos: tabla 3.7, A y B, pág. 144) | Contrae los abdominales con énfasis en la inserción superior, que tira de la caja torácica hacia abajo y atrás. | Tira de la base anterior de la caja torácica hacia abajo y atrás hacia la columna mientras la porción superior de la espalda se eleva y proyecta un poco adelante. |
| Lordosis lumbar excesiva (región lumbar arqueada) | Abdominales (sobre todo inferiores) (ejemplos: tabla 3.4, E y F, págs. 135-136 y figura 3.25A, pág. 97) | Extensores de la columna (inferiores) Flexores de la cadera (ejemplos: figura 3.25, B y C, pág. 97) | Contrae los abdominales para inclinar posteriormente la pelvis y reducir la extensión lumbar hasta lograr una posición neutra de la pelvis y una curva lumbar normal. | Acerca entre sí el pubis y la base anterior de la caja torácica. |
| Cifosis (porción superior de la espalda desplomada, encorvada) | Extensores de la porción superior de la columna (ejemplo: figura 3.26A, pág. 99) | Músculos anteriores del hombro (ejemplos: tabla 7.12, B-D, págs. 449-450) Abdominales (ejemplos: figura 3.26B, pág. 99, y tabla 3.7D, pág. 145) | Contrae los extensores dorsales para reducir la flexión torácica. | Eleva la porción superior de la espalda un poco hacia delante. |
| **Pelvis** | | | | |
| Inclinación pélvica anterior (pelvis suelta) | Abdominales (sobre todo inferiores) (ejemplos: tabla 3.4, A-C y E, págs. 134 y 135) | Flexores de la cadera (ejemplos: tabla 4.7, A y B, pág. 226) Extensores de la columna (inferiores) | Emplea los abdominales (con movimiento de la inserción inferior en la pelvis) o el par de fuerzas abdominal-isquiotibial para inclinar posteriormente la pelvis hasta que se alineen verticalmente la sínfisis del pubis y la EIAS. | Tira hacia arriba de la sínfisis del pubis para crear una postura neutra de la pelvis. |
| Inclinación pélvica posterior (pelvis metida) | Extensores de la columna Flexores de la cadera (ejemplos: tabla 4.5, A-C, págs. 215-216) | Abdominales (ejemplos: tabla 3.7, C y D, págs. 144-145) | Usa los flexores de la cadera o los extensores de la columna para inclinar anteriormente la pelvis hasta que la EIAS y la sínfisis del pubis se alineen verticalmente, y usa los extensores de la columna para reducir la flexión de la columna lumbar. | Desplaza la porción superior de la pelvis hacia delante, y eleva la porción inferior de la columna. |

| Alineación articular/problema técnico (terminología común) | Medidas correctivas | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fortalecimiento | Estiramiento | Mecánica | Claves |
| **Cadera** | | | | |
| No generar ni mantener rotación externa de la cadera (pérdida de la apertura) | Rotadores externos profundos (ejemplos: tabla 4.5, M-O, págs. 221-222) | Rotadores internos de la cadera, cápsula de la articulación coxofemoral y ligamentos anteriores (ejemplo: figura 4.32, pág. 200) Flexores de la cadera (ejemplo: tabla 4.7A, pág. 226) Aductores de la cadera (ejemplo: tabla 4.7J, pág. 230) | Potenciar el uso de los rotadores externos profundos para mantener la rotación externa del fémur en el acetábulo, sobre todo cuando se extiendan las rodillas. | Acercar el trocánter mayor a las tuberosidades isquiáticas, y enrollar la cara posterior del muslo hacia dentro. |
| **Rodilla** | | | | |
| Valgo de la rodilla (rodillas hacia dentro) | Rotadores externos profundos (ejemplos: tabla 4.5, M-O, págs. 221-222) | Rotadores internos de la cadera (si estuviera indicado) (ejemplo: figura 4.32, pág. 200) | Impedir la rotación interna del fémur o la tibia respecto al pie por medio de la contracción de los rotadores externos de la cadera, los rotadores externos de la rodilla o la colocación del pie. | Mantener la rotación en la cadera, y guiar la rodilla por encima del pie durante la flexión genicular. |
| Hiperextensión de las rodillas (posición de bloqueo, rodillas atrás) | Cuádriceps (ejemplos: tabla 5.3, C y D, págs. 276-277) Isquiotibiales (ejemplo: tabla 5.3F, pág. 278) Rotadores externos profundos (ejemplos: tabla 4.5, N y O, pág. 222) | | Uso de los rotadores externos profundos para evitar o limitar la rotación interna del fémur asociada con los estadios finales de la extensión de la rodilla, o detenerla antes de que llegue a hiperextensión mediante la cocontracción de los isquiotibiales y el cuádriceps o la posición relativa de los segmentos corporales. | Mantener las rodillas hacia delante y justo delante de los huesos del tobillo (maléolos laterales) mientras se extienden las rodillas. |
| **Tobillo-pie** | | | | |
| Pronación excesiva | Inversores del pie (ejemplos: tabla 6.6, E-G, págs. 346-347) | Tríceps sural (ejemplos: tabla 6.8, A-D, págs. 356-357) | Mantener la rotación adecuada de la cadera, y contraer el bíceps femoral para prevenir la rotación interna indeseada de la tibia y la pronación asociada. Usar los inversores del pie para limitar la pronación, y mantener un peso adecuado sobre las cabezas de los metatarsianos laterales (dedos del pie). | Elevar el borde interno del pie para lograr una posición neutra del pie y mantener la rotación adecuada de la cadera para una correcta alineación de la rodilla-pie. |
| Supinación excesiva | Eversores del pie (ejemplos: tabla 6.6, H e I, pág. 348) | | Evitar la rotación excesiva de la tibia o la posición en varo de la rodilla y la supinación asociada. Mantener un peso adecuado sobre el dedo gordo. | Elevar el borde externo del pie para lograr una posición neutra del pie y mantener la alineación apropiada del tobillo-pie. |

**Tabla 8.2. Alineación clave/problemas técnicos y medidas correctivas potenciales (continuación)**

| Alineación articular/problema técnico (terminología común) | Medidas correctivas | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fortalecimiento | Estiramiento | Mecánica | Clave |
| **Tobillo-pie** | | | | |
| Flexión plantar inadecuada (pie rígido, apuntamiento inadecuado del pie) | Flexores plantares del tobillo-pie (ejemplos: tabla 6.6, A y B, págs. 343-344)<br>Músculos «estribo» (ejemplos: tabla 6.6, F, H y N, págs. 347, 348 y 351)<br>Músculos intrínsecos que mantienen el arco longitudinal medial (ejemplos: tabla 6.6, J y K, pág. 349) | Flexores dorsales del tobillo-pie y otras restricciones pasivas a la flexión plantar (ejemplos: tabla 6.8, E y F, pág. 358) | Potenciar la flexión plantar de las articulaciones intertarsianas y tarsometatarsianas.<br>Desplazar el peso del cuerpo adelante para facilitar la flexión plantar óptima. | Tirar hacia arriba y adelante con los músculos «estribo». |
| **Hombro** | | | | |
| Hombros encorvados (cargado de espaldas, pecho deprimido)<br>A menudo se acompaña de cifosis | Aductores de la escápula<br>Rotadores externos del hombro<br>Extensores de la columna dorsal (ejemplos: tabla 7.10, H e I, pág. 439) | Rotadores internos y aductores horizontales del hombro (ejemplo: tabla 7.12D, pág. 450) | Prevenir el encorvamiento indeseado de los hombros mediante la contracción de los rotadores externos del hombro y los aductores escapulares. | Juntar un poco los omoplatos y deprimirlos al extender los hombros lateralmente. |
| Elevación escapular excesiva (hombros levantados) | Depresores de la escápula (ejemplo: tabla 7.10C, pág. 435) | Porción superior del trapecio (ejemplo: figura 3.29C, pág. 103) | Usar los depresores de la escápula para impedir la elevación no deseada durante la rotación superior de la escápula que acompaña a la abducción o flexión del hombro. | Extender el brazo hacia abajo, lateralmente y en torno mientras gira la escápula, sin elevación excesiva, al elevar el brazo por encima de la cabeza. |
| Excesiva aducción escapular<br>A menudo se acompaña de extensión toracolumbar (hombros "pellizcados") | Abductores de la escápula (ejemplo: tabla 7.10K, pág. 440) | Aductores de la escápula<br>Extensores de la columna dorsal (ejemplo: tabla 3.7B, pág. 144) | Usar los abductores de la escápula para prevenir la aducción no deseada del omoplato, y usar los abdominales para impedir la extensión no deseada de la columna toracolumbar. | Mover los codos lateralmente y un poco hacia delante para que las manos sean visibles en la visión periférica con los brazos a los lados o por encima de la cabeza. |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN QUITO

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 8.1

### *Influencia de la alineación de la columna y la pelvis sobre la mecánica de las articulaciones distales*

Delante de un espejo, ponte de pie en segunda posición *en dehors*.

- **Posición en valgo y varo de la rodilla.** Practica un *demi-plié* en segunda posición, centrándote en que el punto medio de la rótula siga un curso sobre el segundo dedo del pie mientras flexionas la rodilla. A continuación, inclina a propósito lenta y anteriormente la pelvis, dejando que la parte superior de la pelvis gire hacia delante. Fíjate en la tendencia asociada de las rodillas a moverse hacia dentro, generando una posición en valgo de la rodilla. Ahora procede con lentitud a una inclinación posterior de la pelvis, adelantando la base de la pelvis mientras la parte posterior de la pelvis rota hacia atrás. Nota la tendencia asociada de tus rodillas a moverse lateralmente, tal vez hasta una posición en que se sitúen detrás del eje del pie (posición en varo de la rodilla). Finalmente, establece una postura neutra de la pelvis en que su porción anterosuperior (espinas ilíacas anterosuperiores) se alinee verticalmente con la porción anterior de la base de la pelvis (sínfisis del púbis) y comprueba si puedes colocar más fácilmente el punto medio de las rótulas sobre el segundo dedo de ambos pies.
- **Pronación y supinación del pie.** Una vez más, practica un *demi-plié* en segunda posición, centrándote en que el punto medio de la rótula siga un curso sobre el segundo dedo del pie, con éste en una alineación neutra. A continuación, inclina a propósito lenta y anteriormente la pelvis, y fíjate en que cuando las rodillas caen hacia dentro el pie también tiende a una pronación excesiva. A continuación, procede a la inclinación posterior de la pelvis, y fíjate en que, al moverse las rodillas hacia fuera, los pies también tienden a la inversión, lo cual genera supinación del pie. Finalmente, establece una postura neutra de la pelvis, y fíjate en si puedes situar el punto medio de la rótula aproximadamente encima del segundo dedo del pie de modo que éste adopte una postura neutra con un poco más del peso del cuerpo sobre la base del dedo gordo y no sobre el V dedo, y con el arco longitudinal formado.
- **Cambios en el uso de los músculos.** Una vez más, mientras mantienes un *plié* en segunda posición, inclina la pelvis en sentido anterior, y esta vez deja que el torso se incline un poco hacia delante. Fíjate en si aprecias alguna diferencia en el uso de los músculos en esta postura mal alineada respecto a la postura neutra. Adopta ambas posturas varias veces para afinar tu observación. Algunos bailarines sienten que el cuádriceps femoral y el tensor de la fascia lata trabajan más en la postura errónea, y que los isquiotibiales trabajan más cuando la alineación de la postura es correcta.

de la cadera puede corregir la rotación interna relativa y funcional de la tibia y la pronación asociada del pie.

En contraste, la corrección de la pronación de la porción distal del pie mediante la contracción de los músculos inversores del pie, sin tratar la alineación fundamental de la columna y la pelvis, no permitirá las correcciones deseadas en sentido proximal, y ello puede derivar en fatiga muscular y, potencialmente, en síndrome tibial por sobrecarga si la postura de los segmentos proximales está generando grandes fuerzas de rotación interna en la tibia que se contrarrestan sólo con los músculos relativamente pequeños del pie. Por lo general tampoco es posible mantener esta corrección distal en movimientos dinámicos, que requieren un ajuste complejo de las articulaciones de los pies, incluidas la pronación y supinación relativas para afrontar las demandas de la amortiguación de choques y la propulsión durante los movimientos de marcha. Además, es importante reparar en que, en el caso de deportistas que llevan zapatillas (como los corredores), a menudo es útil para mejorar la técnica la corrección distal con plantillas y prótesis bien diseñadas, en vez de mediante la contracción impuesta de los músculos inversores.

## Consideraciones especiales

Durante movimientos más rápidos, el análisis puede resultar más complejo. En vez del uso más sostenido de un músculo motor principal con cierto tipo de contracción durante la mayor parte o toda una fase, los períodos de actividad muscular, el uso de la inercia y los rápidos cambios en el tipo de contracción desempeñan un papel más prominente. Por ejemplo, cuando el muslo se desplaza hacia delante durante la oscilación de la pierna, los músculos flexores de la cadera se usan breve y concéntricamente para iniciar el movimiento; a continuación, la inercia se vuelve esencial, y, hacia el final del movimiento anterior, los extensores coxofemorales se usan excéntricamente para desacelerar el muslo y concéntricamente para iniciar la oscilación de la pierna hacia atrás en la siguiente fase del movimiento. Este uso excéntrico de los músculos para cambiar la dirección del movimiento de una extremidad no invalida el análisis clásico de los movimientos, lo cual sugiere que los flexores de la cadera actúan de agonistas en la oscilación anterior del muslo y que los extensores de la cadera actúan de agonistas

DEMOSTRACIÓN DE CONCEPTOS 8.2

### *Influencia de la calidad del movimiento en la activación muscular*

De pie o sentado en una silla, practica una flexión y extensión de hombros con el brazo derecho siguiendo las directrices que indicamos.

- **Ascenso y descenso lentos.** Eleva lentamente el brazo al frente hasta la altura del hombro, haz una pausa y luego haz que baje con lentitud. Fíjate en la preponderancia de la actividad muscular de los músculos de la cara anterior del hombro (que incluye la porción anterior del deltoides), que trabajan concéntricamente durante la elevación y excéntricamente durante el descenso del brazo.
- **Ascenso y descenso resistidos.** Eleva lentamente el brazo como si atravesara brea o melaza. Repara en el trabajo muscular a ambos lados del hombro (porciones anterior y posterior del deltoides) mientras el antagonista genera resistencia interna (contracción excéntrica) y el agonista actúa concéntricamente como músculo motor principal.
- **Ascenso lento y descenso libre.** Levanta lentamente el brazo hasta la altura del hombro, haz una pausa, relaja los músculos y deja que el brazo caiga por efecto de la gravedad. Ahora, incluye una mínima contracción muscular para desacelerar el movimiento al final de la caída.

ÓRDENES EN LA DANZA 8.1

### *«Usa los huesos, no los músculos»*

En la danza contemporánea, con las técnicas que potencian la cualidad «*release*» del movimiento, los profesores a veces ordenan a los estudiantes que «usen los huesos y no los músculos». Esta orden no es acorde con los principios anatómicos porque los huesos no generan movimientos, y si los músculos no se usaran durante el movimiento, los bailarines se caerían al suelo. Una posible interpretación de esta orden es que se relajen los músculos durante porciones del movimiento, permitiendo que la gravedad y la inercia desempeñen un papel más primordial en la generación del movimiento de una extremidad o de la parte del cuerpo utilizada. No obstante, se necesita algún grado de contracción muscular hacia el final del movimiento con el fin de desacelerar el segmento corporal e impedir que caiga o para modificar la dirección del movimiento. Cambiar la orden para incorporar la contribución de los músculos por «liberación y recuperación» o «caída y recuperación» sería más acorde con los principios anatómicos y biomecánicos.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1620 QUITO

durante la oscilación posterior del muslo. Esto demuestra la contribución adicional de los músculos, revelada mediante estudios EMG, sobre la rápida inversión de movimientos recíprocos que no se podría predecir necesariamente a partir de un análisis anatómico puro del movimiento.

Además de la velocidad, la danza a menudo emplea órdenes específicas y muy sutiles de ejecución que influyen en el uso de los músculos. Por ejemplo, muchos movimientos pueden variar a propósito para generar un «acento» o énfasis en distintos momentos del movimiento, como al potenciar la fase en valgo o varo del movimiento al practicar una extensión alta al frente (*grand battement*). Si el énfasis es en el varo, los extensores de la cadera (isquiotibiales) pueden trabajar concéntricamente antes para llevar la pierna atrás, a la posición inicial durante la fase descendente del movimiento; cuando el acento se pone en el valgo, los flexores de la cadera trabajan más tiempo excéntricamente durante la fase descendente del movimiento. De forma parecida, otras diferencias en la cualidad y esfuerzos del movimiento influyen en el uso de los músculos. Laban (Hodgson, 2001) emplea palabras como «ligero» y «fuerte» o «libre» y «ligado» para describir los esfuerzos asociados con el movimiento. En el caso de movimientos ligados, a menudo se crea resistencia interna mediante la cocontracción de antagonistas y agonistas. En contraste, en algunos tipos de movimientos libres (p. ej., tipo «*release*»), la inercia contribuye más, produ-

FIGURA 8.8. Ejecución de un salto aparentemente sin esfuerzo.
© Angela Sterling. Bailarina: Lisa Apple, del Pacific Northwest Ballet.

ciéndose con frecuencia una contracción muscular más breve para acelerar y desacelerar los segmentos corporales, en vez de trabajar de forma más continua con el fin de controlar el movimiento.

Una sutil consideración especial tiene que ver con la manifestación externa del esfuerzo y la economía del movimiento. En muchos tipos de danza, parte del efecto estético consiste en ejecutar movimientos exigentes sin esfuerzo aparente y sin interrumpir la cualidad expresiva que busca el coreógrafo (figura 8.8). Un aspecto relacionado con conseguir esta apariencia en la danza tiene que ver con la economía del movimiento. Con frecuencia se desea ejecutar el movimiento sin trabajo innecesario, o con movimientos aparentes de segmentos corporales no diseñados para formar parte del movimiento. Esto requiere una activación experta de ciertos músculos con una magnitud y sincronización apropiadas, lo cual puede exigir una menor activación de los músculos en general y, específicamente, menos dependencia de la cocontracción para generar movimientos precisos.

### Comprobación del análisis

Si fuera posible, practica el movimiento objeto del análisis con tu propio cuerpo y palpa los músculos que crees que están trabajando, o que percibas trabajando, o haz ambas cosas. Haz esto para comprobar la veracidad de tu análisis. Si la comprobación en tu propio cuerpo no concuerda con el análisis teórico, vuelve a pensarlo y asegúrate de que el efecto de la gravedad se tiene en cuenta apropiadamente. Además, asegúrate de que la sensación en tu cuerpo es una contracción muscular, y no un estiramiento del antagonista. Así mismo, recuerda que tal vez percibas músculos que trabajan pero no son los agonistas, sino estabilizadores y sinergistas.

## Esquema para el análisis anatómico de los movimientos

En la tabla 8.3 aparece un esquema para analizar los movimientos al que se incorporan los conceptos que acabamos de exponer. Este esquema se usará para analizar ejemplos de movimientos en esta sección. Animamos a los lectores a desarrollar su habilidad para el análisis aplicando este esquema a muchos otros movimientos. Los estudios indican que tanto la práctica en general del análisis del movimiento como la práctica en distinguir los rasgos críticos de una destreza dada mejoran mucho la capacidad de análisis (Hall, 1999). En el caso de los lectores para los que este proceso sea nuevo, hacer que el sujeto de observación lleve ropa ceñida, como un leotardo delante de un fondo que facilite el estudio (como un reticulado, líneas verticales o colores que contrasten con los del bailarín), ayuda al proceso de observación. En algunos casos, poner marcadores (como puntos negros) en zonas anatómicas clave, o hacer que el bailarín lleve un cinturón elástico cuyo color contraste con el leotardo y el fondo, facilitará la evaluación de la alineación. En el caso de movimientos más rápidos o complejos, usar una grabación de vídeo, que se puede ver muchas veces a cámara lenta, ayudará a visualizar el proceso y entrenará nuestra capacidad de observación.

## Ejemplos de análisis anatómico de los movimientos

A continuación, ofrecemos el análisis anatómico de dos movimientos de danza. Los movimientos se han seleccionado para aportar un ejemplo del movimiento de la extremidad inferior, sobre todo en el plano sagital, y otro en el plano frontal.

**Tabla 8.3 Esquema para el análisis del movimiento**

| Análisis básico | Análisis suplementario |
|---|---|
| 1. Divide el movimiento en fases basadas en la dirección del movimiento o en objetivos funcionales. | 6. Identifica los músculos clave que actúan de estabilizadores y son importantes para corregir la técnica (opcional). |
| 2. Selecciona las articulaciones clave donde se produzca un movimiento visible y que sean especialmente importantes para corregir la ejecución del movimiento. | 7. Identifica los músculos clave que actúan de sinergistas y son importantes para corregir la técnica (opcional). |
| 3. Identifica los movimientos articulares clave que ocurren en cada fase. | 8. Identifica cualquier requisito para alcanzar una movilidad extrema (específica del movimiento). |
| 4. Identifica el tipo de contracción muscular en cada una de las fases o subdivisiones de la fase. En el análisis de movimientos sencillos, toda la fase suele implicar el mismo tipo de contracción muscular. En el caso de movimientos complejos, puede haber múltiples tipos de contracciones musculares en una fase dada.<br>A. Identifica las fases/contracciones concéntricas. Las contracciones musculares concéntricas actúan en dirección opuesta a la gravedad o a las otras fuerzas externas. La acción del grupo muscular ocurre en la misma dirección que la del movimiento observado.<br>B. Identifica las fases/contracciones excéntricas. Las contracciones musculares excéntricas actúan en la misma dirección que la gravedad o que las otras fuerzas externas con el fin de desacelerar o controlar el movimiento, como durante la fase descendente de un movimiento. La acción del grupo muscular activo ocurre en la dirección opuesta a la del movimiento observado.<br>C. Identifica las fases/contracciones isométricas clave. Las contracciones musculares isométricas equilibran las fuerzas opuestas de modo que no haya cambio en el ángulo articular ni movimiento apreciable a la observación. | 9. Identifica cualquier requisito para lograr una fuerza o potencia acusadas (específicas del movimiento). |
| 5. Identifica el grupo de músculos principales (y algunos agonistas de ejemplo) que generan/controlan los movimientos articulares en cada fase. Cuando sea apropiado:<br>A. Comienza con el grupo de músculos principales que generan el movimiento articular durante la fase concéntrica (músculos cuya acción principal sea el movimiento articular observado durante la fase concéntrica).<br>B. Luego identifica el grupo de músculos principales que generan el movimiento articular durante la fase excéntrica (músculos cuya acción principal es opuesta al movimiento articular observado; a menudo el mismo grupo de músculos usados durante la fase concéntrica se emplea en la fase excéntrica para controlar la acción articular opuesta). | 10. Identifica cualquier problema en la alineación del cuerpo y en la técnica (específica del bailarín). |
| | 11. Identifica las consideraciones especiales que influyen en el uso de los músculos (específicas del movimiento). |
| | 12. Comprueba tu análisis practicando el movimiento y reconsiderando la lógica aplicada. |

### Extensión al frente *(grand battement en avant)* partiendo de una tijera

En la extensión al frente (tabla 8.4), los músculos flexores de la cadera actúan concéntricamente en la pierna que trabaja (pierna derecha) durante el inicio de la fase ascendente (subfase A a B) para impulsar la pierna hacia delante, mientras que los extensores de la rodilla la mantienen extendida y los flexores plantares colocan el pie en punta. Al mismo tiempo, los extensores de la cadera y de la rodilla de la pierna de apoyo (pierna izquierda) trabajan concéntricamente para que sus articulaciones respectivas pasen de flexión a la «po-

sición extendida» usada en el ortostatismo normal y en la posición anatómica. Los flexores plantares también trabajan concéntricamente para reducir la flexión dorsal tirando de la tibia hacia atrás (flexión plantar con el segmento proximal –la tibia– en movimiento). Estas acciones permiten adoptar una postura correcta de la cadera, la rodilla y el tobillo mediante la cual la pierna de apoyo aporta estabilidad para las siguientes dos subfases del movimiento. En la subfase siguiente (subfase B a C), los extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los flexores plantares del tobillo-pie en la pierna de apoyo trabajan isométricamente para mantener su posición, mientras que los flexores de la cadera de la pierna que trabaja se contraen concéntricamente y de forma enérgica para elevar la pierna al frente. Al mismo tiempo, los extensores de la rodilla actúan manteniéndola extendida, y por lo general los flexores plantares se contraen concéntricamente para aumentar un poco más la colocación en punta del tobillo y el pie de la extremidad que trabaja.

Ahora, para invertir el movimiento, los flexores coxofemorales de la pierna que trabaja actúan excéntricamente para controlar el descenso de la pierna durante la porción inicial de la fase descendente (subfase C a D), mientras que los extensores de la rodilla y los flexores plantares trabajan isométricamente para mantener sus posiciones. En la porción final de la fase descendente (subfase D a E), los extensores coxofemorales de la pierna que trabaja actúan concéntricamente para situar la pierna detrás del cuerpo, mientras que los extensores de la rodilla se contraen isométricamente para mantenerla extendida. Al final de esta subfase, la flexión dorsal del tobillo-pie de esta extremidad se puede producir mediante una combinación de contracción concéntrica de los flexores dorsales del tobillo-pie y el efecto pasivo del desplazamiento del peso del cuerpo hacia atrás, de modo que la pierna que trabaja ahora ayude a soportar el peso. Durante esta subfase, la pierna de apoyo también experimenta movimientos articulares para volver a la postura inicial. En este caso, los extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los flexores plantares trabajan excéntricamente para controlar la flexión de la cadera, la flexión de la rodilla y la flexión dorsal del tobillo, respectivamente.

Como este movimiento se practica *en dehors* y no en paralelo, los rotadores externos de la cadera trabajan de forma aproximadamente isométrica en todo momento tanto en la extremidad de apoyo como en la que trabaja. En distintas fases del movimiento, cambios en el ángulo articular y otros factores influirán en la contribución relativa de músculos específicos entre los rotadores externos de la cadera, y también en el grado en que se activan.

Observando la extremidad superior y simplificando el análisis de los hombros, los músculos flexores de los hombros derecho e izquierdo trabajan concéntricamente para elevar los brazos al frente a distintas alturas durante la fase ascendente del movimiento. Durante la fase descendente, la gravedad tiende a que los brazos caigan con rapidez a los lados, y por eso los flexores del hombro actúan excéntricamente para controlar el descenso de los brazos (extensión del hombro). Un análisis más detallado de este movimiento debería tener en cuenta la sutil rotación que ocurre en el hombro para mantener la posición del codo y el antebrazo de acuerdo con esta estética clásica.

Observando el movimiento más específicamente, debido al desafío de mantener el equilibrio sobre una pierna y al gran peso de la pierna que se desplaza, muchos músculos del cuerpo tienen que trabajar de una forma aproximadamente isométrica como estabilizadores con el fin de mantener la postura erguida y «alineada» del cuerpo con el peso distribuido adecuadamente sobre la pierna de apoyo. Un grupo muscular en especial clave y que actúa de estabilizador es el de los rotadores externos de la cadera de la pierna de apoyo. Si no se emplean correctamente, la pelvis tiende a girar hacia la extremidad de apoyo (la rotación de la pelvis a la izquierda provoca una rotación interna relativa de la cadera) mientras se eleva la extremidad que trabaja. Dar órdenes a los bailarines para que se centren en mantener la apertura de la cadera de la extremidad de apoyo es clave para limitar la rotación de la pelvis a un grado aceptable para la estética de la escuela concreta de danza. Respecto a los músculos sinergistas, los aductores de la cadera actúan en teoría ayudando a los sinergistas de la extremidad que trabaja para neutralizar la abducción indeseable de los flexores laterales de la cadera, como el tensor de la fascia lata y el sartorio, de modo que la pierna se mantenga delante del cuerpo. Al centrarse en el final de la fase ascendente del movimiento, se puede determinar si la flexibilidad de los isquiotibiales (insuficiencia pasiva) o la fuerza de los flexores coxofemorales (insuficiencia activa) son inadecuadas, o si ambas limitan la capacidad del bailarín para lograr la altura deseada con la pierna.

Por lo que a la técnica se refiere, un error habitual es flexionar la rodilla de la pierna de apoyo mientras la pierna que trabaja se eleva al frente. Como se describió en el capítulo 4, la inclinación posterior de la pelvis cambia la orientación del acetábulo y permite un menor acortamiento relativo del psoasilíaco, todo lo cual facilita alcanzar más altura con la extremidad que trabaja. Un estudio demostró que se combinaban una media de 30° de inclinación posterior de la pelvis (empezando con 45° de desplazamiento del muslo) y una media de 82° de flexión de la cadera para lograr la posición final de un *grand battement en avant* (Ryman y Ranney, 1979). Sin embargo, un grado excesivo de inclinación posterior de la pelvis o la tirantez de los flexores de la cadera desplazarán el fémur adelante y causarán una flexión no deseada de la rodilla de la pierna de apoyo.

La prevención de esta flexión no deseada de la rodilla se logra de muchas formas, como potenciando el uso del cuádriceps femoral para mantener la rodilla extendida (lo cual a menudo se favorece ordenando «tensar el muslo de la pierna de apoyo»), mediante una cocontracción equilibrada de los flexores y extensores de la cadera de la extremidad de apoyo con el fin de limitar la hiperextensión de cadera y la

inclinación posterior asociada de la pelvis (que a menudo se favorece ordenando «deprimir las tuberosidades isquiáticas hacia la base de la pierna de apoyo»), o limitando la inclinación posterior del torso y las acciones asociadas de hiperextensión de la cadera e inclinación pélvica posterior (que a menudo se favorece ordenando «mantener el torso directamente sobre la pelvis»). Aunque hay un ligero desplazamiento posterior natural del torso mientras se da la patada con la pierna (Ryman y Ranney, 1979), para contrarrestar el desplazamiento anterior de la extremidad y situar los músculos flexores de la cadera en una posición más elongada con que generar fuerza, la inclinación posterior excesiva no es deseable desde la perspectiva estética. Respecto a las consideraciones especiales, si el movimiento se practica con rapidez, existe un probable uso excéntrico de los músculos extensores de la cadera para desacelerar la pierna hacia el final de la fase ascendente. También existe la posibilidad del uso concéntrico de los extensores de la cadera al final de la fase descendente para devolver la pierna a la posición inicial.

**Tabla 8.4. Análisis anatómico de una extensión al frente *(grand battement en avant)* en tijera inicial (cadera, rodilla, tobillo-pie, hombro)**

| Fases del movimiento | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Fase ascendente** | | | |
| **Subfase: A a B** | | | |
| Cadera derecha | Flexión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Concéntrica<br>Isométrica | Flexores de la cadera (psoasilíaco, recto femoral)<br>Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Cadera izquierda | Extensión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Concéntrica<br>Isométrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor)<br>Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla izquierda | Extensión genicular | Concéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie izquierdo | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombro derecho | Flexión del hombro | Concéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| Hombro izquierdo | Flexión del hombro | Concéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
OMNIUM POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

| Fases del movimiento | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Subfase: B a C** | | | |
| Cadera derecha | Flexión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Concéntrica Isométrica | Flexores de la cadera (psoasilíaco, recto femoral) Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombro derecho | Flexión del hombro | Concéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| Hombro izquierdo | Flexión del hombro | Concéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| **Fase descendente** | | | |
| **Subfase: C a D** | | | |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Excéntrica Isométrica | Flexores de la cadera (psoasilíaco, recto femoral) Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | (Mantenimiento de la flexión plantar del tobillo-pie) | Isométrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombro derecho | Extensión del hombro | Excéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| Hombro izquierdo | Extensión del hombro | Excéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| **Subfase: D a E** | | | |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Concéntrica Isométrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores dorsales del tobillo-pie (extensor largo de los dedos, tibial anterior) |
| Cadera izquierda | Flexión de la cadera (mantenimiento de la rotación externa de la cadera) | Excéntrica Isométrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) Rotadores externos de la cadera (rotadores externos profundos) |
| Rodilla izquierda | Flexión de la rodilla | Excéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Excéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombro derecho | Extensión del hombro | Excéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| Hombro izquierdo | Extensión del hombro | Excéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |

### Inclinación lateral

En la inclinación lateral (tabla 8.5), los abductores de la cadera actúan concéntricamente en la extremidad que trabaja (pierna derecha) para elevarla (abducción coxofemoral con el segmento distal –el fémur– en movimiento) al inicio de la fase de inclinación (subfase A a B), mientras que los extensores de la rodilla actúan isométricamente para mantenerla extendida, y los flexores plantares trabajan concéntricamente para adoptar la punta. A continuación, mientras el torso se inclina «hacia arriba y sobre» la pierna de apoyo (subfase B a C), los aductores de la cadera trabajan excéntricamente en la extremidad de apoyo (pierna izquierda) para controlar la inclinación lateral del tronco a través de la pelvis (abducción coxofemoral con el segmento proximal –la pelvis– en movimiento). Una vez que el torso ya no está alineado verticalmente con la pierna de apoyo, la gravedad tiende a hacer que el tronco caiga rápidamente a la izquierda, y es la contracción excéntrica de los aductores de la cadera de la pierna de apoyo (y la contracción isométrica de los flexores laterales derechos de la columna) la que resulta vital para controlar este movimiento desestabilizador (descentrado) y para lograr el efecto estético deseado.

Ahora, para invertir el movimiento, los aductores de la cadera de la pierna de apoyo trabajan concéntricamente (aducción coxofemoral con el segmento proximal –la pelvis– en movimiento) para devolver el tronco a la vertical en la porción inicial de la fase de retorno (subfase C a D). Los abductores de la cadera derecha, los extensores de la rodilla y los flexores plantares siguen actuando isométricamente para mantener la posición deseada de la pierna que trabaja. A continuación, en la porción final de la fase de retorno (subfase D a E), los abductores de la cadera de la pierna que trabaja actúan excéntricamente con brevedad para controlar el descenso de la pierna hasta que los dedos entran en contacto con el suelo, punto en el que los aductores de la cadera trabajan concéntricamente para devolver la pierna a la posición inicial mientras los extensores de la rodilla siguen actuando isométricamente para mantenerla extendida. Después de que los dedos entran en contacto con el suelo, la contracción concéntrica de los flexores dorsales del tobillo-pie y el efecto pasivo del desplazamiento del peso del cuerpo sobre la pierna derecha también actúan generando la flexión dorsal deseada del tobillo derecho.

Al estudiar la extremidad superior y delimitando el análisis a los hombros, los abductores del hombro actúan concéntricamente y de forma simultánea para abducir los hombros derecho e izquierdo durante la fase de inclinación del movimiento. Durante la fase de retorno, la gravedad tiende a hacer que los brazos caigan con rapidez de vuelta a los lados, y por eso los abductores del hombro se contraen excéntricamente para controlar el descenso de los brazos. Un análisis más detallado de este movimiento debería tener en cuenta los efectos más específicos de la gravedad. Por ejemplo, mientras el brazo derecho supera la posición vertical, como se ve en la tabla 8.5C, la gravedad tiende a generar más bien abducción que aducción del hombro, y los aductores del hombro derecho se usan excéntricamente durante una breve porción de la amplitud del movimiento para situar los brazos completamente por encima de la cabeza, isométricamente si la posición C se mantiene, y concéntricamente la breve porción de la fase de retorno hasta que el brazo supera de nuevo la vertical.

**Tabla 8.5. Análisis anatómico de la inclinación lateral (cadera, rodilla, tobillo-pie, hombro)**

| Fases del movimiento | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Fase de inclinación** | | | |
| **Subfase: A a B** | | | |
| Cadera derecha | Abducción de la cadera | Concéntrica | Abductores de la cadera (glúteo medio, glúteo menor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| **Subfase: B a C** | | | |
| Cadera izquierda | Abducción de la cadera | Excéntrica | Aductores de la cadera (aductor largo, aductor mayor) |
| Cadera derecha | (Mantenimiento de la abducción de la cadera) | Isométrica | Abductores de la cadera (glúteo medio, glúteo menor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | (Mantenimiento de la flexión plantar del tobillo-pie) | Isométrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombros derecho e izquierdo | Abducción del hombro | Concéntrica | Abductores del hombro (porción media del deltoides, supraespinoso) |
| **Fase de retorno** | | | |
| **Subfase: C a D** | | | |
| Cadera izquierda | Aducción de la cadera | Concéntrica | Aductores de la cadera (aductor largo, aductor mayor) |
| Cadera derecha | (Mantenimiento de la abducción de la cadera) | Isométrica | Abductores de la cadera (glúteo medio, glúteo menor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | (Mantenimiento de la flexión plantar del tobillo-pie) | Isométrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombros derecho e izquierdo | Aducción del hombro | Excéntrica | Abductores del hombro (porción media del deltoides, supraespinoso) |
| **Subfase: D a E** | | | |
| Cadera derecha | Aducción de la cadera | Concéntrica | Aductores de la cadera (aductor largo, aductor mayor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores dorsales del tobillo-pie (tibial anterior, extensor largo de los dedos) |

Si observamos el movimiento más específicamente, debido al trabajo de mantener el equilibrio sobre una sola pierna mientras el tronco se desplaza lateralmente y con el gran peso de la pierna que trabaja, muchos músculos actúan de estabilizadores de forma muy coordinada para lograr la posición deseada de los segmentos del cuerpo. Un ejemplo im-

portante de estabilización ocurre con la columna vertebral. En la posición inicial, la cocontracción de los flexores y extensores de la columna se usa para lograr la alineación casi neutra del tronco con la elevación o presentación deseada del torso. No obstante, mientras el tronco se mueve lateralmente, la gravedad desempeña ahora un papel clave, tendiendo a producir flexión lateral del tronco. Ahora, como se dijo con anterioridad, los flexores laterales derechos tienen que trabajar en cierta medida isométricamente para mantener la deseada posición recta neutra de la columna. Ordenar a los bailarines que «extiendan la columna alineada con el punto medio del sacro» (en vez de dejar que caiga lateralmente-flexión lateral) mientras el tronco se inclina principalmente en la articulación coxofemoral a veces ayuda a mantener la posición deseada.

Respecto a los músculos sinergistas, los músculos oblicuos del abdomen son flexores laterales clave de la columna vertebral. Sin embargo, la contracción del oblicuo interno derecho también tiende a generar una rotación derecha y flexión de la columna no deseadas. El oblicuo externo derecho del abdomen se puede usar como sinergista para neutralizar la rotación no deseada, y los extensores de la columna se pueden usar como sinergistas para neutralizar la flexión no deseada de la columna.

Si tenemos en cuenta la fuerza y la flexibilidad, y si nos centramos en el final de la fase ascendente del movimiento, se puede comprobar que la flexibilidad inadecuada de los aductores de la cadera o la fuerza insuficiente de los abductores de la cadera pueden limitar la capacidad del bailarín para alcanzar la altura deseada con la pierna. Si se practica *en dehors*, la flexibilidad inadecuada de los isquiotibiales y la fuerza insuficiente de los flexores y rotadores externos de la cadera también podrían limitar la altura de la pierna que trabaja. Finalmente, una fuerza y flexibilidad suficientes, así como la activación específica de numerosos músculos de la pierna de apoyo, son vitales para el éxito de la ejecución de este movimiento.

Respecto a la técnica, un error habitual es no mantener el movimiento del tronco circunscrito al plano frontal. El tronco se suele flexionar en la articulación coxofemoral, desplazándose hacia atrás la base de la pelvis mientras las costillas se proyectan adelante (extensión toracolumbar excesiva). En tales casos, ordenar que «se mantengan las tuberosidades isquiáticas deprimidas y adelante sobre la pierna de apoyo» (posición neutra de extensión coxofemoral mediante el uso del par de fuerzas abdominal-isquiotibial) mientras «la cara anterior de las costillas inferiores se deprime y retrae ligeramente» (posición neutra de la columna) ayuda a lograr la posición deseada.

Respecto a las consideraciones especiales, este movimiento se puede practicar con muchas variaciones, como las posiciones descentradas del tronco o permitiendo una acusada inclinación lateral de la pelvis para potenciar la altura de la pierna. En el último caso, es necesaria una acusada lateroflexión derecha de la columna en la posición inclinada para llevar los hombros y ojos hasta una posición aproximadamente horizontal. Esto exige mucha flexibilidad vertebral y fuerza a los flexores laterales de la columna.

## Beneficios potenciales del análisis anatómico del movimiento

El análisis anatómico del movimiento se usa para mejorar de varias formas la ejecución de un movimiento dado. Primero, este análisis permite determinar los músculos que actúan como motores principales. El conocimiento de los músculos que actúan como motores principales ayuda a dar órdenes adecuadas y a elegir ejercicios de fortalecimiento. Por ejemplo, en la patada al frente a partir de una tijera, muchos bailarines quieren aumentar la altura a la que elevan la pierna. El análisis anatómico y la referencia a estudios EMG revelan que los flexores de la cadera, en especial, el psoasilíaco, son claves para la ejecución de este movimiento en los grados extremos del movimiento. Por tanto, las órdenes para potenciar el uso del psoasilíaco, así como los ejercicios suplementarios para fortalecer y activar este músculo en una amplitud de movimiento parecida a la del movimiento exigido, deberían aumentar la altura de la extremidad.

El análisis anatómico también revela las restricciones potenciales a un movimiento dado; y cuando se descubre una flexibilidad inadecuada, el aumento de la flexibilidad de estos músculos mejora la ejecución del movimiento dado. Por tanto, en la patada al frente, el análisis anatómico revela que la flexibilidad adecuada de los isquiotibiales es clave para potenciar la altura a la que se eleva al frente la pierna, y mejorar la flexibilidad de los isquiotibiales con estiramientos suplementarios ayuda a una correcta ejecución si la tirantez de los isquiotibiales fuera un factor limitante. Una forma de determinar con rapidez si la fuerza o la flexibilidad son un factor limitante es comparar la movilidad pasiva con la movilidad del bailarín durante la ejecución del movimiento (véase Pruebas y mediciones 8.1). Si la movilidad pasiva se aproxima a la que se alcanza activamente, esto sugiere que aumentar la flexibilidad ayudará a mejorar la movilidad en el movimiento. En cambio, si la movilidad que se alcanza pasivamente es muy superior a la lograda en el movimiento, esto sugiere que la flexibilidad no es un factor limitante y que la fuerza o los patrones de activación, o ambas cosas, son los factores probablemente implicados.

El análisis de las restricciones musculares potenciales también es útil para predecir y reducir el riesgo de lesiones. Músculos multiarticulares como los isquiotibiales que tienen que soportar una elongación extrema parecen correr un mayor riesgo de sufrir distensiones. Aunque sea un área controvertida y compleja, la práctica de ejercicios suplementarios para estos músculos con el fin de aumentar su flexibilidad, fuerza y equilibrio entre los lados derecho e izquierdo para un mismo músculo, así como la fuerza equilibrada entre el músculo y su antagonista, probablemente reduzca el riesgo de lesión.

Finalmente, la evaluación de factores como la alineación y la técnica revelan aspectos que, cuando se corrigen, mejoran la ejecución, desarrollan las destrezas generales de la danza y, en algunos casos, reducen el riesgo de lesión. Por ejemplo, el análisis podría revelar que un bailarín está arqueando en exceso la espalda durante la patada al frente. Este patrón de movimiento, considerado poco deseable desde el punto de vista estético en muchos tipos de danza, puede interferir con la normal y ligera inclinación posterior de la pelvis que acompaña a los grados extremos de flexión coxofemoral y, por tanto, limitar la altura de la pierna, interferir en las relaciones establecidas entre los centros de masas de los segmentos corporales para lograr un equilibrio complejo, generar mayores fuerzas de cizallamiento en la columna lumbar inferior, crear un aumento indeseable en la actividad de los extensores de la columna y afectar negativamente la biomecánica de las articulaciones distales en carga. Por tanto, la corrección de este error tiene un impacto significativo sobre el rendimiento en la danza y el riesgo de lesiones. Sin embargo, como se dijo con anterioridad, este aspecto del análisis anatómico requiere un conocimiento exacto de las características del movimiento deseado, así como un análisis experto de las causas de los problemas técnicos cuando éstos estén presentes. Por ejemplo, ¿está relacionada la lordosis lumbar antes descrita con tirantez de los flexores de la cadera, con tirantez de la región lumbar inferior, con debilidad de los abdominales o con patrones subóptimos de activación muscular?

## Otros métodos de análisis del movimiento

A pesar de su valor potencial, también es importante reparar en que un análisis anatómico básico de los movi-

PRUEBAS Y MEDICIONES 8.1

### *Comparación de la movilidad activa y pasiva en un* grand battement

Practica en ti la prueba para la flexibilidad de los isquiotibiales descrita en el capítulo 4 (véase Pruebas y mediciones 4.4, pág. 207) usando una mano para acercar ligeramente una pierna hacia el hombro mientras el dorso de la otra pierna se mantiene en contacto con el suelo, como se aprecia en la figura (A). Compara el ángulo de flexión coxofemoral obtenido pasivamente en esta prueba con el grado de flexión de la cadera cuando elevas la pierna de forma activa al frente a una velocidad relativamente lenta (B). Una forma sencilla de comparar estas mediciones consiste en anotar la altura del pie respecto a la cabeza y el tronco. Si los resultados de la prueba pasiva de los isquiotibiales (ángulo coxofemoral) son inferiores a los valores deseados por los bailarines y la altura del pie se acerca al nivel que se consigue activamente, es probable que los isquiotibiales actúen de restricción, por lo que se recomiendan estiramientos para mejorar la altura de las patadas. No obstante, muchos bailarines logran una mayor movilidad pasiva que activa, sobre todo en movimientos lentos como extensiones al frente donde la inercia no sirve de mucha ayuda. En tales casos, es probable que los isquiotibiales no sean el factor limitante principal de la movilidad, y el interés se centrará entonces en el fortalecimiento de los músculos flexores de la cadera (psoasiliaco) y en mejorar la técnica.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

mientos representa una simplificación de lo que realmente sucede, y se usa por razones prácticas. El análisis anatómico se basa en la determinación del movimiento articular (dirección) mediante la observación combinada con acciones teóricas de músculos clave con el fin de predecir los músculos principalmente responsables de un movimiento dado. Se puede mejorar su exactitud, precisión y profundidad remitiéndose a estudios que emplean un análisis cuantitativo para explicar o rechazar las predicciones teóricas, así como mediante la aplicación de algunos principios básicos de la mecánica.

FIGURA 8.9. Empleo de marcadores corporales y un electrogoniómetro para estudiar el *plié*.

## *Análisis cuantitativo frente a cualitativo*

El análisis anatómico del movimiento que aparece en este capítulo emplea un método cualitativo de análisis. El **análisis cualitativo** implica una evaluación directa, subjetiva y no numérica por parte de los sentidos, sobre todo la vista. Por el contrario, el **análisis cuantitativo** comprende mediciones numéricas objetivas del cuerpo humano y sus partes. Estas mediciones no suelen ser directas sino que se obtienen por medio de registros del movimiento. El análisis cuantitativo puede consistir en mediciones relacionadas con la descripción del movimiento sin relacionarlas con las fuerzas que lo producen, y se les llama **datos cinemáticos**, o relacionándolas con las fuerzas asociadas con el movimiento, llamadas **datos cinéticos**. Se pueden usar muchas herramientas para medir los datos cinemáticos, como cronómetros, análisis de películas por ordenador (cinematografía computarizada), análisis de vídeo por ordenador (videografía computarizada), aparatos que se ciñen a las articulaciones para medir el ángulo articular durante el movimiento (electrogoniometría) y el uso de minúsculas luces eléctricas (diodos emisores de luz) o marcadores electromagnéticos conectados con cámaras y ordenadores (sistemas optoelectrónicos).

Ejemplos de información obtenida mediante un análisis cinemático cuantitativo son el desplazamiento del centro de gravedad o de puntos anatómicos de interés, los ángulos articulares en distintas fases del movimiento y el ritmo o duración del movimiento de los segmentos corporales. La figura 8.9 muestra el uso de marcadores anatómicos y la adaptación al cuerpo de un tipo especial de goniómetro (electrogoniómetro) que se conecta con un aparato de grabación de modo que se pueden monitorizar los cambios en el ángulo articular durante el movimiento que se está estudiando.

Las herramientas para obtener datos cinéticos consisten en aparatos que miden las fuerzas aplicadas para el análisis de la fuerza (dinamómetros y tensiómetros), plantillas de presión en el calzado, o aparatos que se prenden de un pie para aportar información digital o gráfica sobre las presiones que soporta la superficie plantar del pie. Las plataformas de fuerza se usan para aportar información sobre las fuerzas de reacción del suelo en las direcciones vertical, mediolateral y anteroposterior (dinamografía). Cuando el pie ejerce presión contra el suelo durante el movimiento, el suelo aplica una fuerza equivalente y opuesta sobre el pie y el cuerpo (tercera ley de Newton) que se denomina **fuerza de reacción del suelo**. Los registros de las fuerzas de reacción del suelo obtenidas con estas plataformas se usan para determinar muchos aspectos importantes del movimiento, como la distribución del peso, la pronación, las fuerzas asociadas con el despegue del pie y las asociadas con su contacto (impacto). La figura 8.10 es un ejemplo de la fuerza vertical de reacción del suelo asociada con el aterrizaje de un salto adelante *(grand jeté en avant)* de una bailarina de elite (Clippinger y Novak, 1981). Una forma de hacerse una idea más práctica del significado de esta información es comparar las fuerzas con el peso corporal. En este ejemplo, la fuerza vertical máxima de reacción del suelo durante el aterrizaje de este *jeté* fue casi 5 veces (485%) el peso corporal.

Aunque la electromiografía (EMG) no sea una medición directa de la fuerza muscular, algunos manuales también la consideran una fuente de datos cinéticos. La electromiografía aporta información sobre el inicio, duración y pico de la actividad muscular, así como de la actividad re-

lativa del mismo músculo en distintas fases de un movimiento, o en distintos ensayos de un mismo movimiento. Ejemplos de registros EMG en primera posición aparecen en el capítulo 2 (véase Pruebas y mediciones 2.1, pág. 64), y en el capítulo 5 aparecen ejemplos de registros EMG durante la práctica de un *plié* en segunda posición (figuras 5.28 y 5.29, pág. 274). Dado que factores tales como la colocación de los electrodos influyen muchísimo en los registros, éstos a menudo se presentan como un porcentaje de la actividad observada en una contracción voluntaria máxima de un músculo dado, de modo que se puedan establecer comparaciones valiosas entre músculos y entre personas. Los datos EMG se usan a menudo junto con otros datos, como los ángulos articulares y las posiciones de puntos anatómicos de referencia clave. En la figura 8.11 se usaron espejos, una cámara y un fondo de control para lograr un análisis tridimensional (cinematografía de 3-D) de la rodilla con especial interés por la activación muscular y la posición de la rótula en distintos ángulos de un *plié*. Los estudios EMG también se usan para respaldar o refutar la actividad muscular predicha a partir del análisis cualitativo del movimiento.

### *Análisis mecánico*

Aunque su estudio queda fuera del alcance de este libro, la integración de los conceptos relacionados con las leyes del movimiento y los datos cinéticos aporta información muy valiosa que se puede usar en el análisis biomecánico del movimiento. Remitimos a los lectores interesados a los manuales de Kreighbaum y Barthels (1996), Hall (1999), Laws (2002) y Hamilton y Luttgens (2002). Estos últimos emplean un método recomendado en el cual al análisis anatómico le sigue un breve análisis mecánico y una sucinta exposición de los principios mecánicos y de cómo se relacionan para mejorar la ejecución del movimiento que se analiza.

## Análisis de movimientos respaldado por estudios

Tanto si se está procediendo a un análisis anatómico del movimiento como a un análisis que integre principios más mecánicos, la lectura de estudios de investigación permitirá al analista desarrollar un modelo mucho más profundo y preciso de lo que es normal o deseable en un movimiento concreto, así como apreciar la magnitud y tipo de variabilidad entre personas. Esto permitirá al observador centrarse mejor en los criterios importantes y tener una idea más clara de cómo mejorar la ejecución. Por ejemplo, los amplios estudios sobre el ciclo de la marcha han revelado factores especialmente claves para caminar con un desplazamiento mínimo del centro de masas del cuerpo, con lo que se favorece la economía del movimiento, al tiempo que se cumple el objetivo fundamental de moverse en el espacio con eficacia (determinantes de la marcha). De acuerdo con estos determinantes de la marcha, se han discernido magnitudes y tiempos muy específicos de los movimientos articulares, como la flexión dorsal del tobillo, la flexión de la rodilla, la rotación de la pelvis y del tronco, lo cual es muy valioso para la modificación de la marcha en el ámbito de la rehabilita-

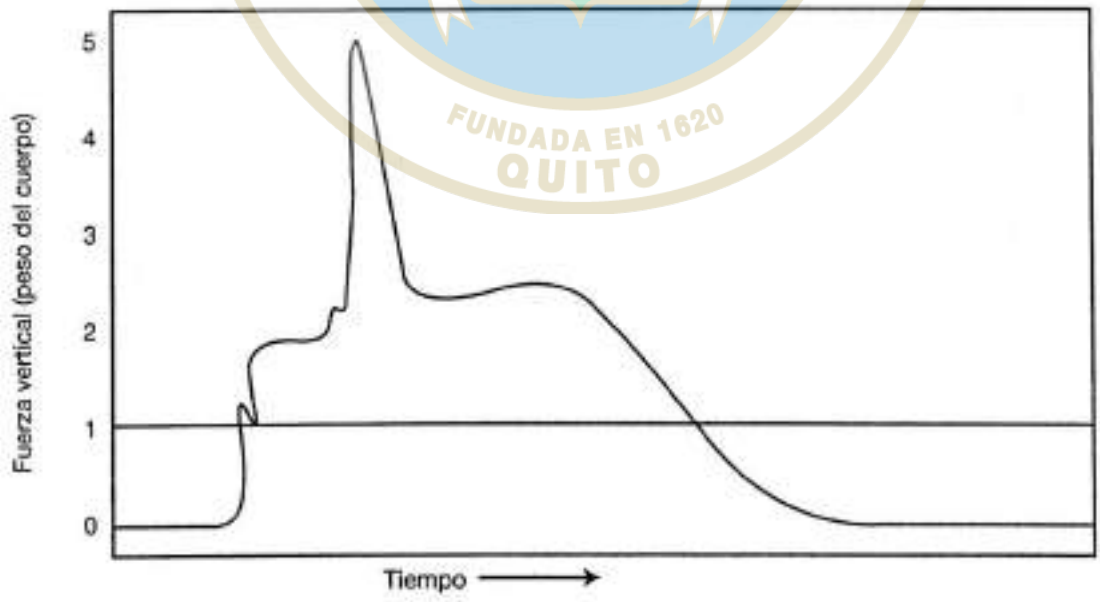



FIGURA 8.10. Ejemplo de empleo de registros de una plataforma de fuerza para estudiar las fuerzas asociadas con el aterrizaje tras un *grand jeté*.

FIGURA 8.11. Empleo de EMG, marcadores corporales y cinematografía tridimensional para estudiar el *plié*.

ción, así como para el diseño de prótesis para las extremidades inferiores.

De forma parecida, se han realizado amplios estudios sobre la carrera. Se han investigado con rigurosidad los factores que contribuyen a un rendimiento óptimo, la economía de movimientos en carrera y el riesgo de lesiones entre los corredores de fondo y los velocistas. A continuación ofrecemos un análisis sencillo de la carrera que integra una selección de hallazgos científicos. Su elección responde a que las carreras son habituales en danza, sin importar que a veces se modifiquen dependiendo de los criterios de la coreografía.

Por desgracia, los estudios científicos sobre el vocabulario específico de la danza son mucho más limitados. Se eligió el salto como ejemplo de movimiento de danza para su análisis porque ha habido varios estudios científicos de este movimiento y porque gran parte de la investigación sobre saltos en otros campos del deporte es relevante para conocer mejor su ejecución óptima y el riesgo de lesiones. De acuerdo con el interés de este libro, este análisis se centrará en la base anatómica, pero sacará a la luz datos y principios mecánicos particularmente claves.

## La carrera

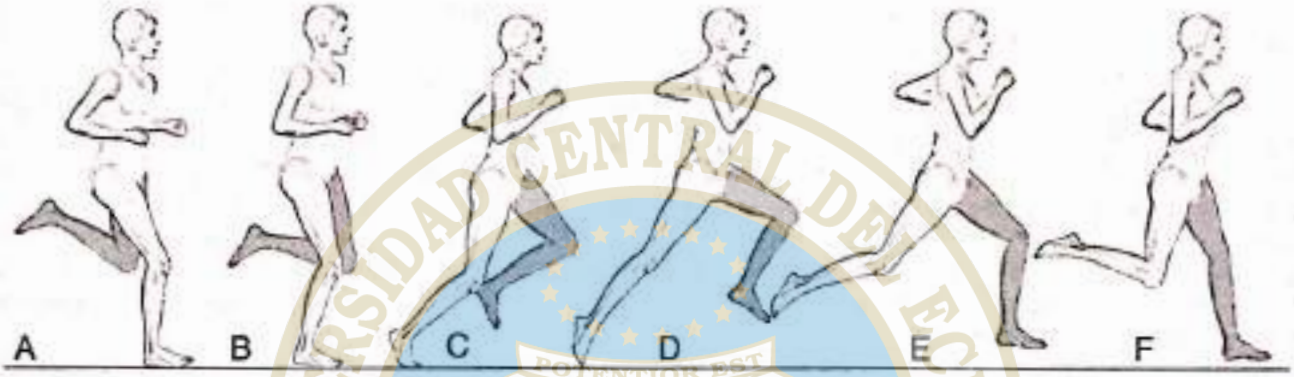
La carrera, como el caminar, se puede considerar un movimiento continuo con un patrón secuencial que se repite. Para facilitar su descripción, el análisis se reduce a una sola pierna durante un ciclo completo de movimiento desde el momento en que el pie golpea el suelo hasta que ese mismo pie vuelve a golpear el suelo, a lo cual llamamos **zancada.** Correr se diferencia de andar en que hay un breve período en que el cuerpo está totalmente suspendido en el aire y ambos pies pierden contacto con el suelo (fase de suspensión), y no hay ningún punto durante el ciclo en que ambos pies estén simultáneamente en contacto con el suelo. Aunque los investigadores a menudo usan una división más compleja de las fases en períodos, la carrera se divide aquí en una fase de apoyo, una fase de propulsión y una fase de recuperación, como se ve en la tabla 8.6 (Hay, 1993; Jensen, Schultz y Bangerter, 1983).

La **fase de apoyo** empieza cuando el pie contacta con el suelo. La función principal de los músculos durante esta fase es controlar y detener el movimiento descendente del

cuerpo causado por la gravedad, absorber la fuerza descendente del corredor y suministrar estabilidad (Elliot y Blanksby, 1979), algo parecido a lo que ocurre al aterrizar de un salto. Esta fase comprende la contracción excéntrica de los extensores de la cadera y de la rodilla y los flexores plantares del tobillo para controlar la respectiva flexión coxofemoral, geniculer y dorsal del tobillo generada por la gravedad y, en el tobillo, también debida pasivamente a la inercia anterior del cuerpo sobre el pie. Esta fase también permite al corredor adoptar una posición apta para la siguiente fase.

A medida que el centro de gravedad del cuerpo se sitúa delante del pie, se inicia la **fase de propulsión** (tabla 8.6). La función principal de los músculos en esta fase es generar las fuerzas que impulsarán el cuerpo. Esta fase se acompaña de extensión de la cadera, extensión de la rodilla y flexión plantar del tobillo para generar el empuje hacia atrás del pie contra el suelo, lo cual, combinado con la rápida oscilación anterior de la pierna contralateral, ayudará a impulsar el cuerpo hacia arriba y adelante (Hay, 1993; Mann, Moran y Dougherty, 1986).

**Tabla 8.6. Análisis anatómico de la carrera (cadera, rodilla, tobillo-pie)**




| Fases del movimiento | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Fase de apoyo: pierna derecha A a B** | | | |
| Cadera derecha | Flexión de la cadera | Excéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | Flexión de la rodilla | Excéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Excéntrica y pasiva | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| **Fase de propulsión: pierna derecha C a D** | | | |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera | Concéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | Extensión de la rodilla | Concéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| **Fase de recuperación: pierna derecha E a F y pierna izquierda A a E** | | | |
| Caderas derecha e izquierda | Flexión de cadera | Concéntrica | Flexores de la cadera (psoasiliaco, recto femoral) |
| Rodilla derecha | Flexión (al inicio de la fase) | Sobre todo pasiva y secundariamente concéntrica | |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores dorsales del tobillo (tibial anterior, extensor largo de los dedos) |

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST QUAM PRIMUM APPARUIT
FUNDADA EN 1620
QUITO

La fase siguiente, la **fase de recuperación**, comienza cuando el pie se levanta del suelo (tabla 8.6E, pierna derecha). La función principal de los músculos en esta fase es llevar la pierna adelante como preparación para el inicio del siguiente ciclo, en que el pie de nuevo entrará en contacto con el suelo. Esta fase se puede observar mirando la pierna derecha en la tabla 8.6E y F, y reparando en que sigue con la oscilación anterior hasta justo antes del contacto con el suelo, como se ve en la pierna izquierda de la tabla 8.6A a E. Por tanto, la fase de recuperación se acompaña de flexión coxofemoral producida por la contracción concéntrica de los músculos flexores de la cadera. Al inicio de esta fase, la rodilla se flexiona (en gran parte pasivamente por la transferencia de la fuerza de inercia) y el tobillo realiza flexión dorsal mediante la contracción concéntrica de los músculos flexores dorsales del tobillo-pie. Esta flexión de la rodilla y flexión dorsal del tobillo-pie acorta la distancia entre la cadera y los dedos del pie (lo cual reduce funcionalmente la longitud de la extremidad), permitiendo a la pierna separarse del suelo y oscilar adelante con más rapidez (reducción del momento de inercia). Más adelante en la fase de recuperación, cuando la cadera casi ha alcanzado su completa flexión, la rodilla se extiende con rapidez (pierna izquierda: tabla 8.6D hasta justo antes del contacto del pie en F), permitiendo cubrir una mayor distancia (aumento de la longitud de la zancada). La extensión inicial es pasiva (transferencia de momento) mientras se desacelera el muslo, seguida por la contracción concéntrica de los músculos extensores de la rodilla.

Para entender la relación entre las extremidades derecha e izquierda al correr, hay que saber que, por razones de simplicidad, la tabla 8.6 sólo muestra la mitad de una zancada. Por tanto, para imaginarse una zancada completa, hay que reparar en que después de lo que se ve en la tabla 8.6F, la pierna izquierda (en gris) experimenta lo que se ve de la pierna derecha (en blanco) de A a F. De forma similar, tras lo que se ve en la tabla 8.6F, la pierna derecha experimenta lo que se ve en la pierna izquierda de A a F. A continuación, exponemos algunos puntos clave que aclaran la relación entre la pierna derecha y la izquierda en carrera. Cuando una pierna está al principio de la fase de recuperación, el cuerpo está en el aire (tabla 8.6E, pierna derecha) y ambos pies no están en contacto con el suelo (fase de suspensión). Cuando la flexión de la rodilla sitúa la rodilla casi bajo el centro de masas del cuerpo (tabla 8.6A, pierna izquierda), la pierna contralateral entra en contacto con el suelo e inicia la fase de apoyo; y cuando la cadera en la fase de recuperación alcanza la máxima flexión al final de esta fase (tabla 8.6, justo después de D, pierna izquierda), la extremidad contralateral inicia su fase de recuperación, y el cuerpo está de nuevo en el aire (Slocum y James, 1968).

Aunque se puede recabar información útil de este análisis simplificado, los estudios han demostrado la existencia de elementos adicionales que completan estos elementos básicos. Por ejemplo, al final de la fase de recuperación y justo al inicio de la fase de apoyo, la cadera experimenta un brevísimo período de extensión concéntrica y la rodilla un brevísimo período de flexión concéntrica. Esto reduce la fuerza de frenado no deseada que tendería a empujar el cuerpo hacia atrás si la cadera estuviera todavía flexionándose y la rodilla extendiéndose cuando el pie entra en contacto con el suelo. Al inicio de la fase de apoyo, esta contracción concéntrica de los músculos extensores de la cadera, sobre todo los isquiotibiales, sirve para llevar el cuerpo sobre el punto de contacto del pie con el suelo; y al esprintar, se considera esencial la fuerza de estos músculos para generar este movimiento (Kyrolainen, Belli y Komi, 2001; Mann *et al.*, 1984). También se ha identificado una breve flexión plantar del tobillo, controlada por la contracción excéntrica de los flexores dorsales, justo cuando el pie golpea el suelo para situar mejor el pie al mismo tiempo que los flexores plantares se cocontraen para aportar estabilidad (Elliot y Blanskby, 1979).

De forma parecida, justo al inicio de la fase de recuperación, la contracción concéntrica de los extensores de la cadera continúa con brevedad y los flexores de la cadera trabajan en realidad excéntricamente al principio, para desacelerar la extensión coxofemoral, antes de actuar concéntricamente para llevar la pierna adelante. En el tobillo, a la contracción concéntrica de los flexores plantares al final de la fase de apoyo le sigue una breve contracción excéntrica de los flexores dorsales del tobillo para desacelerar esta flexión plantar del pie antes de la previamente descrita contracción concéntrica de los flexores dorsales en la fase de apoyo (McGinnis, 2005). Y al final de la fase de recuperación, los extensores de la cadera (isquiotibiales) trabajan excéntricamente para desacelerar la flexión de cadera y la extensión genicular, antes de actuar concéntricamente con brevedad durante el contacto del pie, como se ha descrito antes. Así, se suele usar una contracción excéntrica para desacelerar la extremidad, justo antes de invertir la dirección del movimiento. Este empleo habitual de una contracción excéntrica inmediatamente antes de una contracción concéntrica (es decir, el ciclo de estiramiento-acortamiento expuesto en el capítulo 2) vuelve la carrera mucho más eficaz, requiriendo mucha menos energía que si se compusiera sólo de contracciones musculares concéntricas secuenciales (Biewener y Roberts, 2000; Ito *et al.*, 1983; Kram, 2000).

Por razones de simplicidad, este análisis se ha limitado a los movimientos en el plano sagital de la cadera, rodilla y tobillo. Estas articulaciones y movimientos seleccionados son especialmente claves al correr. La acción de los brazos parece actuar sobre todo para contrarrestar el empuje descentrado de las piernas (Adrian y Cooper, 1989). No obstante, un análisis más completo incluiría los pequeños movimientos de abducción-aducción y rotación interna y externa de la cadera y la rodilla, además de los movimientos de la pelvis (inclinaciones y rotaciones), de la columna vertebral, las extremidades superiores y articulaciones clave

del pie. Aunque estos movimientos sean menores o menos fundamentales para desplazar el cuerpo en el espacio, son esenciales para la mecánica de la carrera, y las desviaciones implícitas en estos movimientos suelen estar relacionadas con errores habituales en la técnica y con lesiones por uso excesivo.

Respecto a los músculos estabilizadores, un grupo muscular clave son los abductores de la cadera. Durante la fase de apoyo, estos músculos desempeñan un papel clave en la prevención de una inclinación lateral excesiva de la pelvis (signo de Trendelenburg) o de la excursión lateral de la pelvis respecto al pie en el suelo. En cuanto a la flexibilidad, aunque una evaluación visual de la carrera no permita identificar la necesidad de los grados extremos de movimiento apreciados en la danza, muchos corredores muestran niveles subóptimos de flexibilidad en distintas articulaciones, y la amplitud insuficiente de flexión dorsal del tobillo puede causar una pronación compensatoria excesiva durante la fase de apoyo. De forma parecida, los flexores coxofemorales tensos pueden generar una inclinación anterior excesiva de la pelvis y limitar la posición deseada de la pelvis mientras la pierna oscila hacia delante, por lo que la longitud de la zancada resulta afectada negativamente. Aunque es controvertido, la flexibilidad de los isquiotibiales podría tener un efecto positivo sobre la carrera y reducir el riesgo de lesiones (Hreljac, Marshall y Hume, 2000; Kocej a, Burke y Kamen, 1991). En términos de fuerza, los estudios han demostrado que una «elevación de la rodilla» adecuada (lo que exige fuerza de los flexores coxofemorales) y niveles altos de fuerza en los extensores coxofemorales son claves para el rendimiento de alto nivel en esprines. Este último elemento de fuerza es clave para aumentar la potencia de la pierna impulsora y lograr una mayor aceleración del corredor.

Respecto a la técnica, un error habitual es la circunducción de la pierna que trabaja durante la fase de recuperación. Ordenar al corredor que «balancee la rodilla adelante en una línea ligeramente diagonal» (un poco hacia la línea media) en vez de «balancear la rodilla trazando un pequeño semicírculo» ayuda a lograr la posición deseada. Los movimientos laterales innecesarios reducen la eficacia de la carrera y la propulsión hacia delante (Hamilton y Luttgens, 2002). De forma parecida, ordenar que se dirija la pierna retrasada hacia abajo y atrás durante la fase de despegue con una sincronización correcta, así como una adecuada posición del tronco, ayudan a lograr una propulsión óptima hacia delante. Lo que se quiere es producir una fuerza de reacción del suelo con un gran componente horizontal que impulse al corredor hacia delante sin un movimiento vertical excesivo del cuerpo. La posición del pie cuando entra en contacto con el suelo al inicio de la fase de apoyo también es clave para determinar las fuerzas de reacción del suelo. Como la fuerza de reacción del suelo equivale en magnitud, pero de dirección opuesta, a la fuerza generada por el pie cuando entra en contacto con el suelo, hacer que la pierna se mueva todavía hacia delante, o que el pie esté bien plantado delante de la línea de la gravedad (extendiéndose verticalmente desde el centro de masas del cuerpo), producirá una fuerza anterior sobre el suelo que causará una fuerza de reacción que empujará el cuerpo hacia atrás, lo cual se denomina fuerza de frenado. Evitar la oscilación anterior excesiva de la pierna y ordenar a los corredores que piensen en «tirar del suelo hacia ellos» cuando el pie golpee el suelo ayuda a reducir las fuerzas de frenado y a mejorar la economía de movimientos al correr.

Respecto a las consideraciones especiales, el objetivo de una carrera en atletismo (p. ej., una carrera de fondo frente a una de velocidad) también influye en la mecánica, en la preparación física suplementaria y en las órdenes apropiadas. Por ejemplo, los estudios han demostrado que los corredores de fondo con éxito se caracterizan por una menor oscilación vertical, por dar zancadas ligeramente más largas, por un menor cambio de velocidad durante el contacto con el suelo y por un primer pico menor en el componente vertical de la fuerza de reacción del suelo, lo cual se asocia con una tendencia a experimentar fuerzas de frenado menores (Kyrolainen, Belli y Komi, 2001). Estas características se asocian con una mayor eficacia o economía de movimientos al correr, y los picos de fuerza vertical menores (fuerzas de impacto) y su desarrollo más lento podrían reducir el riesgo de lesión en los corredores (Ferber *et al.*, 2002; Hreljac, 2004; Hreljac, Marshall y Hume, 2000).

En danza, el objetivo a menudo está más relacionado con cumplir el objetivo estético de la coreografía que en optimizar la economía del movimiento o la velocidad. Por ejemplo, un coreógrafo tal vez quiera una carrera tipo «cabriola», manteniendo las rodillas flexionadas y favoreciendo el movimiento vertical del cuerpo a expensas del movimiento horizontal. Así, aunque muchos de los principios expuestos sobre las carreras sigan siendo relevantes, el movimiento se ve con frecuencia conformado por el efecto estético y no por los criterios biomecánicos.

## *Salto con una sola pierna* (grand jeté en avant)

En cinesiología, el *gran jeté en avant* se define como un movimiento locomotor consistente en elevarse del suelo con una pierna y aterrizar con la contralateral, mientras que el salto consiste en despegar del suelo y aterrizar con ambos pies. El *grand jeté*, analizado en la tabla 8.7, sigue estos criterios. No obstante, en muchos tipos de danza, el término salto se usa de forma más general y comprende los despegues y aterrizajes con uno y los dos pies.

Este *grand jeté* se puede dividir en las siguientes fases: preparación, despegue, vuelo y aterrizaje. Por razones de simplicidad, esta exposición se centrará en la cadera, la rodilla y el tobillo. La **fase de preparación** implica flexión coxofemoral, flexión genicular y flexión dorsal del tobillo

de la pierna de despegue (pierna derecha en la tabla 8.7A). Como este movimiento está generado sobre todo por la gravedad, la contracción excéntrica de los músculos antagonistas, los extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los flexores plantares del tobillo es necesaria para controlarlo. Este movimiento es importante para mantener el centro de gravedad del cuerpo encima del pie de la pierna de apoyo (Adrian y Cooper, 1989), y se necesita un grado moderado de flexión coxofemoral y genicular para ganar tiempo con que generar suficiente fuerza (impulso) durante el despegue para que el salto sea eficaz (Ryman, 1978).

Durante la **fase de despegue,** como al correr, la pierna del despegue (derecha) experimenta una rápida extensión coxofemoral, extensión genicular y flexión plantar del tobillo, contra la gravedad, por medio de la contracción concéntrica de los extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los flexores plantares, respectivamente. Una sincronización adecuada y la generación de fuerza suficiente en estos movimientos articulares son esenciales para producir las fuerzas que impulsarán el cuerpo. A medida que se extiende la pierna derecha, la izquierda oscila adelante, utilizando la contracción concéntrica de los músculos flexores de la cadera para llevar el muslo adelante; la contracción isométrica de los extensores de la rodilla para mantenerla extendida, y la contracción concéntrica de los flexores plantares para apuntar el pie. El brazo derecho también oscila hacia delante (contracción concéntrica de los flexores del hombro) mientras el izquierdo se eleva lateralmente (contracción concéntrica de los abductores del hombro). Estos movimientos de la pierna derecha (despegue mediante la fuerza de reacción resultante del suelo), combinados con los movimientos hacia delante de la pierna izquierda y el brazo derecho, impulsan el centro de gravedad del cuerpo hacia arriba y adelante para iniciar la fase de suspensión. La fase de despegue termina justo antes de que el pie que deja el suelo pierda contacto con él (justo antes de B en la tabla 8.7, cuando los dedos del pie siguen en contacto con el suelo).

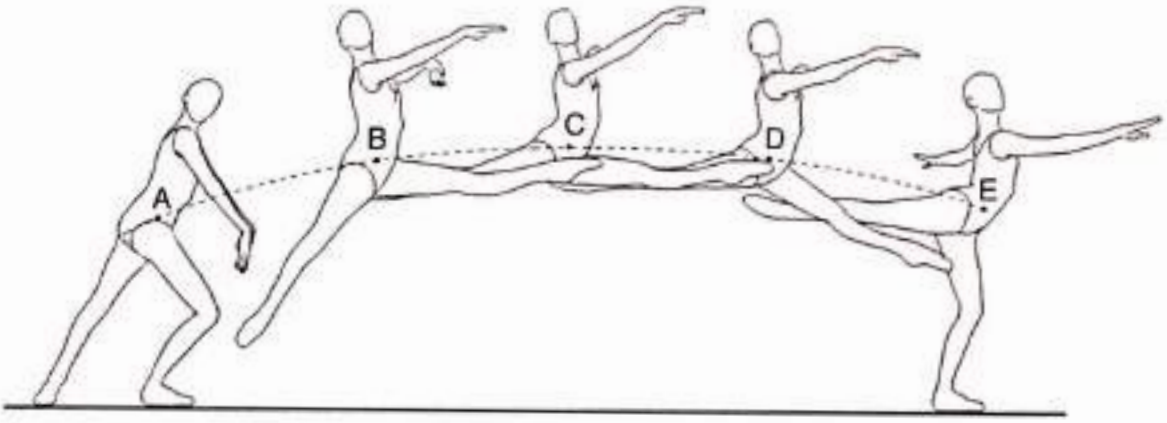
Cuando la pierna de despegue deja de estar en contacto con el suelo, empieza la **fase de vuelo** (tabla 8.7, justo antes de B y hasta D). Esta pierna de despegue se lleva rápidamente atrás y arriba, idealmente a la altura de la pierna directora, por medio de una rápida contracción concéntrica de los músculos extensores de la cadera. La rodilla de la extremidad retrasada (pierna derecha) se mantiene extendida utilizando la contracción de los extensores de la rodilla, mientras que la contracción concéntrica de los flexores plantares de la extremidad derecha sirve para aumentar ligeramente la colocación en punta del pie. En el caso de muchos bailarines, la fase inicial de vuelo también se acompaña de una brevísima continuación del movimiento anterior de la pierna directora (la izquierda) generada por la contracción concéntrica de los flexores de la cadera mientras los extensores de la rodilla se contraen isométricamente para mantener la rodilla extendida y los flexores plantares se contraen isométricamente para ayudar a mantener el pie en punta. A continuación, se impide que la pierna siga moviéndose adelante, y este ángulo coxofemoral se mantiene isométricamente con los músculos flexores de la cadera mientras la transferencia de la inercia de la pierna al torso facilita el movimiento anterior deseado del centro de gravedad del cuerpo.

Durante la fase de vuelo, el centro de masas del cuerpo sigue una trayectoria parabólica (como se ve en la tabla 8.7). La forma de esta trayectoria está determinada por el ángulo (de proyección), la velocidad y la altura del cuerpo durante el despegue. Por tanto, uno de los determinantes clave para lograr la altura o distancia deseadas en un salto consiste en potenciar al máximo la velocidad del cuerpo durante el despegue.

De acuerdo con las leyes de la física, una vez en el aire, el centro de masas del cuerpo debe seguir esta trayectoria parabólica. No obstante, para lograr la ilusión de que el cuerpo está «suspendido», los buenos bailarines a menudo manipulan la posición relativa del centro de masas del cuerpo elevando o bajando las extremidades. Por ejemplo, durante un *grand jeté*, una elevación adicional bien sincronizada de las piernas o los brazos cerca del punto más alto del salto hará que el centro de masas ascienda respecto al cuerpo y se consiga un brevísimo momento en que la cabeza y torso se mueven casi horizontalmente creando la ilusión de que el cuerpo flota (Laws, 2002; Ryman, 1978).

Durante la **fase de aterrizaje o recepción** (parecida a la fase de apoyo en carrera), la función principal de los músculos es controlar y detener el movimiento descendente del cuerpo causado por la gravedad, donde la contracción excéntrica de los extensores coxofemorales, los extensores geniculares y los flexores plantares del tobillo controla respectivamente la flexión de la cadera, la flexión de la rodilla y la flexión dorsal del tobillo generadas por la gravedad en la extremidad que aterriza (pierna izquierda en la tabla 8.7E). Esta fase también es importante para situar adecuadamente el cuerpo de cara al próximo movimiento de la coreografía. Si el cuerpo cambia de dirección o se mantiene en el mismo sitio, esta fase de aterrizaje también sirve para interrumpir el movimiento hacia delante del cuerpo; y al aterrizar, el centro de gravedad necesita situarse detrás del cuerpo para que el empuje del pie que aterriza en el suelo ralentice el movimiento anterior del cuerpo. Esto difiere de lo que sucede al esprintar o en coreografías de danza con repetidos saltos adelante con una sola pierna en los cuales el objetivo es que el centro de gravedad quede casi encima del pie para potenciar al máximo el movimiento hacia delante. Como con los esprines, parece que algunos bailarines usan los isquiotibiales durante la porción inicial de esta fase para iniciar la flexión de la rodilla y reducir al mínimo las fuerzas de frenado y la tendencia del fémur a la traslación anterior sobre la tibia (fuerzas de cizallamiento) (Simpson y Kanter, 1997; Simpson y Pettit, 1997).

**Tabla 8.7. Análisis anatómico de un salto adelante *(grand jeté en avant)***




| Fases del movimiento y articulaciones seleccionadas | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Fase de preparación: A** | | | |
| Cadera derecha | Flexión de la cadera | Excéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | Flexión de la rodilla | Excéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión dorsal del tobillo-pie | Excéntrica y pasiva mientras el cuerpo se mueve hacia delante sobre el pie | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| **Fase de despegue: A hasta justo antes de B** | | | |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera | Concéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | Extensión de la rodilla | Concéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Cadera izquierda | Flexión de la cadera | Concéntrica | Flexores de la cadera (psoasilíaco, recto femoral) |
| Rodilla izquierda | Extensión de la rodilla | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie izquierdo | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Hombro derecho | Flexión del hombro | Concéntrica | Flexores del hombro (porción anterior del deltoides, pectoral mayor) |
| Hombro izquierdo | Abducción del hombro | Concéntrica | Abductores del hombro (porción media del deltoides, supraespinoso) |
| **Fase de vuelo: justo antes de B hasta D** | | | |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera | Concéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |

| Fases del movimiento y articulaciones seleccionadas | Movimientos articulares | Tipo de contracción | Motores principales: grupo muscular (músculos ejemplo) |
|---|---|---|---|
| **Fase de vuelo: justo antes de B hasta D** | | | |
| Tobillo-pie derecho | Flexión plantar del tobillo-pie | Concéntrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Cadera izquierda | Flexión de la cadera | Concéntrica | Flexores de la cadera (psoasilíaco, recto femoral) |
| Rodilla izquierda | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie izquierdo | (Mantenimiento de la flexión plantar del tobillo-pie) | Isométrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| **Fase de aterrizaje: E** | | | |
| Cadera izquierda | Flexión de la cadera | Excéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla izquierda | Flexión de la rodilla | Excéntrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie izquierdo | Flexión dorsal del tobillo-pie | Excéntrica y pasiva mientras el cuerpo se mueve adelante sobre el pie | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |
| Cadera derecha | Extensión de la cadera | Concéntrica | Extensores de la cadera (isquiotibiales, glúteo mayor) |
| Rodilla derecha | (Mantenimiento de la extensión de la rodilla) | Isométrica | Extensores de la rodilla (cuádriceps femoral) |
| Tobillo-pie derecho | (Mantenimiento de la flexión plantar del tobillo-pie) | Isométrica | Flexores plantares del tobillo-pie (gastrocnemio, sóleo) |

Mientras que la extremidad que contacta con el suelo desempeña un papel vital controlando el movimiento descendente del cuerpo y preparándose para garantizar la dirección en que se mueve el centro de gravedad del cuerpo, la pierna derecha tal vez se mantenga atrás en un *arabesque*, como en la tabla 8.7E. Con esta variación del *grand jeté en avant*, los músculos extensores de la cadera de la cara posterior de la pierna se deben contraer de forma isométrica o ligeramente concéntrica para prevenir que la extremidad se desplome y lograr el efecto estético deseado con el *arabesque*. Los extensores de la rodilla trabajan isométricamente para mantenerla extendida mientras los flexores plantares del tobillo trabajan isométricamente para ayudar a mantener el pie apuntado.

Respecto a la estabilización, la compleja cocontracción de los músculos extensores y flexores de la columna es de nuevo clave para lograr el efecto estético del movimiento. Lo que se intenta es mantener el torso relativamente vertical durante la fase de vuelo del movimiento. Algunos bailarines adoptan una flexión y extensión del tronco indeseables durante el movimiento. Una razón por la que el torso a menudo se flexiona adelante es que la pelvis debe inclinarse anteriormente para que la pierna retrasada alcance la altura que se desea. Sin embargo, como se comentó en relación con el *arabesque* en el capítulo 4, los músculos extensores de la espalda pueden contraerse para devolver la porción superior del torso a la vertical y prevenir la anteroflexión indeseable del torso.

El análisis anatómico también revela que se requiere un grado extremo de movilidad en las caderas para conseguir una posición *écarté* en el aire. Se puede usar una rápida prueba para determinar si la flexibilidad de las caderas es el factor limitante, la cual consiste en realizar un *grand écarté* pasivo (véase Pruebas y mediciones 8.2). Si no se consigue fácilmente la posición del *écarté*, esto sugiere que los músculos ofrecen resistencia interna a la consecución de esta posición en el *grand jeté*, lo cual lo hace más difícil o imposible de conseguir (dependiendo del grado de limitación). Para determinar de forma más específica la oposición que ofrecen los tejidos blandos, se puede usar las pruebas que aparecen en el capítulo 4. La flexibilidad de los isquiotibiales (véase Pruebas y mediciones 4.4, pág. 207) se somete a prueba para ver si estos músculos limitan la altura deseada de la pierna al frente, mientras que se pone a prueba la flexibilidad de los flexores de la cadera (véase Pruebas y mediciones 4.5, pág.

214) para ver si estos músculos limitan la altura de la pierna retrasada.

El análisis del *grand jeté* también revela que son grandes las exigencias de fuerza impuestas a los flexores coxofemorales, los extensores de rodilla y los flexores plantares del tobillo de la extremidad que despega (pierna derecha) para soportar el peso del cuerpo y proyectarlo en el espacio durante la fase de despegue. Como al correr, cuanto mayor sea la fuerza generada por el cuerpo contra el suelo durante el despegue, mayor será la fuerza de reacción del suelo que impulsará el cuerpo, y mayor la aceleración del mismo. Durante la fase de vuelo en el aire, se necesitan niveles moderados de fuerza de los flexores coxofemorales para levantar la pierna adelantada, y niveles moderados de fuerza en los extensores de la cadera para elevar la extremidad retrasada hasta la posición del *écarté*. Durante la fase de aterrizaje o recepción, se requiere mucha fuerza de los extensores coxofemorales, los extensores geniculares y los flexores plantares del tobillo de la pierna de apoyo (pierna izquierda) para desacelerar el cuerpo y absorber las grandes fuerzas asociadas con el aterrizaje. Una investigación preliminar sobre tres bailarines de elite de ballet documentó fuerzas verticales máximas de casi 3 a 6 veces el peso del cuerpo asociadas con el aterrizaje tras un *grand jeté en avant* (Clippinger y Novak, 1981).

Respecto a las consideraciones técnicas, un error habitual de los bailarines principiantes es no lograr la posición deseada de la extremidad retrasada (casi paralela al suelo) en la fase de vuelo en el aire. Esto se puede deber a tirantez de los flexores de la cadera de la pierna retrasada, a tirantez de los isquiotibiales de la pierna adelantada, a movilidad limitada de la columna en hiperextensión, a insuficiente fuerza de los extensores coxofemorales de la pierna retrasada, a una fuerza insuficiente en los extensores de la columna, o a una mala sincronización y activación de músculos clave. Otra consideración técnica importante es la destreza en el empleo de la flexión de la pierna de apoyo (flexión coxofemoral, flexión genicular y flexión dorsal del tobillo) durante la fase de preparación para lograr un preestiramiento de los extensores (extensores coxofemorales, extensores geniculares y flexores plantares del tobillo) que mejorará mucho la capacidad del músculo para generar fuerza (ciclo de estiramiento-acortamiento) durante la fase de despegue. Mientras que algunos bailarines parecen mostrar un uso natural de esta capacidad potencial, otros no usan al máximo este mecanismo debido a errores como que el movimiento preparatorio sea demasiado grande o pequeño, o diferir en exceso la inversión de flexión a extensión. Un estudio demostró que el 36% de los bailarines de ballet jóvenes no eran capaces de usar correctamente este potencial elástico de los músculos y podían saltar más alto desde una posición semiacuclillada sin un contramovimiento que cuando usaban un contramovimiento (*plié* preparatorio) (Poggini *et al.*, 1997). No obstante, un estudio con bailarines expertos documentó una profundidad submáxima notable del *demi-plié* antes de distintos movimientos, lo cual sugiere la existencia de un programa motor preestablecido (Clarkson, Kennedy y Flanagan, 1984; McNitt-Gray, Koff y

PRUEBAS Y MEDICIONES 8.2

### *Rápida comprobación de las limitaciones pasivas de la cadera en un* grand jeté en avant

Practica un *grand écarté* pasivo con el torso vertical y compara esta posición de las piernas con la posición cuando ejecutas un *grand jeté*. Si un bailarín tiene problemas o no logra adoptar esta posición del *grand écarté* pasivo, ello sugiere que probablemente los isquiotibiales o los flexores de la cadera estén limitando la posición deseada de las piernas en el *grand jeté*.

ÓRDENES EN LA DANZA 8.2

### «No interrumpas el plié»

Cuando los bailarines practican un *plié* preparatorio antes de un movimiento exigente como un salto o giro, a veces se da la orden «no interrumpas el *plié*». A menudo otra explicación de esta orden es «no dudes ni te pares» al final del *plié*. Desde una perspectiva mecánica, dudar o diferir el movimiento al terminar el *plié* reduce los beneficios del ciclo de estiramiento-acortamiento. El aumento potencial del preestiramiento de músculos clave como los de la pantorrilla, el cuádriceps femoral, los isquiotibiales y el glúteo mayor declina rápidamente si hay mucho retraso entre la contracción excéntrica y la siguiente concéntrica. Por eso hay que animar a los bailarines a que inviertan con gran rapidez el paso de la fase descendente a la ascendente del movimiento. La técnica habitual de contar «y uno» pronunciando "y" con rapidez y "uno" marcadamente, en vez de decir "uno" sin destacarlo en la fase descendente del *plié* y "dos" para el movimiento ascendente, también sirve para lograr la rápida inversión de la dirección sin dudar.

ÓRDENES EN LA DANZA 8.3

### «Aterriza suavemente»

La orden «aterriza suavemente» suelen usarla los profesores para reducir las fuerzas asociadas con los aterrizajes. Desde una perspectiva biomecánica, los aterrizajes suaves se asocian con fuerzas verticales de reacción del suelo menores; con una mayor amortiguación de las fuerzas por parte de los músculos de la cadera y la rodilla; con una ligera amortiguación menor de las fuerzas por los flexores plantares del tobillo; con una mayor flexión coxofemoral y genicular, y con una flexión plantar ligeramente menor al comienzo del contacto con el suelo (Devita y Skelly, 1992; Kovacs *et al.*, 1999; Self y Paine, 2001). En los aterrizajes suaves tras una caída vertical de 60 centímetros, Devita y Skelly hallaron que el conjunto del sistema muscular absorbía un 19% más de la energía cinética del cuerpo que en los aterrizajes duros, con lo cual se reducía la fuerza del impacto sobre otros tejidos. Aunque usar la orden «aterriza suavemente» puede ser suficiente para lograr la respuesta deseada del bailarín, algunos bailarines no tienen claro cómo conseguir este tipo de aterrizaje. Por ejemplo, en un estudio se documentó que el uso de retroalimentación mediante vídeo con un análisis verbal específico sobre cómo aterrizar con más suavidad era más eficaz para reducir los picos de fuerza verticales, tanto siguiendo instrucciones a continuación como una semana más tarde, que sólo ordenar a los bailarines percibir la sensación del aterrizaje o tratar de aterrizar con más suavidad (Onate, Guskiewicz y Sullivan, 2001). De forma parecida, usar imágenes más abstractas es menos eficaz que dar órdenes más concretas relativas a los cambios en los ángulos articulares o sobre la seguridad del aterrizaje (McNair, Prapavessis y Callender, 2000). Un método consiste en subrayar algunos de los criterios biomecánicos asociados con los aterrizajes suaves. En la práctica, se potencian haciendo pensar a los bailarines en flexionar ligeramente las rodillas y caderas justo antes de aterrizar para luego adoptar un *plié* más profundo pero más lento con el fin de desacelerar el cuerpo. Esta orden también puede ser valiosa para prevenir la hiperextensión de las rodillas al aterrizar, el mecanismo clásico de las roturas del ligamento cruzado anterior de los bailarines.

Hall, 1992) que tal vez guarde relación con la optimización del ciclo de estiramiento-acortamiento y con la economía del movimiento. Los bailarines experimentados también han demostrado que su tiempo de reacción es más rápido en el *plié* preparatorio previo a un *sauté* que en otros movimientos que requieren menos potencia (*relevé* o *pointé*) o que los controles que no eran bailarines (Clarkson, Kennedy y Flanagan, 1984). Por tanto, animar a los bailarines a usar una profundidad moderada en el *plié* preparatorio (Ryman, 1978) y lograr una rápida inversión de flexión a extensión ayuda a algunos a disfrutar de los beneficios potenciales del ciclo de estiramiento-acortamiento y a mejorar la altura o distancia de los saltos.

De forma parecida, la coordinación y la magnitud de la flexión de la pierna de apoyo durante la fase de aterrizaje también son importantes. En este caso, el objetivo es sobre todo la amortiguación de las fuerzas y no su generación, algo esencial para prevenir lesiones y lograr el efecto esté-

ÓRDENES EN LA DANZA 8.4

### «Atraviesa por el pie»

La orden «atraviesa por el pie» la usan a menudo los profesores en el aterrizaje de saltos para lograr cierto efecto estético y evitar lesiones. Se ha demostrado que el aterrizaje sobre los dedos-talón resulta ventajoso porque amortigua más la fuerza. Por ejemplo, un estudio documentó que los picos de las fuerzas verticales de reacción del suelo eran unas cuatro veces el peso corporal cuando se aterrizaba con dedos-talón en contraste con seis veces el peso corporal al caer sobre el pie plano (Dufek y Bates, 1990). Otro estudio descubrió que los aterrizajes con dedos-talón se asociaban con un período más largo antes de alcanzar picos máximos de fuerza (Kovacs *et al.*, 1999). Ambos factores se consideran importantes para reducir el riesgo de lesiones en las extremidades inferiores. Por eso, la orden de «atravesar por el pie» desde los dedos al talón es útil para reducir los impactos. Este mecanismo parece estar desarrollado en los bailarines, ya que los buenos bailarines tardan bastante más tiempo en alcanzar la posición mínima del tobillo y usan una amplitud de movimiento del tobillo mucho mayor que la población general al aterrizar tras un salto (McNitt-Gray, Koff y Hall, 1992). No obstante, dado el predominio de lesiones de tobillo y pie en los bailarines, es mejor combinar esta orden animando a que los aterrizajes sean suaves con una adecuada flexión de las rodillas y caderas porque se ha comprobado que la contribución de los flexores plantares disminuye de un 50% en los aterrizajes duros a un 37% en los aterrizajes suaves, siendo ahora los músculos extensores de la cadera y la rodilla los que brindan más amortiguación (Devita y Skelly, 1992; Self y Paine, 2001).

tico deseado. Aumentar la duración del tiempo usado para desacelerar el cuerpo al aterrizar después de un salto reducirá la magnitud de las fuerzas máximas que soporta el cuerpo. La contracción excéntrica de los músculos extensores de la cadera, los extensores de la rodilla y los flexores plantares del tobillo permitirá una mayor flexión en sus articulaciones respectivas y brindará más tiempo para amortiguar las fuerzas. Así, los aterrizajes suaves se asocian con picos de fuerzas verticales de reacción del suelo menores y que se mantienen elevados más tiempo, mientras que los aterrizajes duros se asocian con picos de fuerza más altos que se mantienen menos tiempo elevados (Dufek y Bates, 1990).

También de acuerdo con estos principios, un estudio sobre saltos concatenados mostró que el cuádriceps femoral era especialmente importante para atenuar las fuerzas de impacto cuando la longitud del salto y las fuerzas verticales de reacción del suelo aumentaban (Simpson y Kanter, 1997). Dos estudios adicionales comprobaron que los bailarines entrenados mostraban mayores grados de flexión de rodilla y flexión corporal (*pliés* más profundos) que personas no bailarines cuando aterrizaban después de saltos verticales (Clarkson, Kennedy y Flanagan, 1984; McNitt-Gray, Koff y Hall, 1992), mientras que otro estudio demostró que los bailarines experimentados se tomaban más tiempo para alcanzar la flexión máxima del tobillo (flexión dorsal) y de la cadera y rodilla (Ryman, 1978). Desde el punto de vista práctico, estos conceptos se potencian con órdenes como «aterriza con suavidad», nota cómo el cuerpo «cede» al aterrizar, o «usa un *plié*» cuando caigas. Estas órdenes se usan a menudo para evitar los aterrizajes «rígidos» con insuficiente flexión de las articulaciones de la extremidad inferior.

Otro mecanismo que se emplea para suavizar los aterrizajes es el uso coordinado de los músculos flexores plantares del tobillo. El complejo de la pantorrilla desempeña un papel crítico en la amortiguación del impacto asociado con el aterrizaje de los saltos, y se ha calculado que los flexores plantares del tobillo son responsables del 44% (como media), el 34%, la rodilla, y el 22%, la cadera, del trabajo muscular total al aterrizar tras una caída vertical de 60 centímetros (Devita y Skelly, 1992). Las órdenes que favorecen un aterrizaje sobre los dedos y el talón en vez de sobre el pie plano, como «atraviesa por el pie», se usan a menudo para favorecer el empleo de este mecanismo. Sin embargo, aunque sea importante el uso óptimo de los flexores plantares, parece que, en los aterrizajes suaves desde mayor altura, la contribución de los extensores de la cadera y de la rodilla es más sustancial (Zhang, Bates y Dufek, 2000).

Otra consideración técnica importante es la situación de la rodilla respecto al pie cuando se aterriza tras un salto. En los saltos con una sola pierna, la estabilidad debe estar presente en esa pierna para permitir desarrollar y absorber grandes fuerzas sin lesiones. Por tanto, las órdenes que favorezcan una buena alineación y eviten la rotación excesiva o los movimientos mediales-laterales, como imaginar las rodillas como bisagras y mantener la rodilla encima del antepié (Roniger, 2002) o del II dedo, pueden ser útiles. Además, cuando la estabilidad sea un problema, puede ser útil un entrenamiento suplementario de la coordinación, como mantener el equilibrio sobre una pierna en una tabla oscilante o sobre un rodillo de espuma, utilizar movimientos rápidos con la pierna que trabaja en monopedestación y saltos con

las dos piernas. El programa de entrenamiento desarrollado por el doctor Mandelbaum, que incluía ejercicios de fortalecimiento, ejercicios de agilidad y pliométricos para reforzar los aterrizajes suaves con las rodillas y caderas flexionadas, demostró que reducía un 88% las roturas del ligamento cruzado anterior en jugadoras de fútbol en comparación con controles tras una temporada de juego de 12 semanas, y otro programa con objetivo similar logró reducir las fuerzas verticales máximas de reacción del suelo un 22% y los momentos de abducción y aducción un 50% (Hewett *et al.*, 1996).

Respecto a las consideraciones especiales, existen muchas variaciones en la forma de ejecución de un salto con una sola pierna en lo que se refiere a la posición de las piernas, torso y brazos, las cuales afectan el uso de los músculos y al análisis del movimiento. Por ejemplo, la pierna adelantada se puede balancear adelante extendida o con un movimiento en desarrollo; puede haber un *écarté* adicional de las piernas en el punto máximo del movimiento, o se puede doblar la pierna retrasada. Además, los criterios estéticos desempeñan un papel clave y pueden obligar a que el salto dé prioridad a la altura (componente vertical), a la distancia (componente horizontal) o a otros criterios.

Cuando se dan órdenes o se plantea la adición de ejercicios suplementarios de entrenamiento, es muy importante tener presente la especificidad de estos objetivos. Por ejemplo, varios estudios sobre la práctica de saltos en distintos ámbitos no registraron mejoras en la altura de los saltos o registraron mejoras inferiores a las observadas en otros deportistas (McLain, Carter y Abel, 1997; Poggini *et al.*, 1997). Por el contrario, parece que los bailarines tienden naturalmente a favorecer la mejora de la técnica, la eficacia de los movimientos (Harley *et al.*, 2002) o a limitar el pico de las fuerzas de impacto. Se podría teorizar que si el aumento de la altura de los saltos fuera el objetivo, se debería usar un programa que integrara ejercicios clave de fortalecimiento de las extremidades inferiores que permitieran una mayor absorción de las fuerzas al aumentar la altura de los saltos, así como órdenes y patrones funcionales de movimiento que potenciaran la altura de los saltos. La especificidad de las estrategias de control motor se demuestra con estudios que documentan una mayor contribución de la cadera al aumentar la altura de los saltos (Vanrenterghem *et al.*, 2004), un ajuste de la tensión (rigidez) de las extremidades inferiores al aterrizar según la altura del salto y las características amortiguadoras del suelo (Devita y Skelly, 1992; Hamilton y Luttgens, 2002), y una mejora significativa de la altura del salto vertical de los bailarines con los dos pies y con el pie derecho (pero no con el izquierdo) después de un programa de ejercicios pliométricos (Griner, Boatwrigth y Howell, 2003). Este último dato es particularmente interesante dada la tendencia de muchos bailarines diestros a preferir los saltos con la pierna izquierda (Golomer y Fery, 2001).

El proceso de mejorar los saltos se complica aún más por las exigencias estéticas. Por ejemplo, la mayor flexión de la cadera obtenida por el aumento de la anteroflexión del torso permite generar mucha más fuerza durante la fase de despegue de los saltos, en gran medida gracias a la capacidad del glúteo mayor para generar más fuerza en esta posición. De forma parecida, la mayor flexión de la cadera lograda por la anteroflexión del torso permitirá reducir las fuerzas de impacto al aterrizar (Devita y Skelly, 1992), en parte debido al acercamiento del centro de masas del cuerpo a las rodillas (reducción del brazo de palanca de la resistencia). No obstante, la danza suele potenciar una posición más vertical del torso, y la exigencia estética limita el grado permitido de anteroflexión del torso.

## Modelos de ejecución óptima

De lo previamente expuesto se desprende que el análisis anatómico y biomecánico del movimiento puede aportar información vital que aumente nuestro conocimiento y comprensión de un movimiento determinado. Sin embargo, si esta información se puede usar para desarrollar un modelo de ejecución óptima o no es un tema controvertido y complejo. Estos modelos tendrán que tener en cuenta las diferencias individuales y el hecho de que, en los movimientos complejos, se pueden desarrollar distintas estrategias para lograr el mismo resultado. La estrategia que funciona con un deportista de elite no tiene por qué ser óptima para otro debido a numerosas variables, como el somatotipo, la longitud de las palancas, el tipo de fibras musculares, la fuerza y potencia de músculos clave, la flexibilidad de las articulaciones clave y otros factores neuromusculares. No obstante, cuando los estudios sobre múltiples estrategias se combinan con los análisis anatómicos y biomecánicos teóricos, suele surgir un patrón que se ajusta a los principios científicos del movimiento. A partir de estos modelos, se pueden generar recomendaciones para enseñar y mejorar las destrezas en un movimiento dado, teniendo presentes las diferencias entre personas.

En danza, el proceso de generación de modelos de ejecución óptima de movimientos se vuelve más complejo debido a su tremenda variedad. En contraste con andar, correr, saltar vallas o los saltos de altura, donde hay un patrón o secuencia de movimientos que estudiar, la danza contiene muchas categorías de movimientos básicos, como marchas, carreras, saltos con un pie, deslizamientos, botes, saltos, tijeras, oscilaciones, *pliés*, extensiones, *dégagés*, patadas, movimientos aislados, contracciones, giros y caídas, así como incontables variaciones y combinaciones de estos y otros movimientos.

Generar modelos de ejecución óptima en la danza también resulta más difícil por tener que cumplir ciertos criterios estéticos. En muchos deportes, el objetivo principal es generar un movimiento que se pueda medir cuantitativamente. Por ejemplo, en el salto de altura, el objetivo es saltar lo más alto posible sobre el listón, y el éxito se basa en a qué altura está

el listón que se supera. Por el contrario, la danza se guía mucho por criterios estéticos no sólo del resultado sino también de todo el proceso de la ejecución. Por ejemplo, respecto a los giros, en muchas escuelas de danza puede haber un componente cuantitativo por el cual es deseable, y se considera un signo de destreza, poder ejecutar múltiples repeticiones de un giro dado. Sin embargo, la preparación para el giro y la forma en que se practica se consideran de vital importancia, no sólo el número de revoluciones logradas. Este objetivo ha llevado a que algunos afirmen que, en comparación con muchos deportes, la danza se orienta más al proceso que al producto. Además, mientras que algunos de estos criterios estéticos implicados en el «proceso» del movimiento son compartidos por muchos tipos de danza, otros difieren entre sí y dentro de un mismo tipo de danza. Algunos ejemplos de cuestiones estéticas de importancia son la cualidad del movimiento, la economía del movimiento, la falta de compensaciones visibles y no deseadas asociadas con los movimientos de las extremidades, la colocación o alineación de distintos segmentos corporales, el «perfil» deseado de distintas articulaciones o partes del cuerpo (p. ej., flexión plantar y eversión del pie, pie neutro, pie en inversión y flexión dorsal), la expresividad emocional y la deseada relación del movimiento con el tiempo (ritmicidad).

Sin embargo, a pesar de estas dificultades, es esencial que se realicen más estudios sobre movimientos de danza y que la información obtenida en estudios sobre movimientos similares se aplique a la danza. Si bien el análisis anatómico cualitativo y los conocimientos sobre la mecánica articular que presentamos en este manual aportan un conocimiento básico muy beneficioso sobre los movimientos de danza, los estudios específicos permitirán confirmar nuestras intuiciones y profundizar y aclarar nuestros conocimientos. Estos conocimientos se podrán usar para que los bailarines perfeccionen su técnica en el contexto de una determinada estética. Mientras que la variedad de estéticas actuales en el mundo de la danza impide crear un modelo único de ejecución óptima de un movimiento dado, los estudios revelarán los principios fundamentales que se pueden ajustar a una estética específica, además de clarificar los aspectos clave que diferencian a esa estética.

## Claves del movimiento

Es necesario tomar los conocimientos sobre el movimiento obtenidos de los análisis anatómico y biomecánico y aplicarlos en clase de forma que puedan ser usados fácilmente por los bailarines para lograr los resultados esperados. Un método habitual consiste en que los profesores den ciertas claves para describir y corregir los movimientos. Algunas de estas claves tienen una base biomecánica lógica. Por ejemplo, las claves descritas en el capítulo 3 orientadas a utilizar la estabilización abdominal podrían reducir la tensión indebida en la región lumbar y mejorar la alineación de la columna y la pelvis. Otras claves se orientan más a las leyes del movimiento. Estas claves pueden potenciar mejoras en la destreza al aprovechar la física y las leyes del movimiento de Newton. Por ejemplo, la clave de aumentar la presión descendente sobre el suelo justo antes de elevarse en un *relevé* aumenta la fuerza vertical ascendente (componente vertical de la fuerza de reacción del suelo) haciendo más fácil levantarse.

Algunas claves y órdenes forman parte del legado de generaciones de profesores y no son acordes con el escrutinio científico. A veces sugieren a los bailarines hacer cosas que no son posibles o que no se producen en un movimiento dado. A veces algunas órdenes perduran porque una parte de ellas se ajusta a la idea que el bailarín tiene de lo que ocurre, aunque otra parte de la descripción sea imprecisa. Por ejemplo, como se dijo en el capítulo 4 sobre la extensión lateral (*battement* en segunda posición), la orden de levantar la pierna desde abajo es imprecisa porque los isquiotibiales no pueden alzar la pierna. No obstante, cuando el movimiento se practica correctamente, hay una sensación de que la porción proximal del fémur (el trocánter mayor) desciende y se sitúa debajo, justo antes de que la parte distal del fémur y la pierna se eleven. Una orden que describiera este descenso del trocánter sin implicar que los isquiotibiales levanten la pierna sería más precisa y confundiría menos a los estudiantes. Por tanto, se anima a profesores y bailarines a que evalúen la base anatómica y mecánica y la precisión de las órdenes usadas en danza. Además, los profesores deben estar seguros de no perpetuar ideas erróneas ni de pedir cosas a sus estudiantes que no son físicamente posibles. En este libro hemos dado ejemplos de órdenes. A menudo un sutil cambio en las palabras permite que la orden evoque la sensación o acción deseadas, estando al mismo tiempo respaldada por principios anatómicos y biomecánicos.

## Resumen

A pesar de la amplitud y complejidad de los movimientos de danza, la tecnología actual hace el análisis del movimiento mucho más fácil que hace una década o dos. Existe una clara necesidad de complementar los análisis anatómicos cualitativos con información obtenida de estudios de investigación bien diseñados que traten los numerosos movimientos de danza, con el fin de comprender mejor los músculos relevantes, las fuerzas y los factores neurales implicados en los movimientos. A su vez, esta información se puede usar para evaluar las órdenes en la danza y sus estrategias, así como para el diseño de nuevos métodos, cuando sea relevante. Esta información también resultará útil para comprender mejor los mecanismos lesionales y su prevención.

## Preguntas de repaso y aplicaciones

1. Practica un análisis anatómico básico (tabla 8.3, pasos 1-5, pág. 480) de:
a. Un *roll-down*
b. Un *tendu* al lado
c. Un *penché*

2. Practica un análisis anatómico de un *développé en avant* en cuarta posición (tabla 8.3, pasos 1-12). Contrástalo y compáralo con un *grand battement en avant* como el analizado en la tabla 8.4 (pág. 482).

3. Practica un análisis anatómico de un *développé* en segunda posición (tabla 8.3, pasos 1-12). Contrástalo y compáralo con un *développé en avant* en cuarta posición.

4. Practica un análisis anatómico básico (tabla 8.3, pasos 1-5) sobre ponerse de puntillas precedido por un *plié (relevé)*. ¿En qué difiere de ponerse de puntillas con la rodilla extendida *(élevé)* y de un salto en primera posición paralela?

5. Observa a un bailarín practicando los movimientos analizados en la pregunta 3. Fíjate en cualquier problema técnico. Teoriza sobre lo que podrías hacer para corregirlo, y comprueba si estas correcciones teóricas obtienen los resultados deseados en el bailarín.

6. Practica un análisis anatómico básico (tabla 8.3, pasos 1-5) sobre una secuencia corta de movimientos que se emplee regularmente en la barra o durante el período de calentamiento de una clase técnica de danza.

7. Selecciona un movimiento de la clase de danza que tengas problemas para ejecutar con una técnica óptima. Procede al análisis anatómico de este movimiento y cita cuatro ejercicios de fortalecimiento, dos de flexibilidad y tres órdenes técnicas que se podrían usar para mejorar la ejecución de este movimiento.

8. Diseña una secuencia de movimientos que englobe los movimientos fundamentales del hombro, columna vertebral, cadera, rodilla y tobillo. Identifica verbalmente los movimientos a medida que se produzcan.

9. Selecciona tres órdenes usadas habitualmente en las clases de danza para practicar ciertos movimientos. Evalúa la exactitud de su base anatómica y biomecánica. ¿Hay alguna forma de reformular la orden para que se ajuste más a los principios científicos?

10. Una bailarina quiere mejorar sus *splits* rusos.
a. Usando el esquema presentado en la tabla 8.3, analiza el movimiento de las articulaciones del tobillo, rodilla y cadera.
b. ¿Qué músculos actúan de motores principales? ¿Cuáles son los grados extremos de movilidad requeridos en el *split*, y qué músculos se deberían estirar para mejorar dicha movilidad? ¿Cuáles son los requerimientos de fuerza más importantes en este movimiento, y qué músculos hay que fortalecer para cubrirlos?
c. ¿Qué órdenes hay que usar para potenciar los beneficios del ciclo de estiramiento-acortamiento justo antes del despegue?

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FUNDADA EN 1920 QUITO

# Bibliografía

## Capítulo 1


Abernethy, B., Hanrahan, S., Kippers, V., Mackinnon, L., y Pandy, M. (2005). *The biophysical foundations of human movement*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

American College of Sports Medicine (ACSM). (1997). Position stand: The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5): i-ix.

Andreoli, A., Monteleone, M., Van Loan, M., Promenzio, L., Tarantino, U., y Lorenzo, A. (2001). Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4): 507-511.

Beck, B., y Shoemaker, R. (2000). Osteoporosis: Understanding key risk factors and therapeutic options. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(2): 69-84.

Bennell, K. L., Malcolm, S. A., Thomas, S. A., Reid, S. J., Brukner, P. D., Ebeling, P. R., y Wark, J. D. (1996). Risk factors for stress fractures in track and field athletes. A twelve-month prospective study. *American Journal of Sport Medicine*, 24: 810-818.

Browning, K (2001). Hip and pelvis injuries in runners. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(1): 23-24.

Brukner, P. (2000). Exercise-related lower leg pain: An overview. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3 Supl.): 51-53.

Brukner, P., Bradshaw, C., y Bennell, K. (1998). Managing common stress fractures: Let risk level guide treatment. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(8): 39-47.

Burr, D. (1997). Bone, exercise and stress fractures. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 25:171-194.

Clark, N. (1997). *Nancy Clark's sports nutrition guidebook*. 2.ª ed. Champaign, IL: Leisure Press.

Clarkson, P. (1998). An overview of nutrition for female dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(1): 32-39.

Clippinger, K. (1999). Smoking in young dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(3): 115-125.

Dudek, S. (1997). *Nutrition handbook for nursing practice*. Filadelfia: Lippincott.

Enoka, R. (2002). *Neuromechanics of human movement*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

Frost, H. M. (2000). Muscle, bone, and the Utah paradigm: A 1999 overview. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5): 911-917.

Goss, C. M., ed. (1980). *Gray's anatomy of the human body*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Guyton, A. (1976). *Textbook of medical physiology*. Filadelfia: W. B. Saunders.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hall-Craggs, E. C. B. (1985). *Anatomy as a basis for clinical medicine*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

Hamill, J., y Knutzen, K. M. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Nueva York: McGraw-Hill.

Hershman, E., y Mailly, T. (1990). Stress fractures. *Clinics in Sports Medicine*, 9(1): 183-214.

Huwyler, J. S. (1999). *The dancer's body: A medical perspective on dance and dance training*. McLean, VA: International Medical.

Kadel, N., Teitz, C., y Kronmal, R. (1992). Stress fractures in ballet dancers. *The American Journal of Sports Medicine*, 20(4): 446-449.

Kaufman, J. (2000). Osteoporosis tests. http://orthoinfo.aaos.org/fact/thr_report.cfm?Thread_ID=176&topcategoty=Osteoporosis.

Kenney, R. (1982). *Physiology of aging: A synopsis*. Chicago: Year Book Medical.

Khan, K., Green, R., Saul, A., Bennell, K., Crichton, K., Hopper, J., y Wark, J. (1996). Retired elite female ballet dancers and nonathletic controls have similar bone mineral density at weightbearing sites. *Journal of Bone and Mineral Research*, 11(10): 1566-1574.

Khan, K., McKay, A., Stiehl, A., Warren, M., y Wark, J. (1999). Bone mineral density in active and retired ballet dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(1): 15-23.

Kreighbaum, E., y Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

Levangie, P. K., y Norkin, C. C. (2001). *Joint structure and function: A comprehensive analysis*. Filadelfia: Davis.

Lundon, K., Melcher, L., y Bray, K. (1999). Stress fractures in ballet: A twenty-five year review. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(3): 101-107.

Marieb, E. (1995). *Human anatomy and physiology*. Nueva York: Benjamin/Cummings.

Matheson, G., Clement, D., McKenzie, D., Taunton, J., Lloyd-Smith, D., y MacIntyre, J. (1987). Stress fractures in athletes: A study of 320 cases. *American Journal of Sports Medicine*, 15(1): 46-58.

McCarthy, P. (1989). Managing bursitis in the athlete: An overview. *The Physician and Sportsmedicine*, 17(11): 115-125.

Mercier, L. (1995). *Practical orthopedics*. St. Louis: Mosby.

Micheli, L., y Solomon, R. (1990). Stress fractures in dancers. En R. Solomon, S. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 133-153). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Moore, K., y Agur, A. (1995). *Essential clinical anatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Myszkewycz, L., y Koutedakis, Y. (1998). Injuries, amenorrhea and osteoporosis in active females: An overview. *Dance Medicine and Science*, 2(3): 88-94.

Rasch, P. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Rasch, P., y Burke, R. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Roy, R., Baldwin, K., y Edgerton, V. R. (1996). Response of the neuromuscular unit to spaceflight: What has been learned from the rat model. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24: 399-425.

Smith, L., Weiss, F., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Stewart, A., y Hannan, J. (2000). Total and regional bone density in male runners, cyclists, and controls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(8)1373-1377.

Taube, R., y Wadsworth, L. (1993). Managing tibial stress fractures. *The Physician and Sportsmedicine*, 21(4): 123-130.

Taunton, J. E., Clement, D. B., y Webber, D. (1981). Lower extremity stress fractures in athletes. *The Physician and Sportsmedicine*, 9: 77-86.

U.S. Department of Agriculture. (1981). Nutritive value of foods. Home and Garden Bulletin N.° 72.

Warren, M., Brooks-Gunn, J., Hamilton, L., Warren, F., y Hamilton, W. (1986). Scoliosis and fractures in young ballet dancers. *New England Journal of Medicine*, 314(21): 1348-1353.

Whiting, W. C., y Zernicke, R. F. (1998). *Biomechanics of musculoskeletal injury*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Williams, N. (1998). Reproductive function and low energy availability in exercising females: A review of clinical and hormonal effects. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(1): 19-31.

Zernicke, R. F., Vailas, A. C., y Salem, G. J. (1990). Biomechanical response of bone to weightlessness. *Exercise and Sport Sciences Review*, 18:167-192.

## Capítulo 2


Alter, M. (2004). *Science of flexibility*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics

American College of Sports Medicine (ACSM). (1998). Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6): 975-991.

American College of Sports Medicine (ACSM). (2001). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Asmussen, E., y Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91: 385-392.

Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive–Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Behnke, R. (2006). *Kinetic anatomy*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

Bosco, A., y Komi, P. V. (1979). Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106: 467-472.

Cronin, J. B., McNair, P. J., y Marshall, R. N. (2000). The role of maximal strength and load on initial power production. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10): 1763-1769.

Dye, S., y Vaupel, G. (2000). Functional anatomy of the knee: Bony geometry, static and dynamic restraints, sensory and motor innervation. En S. Lephart and F. Fu (eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 59-76). Champaign, IL: Human Kinetics.

Enoka, R. (2002). *Neuromechanics of human movement*. 3.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

Garrett, W. (1990). Muscle strain injuries: Clinical and basic aspects. *Medicine and Science in Sports Medicine*, 22: 436-443.

Garrett, W. (1996). Muscle strain injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 24: S2-S8.

Gordon, T., y Pattullo, M. C. (1993). Plasticity of muscle fiber and motor unit types. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 21: 331-362.

Gowitzke, B., y Milner, M. (1988). *Understanding the scientific bases of human movement*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hamill, J., y Knutzen, K. M. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Nueva York: McGraw-Hill.

Hay, J., y Reid, J. (1982). *The anatomical and mechanical bases of human motion*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Huxley, H. E. (1969). The mechanism of muscular contraction. *Science*, 164:1356.

Irrgang, J., y Neri, R. (2010) The rationale for open and closed kinematic chain activities for restoration of proprioception and neuromuscular control following injury. En S. Lephart y F. Fu (eds.) *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp 3763-374) . Champaign, IL: Human Kinetics.

Jeon, H., Trimble, M., Brunt, D, and Robinson, M. (2001). Facilitation of quadriceps activation following a concentrically controlled knee flexion movement: The influence of transition rate. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 31(4): 122-132.

Komi, P. V. (1 979). Neuromuscular performance: Factors influencing force and speed production. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 1: 2-15.

Kreighbaum, E., y Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Needham Heights MA: Allyn & Bacon.

Lephart, S., y Fu, F. (2000). *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Levangie, P. K., y Norkin C. C. (2001). *Joint structure and function: A comprehensive analysis*. Filadelfia: Davis.

McGinnis, P. M. (2005). *Biomechanics of sport and exercise*. 2.ª ed. Champaign, IL.: Human Kinetics.

Netter, F. (1995). Interactive atlas of human anatomy (CD-ROM). Summit, NJ: Ciba-Geigy, Medical Education and Publications.

Nieman, D. (1999). *Exercise testing and prescription*. Mountain View, CA: Mayfield.

Pitt-Brooke, J. (1998). *Rehabilitation of movement*. Filadelfia: Saunders.

Platzer, W. (1978). *Color atlas and textbook of human anatomy, volume 1: Locomotor system*. Chicago: Year Book Medical.

Powers, S. K., y Howley, E. T. (1990). *Exercise physiology*. Dubuque, IA: Brown.

Rasch, P. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Rasch, P., y Burke, R. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Shrier, I., y Gossal, K. (2000). Myths and truths of stretching: Individualized recommendations for healthy muscles. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(8): 57-63.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Soderberg, G. (1986). Kinesiology: *Application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Takashi, A., Kumagai, K., y Brechue, W. (2000). Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6): 1125-1129.

Tanigawa, M. (1972). Comparison of hold-relax procedures and passive mobilization on increasing muscle length. *Physical Therapy*, 52: 725-734.

Taylor, D., Dalton, J., Seaber, A., y Garrett, W. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units: The bio-mechanical effects of stretching. *American Journal of Sports Medicine*, 18(3): 300-309.

Thys, H., Cavagna, G., y Margaria, R. (1975). The role played by elasticity in an exercise involving movements of small amplitude. *Pflugers Archives*, 354: 281-286.

Wallin, D., Ekblom, B., Grahn, R., y Nordinborg, T. (1985). Improvement of muscle flexibility: A comparison between two techniques. *American Journal of Sports Medicine*, 13(4): 263-268.

Wells, K., y Luttgens, K. (1976). Kinesiology: *Scientific basis of human motion*. Filadelfia: Saunders.

Wilmore, J., y Costill, D. (2004). *Physiology of sport and exercise*. 3. ed. Champaign, IL: Human Kinetics.


## Capítulo 3


Adams, M., Dolan, P., y Hutton, W. (1988). The lumbar spine in backward bending. *Spine*, 13(9): 1019-1026.

Adams, M., y Hutton, W. (1982). Prolapsed intervertebral disc: A hyperflexion injury. *Spine*, 7(3): 184191.

Aggrawal, N., Kaur, R., y Kumar, S. (1979). A study of changes in the spine in weight lifters and other athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 13: 58-61.

Akella, P., Warren, M., Jonnavithula, S., y Brooks-Gunn, J. (1991). Scoliosis in ballet dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 6(3): 84-86.

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). Joint motion: Method *of measuring and recording*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Andersson, G., Ortengren, R., y Nachemson, A. (1977). Intradiskal pressure, intra-abdominal pressure and myoelectric back muscle activity related to posture and loading. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 129 (Nov-Dic): 156-164.

Axler, C., y McGill, S. (1997). Low back loads over a variety of abdominal exercises: Searching for the safest abdominal challenge. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6): 804-810.

Azegami, H., Murachi, S., Kitoh, J., Ishida, Y., Kawakami, N., y Makino, M. (1998). Etiology of idiopathic scoliosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 357: 229-236.

Bartelink, D. (1957). The role of the intra-abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral disc. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 39B: 718-725.

Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive–Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Becker, J. (1986). Scoliosis in swimmers. *Clinics in Sports Medicine*, 5: 149-158.

Beimborn, D., y Morrissey, M. (1988). A review of the literature related to trunk muscle performance. *Spine*, 13(6): 655-660.

Bejani, F., Halpern, N., y Pavlidis, L. (1990). Spinal motion and strength measurements in flamenco dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 5(3): 121-126.

Beuerlein, M., Raso, V. J., Hill, D. L., Moreau, M. J., y Mabood, J. K. (2003). Changes in alignment of the scoliotic spine in response to lateral bending (abstract) *Spine*, 28(7): 693-698.

Bradford, F., y Spurling, R. (1945). *The intervertebral disc*. Springfield, IL: Charles C Thomas.

Brenner, S., Ojoletimi, S., y Rose, D. (2003). Injuries in a modern dance company: Effect of comprehensive management on injury incidence and time loss. *American Journal of Sports Medicine*, 31(3): 365-373.

Burton, A., Tillotson, K., y Troup, J. (1989a). Prediction of low-back trouble frequency in a working population. *Spine*, 14(9): 939-946.

Burton, A., Tillotson, K., y Troup, J. (1989b). Variation in lumbar sagittal mobility with low-back trouble. *Spine*, 14(6): 584-590.

Caillet, R. (1996) *Soft tissue pain and disability*. Filadelfia: Davis.

Carpenter, D., Graves, J., Pollock, M., Leggett, S., Foster, D., Holmes, B., y Fulton, M. (1990). Effect of 12 and 20 weeks of training on lumbar extension strength (abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2 Supl.): S19.

Chaffin, D. (1974). Human strength capability and low-back pain. *Journal of Occupational Medicine*, 16(4): 248-254.

Clippinger-Robertson, K. (1985). Prevention of low back injuries in athletes: Putting theory into practice. En J. Terauds and J. Barham (eds.), *Proceedings of the International Symposium of Biomechanics in Sports* (pp. 407-413). Del Mar, CA: Research Center for Sports.

Clippinger-Robertson, K. (1991). Flexibility in different level female ballet dancers. Presented at the International Association of Dance Medicine and Science annual meeting, Baltimore, 23 de junio.

Clippinger-Robertson, K. S., Hutton, R. S., Miller, D. I., y Nicholas, T. R. (1986). Mechanical and anatomical factors relating to the incidence and etiology of patellofemoral pain in dancers. En C. Shell (ed.), *The dancer as athlete: The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings* (vol. 8, pp. 53-72). Champaign, IL: Human Kinetics.

Deckey, J., y Weidenbaum, M. (1997). The thoracic and lumbar spine. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 202-219). St. Louis: Mosby.

De Troyer, A., Estenne, M., Ninane, V., Gansbeke, D., y Gorini, M. (1990). Transversus abdominis muscle function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 68(3): 1010-1016.

Dolan, P., Adams, M., y Hutton, W. (1988). Commonly adopted postures and their effect on the lumbar spine. *Spine*, 13(2): 197-201.

Donisch, E., y Basmajian, J. (1972). Electromyography of deep back muscles in man. *American Journal of Anatomy*, 133: 25-36.

Dreisner, J., y Herring, S. (2001). Managing low-back pain: Steps to optimize function and hasten return to activity. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(8): 37-44.

Eck, J., y Riley, L. (2004). Return to play after lumbar spine conditions and surgeries. *Clinics in Sports Medicine*, 23(3): 367-379.

Eie, N. (1966). Load capacity of the low back. *Journal of the Oslo City Hospitals*, 16(4): 74-98.

Eie, N., y Wehn, P. (1962). Measurements of the intraabdominal pressure in relation to weight bearing of the lumbosacral spine. *Journal of the Oslo City Hospitals*, 12: 205-217.

Evans, R. W., Evans, R. L., y Carvajal, S. (1996). A survey of injuries among Broadway performers: Types of injuries, treatments and perceptions of performers. *Medical Problems of Performing Artists*, 11(1): 15-19.

Fehlandt, A., y Micheli, L. (1993). Lumbar facet stress fracture in a ballet dancer. *Spine*, 18(16): 2537-2539.

Fiorini, G., y McCammond, D. (1976). Forces on lumbo-vertebral facets. *Annals of Biomedical Engineering*, 4: 354-363.

Flint, M., y Gudgell, J. (1965). Electromyographic study of abdominal muscular activity during exercise. *Research Quarterly* 36(1): 29-37.

Floyd, W., y Silver, P. (1950). Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *Journal of Anatomy*, 84:132-145.

Frankel, V., y Nordin, M. (1980). *Basic biomechanics of the skeletal system*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Garrick, J., y Requa, R. (1993). Ballet injuries: An analysis of epidemiology and financial outcome. *American Journal of Sports Medicine*, 21(4): 586590.

Gerbino, P., y Micheli, L. (1995). Back injuries in the young athlete. *Clinics in Sports Medicine*, 14(3): 571-590.

Godfrey, K, Kindig, L., y Windell, J. (1977). Electromyographic study of duration of muscle activity in sit-up variations. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 58:132-135.

Goldberg, B., y Bolardo, R. (1984). Profiling children for sports participation. *Clinics in Sports Medicine*, 3:153.

Grabiner, M. (1989). The vertebral column. En P. Rasech (ed.), *Kinesiology and applied anatomy* (pp. 169-192). Filadelfia: Lea & Febiger.

Grabiner, M., Koh, T., y Ghazawi, E. (1992). Decoupling of bilateral paraspinal excitation in subjects with low back pain. *Spine*, 17(10): 1219-1223.

Gracovetsky, S. Kary, M., Pitchen, I., Levy, S., Eng, B., y Said, R. (1989). The importance of pelvic tilt in reducing compressive stress in the spine during flexion-extension exercises. *Spine*, 14(4): 412-416.

Granhed, H., y Morelli, B. (1988). Low back pain among retired wrestlers and heavyweight lifters. *American Journal of Sports Medicine*, 16(5): 530-533.

Graves, J., Pollock, M., Carpenter, D., Leggett, S., Jones, A., MacMillan, M., y Fulton, M. (1990). Quantitative assessment of full range-of-motion isometric lumbar extension strength. *Spine*, 15: 289-294.

Graves, S., Pollock, M., Leggett, S., Carpenter, D., Fix, C., y Fulton, M. (1990). Nonspecificity of limited range-of-motion lumbar extension strength training (abstract). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2 Supl.): S19.

Grieve, D. (1975). The dynamics of lifting. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 5:157-179.

Grillner, S., Nilsson, J., y Thorstensson, A. ,1978). Intraabdominal pressure changes during natural movements in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103: 275-283.

Guimaraes, A., Vaz, M., Campos, M., y Marantes, R. (1991). The contribution of the rectus abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(2): 222-230.

Gutin, B., y Lipetz, S. (1971). An electromyographic investigation of the rectus abdominis in abdominal exercises. *Research Quarterly* 42(3): 256-263.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hall, S., Lee, J., y Wood, T. (1990). Evaluation of selected sit-up variations for the individual with low back pain. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4(2): 42-46.

Hall, S., y Lindoo, J. (1985). Torque and myoelectric activity in the lumbar region during selected aerobic dance exercise. Presented at the 32nd annual ACSM meeting, Nashville.

Hall-Craggs, E.C.B. (1985). Anatomy as a basis for clinical medicine. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

Halpern, A., y Block, E. (1979). Sit-up exercises: An electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 145: 172-178.

Hamill, J., y Knutzen, K. M. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, L., Hamilton, W., Warren, M., Keller, K., y Molnar, M. (1997). Factors contributing to the attrition rate in elite ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 131-138.

Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Boston: McGraw-Hill.

Harvey, J., y Tanner, S. (1991). Low back pain in young athletes: A practical approach. *Sports Medicine*, 12(6): 394-406.

Hay, J., y Reid, J. (1982). *The anatomical and mechanical bases of human motion*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Herman, J., Pizzutillo, P., y Cavalier, K. (2003). Spondylolysis and spondylolisthesis in the child and adolescent athlete. *Orthopedic Clinics of North America*, 34(3): 461-467.

Hides, J., Stokes, M., Saide, M., Jull, G., y Cooper, D. (1994). Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine*, 19(2): 165-172.

Hodges, P. (2003). Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthopedic Clinics of North America*, 34(2): 245-254.

Hodges, P., y Richardson, C. (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. *Spine*, 21(22): 2640-2650.

Hodges, P., y Richardson, C. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 77(2): 132-144.

Hutton, W., Cryon, B., y Stott, J. (1979). The compressive strength of lumbar vertebrae. *Journal of Anatomy*, 129(4): 753-758.

Imamura, K., Ashida, H., Ishikawa, T., y Fujii, M. (1983). Human major psoas muscle and sacrospinalis muscle in relation to age: A study by computed tomography. *Journal of Gerontology*, 38(6): 678-681.

Ireland, M., y Micheli, L. (1987). Bilateral stress fracture of the lumbar pedicles in a ballet dancer. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 69A(1): 140-142.

Jeong, G. K., y Errico, T. J. (2002). Spinal deformity update: The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis. *Medscape Orthopaedics and Sports Medicine*, 6(2). www.medscape.com/viewarticle/445056.

Kelley, D. (1982). Exercise prescription and the kinesiological imperative. *Journal of Health, Physical Education, Recreation and Dance*, 53(1)18-20.

Kelsey, J., White, A., Pastides, H., y Bisbee, G. (1979). The impact of musculoskeletal disorders on the population of the United States. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 61A: 959-964.

Kendall, F., McCreary, E., y Provance, P. (1993). *Muscles: Testing and function*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Klausen, K., Nielsen, B., y Madsen, L. (1981). Form and function of the spine in young males with and without "back troubles." En A. Morecki, K. Fidelus, K. Kedzior, y A. Wit (eds.), *Biomechanics VII-A. Proceedings of the Seventh International Congress of Biomechanics*, Varsovia, Polonia (pp. 174-180). Baltiutore: University Park Press.

Kollmitzer, J., Ebenbichler, G., Sabo, A., Kerschan, K., y Bochdansky, T. (2000). Effects of back extensor strength training versus balance training on postural control. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 32(10): 1770-1776.

Kotani, P., Ichikawa, N., Wakabayashi, W., Yoshii, T., y Koshimune, M. (1970). Studies of spondylolysis found among weight-lifters. *British Journal of Sports Medicine*, 6: 48.

Kreighbaum, F., y Barthels, K.M. (1996). Biomechanics: A qualita tive approach for studying human movement. 4.ª ed. Boston: Allyn & Bacon.

Kujala, U., Taimela, S., Erkintalo, M., Salminen, J., y Kaprio, J. (1996). Low-back pain in adolescent athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(2): 165-170.

Kumar, S., y Davis, P. (1978). Interrelationship of physiological and biomechanical parameters during stoop lifting. En F. Landry and W. Orban (eds.), *Biomechanics of sports and kinanthropometry*. Miami: Symposium Specialists Inc.

LaBan, M., Raptou, A., y Johnson, E. (1966). Electromyographic study of function of iliopsoas muscle. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Oct.: 676-679.

LaFreniere, J. (1985). *The low-back patient: Procedures for treatment by physical therapy*. Nueva York: Masson.

Lange, C., Unnithan, V., Larkam, E., y Latta, P. (2000). Maximizing the benefits of Pilates-inspired exercise for learning functional motor skills. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 4(2): 99-108.

Laskowski, F., Newcomer-Aney, K., y Smith, J. (1997). Referring rehabilitation with proprioception training: Expediting return to play. *The Physician and Sportsmedicine*, 25(10): 89-102.

Levangie, P., y Norkin, C. (2001). *Joint structure and function*. Filadelfia: Davis.

Liederbach, M. (2000). General considerations for guiding dance injury rehabilitation. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(2): 54-65.

Liederbach, M., Spivak, J., y Rose, D. (1997). Scoliosis in dancers: A method of assessment in quick-screen settings. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(3): 107-112.

Lipetz, S., y Gutin, B. (1970). An electromyographic study of four abdominal exercises. *Medicine and Science in Sports*, 2(1): 35-38.

Livanelioglu, A., Otman, S., Yakut, Y., y Uygur, F. (1998). The effects of classical ballet training on the lumbar region. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(2): 52-55.

Liyang, D., Yinkan, X., Wenming, Z., y Zhihua, Z. (1989). The effect of flexion-extension motion of the lumbar spine on the capacity of the spinal canal. *Spine*, 14(5): 523-525.

Magee, D. (1997). *Orthopedic physical assessment*. Filadelfia: W. B. Saunders.

McGill, S. (2001). Low back stability: From formal description to issues for performance and rehabilitation. *Exercise and Sport Sciences Review*, 29: 26.

McKenzie, R. (1981). *The lumbar spine: Mechanical diagnosis and therapy*. Upper Hunt, Nueva Zelanda: Wright and Carman Limited.

McMeeken, J., Tully, E., Nattrass, C., y Stillman, B. (2002). The effect of spinal and pelvic posture and mobility on back pain in young dancers and non-dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 6(5): 79-85.

Mercier, L. (1995). *Practical orthopedics*. St. Louis: Mosby.

Michele, A. (1960). The iliopsoas muscle: Its importance in disorders of the hip and spine. *Clinical Symposia*, 12(3): 67-101.

Micheli, L. (1983). Back injuries in dancers. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 473-484.

Micheli, L. (1988). Dance injuries: The back, hip, and pelvis. En P. Clarkson and M. Skrinar (eds.), *Science of dance training* (pp. 193-207). Champaign, IL: Human Kinetics.

Micheli, L., Solomon, R, Solomon, J., y Gerbino, P. (1999). Low back pain in dancers. *Medscape General Medicine*, 1(3). www.medscape.com/viewarticle/408509.

Micheli, L., y Wood, R. (1995). Back pain in young athletes. *Archives of Pediatric and Adolescent Medicine*, 149(1): 5-8.

Miller, M., y Medeiros, J. (1987). Recruitment of internal oblique and transversus abdominis muscles during the eccentric phase of the curl-up exercise. *Physical Therapy*, 67(8): 1213-1217.

Moeller, J., y Rifat, S. (2001). Spondylolysis in active adolescents: Expediting return to play. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(12): 27-32.

Mohan, A. L., y Das, K. (2003). History of surgery for the correction of spinal deformity. *Journal of Neurosurgery*, 14(1): 1-5.

Molnar, M., y Esterson, J. (1997). Screening students in a pre-professional ballet school. *Journal o fDance Medicine and Science*, 1(3): 118-121.

Mooney, V., Gulick, J., y Pozos, R. (2000). A preliminary report on the effect of measured strength training in adolescent idiopathic scoliosis (abstract). *Journal of Spinal Disorders*, 13(2): 102-107.

Moore, K., y Agur, A. (1995). *Essential clinical anatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Moore, K. y Dalley, A. (1999). *Clinically oriented anatomy*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Morris, J., Lucas, D., y Bresler, B. (1961). Role of the trunk in stability of the spine. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 43A: 327-351.

Mutoh, Y. (1978). Low back pain in butterfliers. *Swimming Medicine*, IV: 115-123.

Myklebust, J., Pintar, F., Yoganandan, N., Cusick., J., Maiman, D., Myers, T., y Sances, A. (1988). Tensile strength of spinal ligaments. *Spine*, 13(5): 526-531.

Nachemson, A. (1966). Electromyographic studies on the vertebral portion of the psoas muscle. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 37:177-190.

Nachemson, A. (1981). Disc pressure measurements. *Spine*, 6(1): 93-97.

Nachemson, A., and Morris, J. (1964). In vivo measurements of intradiscal pressure. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 46A: 1077-1092.

Napier, J. (1967). The antiquity of human walking. *Scientific American*, Abril: 216-256.

Nault, M., Allard, P., Hinse, S., LeBlanc, R., Caron, O., y Sadeghi, H. (2002). Relations between standing stability and body posture parameters in a scoliosis. *Spine*, 27(17): 1911-1917.

Ng, J., Kippers, V., Parnianpour, M., y Richardson, K. (2002). EMG activity normalization for trunk muscles in subjects with and without back pain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(7): 1082-1086.

Nixon, J. (1983). Injuries to the neck and upper extremities of dancers. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 459-472.

Ohlen, G., Wredmark, T., y Spangfort, E. (1989). Spinal sagittal configuration and mobility related to low-back pain in the female gymnast. *Spine*, 14: 847-850.

Omey, M. L., Micheli, L. J., y Gerbino, P. G. (2000). Idiopathic scoliosis and spondylolysis in the female athlete. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 372: 74-84.

Ortengren, R., y Andersson, G. (1977). Electromyographic studies of trunk muscles, with special reference to the functional anatomy of the lumbar spine. *Spine*, 2(1): 44-52.

Palmer, L., y Epler, M. (1990). *Clinical assessment procedures in physical therapy*. Filadelfia: Lippincott.

Panjabi, M., Abumi K., Duranceau, J., y Oxland, T. (1989). Spinal stability and intersegmental muscle forces. A bio-mechanical model. *Spine*, 14(2): 194-199.

Panjabi, M., Tech, D., y White III, A. (1980). Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery*, 7(1): 76-93.

Parnianpour, M., Nordin, M., Kahanovitz, N., y Frankel, V. (1988). The triaxial coupling of torque generation of trunk muscles during isometric exertions and the effect of fatiguing isoinertial movements on the motor output and movement patterns. *Spine*, 13(9): 982-992.

Pauly, J. (1966). An electromyographic analysis of certain movements and exercises. Some deep muscles of the back. *Anatomy Record*, 155: 223-234.

Pitt-Brooke, J. (1998). *Rehabilitation of movement*. Filadelfia: Saunders.

Plowman, S. (1992). Physical activity, physical fitness, and low back pain. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 20: 221-242.

Pollock, M., Leggett, S., Graves, J., Jones, A., Fulton, M., y Cirulli, J. (1989). Effect of resistance training on lumbar extensor strength. *American Journal of Sports Medicine*, 17(5): 624-629.

Porter, R., Adams, M., y Hutton, W. (1989). Physical activity and the strength of the lumbar spine. *Spine*, 14(2): 201-203.

Quinney, H., Smith, D., y Wenger, H. (1984). A field test for the assessment of abdominal muscular endurance in professional ice hockey players. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 6: 30-33.

Quirk, R. (1983). Ballet injuries: The Australian experience. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 507-514.

Ramel, E., Moritz., U., y Jarnlo, G. (1999). Recurrent musculoskeletal pain in professional ballet dancers in Sweden: A six-year follow-up. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(3): 93-101.

Rasch, P., y Burke, R. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Ricci, B., Marchetti, M., y Figura, F. (1981). Biomechanics of sit-up exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13(1): 54-59.

Richardson, C., Hodges, P., y Hides, J. (2004). *Therapeutic exercise for lumbopelvic stabilization*. Nueva York: Churchill Livingstone.

Robertson, L., Cunningham, M., Changsut, R., Himmelsbach, J., y Koenig, P. (1988). Statistical and practical issues affecting the acceptability of timed and untimed conditions for a new abdominal fitness test. *Journal of Human Movement Studies*, 14: 255-268.

Rovere, G., Webb, L., Cristina, A., y Vogel, J. (1983). Musculoskeletal injuries in theatrical dance students. *American Journal of Sports Medicine*, 11(4): 195-198.

Roy, S., DeLuca, C., y Casavant, D. (1989). Lumbar muscle fatigue and chronic lower back pain. *Spine*, 14(9): 992-1001.

Roy, S., y Irvin, R. (1983) *Sports medicine: Prevention, evaluation, management, and rehabilitation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Saal, A. (1988a). Rehabilitation of football players with lumbar spine injury (parte 1 de 2). *The Physician and Sportsmedicine*, 16(9): 61-67.

Saal, J. (1988b). Rehabilitation of football players with lumbar spine injury (parte 2 de 2). *The Physician and Sportsmedicine*, 16(10): 117-123.

Salter-Pedersen, M., y Wilmerding, V. (1998). Injury profiles of student and professional flamenco dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(3): 108-114.

Sammarco, J. (1984). Diagnosis and treatment in dancers. *Clinical Orthopaedict and Related Research*, 187 (Julio/Agosto): 176-187.

Sarti, M., Monfort, M., Fuster, M., y Villaplana, L. (1996). Muscle activity in upper and lower rectus abdominis during abdominal exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77:1293-1297.

Schnebel, B., Simmons, J., Chowning, J., y Davidson, R. (1988). A digitizing technique for the study of movement of intradiscal dye in response to flexion and extension of the lumbar spine. *Spine*, 13(3): 309-312.

Schnebel, B., Watkins, R., y Dillin, W. (1989). The role of spinal flexion and extension in changing nerve root compression in disc herniations. *Spine*, 14(8): 835-837.

Seitsalo, S., Antila, H., Karminahn, T., Rishimaki, H., Schlenzka, D., Osterman, K., y Ahonen, J. (1997). Spondylolysis in ballet dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(2): 51-54.

Sheffield, F. (1962). Electromyographic study of the abdominal muscles in walking and other movements. *American Journal of Physical Medicine*, 41(4): 142-147.

Smidt, G., Blanpied, P., y White, R. (1989). Exploration of mechanical and electromyographic responses of trunk muscles to high-intensity resistive exercise. *Spine*, 14(8): 815-830.

Smidt, G., Herring, T., Amundsen, L., Rogers, M., Russell, A., y Lehmann, T. (1983). Assessment of abdominal and back extensor function: A quantitative approach and results for chronic low-back pain patients. *Spine*, 8: 211-219.

Smith, C. (1977). Physical management of muscular low back pain in the athlete. *CMA Journal*, 117: 632-635.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Soderberg, G. (1986). Kinesiology: Application to pathological motion. Baltimore: Williams & Wilkins.

Solomon, R., y Micheli, L. (1986). Technique as a consideration in modern dance injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 14(8): 83-90.

Sparling, P. (1997). Field testing for abdominal muscular fitness. ACM's Health and Fitness Journal 1(4): 30-33.

Stanforth, D., Stanforth, P., Hales, S., y Phillips, A. (1998). A 10-week training study comparing resistaball and traditional trunk training. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 134-140.

Stanish, W. (1979). Low back pain in middle-aged athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 7(6): 367-369.

Stanitski, C. (1982). Low back pain in young athletes. *The Physician and Sportsmedicine*, 10(10): 77-91.

Suzuki, N., y Endo, S. (1983). A quantitative study of trunk muscle strength and fatigability in the low-back pain syndrome. *Spine*, 8(1): 69-74.

Sward, L. (1992). The thoracolumbar spine in young elite athletes. Current concepts on the effects of physical training. *Sports Medicine*, 13: 357-364.

Sward, L., Hellstrom, M., Jacobsson, B., Hyman, R. y Peterson, L. (1991). Disc degeneration and associated abnormalities of the spine in elite gymnasts: A magnetic resonance imaging study. *Spine*, 16: 437-443.

Taft, E., y Francis, R. (2003). Evaluation and management of scoliosis. *Journal of Pediatric Health Care*, 17(1): 42-44.

Trepman, E., Gellman, R., Solomon, R., Murthy, K. R., Michels, L. J., y DeLuca, C. J. (1994). Electromyographic analysis of standing posture and demiplié in ballet and modern dancers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6): 771-782.

Trepman, E., Walaszek, A., y Micheli, L. (1990). Spinal problems in the dancer. En R. Solomon, S. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 103-131). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Troup, J. (1970). The risk of weight training and weight lifting in young people. *British Journal of Sports Medicine*, 5(1): 27-33.

Wallmann, H. (1998). Low back pain: Is it really all behind you? *ACSM's Health and Fitness Journal*, 2(5): 30-33.

Warren, M., Brooks-Gunn, J., Hamilton, L., Warren, F., y Hamilton, W. (1986). Scoliosis and fractures in young ballet dancers. *New England Journal of Medicine*, 314(21): 1348-1353.

Watson, A. (1995). Sports injuries in footballers related to defects of posture and body mechanics. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(4): 289-293.

Weiker, G. (1982). The dancer's spine. *Emergency Medicine*, 14(10): 28-32.

Welsh, T., Jones, G., Locker, K., y Weaver, B. (1998). Back strengthening for dancers: A within-subject experimental analysis. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 141-148.

White III, A., y Panjabi, M. (1978). *Clinical biomechanics of the spine*. Filadelfia: Lippincott.

Whiting, W., y Zernicke, R. (1998). *Biomechanics of musculoskeletal injury*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Wolf, S., Basmajian, J., Russe, T., y Kutner, M. (1979). Normative data on low back mobility and activity levels. *American Journal of Physical Medicine*, 58(5): 217-229.

Woodhull, A., Maltrud, K., y Mello, B. (1985). Alignment of the human body in standing. *European Journal of Applied Physiology*, 54:109-115.

Woodhull-McNeal, A., Clarkson, P., James, R., Watkins, A., y Barrett, S. (1990). How linear is dancers' posture? *Medical Problems of Performing Artists*, 5(4): 151-154.

## Capítulo 4

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). *Joint motion: Method of measuring and recording*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Barclay, L., y Vega, C. (2004). Exercise improves pelvic girdle pain after pregnancy. *Medscape Medical News*, www.medscape.com/viewarticle/470431.

Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive–Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Bauman, P., Singson, R., y Hamilton, W. (1994). Femoral neck anteversion in ballerinas. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 302: 57-63.

Bechtel, R. (2001). Physical characteristics of the axial interosseous ligament of the human sacroiliac joint. *The Spine Journal*, 1: 255-259.

Best, T., y Garrett, W. (1996). Hamstring strains: Expediting return to play. *The Physician and Sportsmedicine*, 24(6): 37-44.

Bronner, S., Brownstein, B., Worthen, L., y Ames, S. (2000). Skill acquisition and mastery in performance of a complex dance movement (abstract). *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(4): 139.

Brown, T., y Micheli, L. (1998). Where artistry meets injury. *Biomechanics*, 5(9): 12-25.

Browning, K. (2001). Hip and pelvis injuries in runners. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(1): 23-34.

Burkett, L. N. (1970). Causative factors in hamstring strains. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2: 39-42.

Caillet, R. (1996). *Soft tissue pain and disability*. Filadelfia: Davis.

Chen, Y., Fredericson, M., y Smuck, M. (2002). Sacroiliac joint pain syndrome in active patients. *The Physician and Sportsmedicine*, 30(11): 30-37.

Cheng, J., y Song, J. (2003). Anatomy of the sacrum. *Neurosurgery Focus*, 15(2): 1-4.

Clarkson, H. M., y Gilewich, G. B. (1989). *Musculoskeletal assessment: Joint range of motion and manual muscle strength*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Clement, D., Ammann, W., Taunton, J., Lloyd-Smith, R., Jesperson, D., McKay, H., Goldring, J., y Matheson, G. (1993). Exercise-induced stress injuries to the femur. *International Journal of Sports Medicine*, 14(6): 347-352.

Clippinger-Robertson, K. (1984). Incidence and etiology of patellofemoral complaints in dancers. Submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of master of science in physical education. Department of Kinesiology, University of Washington, Seattle.

Clippinger-Robertson, K. (1991). Flexibility in different level female ballet dancers. Presented at the International Association of Dance Medicine and Science annual meeting,. Baltimore, June 23.

Clippinger-Robertson, K. S., Hutton, R. S., Miller, D. I., y Nichols, T. R. (1986). Mechanical and anatomical factors relating to the incidence and etiology of patellofemoral pain in dancers. En C. Shell (ed.), *The dancer as athlete: The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings* (vol. 8, pp. 53-72). Champaign, IL: Human Kinetics.

Colliton, J. (1999). Managing back pain during pregnancy. Medscape General Medicine, 1(2). www.medscape.com/viewarticle/408838.

Desiderio, V. (1988). Hamstring injuries. En P. Taylor y D. Taylor (eds.), *Conquering athletic injuries* (pp. 144-145). Champaign, IL: Leisure Press.

DiTullio, M., Wilczek, L., Paulus, D., Kiriakatis, A., Pollack, M., y Eisenhardt, J. (1989). Comparison of hip rotation in female classical ballet dancer's versus female nondancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 4(4): 154-158.

DonTigny, R. (1990). Anterior dysfunction of the sacroiliac joint as a major factor in the etiology of idiopathic law back pain syndrome. *Physical Therapy*, 7(1(4): 250-265.

Doeman, P. (1971). A report of 140 hamstring injuries. *Australian Journal of sports Medicine*, 4: 30-36.

Dujardin, F., Roussignol, N., Hossenbaccus, M., y Thomine, J. (2002). Experimental study of the sacroiliac joint micro-motion in pelvic disruption. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 16(2): 99-103.

Ekstrand, J., y Gilliquist, J. (1982). The frequency, of muscle tightness and injuries in soccer players. *American Journal of Sports Medicine*, 10(2): 75-78.

Emery, C., y Meeuwisse, W. (2001). Risk factors for groin injuries in hockey. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(9): 1423-1432.

Estwanik, J., Sloane, B., y Rosenberg, M. (1990). Groin strain and other possible causes of groin pain. *The Physician and SportsMedicine*, 18(2): 54-65.

Frankel, V., y Nordin, M. (1980). *Basic biomechanics of the skeletal system*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Fredericson, M., Guillet, M., y DeBenedictis, L. (2000). Quick solutions for illotibial band syndrome. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(2): 169-175.

Garrett, W., Califf J., y Bassett III, F. (1984). Histochemical correlates of hamstring injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 12: 98-103.

Garrick, J., y Requa, R. (1993). Ballet injuries: An analysis of epidemiology and financial outcome. *American Journal of Sports Medicine*. 21 (4): 586-590.

Garrick, J., y Requa, R. (1994). Turnout and training in ballet. *Medical Problems of Performing Artists*, Junio: 43-49.

Gerhardt, J., y Rippstein, J. (1990). *Measuring and recording of joint motion: Instrumentation and techniques*. Toronto: Hofgrefe & Huber.

Godge, J., Varnum, D., y Sanders, K. (2002). Impairment-based examination and disability management of an elderly woman with sacroiliac region pain. *Physical Therapy*, 82: 812-821.

Grossman, G., y Wilmerding, V. (2000). The effect of conditioning on the height of dancer's extension in a la seconde. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(4): 117-121.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hamill, J., y Knutzen, K. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, L., Hamilton, W., Warren, M., Keller, K., y Molnar, M. (1997). Factors contributing to the attrition rate in elite ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 131-138.

Hamilton, W., Hamilton, L., Marshall, P., y Molnar, M. (1992). A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 20(3): 267-273.

Harper, M., Schaberg, J., y Allen, W. (1987). Primary iliopsoas bursography in the diagnosis of disorders of the hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 221: 238-241.

Honorio, B., Katz ,J., Benzon, H., y Iqbal, M. (2003). Piriformis syndrome: Anatomic considerations, a new injection technique, and a review of the literature. *Anesthesiology*, 98(6): 1442-1448.

Hooper, A. C. B. (1977). The role of the iliospsoas muscle in femoral rotation. *Irish Journal of Medical Science*, 146(4): 108-112.

Jacobson, T., y Allen, W. (1990). Surgical correction of the snapping iliopsoas tendon. *American Journal of Sports Medicine*, 18(5): 470-474.

Jonhagen, S., Nemeth, G., y Eriksson, E. (1994). Hamstring injuries in sprinters: The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility: *American Journal of Sports Medicine*, 22(2): 262-266.

Kagan II, A. (1999). Rotator cuff tears of the hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 368:135-140.

Kendall, F. P., McCreary,. E. K., y Provance, P. G. (1993). *Muscles: Testing and function*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Khan, K., Brown, J., Way, S., Vass, N., Crichton, K., Alexander, R., Baxter, A., Butler, M., y Wark, J. (1995). Overuse injuries in classical ballet. *Sports Medicine*, 19(5): 341-357.

Khan, K., Roberts, P., Nattrass, C., Bennell, K., Mayes, W., Way, S., Brown, J., McMeeken, J., y Wark, J. (1997). Hip and ankle range of motion in elite classical ballet dancers and controls. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 7:174-179.

Kreighbaum, E., y Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Boston: Allyn & Bacon.

Kushner, S., Sahoe, L., Reid, D., Penrose, T., y Grace, M. (1990). Relationship of turnout to hip abduction in professional ballet dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 18(3): 286-291.

Lacroix, V. (2000). A complete approach to groin pain. *The Physician and Sports medicine*, 28(1): 14-28.

Levangie, P., y Norkin, C. (2001) *Joint structure and function*. Filadelfia: F. A. Davis.

Lieberman, G., y Harwin, S. (1997). Pelvis, hip and thigh. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp.306-335). St. Louis: Mosby.

Liemohn, W. (1978). Factors related to hamstring strains. *American Journal of Sports Medicine*, 18: 71-76.

Luke, A., y Micheli, L. (2000). Management of injuries in the young dancer. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(1): 6-15.

Marshall, W., y Waddell, D. (2000). Nonoperative management of osteoarthritis of the knee. From a special report: Osteoarthritis of the knee. www.physsportsmed.com/asr/knee/marshall.htm.

Mellin, G. (1988). Correlations of hip mobility with degree of back pain and lumbar spinal mobility in chronic lose-back pain patients. *Spine*, 13(6): 668-670.

Mercier, L. R. (1995). *Practical orthopedics*. 4.ª ed. St. Louis: Mosby.

Michelle, A. (1960). The iliopsoas muscle. *Clinical Symposia*, 12(3): 67-101.

Mierau, D., Cassidy, J., y Yong-Hing, K. (1989). Low-back pain and straight leg raising in children and adolescents. *Spine*, 14(5): 526-528.

Miller, E., Schneider, H., Bronson, J., y McLain, D. (1975). A new consideration in athletic injuries: The classical ballet dancer. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 111: 181-191.

Moore, K., y Dalley, A. (1999). *Clinically oriented anatomy*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Palmer, M. L., y Epler, M. E. (1990). *Clinical assessment procedures in physical therapy*. Filadelfia: Lippincott.

Papadopoulos, E., y Khan, S. (2004). Piriformis syndrome and low back pain: A new classification and review of the literature. *Orthopedic Clinics of North America*, 35(1): 65-71.

Quirk, R. (1983). Ballet injuries: The Australian experience. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 507-514.

Rasch, P. J. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*, Filadelfia: Lea & Febiger.

Rasch, P. J., y Burke, R. K. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. 6.ª ed. Filadelfia: Lea & Febiger.

Reid, D. C., Burnham, R. S., Saboe, L. A., y Kushner, S. F. (1987). Lower extremity flexibility patterns in classical ballet dancers and their correlation to lateral hip and knee injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 15(4): 347-351.

Rich, B., y McKeag, D. (1992). When sciatica is not disk disease. *The Physician and Sportsmedicine*, 20(10): 105-115.

Roy, S., e Irvin, R. (1983) *Sports medicine: Prevention, evaluation, management, and rehabilitation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Ruane, J., y Rossi, T. (1998). When groin pain is more than "just a strain": Navigating a broad differential. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(4): 78-103.

Safran, M., Garrett, W., Seaber, A., Glisson, R., y Ribbeck, B. (1988). The role of warmup in muscular injury prevention. *American Journal of Sports Medicine*, 16(2): 123-129.

Sammarco, J. (1983). The dancer's hip. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 485-498.

Sammarco, J. (1987). The dancer's hip. En A. Ryan y R. Stephens (eds.), *Dance medicine: A comprehensive guide* (pp. 220-242). Chicago: Pluribus Press.

Sayson, S., Ducey, J., Maybrey, J., Wesley, R., y Vermilion, D. (1994). Sciatic entrapment neuropathy associated with an anomalous piriformis muscle. *Pain*, 59: 149-152.

Schaberg, J., Harper, M., y Allen, W. (1984). The snapping hip syndrome. *American Journal of Sports Medicine*, 12(5): 361-365.

Schaffe, M., Requa, R., y Garrick, J. (1990). A comparison of patterns of injury in ballet, modern and aerobic dance. En R. Solomon, S. C. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 1-14). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Soderberg, G. (1986). *Kinesiology: Application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Solomon, R., y Micheli, L. (1986). Technique as a consideration in modern dance injuries. *The Physician and Sports medicine*, 14(8): 83-90.

Stone, D. (2001). Hip problems in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(1): 7-10.

Sturesson, B., Selvik, G., y Uden, A. (1989). Movements of the sacroiliac joints: A roentgen stereophotogrammetric analysis. *Spine*, 14(2): 162-165.

Taylor, D., Dalton, J., Seaber, A., y Garrett, W. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units: The biomechanical effects of stretching. *American Journal of Sports Medicine*, 18(3): 300-309.

Teitz, C. (2000). Hip and knee injuries in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(1): 23-29.

Thomasen, E. (1982). *Diseases and injuries of ballet dancers*. Arhus, Dinamarca: Universitetsforlaget.

Trepman, E., Gellman, R., Solomon, R., Murthy, K., Micheli, L., y DeLuca, C. (1994). Electromyographic analysis of standing posture and demi-plié in ballet and modern dancers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6): 771-782.

Tyler, T., Nicholas, S., Campbell, R., y McHugh, M. (2001). The association of hip strength and flexibility with the incidence of adductor muscle strains in professional ice hockey players. *American Journal of Sports Medicine*, 29: 124-128.

Warren, C., Lehmann, J., y Koblanski, J. (1971). Elongation of rat tail tendons: Effect of load and temperature. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 52: 465-474.

Warren, C., Lehmann, J., y Koblanski, J. (1976). Heat and stretch procedures: An evaluation using rat tail tendon. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 57: 122-126.

Welsh, T., Jones, G., Lucker, K., y Weaver, B. (1998). Back strengthening for dancers. A within-subject experimental analysis. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 141-148.

Wiesler, E., Hunter, D., Martin, D., Curl, W., y Hoen, H. (1996). Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6): 754-757.

Worrell, T. (1994). Factors associated with hamstring injuries: An approach to treatment and preventative measures. *Sports Medicine*, 17(5): 338-345.

Young, S., Aprill, C., y Laslett, M. (2003). Correlation of clinical examination characteristics with three sources of chronic low back pain. *The Spine Journal*, 3: 460-465.

## Capítulo 5

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). *Joint motion: Method of measuring and recording*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Barnes, M., Dip, T., Krasnow, D., Tupling, S., y Thomas, M. (2000). Knee rotation in classical dancers during the grand plié. *Medical Problems of Performing Artists*, 15:140-147.

Barrack, R., Skinner, H., y Buckley, S. (1989). Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *American Journal of Sports Medicine*, 17(1): 1-6.

Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive–Their actions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Bergfeld, A. (1982). The dancer's knee. *Emergency Medicine*, 14(10): 32-41.

Besier, T., Lloyd, D., Ackland, T., y Cochrane, J. (2001). Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(7): 1176-1181.

Besier, T., Lloyd, D., Cochrane, J., y Ackland, T. (2001). External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(7): 1168-1175.

Blazina, M., Kerlan, R., Jobe, F., Carter, V., y Carlson, G. (1973).Jumper's knee. *Orthopedic Clinics of North America*, 4(3): 665-678.

Boden, B., Griffin, L., y Garrett, W. (2000). Etiology and prevention of noncontact ACL injury. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(4): 53-60.

Brown, S. y Clippinger, K. (1996). Rehabilitation of anterior cruciate ligament insufficiency in a dancer using the clinical reformer and a balanced body exercise method. *Work*, 7: 109-114.

Butler, D., Noyes, F., y Grood, E. (1980). Ligamentous restraints to anterior-posterior drawer in the human knee. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 62: 259-270.

Caillet, R. (1996). *Soft tissue pain and disability*. Filadelfia: Davis.

Chmelar, R., Shultz, B., Ruhling, R., Fitt, S., y Johnson, M. (1988). Isokinematic characteristics of the knee in female, professional and university, ballet and modern dancers. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 9(12): 410–418.

Clippinger, K. (2002). Complementary use of open and closed kinetic chain exercises. *Journal of Dance Medicine and Science*, 6(3): 77-78.

Clippinger, K. (2005). Biomechanical considerations in turnout. En R. Solomon, J. Solomon, y S. C. Minton (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (2.ª ed., pp. 75-102). Champaign, IL: Human Kinetics.

Clippinger-Robertson, K. (1991). Flexibility among different levels of ballet dancers. Presented at the International Association of Dance Medicine and Science annual meeting, Baltimore, June 23.

Clippinger-Robertson, K. S., Hutton, R. S., Miller, D. I., y Nichols, T. R. (1986). Mechanical and anatomical factors relating to the incidence and etiology of patellofemoral pain in dancers. En C. Shell (ed.), *The dancer as athlete: The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings* (vol. 8, pp. 53-72). Champaign, IL: Human Kinetics.

Cook, J., Khan, K., Maffulli, N., Purdam, C., y Phty, D. (2000). Overuse tendinosis, not tendinitis, part 2: Applying the new approach to patellar tendinopathy. *The Physician and Sports medicine*, 28(6): 31-46.

Diluch, D., Scuderi, G., y Scott, W. (1997). Knee injuries. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 336-374). St. Louis: Mosby.

Dowson, D., and Wright, V. (1981). *An introduction to the biomechanics of joints and joint replacement*. Londres: Mechanical Engineering Publications.

Dye, S., y Vaupel, G. (2000). Functional anatomy of the knee: Bony geometry, static and dynamic restraints, sensory and motor innervation. En S. Lephart y F. Fu (eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 59-76). Champaign, IL: Human Kinetics.

Escamilla, R. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1): 127-141.

Escamilla, R., Francisco, A., Kayes, A., Speer, K., and Moorman, C. (2002). Electromyographic analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4): 682-688.

Evans, N., Chew, H., y Stanish, W. (2001). The natural history and tailored treatment of ACL injury. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(9): 19-34.

Evans, R. W., Evans, R. L., y Carvajal, S. (1998). A survey of injuries among Broadway performers: Types of injuries, treatments and perceptions of perceptions. *Medical Problems of Performing Artists*, 11(1): 15-19.

Ferland, G., Gardiner, L., y Lèbe-Néron, L. (1983). Analysis of the electromyographic profile of the rectus femoris and biceps femoris during the demi-plié in dance. Abstract of poster presentation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15:159.

Frankel, V., y Nordin, M. (1980). Basic biomechanics of the skeletal system. Filadelfia: Lea & Febiger.

Garrick, J. (1989). Anterior knee pain (chondromalacia patellae). *The Physician and Sportsmedicine*, 17(1): 75-84.

Garrick, J. (1999). Early identification of musculoskeletal complaints and injuries among female ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(2): 80-83.

Garrick, J., y Requa, R. (1993). Ballet injuries: An analysis of epidemiology and financial outcome. *American Journal of Sports Medicine*, 21(4): 586-590.

Garrick, J., y Requa, R. (1994). Turnout and training in dance. *Medical Problems of Performing Artists*, 9(2): 43-49.

Gillquist, J., y Messner, K. (1999). Anterior cruciate ligament reconstruction and the long term incidence of gonarthrosis. *Sports Medicine*, 27:143-156.

Grabiner, M., Koh, T., y Draganich, L. (1994). Neuromechanics of the patellofemoral joint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(1): 10-21.

Haffajee, D., Moritz, V., y Svantesson, G. (1972). Isometric knee extension strength as a function of joint angle, muscle length and motor unit activity. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 43:138-147.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hall-Craggs, E. C. B. (1985). Anatomy as a basis for clinical medicine. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

Hamill, J., y Knutzen, K. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, L., Hamilton, W., Warren, M., Keller, K., y Molnar, M. (1997). Factors contributing to the attrition rate in elite ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 131-138.

Hamilton, W., Hamilton, L., Marshall, P., y Molnar, M. (1992). A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 20(3): 267-273.

Hewett, T., Riccobene, J., Lindenfeld, T., y Noyes, F. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 27(6): 699-706.

Hopkins, J., Ingersoll, C., Krause, B., Edwards, J., y Cordova, M. (2001). Effect of knee joint effusion on quadriceps and soleus motoneuron pool excitability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1): 123-126.

Hungerford, D., y Barry, M. (1979). Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clinical Orthopaedics*, 144: 9-15.

Hurley, M., Jones, D., y Newbam, D. (1994). Arthrogenic quadriceps inhibition and rehabilitation of patients with extensive traumatic knee injuries. *Clinical Science*, 86: 305-310.

Insall, J., Bullough, P., y Burstein, A. (1979). Proximal "tube" realignment of the patella for chondromalacia patella. *Clinics in Orthopaedics and Related Research*, 144: 63-69.

Ireland, M. (2000). Proprioception and neuromuscular control related to the female athlete. En S. Lephart y F. Fu (eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 291-297). Champaign, IL: Human Kinetics.

Irrgang, J. (1993). Modern trends in anterior cruciate ligament rehabilitation: Nonoperative and postoperative management. *Clinics in Sports Medicine*, 12(4): 797-813.

Irrgang, J., y Neri, R. (2000). The rationale for open and closed kinematic chain activities for restoration of proprioception and neuromuscular control following injury. En S. Lephart y F. Fu (eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 363-374). Champaign, IL: Human Kinetics.

Jenkinson, D., y Bolin, D. (2001). Knee overuse injuries in dance. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(1): 16-20.

Kennedy, J., Alexander, I., y Hayes, K. (1982). Nerve supply of the human knee and the functional importance. *American Journal of Sports Medicine*, 10(6): 329-335.

Khan, K., Brown, J., Way, S., Vass, N., Crichton, K., Alexander, R., Baxter, A., Butler, M., y Wark, J. (1995). Overuse injuries in classical ballet. *Sports Medicine*, 19(5): 341-357.

Khan, K., Roberts, P., Nattrass, C., Bennell, K., Mayes, W., Way, S., Brown, J., McMeeken, J., y Wark, J. (1997). Hip and ankle range of motion in elite classical ballet dancers and controls. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 7:181-187.

Kirkendall, D., Bergfeld, J., Calabrese, L., Lombardo, J., Street, G., y Weiker, G. (1984). Isokinetic characteristics of ballet dancers and the response to a season of ballet training. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5(4): 207-211.

Koutedakis, Y., Agrawal, A., y Sharp, C. (1995). Isokinematic characteristics of knee flexors and extensors in male dancers, Olympic oarsmen, Olympic bobsleighers, and non-athletes. *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(2): 63-67.

Koutedakis, Y., Khaloula, M., Pacy, P., Murphy, M., y Dunhar, G. (1997). Thigh peak torques and lower-body injuries in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(1): 12-15.

Kreighbaum, E., y Barthels, K. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Boston: Allyn & Bacon.

Levangie, P., y Norkin, C. (2001) *Joint structure and function*. Filadelfia: Davis.

Lieb, F., y Perry, J. (1968). Quadriceps functions. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 50A: 1535-1538.

Liederbach, M., y Dilgen, F. (1998). A descriptive study of the mechanics and outcome of anterior cruciate ligament injuries in dancers (abstract) *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 153.

Lombard, W. P., y Abbott, F. M. (1907). The mechanical effects produced by the contraction of individual muscles of the thigh of the frog. *American Journal of Physiology*, 20:1-60.

Loosli, A., y Herold, D. (1992). Knee rehabilitation for dancers using a Pilates-based technique. *Kinesiology and Medicine for Dance*, 14(2): 1-12.

Luke, A., and Micheli, L. (2000). Management of injuries in the young dancer. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(1): 6-15.

Magee, D. (1997). *Orthopedic physical assessment*. Filadelfia: Saunders.

Mercier, L. R. (1995). *Practical orthopedics*. 4.ª ed. St. Louis: Mosby.

Micheli, L. (1987). The traction apophysitises. *Clinics in Sports Medicine*, 6(2): 389-404.

Molnar, M., y Esterson, J. (1997). Screening students in a pre-professional ballet school. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(3): 118-121.

Mostardi, R. (1986). Musculoskeletal and cardiopulmonary evaluation of professional ballet dancers. En C. Shell (ed.), The dancer as athlete: the 1984 Olympic Scientific Congress proceedings (vol. 8, pp. 101-107). Champaign, IL: Human Kinetics.

Mostardi, R., Porterfield, J., Greenberg, B., Goldberg, B., y Lea, M. (1983). Musculoskeletal and cardiopulmonary characteristics of the professional ballet dancer. *The Physician and Sportsmedicine*, 11(12): 53-61.

Palmer, L. P., y Epler, M. E. (1990). *Clinical assessment procedures in physical therapy*. Filadelfia: Lippincott.

Perrin, D., y Shultz, S. (2000). Models for clinical research involving proprioception and neuromuscular control. En S. Lephart y F. Fu (eds.), *Proprioception and neuromuscular control in joint stability* (pp. 349-362). Champaign, IL: Human Kinetics.

Perry, J., Antonelli, D., y Ford, W. (1975). Analysis of knee-joint forces during flexed knee stance. Journal of Bone and Joint Surgery, 57A(7): 961-967.

Poggini, L., Losasso, S., y Iannone, S. (1999). Injuries during the dancer's growth spurt: Etiology, prevention, and treatment. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(2): 73-79.

Powers, C., Shellock, F., Beering, T., Garrido, D., Goldbach, R., y Molnar, T. (1999). Effect of bracing on patellar kinematics in patients with patellofemotal joint pain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(12): 1714-1720.

Quirk, R. (1983). Ballet injuries: The Australian experience. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 507-514.

Quirk, R. (1987). The dancer's knee. En A. Ryan y K. Stephens (eds.), *Dance medicine: A comprehensive guide* (pp. 177-219). Chicago: Pluribus Press.

Quirk, K. (1988). Knee injuries in classical dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, 3(2): 52-59.

Rasch, P. J. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Rasch, P., y Burke, R. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Reid, D. C. (1988). Prevention of hip and knee injuries in ballet dancers. *Sports Medicine*, 6(5): 295-307.

Reid, D. C. (1993). The myth, mystic, and frustration of anterior knee pain. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 3: 139-143.

Reid, D. C., Burnham, R S., Saboe, L. A., y Kushner, S. F. (1987). Lower extremity flexibility patterns in classical ballet dancers and their correlation to lateral hip and knee injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 15(4): 347-351.

Reider, B., Marshall, J., y Warren, R. (1981). Clinical characteristics of patellar disorders in young athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 9(4): 270-274.

Reilly, D. J., y Martens, M. (1972). Experimental analysis of the quadriceps muscle function and patellofemoral joint reaction force for various activities. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 43:126-137.

Rovere, G., Webb, L., Gristina, A., y Vogel, J. (1983). Musculoskeletal injuries in theatrical dance students. *American Journal of Sports Medicine*, 11(4): 195-198.

Roy, S., e Irvin, R. (1983). *Sports medicine: Prevention, evaluation, management, and rehabilitation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Schafle, M., Requa, R., y Garrick, J. (1990). A comparison of patterns of injury in ballet, modern and aerobic dance. En R. Solomon, S.C. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 1-14). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Scioscia, T., Giffin, J. R., y Fu, F. (2001). Knee ligament and meniscal injuries in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(1): 11-15.

Sheehan, F., y Drace, J. (1999). Quantitative MR measures of three-dimensional patellar kinematics as a research and diagnostic tool. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(10): 1399-1408.

Silver, D., y Campbell, P. (1985). Arthroscopic assessment and treatment of dancers knee injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 13(11): 74-82.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Philadelphia: Davis.

Soderberg, G. L. (1986). *Kinesiology: Application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Solomon, R., y Micheli, L. (1986). Technique as a consideration in modern dance injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 14(8): 83-90.

Stanitski, C. (1993). Combating overuse injuries: A focus on children and adolescents. *The Physician and Sportsmedicine*, 21(1):87-106.

Suter, E., y Herzog, W. (2000). Does muscle inhibition after knee injury increase the risk of osteoarthritis? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(1): 15-18.

Teitz, C. (1990). Knee problems in dancers. En E. Solomon, S. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 39-73). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Thomasen, E. (1982). *Diseases and injuries of ballet dancers*. Aarhus, Dinamarca: Universitetsforlaget.

Trepman, E., Gellman, R., Solomon, R., Murthy, K., Micheli, L., y DeLuca, C. (1994). Electromyographic analysis of standing posture and demi-plie in ballet and modern dancers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6): 771-782.

Urbach, D., Nebelung, W., Weiler, H., y Awiszus, F. (1999). Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(12): 1691-1696.

Welker, G. (1988). Dance injuries: The knee, ankle, and foot. En P. Clarkson y M. Skrinar (eds.), *Science of dance training* (pp. 147-192). Champaign, IL: Human Kinetics.

Wiesler, E., Hunter, D., Martin, D., Curl, W., y Hoen, H. (1996). Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6): 754-757.

Williams, J. (1974). Vastus medialis re-education in the management of chondromalacia patella. *Medical Aspects of Sports*, 16:19-24.

Winslow, J., y Yoder, E. (1995). Patellofemoral pain in female ballet dancers: Correlation with iliotibial band tightness and tibial external rotation. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22(1): 18-21.

Wittenbecker, N., y DeNitto, L. (1989). Successful treatment of patellofemoral dysfunction in a dancer. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 10(7): 270-273.

Woethen, L., Patten, C., y Hamill, J. (1998). A kinematic analysis of internal external rotation at the knee joint during two ballet movements (abstract). *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 153.

## Capítulo 6

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). *Joint motion: Method of measuring and recording*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.

Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive–Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Baxter, D. (1994). Treatment of bunion deformity in the athlete. *Orthopedic Clinics of North America*, 25(1): 33-39.

Blackman, P. (2000). A review of chronic exertional compartment syndrome in the lower leg. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3 Supl.): 54-510.

Bolin, D. (2001). Evaluation and management of stress fractures in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(2): 37-42.

Brodsky, A., yd Knalil, M. (1986). Talar compression syndrome. *American Journal of Sports Medicine*, 14(6): 472-476.

Brown, S. E., y Clippinger, K. (1996). Rehabilitation of anterior cruciate ligament insufficiency in a dancer using the clinical reformer and a balanced body exercise method. *Work*, 7:109-114.

Bruknер, P. (2000). Exercise-related lower leg pain: An overview. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3 Supl.): 51-53.

Bruknер, P., Bradshaw, C., y Bennell, K. (1998). Managing common stress fractures: Let risk level guide treatment. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(8): 39-47.

Bruknер, P., Bradshaw, C., Kahn, K., White, S., y Crossley, K. (1996). Stress fractures: A review of 180 cases. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 6(2): 86-89.

Bryk, E., y Grantham, A. (1983). Shin splints: A chronic deep posterior ischemic compartmental syndrome of the leg? *Orthopaedic Review*, 12(4): 29-40.

Burr, D. (1997). Bone, exercise, and stress fractures. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 25:171-194.

Burton, P., y Amaker, B. (1994). Stress fracture of the great toe sesamoid in a ballerina: MRI appearance. *Pediatric Radiology*, 24: 37-38.

Clippinger-Robertson, K. (1991). Flexibility in different level female ballet dancers. Presented at the International Association of Dance Medicine and Science annual meeting, Baltimore, June 23.

Conti, S., y Wong, Y (2001). Foot and ankle injuries in the dancer. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(2): 43-50.

Couture, C., y Karlson, K. (2002). Tibial stress injuries: Decisive diagnosis and treatment of "shin splints." *The Physician and Sportsmedicine*, 30(6): 29-36.

Cross, J., Crichton, K. Gordon, H., y Mackie, I. (1988). Peroneus brevis rupture in the absence of the peroneus longus muscle and tendon in a classical ballet dancer: A case report. *American Journal of Sports Medicine*, 16(6): 677-678.

Devita, P., y Skelly, W. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1): 108-115.

DiFiori, J. (1999). Stress fracture of the proximal fibula in a young soccer player: A case report and a review of the literature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7): 926-928.

Drez, D., Young, J., Johnston, R., y Parker, W. (1980). Metatarsal stress fractures. *American Journal of Sports Medicine*, 8(2): 123-125.

Dufek, J., y Bates, B. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3): 370-377.

Dyal, C., y Thompson, F. (1997). The foot and ankle. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 386-412). St. Louis: Mosby.

Eils, E., y Rosenbaum, D. (2001). A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12): 1991-1998.

Ende, L., y Wickstrom, J. (1982). Ballet injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 10(7): 101-118.

Femino, J., Trepman, E., Chisholm, K., y Razzano, L. (2000). The role of the flexor hallucis longus and peroneus longus in the stabilization of the ballet foot. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(3): 86-89.

Fernández-Palazzi, F., Rivas, S., y Mujica, P. (1990). Achilles tendinitis in ballet dancers. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 257 (Agosto): 257-261.

Fiolkowski, P., y Bauer, J. (1997). The effects of different dance surfaces on plantar pressures. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(2): 62-66.

Fitt, S. (1990). Strengthening and stretching the muscles of the ankle and tarsus to prevent common dance injuries. En R. Solomon, S.C. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 223-259). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Fond, D. (1983). Flexor hallucis longus tendinitis–a case of mistaken identity and posterior impingement syndrome in dancers: Evaluation and management. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 5(4): 204-206.

Frankel, V., y Nordin, M. (1980). *Basic biomechanics of the skeletal system*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Frey, C., y Shereff, M. (1988). Tendon injuries about the ankle in athletes. *Clinics in Sports Medicine*, 7(1): 103-118.

Gans, A. (1985). The relationship of heel contact in ascent and descent from jumps to the incidence of shin splints in ballet dancers. *Physical Therapy*, 65(8): 1192-1196.

Garrick, J. (1999). Early identification of musculoskeletal complaints and injuries among female ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(2): 80-83.

Garrick, J., y Requa, R. (1988). The epidemiology of foot and ankle injuries in sports. *Clinics in Sports Medicine*, 7(1): 29-36.

Garrick, J., y Requa, R. (1997). The relationship between age and sex and ballet injuries. *Medical Problems of Performing Artists*, 12(3): 79-82.

Garth, W. (1981). Flexor hallucis tendinitis in a ballet dancer. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 63A(9): 1489.

Geary, S., y Kelly, M. (1997). The leg. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 376-385). St. Louis: Mosby.

Gehlsen, G., y Seger, A. (1980). Selected measures of angular displacement, strength, and flexibility in subjects with and without shin splints. *Research Quarterly*, 51(3): 478485.

Goodman, P., Heaslet, M., Pagliano, J., y Rubin, B. (1985). Stress fracture diagnosis by computer-assisted thermography. *The Physician and Sportsmedicine*, 13(4): 114-132.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hall-Craggs, E. C. B. (1985). *Anatomy as a basis for clinical medicine*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.

Hamill, J., y Knutzen, K. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, L., Hamilton, W., Warren, M., Keller, K., y Molnar, M. (1997). Factores contributing to the attrition rate in elite ballet students. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 131-138.

Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Boston: McGraw-Hill.

Hamilton, W. (1982). The dancer's ankle. *Emergency Medicine*, Mayo 30: 42-49.

Hamilton, W. (1988). Foot and ankle injuries in dancers. *Clinics in Sports Medicine*, 7(1): 143-173.

Hamilton, W. (1991). Orthopaedic aspects of dance medicine. En L. Michell, R. Solomon, y J. Solomon (eds.), *Soviet-American dance medicine: Proceedings of the 1990 Glasnost Dance Medicine Conference and Workshops* (pp. 16-20). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Hamilton, W., Geppert, M., y Thompson, F. (1996). Pain in the posterior aspect of the ankle in dancers. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 78A(10): 1491-1500.

Hamilton, W., Hamilton, L., Marshall, P., y Molnar, M. (1992). A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 20(3): 267-273.

Hardaker, W. (1989). Foot and ankle injuries in classical ballet dancers. *Orthopedic Clinics of North America*, 20(4): 621-627.

Hardaker, W., Colosimo, A., Malone, T., y Meyers, M. (1988). Ankle sprains in theatrical dancers. *Medical Problems of Performing Artists*, Dic.: 146-150.

Hardaker, W., y Moorman, C. (1986). Foot And ankle injuries in dance and athletics: Similarities and differences. En C. Shell (ed.), *The dancer as athlete: The 1984 Olympic Scientific Congress proceedings* (vol. 8, pp. 31-41). Champaign, IL: Human Kinetics.

Harrington, T., Crace, M., Crichton, K., Racog, D., y Anderson, I. (1993). Overuse ballet injury of the base of the second metatarsal: A diagnostic problem. *American Journal of Sports Medicine*, 21(4): 591-598.

Henderson, J., Brown, S., Price, S., y Darr, N. (1993). Foot pressures during a common ballet jump in standing and supine positions. *Medical Problems of Performing Artists*, 8(4): 126-131.

Hershman, E., y Mailly, T. (1990). Stress fractures. *Clinics in Sports Medicine*, 9(1): 183-214.

Hertel, J., Denegar, C., Monroe, M., y Stokes, W. (1999). Talocrural and subtalar joint instability after lateral ankle sprain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11): 1501-1508.

Hintermann, B. (1999). Biomechanics of the unstable ankle joint and clinical implications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S459-S469.

Hockenbury, R. (1999). Forefoot problems in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S448-S449.

Hockney, R. (1999). Forefoot problems in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S448-S458.

Howse, J. (1983). Disorders of the great toe in dancers. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 499-505.

Howse, J., y Hancock, S. (1988). *Dance technique and injury prevention*. Nueva York: Theatre Arts Books/Routledge.

Hughes, L. (1985). Biomechanical analysis of the foot and ankle for predisposition to developing stress fractures. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 7(3): 96-101.

Hutchinson, M., Cahoon, S., y Atkins, T. (1998). Chronic leg pain: Putting the diagnostic pieces together. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(7): 37-46.

Jorgensen, U. (1985). Achillodynia and loss of heel pad shock absorbency. *American Journal of Sports Medicine*, 13(2): 128-132.

Kadel, N., Michell, L., y Solomon, R. (2000). Os trigonum impingement syndrome in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(3): 99-102.

Kadel, N., Teitz, C., y Kronmal, R. (1992). Stress fractures in ballet dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 20(4): 446-449.

Karpovich, P. V., y Manfredi, T. G. (1973). Mechanism at rising on the toes. *Research Quarterly*, 42: 395-404.

Khan, K., Brown, J., Way, S., Vass, N., Crichton, K., Alexander, R., Baxter, A., Butler, M., y Wark, J. (1995). Overuse injuries in classical ballet. *Sports Medicine*, 19(5): 341-357.

Khan, K., Gelber, N., Slater, K., y Wark, J. (1997). Dislocated tibialis posterior tendon in a classical ballet dancer. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 160-162.

Khan, K., Roberts, P., Nattrass, C., Bennell, K., Mayes, W., Way, S., Brown, J., McMeeken, J., y Wark, J. (1997). Hip and ankle range of motion in elite classical ballet dancers and controls. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 7:174-179.

Kleiger, B. (1987). Foot and ankle injuries in dancers. En A. Ryan y R. Stephens (eds.), *Dance medicine: A comprehensive guide* (pp. 116-134). Chicago: Pluribus Press.

Konradsen, L., y Ravn, M. (1990). Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. *Acta Orthopaedica Standinavica*, 61: 388-390.

Korkola, M., y Amendola, A. (2001). Exercise-induced leg pain. *The Physician and Sportsmedicine*, 29(6): 35-50.

Kortebein, P., Kaufman, K., Basford, J., y Stuart, M. (2000). Medial tibial stress syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3 Supl.): S27-S33.

Kravitz, S., Murgia, C., Huber, S., Fink, K., Shaffer, M., y Varela, L. (1986). Bunion deformity and the forces generated around the great toe: A biomechanical approach to analysis of pointe dance, classical ballet. En C. Shell (ed.), *The dancer as athlete: The 1984 Olympic Scientific Congress proceedings* (vol. 8, pp. 213-225). Champaign, IL: Human Kinetics.

Kreighbaum, E., y Barthels, K. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

Lane, S. (1990). Severe ankle sprains: Treatment with an ankle-foot orthosis. *The Physician and Sportsmedicine*, 16(11): 43-51.

Leach, R., y Corbett, M. (1979). Anterior tibial compartment syndrome in soccer players. *American Journal of Sports Medicine*, 7(4): 258-259.

Leandersoe, J., Eriksson, E., Nilsson, C., y Wykman, A. (1996). Proprioception in classical ballet dancers: A prospective study of the influence of an ankle sprain on proprioception in the ankle joint. *American Journal of Sports Medicine*, 24(3): 370-374.

Levangie, P., y Norkin, C. (2001). *Joint structure and function*. Filadelfia: Davis.

Liederbach, M. (2000). General considerations for guiding dance injury rehabilitation. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(2): 54-65.

Liederbach, M., y Hiebert, R. (1997). The relationship between eccentric and concentric measures of ankle strength and functional equinus in classical dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(2): 56-61.

Lokiec, F., Siev-Ner, I., y Pritsch, M. (1991). Chronic compartment syndrome of both feet. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 73B(1): 178-179.

Lundon, K., Melcher, L., y Bray, K. (1999). Stress fractures in ballet: A twenty-five year review. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(3): 101-107.

Magee, D. (1997). *Orthopedic physical assessment*. Filadelfia: Saunders.

Malone, T., y Hardaker, W. (1990). Rehabilitation of foot and ankle injuries in ballet dancers. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 11(8): 355-361.

Marotta, J., y Micheli, L. (1992). Os trigonum impingement in dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 20(5): 533-536.

Marshall, P. (1988). The rehabilitation of overuse foot injuries in athletes and dancers. *Clinics in Sports Medicine*, 7(1): 176-191.

Marshall, P., y Hamilton, W. (1992). Cuboid subluxation in ballet dancers. *American Journal of sports Medicine*, 20(2): 169-175.

Martens, M., Backaert, M., Vermaut, G., y Mulier, J. (1984). Chronic leg pain in athletes due to a recurrent compartment syndrome. *American Journal of Sports Medicine*, 12(2): 148-151.

Martire, J. (1994). Differentiating stress fracture from periostitis: The finer points of bone scans. *The Physician and Sportsmedicine*, 22(10): 71-81.

Matheson, G., Clement, D., McKenzie, D., Taunton, J., Lloyd-Smith, D., y Macintyre, J. (1987). Stress fractures in athletes, a study of 320 cases. *American Journal of Sports Medicine*, 15(1): 46-58.

Mayers, L., Judelson, D., y Bronner, S. (2003). The prevalence of injury among tap dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 7(4): 121-125.

McCarthy, P. (1989). Managing bursitis in the athlete: An overview. *The Physician and Sportsmedicine*, 17(11): 116-125.

McCrory, J., Martin, D., Lowery, R., Cannon, D., Curl, W., Read, H., Hunter, D., Craven, T., y Messier, S. (1999). Etiologic factors associated with Achilles tendinitis in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (10): 1374-1381.

Mercier, L. R. (1995). *Practical orthopedics*. 4.ª ed. St. Louis: Mosby.

Michael, R., y Holder, L. (1985). The soleus syndrome: A cause of medial tibia stress (shin splints). *American Journal of Sports Medicine*, 13(2): 87-94.

Micheli, L. (1987). The traction apophysitises. *Clinics in Sports Medicine*, 6(2): 389-404.

Micheli, L., y Solomon, R. (1990). Stress fractures in dancers. En R. Solomon, S. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 133-153). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Molnar, NI., y Esterson, J. (1997). Screening students in a pre-professional ballet school. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(3): 118-121.

Moore, K., y Agur, A. (1995). *Essential clinical anatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Moore, K., y Dalley, A. (1999). *Clinically oriented anatomy*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Nawoczenski, D., Owen, M., Ecker, M., Altman, B., y Epler, M. (1985). Objective evaluation of peroneal response to sudden inversion stress. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 7(3): 107-109.

Nigg, B., Nursae, M., y Stefanyshyn, D. (1999). Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S421-S428.

Norris, K. (1990). Some common foot and ankle injuries in dancers. En R. Solomon, S. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 293-304) Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

O'Malley, M., Hamilton, W., Munyak, J., y De Franco, M. (1996). Stress fractures at the base of the second metatarsal in ballet dancers. *Foot and Ankle International*, 17(2): 89-94.

Omey, M., y Micheli, L. (1999). Foot and ankle problems in the young athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S470-S486.

Potter, P., Jones, I., y Math, B. (1996). The effect of plantar fasciitis on ground reaction forces in Scottish Highland dancers. *Medical Problems of performing Artists*, 11: 51-56.

Quirk, R. (1983). Ballet injuries. The Australian experience. *Clinics in Sports Medicine*, 2(3): 507-514.

Rasch, P. J. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Robbins, S., y Hanna, A. (1987). Running-related injury prevention through barefoot adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(2): 148-156.

Roberts, W. (1999). Plantar fascia injection. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(9): 101-102.

Rovere, G., Clarke, T., Yates, C., y Burley, K. (1988). Retrospective comparison of taping and ankle stabilizers in preventing ankle injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 16: 228-233.

Ryan, A., y Stephens, R. (eds.). (1987). *Dance Medicine: A comprehensive guide*. Chicago: Pluribus Press.

Safran, M., Benedetti, R., Bartolozzi III, A., y Mandelbaum, B. (1999). Lateral ankle sprains: A comprehensive review. Part 1: Etiology, pathoanatomy, histopathogenesis, and diagnosis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S429-S437.

Safran, M., Zachazewski, J., Benedetti, R., Bartolozzi III, A., y Mandelbaum, B. (1999). Lateral ankle sprains: A comprehensive review. Part 2: Treatment and rehabilitation with an emphasis on the athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Supl.): S438-S447.

Salter-Pedersen, M., y Wilmerding, V. (1998). Injury profiles of student and professional flamenco dancers. *Journal of Dance Medicine and Science* 2 (3):108-114.

Sammarco, G. (1980). Biomechanics of the foot. En V. Frankel y M. Nordin (eds.), *Basic biomechanics of the skeletal system* (pp. 193-220). Filadelfia: Lea & Febiger.

Sammarco, G. (1982). The dancer's forefoot. *Emergency Medicine*, Mayo 30: 49-57.

Sammarco, G., y Miller, E. (1979). Partial rupture of the flexor hallucis longus tendon in classical ballet dancers. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 61A( 1): 149-150.

Samuraco, G., y Tablante, E. (1997). Lateral ankle instability in ballet dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 156-159.

Schaffe, M., Requa, R., y Garrick, J. (1990). A comparison of patterns of injury in ballet, modern and aerobic dance. En R. Solomon, S. C. Minton, y J. Solomon (eds.), *Preventing dance injuries: An interdisciplinary perspective* (pp. 1-14). Reston, VA: American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance.

Scheller, A., Kasser, J., y Quigley, T. (1980). Tendon injuries about the ankle. *Orthopaedic Clinics of North America*, 11(4): 631-641.

Schon, L., y DeStefano, A. (1999). Evaluation and treatment of posterior tibialis tendinitis: A case report and treatment protocol. *Journal of Dance Medicine and Science*, 3(1): 24-27.

Scranton, P., Pedegana, L., y Whitesel, J. (1982). Gait analysis: Alterations in support phase forces using supportive devices. *American Journal of Sports Medicine*, 10(1): 6-11.

Shea, M., y Fields, K. (2002). Plantar fasciitis: Prescribing effective treatments. *The Physician and Sportsmedicine*, 30(7): 21-25.

Siev-Ner, I. (2000). Common overuse injuries of the foot and ankle its dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 4(2): 49-53.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Smith, W., Winn, F. y Parette, R. (1986). Comparative study using four modalities in shinsplint treatments. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 8(2): 77-80.

Soderberg, G. (1986). *Kinesiology. Application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Solomon, R., y Micheli, L. (1986). Technique as a consideration in modern dance injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 14(8): 83-90.

Solomon, R., Micheli, L., y Ireland, M. (1993). Physiological assessment to determine readiness for pointe work in ballet students. *Impulse*, 1: 21-38.

Sommer, H., y Vallentyne, S. (1995). Effect of foot posture on the incidence of medial tibial stress syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(6): 800-804.

Somogyi, D. (2001). Lower leg injuries in dance. *Journal of Dance Medicine and Science*, 5(1): 21-26.

Spilken, T. (1990). *The dancer's foot book*. Princeton, NJ: Princeton Book.

Taube, R., y Wadsworth, L. (1993). Managing tibial stress fractures. *The Physician and Sportsmedicine*, 21(4): 123-130.

Taunton, J., Clement, D., y Webber, D. (1981). Lower extremity stress fractures in athletes. *The Physician and Sportsmedicine*, 9(1): 77-86.

Teitz, C. (1986). First aid, immediate care, and rehabilitation of knee and ankle injuries in dancers and athletes. En C. Shell (ed.). *The dancer as ath-*

lete: *The 1964 Olympic Scientific Congress proceedings* (vol. 8, pp. 73-81). Champaign, IL: Human Kinetics.
Teitz, C., Harrington, R., y Wiley, H. (1985). Pressures on the foot in pointe shoes. *Foot and Ankle*, 5(5): 216-221.
Thacker, S., Gilchrist, J., Stroup, D., y Kimsey, C. (2002). The prevention of shin splints in sports: A systematic review of literature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1): 32-40.
Tropp, H., Askling, C., y Gillquist, J. (1985). Prevention of ankle sprains. *American Journal of Sports Medicine*, 13(4): 259-262.
Tudisco, C., y Puddu, G. (1984). Stenosing tenosynovitis of the flexor hallucis longus tendon in a classical ballet dancer. A case report. *American Journal of Sports Medicine*, 12(5): 403-404.
Van Hal, M., Keene, J., Lange, T., y Clancy, W. (1982). Stress fractures of the great toe sesamoids. *American Journal of Sports Medicine*, 10(2): 122-128.
Warren, J. (1983). Visco-elastic orthotics: Scothothane II. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, Winter: 174-175.
Weiker, G. (1988). Dance injuries: The knee, ankle, and foot. En P. Clarkson and M. Skrinar (eds.), *Science of dance training* (pp. 147-192). Champaign, IL: Human Kinetics.
Whiting, W., y Zernicke, R. (1998). *Biomechanics of musculoskeletal injury*. Champaign, IL: Human Kinetics.
Wiesler, E., Hunter, D., Martin, D., Curl, W., y Hoen, H. (1996). Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6): 754-757.
Wilmerding, V., Pedersen, E., Encinias, J., y Encinias, D. (1998). Plantar flexion and dorsiflexion strength in ballet and flamenco dancers (abstract). *Journal of Dance Medicine and Science*, 2(4): 153.
Yakut, Y., Otman, S., Livaneliogiu, A., y Uygur, F. (1997). Evaluation of the foot arches in ballet dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(4): 139-142.

## Capítulo 7

American Academy of Orthopaedic Surgeons. (1965). *Joint motion: Method of measuring and recording*. Chicago: American Academy of Orthopaedic Surgeons.
Barclay, L. (2002). Surgery better than splinting in carpal tunnel syndrome. *Medscape Medical News*. www.medscape. com/view article/441279.
Barclay, L. (2004). Brace therapy, physical therapy each play a role in tennis elbow treatment. *Medscape Medical News*. www.medscape.com viewarticle/472590.
Bartlett, L., Storey, M., y Simons, B. (1989). Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete. *American Journal of Sports Medicine*, 17(1): 89-91.
Basmajian, J., y DeLuca, C. (1985). *Muscles alive-Their functions revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
Brindle, T., Nyland, J., Shapiro, R., Caborn, D., y Stine, R. (1999). Shoulder proprioception: Latent muscle reaction times. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(10): 1394-1398.
Briner, W., y Benjamin, H. (1999). Volleyball injuries: Managing acute and overuse disorders. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(3): 48.
Brounstrom, S. (1972). *Clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.
Caillet, R. (1996) *Soft tissue pain and disability*. Filadelfia: Davis.
Carfango, D., y Ellenbecker, T. (2002). Osteoarthritis of the glenohumeral joint: Nonsurgical treatment options. *The Physician and Sportsmedicine*, 30(4): 19-30.
Carter, A., y Erickson, S. (1999). Proximal biceps tendon rupture: Primarily an injury of middle age. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(6): 95.
Cavallo, R., y Speer, K. (1998). Shoulder instability and impingement in throwing athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4 Supl.): S18-S25.
Ciccotti, M., y Charlton, W. (2001). Epicondylitis its the athlete. *Clinic in Sports Medicine*, 20(1): 77-93.
Clearman, R. (1990). Rehabilitation of a dancer with recurrent tipper back and shoulder pain: Success with neuromuscular re-education. *Medical Problems of Performing Artists*, Sept.: 113-117.
Cools, M., Witvrouw, E., Declercq, G., Danneels, L., y Cambier, D. (2003). Scapular muscle recruitment patterns: Trapezius muscle latency with and without impingement symptoms. *American Journal of Sports Medicine*, 31: 542-549.
DePalma, M., y Johnson, E. (2003). Detecting and treating shoulder impingement syndrome: The role of scapulothoracic dyskinesis. *The Physician and Sportsmedicine*, 31(7): 25-32.
Duda, M. (1985). Prevention and treatment of throwing-arm injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 13(6): 181-187.
English, C., Maclaren, W., Court-Brown, C., Hughes, S., Porter, R., Wallace, W., Graves, R., Pethick, A., ay Soutar, C. (1995). Relations between tipper limb soft tissue disorders and repetative movements at work. *American Journal of Industrial Medicine*, 27: 75-90.
Esenkaya, I., Tuygun, H., y Turkmen, M. (2000). Bilateral anterior shoulder dislocation in a weight lifter. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(3): 93-100.
Frankel, V., y Nordin, M. (1980). *Basic biomechanics of the skeletal system*. Filadelfia: Lea & Febiger.
Gerhardt, J., y Rippstein, J. (1990). *Measuring and recording of joint motion: Instrumentation and techniques*. Toronto: Hogrefe & Huber.
Goldman, R., y McCann, P. (1997). The elbow and forearm. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 242-264). St. Louis: Mosby.
Greenfield, B., Donatelli, R., Wooden, M., y Wilkes, J. (1990). Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength between the plane of scapula and the frontal plane. *American Journal of Sports Medicine*, 18(2): 124-127.
Gripp, J. (1985). Swimmer's shoulder: The influence of flexibility and weight training. *The Physician and Sportsmedicine*, 13(8): 92-105.
Groppel, J., y Nitschl, R. (1986). A mechanical and electromyographic analysis of the effects of various counterforce braces on the tennis player. *American Journal of Sports Medicine*, 14(3): 195-200.
Grochow, H., y Pelletier, D. (1979). An epidemiological study of tennis elbow. *American Journal of Sports Medicine*, 7(4): 234-238.
Hall, S. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.
Hall-Craggs, E. C. B. (1985). *Anatomy as a basis for clinical medicine*. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
Hamill, J., y Knutzen, K. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.
Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Boston: McGraw-Hill.
Henry, J. (1984). How I manage dislocated shoulder. *The Physician and Sportsmedicine*, 12(9): 65-69.
Hintermeister, R., Lange, G., Shultheis, J., Bey, M., y Hawkins, R. (1998). Electromyographic activity and applied load during shoulder rehabilitation exercise using elastic resistance. *American Journal of Sports Medicine*, 26(2): 210-220.
Horrigan, J., Shellock, F., Mink, J., y Deutsch, A. (1999). Magnetic resonance imaging evaluation of muscle usage associated with three exercises for rotator cuff rehabilitation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(10):1361-1366.
Howell, S., y Galinat, B. (1989). The glenoid-labral socket: A constrained articular surface. *Clinical Orthopaedics*, 243(Junio): 122-125.
Howse, J., y Hancock, S. (1988). *Dance technique and injury prevention*. Nueva York: Theatre Arts Books/Routledge.
Johnson, J., Gauvin, J., y Frederieson, M. (2000). Swimming biomechanics and injury prevention: New stroke techniques and medical considerations. *The Physician and Sportsmedicine*, 31(1): 41-46.
Kammer, S., Young, C., yd Niedfeldt, M. (1999). Swimming injuries and illness. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(4): 51.
Kao, S. (2003). Carpal tunnel syndrome as an occupational disease. *Journal of the American Board of Family Practice*, 16(6): 533-542.
Kibler, W. B., McMullen, J., y Uhl, T. L. (2001). Shoulder rehabilitation strategies, guidelines and practice. *Orthopaedic Clinics of North America*, 32(3): 621-636.
Kraemer, W., y Fleck, S. (2005). *Strength training for young athletes*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
Kreighbaum, E., y Barthels, K. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Boston: Allyn & Bacon.
Kulund, D., McCue, F., Rockwell, D., y Gieck, J. (1979). Tennis injuries. Prevention and treatment. *American Journal of Sports Medicine*, 7(4): 249-253.
Levine, W., Arroyo, J., Pollock, R., Flatlow, E., y Bigliani, L. (2000). Open revision stabilization surgery for recurrent anterior glenohumeral instability. *American Journal of sports Medicine*, 28(2): 156-159.
Levine, W., y Flatlow, E. (2000). The pathology of shoulder instability. The *American Journal of sports Medicine*, 28(6): 910-917.

Lyons, P., y Orwin, J. (1998). Rotator cuff tendinopathy and subacromial impingement syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4 Supl.): S12-S17.

Magee, D. (1997). *Orthopedic physical assessment*. Filadelfia: Saunders.

McCarthy, P. (1989). Managing bursitis in the athlete: An overview. *The Physician and Sportsmedicine*, 17(11): 115-125.

McClure, P., Balker, J., Neff, N., Williams, G., y Karduna, A. (2004). Shoulder function and 3-dimensional kinematics in people with shoulder impingement syndrome before and after a 6 week exercise program. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 32: A-8.

Mercier, L. R. (1995). *Practical orthopedics*. 4.ª ed. St Louis: Mosby.

Metz, J. (1999). Managing golf injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(7): 41-58.

Millar, A. (1987). Injuries to the neck and tipper extremity. En A. Ryan y R. Stephens (eds.), *Dance medicine: A comprehensive guide* (pp. 267-273). Chicago: Pluribus Press.

Moore, K., y Agur, A. (1995). *Essential clinical anatomy*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Moseley, J., Jobe, F., Pink, M., Perry, J., y Tibone, J. (1992). EMG analysis of the scapular muscles during a shoulder rehabilitation program. *American Journal of sports Medicine*, 20(2): 128-134.

Moynes, D., Perry, J., Antonelli, D., y Jobe, E (1986). Electromyography and motion analysis of the upper extremity in sports. *Physical Therapy*, 66(12): 1905-1911.

Myers, J. (1999). Conservative management of shoulder impingement syndrome in the athletic population. *Journal of Sport Rehabilitation*, 8(3): 230-252.

Neer, C. (1983). Impingement lesions. *Clinics in Orthopaedics and Related Research*, 173: 70-77.

Nelson, B., y Arciero, R. (2000). Arthroscopic management of glenohumeral instability. *American Journal of Sports Medicine*, 28(4): 602-613.

Nieman, D. (1999). *Exercise testing and Prescription*. Mountain View, CA: Mayfield.

Nirschl, R., y Kraushaar, B. (1998a). Assessment and treatment guidelines for elbow injuries. *The Physician and Sportsmedicine*, 24(5): 42.

Nirschl, R., y Kraushaar, B. (1998b). Keeping tennis elbow at arm's length: Simple, effective strengthening exercises. *The Physician and Sportsmedicine*, 24(5): 61.

Nuber, G., Jobe, F., Perry, J., Moynes, D., y Antonelli, D. (1986). Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming. *American Journal of Sports Medicine*, 14(1): 7-11.

O'Connor, D., Marshall, S., y Massy-Westropp, N. (2004). Nonsurgical treatment (other than Steroid injection) for carpal tunnel syndrome. Medscape Medical News. www.medscape.com/viewarticle/486490.

Park, M., Blaine, T., y Levine, W. (2002). Shoulder dislocation in young athletes. *The Physician and Sports medicine*, 30(12): 41-48.

Pearsall, A., y Speer, K. (1998). Frozen shoulder syndrome: Diagnostic and treatment strategies in the primary care setting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4 Supl.): S33-S39.

Peterson, L., Bryant, C., y Peterson, S. (1995) *Strength training for women*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Rasch, P. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*. Filadelfia: Lea & Febiger.

Rasch, P. J., y Burke, R. K. (1978). *Kinesiology and applied anatomy*. 6.ª ed. Filadelfia: Lea & Febiger.

Reeves, R., Laskowski, E., y Smith, J. (1998). Weight training injuries: Part 2-Diagnosing and managing chronic conditions. *The Physician and Sportsmedicine*, 26(3): 54.

Richards, D. (1999). Injuries to the glenoid labrum: A diagnostic and treatment challenge. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(6): 73.

Roberts, W. (2000). Lateral epicondylitis injection. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(7): 93-94.

Rodeo, S., Suzuki, K., Yamauchi, M., Bhargava, M., y Warren, R. (1998). Analysis of collagen and elastic fibers in shoulder capsule in patients with shoulder instability. *American Journal of Sports Medicine*, 26(5): 634-643.

Rosenwasser, M., y Wilson, R. (1997). The wrist. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of primary care* (pp. 265-287). St. Louis: Mosby.

Roy, S., e Irvin, R. (1983) *Sports medicine: Prevention, evaluation, management, and rehabilitation*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Sauers, E., Boesa, P., Herling, D., y Stanley, E. (2001). Instrumental measurement of glenohumeral joint laxity and its relationship to passive range of motion and generalized joint laxity. *American Journal of Sports Medicine*, 29(2)143-149.

Schmitz, M., y Ciullo, J. (1999). Sports medicine feature. The recognition and treatment of superior labral anterior-posterior (SLAP) lesions in the Shoulder. Medscape General Medicine, 1(1). www.medscape.com viewarticle/408498.

Shea, K. (2001). Shoulder instability: Updates from AAOS 2001 (abstract). American Academy of Orthopaedic Surgeons 68th annual meeting. *Sports Medicine/Pediatrics*. www.med-scape.com/viewprogram/231.

Smith, L., Weiss, E., y Lehmkuhl, L. (1996). *Brunnstrom's clinical kinesiology*. Filadelfia: Davis.

Soderberg, G. (1986). *Kinesiology: Application to pathological motion*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Steinbeck, J., y Jerosch, J. (1998).Arthroscopic transglenoid stabilization versus open anchor suturing in traumatic anterior instability of the shoulder. *American Journal of Sports Medicine*, 26(3): 373-378.

Warner, J., Micheli, L., Arslanian, L., Kennedy, J., y Kennedy, R. (1990). Patterns of flexibility, laxity, and strength in normal shoulders and shoulders with instability and impingement. *American Journal of Sports Medicine*, 18(4): 367-375.

Washington, E. (1987). A medical and sociological consideration of break dancers and pop-lockers. En A. Ryan y K. Stephens (eds.), *Dance medicine: A Comprehensive guide* (pp. 281-293). Chicago: Pluribus Press.

Welden, G. (1998). Treatment and prevention of tennis elbow. *Sports Injuries*, 1(8). Chicago: Colorado Sports Science Institute.

Wells, K., y Luttgens, K. (1976). Kinesiology: Scientific basis of human motion. Filadelfia: Saunders.

Werner, A., Mueller, T., Boehm, D., y Gohlke, F. (2000). The stabilization sling for the long head of the biceps tendon in the rotator cuff interval. *American Journal of Sports Medicine*, 28(1): 28-31.

Wolff III, W. (1999). Calcific tendonitis of the shoulder: Diagnosis and simple, effective treatment. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(9): 27.

Wolin, P., y Tarbet, J. (1997). Rotator cuff injury: Addressing overhead overuse. *The Physician and Sportsmedicine*, 25(6): 54.

Yamaguchi, K., Wolfe, I., y Bigliani, L. (1997). The shoulder. En G. Scuderi, P. McCann, y P. Bruno (eds.), *Sports medicine: Principles of Primary care* (pp. 386-412). St. Louis: Mosby.

Yani, T., Hay, J., y Miller, G. (2000). Shoulder impingement in front-crawl swimming: I. A method to identify impingement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1): 21-29.

## Capítulo 8

Adrian, M. J., y Cooper, J. M. (1989). Biomechanics of human movement. Indianapolis: Benchmark Press.

Asmussen, E., y Boode-Peterson, F. (1974). Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 92: 537-545.

Biewener, A., y Roberts, T. (2000). Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: A comparative perspective. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(3): 99-107.

Bobbert, M., y Casius, R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3): 440-446.

Bressel, E., y Cronin, J. (2005). The landing phase of a jump: Strategies to minimize injuries. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 76(2): 31-35.

Clarkson, P., Kennedy, T., y Flanagan, J. (1984). A study of three movements in classical ballet. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 55(2): 175-179.

Clippinger, K., y Novak, M. (1981). Preliminary investigation of landing from a grand jete devant. Unpublished manuscript. Seattle: University of Washington.

Dahlstrom, M., Liljedahl, M., Gierup, J., Kaijser, L., y Jansson, E. (1997). High proportion of type I fibers in thigh muscle of young dancers. *Acta Physiologica Scandinavica*, 160(1): 49-55.

Dainty, D. A., y Norman, K. (eds.). (1987). *Standardizing biomechanical testing in sport*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Devita, P., y Skelly, W. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1)108-115.

Dufek, J., y Bates, B. (1990). The evaluation and prediction of impact forces during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3): 370-377.

Elliott, B. C., y Blanksby, B. A. (1979). The synchronization of muscle activity and body segment movements during a running cycle. *Medicine and Science in Sports*, 11(4): 322-326.

Ferber, R., McClay-Davis, I., Hamill, J., Pollard, C., y McKeown, K. (2002). Kinetic variables in subjects with previous lower extremity stress fractures. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34: S5.

Fitt, S.S. (1996). *Dance kinesiology*. 2.ª ed. Nueva York: Schirmer.

Golomer, E., y Fery, Y. (2001). Unilateral jump behavior in young professional female ballet dancers. *International Journal of Neuroscience*, 110: 1-7.

Grahame, R., y Jenkins, J. (1972). Joint hypermobility–Asset or liability? A study of joint mobility in ballet dancers. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 31:109-111.

Griner, B., Boatwright, D., y Howell, D. (2003). Plyometrics: Jump training for dancers. The Sport Journal, 6(3). www.thesportjournal.org.

Hall, S. J. (1999). *Basic biomechanics*. Boston: McGraw-Hill.

Hamill, J., y Knutzen, K. (1995). *Biomechanical basis of human movement*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.

Hamilton, N., y Luttgens, K. (2002). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*. Nueva York: McGraw-Hill.

Harley, Y., Gibson, A., Harley, E., Lambert, M., Vaughan, C., y Noakes, T. (2002). Quadriceps strength and jumping efficiency in dancers. *Journal of Dance Medicine and Science*, 6(3): 87-94.

Hay, J. (1993). *The biomechanics of sports techniques*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Hewett, T., Stroupe, A., Nance, T., y Noyes, R. (1996). Plyometric training in female athletes: Decreased impact forces and increased hamstring torques. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6): 765-773.

Hodgson, J. (2001). *Mastering movement: The life and work of Rudolf Laban*. Nueva York: Routledge.

Hreljac, A. (2004). Impact and overuse injuries in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5): 845-849.

Hreljac, A., Marshall, R., y Hume, P. (2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9): 1635-1641.

Inman, V. T., Ralston, H. J., y Todd, F. (1981). *Human walking*. Baltimore: Williams & Wilkins.

Ito, A., Komi, P., Sjodin, B., Bosco, C., y Karlsson, J. (1983). Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(4): 299-308.

Jensen, C., Schultz, G., y Bangerter, B. (1983). *Applied kinesiology and biomechanics*. Nueva York: McGraw-Hill.

Kooeja, D., Burke, J., y Kaenen, G. (1991). Organization of segmental reflexes in trained dancers. *International Journal of Sports Medicine*, 12(3): 285-289.

Komi, P., y Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10: 261-265.

Kovacs, I., Tihanyi, J., Devita, P., Racz, L., Barrier, J., y Hortobagyi, T. (1999). Foot placement modifies kinematics and kinetics during drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5): 708-716.

Kram, R. (2000). Muscular force or work: What determines the metabolic energy cost of running? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(3): 138-143.

Freighbaum, E., y Barthels, K. (1996). *Biomechanics. A qualitative approach for studying human movement*. 4.ª ed. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

Kyrolainen, H., Belli, A., y Komi, P. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8): 1330-1337.

Laffaye, G., Bardy, B., y Durey, A. (2005). Leg stiffness and expertise in men jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(4): 536-543.

Laws, K (1995). The physics and aesthetics of vertical movements in dance. *Medical Problems of Performing Artists*, 10(junio): 41-47.

Laws, K. (2002). *Physics and the art of dance: Understanding movement*. Nueva York: Osford Press.

Levangie, P.K., y Norkin, C. C. (2001). *Joint structure and function*. Filadelfia: Davis.

Mann, R., Kotmel, J., Herman, J., Johnson, B., y Schultz, C. (1984). Kinematic trends in elite sprinters. En J. Terauds, K. Barthels, E. Kreighbaum, R. Mann, y J. Crake (eds.), *Sports biomechanics: Proceedings of ISBS* (pp. 17-33). Del Mar, CA: Research Center for Sports.

Mann, R., Moran, G., y Dougherty, S. (1986). Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running, and sprinting. *American Journal of Sports Medicine*, 14(6): 501-510.

McGinnis, P. M. (2005). *Biomechanics of sport and exercise*. 2.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics.

McLain, S., Carter, C. L., y Abel, J. (1997). The effect of a conditioning and alignment program on the measurement of supine jump height and pelvic alignment when using the Current Concepts reformer. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1: 149-154.

McNair, P., Prapavessis, H., y Callender, K. (2000). Decreasing landing forces: Effect of instruction. *British Journal of Sports Medicine*, 34: 293-296.

McNitt-Gray, J., Kotf, S., y Hall, B. (1992). The influence of dance training and foot position on landing mechanics. *Medical Problems of Performing Artists*, 7(3): 87-91.

Mostardi, K., Porterfield, J., Greenberg, B., Goldberg, D., y Lea, M. (1983). Musculoskeletal and cardiopulmonary characteristics of the professional ballet dancer. *The Physician and Sportsmedicine*, 11(12): 53-61.

Onate, J., Guskiewicz, K. y Sullivan, R. (2001). Augmented feedback reduces jump landing forces. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 31(9): 511-517.

Poggini, L., Lossasso, S., Cerreto, M., y Cesari, L. (1997). Jump ability in novice ballet dancers before and after training. *Journal of Dance Medicine and Science*, 1(2): 46-50.

Prapavessis, H., y McNair, P. (1999). Effects of sensory and augmented feedback on ground reaction forces when landing from a jump. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 29: 352-356.

Reiniger, R. (2002). Training improves ACL outcomes in female athletes. Biomechanics, January.www.biomech.com/db_area/archives/2002/0201.preventive bio.shtml.

Ryman, R. (1978). A kinematic analysis of selected grand allegro jumps. En D. Woodruff (ed.), *Dance research annual IX: Essays in dance research: From the 5th CORD Conference Philadelphia, Nov. 11-14, 1976* (pp. 231-242). Nueva York: Congress on Research in Dance.

Ryman, R., y Ramsey, D. (1979). A preliminary investigation of two variations of the grand battement devant. *Dance Research Journal*, 11:2-11.

Self, B., y Paine, D. (2001). Ankle biomechanics during four landing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8): 1338-1344.

Simpson, K., y Kanter, L. (1997). Jump distance of dance landings influencing internal joint forces: I. Axial forces. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(7): 916-927.

Simpson, K., y Pettit, M. (1997). Jump distance of dance landings influencing internal joint forces: II. Shear forces. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(7): 928-936.

Slocum, D., y James, S. (1968). Biomechanics of running. *Journal of the American Medical Association*, 205(11): 97-104.

Tillman, M., Hass, C., y Brunt, D. (2002). Volleyball landings may explain ACL gender gap. BioMechanics, Marzo. www.biomech.com/db_area/archives 2002/0203.sportsmed.bio.shtml.

Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., y Clercq, D. (2004). Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22(6): 713-727.

Westblad, P., Tsai-Fellander, L., y Johansson, C. (1995). Eccentric and concentric knee extensor muscle performance in professional ballet dancers. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 5(1): 48-52.

Wilson, G., Elliot, B., y Wood, G. (1992). Stretch-shorten cycle performance enhancement through flexibility training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1): 116-123.

Winter, D. (1980). Overall principle of lower limb support during stance phase of gait. *Biomechanics*, 13: 925-927.

Zhang, S., Bates, B., y Dufek, J. (2000). Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4): 812-819.

# Índice alfabético

*Nota.* El número de página seguido por una *f* o una *t* en cursiva remite a una figura o tabla en esa página, respectivamente.


A
Abdominales, flexiones de
  con rotación, 140*t*
  isométricas, 134*t*
  músculos activados, 108
  pruebas de fuerza y resistencia, 121-122
Abdominales, fortalecimiento
  ejemplo de progresión, 142
  ejercicios, 140-141
  técnica de ejercicio, 122*f*
  y lesiones de espalda, 152
  y rehabilitación de la espalda, 153
Abdominales, músculos
  aspecto de «tableta de chocolate», 82
  acciones, 92*f*
  cocontracción durante el fortalecimiento de los músculos extensores de la espalda, 132-133
  cocontracción y postura plana de la espalda, 194
  como estabilizadores, 55, 471*f*
  e hiperlordosis lumbar, 95, 97*f*
  inhibición neural y dolor de espalda, 153
  oblicuos externos del abdomen, 83
  oblicuos internos del abdomen, 83-84
  protección de la columna, 106-108
  pruebas de fuerza y resistencia, 121-122
  recto del abdomen, 82
  tipo de contracción, 125*f*
  transverso del abdomen, 84-85
  vista anterior, 92*f*
  y estabilización de la pelvis, 185
  y posturas fatigantes, 101
Abdominales, pautas para el fortalecimiento
  columna lumbar neutra, 127
  ejercicios de estabilización, 125-126
  frecuencia del fortalecimiento de los extensores de la espalda, 133
  amplitud de movimiento, 124
  inclinación pélvica, 123-124
  limitación del riesgo de lesión, 127-129
  percepción cinestésica, 127
  reclutamiento de los oblicuos y el transverso del abdomen, 122-123
  recuperación, 124-125
  resumen, 128*t*
  rotación vertebral, 124
  sobrecarga adecuada, 124
  tipo de contracción, 124
Abdominales-isquiotibiales, par de fuerzas, 186, 187*f*, 195
Abducción, 23*t*, 24
  en el plano de la escápula, 378
  horizontal, 23*t*, 27, 193
Abductor corto del quinto dedo, músculo, 322*f*
Abductor del dedo gordo, músculo, 322*f*
Abductores de la cadera, músculos
  acciones e inserciones, 172, 175
  ejercicios de fortalecimiento, 218-219, 223
  estiramientos, 231
  y extensiones laterales, 206
Acetábulo, 158*f*, 159
Acoplamiento, 81
Acromioclavicular, articulación, 376, 377*f*, 433
Acromion, 374
Actina, 37
Adenosintrifosfato (ATP), 38
Aducción, 23*t*, 24
  horizontal, 23*t*, 27, 45, 193
Aductor corto, músculo, 172, 175, 176*f*, 177*f*
Aductor del dedo gordo, músculo, 322*f*
Aductor largo, músculo, 60*f*, 468*f*
Aductor mayor, músculo, 60*f*, 61*f*, 468*f*, 469*f*
  acciones e inserciones, 172, 176
  vista posterior, 177*f*
Aductores de la cadera, músculos
  ejercicios de fortalecimiento, 220-221, 223
  estiramiento, 228*t*, 229*t*, 230-231
  estiramientos, 230*t*
Agonistas accesorios, 54
Agujero obturador, 158*f*, 159
Agujeros, 11*t*
  intervertebrales, 73
  vertebrales, 72, 73*f*
Alineación
  de la columna, 81, 113-115
  de la pelvis, 164, 177
  de la rodilla y el pie, 337-338
  del pie, 324-331
  ortostática, 93-95, 101
  problemas habituales, 474-476*f*
  y análisis del movimiento, 472-473
Amenorrea, 9, 104
Análisis del movimiento
  motores principales, 470*t*
Alineación y técnica, 472-473
Autoanálisis, 479
  beneficios, 485-487
  carreras, 490-492
  claves del movimiento, 500
  corrección de errores, 473
  cualitativo y cuantitativo, 487-488
  ejercicios de fortalecimiento, 132
  esquema, 479, 480*t*
  esquema simplificado, 64*t*
  estudios relacionados, 489
  fases, 466
  *grand battement en avant*, 480-483
  *grand jeté en avant*, 492-499
  inclinación lateral, 483-485
  mecánico, 488
  modelos de ejecución óptima, 499-500
Amplitud máxima de movimiento, 470, 472
  papeles de los músculos, 467
  requisitos de fuerza, 472

sinergistas, 470
y el énfasis del movimiento, 478
y velocidad de movimiento, 477-478
Ancóneo, músculo, 419-420
Anfiartrosis, 11, 12*t*, 13, 15, 16-17*t*, 28
Angulación en valgo, 252
Ángulo de carga, 413
Ángulo Q, 190, 259, 261*f*, 262
Anillo epifisario, 74
Anillo fibroso, 74, 75
Antebrazo. *Ver* radiocubital, articulación
Antepié, 299*f*, 300
Anterior, 17, 18*t*
Anteversión femoral, 182
Apófisis
articular inferior, 73*f*, 74
articular superior, 73*f*, 74
coracoides, 276
coronoides, 412
de las vértebras, 73
espinosas, 11*t*, 73, 73*f*
estiloides, 422
odontoides, 77
transversa, 73*f*, 74
Aponeurosis, 41
*Arabesque*, 161, 210, 212*f*, 213*f*, 266
Arco longitudinal del pie, 298
Arco neural, 72
Arco transverso del pie, 298
Arco vertebral, 72, 73*f*
articulaciones intermedias, 75-76
Arcos plantares, 298, 304, 307, 324-326
Áreas intercondíleas
anteriores, 238
posteriores, 238
Articulación, 11
Articulación coxofemoral. *Ver* cadera
Articulaciones
clasificación, 11-15
ejes, 28
en el análisis de movimientos, 467
estabilidad y movilidad, 29
movimientos en el plano horizontal, 26*f*
terminología sobre los movimientos, 22-28
Articulaciones biaxiales, 16-17*t*, 28
Articulaciones fibrosas, 11, 12*t*
Articulaciones uniaxiales, 28
Articulaciones planas, 15
Astrágalo, 298, 299*f*
Astragalonavicular, articulación, 301*t*, 304-305
Atlantoaxial, articulación, 77
Atlantooccipital, articulación, 45, 77
Atlas, 76

B
Banda A, 38
Banda I, 37
Bartelink, D, 107
Biarticulares, músculos 57
Bíceps braquial, músculo, 416-417, 468*f*
acción habitual del músculo, 43
localización, 60*f*
vista anterior, 393*f*
Bíceps femoral, músculo, 61*f*, 168, 174, 177*f*, 253*f*, 468*f*
Bolsa retrocalcánea, 15*f*
Bolsa subacromial, 380
Bolsa subcoracoidea, 380
Bolsa subdeltoidea, 380
Bolsas adiposas, 14
Borde lateral de la rótula, 240
Borde medial de la rótula, 240
Borde superior de la rótula, 240
Braquial, músculo, 60*f*, 468*f*
Braquiorradial, músculo, 418
Brazo de palanca
de los isquiotibiales, 59*f*
influencia sobre el torque, 49
y ejercicios de abdominales, 129
y la función rotuliana, 256
Brazo de palanca, 128-129, 161

C
Cabeza del fémur (impresión ósea), 11*t*
Cabeza del húmero, 412
Cadena cinética, 30
Cadena cinética cerrada, ejercicios en, 29-30
de la pelvis, 183-184
ejemplos, 31
y el fortalecimiento de las rodillas, 279-280
y la acción de palanca del sistema esquelético, 45
Cadera
ángulo de inclinación femoral, 180-181
ángulo de torsión femoral, 181-182
anteversión y retroversión femorales, 180-181
bolsas, 163
coxa vara, 180
coxa valga/vara, 180-181
efecto de succión, 163
estructura articular, 161-162
fuerzas compresivas, 196
grado de movilidad, 223*t*
huesos, 158-161
ligamentos, 161-163, 163*f*
mecánica, 182-188
movimientos, 161*f*
músculos, 163-164
músculos y movimientos, 188*t*
problemas de alineación, 475*t*
puntos óseos de referencia, 158-161
ritmo pelvicofemoral, 185-186
rodete acetabular, 163
Cadera, ejercicios de fortalecimiento, 215-222*t*
Cadera, lesiones
bursitis trocantérea, 235
distensión muscular, 233-234
fracturas, 7, 232-233
osteoartritis, 233
prevención, 232
síndrome de la cadera en resorte, 234-235
síndrome del músculo piriforme, 236
tendinitis del psoasilíaco, 234
Cadera, movimientos
abducción, 190
abducción horizontal, 193
aducción, 191-192
aducción horizontal, 193
*développé en avant*, 201- 204
elevaciones al frente, 201-206
elevaciones hacia atrás, 210-214
elevaciones laterales, 206-210
extensión, 190
flexión, 187-188
rotación externa, 192
rotación interna, 192-193
Cadera, músculos
activación durante el *en dehors*, 200
aductores largo, mayor y corto, 172
ángulo de inclinación femoral, 181*f*
anteriores, 165-166, 176*f*
glúteo mayor, 167

glúteo medio, 170-171
glúteo menor, 170-171
inserciones y acciones, 174-176
isquiotibiales, 168
laterales, 170-171
mediales, 171-174
multiarticulares, 194
pectíneo, 173
posteriores, 167-169
psoasilíaco, 165-166
recto femoral, 166
recto interno, 173
rotadores externos profundos, 169
rotadores externos y *en dehors*, 270
tensor de la fascia lata, 171
vista posterior, 177*f*
y movimientos, 188*t*
Caja torácica, 77, 78*f*
Calcáneo, 299, 299*f*
Calcaneocuboidea, articulación, 301*t*, 304-305
Calcio, 2, 6, 7, 8*t*, 38, 39, 104
Canal del tarso, 299*f*
Cápsula articular, 13
Cara palmar
de la mano, 17*f*
del pie, 17*f*
Caras terminales vertebrales, 74
Carilla articular, 11*t*
Carpometacarpiana, articulación, 426
Carreras, 9, 490-492
Cartílago, 2, 4, 5. *Ver también* fibrocartílago
articular, 4,13, 161, 258
hialino, 13
Caudal, 18*t*
Cavidad
articular, 13
glenoidea, 375
medular, 4
Células binucleadas, 34
Células marcapaso, 34
Centro de gravedad (CG), 15
Centro de masas, 15, 19, 53
Ciática, 151
Ciclo de estiramiento-acortamiento, 54
Cifolordosis, 100
Cifosis, 81, 98-100, 99*f*, 115
Cigapofisarias, articulaciones, 75, 76
e hiperlordosis lumbar, 95
en hiperextensión, 115
síndrome cigapofisario, 151
Cintilla iliotibial, 167*f*, 177*f*, 190, 246
Cintura escapular, 9
estructura articular, 375-378
huesos y articulaciones, 377*f*
movimientos, 375-378
puntos óseos de referencia, 374-375
Cintura pélvica, 9
estructura articular, 159-161
la imagen de la palangana, 164
movimientos, 159-161
papel, 158
posición neutra, 177
ritmo lumbopélvico, 184*f*
ritmo pelvicofemoral, 185-186
Circunducción, 23*t*, 25
Clasificación biaxial, 28
Clavículas, 9, 374-375, 393*f*
Cóccix, 72, 73*f*, 158*f*
Cocontracción, 55
de los abdominales en la postura con la espalda plana, 196
paradoja de Lombard, 58, 59*f*
y la alineación de las vértebras, 115
Codo
alineación, 413
ángulo de carga, 413-414
epicondilitis lateral, 459
estructura articular, 412-413
fortalecimiento del, 436*t*, 441-444*t*
hiperextensión, 414-415
movimientos, 412-413, 414*f*
puntos óseos de referencia, 413*f*
Codo, músculos
anconeo, 419-420
bíceps braquial, 416-417
braquial, 417
inserciones y acciones, 420-421
pronador redondo, 418
supinador, 419
tríceps braquial, 418-419
Colágeno, 2, 14
Columna vertebral, 9, 72. *Ver también* médula espinal
al nacer, 73*f*
alineación, 81
alineación durante la flexión lateral, 116*f*
alineación en la danza, 113-115
alineación y mecánica de las articulaciones distales, 477
articulación entre cuerpos vertebrales, 74-75
articulaciones craneovertebrales, 76-77
como parte del esqueleto axial, 9
en la edad adulta, 73*f*
enderezamiento de la porción superior de la espalda, 118
enderezamiento y elongación, 114
espondilólisis, 149-150
espondilolistesis, 149-150
estiramiento, 142
extensión, 109-110
fenómeno de flexión-relajación, 117
flexión, 116-118
flexión (vista de perfil), 75*f*
flexión lateral, 23*t*, 110-111
grado de movilidad, 143*t*
hiperextensión, 115-116
hiperextensión (vista de perfil), 75*f*
hiperextensión y bailarines, 142
huesos, 72-74
lateral, 89
mecánica, 106-108
movimiento segmentario, 80*f*
movimientos, 26, 79-81, 80*f*
movimientos y músculos, 109*t*
músculos abdominales como estabilizadores, 471*f*
problemas de alineación, 474*t*
protección de los abdominales, 106-108
puntos óseos de referencia, 72-74
regiones, 72
rotación, 112
variabilidad del grado de movilidad, 146
y la estabilidad troncal, 112-113
y la movilidad centrada, 113
y *posté*, 118-120
Columna vertebral, ejercicios de fortalecimiento, 134-140*t*
equilibrio y fortalecimiento de los abdominales, 133, 140
músculos extensores, 141
músculos flexores laterales, 141
músculos rotadores, 141-142
Columna vertebral, estiramientos, 144-147
Complejo del hombro, músculos, 380
acciones del músculo pectoral mayor, 45
coracobraquial, 389
deltoides, 388-389

dorsal ancho, 390
durante flexiones de brazos, 403
elevador de la escápula, 382
inserciones y acciones, 391-392
línea de tracción, 393*f*, 394*f*
manguito de los rotadores, 385-386
movimientos, 404*t*
músculos escapulares, 381
par de fuerza SIR, 400-401
pectoral mayor, 387-388
pectoral menor, 384-385
prueba de flexiones de brazos, 445
redondo mayor, 390
redondo menor, 386
romboides, 383
serrato anterior, 383
sinergias, 401
subescapular, 386
supraespinoso, 385
trapecio, 381-382
vista anterior, 393*f*
vista posterior, 394*f*
Componente paralelo, 30
Componentes elásticos del músculo, 26
en serie, 36
paralelos, 36
y el ciclo de estiramiento-acortamiento, 54
Componentes pasivos, 36
Condilartrosis, 15, 16-17*t*
clasificación biaxial, 28
Cóndilo lateral de la rodilla, 240
Cóndilo medial de la rodilla, 240
Cóndilos, 11*t*, 240, 241*f*, 257*f*
Conducto vertebral, 72
Congruencia, 29
Contracción concéntrica, 51
y torque, 50*t*
Contracción excéntrica, 51-52
durante los ejercicios de abdominales, 124
y el fortalecimiento de los extensores de la espalda, 132
y torque, 50*t*
Contracción isométrica, 52
de los músculos estabilizadores, 55
y torque, 50*t*
Contracción muscular
agonistas, 54
antagonistas, 54-55
ciclo de estiramiento-acortamiento, 54
concéntrica, 51
dinámica, 51
electromiografía, 62, 64
en el análisis de movimientos, 467
potencia (P), 46
estabilizadores (fijadores), 55
estática, 52-53
influencia de la gravedad, 63
insuficiencia activa, 57-58
insuficiencia pasiva, 57-58
isométrica (estática), 52-53
paradoja de Lombard, 58
sinergistas (neutralizadores), 55
teoría de los filamentos deslizantes, 37-39
tipo y ejercicios de abdominales, 124
tipo y torque, 50*t*
tipos, 50-53
y alineación, 30
y el movimiento de «liberación y recuperación», 53
y pares de fuerzas, 56
Contractilidad, 34
Coracobraquial, músculo, 290, 393*f*, 417
Costillas, 9, 77-78
falsas, 77
flotantes, 77
verdaderas, 77
Costotransversal, articulación, 77
Costovertebrales, articulaciones, 77
Craneal, 18*t*
Cráneo, 9
Craneovertebrales, articulaciones, 76-77
Crecimiento aposicional, 5
Cresta, 11*t*
Cresta del pubis, 158*f*
Cresta ilíaca, 158*f*, 159, 178
Crurales, músculos
anteriores, 310-312
laterales, 316-318
posteriores, 312-314
posteromediales, 314-316
Cuadrado femoral, músculo, 169-170
acciones e inserciones, 175
Cuadrado lumbar, músculo, 89, 91*t*, 93*f*
vista anterior, 176*f*
y la flexión lateral, 111
Cuadrado plantar, músculo, 322*f*
Cuádriceps femoral, músculo, 60*f*, 247, 248*f*, 468*f*
ejercicios de fortalecimiento, 215*t*, 276
estiramiento, 282, 283*t*, 286*f*
hipertrofia, 60*f*, 247, 248*f*, 468*f*
prueba de flexibilidad, 285
tendón, 176*f*
y la articulación femororrotuliana, 259
y la función de la rótula, 68
Cúbito, 9
Cúbito valgo/varo, 413
Cuboides, 298
Cuello del fémur, 159
Cuerpo vertebral, 72, 73*f*
articulaciones intermedias, 74-75
Cuneiformes, 298, 299*f*
Curva en «C», 104
Curva en «S», 104
en los ejercicios de abdominales, 120, 123
Curvatura de la columna, 81
cifosis, 98-100
escoliosis, 104-106
espalda plana, 103-104
lordosis cervical, 103
lordosis lumbar, 95-98
lumbar en bipedestación y sedestación, 115*f*
lumbar, y ejercicios de abdominales, 127
y el músculo psoasilíaco, 85-86
y la alineación ortostática ideal, 94*f*
Curvatura primaria de la columna, 73*f*, 81
Curvatura sacrococcígea, 81
Curvatura secundaria de la columna, 81

D
Decúbito prono, 17
Decúbito supino, 17
Dedo gordo del pie, 300
Dedos de la mano, 29
Deformación permanente, 36
Deformación recuperación, 36
*Dégagé*
como movimiento en cadena cinética abierta, 30
«usa el suelo», 316
y los aductores de la cadera, 170
y orientación del cuerpo, 21
Deltoides
fibras medias del músculo, 61*f*

fibras anteriores del músculo, 60*f*
fibras posteriores del músculo, 61*f*
Deltoides, músculo, 61*f*, 388-389, 468*f*, 469*f*
vista anterior, 393*f*
vista posterior, 394*f*
*Demi-plié*
análisis del movimiento, 64*t*
y el ciclo de estiramiento-acortamiento, 54
y el tipo de contracción muscular, 65*f*
*Demi-pointé*, 336-337
Densidad ósea, 6, 7
Desviación cubital, 426
Desviación radial, 425-426
*Développé*
y el tipo de contracciones musculares, 53
y los estiramientos de isquiotibiales, 284
y los rotadores externos profundos, 204
*Développé en avant*, 203*f*, 204
*Développé* en segunda posición
trocánter mayor caído, 210
y la inclinación pélvica, 208*f*
Diáfisis, 4, 5
Diartrosis, 13-14
estructura, 12*t*, 13*f*
movimientos, 22, 28
subclasificación, 14-15, 16-17*t*
*Diastasis recti abdominis*, 82
Diferencia de longitud entre las piernas, 104
Disco articular, 14
Disco fibrocartilaginoso, 14
Discos intercalados, 34
Discos intervertebrales, 12*t*, 74
como articulaciones cartilaginosas, 13
fuerza en anteroflexión y levantamientos, 106
hernias, 151-152
presión sobre los, 115
reparación, 152
secciones sagital y transversa, 74*f*
tamaño y región de la columna, 75
y los ejercicios de abdominales, 128
y *parté*, 118
Disposición de las fibras de los músculos vastos, 40
Distal, 18*t*
Distensibilidad del músculo, 36
Distensión/esguince lumbosacros, 149
Distensiones, 29
Dorsal ancho, músculo, 61*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 390
ejercicios de fortalecimiento, 436*t*
Dorsal, 17*f*, 18, 18*t*
análisis muscular, 332
ejercicios de fortalecimiento, 345*t*, 346*t*, 352
grado de movilidad normal, 353*t*
grado de movilidad y pronación, 354
y la estabilidad del tobillo, 330-331

E

Efecto piezoeléctrico, 6
EIAS, 158*f*, 159, 177, 178
EIPS, 159
Eje anteroposterior, 21, 25*f*
Eje vertical, 21
movimientos articulares, 26*f*
Ejercicios de fortalecimiento
*arabesque*, 213*f*
*développés en avant* en cuarta posición en máquina Universal Reformer, 216*t*
*développés en avant* en cuarta posición y extensiones, 203*f*
*En dehors*, 201*f*
«adelantar el talón», 270
activo y pasivo, 199
e hiperlordosis lumbar, 95
ejercicios de fortalecimiento, 201*f*
en elevaciones laterales, 206
estiramientos, 200*f*
factores determinantes, 199
forzado, 268
prueba, 199
y activación muscular, 200-201
y el ángulo de torsión femoral, 181
y la tuberosidad isquiática, 159
y los músculos rotadores externos profundos, 169
y planos del cuerpo, 20
y retroversión femoral, 182
y sexo, 199
Elevaciones al frente, 204*f*
Elevaciones laterales, 207*f*
Ejercicios pliométricos, 54
Ejes
anatómicos, 19, 21*t*, 22, 28
mediolaterales, 19, 20*f*, 24*f*
referencia, 19
Electromiografía, 62, 64
de la rotación vertebral, 112
del *plié* en segunda posición, 272
y análisis de movimientos, 488
Elevador de la escápula, músculo, 61*f*, 382, 394*f*, 469*f*
«Elevar la extremidad con la cara posterior del muslo», 211
«Elévate sin apoyarte en las rodillas», 267
Elipsoideas, articulaciones, 15
embarazo
y *diastasis recti abdominis*, 82
y el hueso innominado, 160
Eminencia intercondílea, 241*f*
Enartrosis, 15, 16-17*t*, 28
Endomisio, 41
Endostio, 5
Enfermedad de Osgood-Schlatter, 293
Enfermedad de Scheuermann, 99, 154
Entrenamiento de la fuerza
diseño y acción de los músculos, 65-66
para los músculos extensores de la cadera, 66*f*
tipos de resistencia, 66
y el área transversal de los músculos, 40
Epicóndilo, 11*t*
de la rodilla, 238
lateral, 238
medial, 238, 239*f*
Epífisis, 4
Epimisio, 41
Erector de la columna, músculo, 61*f*, 86-87, 91*t*, 93*f*, 469*f*
e hiperlordosis lumbar, 95
ejercicios de fortalecimiento, 132
y extensión vertebral, 110
y flexión lateral, 111
Escápulas, 9, 377*f*
alineación, 396-397
depresión, 376-377
depresión y elevación excesiva, 471*f*
Elevación, 376-377
Elevación durante movimientos del brazo por encima de la cabeza, 409-410
Escápula alada, 396-397, 398*f*
Estabilización, 400
fortalecimiento de los músculos, 446-447
«mantén los omoplatos deprimidos», 408
movimientos, 376-378
movimientos del húmero, 399*t*
músculos que actúan en las, 384*t*
músculos y movimientos, 404*t*
postura neutra al bailar, 410-411

*punto fijo de referencia, 334, 335*
*rotación, 464f*
*ubicación durante la abducción del hombro, 465f*
Extensibilidad de músculos y articulaciones, 336
Extensión, 44, 104, 106
*esternocostal, 104*
*intervertebral, 104*
Extensores
*cadera, 150f*
*cervical inferior, 73*
*cervical superior, 73*
*potencia (Pt), 45, 46*
Extremidad, 39
Espalda plana, 81, 101-104
*prevención con pelota, 199f*
*y el músculo psoasilíaco, 85-86*
*y fuerza de los extensores de la espalda, 140*
*y la cabeza, 194, 196*
Espalda, lesiones
*cifosis, 150*
*esguince/distensión lumbosacros, 149*
*espondilolisis/espondilolistesis, 149-150*
*hernias de disco, 151-152*
*incidencia en bailarines, 147*
*rehabilitación, 152-154*
*síndrome ciatopudendo, 151*
*y ejercicios abdominales, 127-129*
*y la enfermedad de Scheuermann, 154*
*y la fuerza de los músculos extensores de la espalda, 129-130*
Espina (impresión ósea), 111
Espina ciática, 150*f*
Espina escapular, 374
Espina ilíaca anteroinferior, 150*f*
Espina ilíaca anterosuperior (EIAS), 150*f*, 159, 177, 178
Espina ilíaca posterosuperior (EIPS), 158*f*, 159, 160-161
Espinoso del cuello, músculo, 86*f*, 91*f*
Espinoso torácico, músculo, 86*f*, 91*f*, 93*f*
Espinosos, músculos, 87
Espondilolisis, 95, 116, 149-150
Espondilolistesis, 149-150
*rehabilitación, 152*
Esqueleto apendicular, 9-10
Esqueleto axial, 9-10
Estabilidad troncal, 112-113, 125-126
Estabilizadores (fijadores), músculos, 55
Esternoclavicular, articulación, 376, 377*f*
Esternocleidomastoideo, músculo, 60*f*, 468*f*
Esternón, 9
Estiramientos
*contraindicación de los estiramientos con rebote, 117*
*diseño de ejercicios, 67*
*sensibilidad de los músculos a los, 52*
*y en dehors, 199, 200f*
*y elasticidad muscular, 37*
Estiramientos estáticos, 67
Eversión
*análisis muscular, 333*
*descripción, 302*
*ejercicios de fortalecimiento, 348f, 350f, 352*
*y la colocación en punta del pie, 337*
Extensibilidad del músculo, 36
Extensión, 17, 23, 23*t*
Elevaciones hacia atrás, 210-214
Elevaciones laterales, 206-210
*ejercicios de fortalecimiento, 208f*
*relación de la extremidad con la cara posterior del muslo», 209*
Extensor largo de los dedos, músculo, 60*f*, 311, 321*f*, 468*f*
*ejercicios de estiramiento, 356f*
Extensor largo del dedo gordo, músculo, 311, 321*f*
Extensores de la cadera (músculos), entrenamiento, 66*f*
*ejercicios de fortalecimiento, 226-227, 229*
*ejercicios pliométricos de la pierna, 236f*
*entrenamiento, 227, 228f*
Extensores de la rodilla, fortalecimiento de los músculos
*e hiperextensión, 129*
*ejercicios de extensión de McKenzie, 132*
*mejora de la eficacia, 130-132*
*prueba de fuerza, 131*
*y contracción abdominal, 126-128*
*y lesiones de rodilla, 132*
Extremidad inferior
*estructura esquelética, 9, 10f*
*huesos, 9*
*movimientos, 27*
*movimientos en cadena cinética abierta, 31*
*movimientos en cadena cinética cerrada, 31*
*y el ángulo de torsión femoral, 182f*
Extremidad superior. *Ver* radiocubital, articulación
articulaciones, 461*f*
*coordinación de movimientos con múltiples articulaciones, 422*
*ejercicios de flexibilidad, 447-452*
*ejercicios de fortalecimiento. Ver codo, fortalecimiento; hombro, fortalecimiento*
*estructura esquelética, 9, 10f*
*fuerza y peso, 119*
*huesos, 461f*
*movimientos en cadena cinética abierta, 31*
*movimientos en cadena cinética cerrada, 31*
*músculos multiarticulares, 431-432*
*músculos superficiales, 462f*
*pronación, 23t, 27*
*supinación, 23t, 27*
Extremidad superior, lesiones. *Ver también* hombro, lesiones
*codo de tenista (epicondilitis lateral), 454*
*esguince acromioclavicular, 453*
*extrínsecos, músculos, 309, 332t*
*prevención, 452*
*síndrome del túnel carpiano, 459-460*
*tendinitis y rotura de bíceps, 458-459*

F
Facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP), 67
Falanges, 299*f*
*de la mano, 9, 425*
*del pie, 10, 298, 300*
Fascia plantar, 307*f*
Fascia toracolumbar, 107, 113
Fascículos, 41
Fascitis plantar, 362
Fases de la marcha, 334-335, 466
Fases del movimiento, 466
*en carrera, 490-492*
*grand jeté en avant, 492-499*
Fatiga
*e hiperlordosis lumbar, 95*
*y tipo de fibras musculares, 39*
Femororrotuliana, articulación
*alineación, 259*
*ángulo Q, 259-260*
*estructura, 258*
*fuerzas compresivas, 261-263, 263f*
*ley del valgo, 260-261*
*mecánica, 260-263*
*músculos, 259*
*vista anterior y posterior, 260f*
Femorotibial, articulación, 241
Fémur, 9
*ángulo de inclinación, 178-179*
*anteversión, 182*
*fracturas por sobrecarga, 232*

puntos óseos de referencia, 159, 160*f*, 238
retroversión, 182
ritmo pelvicofemoral, 185-186
rotación externa durante el *en dehors*, 20
y coxa vara, 180
Fibras de contracción lenta, 39
Fibras de contracción rápida, 39
Fibras tipo I y tipo II, 39
Fibrocartílago, 13, 14*f*, 74, 245
Flexibilidad, 3, 29
Flexibilidad del hombro
aductores y abductores horizontales, 452
estiramientos, 448-451
músculos extensores y flexores, 448
prueba selectiva, 451
Flexión, 17, 22, 23*t*
Flexión dorsal, 23*t*, 27
Flexión lateral, 23*t*, 79
alineación de las vértebras, 116*f*
de la columna vertebral, 80*f*
ejercicios de fortalecimiento muscular, 141
estiramientos, 147
grado de movilidad vertebral, 143*t*
músculos implicados, 110-111
Flexión lateral derecha, 23*t*, 26
músculos implicados, 110-111
Flexión lateral izquierda, 23*t*, 26, 110-111
Flexión plantar, 23*t*, 27
análisis muscular, 331-332
ejercicios de fortalecimiento, 342-343
estiramiento, 353-354, 357*t*
movilidad normal, 353*t*
movilidad para bailarines, 354
pruebas de movilidad, 355
y la adopción de la punta con el pie, 336-337
y esguinces de tobillo, 360*f*
y la estabilidad del tobillo, 330-331
Flexiones de brazos
ejercicios de fortalecimiento, 434*t*
músculos del complejo del hombro, 403
prueba, 445
Flexor corto del dedo gordo, músculo, 322*f*
Flexor largo de los dedos, músculo, 315, 316*f*, 322*f*
y la colocación en punta del pie, 337
Flexor largo del dedo gordo, músculo, 315, 316*f*
estiramiento, 359*t*
tendinitis, 364
y la colocación en punta del pie, 337
Flexores de la cadera, músculos
e hiperlordosis lumbar, 96, 97*f*
ejercicios de fortalecimiento, 215-216, 223
estiramientos, 224-225, 226*t*
mínima intervención en ejercicios de abdominales, 120
prueba de flexibilidad, 214
y ejercicios de abdominales, 124
y postura de fatiga, 100
*Fondu developpé en avant*, 466
Fosa ilíaca, 158*f*, 159
Fosas, 11*t*
Fositas, 161
Fracturas por sobrecarga
causas, 8-9
e hiperextensión vertebral, 115
fémur, 232
pelvis, 232
pierna, 366-368
susceptibilidad de los bailarines, 7
Fuerza. *Ver también* resistencia a la tracción
centrífuga sobre el anillo fibroso, 74
componente paralelo, 51*f*
compresión de la articulación femororrotuliana, 261-263, 263*f*
compresiva del hueso, 2
compresiva sobre la cadera, 195
sobre la columna durante el *porté*, 118-119
sobre las articulaciones cigapofisarias durante la movilidad vertebral, 76
sobre los discos lumbosacros en anteroflexión, 106
torque, 45-46
y análisis de los movimientos, 472
y ángulo de inserción del músculo, 50
y el área transversal del músculo, 40
y extensibilidad del músculo, 37
y la función de la rótula, 258
y movimiento lineal, 44
y rotación, 44, 51*f*
y succión en la articulación coxofemoral, 163
y ventaja mecánica, 47
Fuerza de cizallamiento
durante la hiperextensión de la columna, 119
e hiperlordosis lumbar, 95
y la protección de la columna por los músculos abdominales, 107
Fuerzas compresivas
y lesiones de tobillo y pie, 359
Fuerzas de reacción del suelo, 488, 497
Fulcro, 45

G

Gastrocnemio, músculo, 253*f*, 469*f*
acción en la rodilla, 250
acciones e inserciones, 312-313
durante el *relevé*, 266
ejercicios de fortalecimiento, 345*t*
estiramientos, 356*t*
localización, 61*f*
tipo de fibras musculares, 39, 40
Géminos, músculos, 169-170, 175, 177*f*
*Genu recurvatum*, 259
Glenohumeral, articulación, 377*f*, 378-380. *Ver también* complejo del hombro, músculos del
Glúteo mayor, músculo, 61*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 167, 174
inserción en el hueso, 177*f*
Glúteo medio, músculo, 61*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 170-171, 175
línea de tracción y de acción, 177*f*
Glúteo menor, músculo, 170-171, 175, 176*f*, 177*f*
grado de hiperextensión, 148*f*
grados de libertad, 28
en la articulación coxofemoral, 161, 164
y las cadena cinética, 30
*Grand battement*
análisis de los movimientos, 480-483
«elevar la extremidad con la cara posterior del muslo», 211
énfasis del movimiento, 478
grado de movilidad, 486
músculos estabilizadores (fijadores), 55
*Grand jeté en avant*, 492-499
*Grand plié*
activación de los músculos y *en dehors*, 200
fuerzas sobre la rodilla, 266-269
y las fuerzas compresivas femororrotulianas, 261
Gravedad. *Ver también* línea de gravedad
ausencia de gravedad y longitud de la columna, 74
contrarrestada por las contracciones musculares, 52
en la movilidad de la columna en bipedestación, 110
influencia sobre el tipo de contracción, 63
uso en los ejercicios de estiramiento, 67
y ejercicios de abdominales, 124
y el movimiento «relaise y recuperación», 53
y la orientación del cuerpo, 15
y cifosis/lordosis erguida, 108

**H**
Hallux. *Ver* dedo gordo del pie
Hematíes
producción en la médula ósea, 4
Hiperextensión, 23*t*, 24
de la cadera, 161
de la columna, 75, 75*f*, 115-116, 117*f*, 148*f*
de la rodilla, 52, 272, 274, 282
del codo, 414-415
Hipertrofia, 37
del cuádriceps, 272
y fuerza de contracción muscular, 40
Hombro
alineación, 395-397
articulación glenohumeral, 378-380
«echa los hombros atrás», 397
elevación excesiva al bailar, 409-410
línea de tracción de los músculos, 44*f*
mecánica, 397-401
movilidad normal, 448*t*
problemas de alineación, 476*t*
ritmo escapulohumeral, 397-399
rodete glenoideo, 14*f*
rotación frente a circunducción, 25*f*
rotación y abducción, 399-400
Hombro, fortalecimiento
abductores, 445
aductores, 446
ejercicios, 434-440
extensores, 445
flexores, 444-445
mejora del rodamiento de los hombros, 396*f*
rotadores externos, 446
rotadores internos, 446
Hombro, lesiones
bursitis, 457-458
capsulitis adhesiva escapulohumeral, 458
esguince acromioclavicular, 453
luxación, 453-454
prevención, 452
rotura del manguito de los rotadores, 456-457
síndromes por compresión, 379, 455-456
Hombro, movimientos
abducción, 405-406
abducción horizontal, 407-408
acciones musculares, 404*t*
aducción, 406
aducción horizontal, 407-408
extensión, 405
flexión, 402-403
rotación externa, 407
rotación interna, 407
Hueso compacto, 4
Hueso coxal, 9, 158, 160
Hueso esponjoso, 4
Hueso innominado, 9, 158
Hueso trabecular, 4
Huesos, 2
como palancas, 43
desarrollo y crecimiento, 5-9
estimulación eléctrica y osteoblastos, 367
estructura, 4-5
ley de Wolf, 6
tipos y funciones, 3-4
Huesos cortos, 3, 5
Huesos del carpo, 9, 424
Huesos del cráneo, 9
Huesos del tarso, 10, 298
Huesos faciales, 9
Huesos irregulares, 3*f*, 4, 5, 159
Huesos largos, 3, 4
Huesos planos, 3*f*, 4, 5
Huesos sesamoideos, 3*f*, 4
del pie, 299*f*,
inflamación, 369-370
Húmero, 9, 375, 376*f*, 399*t*
Humerocubital, articulación, 412

**I**
Ilíaco, músculo, 85-86, 90*t*, 174, 176*f*
Iliocostales, músculos, 86*t*, 87, 91*t*, 93*f*, 132, 469*f*
Ilion, 3*f*, 9, 158, 158*f*
Impresiones óseas, 10, 11*t*
Inclinación en ortostatismo normal, 95
Inclinación lateral, 483-485
Inclinación pélvica, 161
anterior y posterior, 82, 177-178
durante el *grand plié*, 268*f*
durante los ejercicios de abdominales, 123-124
ejercicio, 134*t*
lateral, 178
posterior, y el músculo recto del abdomen, 82
postura neutra, 177
rotación, 178
signo de Trendelenburg, 191, 193
y el *développé* en segunda posición, 208*f*
y la alineación, 168
y las elevaciones hacia atrás, 210
y las posturas fatigantes, 100
y los movimientos en cadena cinética cerrada, 183-184
Inferior, 17, 18*t*
Inflamación y disfunción, 236-237
Infraespinoso, músculo, 61*f*, 394*f*, 400-401, 469*f*
Inserción del músculo, 42-43
Inserción ósea, 176*f*, 177*f*
Inserción proximal del músculo, 43
Insuficiencia activa, 57-58, 59*f*
de los músculos aductores y flexores de la cadera durante *développés en avant*, 201
del músculo recto femoral, 266
y ejercicios de fortalecimiento, 66
Insuficiencia pasiva, 57-58, 59*f*
con flexión de los dedos, 433
Interespinosos, músculos, 88-89, 93*f*
Interfalángica, articulación
de la mano, 427
del pie, 301*t*, 306
Interóseos plantares, músculos, 322*f*
Interóseos, músculos, 322*f*
Intersección tendinosa, 82, 92*f*
Intertarsianas, articulaciones, 301*t*
Intrínsecos del pie, músculos, 309, 320-323, 349*t*, 353
Inversión, 23*t*
análisis muscular, 332
descripción, 302
ejercicios de fortalecimiento, 346*t*, 347*t*, 350*t*, 352
y la colocación en punta del pie, 337
y esguinces de tobillo, 360
Irritabilidad, 34
Isotónico, 51
Isquion, 3*f*, 9, 158, 158*f*
Isquiotibiales, músculos, 248-249, 469*f*
acciones e inserciones, 168
brazo de momento, 59*f*
ejercicios de fortalecimiento, 66, 278*t*, 279*t*
estiramientos, 67*f*, 225, 227*t*, 228*t*, 284, 284*t*
flexibilidad e hiperextensión de la columna, 117-118
flexibilidad y pelvis neutra, 115
insuficiencia pasiva, 59*f*
localización, 61*f*

prueba de flexibilidad, 207
y estabilización de la pelvis, 187
y la articulación femorrotuliana, 259
y postura plana de la espalda, 196

L
Lámina epifisaria, 5, 13
Láminas epifisarias de crecimiento, 5
Láminas vertebrales, 72, 73*f*, 76
Lateral, 18*t*
Lesión discal, 128, 152, 153
«Levanta las rodillas», 52
Ley de aproximación, 50, 436*t*
Ley de Wolf, 6
Ley del valgo, 260-261, 263*f*
Ligamento amarillo, 76
Ligamento anular, 415
Ligamento calcaneonavicular plantar, 304
Ligamento calcaneoperoneo, 304
Ligamento colateral lateral
de la rodilla, 242-243, 242*f*
del tobillo, 303-304
prueba de esfuerzo, 244
Ligamento colateral medial
de la rodilla, 242, 242*f*, 245*f*
del tobillo, 303
prueba de esfuerzo, 244
Ligamento cruzado anterior (LCA), 242*f*, 243, 245*f*
Lesiones, 287-289
prueba de esfuerzo, 244
y aterrizajes suaves, 497
Ligamento cruzado posterior, 242*f*, 243, 244
Ligamento deltoideo (tobillo), 303
Ligamento en Y de Bigelow, 161
Ligamento iliofemoral, 161
Ligamento iliolumbar, 78
Ligamento inguinal, 83*f*, 84*f*, 92*f*
Ligamento isquiofemoral, 161-162
Ligamento longitudinal anterior, 75
Ligamento longitudinal posterior, 75
Ligamento meniscofemoral posterior (ligamento de Wrisberg), 243*f*
Ligamento nucal, 76
Ligamento peroneoastragalino anterior (LPAA), 303-304, 360*f*
Ligamento pubofemoral, 161
Ligamento tibioperoneo posterior (LTPP), 304
Ligamento transverso de la rodilla, 242*f*, 245*f*
Ligamentos astragalocalcáneos interóseos, 304
Ligamentos colaterales
como ligamentos extracapsulares, 14
de la rodilla, 242, 245*f*
del tobillo, 303
en la cadera, 196
y el síndrome de dolor femorrotuliano, 190
Ligamentos coracohumerales, 379
Ligamentos cruzados. *Ver* ligamento cruzado anterior (LCA); ligamento cruzado posterior (LCP)
Ligamentos extracapsulares, 14
Ligamentos interespinosos, 76
Ligamentos intertransversos, 76
Ligamentos intracapsulares, 14
Ligamentos supraespinosos, 76
diartrosis, 14
esguince, 29
Línea (impresión ósea), 11*t*
Línea alba, 82
Línea de gravedad, 15, 93-95, 98
Línea de tracción del músculo, 43-44, 62
Línea intertrocantérea, 159
Línea Z, 37, 38
Líquido sinovial, 13
Longísimo, músculo, 86*t*, 87, 91*t*, 93*f*
Lordosis cervical, 81, 103
Lordosis lumbar, 95-98
control, 96*f*
corrección, 97*f*
en sedestación, 115
y el decúbito lateral, 128
y la fuerza de los músculos extensores de la espalda, 129
y la paradoja del psoas, 108
y *pointé*, 119
y psoasilíaco, 85-86
Lumbalgia
mecánica, 149
rehabilitación, 152-154
y fuerza de los músculos extensores de la espalda, 129-130
Lumbosacra, articulación, 78-79
Lumbricales, músculos, 322*f*

M
Maléolo, 11*t*
lateral, 298
Manguito de los rotadores, 385-386, 456-457
Mano
articulaciones, 425-427
cara dorsal, 17*f*
cara palmar, 17*f*
estructura, 424
huesos, 9, 425*f*
insuficiencia pasiva durante la flexión de los dedos, 433
movimientos, 421, 427*f*
músculos, 427-431
músculos y movimientos, 430*t*
Matriz extracelular, 2, 13
McKenzie, ejercicios de extensión de, 152
Medial, 18*t*
Mediocarpiana, articulación, 425*f*
Médula ósea, 4
Membrana interósea, 300, 415
Membrana sinovial, 13
Meniscos, 14*f*, 242*f*, 245, 245*f*
lesiones, 290-292
Mesénquima, 5
Meseta de la tibia, 240, 241*f*
Mesopié, 299*f*, 300
Metacarpianos, 9, 424
Metacarpofalángicas, articulaciones, 426
Metatarsianos, 10, 298, 299*f*
secciones, 300
y el tipo de pie, 329
Metatarsofalángicas (MTF), articulaciones, 301*t*, 305
efecto windlass, 307
Miofibrillas, 37
Miofilamentos, 37
Miosina, 37
Momento de la fuerza, 45-46
Morton, neuroma de, 370
Movilidad
angular, 44
centrada, 113
segmentaria, 79
Movimiento lineal, 44
Movimiento rotatorio, 44
Movimientos continuos, 466
Movimientos del pulgar, 426, 429*t*, 431
Movimientos discretos, 466
Movimientos en cadena cinética abierta, 29-30
ejemplos, 31
ritmo lumbopélvico, 184-185
y la colocación en punta del pie, 337-338
Movimientos preparatorios, 54

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FUNDADA EN QUITO

Multífido, músculo, 88-89, 93*f*
y la estabilidad troncal, 113
Muñeca. *Ver también* radiocubital, articulación
estructura, 424
movimientos, 425-426, 427*f*
Músculo cardíaco, 34, 35*t*
Músculo(s)
acción habitual, 43
acciones deducidas de las inserciones, 63
agonistas, 467, 470*t*
ángulo de inserción, 48, 50
aprendizaje de nombres y acciones, 58-68
área transversal, 40
arquitectura, 40-41
aspecto estriado, 37
características, 2, 39*t*
contractilidad, 34
crecimiento, 37
disposición de las fibras, 40-41
distensiones, 29
estructura, 42*f*
estructura celular, 34
funciones, 34
hipertrofia, 37
inserción, 42-43
inserción en el hueso, 4, 5,k 41-44, 42*f*
inserción y acción, 63
línea de tracción, 43-44
microestructura, 37, 38*f*
modelo mecánico, 36-37
multiarticulares, 56-57
nombres y raíces, 62*t*
origen, 42-43
ortostáticos y no ortostáticos, 40
propiedades del tejido, 34-36
tipo de fibra y función, 39
tipos, 34, 35*t*
vista anterior, 60*f*, 468*f*
vista posterior, 61*f*, 468*f*
y densidad ósea, 6
Músculos, 427-429, 431
Músculos agonistas, 54
Músculos antagonistas, 54-55
Músculos accesorios, 54
Músculos biarticulares, 57
acciones en la rodilla, 265-266
entrenamiento resistido, 66
estiramiento, 67
Músculos braquiales. *Ver* codo, músculos del
Músculos de la articulación radiocubital, 423-424
Músculos de la columna vertebral
erector de la columna, 86-87
grupo posterior profundo, 88-89
psoasilíaco, 85-86
oblicuos externos del abdomen, 83
oblicuos internos del abdomen, 83-84
recto del abdomen, 82
resumen de inserciones y acciones, 90-91*t*
semiespinoso, 87-88
vista anterior, 92*f*
vista posterior, 93*f*
y flexión de la columna, 108-109
Músculos estriados, 34
Músculos «estribo», 337
Músculos físicos, 40
Músculos fusiformes, 40
Músculos involuntarios, 34
Músculos lisos, 34, 35*t*
Músculos multiarticulares, 56-57
en la articulación coxofemoral, 195
en la extremidad superior, 432
paradoja de Lombard, 58
Músculos no ortostáticos, 40
Músculos penniformes, 41
Músculos sinergistas (neutralizadores), 55, 470
Músculos tónicos, 40
Músculos uniarticulares, 57
Músculos y movimientos, 430*t*

N
Navicular, 298, 299*f*
Neuroglia, 2
Neuronas, 2
Núcleo pulposo, 74

O
Oblicuos del abdomen, músculos
reclutamiento durante los ejercicios de abdominales, 122-123, 124
y flexión lateral, 111
y la flexión de la columna, 108
y la protección de la columna, 107
Oblicuos internos del abdomen, músculos, 60*f*, 83-84, 90*t*, 92*f*, 468*f*
Obturador externo, músculo, 175, 176*f*
Obturador interno, músculo, 169-170, 175
Olécranon, 412
Oposición del pulgar, 426
Órganos, 2, 34
Orientación del cuerpo, terminología, 15-19
Origen de los músculos, 42-43
Osificación, 5
endocondral, 5, 6*f*
intramembranosa, 5
Osteoblastos, 5, 367
Osteoclastos, 8
Osteopenia, 6
Osteoporosis, 6, 7, 100, 233

P
Palancas, 45, 46*f*, 47*f*
de primera clase, 45
de segunda clase, 45
de tercera clase, 45
Palmar, 18, 18*t*
Papel de la cadera, 196
Paradoja de Lombard, 58, 59*f*, 266
Paradoja del psoas, 108
Pares de fuerza, 56
Pars interarticularis, 95
*Pasé*, 166, 169
Pata de ganso, 259
Pectíneo, músculo, 60*f*, 468*f*
acciones e inserciones, 173, 176
inserción en el hueso, 176*f*, 177*f*
vista anterior, 176*f*
Pectoral mayor, músculo
acciones, 45
inserciones y acciones, 387-388
localización, 60*f*
vista anterior, 393*f*
Pedículos del arco vertebral, 72, 73*f*
Pelvis
alineación y mecánica de las articulaciones distales, 477
estabilización, 186-188
fracturas por sobrecarga, 232-233
huesos, 158-161
inflamación y disfunción sacroilíacas, 236-237
mecánica, 182-188
movimientos en cadena cinética cerrada, 183-184
puntos óseos de referencia, 158-161
y la alineación ortostática ideal, 94-95

y la curvatura lumbar, 81
Perimisio, 41
Periostio, 4f, 5
Peroné, 9, 241f, 299f, 300
Peroneo corto, músculo, 317-318
Peroneo largo, músculo, 312
tercer peroneo, 312
Peroneo, músculo, 61f
Pie. *Ver también* colocación en punta del pie
alineación, 324-331, 338-339, 475-476tá
almohadilla del talón, 308
arcos plantares, 298, 304, 307, 324-325
articulaciones, 301t
bolsas, 309
cara dorsal, 17f
cara plantar, 17f
distribución del peso en bipedestación, 330
ejercicios de estiramiento, 356-359t
estiramientos del dedo gordo, 355
estructuras, 15f
huesos, 10
huesos sesamoideos, 308
inserciones y acciones de los músculos, 318-319
ligamentos del retropié, 303-304
mecánica, 329-331
propiocepción, 353
puntos óseos de referencia, 298-300
tipos, 329
vista anterior, 319f
vista lateral, 321f
vista posterior, 320f
Pie cavo, 325-326
Pie plano, 325-326, 327
Pie, ejercicios de fortalecimiento, 347f, 348t, 349t, 351t, 352-353
inicio del apuntamiento del pie, 341f
Pie, movimientos, 27, 302f
flexión dorsal, 23t
flexión plantar, 23t
influencia de la rodilla en la mecánica del, 340
inversión, 23t
pronación, 306
pruebas de movilidad, 355
supinación, 306
y movimientos de la pierna, 336
Pie, músculos
extensor largo de los dedos, 311
extensor largo del dedo gordo, 311
flexor largo de los dedos, 315
flexor largo del dedo gordo, 315
intrínsecos, 309, 320-323
Pie, problemas y lesiones
dedos en garra, 327-328
dedos en martillo, 327-328
fascitis plantar, 362
fracturas por sobrecarga, 366-368
*hallux valgus*, 328-329
juanetes, 329
neuroma de Morton, 370
Pie plano, 325-326, 327
prevención y rehabilitación, 359-360
retropié valgo y varo, 326-327
sesamoiditis, 369-370
tendinitis del flexor largo del dedo gordo, 364
Pierna
compartimientos, 307-308, 308f
ejercicio de tríceps sural, 342-343
ejercicios de estiramiento, 356-359t
estiramientos de los músculos flexores plantares, 357t
estiramientos del músculo gastrocnemio, 356t
extensor largo del dedo gordo, 311
fascia plantar, 306
flexor largo del dedo gordo, 315
fracturas por sobrecarga, 366-368
gastrocnemio, 312-313
junto con el movimiento del pie, 336
membrana interósea, 300
músculos «estribo», 317
peroneo corto, 317-318
peroneo largo, 317
retináculo, 308, 309f
síndrome tibial por sobrecarga, 364-365
síndromes compartimentales, 365-366
sóleo, 313-314
tercer peroneo, 312
tibial anterior, 310
tibial posterior, 314-315
vainas tendinosas, 308, 309f
Pierna que trabaja, 2
Piriforme, músculo, 169-170, 175, 233-234
*Pirouette*, 56
Plano coronal, 18
Plano frontal, 18, 25f, 27
Plano horizontal, 19, 26f, 27
Plano mediano, 17f, 18
Plano sagital, 18
movimientos, 27
movimientos articulares en el, 24f
movimientos sobre el eje mediolateral, 20f
y aperturas, 20
Plano sagital medio, 18
Plano transverso, 18
Planos anatómicos, 18-19, 19t
en los movimientos complejos, 22
movimientos de baile en los, 21f
y los movimientos de la columna, 79
Planos
cardinales, 18, 19f
diagonales, 22
medianos, 17f
oblicuos, 22
principales, 18
secundarios, 19
Plantar, 18, 18t
Plantar, músculo, 250
*Plié*. *Ver también grand plié*
electromiografía, 274
problemas de alineación, 476-477
*Plié* contra la pared y activación muscular, 201
*Plié* contra la pared, 202
Pliegues, 241
Plomada y alineación, 94
colocación en punta
«colocación en punta del extremo del pie», 339
ejercicios de fortalecimiento, 343-351t
estiramientos, 354-355, 358t
fortalecimiento de la flexión plantar, 342-343
fuerza de flexión plantar, 336-337
inicio, 339-340
pruebas de movilidad, 355
y el hallux valgus, 329
Polo inferior de la rótula, 240
Poplíteo, músculo, 248f, 250, 253f
*Porté*
y aguantar con los brazos, 412
y la protección de la columna, 118-120
Posición articular de bloqueo, 29
Posición de flexión de la articulación, 29
Postura anatómica, 17, 18t
Postura en bipedestación
distribución del peso sobre los pies, 330

e hiperextensión de la columna, 116
y movimientos pélvicos en cadena cinética cerrada, 183-185
Posturas fatigantes, 93, 100-103, 102*f*, 140
Preestiramiento, 54
Presión intraabdominal (PIA), 106, 113
Profundo, 18
Pronación, 23*t*, 27, 422*f*
al caminar, 334-335
excesiva, 334-335
influencia en el grado de flexión dorsal, 354
músculos, 423
y mecánica del pie, 331
Pronador cuadrado, músculo, 418
Pronador redondo, músculo, 418
Propiocepción del pie, 353
Proximal, 18*t*
Proyección de las costillas inferiores hacia delante, 96
Prueba de fuerza
músculos abdominales, 121-122
músculos extensores de la espalda, 131
Psoas mayor, músculo, 85-86, 90*t*
acciones e inserciones, 174
inserción en el hueso, 176*f*
vista anterior, 176*f*
Psoas menor, músculo, 176*f*
Psoasilíaco, músculo, 85-86, 90*t*, 468*f*
acción habitual del músculo, 43*f*
acciones e inserciones, 165-166
ejercicios de fortalecimiento, 213*t*
en el *développé en avant*, 203
estiramiento, 224*t*
inserción en el hueso, 176*f*, 177*f*
inversión de la acción habitual del músculo, 43*f*
localización, 60*f*
y las elevaciones laterales, 206
y posturas fatigantes, 100
Pubis, 9, 158, 158*f*
Puentes cruzados, 36, 51
Puntos de osificación primaria, 5
Puntos de osificación secundaria, 5

R
Radio, 9
Radiocarpiana, articulación, 425, 425*f*
Radiocubital, articulación, 12*t*, 415, 422*f*
Raíz griega de las palabras, 59
Raíz latina de las palabras, 59
Rama del isquion, 158*f*, 159
Rama inferior del pubis, 158*f*, 159
Rama superior del pubis, 158*f*, 159
Recto del abdomen, músculo, 60*f*, 82, 90*t*, 92*f*, 468*f*
Recto femoral, músculo, 244, 253*f*, 468*f*
acciones e inserciones, 166, 174
inserción en el hueso, 176*f*
insuficiencia activa, 59*f*
línea de tracción y acción, 176*f*
Recto interno, músculo, 60*f*, 173, 176, 177*f*, 253*f*, 468*f*
Redondo mayor, músculo, 61*f*, 390, 394*f*, 400-401
Región cervical
distensión, 153-154
rotación, 76*f*
Región torácica, 76*f*
*Relevé*
«elevación desde debajo de la pelvis», 352
ejercicio de fortalecimiento sobre un disco basculante, 351*t*
empleo de los músculos «estribo», 338
papel del músculo gastrocnemio, 266
y el sistema de palancas, 45
Reposición del pulgar, 426
Resistencia, 45
Resistencia a la tracción
de los tendones, 41, 362
del colágeno, 2
Respiración, 77, 84-85, 122-123
Retináculo superior de los músculos peroneos, 308
Retináculos, 14, 15*f*
Retropié, 299*f*, 300
Retroversión femoral, 181
Ritmo escapulohumeral, 397-399
Ritmo lumbopélvico, 185*f*
Ritmo pelvicotemoral, 186-187
Rodete glenoideo, 14, 14*f*
Rodilla. *Ver también* femororrotuliana, articulación
acciones de los músculos biarticulares, 266-267
alineación, 252-256, 338-339, 475*t*
ángulo Q, 260, 262
bolsas, 245-246
cápsula articular, 241-242
durante un *grand plié*, 267-270
durante movimientos de bisagra, 269
estiramiento, 283-286
estructura articular, 12*t*
extensión, 265-266
flexión, 263-264
en dobre forzada, 270
fuerzas compresivas, 263
funciones, 240
grado de movilidad, 253*t*
hiperextensión, 272, 274
influencia en la mecánica del pie, 340
ligamentos, 14, 239-241
mecánica, 256-258
mecanismo de bloqueo, 257-258, 259
meniscos, 14*f*, 245
movimientos, 241-246, 242*f*
movimientos y músculos, 264*t*
paradoja de Lombard, 267
puntos óseos de referencia, 240
Rodilla hiperextendida, 95
genu valgo, 179
genu varo, 180
rotación, 269, 270
tensión en valgo, 242, 271-272
tensión en varo, 243
torsión tibial, 256
Rodilla del saltador, 293
genu valgo, 179, 252, 254
genu varo, 180, 255, 275
Rodilla, fortalecimiento
ejercicios, 277-281
movimientos en cadena cinética cerrada, 251-252
Rodilla, lesiones
bursitis, 245-245
enfermedad de Osgood-Schlatter, 294-295
inflamación de los pliegues, 241
ligamento colateral medial, 288
ligamento cruzado anterior, 288-290
mecanismo extensor, 291
meniscos, 290-291
prevención, 286-287
pruebas de estrés, 244
pruebas de esfuerzo traumatológicas, 244
rehabilitación, 295
rodilla del saltador, 293-294
síndrome del dolor femororrotuliano, 291-293
triada, 291
Rodilla, músculos
cuádriceps femoral, 246
«elévate sin apoyarte en las rodillas», 268
gastrocnemio, 250

isquiotibiales, 248-249
plantar, 250
poplíteo, 250
resumen de inserciones y acciones, 251-252
vista anterior, 151*f*
vista posterior, 253*f*
*Roll-down*, 185*f*, 197*f*
papel de la cadera, 196
Romboides, músculo, 61*f*, 383, 469*f*
vista posterior, 394*f*
*Rond de jambe*, 169
Rotación
como resultado de la fuerza, 44
de la columna cervical, 76*f*
de la columna lumbar, 76*f*
de la columna vertebral, 23*t*, 76*f*, 79, 80*f*, 112, 141-142, 143*t*
de la pelvis, 178
de la rodilla, 256, 266
del hombro, 399-400
durante los ejercicios de abdominales, 124
durante una *pirouette*, 56
externa, 23*t*, 25
interna, 23*t*, 26
y los planos anatómicos, 22
Rotación
derecha, 23*t*, 26
externa, 23*t*, 25*f*
interna, 23*t*, 26
izquierda, 23*t*, 26
Rotación lumbar, 76*f*
Rotadores de la cadera, músculos. *Ver también* rotadores externos profundos
ejercicios de fortalecimiento, 224
estiramiento, 231
Rotadores externos profundos, músculos, 169-170, 193
durante un *plié* contra la pared, 201
ejercicios de fortalecimiento, 221-222
estiramientos, 229*t*, 230*t*
línea de tracción y acción, 177*f*
y el *développé en avant*, 206
y el *en dehors*, 198, 200
Rotadores, músculos, 88-89, 93*f*, 132
Rótula, 3*f*, 10*f*
ángulo Q y trayectoria, 262
funciones, 258-259, 261*f*
«levanta las rodillas», 52
ley del valgo, 261-262
movimientos, 259
puntos óseos de referencia, 240-241, 241*f*
trayectoria, 68

**S**

Sacro, 72, 73*f*, 158*f*, 161
Sacroilíacas, articulaciones, 79, 158*f*, 160-161
y posturas fatigantes, 100
Saltos
*grand jeté en avant*, 492-499
y el ciclo de estiramiento-acortamiento, 54
y fascitis plantar, 362
y fortalecimiento de la flexión plantar, 342-343, 345*t*
y fuerzas compresivas en la rodilla, 263
Sangre, 2, 4
Sarcolema, 36
Sarcómera, 37, 38, 51, 52
Sarcoplasma, 37
Sartorio, músculo, 166
Sartorio, músculo, 60*f*, 253*f*, 468*f*
acciones e inserciones, 166, 174
disposición de las fibras, 40
inserción en el hueso, 176*f*
línea de tracción y acción, 176*f*
sedestación
y la alineación de las vértebras, 115
y la presión en los discos intervertebrales, 151
Sellares, articulaciones, 15, 16-17*t*
Semiespinosos, músculos, 87-88, 91*t*, 93*f*
Semimembranoso, músculo, 61*f*, 253*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 168, 174, 177*f*
Semitendinoso, músculo, 61*f*, 253*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 168, 174, 177*f*
Senos, 11*t*
Serrato anterior, músculo, 60*f*, 383, 468*f*
Sharpey, fibras de, 5
Signo de Trendelenburg, 189, 191, 235
Síndrome del túnel carpiano, 459-460
Síndrome del compartimiento tibial, 5, 364-365
Síndrome del dolor femororrotuliano, 291-293
y la apertura forzada, 271
Síndrome del hueso trígono, 269-270
Síndrome tibial por sobrecarga, 364-365
Síndromes compartimentales, 365-366
Sinergista verdadero, músculo, 55
Sínfisis del pubis, 13, 160
y la postura neutra de la pelvis, 177
*Sissone ouverte*, 472
Sistema esquelético
definición, 2
esqueleto apendicular, 9-10
esqueleto axial, 9-10
Sistemas, definición, 2
Sóleo, músculo, 469*f*
acciones e inserciones, 313-314
ejercicios de fortalecimiento, 343*t*, 344*t*
en cifostatismo, 53
estiramiento, 357*t*
localización, 61*f*
tipo de fibras musculares, 39
Subastragalina, articulación, 301*t*, 302-303
Subescapular, músculo, 400-401
Superficial, 18, 18*f*
Superior, 17, 18*f*
Supinación, 23*t*, 27, 422*f*
al caminar, 334-335
músculos, 423-424
y mecánica del pie, 331
Supinador, músculo, 419
Supraespinoso, músculo, 385, 469*f*
vista posterior, 394*f*
Suturas, 11, 12*t*

**T**

Tarsometatarsiana, articulación, 301*t*
Técnica de Graham, 269, 433*f*
Técnica de Horton, 269
Tejido conjuntivo
en las articulaciones fibrosas, 11
en las bolsas, 14
en los ligamentos, 14
funciones, 2
mesénquima, 5
y la inserción del músculo en el hueso, 41
Tejido epitelial, 2
Tejido nervioso, 2
Tendón de Aquiles
acciones e inserciones, 313
Tendinitis, 363-364
y el apuntamiento del pie, 339
Tendón rotuliano, 253*f*
Tendones, 41
*Tendu*
«uso del suelo», 315

uso de los músculos «estribo», 337-338
Tensión en valga, 242
en danza, 271-272
en el *demi-plié*, 477
Tensión en varo, 243
Tensor de la fascia lata, músculo, 60*f*, 167*f*, 246, 253*f*, 468*f*
acciones e inserciones, 171, 175
vista anterior, 176*f*
Teoría de los filamentos deslizantes, 37-39, 50
Terminología de Laban, 478
Terminología direccional, 17, 18*t*
Tibia, 9, 241*f*
fracturas por sobrecarga, 367
función en carga, 300
palpación, 298
puntos óseos de referencia, 240
rotación y lesiones, 270
torsión, 256, 324
y *en dehors*, 20
Tibial anterior, músculo, 60*f*, 310, 468*f*
y el apuntamiento del pie, 337
Tibial posterior, músculo, 314-315, 316*f*
y el apuntamiento del pie, 337
Tibioperoneoastragalina, articulación, 300-301, 301*t*
Tipos de tejido, 2
Tipos de fibras musculares, 39-40
Titina, 36
Tobillo. *Ver también* apuntamiento del pie
acciones e inserciones musculares, 318-319
alineación, 324-331, 475-476*t*
análisis muscular de los movimientos, 331-333
bolsa, 309
cápsula articular, 303
estabilidad, 304, 330-331
estiramientos, 353- 354
estructura articular, 300-301
fascia plantar, 306
huesos y puntos anatómicos óseos de referencia, 298-300
mecánica, 329-331
músculo extrínsecos, 309
propiocepción, 353
pruebas de esfuerzo ortopédicas, 305
pruebas de movilidad, 355
vista anterior, 319*f*
vista lateral, 321*f*
vista posterior, 320*f*
Tobillo, fortalecimiento, 350*t*, 351*t*
inicio del apuntamiento del pie, 341*f*
Tobillo, lesiones
esguince, 360-362
síndromes por compresión, 368-369
tendinitis, 363-364
tendinitis del Aquiles, 363
Tobillo, movimientos, 300-301, 302*f*
flexión dorsal, 23*t*
flexión plantar, 23*t*, 331-332
pronación, 306
supinación, 306
Tórax, 9
Torque, 45-46
influencia del brazo de momento, 49
y contracciones concéntricas, 51
y el tipo de contracción muscular, 50*t*
y la acción de palanca, 47*f*
Trabéculas, 4
Transversa del tarso, articulación, 304-305
Transverso del abdomen, músculo, 60*f*, 84-85, 90*t*, 92*f*, 468*f*
reclutamiento durante ejercicios de abdominales, 122-123
y la flexión de la columna, 108
y protección de la columna, 107
Trapecio, fibras superiores del músculo, 468*f*
Trapecio, músculo, 60*f*, 61*f*, 381-382, 468*f*, 469*f*
vista anterior, 393*f*
Tríada de las deportistas, 7
Triaxiales, articulaciones, 16-17*t*, 28
Tríceps braquial, músculo, 61*f*, 469*f*
acciones e inserciones, 418-419
ejercicios de fortalecimiento, 436*t*, 443*t*, 444*t*
vista posterior, 394*f*
Tríceps coxal, 169
Tríceps sural, músculo, 312, 314
ejercicios de fortalecimiento, 343*t*
y tendinitis del Aquiles, 363
Trocánter, 11*t*
bursitis, 235
Trocánter mayor, 159, 206, 210
Trocánter menor, 159
Tróclea, 412
Tróclea femoral, 240
Trocleartrosis, 15, 16-17*t*, 28
Trocoideas, articulaciones, 15, 16-17*t*
Tropomiosina, 38
Troponina, 38
Tubérculo, 11*t*, 42
Tuberosidad, 11*t*
del V metatarsiano, 299*f*
Tuberosidad de la tibia, 240
Tuberosidad deltoidea, 375
Tuberosidad isquiática, 155*f*, 159

U
Uniarticular, músculo, 57
Uniaxial, articulación, 28

V
Vaina tendinosa, 14, 15*f*
Valgo del retropié, 326-327
Varo del retropié, 327
Vasto intermedio, músculo, 246, 468*f*
Vasto lateral, músculo, 246, 253*f*, 468*f*
y la trayectoria del rótula, 261
Vasto medial, músculo, 246, 253*f*, 468*f*
y el síndrome de dolor femororrotuliano, 192
Vector, 50
Vectores de fuerza, 15
Velocidad de movimientos, 48
Ventaja mecánica, 46-48, 47*f*
Ventral, 18*t*
Vértebra prominente, 74
Vértebras, 9
estructura, 72
Vértebras cervicales, 72
al nacer, 73*f*
articulación atlantoaxial, 77
articulación atlantooccipital, 77
articulaciones cigapofisarias, 76*f*
atlas, 77
curvatura, 81
en la edad adulta, 73*f*
en los ejercicios de abdominales, 120
lordosis, 103
movimientos, 79
tamaño de los discos intervertebrales, 75
Vértebras dorsales, 72
al nacer, 73*f*
articulaciones cigapofisarias, 76*f*
articulaciones con las costillas, 77-78
cifosis, 81, 98-100
en la edad adulta, 73*f*
enderezamiento de la porción superior de la espalda, 118

Vértebras lumbares, 72
  al nacer, 73f
  articulaciones cigapofisarias, 76f
  columna neutra durante los ejercicios de abdominales, 127
  en la edad adulta, 73f
  estructura, 73f
  lordosis, 81
  tamaño de los discos intervertebrales, 75
Vientre muscular, 41
Viscoelástico, 36
  propiedades de los músculos, 246
Viscosidad del músculo, 36

Z
Zona H, 37, 38

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
POTENTIOR EST
OMNIUM SAPIENTIA
FUNDADA EN 1620
QUITO

# Acerca de la autora

**Karen Clippinger** terminó su licenciatura con tesina en ciencia del ejercicio en la Universidad de Washington en 1984. Su labor de toda una vida se ha centrado en la aplicación de los principios científicos a mejorar la alineación y a la ejecución de movimientos, así como a la reducción del riesgo de lesiones. En la actualidad es catedrática en la California State University en Long Beach, donde enseña anatomía funcional aplicada a la danza, al Pilates, a la colocación de los bailarines, a la prevención y tratamiento de las lesiones de danza, y a la ciencia de la danza y las técnicas de enseñanza. Clippinger también ha dado cursos de anatomía y cinesiología de la danza en UCLA, Scripps College, en la Universidad de Washington y en la Universidad de Calgary. Forma parte del cuerpo docente de Body Arts and Science International.

Antes de su cargo en la CSULB, Karen Clippinger trabajó 22 años de cinesióloga clínica. También ha trabajado de cinesióloga especialista para el Pacific Northwest Ballet desde 1981 y ha colaborado con el equipo de marcha de Estados Unidos, la Federación de Halterofilia de Estados Unidos y en el Consejo de Forma Física y Deporte del Gobernador de California.

Karen Clippinger ha hecho más de 350 presentaciones en Estados Unidos y en el extranjero. Ha participado en seminarios en muchas universidades y es autora de numerosos artículos y capítulos. Escribió durante cuatro años una columna sobre ejercicio en la revista *Shape Magazine* y fue uno de los coeditores en jefe de la revista *Journal of Dance Medicine and Science* de 1996 a 2005.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
QUITO
FUNDADA EN 1620

# ANATOMÍA y CINESIOLOGÍA DE LA DANZA

La danza es una actividad física muy exigente que abarca muchos estilos de movimiento y que requiere un gran grado de versatilidad, fuerza y amplitud de movimiento, equilibrio, coordinación neuromuscular y percepción cenestésica. Para el bailarín, su cuerpo es su instrumento de expresión sobre el que se aplican los principios biomecánicos y anatómicos básicos para conseguir un rendimiento óptimo. Este libro es una herramienta que le ayudará a conocer mejor su cuerpo y así reducir el riesgo de lesiones y aumentar la longevidad y calidad de sus actuaciones.

**Anatomía y cinesiología de la danza** estudia –con abundante material visual y ejercicios prácticos– los principales huesos, articulaciones, músculos, desviaciones en la alineación y la mecánica de cada región del cuerpo. También se presentan ejercicios de muestra para mejorar la fuerza y la flexibilidad que ayudarán al lector a comprender mejor la función y localización de los músculos, así como ejercicios clásicos con el objetivo de mejorar la fuerza y la flexibilidad en la técnica de la danza y prevenir lesiones habituales. En la sección final de los capítulos se describen lesiones habituales que se producen en la danza, así, profesores y bailarines tendrán una base sólida para evaluar riesgos, decidir sobre modificaciones temporales o diseñar progresiones secuenciales para las clases, que permitan desarrollar el repertorio de baile con la gracia estética deseada y el menor riesgo posible de lesiones. El capítulo final del libro ofrece un esquema que ayudará a los lectores a analizar los movimientos practicados con todo el cuerpo y a elegir los ejercicios suplementarios más adecuados para mejorar el rendimiento.

BIBLIOTECA ECUADOR
FUNDADA EN 1620
QUITO

ISBN: 978-84-9910-064-7
9 788499 100647
www.paidotribo.com