

# Músculos

## Temas principales

- Las células musculares se acortan cuando se les da la orden; ninguna otra célula lo hace.
- Existen tres tipos de células musculares: esqueléticas, cardíacas y lisas.
- El músculo esquelético se contrae de forma voluntaria para producir los movimientos del cuerpo.
- El trifosfato de adenosina (ATP), la mayoría del cual deriva del metabolismo de la glucosa y de la grasa, es la moneda de cambio de energía para la acción de los músculos.
- El músculo liso se contrae de forma involuntaria para poner en marcha muchas funciones internas.

## Objetivos del capítulo

### Aspectos generales de los músculos 228

1. Enumerar cinco funciones del tejido muscular.
2. Comparar y señalar las diferencias entre músculo esquelético, liso y cardíaco.

### Estructura del tejido muscular esquelético 231

3. Con un dibujo, identificar y describir las características especiales de una célula muscular esquelética, y explicar cuántas de estas células, junto con las membranas de tejido conectivo, incorpora el músculo esquelético.

### Contracción del músculo esquelético 233

4. Definir *sarcómero* y explicar cómo se produce la contracción muscular a partir del acortamiento del sarcómero.

5. Describir de qué están compuestos los filamentos delgados y gruesos, y señalar las partes del sarcómero.

6. Enumerar todos los pasos involucrados en la contracción muscular, comenzando con un potencial de acción en una neurona y finalizando con los procesos del ciclo de los puentes cruzados.

7. Enumerar los pasos involucrados en la relajación muscular.

### Energía muscular 243

8. Identificar tres usos del ATP en la contracción muscular.
9. Explicar los beneficios y las desventajas de las diferentes fuentes de energía (fosfato de creatina, glucólisis y respiración mitocondrial): comparar metabolismo anaerobio y aerobio.

comparar la estructura y función de las fibras rápidas glucolíticas y las fibras lentas oxidativas.

**Metabolismo energético muscular: el caso de Hammid S. 246**

enumerar las diferentes causas de fatiga muscular relacionadas con el caso práctico.

**Mecánica de la contracción muscular 248**

explicar cómo la modificación de la longitud de las fibras y/o el reclutamiento de unidades motoras adicionales produce una mayor contracción.

señalar ejemplos de contracción isométrica, isométrica concéntrica e isotónica excéntrica.

enumerar los efectos del entrenamiento contra resistencia y los ejercicios de resistencia sobre los músculos.

**Músculo liso 252**

15. Describir las diferencias estructurales y funcionales de los músculos esquelético y liso.

16. Enumerar los pasos involucrados en la contracción del músculo liso, incluyendo los diferentes tipos de estímulos que pueden inducir contracción.

**Acciones del músculo esquelético 255**

17. Identificar el músculo principal, sinérgico y/o antagonista de los diferentes movimientos de cada articulación.

**Principales músculos esqueléticos 256**

18. Para cada región del organismo (cabeza y cuello, miembros superiores, tronco y miembros inferiores), señalar los principales músculos esqueléticos en un esquema e indicar su inserción y origen.

## Caso práctico: «Ha sufrido esos dolores durante toda la vida»

Mientras lee el siguiente caso práctico, haga una lista de los términos y conceptos que debe aprender para comprender el caso de Hammid.

**Anamnesis:** la madre de Hammid S., un niño de 10 años, llevó a su hijo a la consulta del pediatra. La familia había emigrado a Estados Unidos desde Afganistán 10 meses antes. Con la ayuda de un intérprete, la madre explicó que Hammid se sentía cada vez más molesto por su incapacidad de mantenerse al día en el equipo de fútbol debido a los calambres musculares dolorosos que le aparecían en las piernas durante el ejercicio continuado. También se había estado quejando de que las actividades cotidianas que precisaban un importante esfuerzo muscular, como subir escaleras, le producían dolor. La madre explicó, además: «durante toda su vida siempre he tenido estos dolores, pero nunca tan intensos como ahora. El doctor en Herat me dijo que probablemente tenía una enfermedad del hígado porque a veces su orina es roja o marrón. Pero la orina oscura aparece siempre después de que sufra los calambres musculares. Los calambres desaparecen si descansa un rato».

El interrogatorio adicional mostró que el hermano mayor de Hammid y su hermana menor no estaban afectados por síntomas similares.

**Exploración física y otros datos:** Hammid tenía una altura y un peso normales para su edad, y las constantes vitales eran normales. El tamaño y tono musculares eran normales. En todos los miembros existía una leve debilidad muscular proximal y presentaba dificultad para dar más de 8 o 10 pasos en marcha de puntillas y talones debido a la aparición de los calambres en las piernas.

Las pruebas analíticas mostraron niveles demasiado elevados de creatina cinasa (una enzima muscular) en sangre. Se realizó un diagnóstico de sospecha de síndrome de McArdle (enfermedad por depósito de glucógeno tipo V debida a una deficiencia genética de glucógeno fosforilasa muscular, otra enzima muscular) y se concertó una consulta con un especialista en enfermedades musculares.

**Evolución clínica:** en la consulta del especialista se le realizó una prueba de isquemia de antebrazo, en la que se infla un manguito de isquemia para cortar el flujo sanguíneo, y se le solicitó que apretase una pelota



## Conocimientos necesarios

Antes de adentrarse por primera vez en este capítulo, es importante comprender los siguientes términos y conceptos.

- Nutrientes y ATP ← (cap. 2)
- Estructura de la neurona, neurotransmisores y sinapsis química ← (cap. 4)
- Movimiento de las articulaciones sinoviales ← (cap. 6)

de goma durante 1 min o hasta que apareciesen los calambres. Los resultados del análisis de ácido láctico en sangre obtenida de una vena del antebrazo resultaron alterados: durante la prueba no se produjo el aumento normal de ácido láctico. Se le realizó una biopsia muscular que mostró un aumento de las cantidades de glucógeno en las fibras musculares y una disminución importante del contenido muscular de glucógeno fosforilasa.

Los especialistas explicaron a los padres de Hammid que el defecto genético era hereditario y que no existía tratamiento en el momento actual. Se tranquilizó a los padres diciéndoles que, aunque Hammid tendría dificultades con el ejercicio intenso durante toda su vida, era poco probable que sufriese otros problemas.

Del mismo modo que la palabra *hueso* puede hacer referencia a un órgano o un tejido, la palabra *músculo* también puede hacerlo. Por ejemplo, el músculo bíceps (un músculo del brazo) es un órgano compuesto principalmente por tejido muscular. La palabra *músculo* deriva del latín *mus* («ratón»), en referencia al movimiento ondulante de los músculos y su supuesto parecido con el movimiento de un ratón bajo la piel. A su vez, *mus* deriva de la palabra del griego más primitivo *mys* (que significa tanto «ratón» como «músculo»), que aporta los prefijos *mio-* y *mus-* que hacen referencia a músculo. Un **miofilamento**, por ejemplo, es un filamento citoesquelético especializado de células musculares. Las palabras que hacen referencia a tejidos musculares pueden tener también el prefijo *sarco-*, que deriva de la palabra griega *sarx* (por «carne»). Por ejemplo, el citoplasma de una célula muscular se denomina **sarcoplasma**.

*El valor es como un músculo fortalecido por su uso*

**Ruth Gordon**, escritora y actriz norteamericana (1896-1985)

## Aspectos generales de los músculos

Los músculos constituyen aproximadamente del 40% al 50% del peso corporal. Ninguna otra célula puede hacer lo que hacen las células musculares: se contraen (acortan) ante una orden consciente. Esta capacidad confiere a las células musculares la responsabilidad de nuestros movimientos, tanto los visibles como los invisibles: la marcha, el habla, los movimientos intestinales, la micción, la respiración, los latidos cardíacos, la dilatación y constricción de las pupilas de los ojos, y muchos otros. Y cuando estamos quietos, sentados o de pie, las células musculares nos mantienen erguidos.

### Funciones de los músculos

La función principal del músculo es convertir la energía química en fuerza mecánica. Los músculos actúan para:

- *Mover las partes del organismo.* Cada movimiento de nuestro cuerpo requiere la acción del músculo esquelético, desde grandes movimientos, como caminar, a otros más pequeños, como respirar o seguir un partido de tenis con los ojos.
- *Mantener la postura corporal.* Aunque no es obvio, una secuencia ininterrumpida de diminutas y silentes contracciones de los músculos esqueléticos posturales nos mantiene erguidos cuando estamos de pie o sentados. Una actividad relacionada es la *estabilización de las articulaciones*: en cada actividad deben estabilizarse las articulaciones de modo que no se desplacen fuera de configuración sino que funcionen de manera continua y uniforme.
- *Ajustar el volumen de las estructuras anatómicas huecas.* Mediante su respuesta a las órdenes neurovegetativas inconscientes, los músculos de las paredes de las estructuras huecas se relajan para aumentar el volumen y se contraen para disminuirlo. Por ejemplo:

- El m...
- miti...
- se c...
- Los...
- se r...
- y pe...
- redu...
- Mover...
- nes au...
- impuls...
- das de...
- tenido...
- ondas...
- lación...
- Produc...
- solina...
- glucos...
- gía sie...
- El orga...
- muscu...
- tos de...
- en for...
- del or...
- calor (...)

### Tabla 7

Caracteri...

Localizac...

Aspecto...

Control...

Contrac...

Fatiga?

El músculo de la pared de la vejiga se relaja para permitir que la vejiga se dilate y dé cabida a más orina, o se contrae para expulsarla.

Los músculos de las paredes de los vasos sanguíneos se relajan para que los vasos sanguíneos se dilaten y permitan más flujo sanguíneo o se contraen para reducirlo.

**En las sustancias dentro del organismo.** Las contracciones automáticas autoestimuladas del músculo cardíaco impulsan la sangre a través de los vasos sanguíneos; otras contracciones de músculo liso impulsan el contenido intestinal a lo largo del tracto intestinal, y otras similares dan la energía suficiente para la eyaculación masculina y el orgasmo femenino.

**Generar calor.** Tanto si se trata de la conversión de gasolina en movimiento del vehículo o la conversión de comida en contracción muscular, la conversión de energía siempre produce calor como producto de desecho. El organismo genera ATP para impulsar la contracción muscular. Cuando lo hace, aproximadamente tres cuartos de los nutrientes de energía consumidos escapan en forma de calor. Puesto que casi la mitad de la masa del organismo es músculo esquelético, la mayoría del calor del organismo proviene de las contracciones de

éste. Y, del mismo modo que el calor desechado por el motor de un coche es utilizado para calentar el interior del mismo en un día de mucho frío, el calor producido por las contracciones musculares es la fuente principal de calor para mantener la temperatura corporal. Por ejemplo, los escalofríos que se producen cuando tiritamos de frío son contracciones involuntarias del músculo esquelético que generan calor extra para elevar la temperatura corporal.

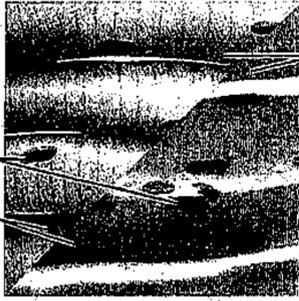
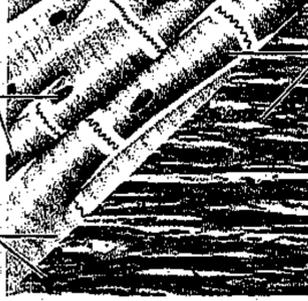
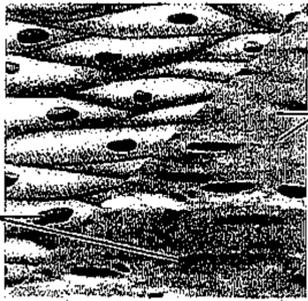
**Apuntes sobre el caso**

7-1 En base a los síntomas, ¿cuál de las funciones musculares que acabamos de describir está alterada en Hammid, nuestro paciente?

**Existen tres tipos de músculo**

Existen tres tipos de músculo: *esquelético*, *cardíaco* y *liso* (tabla 7-1). Su característica común más importante es su capacidad de contraerse. Se diferencian en base a cuatro aspectos:

**7-1. Tejido muscular**

	Esquelético	Cardíaco	Liso
Ubicación	A menudo unido a huesos	Corazón	Paredes de los vasos sanguíneos, órganos viscerales
Forma	Fibras cilíndricas largas	Fibras cilíndricas ramificadas	Células pequeñas; en ocasiones ramificadas
Delgadas	Delgadas	Estriadas	No estriadas
Estriadas	Estriadas	Núcleo único	Núcleo único
Núcleos	Múltiples núcleos		
			
Control	Voluntario	Involuntario	Involuntario
Contracción	Contracción y relajación rápidas	Contracción y relajación moderadas	Contracción y relajación lentas; pueden mantenerla durante períodos prolongados
Control voluntario	Sí	No	No

- Localización.
- Aspecto microscópico.
- Si están sujetos o no a control voluntario (*consciente*).
- Tipo de *contracción* que generan.

### El músculo esquelético mueve el esqueleto

Como su nombre sugiere, la mayoría de los **músculos esqueléticos** están unidos a los huesos y mueven el esqueleto (fig. 7-1).

El músculo esquelético constituye la mayor parte de nuestra masa muscular y da forma al cuerpo. Forma la pared del cuerpo, de ahí el término alternativo *músculo somático* (*soma* = «pared»).

Microscópicamente, el músculo esquelético es **estriado**, es decir, presenta franjas cruzadas (estriás) cuando se observa con el microscopio, un aspecto que está íntimamente relacionado con su función. Las células musculares maduras son especialmente largas y delgadas (hasta 30 cm) y se denominan típicamente **fibras musculares**. Hay que tener en cuenta, a lo largo de todo este capítulo, que una fibra muscular es una única célula muscular esquelética madura.



**Figura 7-1. Músculos en acción.** El músculo cardíaco (*rojo oscuro*) mantiene el movimiento de la sangre; el músculo liso (*naranja*) permite la digestión de los alimentos y la retención de la orina, y el músculo esquelético (*rojo claro*) mueve el cuerpo. ¿Qué tipo de músculo forma la pared del estómago?

Además, el músculo esquelético es un **músculo voluntario**, es decir, podemos contraerlo y relajarlo a voluntad. Los músculos esqueléticos también pueden funcionar fuera de nuestro control consciente; por ejemplo, el diafragma se contrae y relaja para que sigamos respirando mientras dormimos, y los músculos del cuello y la espalda mantienen nuestra posición sentada mientras trabajamos.

Las fibras del músculo esquelético se contraen rápidamente y con energía, y a continuación se relajan y preparan para contraerse de nuevo. No mantienen la tracción durante períodos prolongados, ya que se fatigan tras contracciones repetidas. Más adelante comentaremos la naturaleza precisa de la fatiga muscular, que es una característica del músculo esquelético; el músculo cardíaco y el músculo liso no se fatigan.

### El músculo cardíaco impulsa la sangre por el organismo

Como su nombre indica, el **tejido muscular cardíaco** se encuentra únicamente en el corazón y constituye la mayor parte de su masa (v. fig. 7-1). Percibimos las contracciones del músculo cardíaco a través de los latidos, que impulsan la sangre a través de los vasos sanguíneos del cuerpo.

A nivel microscópico, el músculo cardíaco es esférico como el esquelético. Las células musculares cardíacas son mucho más cortas que las fibras musculares esqueléticas, pero están ramificadas e interconectadas. El final de una rama está íntimamente conectado con otras, produciendo fibras largas de músculo cardíaco. Como resultado, el músculo cardíaco constituye una red que actúa como si fuera una gran célula muscular.

Obviamente, el músculo cardíaco es un **músculo involuntario**: no podemos controlar sus contracciones de forma voluntaria. Dicho esto, algunas acciones deliberadas, como la meditación, pueden enlentecer nuestro latido cardíaco, mientras que otras, como el ejercicio vigoroso, pueden aumentarlo.

Al igual que las fibras del músculo esquelético, las células musculares cardíacas se contraen rápidamente y a continuación se relajan. Sin embargo, al contrario que las fibras esqueléticas, no se fatigan. Volveremos al músculo cardíaco en el capítulo 11, cuando hablemos del corazón.

### El músculo liso impulsa las acciones de las vísceras

El **tejido muscular liso** se encuentra en capas gruesas en las paredes de los órganos huecos, como los vasos sanguíneos, la vejiga de la orina, el útero y el intestino (fig. 7-2). El intestino y otros órganos abdominales son descritos con frecuencia como *vísceras*; por lo tanto, el músculo liso se denomina también *músculo visceral*. Como hemos señalado previamente, su función es ajustar el volumen de las estructuras huecas y ayudar a mover sustancias, desde los alimentos a la sangre, a través del organismo.

El músculo liso se denomina así por su aspecto microscópico: es un **músculo no estriado**, es decir, presenta un aspecto uniforme.

#### Apuntes sobre

2. ¿Qué tipo de enfermedad de

todo el tejido es extensible

una importante del músculo

se estira sin la boca al

lo que suele darse para per

ese extensible forma del mú

organismo (el excesivamente

liso que también

se manifiesta en el hígado

#### Examen sorpresa

7-3 Señala

7-4 ¿Qué tip

#### Estructura esquelética

Dado que la

de contraer

que tengan estructura

o cardíaco músculo liso. m

El músculo liso es involuntario; no podemos ordenar a la pared del estómago que se relaje para que dé cabida a una cantidad de comida. En lugar de eso, el estómago respone automáticamente a la estimulación mecánica del borbombamiento, que sólo es uno de los muchos estímulos que regulan la función del músculo liso. Habitualmente, el músculo liso se contrae lentamente y puede mantener la contracción durante un largo período. Generalmente, las fibras del músculo liso no se fatigan.

**Puntos sobre el caso**

¿Qué tipo de músculo se ve afectado por la enfermedad de Hammid?

**El tejido muscular extensible**

Una importante característica común a los tres tipos de tejido muscular es su *extensibilidad*, es decir, su capacidad para estirarse sin romperse. Considere lo que ocurre cuando abre la boca al máximo para morder una manzana. El músculo que suele unir las mandíbulas debe relajarse y alargarse para permitir que pueda hacerlo. Si este músculo no fuera extensible, sólo esta simple acción podría producir la rotura del músculo. Los órganos internos extensibles del cuerpo humano (el corazón, la vejiga, el intestino, el útero y así sucesivamente) están constituidos por músculo cardíaco o liso. Los tejidos que también tienen esta propiedad. Por el contrario, si un tejido no estirarse de forma involuntaria el tejido del cerebro, el hígado, el bazo o el riñón, éste se rompería.

*amen presa*

7-1 ¿Cómo se denomina una célula muscular esquelética madura?

7-2 Señala los dos tipos de músculo estriado.

Señala dos tipos de músculo involuntario.

¿Qué tipo de tejido muscular presenta fatiga?

**Estructura del tejido muscular esquelético**

Como las células musculares son únicas en su capacidad para contraerse y alargarse sin romperse, no es sorprendente que tengan una vía inusual de desarrollo y características estructurales únicas. Una vez más, la estructura del músculo esquelético se comenta en el capítulo 11, y la del músculo liso, más adelante en este capítulo.

**Los mioblastos se fusionan para formar fibras musculares**

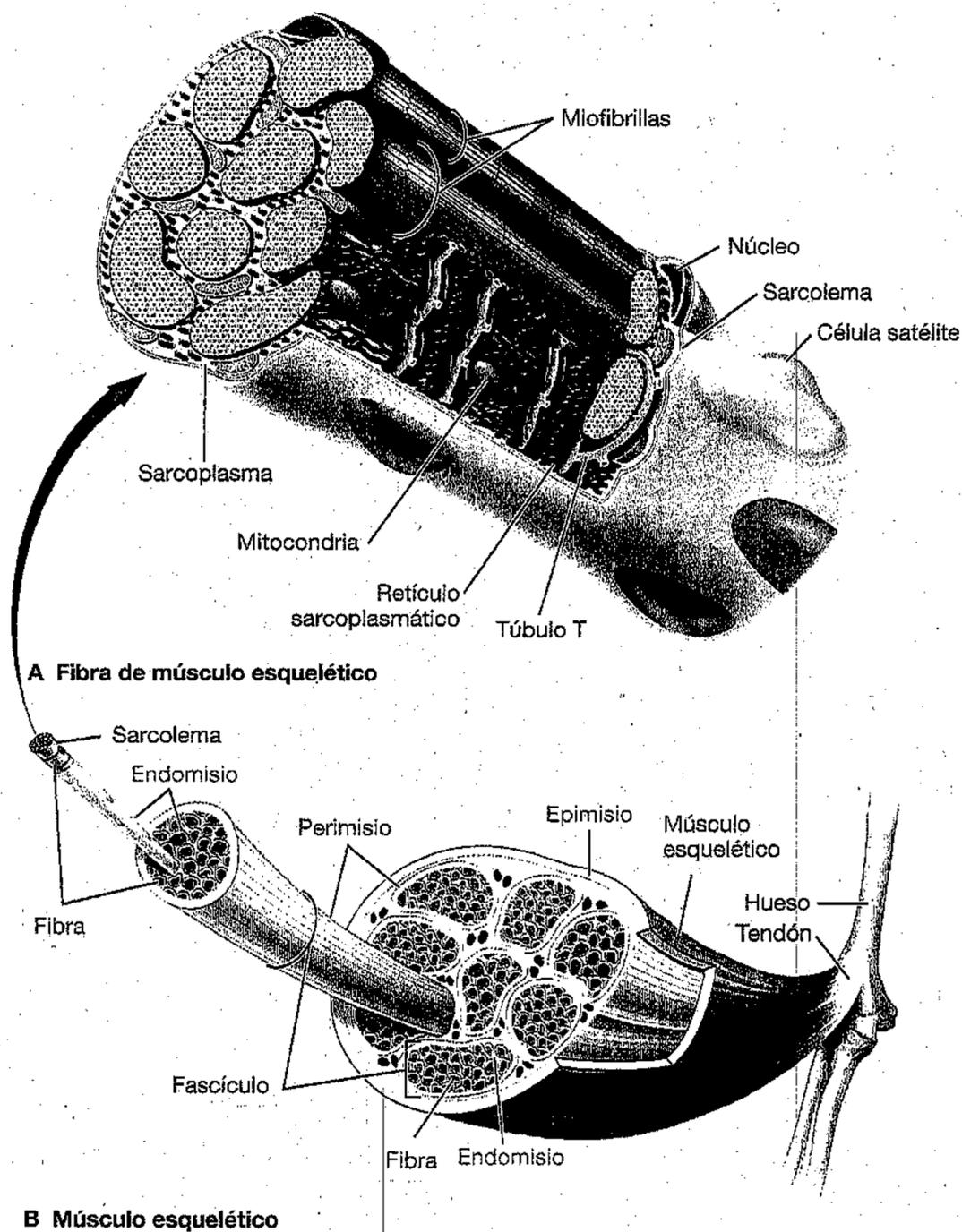
Durante el desarrollo embrionario, los citoblastos (células madre) producen células musculares inmaduras denominadas **mioblastos** (*blasto* = «precursor»). Varios mioblastos se fusionan para producir una fibra muscular esquelética, por lo que cada fibra muscular contiene múltiples núcleos. Algunos citoblastos musculares persisten en la edad adulta; entre las membranas de las células musculares y el tejido conectivo circundante. Estos citoblastos del músculo adulto se denominan **células satélite**, debido a su localización en la periferia de las fibras musculares. Aunque las células musculares esqueléticas maduras están completamente diferenciadas y no se pueden dividir, las células satélite pueden activarse por el ejercicio, una lesión o una enfermedad, con objeto de producir fibroblastos nuevos que se fusionan para formar fibras musculares nuevas. Sin embargo, la actividad de las células satélite no es suficiente para reparar las lesiones importantes del músculo esquelético.

**¡Recuerde!** Los citoblastos del músculo adulto se denominan células satélite; producen mioblastos, que se fusionan para formar fibras musculares esqueléticas.

**La estructura de una célula muscular refleja su función**

Los siguientes elementos de una célula muscular esquelética (fibra) son esenciales para su función (fig. 7-2 A):

- La membrana celular se denomina **sarcolema**. Al igual que la membrana de cualquier célula del organismo, abarca el contenido de la célula y lo protege del ambiente extracelular. Como veremos más adelante, esta función es especialmente importante en la contracción muscular.
- En las células musculares, el sarcolema no sólo rodea el citoplasma, sino que también forma túneles hacia el interior de la fibra muscular, formando una red de túbulos T. Los potenciales de acción viajan por esos **túbulos T**, lo que les permite alcanzar todas las partes de la fibra de forma casi simultánea para desencadenar una contracción muscular coordinada.
- Los múltiples núcleos en forma de cigarrillo se encuentran en la periferia de la célula, justo por debajo del sarcolema. Esta localización los mantiene fuera del trayecto de las contracciones de la fibra muscular.
- El citoplasma de la célula muscular, el **sarcoplasma**, está densamente poblado con las estructuras siguientes, que se describen con detalle más adelante:
  - **Miofibrillas**. Estos orgánulos delgados y filiformes realizan el trabajo de la contracción muscular. Cada miofibrilla consiste en una agrupación de diferentes proteínas que se extiende por toda la longitud de la



**Figura 7-2. Células musculares esqueléticas y músculos.** A) Las fibras musculares están llenas de miofibrillas. B) Muchas fibras musculares están empaquetadas juntas formando un fascículo, y muchos fascículos se unen para formar un músculo. Señala la capa de tejido conectivo que rodea un fascículo.

fibra muscular. Cada fibra muscular contiene cientos de miles de miofibrillas.

- **Retículo sarcoplasmático.** Orgánulo que consiste en una red entrelazada de túbulos llenos de líquido, similar al retículo endoplasmático liso de otras células del organismo. Almacena los iones de calcio necesarios para la contracción muscular. Los túbulos T están muy cercanos al retículo sarcoplasmático, sólo separados por una pequeña región de líquido intracelular.
- **Mitocondria.** Estos orgánulos generan el ATP que sirve de combustible para la contracción muscular.
- **Mioglobina** (no mostrada en la fig. 7-2). Compuesto que contiene hierro, que almacena oxígeno para generar energía en la contracción muscular.

### Apuntes sobre el caso

**7-3 El análisis bioquímico de sangre de Hammid** mostró niveles elevados de creatina cinasa, que suele estar confinada en el interior de la célula muscular. La membrana celular de sus células musculares debe haberse roto, liberando el contenido de la célula hacia la sangre. ¿Cuáles son los términos específicos utilizados para describir la membrana y el citoplasma de la célula muscular?

**7-4 La orina de color rojo de Hammid refleja la** presencia de un compuesto que almacena oxígeno en el interior de las células del músculo esquelético. ¿Cuál es este compuesto?

### El tejido muscular esquelético completo

Las fibras de un músculo esquelético están rodeadas por una membrana denominada endomisio y unidas por un tejido conectivo llamado epimisio. Grupos de fibras se unen para formar fascículos, que están rodeados por una capa de tejido conectivo llamada perimisio. A su vez, los fascículos están envueltos por una capa de tejido conectivo que une el músculo al hueso. En un punto, el tendón se inserta sobre las fibras musculares.

### Examen sorpresa

7-7 ¿Cómo se llama la membrana que rodea a una fibra muscular?

7-8 ¿Qué dif...

### Contracción muscular esquelética

Después de leer esto, asegúrate de que puedes explicar lo siguiente. ¿Cómo se relaciona la actividad eléctrica con la contracción muscular?

### Una unidad motora

Una unidad motora es el grupo de fibras musculares que se contraen juntas. ¿Qué es el potencial de acción? ¿Cómo se relaciona con la contracción muscular?

### Tejido conectivo envuelve fibras musculares y músculos completos

Las fibras del músculo esquelético son delicadas, y cada fibra está envuelta por una vaina de tejido conectivo denominada **endomisio**, que la cubre, la aísla, le da soporte y protege (fig. 7-2 B). Las células satélite residen entre el endomisio y el sarcolema.

Grupos de unas 100 fibras musculares forman agrupaciones estructurales y funcionales denominadas **fascículos**. Los fascículos están envueltos con una vaina gruesa y resistente de tejido conectivo denominada **perimisio**.

Además, los grupos de fascículos forman músculos, que están envueltos por una capa exterior resistente y consistente de tejido conectivo, el **epimisio**. Cerca de la inserción del músculo en el hueso, el epimisio se une para formar un depósito de colágeno fuerte y excepcionalmente resistente que une el músculo al hueso. Cuando dicho tejido forma una banda gruesa y resistente para la inserción en un único punto, éste se denomina **tendón** (v. fig. 7-2 B); aprende a reconocer las inserciones de los tendones en el hueso en el capítulo 6. Cuando el tejido forma una lámina para una inserción lineal más amplia, el epimisio se denomina **aponeurosis**.

**7-5** Los tendones ¿son ejemplos de tejido epitelial o de tejido conectivo?

**7-6** ¿Cuál es la diferencia entre una fibra muscular, un fascículo muscular y una miofibrilla?

¿Cómo se denominan las extensiones de la fibra que penetran profundamente en el sarcolema?

¿Cuál es la diferencia hay entre perimisio y endomisio?

### Contracción del músculo esquelético

Al leer este capítulo y es hora de pasar a la página siguiente. Conforme levanta la mano, no dirige de forma consciente sus músculos para que se contraigan y produzcan movimientos. Se producen sin más. Pero, ¿cómo?

### Unidad motora es una motoneurona y las fibras musculares que ésta controla

La contracción del músculo esquelético precisa comunicación. Una **motoneurona somática** transporta una señal eléctrica que causa una contracción en el músculo esquelético. Una **motoneurona visceral** transporta una señal similar al sistema nervioso autónomo (al sistema de las glándulas). Los cuerpos celulares de las

motoneuronas están localizados en el cerebro o en la médula espinal y envían largas extensiones citoplasmáticas, denominadas axones, para comunicarse con las fibras musculares. Como se muestra en la figura 7-3, el axón de una motoneurona se ramifica en su extremo para contactar con varias fibras musculares. Estas ramificaciones se denominan **terminaciones axónicas**. Una **unidad motora** consta de una motoneurona somática y las fibras musculares esqueléticas que ésta controla.

Los músculos que precisan movimientos pequeños y extremadamente precisos (como los músculos que controlan los movimientos del ojo) pueden tener sólo tres fibras musculares por unidad motora. Los responsables de movimientos amplios y potentes (p. ej., en el muslo) pueden tener varios miles de fibras musculares por unidad motora.

### Apuntes sobre el caso

**7-5** ¿Qué tipo de neuronas transporta la señal a los músculos de Hammid?

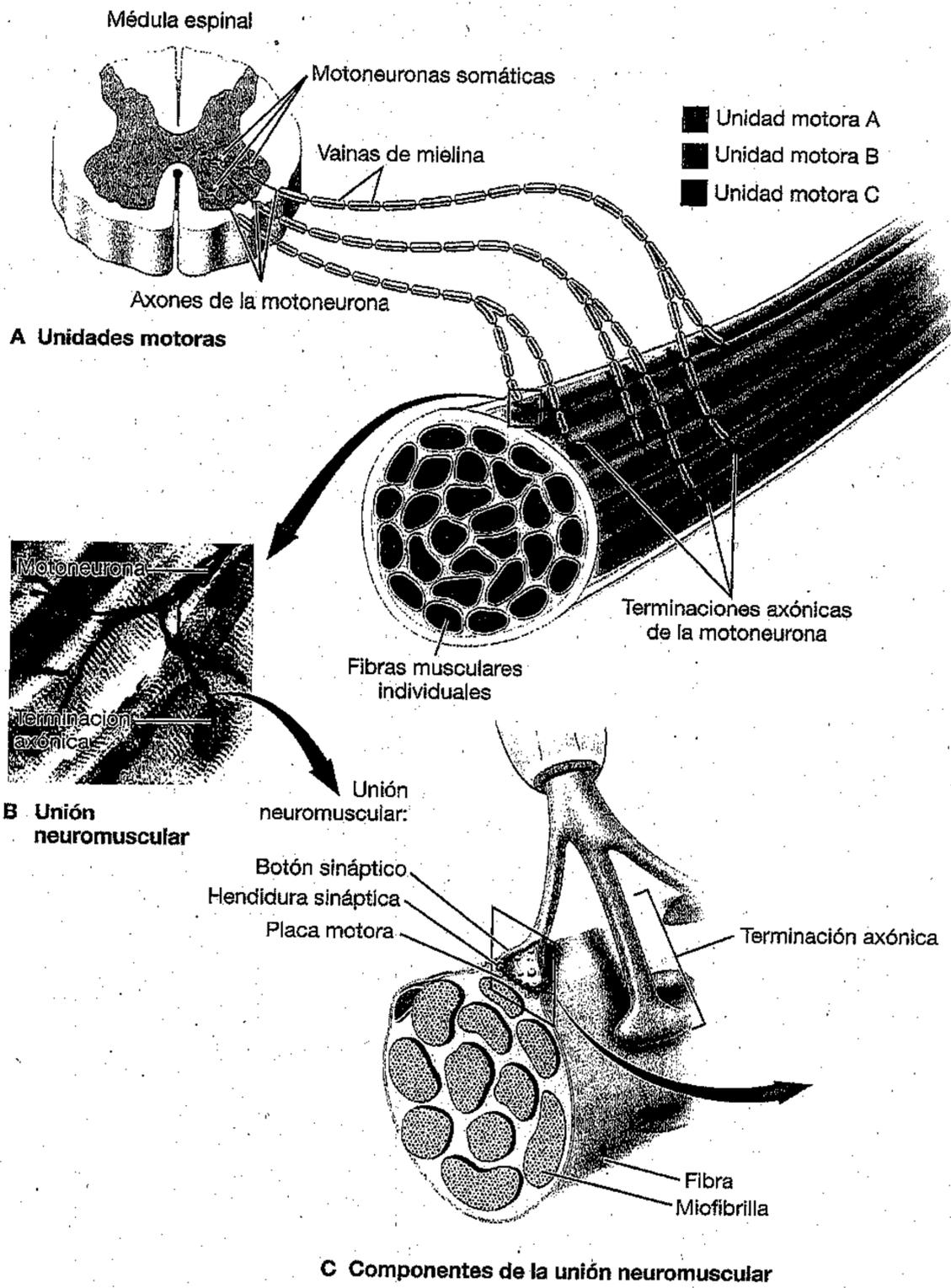
### Las motoneuronas conectan las fibras musculares con la unión neuromuscular

Cerca de su extremo, cada terminación axónica se dilata y forma una prominencia en forma de botón denominada **botón terminal** o **sináptico**, que yace plano sobre la superficie de la fibra muscular. Un único botón sináptico contacta con una fibra muscular esquelética en una sinapsis química denominada **unión neuromuscular** (fig. 7-3 B). Los componentes de la unión neuromuscular son (fig. 7-3 C):

- El **botón sináptico** de la neurona.
- La **placa motora terminal** de la fibra muscular, que es la parte del sarcolema de la fibra enfrentada al botón sináptico.
- La **hendidura sináptica**, un espacio muy estrecho que separa el botón sináptico de la placa motora, por lo que el nervio y la fibra muscular no se tocan realmente.

Recuerde, del capítulo 4, que las sinapsis químicas utilizan neurotransmisores para transmitir la señal entre dos células adyacentes, en este caso la motoneurona y la fibra muscular. En todas las sinapsis, el proceso básico es el mismo: en respuesta a un potencial de acción en la célula presináptica, se libera el neurotransmisor en la hendidura sináptica; a continuación, se une a receptores específicos en la célula postsináptica, alterando su actividad eléctrica. La unión neuromuscular es más específica; un potencial de acción en la célula presináptica *siempre* produce un potencial de acción en la célula postsináptica. Además, todas las uniones neuromusculares esqueléticas utilizan el mismo neurotransmisor (**acetilcolina**) y el mismo receptor para el neurotransmisor, el **receptor colinérgico nicotínico** (fig. 7-4).

Este receptor es un canal iónico regulado por un ligando (cap. 4) que se abre para permitir que los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) entren en la célula cuando se le une la acetilcolina (ACh; el ligando).



**Figura 7-3. Unidades motoras y unión neuromuscular.** A) Una unidad motora está formada por una motoneurona somática y las fibras del músculo esquelético que inerva. Obsérvense tres unidades motoras; un músculo promedio tendrá muchas más. B) La microfotografía muestra un axón ramificándose para alcanzar varias fibras musculares. C) El botón sináptico de la neurona realiza la sinapsis con la placa motora de la fibra muscular. Señale el espacio que separa la neurona y la célula muscular.

Se produce lo siguiente:

1. El potencial de acción llega al botón sináptico de la motoneurona somática (la célula presináptica). La despolarización resultante desencadena la liberación de ACh en la hendidura sináptica.
2. La ACh se presenta con una de dos proteínas. Algunas de las moléculas se encuentran con la *acetilcolinesterasa* y son inactivadas por ella; es una enzima presente en la hendidura sináptica y embebida en el sarcolema. Esta

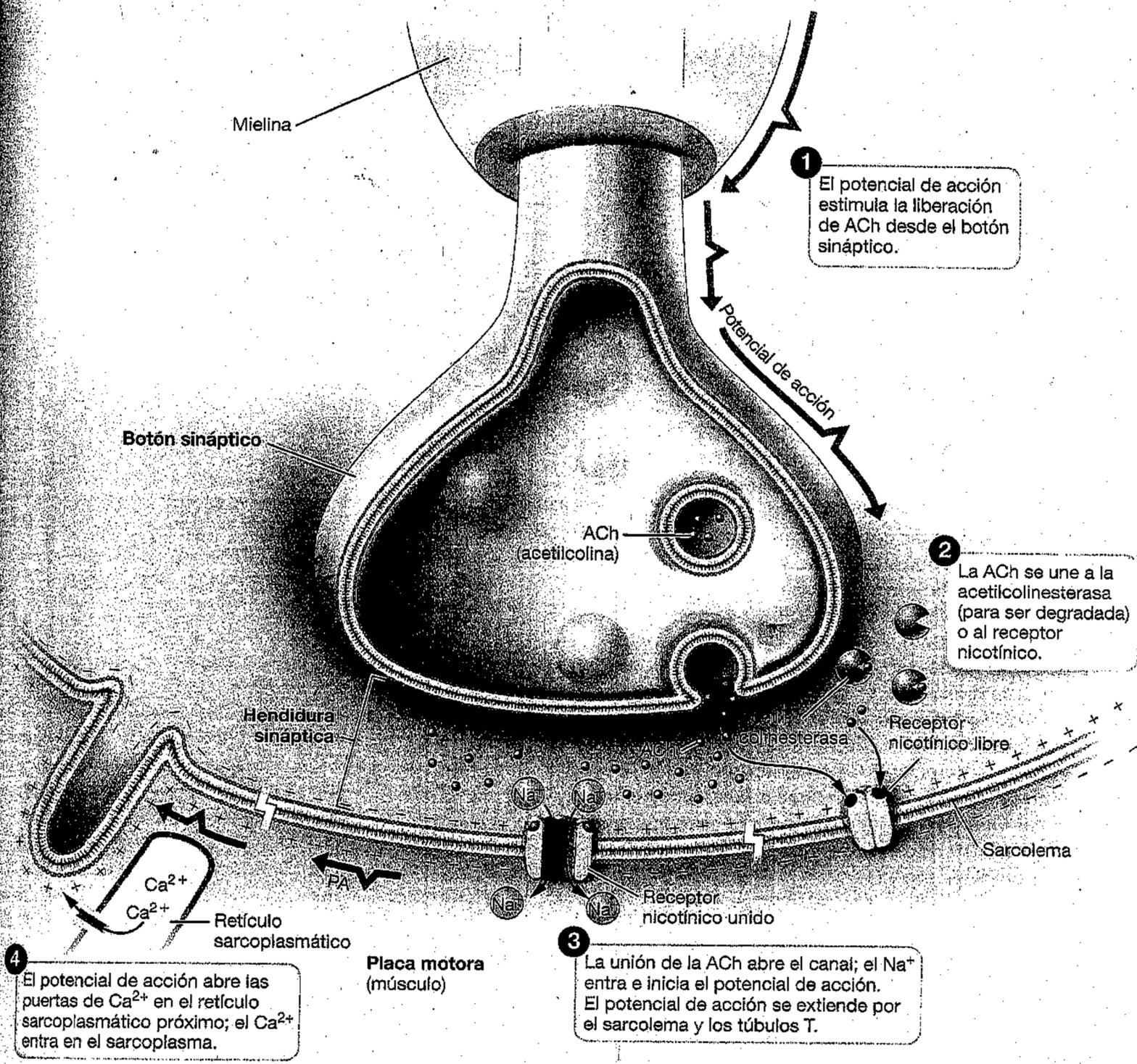
enzima siempre está activa, pero no puede seguir el ritmo de la liberación de ACh de las neuronas en descarga, por lo que la ACh se acumula en la hendidura sináptica. Las moléculas de neurotransmisor que escapan a la garrapata de la acetilcolinesterasa se unen con una segunda proteína, el receptor colinérgico nicotínico, en la membrana de la placa motora terminal (la célula postsináptica).

3. La unión de la ACh abre los canales del receptor nicotínico. La entrada de  $Na^+$  despolariza suficientemente la membrana como para producir un potencial de acción que se extiende a lo largo de la fibra muscular.

4 El potencial de acción entra en el sarcoplasma.

**Figura 7-4.** Señal química que desencadena la liberación de calcio del sarcoplasma.

que se extiende a lo largo de la fibra muscular. El potencial de acción abre los canales de calcio en la membrana plasmática de la célula muscular, lo que libera calcio del sarcoplasma. El calcio se une a la troponina, lo que desencadena la liberación de calcio del sarcoplasma. El calcio se une a la troponina, lo que desencadena la liberación de calcio del sarcoplasma.



**Figura 7-4. Sucesos en la unión neuromuscular.** Una señal eléctrica (un potencial de acción, PA) viaja hasta la motoneurona. Una señal química (ACh) lleva la señal a través de la hendidura sináptica e inicia una señal eléctrica (un PA) en la célula muscular. Señal química que finaliza la acción de la ACh, ACh, acetilcolina.

ca y las  
i. B) La  
a hace

ritmo  
a, por  
a. Las  
rra de  
teína,  
de la  
icoti-  
nte la  
ción.

que se extiende con rapidez por el sarcolema y se acelera a través de la red de túbulos T en el interior de la célula.

El potencial de acción desencadena la apertura de los canales de calcio en la membrana del retículo sarcoplasmático. Esto libera iones calcio desde el retículo sarcoplasmático hacia el sarcoplasma. Un transportador especializado de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), denominado *bomba de calcio*, lleva de forma activa  $\text{Ca}^{2+}$  de nuevo hacia el interior del retículo sarcoplasmático. Sin embargo, en

una fibra en contracción, la bomba no puede mantener el ritmo de la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$ , por lo que éste se acumula en el sarcoplasma. Como se muestra más adelante, estos iones calcio son los que estimulan la contracción muscular.

La función de las sinapsis químicas puede verse afectada por alguna enfermedad o modificada o inactivada por fármacos o tóxicos (para más información, v. la siguiente Instantánea clínica titulada «La bella y las bestias»).



## INSTANTÁNEA CLÍNICA

### La bella y las bestias: atacando a la unión neuromuscular

En 2006, un número incalculable de mujeres y hombres provocaron una intoxicación en la unión neuromuscular de determinados músculos para librarse (temporalmente) de las líneas de fruncir el ceño. ¿El veneno? Una toxina comercializada con el nombre de Botox®, que es un derivado de la bacteria anaerobia *Clostridium botulinum*. Botox®, una proteína, es una de las toxinas conocidas más potentes que paraliza los músculos evitando que reciban los potenciales de acción de los nervios.

En medicina clínica, la intoxicación por *C. botulinum*, o botulismo, es una grave, y a veces letal, parálisis que suele darse con frecuencia tras la ingesta de carnes envasadas en casa insuficientemente esterilizadas (poco cocinadas), pescados, vegetales y frutas contaminados con *C. botulinum*. El botulismo puede producirse también como consecuencia de la infección de una herida. El término *botulismo* deriva del latín *botulus*, que significa «salchicha»: el nombre refleja el hecho de que la enfermedad se reconoció inicialmente por el consumo de salchichas contaminadas.

La toxina de *C. botulinum* actúa en el lado *nervioso* de la unión neuromuscular para evitar que las vesículas sinápticas del axón liberen su ACh en la hendidura sináptica. Si un potencial de acción llega a la sinapsis y no se libera ACh en la hendidura sináptica, dicho potencial se extingue sin ser transferido al músculo. El botulismo se caracteriza por parálisis muscular que afecta en primer lugar a los ojos (visión doble, incapacidad de enfocar) y el habla (arrastrar las palabras) y puede producir una parálisis respiratoria letal.

Sin embargo, en dosis pequeñas localizadas, la toxina produce una parálisis muscular limitada, que consigue un agradable efecto cosmético al relajar los músculos faciales asociados con las arrugas faciales. Por ejemplo, tras una inyección de Botox® en el músculo frontal de la frente, desaparecen las arrugas del entrecejo; no reaparecen hasta que el efecto de la toxina desaparece en 4 a 6 meses. Botox® se utiliza también como tratamiento para los espasmos musculares que acompañan al dolor de cabeza de las migrañas, tics faciales (involuntarios o contracción habitual de los músculos faciales) y distonía cervical (alteración de la contracción de los músculos del cuello que mueven la cabeza).

Otros animales explotan la fragilidad de la unión neuromuscular para paralizar a sus presas. Por ejemplo, el veneno de la cobra taiwanesa contiene una toxina que se



**Toxinas de la unión neuromuscular.** La toxina botulínica se utiliza para tratar las arrugas del entrecejo y otras arrugas faciales.

une fuertemente al receptor de ACh en el lado *muscular* de la sinapsis y evita la unión de la ACh, lo que interrumpe la propagación de la señal. Por el contrario, el veneno de la viuda negra provoca que los axones motores liberen toda la ACh almacenada, que sobrepasa la capacidad de los receptores musculares e interfiere con la transferencia controlada de la señal a través de la sinapsis.

Recuerde, del capítulo 4, que las señales pueden ser eléctricas o químicas. Le secuencia de la estimulación de la contracción muscular es la siguiente:

1. Una señal eléctrica en la motoneurona somática.
2. Una señal química (ACh) en la sinapsis.
3. Una señal eléctrica en el sarcolema.
4. Una señal química (calcio) en el sarcoplasma.

Pero, ¿cómo una señal química, el calcio, inicia la generación de fuerza en la fibra muscular? Para responder a esta pregunta, debemos profundizar en la estructura microscópica de la fibra muscular, con especial atención en los miofilamentos.

**Apuntes sobre el caso**

6. ¿Qué sustancia química liberan las motoneuronas somáticas de Hammid para transmitir las señales de los nervios a las células musculares?

**Los sarcómeros son las unidades funcionales de las miofibrillas**

Recuerde que las miofibrillas son los orgánulos del interior de la fibra muscular encargadas de la contracción muscular. Para comprender cómo se contraen, debemos examinar su inusual estructura. Cada miofibrilla es, en esencia, un haz de dos tipos de **miofilamentos** largos: *filamentos gruesos* y *filamentos delgados*. Puede visualizar su disposición precisa, que es esencial para su función, imaginando los miofilamentos como lápices gruesos y delgados. He aquí cómo:

- Imagine que los filamentos gruesos (lápices gruesos) están afilados en los dos extremos y que los filamentos delgados (lápices delgados) están afilados en un extremo; con un borrador en el otro (fig. 7-5 A).
- A continuación, imagine que sostiene un manojo de lápices delgados en cada mano, con los borradores apuntando hacia fuera y las puntas afiladas apuntando el uno hacia el otro.

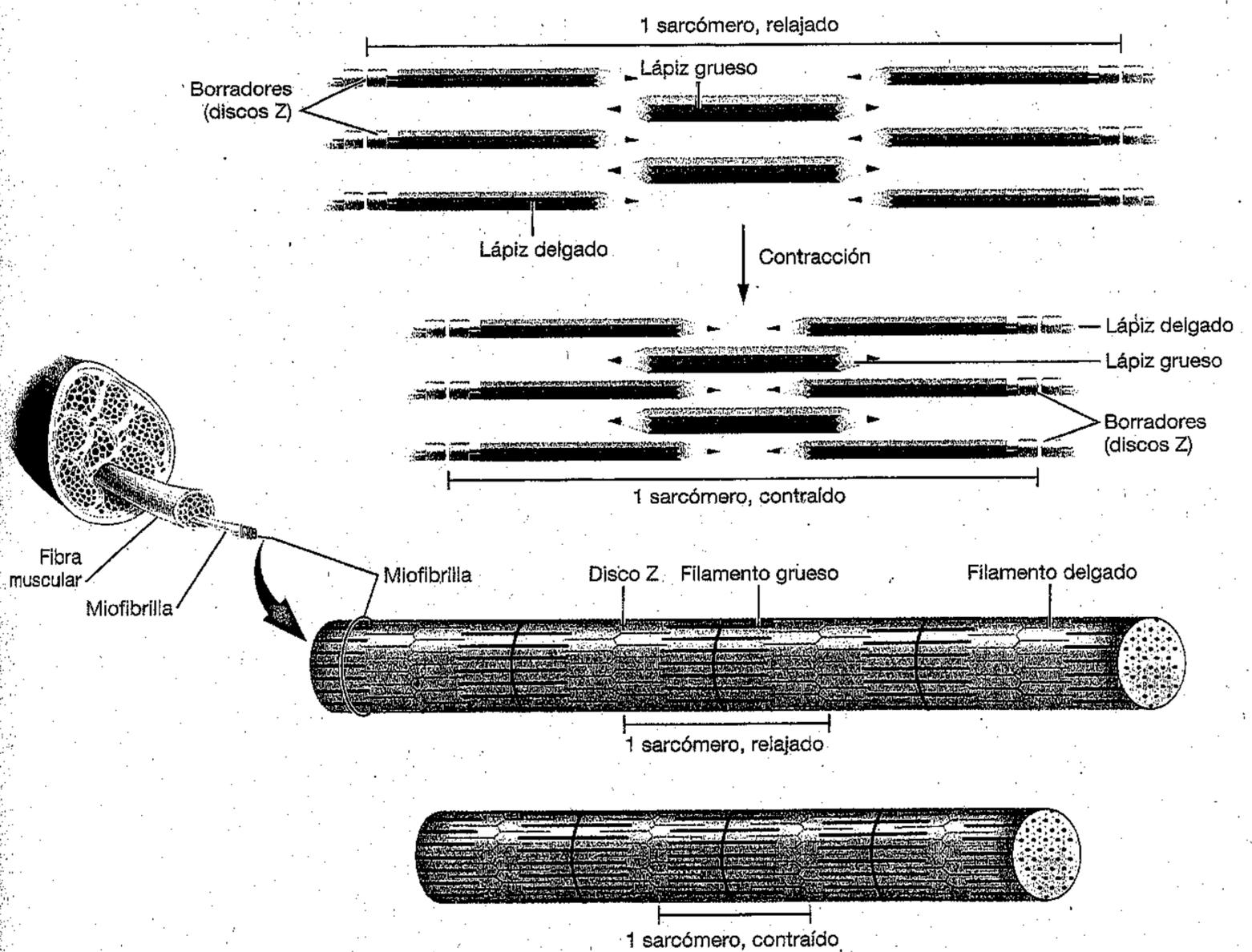


Figura 7-5. Las miofibrillas están formadas por miofilamentos. Pueden utilizarse lápices para construir un modelo de sarcómero. Cuando aumenta el solapamiento entre los lápices, el sarcómero se acorta. Una miofibrilla está formada por muchos sarcómeros alineados extremo a extremo en fila. Cuando se acortan sarcómeros individuales, la fibra muscular en conjunto se acorta (y, por lo tanto, el músculo). ¿Qué estructura tiene la misma longitud que el músculo, el sarcómero o la miofibrilla?

línica se  
arrugas

uscular

itrario  
nes  
brepasa  
rfiere  
és de la

Ahora imagine que coloca un manojo de lápices gruesos (con punta en los dos extremos) entre los dos manojos de lápices delgados. Tenga en cuenta que los extremos en punta de los lápices gruesos en este manojo medio están frente a los extremos puntiagudos de los lápices delgados en cada lado.

Por último, imagine que empuja los manojos de lápices delgados sobre el manojo de lápices gruesos de tal forma que las puntas gruesas y delgadas se solapen ligeramente, como dedos entrecruzados.

Y aquí lo tiene: una réplica con lápices de un **sarcómero**, que es la unidad básica del músculo esquelético (fig. 7-5 B). Una fibra muscular contiene miles de sarcómeros de extremo a extremo, cada uno un conjunto de manojos interdigitados de «lápices» gruesos y delgados unidos por los borradores en cada extremo. Los extremos unidos de los borradores de los lápices son análogos a los **discos Z** de una miofibrilla, que se encuentran a cada lado del sarcómero.

Para imaginar la contracción muscular, piense que desliza los dos conjuntos de lápices delgados uno hacia el otro sobre el centro del manojo de lápices gruesos. Conforme **aumenta** la **superposición** de lápices gruesos y delgados se acorta la longitud del conjunto del sarcómero. Ésta es la esencia de la contracción muscular: el grado de **superposición** de los haces gruesos y delgados aumenta a medida que se contrae el sarcómero, pero la longitud de cada miofilamento grueso y delgado se mantiene sin cambios. Este modelo de contracción muscular se denomina **mecanismo de filamentos deslizantes**, puesto que los filamentos se deslizan unos sobre los otros.

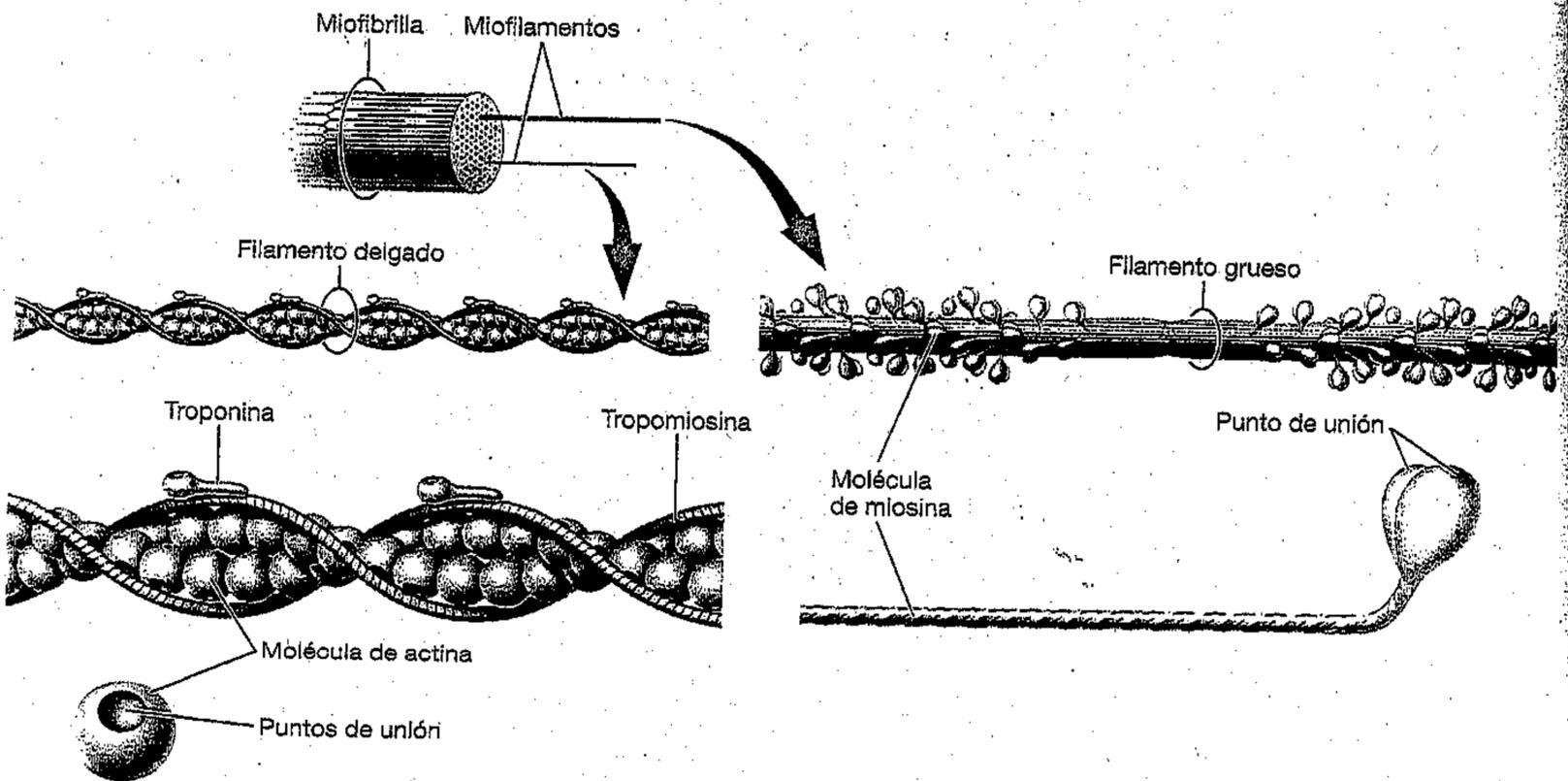
Un solo sarcómero es muy pequeño, mide solamente unas pocas micras de longitud, pero los sarcómeros alinean extremo a extremo para producir una miofibrilla que se extiende por toda la longitud de la fibra muscular (fig. 7-5 B). Conforme cada sarcómero se acorta, hace la miofibrilla completa, la fibra muscular y, de este modo, el músculo. ¡Voilà! Contracción muscular. Más adelante veremos cómo se produce al mismo tiempo la contracción de cada sarcómero, miofibrilla y fibra muscular de una unidad motora, propiedad que garantiza una contracción uniforme.

El aspecto estriado del músculo esquelético examinado bajo el microscopio óptico se muestra como una serie ordenada de bandas claras y oscuras producidas por el solapamiento de los filamentos gruesos y delgados y las uniones extremo a extremo de los sarcómeros. Estos detalles se presentan en el cuadro Forma básica, función básica, titulación «Cómo consiguió el músculo sus bandas».

**¡Recuerde!** Durante la contracción muscular los sarcómeros y las miofibrillas se acortan, pero los miofilamentos no cambian de longitud.

### Los miofilamentos están compuestos de proteínas contráctiles

La estructura (forma) molecular de los filamentos gruesos y delgados es esencial para su naturaleza contráctil (función) (fig. 7-6).



**Figura 7-6. Filamentos gruesos y delgados.** Los filamentos gruesos están formados por moléculas de miosina y los delgados de actina, troponina y tropomiosina. ¿Qué proteína cubre el punto de unión de las moléculas de actina?

**Cómo c**  
 Recuerde (A) se osci  
 sus banda  
 de banda  
 Las banda  
 ayudarnos  
 filamentos  
 muscular.  
 Las bar  
 oscuras p  
 opacos. La  
 son claras  
 por filame  
 filamentos  
 se osci  
 solapan co  
 de filamer  
 de la luz. L  
 dentro de  
 gruesos. E  
 en zigzag;  
 delgadas  
 unidades  
 Tenga e  
 discos Z y  
 (I) en cada  
 y que la z  
 enfrentad  
 en cuenta  
 Z se apro:  
 A siempr  
 la banda  
 la misma  
 filamento  
 gruesos.  
 y delgado  
 la banda  
 Los fil  
 na. Cada  
 llo largo  
 globular  
 una cabe  
 Cada cal  
 tantes, u  
 Cuando  
 gados se  
 chas mo  
 direccio:



## FORMA BÁSICA, FUNCIÓN BÁSICA

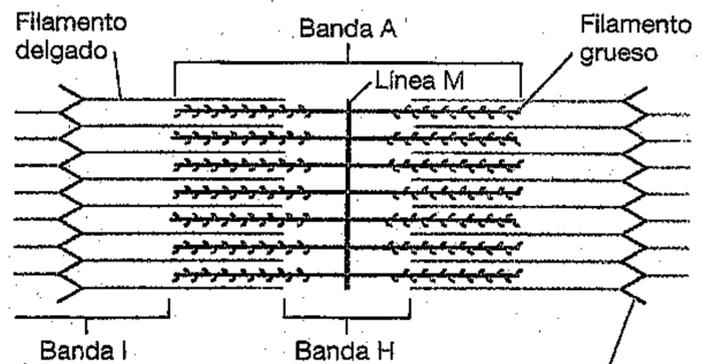
### Cómo consiguió el músculo sus bandas

Recuerde que el músculo estriado puede identificarse por sus bandas; el microscopio óptico muestra la alternancia de bandas claras y oscuras (estrías) microscópicas.

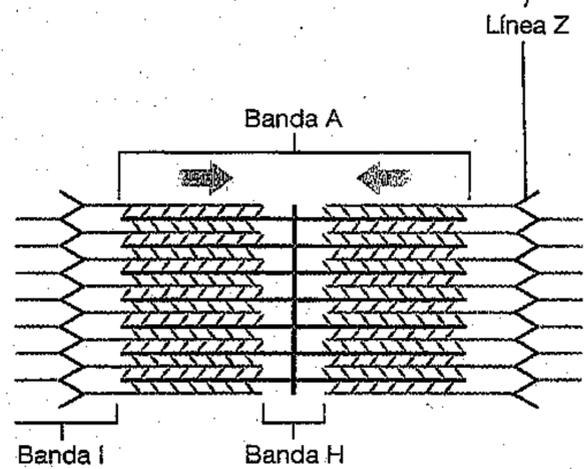
Las bandas también son útiles por otra razón: pueden ayudarnos a visualizar los diminutos movimientos de los filamentos gruesos y delgados durante la contracción muscular.

Las bandas oscuras, denominadas bandas A, son oscuras porque contienen los filamentos gruesos, más opacos. Las bandas claras, denominadas bandas I, son claras, ya que están compuestas exclusivamente por filamentos delgados. Recuerde, no obstante, que los filamentos delgados y gruesos se solapan. Las bandas (A) se oscurecen aún más en cada extremo, donde se solapan con los filamentos delgados; este agrupamiento de filamentos gruesos y delgados bloquea la mayor parte de la luz. La zona H es la región relativamente más pálida dentro de la banda A, donde sólo existen filamentos gruesos. En el centro de la banda clara (I) existe una línea en zigzag; es el disco Z, donde los fascículos de fibras delgadas se encuentran y que marca el lugar donde las unidades de sarcómeros se unen.

Tenga en cuenta que un sarcómero es el espacio entre discos Z y está formado por la mitad de una zona clara (I) en cada extremo y una banda oscura (A) en el centro, y que la zona clara (I) está formada por los extremos entrecruzados de dos sarcómeros. Asimismo, hay que tener en cuenta que, cuando se acorta un sarcómero, los discos Z se aproximan y las bandas I se acortan, pero la banda A siempre presenta la misma longitud. ¿Por qué? Porque la banda A es un filamento delgado, el cual siempre tiene la misma longitud. Las bandas I, por el contrario, son filamentos delgados que no se solapan con filamentos gruesos. A más solapamiento entre los filamentos gruesos y delgados, más parte de filamento delgado se desliza en la banda A, donde se oscurece a causa de los filamentos



A Sarcómero en reposo



B Contracción de la fibra y deslizamiento de los filamentos

### Zonas y líneas de las fibras musculares.

gruesos. Por último, ¿qué ocurre con la zona H, que representa los filamentos gruesos sin solapamiento con los delgados? Como ocurre con la banda I, ésta disminuye conforme el sarcómero se acorta.

Los filamentos gruesos son haces de la proteína **miosina**. Cada molécula de miosina está compuesta por un tallo largo (la cola) y un extremo que termina en dos cabezas globulares, algo así como un palo de golf con dos cabezas, una cabeza sobresale del tallo un poco respecto a la otra. Cada cabeza de miosina tiene dos puntos de unión importantes, una para el ATP y otra para los filamentos delgados. Cuando una cabeza de miosina se une a los filamentos delgados se forma un *punte cruzado*. La agrupación de muchas moléculas de miosina, con sus cabezas apuntando en direcciones diferentes, forma un filamento grueso. Las mo-

léculas se solapan como palos de golf para formar una cadena, con las cabezas protruyendo en casi toda la longitud de la estructura; en un extremo, las colas de las moléculas de miosina se unen extremo con extremo para formar el segmento central, sin cabezas, del filamento grueso.

Los filamentos delgados están compuestos de tres proteínas: *actina*, *tropomiosina* y *troponina*. El componente principal es la **actina**, una proteína globular pequeña. Cada filamento delgado contiene dos cadenas largas de moléculas de actina que se enrollan entre sí, como un collar formado por dos cadenas de perlas entrelazadas. Cada mo-

lícula de actina (es decir, cada «perla») posee una zona de unión para cada cabeza de miosina que sobresale del filamento grueso. En reposo, sin embargo, esta zona de unión está cubierta por la **tropomiosina**, que evita la unión de la miosina hasta que el nervio que inerva el músculo envía la señal para la contracción. La **troponina**, el tercer componente, controla las moléculas de tropomiosina: las mantiene sobre los puntos de unión en el músculo relajado, pero las aparta del lugar en el que se produciría la contracción.

**¡Recuerde!** Los niveles de organización del músculo esquelético, desde más grandes a más pequeños, son: fascículo muscular (conjunto de fibras musculares) → fibra muscular (célula muscular) → miofibrilla (agrupación de miofilamentos) → miofilamento (cadena de proteínas contráctiles) → proteína contráctil.

### Los sarcómeros se acortan mediante el ciclo de los puentes cruzados

Recuerde, de lo comentado anteriormente, que los miofilamentos gruesos y delgados no se acortan por sí mismos; sencillamente se deslizan los unos sobre los otros de forma que se acorta la longitud total del sarcómero (y, desde luego, la miofibrilla). En la analogía de los lápices, este proceso se consigue mediante el deslizamiento de los grupos de lápices gruesos. En la célula muscular, las cabezas de miosina llevan a cabo la tarea de deslizamiento de los fascículos el uno hacia el otro. Logran este movimiento a través de una serie de tres momentos, denominados en conjunto *ciclo de los puentes cruzados*:

- Formación de los puentes cruzados.
- Golpe de fuerza.
- Separación de los puentes cruzados.

El *golpe de fuerza* es la fase del ciclo en la que el filamento delgado se mueve realmente. De los muchos movimientos moleculares del organismo, éste es uno de los más extraños y efectivos. Así, antes de considerar el ciclo de los puentes cruzados en su conjunto echaremos un vistazo a cómo se produce el golpe de fuerza.

Los actores principales del golpe de fuerza son las cabezas de miosina. Cada una de ellas actúa como una pinza que agarra una «perla» de actina de un filamento delgado, se ancla a él y se desplaza bruscamente hacia atrás, estirando el filamento delgado a lo largo de la cola de miosina una corta distancia. Tras esta corta tracción, las cabezas de miosina se liberan, se enderezan y vuelven a adherirse a una nueva «perla» de actina del filamento delgado, listas de nuevo para impulsarse bruscamente hacia atrás. Los filamentos gruesos y delgados van enlazándose de esta manera, como si alguien (el filamento grueso) subiera por una cuerda (el filamento delgado) brazo sobre brazo.

Revisemos ahora la secuencia completa de acontecimientos que producen la contracción muscular (fig. 7-7).

En una fibra muscular en reposo, los puntos de unión de la miosina sobre las moléculas de actina están cubiertos por la tropomiosina. En respuesta a un potencial de acción en el sarcolema y los túbulos T, el retículo sarcoplasmático libera  $Ca^{2+}$ . Éste se une a la troponina y la activa. La troponina aparta a la tropomiosina, exponiendo el punto de unión de la miosina a cada molécula de actina (pasos 1 a 3 de la fig. 7-7). Una vez expuestos estos puntos de unión, se inicia el ciclo de los puentes cruzados (pasos 4 a 7).

La formación de los puentes cruzados se produce cuando las cabezas de miosina «energizadas» se unen a la actina (paso 4). ¿Por qué calificamos a las cabezas de miosina como energizadas? Recuerde del capítulo 2 que la energía se libera cuando el ATP se descompone en difosfato de adenosina (ADP) y fosfato. En una fibra muscular en reposo el ATP ya se ha descompuesto, y los productos ADP y fosfato se unen a las cabezas de miosina. La energía liberada por la descomposición del ATP se almacena en la posición «erguida» de las cabezas de miosina; es decir, la cabeza de miosina es energizada (paso 4).

Esta energía almacenada se utiliza en el paso 5, el golpe de fuerza, para pivotar las cabezas de miosina y mover el filamento delgado. Las moléculas de ADP y de fosfato se liberan inmediatamente tras el golpe de fuerza, pero los puentes cruzados permanecen en su sitio.

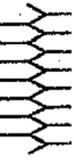
El paso final del ciclo de los puentes cruzados, la separación, puede producirse sólo con la ayuda de ATP adicional. Sólo cuando una nueva molécula de ATP se une a la cabeza de miosina (paso 6) ésta se libera de la actina y queda lista para comenzar otro ciclo de los puentes cruzados (paso 7).

El ciclo de los puentes cruzados se producen en ondas de forma parecida a la marcha de un ciempiés, cuyo movimiento de deslizamiento es uniforme, no a sacudidas, como ocurriría si cada cabeza de miosina empujase simultáneamente como un equipo de remo. Estas ondas suaves de incrementos moleculares, repetidas con rapidez miles de veces, producen el acortamiento de las fibras musculares. Asimismo, en algún momento en la contracción, algunas de las cabezas de miosina están unidas a la actina, de modo que los filamentos delgados no pueden deslizarse de nuevo a sus posiciones originales.

### Apuntes sobre el caso

**7-7 Se dijo a los padres de Hammid que los músculos de su hijo no podrían conseguir suficiente energía (es decir, ATP) para esfuerzos prolongados. ¿Dónde se une el ATP en el miofilamento?**

Los acontecimientos que se dan en ciclo de los puentes cruzados pueden recordarse mejor si se comprende que la **rigidez cadavérica (rigor mortis)**, la rigidez muscular que comienza unas horas después de la muerte, se debe a la falta de ATP. En la muerte, el organismo ya no puede generar ATP. Por lo tanto, el ciclo de los puentes cruzados sólo puede avanzar hasta el paso 5, donde las cabezas de miosina se unen fuertemente a los puntos de unión de la actina.



Fila  
del

A Mo  
de

6 La  
mic  
act  
une

B Ci

Figura 7-  
muscle  
la 6) en  
fosfato c

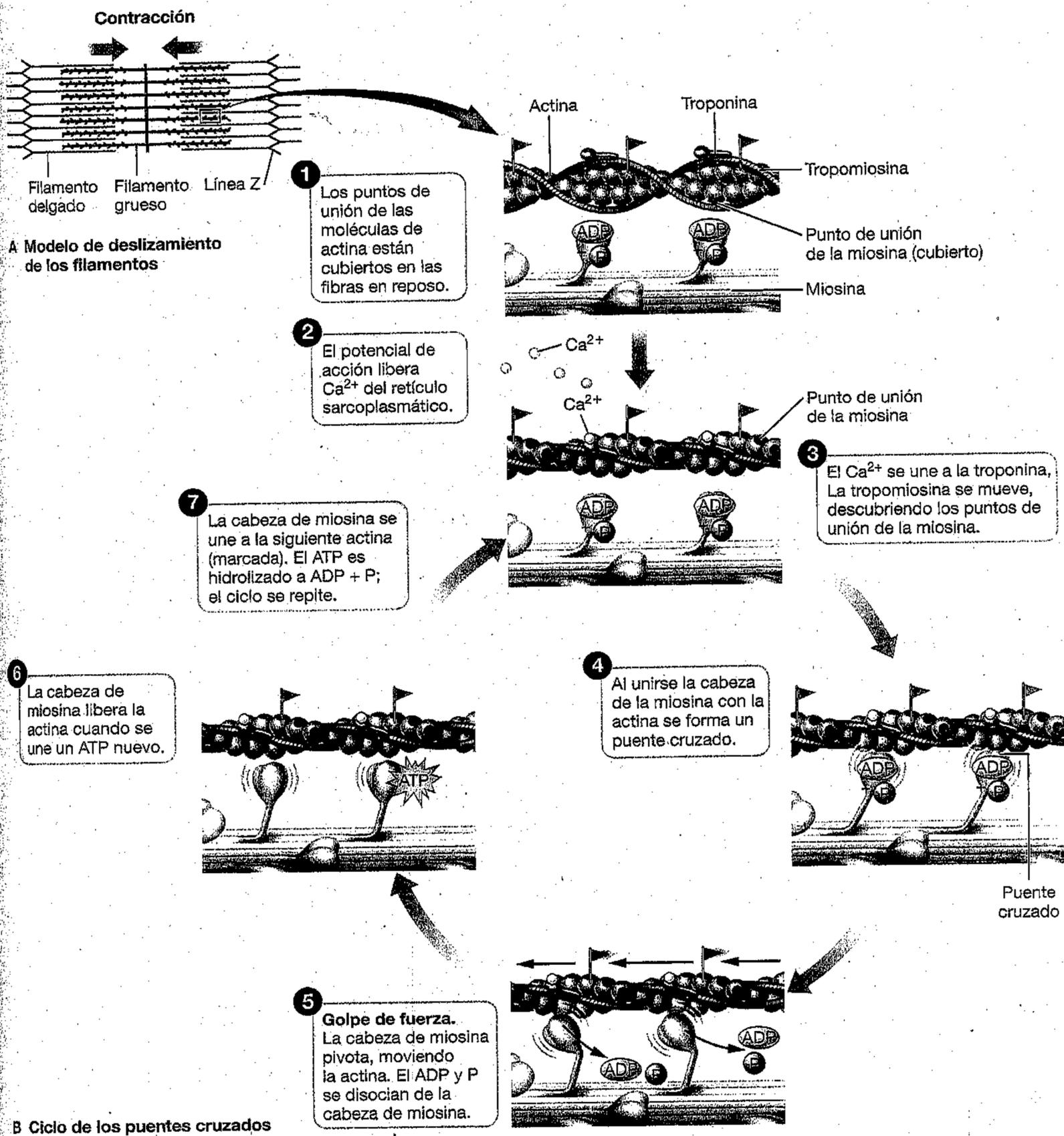


Figura 7-7. **Contracción muscular.** A) Los filamentos gruesos tiran de los filamentos finos el uno hacia el otro durante la contracción muscular. B) Etapas de la contracción muscular. Obsérvese que la molécula de actina marcada se ha movido (desde la etapa 4 a la 6) en relación con la cabeza del filamento grueso. *El ATP ¿se une a la actina o a la miosina?* ADP, difosfato de adenosina; ATP, trifosfato de adenosina; P, fosfato.

ión de la  
ertos por  
cción en  
nático li-  
troponi-  
de unión  
a 3 de la  
se inicia

ice cuan-  
la actina  
osina co-  
e la ener-  
osfato de  
ar en re-  
ctos ADP  
nergía li-  
ena en la  
decir, la

5, el gol-  
y mover  
osfato se  
pero los

a separa-  
adicional  
la cabeza  
ueda lista  
(paso 7)  
en ondas  
yo movi-  
las, como  
ultánea-  
aves de  
miles de  
sculares  
gunas de  
de modo  
de nuevo

ulos  
se

puentes  
nde que  
nscular  
e debe a  
uede ge-  
idos sólo  
le miosi-  
a actina.

Y aquí las cosas se detienen: no puede producirse la relajación porque, sin una nueva molécula de ATP, las cabezas de miosina no puedan soltarse de la actina. El *rigor mortis* pierde su «agarre mortal» en el esqueleto (se desengancha del cuerpo) después de unas 24 h, cuando las enzimas escapan de los lisosomas y digieren la miofibrillas, permitiendo que el músculo se relaje.

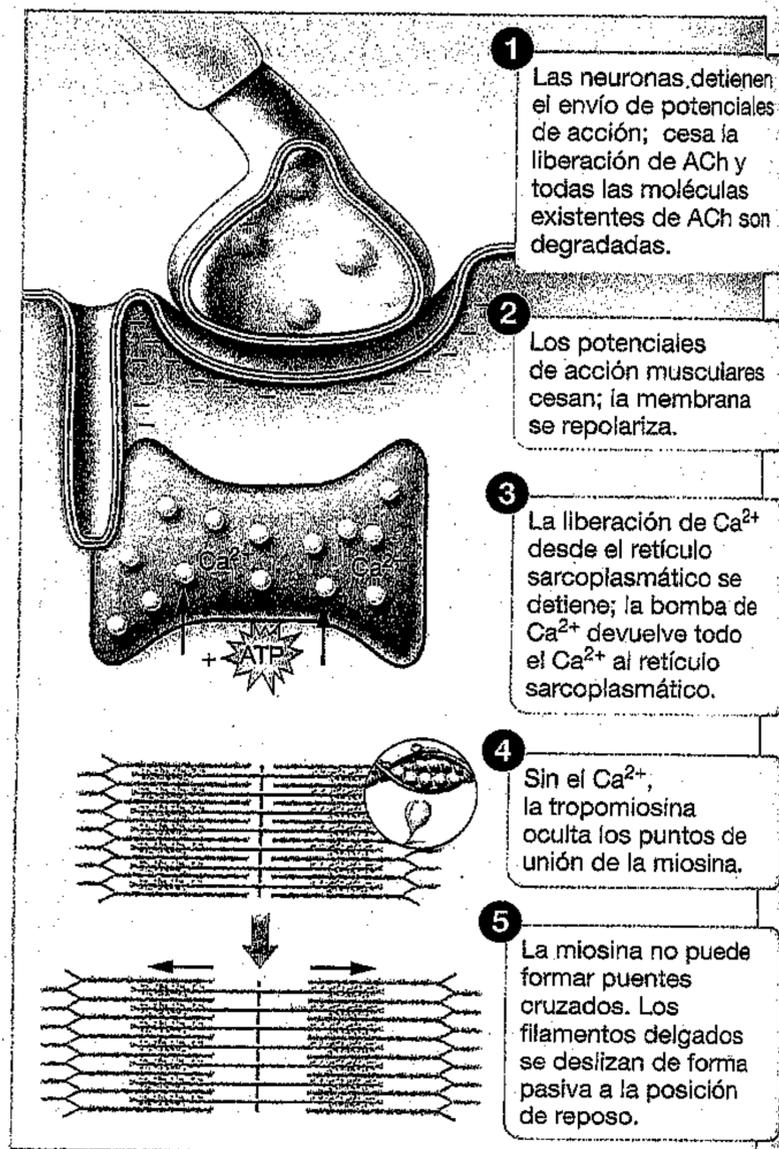
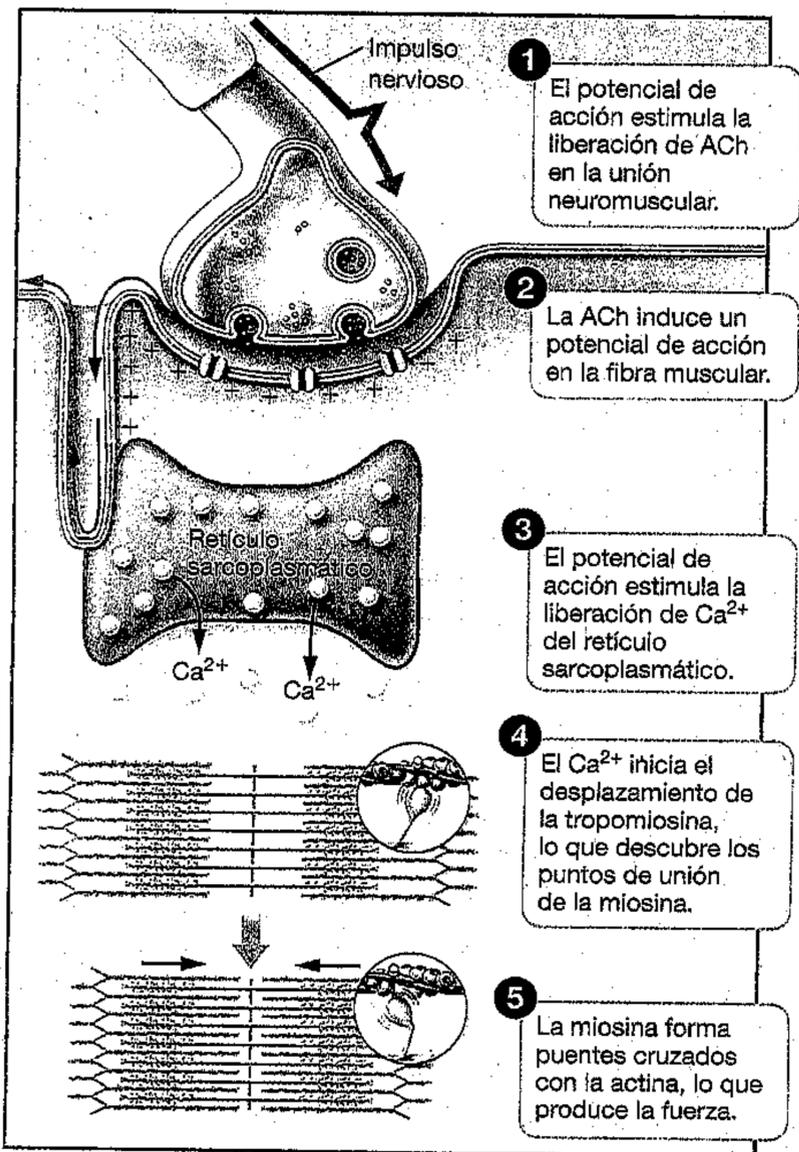
**¡Recuerde!** La unión del ATP produce la liberación de los puentes cruzados. Para el golpe de fuerza es necesaria la energía de la descomposición del ATP.

**El músculo se relaja cuando finaliza el ciclo de los puentes cruzados**

Ahora ya hemos cubierto todos los elementos de una contracción muscular satisfactoria, desde la llegada de un po-

tencial de acción en la unión neuromuscular al ciclo de los puentes cruzados. Puede revisar estos acontecimientos en la figura 7-8 A. La relajación muscular, un componente igual de importante en toda contracción muscular, es esencialmente el inverso de estos pasos (fig. 7-8 B):

1. Sin potenciales de acción continuados en la motoneurona, la liberación de ACh cesa. Los esfuerzos constantes de la acetilcolinesterasa degradan finalmente todas las moléculas de ACh de la hendidura sináptica.
2. Sin ACh, los canales del receptor nicotínico se cierran y cesan los potenciales de acción en el sarcolema.
3. Los canales de calcio del retículo sarcoplasmático se cierran cuando cesan los potenciales de acción. La bomba de  $Ca^{2+}$  transporta los iones  $Ca^{2+}$  restantes hacia el interior del retículo sarcoplasmático.
4. A medida que las concentraciones de  $Ca^{2+}$  en el sarcoplasma disminuyen, el  $Ca^{2+}$  se disocia de la troponina. La tropomiosina vuelve a ocupar su posición previa sobre los puntos de unión de la miosina.



**A Contracción muscular**

**B Relajación muscular**

**Figura 7-8. Contracción y relajación muscular.** A) Los músculos se contraen por acortamiento del sarcómero cuando el calcio está presente en el sarcoplasma. B) Los músculos se relajan cuando el calcio es bombeado fuera del sarcoplasma. ¿Qué orgánulos almacenan calcio en las células musculares? ACh, acetilcolina.

5. La miosina gruesa se desliza de forma pasiva a la posición de reposo.

**Examen sorpresa**

7-11 Nombre los filamentos

7-12 El calcio delgado?

**Energía**

Para el mar un suministro de ATP es importante

- Potencia
- Ciclo de
- Relajación

Recuerde químico. La ATP + F

El estudio de la dirección de la fibra de ADP va a partir de la

**Diferencias**

Las células producen

La miosina no puede unirse ya a la actina, los filamentos gruesos «pierden su agarre» sobre los filamentos delgados. Recuerde que el tejido muscular es elástico, de forma que el sarcómero vuelve rápidamente a su longitud en reposo.

**Examen sorpresa**

7-9 ¿Qué es una unidad motora?

7-10 ¿Cómo crea la señal eléctrica en la neurona una señal eléctrica en la fibra muscular?

11. Nombre tres proteínas que se encuentran en los filamentos delgados.

12. El calcio ¿se une a los filamentos gruesos o a los delgados?

## Energía muscular

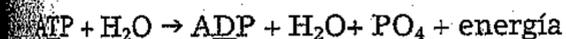
Para el mantenimiento de todas nuestras células es preciso un suministro constante de ATP, pero las células musculares tienen necesidades de energía particularmente elevadas. El ATP es el combustible necesario para tres aspectos importantes de la actividad muscular:

• **Potencial de membrana del sarcolema:** recuerde, del capítulo 4, que la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasa es la responsable de mantener los gradientes de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  a través de la membrana celular, que son necesarios para los potenciales de acción.

• **Ciclo de los puentes cruzados:** las cabezas de miosina utilizan la energía de la descomposición del ATP para el golpe de fuerza de la cabeza de miosina, y los puentes cruzados se rompen cuando se une una nueva molécula de ATP.

• **Relajación muscular:** la bomba de calcio utiliza ATP para transportar de forma activa calcio al interior del retículo sarcoplasmático.

Recuerde que el ATP almacena energía en un enlace químico. La energía de este enlace se libera cuando se elimina un fosfato del ATP, generando ADP, como se muestra en esta reacción:



El estudio de esta reacción muestra que, para forzarla en dirección opuesta, se precisa energía (es decir, para convertir un ADP vacío de energía de nuevo en ATP). Como se muestra a continuación, la mayor parte de esta energía se logra a partir de los enlaces químicos de los nutrientes.

### Diferentes procesos pueden generar ATP

Las células musculares generan constantemente ATP a partir de diversos procesos. En general, los procesos que producen mayores cantidades de ATP implican más reac-

ciones químicas y, por lo tanto, precisan más tiempo para completarse. Una fibra muscular en contracción puede requerir todos los procesos en grados diversos, según el tipo de músculo, la intensidad de la contracción y la duración de la actividad muscular.

### El ATP almacena y el fosfato de creatina proporciona energía inmediata

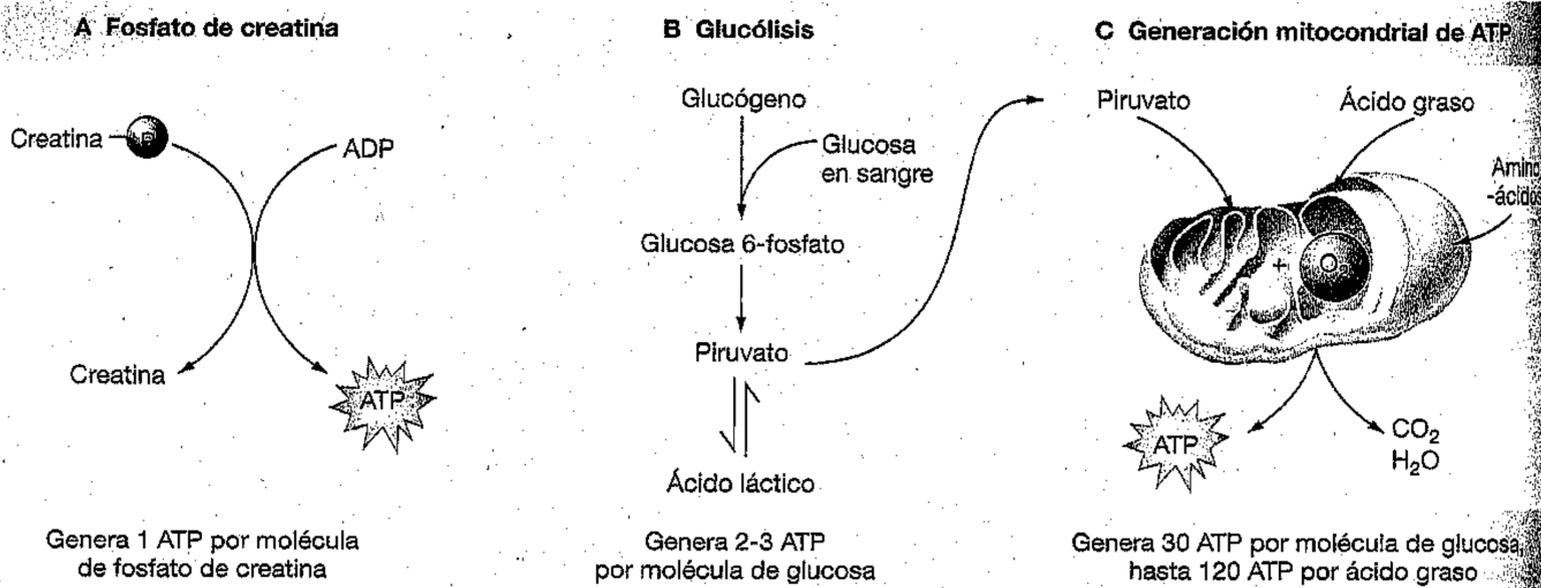
Los músculos almacenan una pequeña cantidad de ATP (generado previamente por el metabolismo de los nutrientes) para impulsar los primeros segundos de actividad. Sin embargo, puesto que las fibras musculares se rompen si los depósitos de ATP musculares caen a niveles demasiado bajos, existen varios mecanismos de protección que suelen evitar la reducción excesiva de los depósitos de ATP. Uno de estos mecanismos involucra al **fosfato de creatina**, una molécula exclusiva del músculo (fig. 7-9 A). Funciona mediante la conversión de algunas de las moléculas de ADP vacías de energía en moléculas de ATP transfiriendo su fosfato al ADP, una reacción que genera creatina más ATP. Las células musculares contienen suficiente fosfato de creatina para alimentar aproximadamente sólo 10 s de actividad. No obstante, cuando las fibras musculares están en reposo, pueden regenerar sus depósitos de fosfato de creatina mediante el uso de ATP obtenido de los nutrientes. Una molécula de fosfato de alta energía es transferida a una molécula de creatina, produciendo ADP más una molécula de fosfato de creatina nueva.

### La glucólisis produce piruvato y ATP

La **glucólisis** (*glyco-* = «azúcar»; *-lysis* = «romper»), la descomposición de glucosa en piruvato, es el método más rápido para generar ATP a partir de los nutrientes (fig. 7-9 B). La fuente inicial de glucosa es el **glucógeno**, un polímero de glucosa almacenado en la fibra muscular. El glucógeno debe descomponerse en moléculas individuales de glucosa (glucosa 6-fosfato), que se usan a continuación para generar ATP. Esta reacción se denomina **glucogenólisis**, y es catabolizada por una enzima, *glucógeno fosforilasa*. También puede utilizarse glucosa de la sangre, pero el glucógeno es más abundante y proporciona glucosa 6-fosfato a una mayor velocidad.

La glucólisis se produce en el citosol de las células musculares y es un proceso **anaerobio**; es decir, no precisa oxígeno. Genera tres moléculas de ATP por molécula de glucosa derivada del glucógeno. Cuando se utiliza la glucosa de la sangre, sólo se generan dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa, ya que para convertir la glucosa de la sangre en glucosa 6-fosfato se emplea una molécula de ATP.

El piruvato, producto final de la glucólisis, puede ser una fuente de ATP adicional. Sin embargo, por razones que se comentan en el capítulo 15, éste suele ser transformado primero en **ácido láctico**. Aproximadamente la mitad de este ácido láctico se transformará de nuevo en piruvato en el interior de la misma célula muscular, durante el breve e infinitesimal reposo entre las contraccio-



**Figura 7-9. Energía muscular.** A) El fosfato de creatina transfiere su grupo fosfato al ADP para generar ATP. Cuando el ATP es abundante, esta reacción se realiza en sentido inverso para regenerar moléculas de fosfato de creatina a expensas del ATP. B) La glucólisis transforma la glucosa producida por la descomposición del glucógeno (o que ha llegado por la sangre) en piruvato. El piruvato puede transformarse en ácido láctico, y el ácido láctico, de nuevo en piruvato. C) Las mitocondrias generan grandes cantidades de ATP a partir del piruvato, ácidos grasos o aminoácidos. ¿Qué sustancia puede utilizarse directamente para generar ATP, ácido láctico o piruvato? ADP, difosfato de adenosina; ATP, trifosfato de adenosina; P, fosfato.

nes individuales (las fibras musculares en un músculo en contracción se turnan para producir la fuerza). La mayor parte del ácido láctico restante viajará a células musculares próximas, donde también se transformará, de nuevo, en piruvato. No obstante, una cantidad muy pequeña de ácido láctico viaja hasta el hígado y es convertido en glucosa.

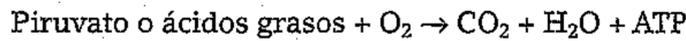
**Apuntes sobre el caso**  
 7-8 ¿Hamid sufre de una escasez de ATP, fosfato de creatina o de calcio?

**La producción de ATP mitocondrial cumple las necesidades de energía a largo plazo**

Las mitocondrias contienen una gran cantidad de enzimas que descomponen completamente los diferentes nutrientes y generan grandes cantidades de ATP (fig. 7-9 C). La compleja serie de reacciones químicas llevadas a cabo por estas enzimas pueden dividirse en dos etapas: el ciclo del ácido cítrico y la respiración mitocondrial, y se comentan con detalle en el capítulo 15.

La generación de ATP mitocondrial se describe como *aerobia* porque, a diferencia de la glucólisis, *precisa* oxígeno. La mayor parte del oxígeno necesario proviene del oxígeno unido a la hemoglobina de la sangre, y una menor parte se obtiene del oxígeno unido a la mioglobina del músculo. Aunque su necesidad de oxígeno es absoluta, las mitocondrias no son muy exigentes con el origen de sus nutrientes;

metabolizan de forma eficaz piruvato (generado por la glucólisis) y ácidos grasos. Estos últimos pueden provenir de la sangre o de micelas lipídicas dentro de la fibra muscular. La reacción es la siguiente:



Las mitocondrias proporcionan un suministro lento y constante de ATP; generan 30 ATP por cada molécula de glucosa (recordemos que la glucólisis también genera de 2 a 3 ATP por cada molécula de glucosa), o la asombrosa cifra de 120 ATP por cada molécula de ácido graso.

**¡Recuerde!** Las mitocondrias no descomponen directamente la glucosa para generar ATP. En su lugar utilizan piruvato generado por la glucólisis.

Especialmente en las personas que consumen más proteínas de las que necesita su cuerpo, los aminoácidos sanguíneos son captados por las fibras musculares y utilizados por las mitocondrias para generar ATP. Sin embargo, por lo general las proteínas del cuerpo no se descomponen para generar aminoácidos y producir energía. La mayoría de los órganos del cuerpo están estructurados a partir de proteínas, por lo que éstas se utilizan como combustible solo como último recurso; utilizar aminoácidos para generar ATP sería similar a quemar una casa para mantener el calor. Éste es el motivo, por ejemplo, por el que las personas que mueren de hambre pierden masa muscular: están quemando las proteínas musculares para seguir con vida.

**Apuntes**

7-9 Nuestro glucógeno en el cabo esta rea

7-10 ¿Qué p musculares c

**Las células aerobias**

El footing y describen c drias depen ATP necesi isis, ácidos eulares fun res condici

1. La célula
2. Adecua
3. Las neces o moder

Por el co ren contrac cribirse cor necesidade oxígeno (A' El metabol cógeno mu gre es den mayor par nal de la ví mas para s a que el á células no en piruvat la sangre. éste tenga obstante, i culares no anaerobio

El meti tancias. L: es decir, e un impuls las célula necesida una cues ferentem das fibra. adelante iniciamo porque l. ducir su: últimas c do de ox

### Apuntes sobre el caso

9. Nuestro paciente Hammid no puede convertir el glucógeno en glucosa. Señala la enzima que lleva a cabo esta reacción.

10. ¿Qué proceso es defectuoso en las células musculares de Hammid, la glucogenólisis o la glucólisis?

### Las células musculares se contraen aerobíamente o anaerobíamente

El *footing* y otras actividades de resistencia a menudo se describen como «ejercicio aeróbico» porque las mitocondrias dependientes de oxígeno generan la mayor parte del ATP necesario, a partir de piruvato derivado de la glucólisis, ácidos grasos y quizás aminoácidos. Las células musculares funcionan en condiciones aerobias si se cumplen tres condiciones:

1. La célula muscular contiene abundantes mitocondrias.
2. Adecuado suministro de oxígeno a la célula muscular.
3. Las necesidades de ATP de la célula muscular son bajas o moderadas.

Por el contrario, las actividades deportivas que requieren contracciones intensas de corta duración, suelen describirse como «ejercicios anaeróbicos» porque cumplen sus necesidades de ATP utilizando procesos que no requieren oxígeno (ATP almacenado, fosfato de creatina y glucólisis). El metabolismo anaerobio depende de las reservas de glucógeno muscular, ya que el suministro de glucosa de la sangre es demasiado lento para cumplir con la demanda. La mayor parte del ácido láctico generado como producto final de la vía glucolítica viaja a las células musculares próximas para su posterior metabolización. Sin embargo, debido a que el ácido láctico se genera más rápido de lo que las células no contráctiles tardan en transformarlo de nuevo en piruvato, con frecuencia el ácido láctico se acumula en el sangre. La mayoría de los investigadores no creen que este tenga efectos nocivos sobre la función muscular. No obstante, por razones que comentaremos, las células musculares no pueden generar ATP mediante el metabolismo anaerobio durante mucho tiempo sin cansarse.

El metabolismo anaerobio tiene lugar en tres circunstancias. La primera es una cuestión de demanda impuesta, es decir, el trabajo duro. El metabolismo anaerobio ofrece un impulso de energía extra cuando el aporte de oxígeno a las células musculares no puede mantenerse al día con las necesidades de la respiración mitocondrial. La segunda es una cuestión de anatomía: el metabolismo se produce preferentemente en algunas células musculares, denominadas *fibras musculares glucolíticas* (que se comentarán más adelante). La tercera es una cuestión de tiempo: cuando iniciamos el ejercicio, requerimos metabolismo anaerobio porque las mitocondrias necesitan unos minutos para producir suficiente ATP. Es importante señalar que estas dos últimas circunstancias no reflejan un suministro inadecuado de oxígeno.

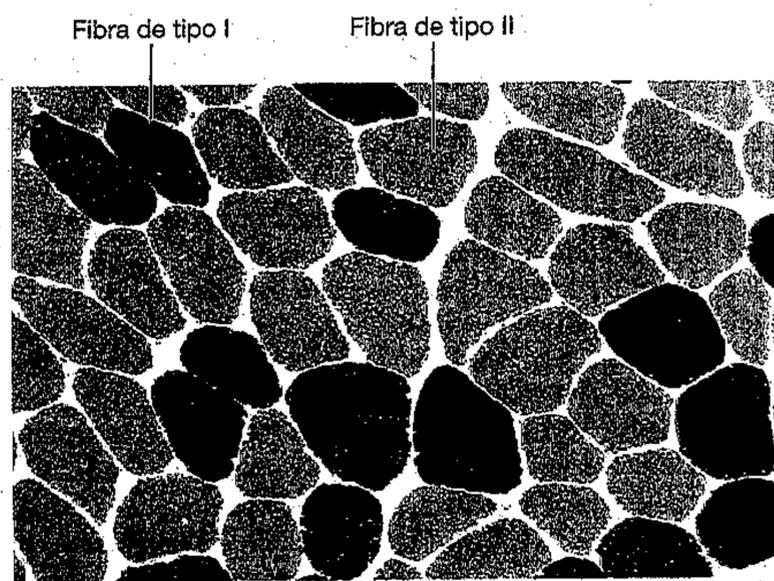
**¡Recuerde!** Los términos *metabolismo anaerobio* y *glucólisis* se utilizan con frecuencia como sinónimos, pero erróneamente, ya que la glucólisis es el primer paso necesario tanto en el metabolismo aerobio como en el anaerobio.

### Las fibras del músculo esquelético son oxidativas o glucolíticas

Las fibras musculares pueden clasificarse de acuerdo con su método principal de generación de ATP. Las **fibras de contracción lenta (oxidativas, tipo I)** son óptimas para el metabolismo aerobio (fig. 7-10).

Contienen muchas mitocondrias y un abundante abastecimiento de mioglobina, que almacena oxígeno. Las fibras de contracción lenta están llenas de vasos sanguíneos que mantienen el suministro de glucosa, oxígeno y ácidos grasos. Suelen ser delgadas, y se contraen y fatigan lentamente. Son, pues, muy adecuadas para los músculos que trabajan de forma continua, como los músculos que mantienen la postura. También tienen un papel en ejercicios de resistencia. La mioglobina es de color rojizo, y las fibras de contracción lenta, de color marrón rojizo oscuro, lo que refleja su alto contenido en mioglobina.

Por otro lado, las **fibras de contracción rápida (glucolíticas, tipo II)** están optimizadas para el metabolismo anaerobio (tabla 7-2). Necesitan grandes cantidades de fosfato de creatina, enzimas glucolíticas y glucógeno debido a que la fibra muscular va a generar sólo 3 ATP por molécula de glucosa. Tienen menos mioglobina, menos mitocondrias y menos vasos sanguíneos que las fibras de contracción lenta. Por lo tanto, son pálidas o blanquecinas. A pesar de que se fatigan con rapidez, son grandes y fuertes, por lo que son



**Figura 7-10. Tipos de fibras musculares.** Las fibras musculares de esta microfotografía han recibido tinción para el tipo lento de miosina que se encuentra en las fibras musculares de contracción lenta (oxidativas). ¿Qué fibras contienen menos mitocondrias, las células oscuras o las células más claras?

Tabla 7-2. Tipos de fibras musculares

Características	Contracción rápida (glucolíticas)	Contracción lenta (oxidativas)
Aspecto	Blancas	Rojas
Fuente principal de ATP	Metabolismo anaerobio	Metabolismo aerobio
Mitocondrias/capilares	Pocas	Muchas
Reservas de glucógeno	Altas	Bajas
Contenido en mioglobina	Bajo	Alto
Velocidad de fatiga	Rápida	Lenta
Tamaño de fibra	Grande	Pequeño
Velocidad de contracción	Rápida	Lenta

adecuadas para los movimientos explosivos amplios (como el levantamiento de un caja pesada o una carrera). ¿Quieres saber más? Consulte el cuadro «Fibras musculares de tipo IIa: lo mejor de ambos mundos» en <http://thepoint.lww.com/espanol-McConnellandHull> para obtener información sobre las «superfibras», que combinan las ventajas de ambos tipos de contracción: lenta y rápida.

Para memorizar estas distinciones, puede ayudarle recordar que la pechuga de pollo, pavo y codorniz es «carne blanca» porque está compuesta principalmente de fibras de contracción rápida para dar potencia a los intensos movimiento del ala para vuelos cortos. Por el contrario, patos y palomas son aves migratorias, y la carne de su pechuga es «roja», ya que está compuesta de fibras de contracción lenta para poder sostener vuelos de cientos de kilómetros.

La mayor parte de los músculos esqueléticos humanos mezclan fibras de contracción lenta y rápida; sin embargo, todas las fibras de una unidad motora son del mismo tipo. El porcentaje de fibras rápidas y lentas en cada músculo está determinado genéticamente: algunas personas tienen más fibras rápidas en ciertos músculos, mientras que otras tienen más fibras lentas en la misma región. Es más, las proporciones varían de acuerdo con la ubicación y la función musculares. Por ejemplo, los músculos del miembro superior y del hombro son en su mayoría fibras de contracción rápida, ya que se utilizan de forma intermitente y breve para producir grandes cantidades de fuerza para actividades como manipular, levantar o lanzar. Los músculos que impulsan los movimientos oculares se componen en-

teramente de fibras de contracción rápida. Por el contrario, los músculos de la columna vertebral y el cuello son en su mayoría fibras de contracción lenta, ya que estos músculos trabajan constantemente para mantener la postura.

### Apuntes sobre el caso

7-11 Recuerde que Hammid no puede caminar de puntillas sin calambres. Los músculos necesarios para caminar de puntillas, los gemelos, tienen pocas mitocondrias y fibras musculares grandes. ¿Está compuesto principalmente por fibras de contracción rápida o de contracción lenta?

### Estudio del caso

#### Metabolismo energético muscular: el caso de Hammid S.



Hammid sufre un defecto genético por el cual carece de glucógeno fosforilasa, enzima esencial para la degradación del glucógeno. Esta reacción, llamada glucogenólisis, es necesaria para proporcionar las grandes cantidades de glucosa que se necesitan para actividades musculares intensas.

Comprender cómo el músculo obtiene su suministro de energía es clave para entender los signos y síntomas de Hammid (fig. 7-11). Recuerde que el músculo consigue energía de tres formas diferentes:

1. Los depósitos de ATP y fosfato de creatina alimentan los primeros segundos de toda contracción.
2. La glucogenólisis (degradación del glucógeno), seguida por la glucólisis (generación de piruvato a partir de la glucosa), puede generar también energía de forma relativamente rápida al principio de la contracción. Este proceso también proporciona un «impulso» extra de energía cuando se precisan grandes cantidades de ATP en un corto período de tiempo.
3. El metabolismo aerobio, que requiere oxígeno para metabolizar piruvato (generado por la glucólisis) o ácidos grasos, proporciona un suministro constante de ATP a largo plazo. Este proceso puede utilizar las reservas musculares de glucógeno y grasa o suministros de glucosa y de ácidos grasos de la sangre.

Hay que tener en cuenta que Hammid no tiene ninguna dificultad para iniciar las contracciones musculares, porque sus músculos tienen un pequeño almacén normal de ATP y fosfato de creatina. Esto es lo que le permite ponerse en marcha. Tampoco existe alteración alguna de su actividad cotidiana a largo plazo; él está bien, siempre y cuando la demanda de energía sea baja. Mediante la respiración mitocondrial, puede quemar los ácidos grasos de la grasa o aminoácidos de las proteínas y quemar hasta glucosa obtenida a partir de su sangre. Sin embargo, cuando la de-

Figura 7-11. Gemelos de Hammid.

manda es e... mediante l... de glucóge... la enzima... Hammid, p... vidades en... disponible... me la total... respiración... trar todas... ner glucos... Una im... nóstico: la... Hammid r... vidad exte... tenso, una... generar la... tabolismo... ne rápida... este últim... metabolis... el glucóge... tico debe

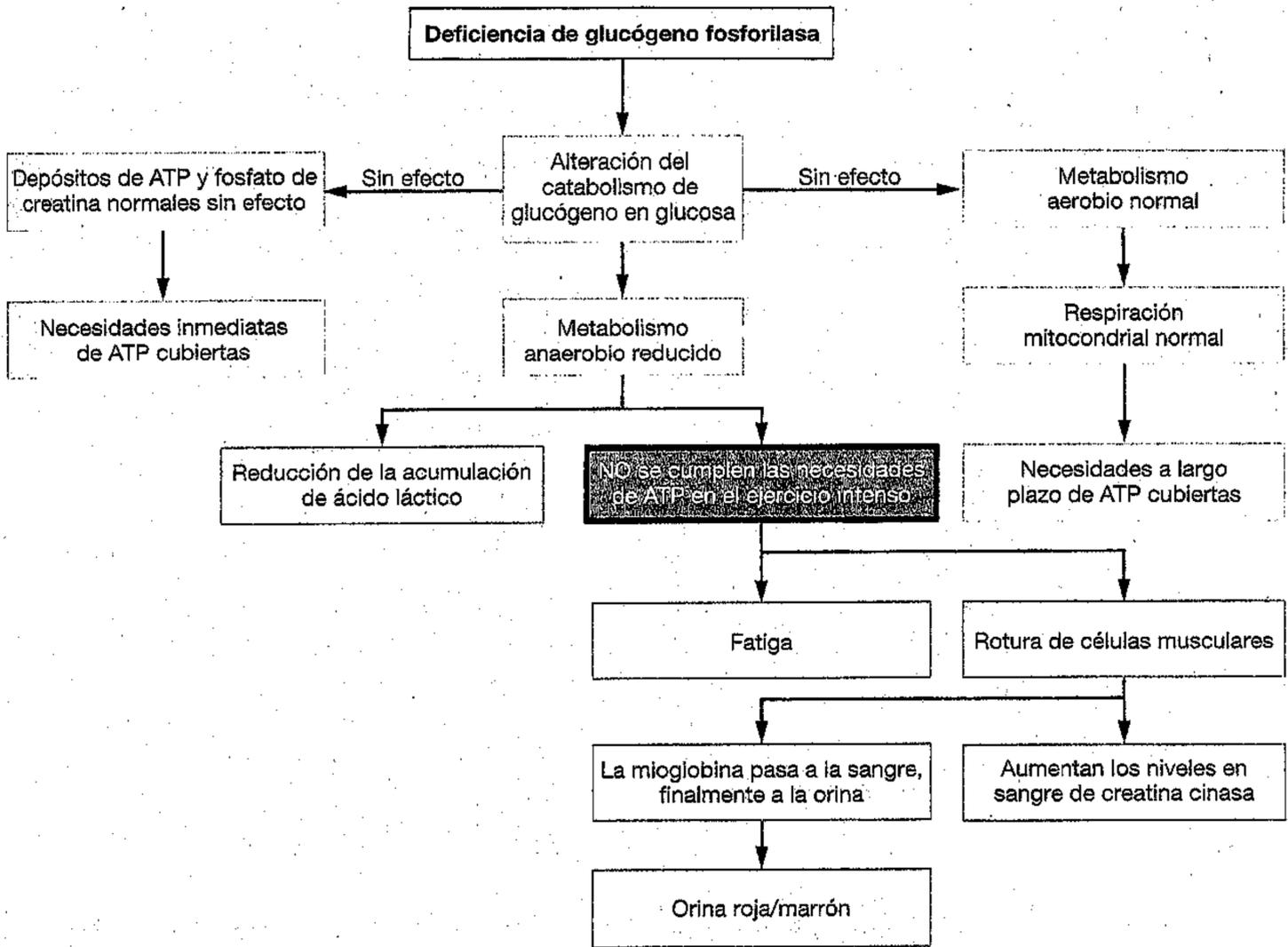


Figura 7-11. Metabolismo energético muscular y el caso de Hammid S. ¿Cómo sabemos que se han roto algunas células musculares de Hammid?

La demanda es elevada, su cuerpo no puede suministrar glucosa mediante la descomposición de sus abundantes reservas de glucógeno debido a que su gen defectuoso no produce la enzima necesaria para hacer el trabajo. El problema de Hammid, por lo tanto, surge cuando trata de realizar actividades energéticas sostenidas que consumen el combustible disponible. Tras unos minutos de esfuerzo intenso, consume la totalidad de su suministro de glucosa de la sangre; la respiración mitocondrial es demasiado lenta para suministrar todas las demandas de ATP, y su capacidad para obtener glucosa a partir del glucógeno es defectuosa.

Una importante afirmación ayuda a confirmar el diagnóstico: las cantidades de ácido láctico en la sangre de Hammid no aumentan como debería ocurrir tras una actividad extenuante. ¿Por qué? Porque durante el ejercicio intenso, una persona sana puede usar la glucogenólisis para generar la gran cantidad de glucosa necesaria para el metabolismo anaerobio. Debido a que la glucólisis descompone rápidamente muchas moléculas de glucosa en piruvato, este último se convierte en ácido láctico. Sin embargo, el metabolismo de Hammid no es normal: no puede romper el glucógeno para suministrar glucosa. Su sistema glucolítico debe confiar sólo en la glucosa en sangre y agota rápi-

damente el suministro antes de que pueda acumularse un exceso de piruvato y se convierta en lactato.

Cuando los músculos de Hammid demandan una gran cantidad de combustible, la llamada no recibe respuesta, y los niveles de ATP en las células musculares caen a niveles peligrosamente bajos. Como resultado, las células musculares se rompen y liberan su contenido (que incluye mioglobina y la enzima creatina cinasa) en la sangre y al final en la orina. Se producen calambres musculares, aumentan los niveles de creatina cinasa en la sangre de Hammid y la mioglobina tiñe su orina de color marrón.

Se aconsejó a los padres de Hammid que le alejasen de actividades energéticas como carreras de velocidad y el fútbol, y que fomentasen los ejercicios moderados, como *footing* o senderismo, lo que aumentaría la capacidad de sus músculos para llevar a cabo la respiración mitocondrial. También se les dio instrucciones para que se aseguraran de que Hammid consumía un caramelo o una bebida azucarada, como zumo de naranja, unos 30 min antes del ejercicio, con el fin de elevar los niveles de glucosa en sangre. Por último, se les aconsejó que insistieran en que su hijo dejase de hacer ejercicio si se producían los calambres.

**Apuntes sobre el caso**

7-12 ¿Cuál es el problema de Hammid en términos moleculares?

**El músculo esquelético sufre fatiga**

Cuando un músculo se ejercita con fuerza durante mucho tiempo, éste pierde la capacidad de responder a la estimulación nerviosa, una situación conocida como **fatiga muscular**. La contracción de las fibras se debilita cada vez más y finalmente se detiene por completo. Estamos acostumbrados a pensar que la fatiga muscular refleja el agotamiento del ATP o la acumulación de ácido láctico, pero ahora sabemos que ninguna de estas hipótesis puede explicar la mayor parte de los casos de fatiga. Entonces, ¿por qué se produce la fatiga? Las causas son muchas y variadas, lo que refleja la naturaleza del ejercicio y el estado de entrenamiento del individuo.

El límite más importante en la resistencia submáxima al ejercicio es la capacidad de generar ATP. Los músculos no entrenados se fatigan debido a que tienen un problema de suministro por parte de la sangre (no tienen suficientes capilares que perfundan sus fibras oxidativas). Uno de los beneficios del entrenamiento de resistencia es el crecimiento de más vasos sanguíneos para el suministro de las fibras oxidativas. En estas personas entrenadas, las reservas de glucógeno se convierten entonces en el factor limitante.

Se cree que la fatiga en el ejercicio anaeróbico máximo refleja la acumulación de fosfato. Recordemos que la energía es liberada del ATP por la liberación de un fosfato. El ejercicio máximo utiliza una gran cantidad de ATP en un corto tiempo, lo que resulta en la acumulación de muchos fosfatos. El fosfato interfiere con la contracción directamente mediante el bloqueo de la formación de los puentes cruzados, e indirectamente, al reaccionar con el calcio en el retículo sarcoplasmático y reducir su liberación en el sarcoplasma.

Sin embargo, rara vez se ve la fatiga muscular real de los tipos descritos anteriormente, que también se conocen como *fatiga periférica*. Como dicen los grandes atletas, «la mente se agota antes que el músculo». En esencia, para los atletas no entrenados las sensaciones creadas por el ejercicio son desagradables; por lo tanto, disminuyen el esfuerzo con el fin de aliviar esta situación. Asimismo, muchas condiciones (tales como el aumento de la temperatura corporal) provocan que el cerebro envíe menos señales a los músculos. Por lo tanto, la causa más común de la fatiga se origina en el sistema nervioso central y se denomina *fatiga central*.

**Apuntes sobre el caso**

7-13 ¿Por qué cree que los músculos de Hammid se fatigan tan fácilmente?

7-14 Muchos de los atletas se «cargan de hidratos de carbono» con el fin de aumentar sus reservas de glucógeno y aumentar su resistencia a la fatiga. ¿El consumo de carbohidratos sería útil para Hammid?

**Examen sorpresa**

7-13 Señale las dos fuentes de ATP que alimentan los primeros segundos de una contracción.

7-14 Algunos de los ATP utilizados por las células musculares se utilizan para transportar activamente un ión específico al interior del retículo sarcoplasmático. ¿Cuál es este ión?

7-15 Verdadero o falso: cuando la creatina es transformada en fosfato de creatina se genera una sola molécula de ATP.

7-16 Verdadero o falso: la célula muscular consume la totalidad de su ATP almacenado antes de que comience a generar más.

7-17 ¿Qué nutrientes pueden generar ATP sin entrar en las mitocondrias, la glucosa o los ácidos grasos?

7-18 ¿Cuál es el producto final de la glucólisis?

7-19 Verdadero o falso: el ácido láctico es una fuente de ATP, ya que puede ser utilizado por las fibras musculares para generar piruvato, que puede ser usado para generar ATP.

7-20 ¿Qué nutriente genera más ATP por molécula, la glucosa o los ácidos grasos?

7-21 ¿Qué procesos de generación de ATP se consideran anaerobios, es decir, no requieren de oxígeno?

7-22 Señale cuál de los siguientes requisitos no es necesario para el metabolismo aerobio: oxígeno abundante, grandes depósitos de glucógeno o mitocondrias abundantes.

7-23 ¿Qué fibras reciben un mayor suministro sanguíneo, el tipo I o el tipo II?

7-24 Mencione tres causas de fatiga muscular en el ejercicio de resistencia.

**Mecánica de la contracción muscular**

La fuerza de la contracción muscular es controlada con sumo cuidado; podemos utilizar los mismos músculos para sujetar un delicado vidrio ornamental que para exprimir el agua de una toalla para lavarnos la cara. La fuerza que ejerce un músculo individual depende de:

- La fuerza ejercida por cada fibra en contracción.
- El número de unidades motoras que se contraen.

**Las fibras individuales proporcionan la fuerza**

Recuerde que la contracción muscular se realiza a través de la formación de puentes cruzados entre las cabezas de

miosina c  
la actina.  
La fue  
mero de  
pende de  
alcanzar  
puntos de

**La fuerza de la lo**

La longit  
músculo,  
llada por  
óptima d  
tán en co  
formar pi  
sión máx  
de los m  
En longi  
delgados  
que se e

Demanda

Fuerza de contracción (% máx.)  
100  
50

A Relac

Figura 7-1  
lo que det  
cruzados  
Las contra  
se produc

miosina de los filamentos gruesos y los puntos de unión de actina de los filamentos finos.

La fuerza de contracción depende, por lo tanto, del número de puentes cruzados que se formen, que a su vez depende de la cantidad de cabezas de miosina que puedan alcanzar los filamentos delgados y de la disponibilidad de puntos de unión en dichos filamentos.

**La fuerza de contracción depende de la longitud de la fibra muscular**

La longitud del sarcómero, y por lo tanto la longitud del músculo, es un factor determinante de la fuerza desarrollada por una fibra muscular individual. En la longitud óptima del sarcómero todas las cabezas de la miosina están en condiciones de contactar con moléculas de actina y formar puentes cruzados, y la contracción generará la tensión máxima posible (fig. 7-12 A, medio). Esta propiedad de los músculos se denomina *relación de longitud-tensión*. En longitudes muy cortas del sarcómero, los filamentos delgados reciben una tracción a una distancia tan corta que se encuentran en el medio y se superponen, lo que

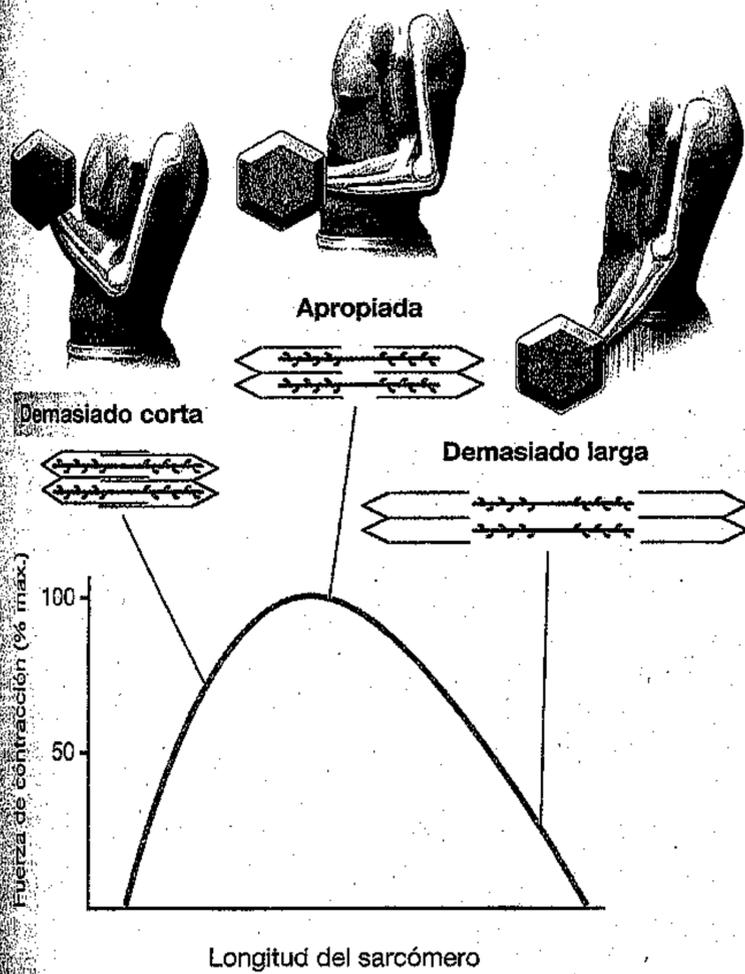
cubre sus puntos de unión e interfiere con la capacidad de formar puentes cruzados con los filamentos gruesos (fig. 7-12 A, lado izquierdo).

En longitudes de sarcómero muy largas se produce todo lo contrario: los filamentos delgados están tan separados que pierden la mayor parte de su contacto con los filamentos gruesos (fig. 7-12 A, lado derecho). Por lo tanto, se contraen mal.

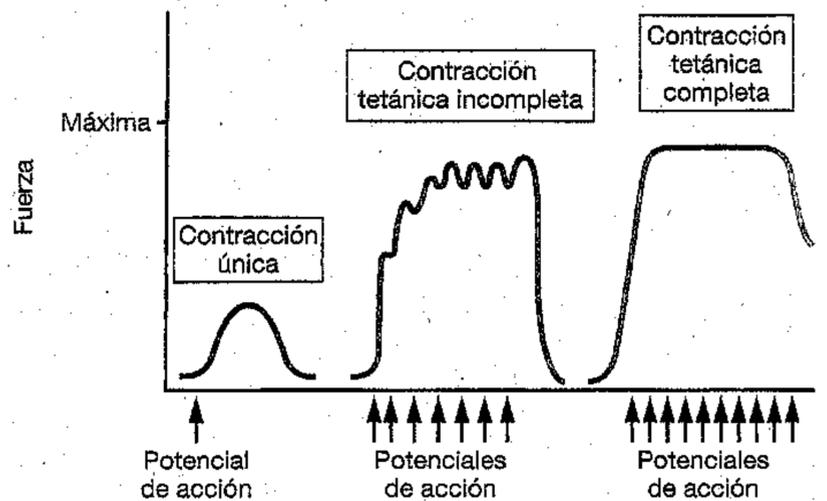
Si tenemos en cuenta que los sarcómeros están alineados extremo a extremo en el músculo, es posible extrapolar esta relación longitud-tensión con el comportamiento de un músculo entero. Trate de realizar una flexión de bíceps. Con un peso en la mano, comience con el brazo recto (codo extendido). En esta posición, el bíceps está relajado y se alarga. Levante el peso, con la palma hacia arriba, flexionando el codo. A medida que lo hace, el músculo se acorta. Tenga en cuenta que la acción es más difícil al principio y al final de la flexión porque los sarcómeros son demasiado largos al inicio y demasiado cortos al final. Por el contrario, la parte media de la flexión es relativamente fácil, porque los sarcómeros se encuentran en su longitud óptima y pueden generar la fuerza máxima.

**Las contracciones fisiológicas son contracciones tetánicas no fusionadas**

Un potencial de acción único en una fibra muscular produce como resultado una contracción débil y transitoria denominada *fasciculación* (fig. 7-12 B, lado izquierdo). Si llega un segundo potencial de acción antes de que termine dicha contracción, se produce un estado de contracción algo más intenso, es decir, se *suma* la fuerza de ambas contracciones. Los potenciales de acción siguientes producen como resultado una fuerza progresivamente mayor, hasta que se alcan-



**A Relación longitud-tensión del músculo esquelético**



**B Contracciones únicas y tetánicas**

**Figura 7-12. Determinantes de la fuerza.** A) La fuerza generada por fibras individuales varía de acuerdo con la longitud muscular, que determina la longitud del sarcómero. En su longitud óptima, todas las cabezas de miosina son capaces de formar puentes cruzados con las moléculas de actina. B) La fuerza generada por las fibras individuales depende de la frecuencia de estimulación. Las contracciones musculares productivas normales suelen implicar contracciones tetánicas incompletas. ¿Qué tipo de contracción produce por un potencial de acción único?

za un tercer estado llamado *contracción tetánica incompleta*, en la que la fibra muscular sólo se relaja ligeramente entre las contracciones siguientes (fig. 7-12 B, lado derecho). Sólo en contracciones máximas, como el levantamiento del máximo peso posible con una sola repetición, vemos el cuarto estado de la contracción, la *contracción tetánica completa*, en la que los potenciales de acción llegan con tanta frecuencia que la fibra no se relaja totalmente entre las contracciones (fig. 7-12 B, lado derecho).

Estas respuestas a las diferentes frecuencias del potencial de acción subrayan la importancia del calcio en la generación de fuerza. Recuerde que el calcio permite la formación de puentes cruzados, y la reabsorción de calcio en el retículo sarcoplasmático da como resultado la relajación. Un potencial de acción único no libera suficiente calcio para unirse a todas las moléculas de troponina, por lo que no se pueden formar suficientes puentes cruzados para generar la fuerza máxima. Sin embargo, con la estimulación repetida, la velocidad de liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  es mayor que la tasa de recaptación de  $\text{Ca}^{2+}$ , por lo que los niveles de  $\text{Ca}^{2+}$  aumentan de forma progresiva con cada potencial de acción sucesivo. La tasa de la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  es tan alta en la contracción tetánica incompleta que todos los puntos de unión están constantemente ocupados, lo que genera una fuerza máxima continua.

En las contracciones corrientes, cada fibra muscular esquelética recibe potenciales de acción a una frecuencia lo suficientemente elevada como para inducir contracción tetánica incompleta. En otras palabras, la contracción en una fibra muscular individual es un todo o nada: *las fibras musculares individuales se contraen al máximo o no se contraen*. No percibimos relajaciones parciales entre contracciones posteriores, ya que las fibras musculares de diferentes unidades motoras alternan contracción y relajación.

**¡Recuerde!** En una contracción corriente en una longitud dada de la fibra, la contracción de fibras musculares individuales es todo o nada, ya que las fibras se contraen en contracción tetánica incompleta.

### La fuerza de contracción depende del número de unidades motoras involucradas

Recordemos que una unidad motora es un grupo de fibras musculares inervadas por una única motoneurona (v. fig. 7-3). Las unidades motoras varían en tamaño y en la fuerza que pueden generar: las fibras musculares de contracción lenta suelen agruparse en unidades motoras pequeñas, mientras que las unidades motoras que contienen fibras musculares de contracción rápida suelen ser mayores. Las unidades motoras, al igual que las fibras musculares individuales, se contraen al máximo o no se contraen. Por lo tanto, la cantidad de fuerza de contracción generada por un músculo entero depende del número y tipo de

unidades motoras implicadas. El proceso de agregar unidades motoras para producir un aumento gradual de la fuerza se denomina *reclutamiento*.

Cuando se contrae el músculo esquelético, en primer lugar sólo se estimulan unas pocas unidades motoras, luego son reclutadas en un orden específico. Las primeras reclutarse son las fibras musculares de contracción lenta y las fibras de contracción rápida se reclutan si se requiere más fuerza. Incluso en el pico de fuerza muscular se encuentran activas todas las unidades motoras al mismo tiempo: van rotándose en un estado de «dentro y fuera de servicio»; algunas se relajan tras utilizar sus recursos mientras que otras copan la necesidad de fuerza contra hasta que también necesitan un descanso.

Las fibras musculares de diferentes unidades motoras se mezclan, de modo que dos fibras de la misma unidad motora no son adyacentes; algunas se localizarán a un extremo del músculo, o en profundidad del mismo, y otras en el otro lado, o superficiales. Esto significa que incluso una contracción débil (que recluta sólo unas pocas unidades motoras) va a reclutar fibras musculares repartidas por todo el músculo para asegurar una contracción simétrica. De lo contrario, una contracción débil activaría sólo una región del músculo y realizaría una tracción desigual del hueso.

### La contracción de las fibras musculares puede producir o no producir movimiento

Hasta ahora habíamos sospechado que la contracción de una fibra muscular provoca que ésta se acorte. Estas *contracciones dinámicas o isotónicas* (literalmente, contracciones con «el mismo tono» o de «igual fuerza») son la base del movimiento normal. La fuerza se mantiene constante a lo largo de la contracción, pero la longitud cambia. Por ejemplo, el levantamiento de una pesa en el gimnasio o masticar los alimentos son movimientos impulsados por contracciones isotónicas. Estas contracciones pueden clasificarse en dos subtipos:

- Las *contracciones concéntricas* acortan el músculo, lo que acerca la inserción del músculo al origen, como levantar una pesa en una flexión del bíceps (fig. 7-13 B). En las contracciones concéntricas, los miofilamentos se deslizan; los sarcómeros, las fibras y los músculos se acortan y se produce el movimiento.
- Las *contracciones excéntricas* o *de alargamiento*, por el contrario, generan una restricción a la fuerza conforme el músculo se alarga (fig. 7-13 C), lo que permite que una pesa baje de forma suave y controlada tras una flexión del bíceps. En las contracciones excéntricas, las cabezas de miosina se agarran a los filamentos de actina y disminuyen la velocidad de movimiento, como si se aplicara un freno. Contrariamente a lo que se podría pensar, las contracciones excéntricas son en realidad más poderosas que las concéntricas, es decir, se utiliza una mayor fuerza al bajar un objeto pesado que en el levantamiento del mismo.

A Cont

Movimiento

B Co

C

Figura 7  
contrac  
vil una  
gitud m  
acorta  
una pes  
ta de l  
bajar u  
el ciclo

gar unida-  
e la fuerza  
primer lu-  
ras, y lue-  
imeras: en  
ción lenta  
se requie-  
iscular no  
as al mis-  
ro y fuera  
recursos  
contrácti

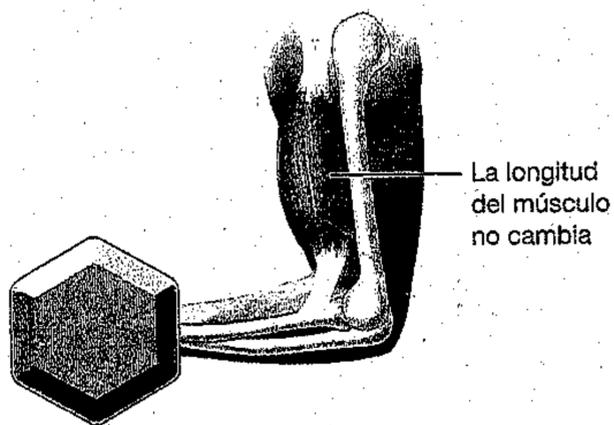
s motoras  
na unida  
a un lado  
en el otro  
una con-  
lades mo-  
s por todo  
rica. De la  
na región  
el hueso.

lares

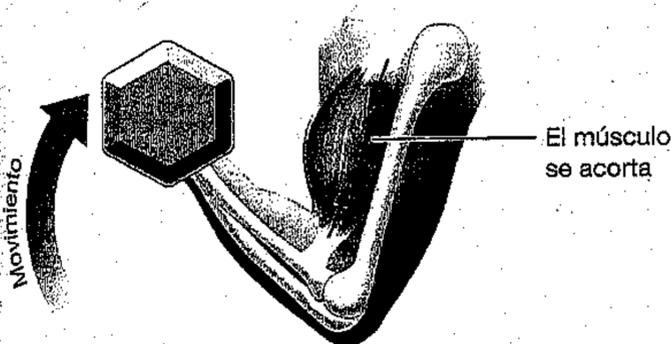
racción de  
Estas con-  
e, contrac-  
on la base  
constante  
mbia. Por  
imnasio  
sados por  
ueden cla-

ulo, lo que  
o levantar  
B). En las  
s se desli-  
se acortan

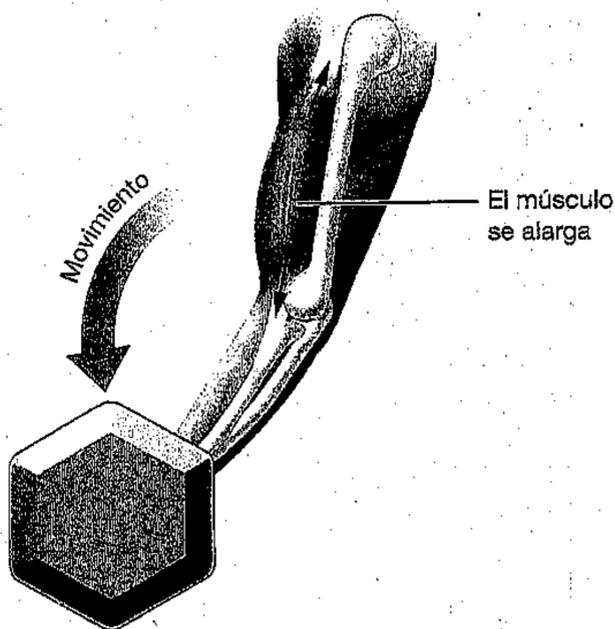
nto, por el  
conforme  
nite que la  
na flexión  
as cabezas  
tina y dis-  
se aplicase  
pensar, las  
is poderos-  
na mayor  
ntamiento



A Contracción isométrica



B Contracción isotónica concéntrica



C Contracción isotónica excéntrica

Figura 7-13. Contracciones isométricas y concéntricas. A) Las contracciones isométricas, tales como las que mantienen inmóvil una carga pesada, generan fuerza pero sin cambio en la longitud muscular. B) En la contracción concéntrica, el músculo se acorta conforme genera fuerza para (en este ejemplo) levantar una pesa. C) En una contracción excéntrica, el músculo aumenta de longitud conforme genera fuerza para (en este ejemplo) bajar una pesa. ¿Durante qué tipos de contracciones se produce el inicio de los puentes cruzados?

No obstante, lo común a todas las contracciones musculares es la *fuerza*, no el movimiento. Por ejemplo, si intenta levantar un peso mucho más allá de su fuerza, sus músculos se contraerán pero el peso no se moverá: las fibras están generando fuerza, pero no el acortamiento debido a que están intentando mover un objeto que es, al menos para usted, inamovible. Las contracciones que no alteran la longitud del músculo se denominan **contracciones isométricas**, literalmente, contracciones con «la misma longitud» (fig. 7-13 A). La fuerza se genera y el músculo se tensa, pero las miofibrillas no se deslizan y los músculos no cambian de longitud. Realizamos contracciones isométricas todo el tiempo con el fin de oponernos a la fuerza de la gravedad, que nos empuja hacia abajo. Por ejemplo, el levantador de pesas de la figura 7-13 C está ejerciendo suficiente fuerza hacia arriba como para contrarrestar la fuerza de la gravedad que tira del peso hacia abajo. Del mismo modo, las contracciones isométricas mantienen nuestra *posición corporal* vertical. Pienso en esto: usted no tiene que concentrarse en contraer los músculos del cuello con el fin de mantener la cabeza erguida durante el día, ni hay que pensar en cómo mantener la columna erguida mientras está sentado o de pie. Contracciones isométricas imperceptibles subconscientes hacen el trabajo para que usted pueda centrarse en otros asuntos.

El **tono muscular** es un estado de contracción isométrica subconsciente que se produce incluso en los músculos relajados voluntariamente. Mantiene los músculos en un estado saludable, de forma similar a cómo el estrés físico normal mantiene los huesos sanos. Si se interrumpe la inervación de un músculo, quizás debido a un accidente, el músculo pierde su tono y se vuelve flácido (blando). Si no se restablece la conexión del nervio, las fibras musculares comienzan a encogerse (*atrofia*). La ausencia completa de tono muscular se llama *parálisis flácida*, y se produce cuando los nervios motores somáticos son incapaces de entregar potenciales de acción al músculo. Como ejemplo, se produce una parálisis flácida con la administración de Botox®, que bloquea la liberación de ACh de las motoneuronas somáticas en la sinapsis neuromuscular. La pérdida de las arrugas faciales se debe a la parálisis flácida inducida de los músculos faciales que provocan las arrugas. La parálisis flácida también se produce cuando se secciona un nervio periférico, o con lesiones graves de la médula espinal. En todos estos ejemplos el cerebro no está involucrado. Por el contrario, la *parálisis espástica* se debe a lesiones en el cerebro, lo que altera el control de los músculos. Con las lesiones cerebrales, se pierde el control voluntario; esto permite a la médula espinal enviar potenciales de acción incontrolados al músculo, lo que provoca que el músculo presente contracciones incontroladas. Por ejemplo, la marcha torpe y rígida de algunos pacientes con lesión cerebral debido a accidentes cerebrovasculares, parálisis cerebral o lesiones craneoencefálicas es una manifestación de la parálisis espástica.

**Apuntes sobre el caso**

7-15 ¿Tendrá Hammid problemas con las contracciones isométricas enérgicas?

**¡Recuerde!** Lo común a todas las contracciones musculares es la fuerza, no el movimiento.

### El ejercicio tiene un efecto positivo sobre los músculos

El dicho «si no lo usas, lo pierdes» se aplica a los músculos de la misma manera que lo hace a la práctica de una habilidad. Un músculo trabajado es un músculo sano, y éste mejora su salud de acuerdo con el tipo de trabajo que realiza. El ejercicio mejora la potencia y la resistencia del músculo esquelético. Sin embargo, el mayor beneficio de ejercicio es otro: todos los sistemas del cuerpo mejoran con el ejercicio físico (cap. 18). Entre los no fumadores, el ejercicio regular es sin duda la actividad más importante para mejorar la salud en general. Los fumadores también se benefician del ejercicio, pero el beneficio es pequeño en comparación con el efecto positivo de dejar de fumar.

La potencia muscular mejora con pautas de entrenamiento de fuerza (también llamado *entrenamiento de resistencia*), como el levantamiento de pesas, que aumentan el tamaño muscular. Estos ejercicios requieren ráfagas cortas y repetidas de acción muscular poderosa que sobrecarga y somete el músculo a estrés. Estábamos acostumbrados a pensar que los músculos de los adultos crecían sólo mediante el aumento de las fibras musculares existentes con nuevas miofibrillas. Aunque este proceso se produce, hoy parece cierto que el crecimiento importante del músculo refleja la participación de los citoblastos del músculo, las células satélite. Recordemos que los citoblastos del músculo adulto se encuentran en la periferia de la fibra muscular. El ejercicio estimula la proliferación de los mismos, que producen nuevos mioblastos que se fusionan con las fibras musculares existentes para hacerlas más grandes. Los mioblastos pueden fusionarse también entre sí para producir fibras musculares completamente nuevas.

La potencia muscular es fundamental en los esfuerzos atléticos que requieren una gran generación de fuerza, incluyendo carreras de 100 m, salto con pértiga, salto de altura y levantamiento de pesas. Tenga en cuenta que estas actividades son a menudo llamadas *anaeróbicas* porque se basan en el metabolismo anaerobio. Los ejercicios anaeróbicos también mejoran la capacidad de las células musculares más grandes, más fuertes para producir ATP, utilizando fosfato de creatina y la glucólisis.

La *resistencia muscular* (resistencia a la fatiga) mejora con ejercicio *aeróbico*, que se basa en la generación de ATP mitocondrial. Estos ejercicios requieren un nivel bajo de acción muscular sostenida para mejorar el suministro sanguíneo muscular y aumentar el número de mitocondrias. El ejercicio de resistencia activa también las células satélite, pero los músculos no aumentan de tamaño de forma significativa. El rendimiento de los atletas que se basan en el acondicionamiento aerobio incluye carreras de larga distancia, esquí de fondo, ciclismo y natación de largas distancias. Como ya se ha comentado en los últimos capí-

tulos, el ejercicio aeróbico también beneficia a otros sistemas del cuerpo, sobre todo los sistemas cardiovascular y respiratorio.

### Apuntes sobre el caso

7-16 Hammid quiere desarrollar sus músculos mediante el levantamiento de pesas, pero sus médicos le aconsejan lo contrario. ¿Por qué?

### Examen sorpresa

7-25 ¿Cuál es la diferencia entre contracción tetánica incompleta y completa? ¿Qué se produce con más frecuencia?

7-26 Verdadero o falso: la contracción muscular es siempre más fuerte cuando el músculo es lo más largo posible.

7-27 ¿Qué tipo de unidad motora se recluta en primer lugar, las que contienen fibras de contracción lenta (tipo I) o las de contracción rápida (tipo II)?

7-28 Para generar una mayor fuerza de contracción en el músculo esquelético, con independencia de la longitud del músculo, ¿modificamos la fuerza producida por cada fibra muscular, alteramos la fuerza producida por cada unidad motora o modificamos el número de unidades motoras reclutadas?

7-29 Ponga un ejemplo de contracción muscular isométrica y otro de isotónica.

7-30 Señale un ejercicio aeróbico y un ejercicio anaeróbico.

## Músculo liso

A pesar de su importancia funcional, al músculo liso le cuesta lograr el respeto que se merece. En el gimnasio o en el campo de atletismo, los músculos cardíaco y esqueléticos copan toda la atención, cuando los deportistas sudorosos admiran sus músculos y cuentan su ritmo cardíaco. Mientras, el músculo liso continúa trabajando, lento y seguro sin descanso y en silencio, realizando varios trabajos, como ayudar a pasar los alimentos a través del intestino y así proporcionar energía para el espectáculo, regular el flujo sanguíneo ajustando el diámetro de los vasos sanguíneos y tensar los músculos de los esfínteres para retener la orina y las heces, y expulsarlos en otro momento.

En las paredes de todos los vasos sanguíneos, excepto los más pequeños, y en las paredes de los órganos huecos, existen capas de músculo liso: intestino, vías aéreas bronquiales, tractos urinario y reproductor, y otros.

En relación con el músculo esquelético, el músculo liso tarda unas 25 veces más tiempo para contraerse y consu-

El músculo liso es estructuralmente diferente al músculo esquelético. Sólo el 1% de la energía. Puesto que las contracciones del músculo liso son relativamente lentas y no generan la fuerza explosiva característica del músculo esquelético, el metabolismo aerobio, con nutrientes de la sangre, puede satisfacer con facilidad y sin problemas las bajas necesidades de energía del músculo liso, sin necesidad de metabolismo anaerobio o de glucógeno almacenado. Los puentes cruzados actina-miosina pueden unirse de forma semi-permanente en un estado contráctil, diferente a la rigidez cadavérica (*rigor mortis*) que se produce después de la muerte, en la que el ciclo de los puentes cruzados cesa mientras que la actina y la miosina permanecen unidas. Este estado permite al músculo liso mantener la tensión muscular sin ningún gasto de energía, un estado que se llama *tono del músculo liso*. Esta contracción de bajo nivel es necesaria para el correcto funcionamiento de los vasos sanguíneos y otras estructuras huecas que deben mantener su tamaño o forma frente a una presión constante.

La estructura de las células y el tejido del músculo liso es fundamentalmente diferente de la del músculo esquelético y cardíaco (fig. 7-14, tabla 7-1). No es sorprendente que estas diferencias estructurales justifiquen las diferentes características de la contracción del músculo liso: contracción lenta y mantenida, ausencia de fatiga, elastancia y capacidad de propagar ondas de contracción automática.

### El músculo liso es estructuralmente diferente al músculo esquelético

Recordemos que en el músculo esquelético las células musculares se denominan *fibras*, ya que son muy largas y delgadas. Por el contrario, las células del músculo liso son cortas y gruesas. Tienen extremos puntiagudos y un ensanchamiento en el centro para dar cabida a un solo núcleo,

que se encuentra justo en el centro de la célula, no a un lado, como en las fibras del músculo cardíaco y esquelético. Son pequeñas por dos razones: sus contracciones son relativamente débiles, requieren menos miofibrillas y se basan principalmente en el metabolismo aerobio, lo que significa que no necesitan grandes depósitos de glucógeno.

Las células musculares lisas forman una estructura entrelazada tridimensional de **filamentos intermedios** no contráctiles (cap. 3) que están interconectados como si se tratara del juego de barras de mono del patio de un colegio (los filamentos intermedios también fortalecen las fibras musculares esqueléticas, pero se organizan de manera diferente). Los filamentos están interconectados por *cuerpos densos*, pequeñas y densas proteínas esparcidas por el sarcolema (membrana de las células musculares). Los cuerpos densos son el equivalente funcional de los discos Z en el músculo esquelético, es decir, son puntos de anclaje para los filamentos. La contracción del músculo liso, al igual que la de los músculos esqueléticos, es posible gracias a los miofilamentos, los filamentos gruesos de miosina y filamentos delgados de actina. Estos miofilamentos no están dispuestos en hileras perfectamente ordenadas, por lo que, a diferencia del músculo esquelético, no se crea el patrón de estrías (bandas) oscuras y claras. Debido a la disposición de los miofilamentos y su asociación con los cuerpos densos, las células del músculo liso se vuelven más voluminosas conforme se acortan (fig. 7-14 B). A pesar de que las células del músculo liso son mucho más cortas que las del músculo esquelético, los miofilamentos en el interior de las células del músculo liso son más largos. Además, los filamentos gruesos (miosina) en el músculo liso tienen cabezas que sobresalen en toda su longitud, por lo que no hay zonas sin cabeza, como el «mango del palo de golf» en la miosina esquelética. Como resultado, la relación longitud-tensión

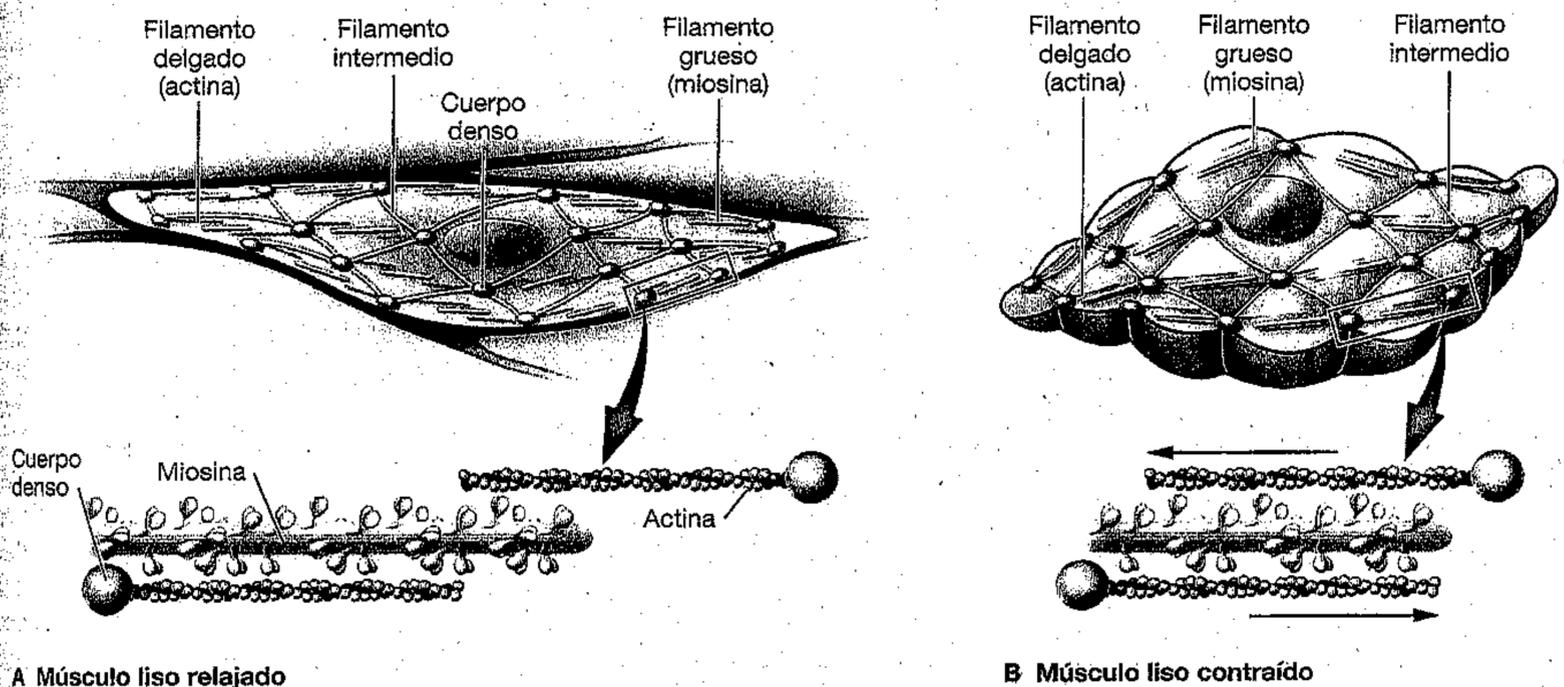


Figura 7-14. **Músculo liso.** A) Una célula muscular lisa relajada. Las moléculas de miosina se interponen entre las moléculas de actina. B) Una célula contraída. Las cabezas de miosina tiran de los filamentos delgados, lo que aumenta el solapamiento entre los dos tipos de filamentos y acorta la célula. ¿Cómo se anclan las moléculas de actina, por las líneas Z o por los cuerpos densos?

que se ilustra en la figura 7-12 no se aplica al músculo liso. Incluso cuando las células del músculo liso se estiran mucho, al menos algunas de las cabezas de miosina aún pueden entrar en contacto con la actina, por lo que los filamentos pueden continuar agarrando con fuerza contráctil con independencia de la longitud de la célula.

La disposición de las células del músculo liso en los tejidos también contribuye a la elasticidad del músculo. La mayoría de las células musculares lisas se superponen unas sobre otras para formar capas de células similares a las múltiples capas de tejas de un tejado. Esta disposición permite que el músculo liso se estire en muchas direcciones sin romperse conforme las células se deslizan unas sobre otras para dar cabida al estiramiento.

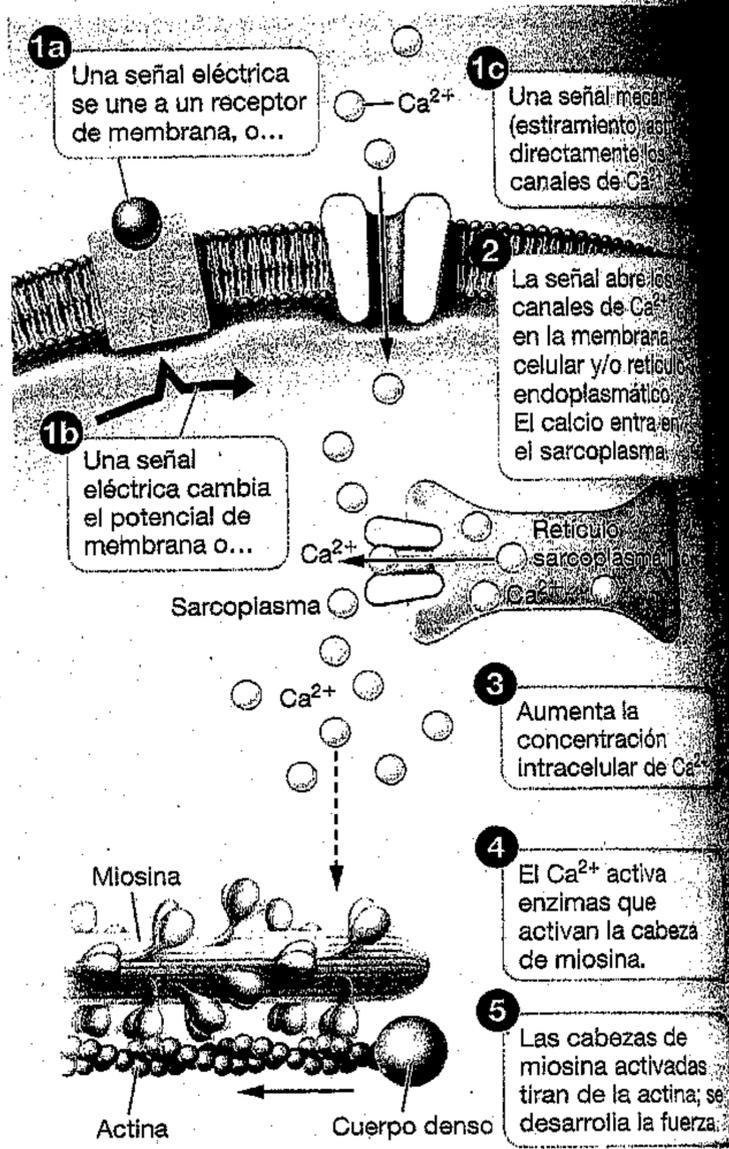
**¡Recuerde!** Los filamentos intermedios forman el andamiaje de las células musculares lisas, y los miofilamentos contraen la célula.

**En el músculo liso, el calcio actúa sobre la miosina, no sobre la actina**

Para entender la contracción del músculo liso y en qué se diferencia de la del músculo esquelético, recordaremos algunos de los detalles de esta última. El ciclo de los puentes cruzados requiere que las cabezas de miosina de los filamentos gruesos se unan a la actina en los filamentos delgados con el fin de producir una contracción, pero el acceso a los puntos de unión de los filamentos delgados está controlado por la troponina. Un aumento de iones  $Ca^{2+}$  estimula la troponina para exponer el sitio de unión. La cabeza de la miosina se engancha al sitio de unión de la actina para producir el golpe de fuerza de la contracción. En las células musculares lisas, los pasos del ciclo de los puentes cruzados detallados en la figura 7-7 siguen siendo pertinentes. Sin embargo, el origen y la función de los iones  $Ca^{2+}$  en el músculo liso es diferente:

- **Origen de los iones  $Ca^{2+}$ .** Las células musculares lisas tienen muy poco retículo sarcoplasmático. En cambio, en el músculo liso, la entrada de  $Ca^{2+}$  se da principalmente a través de la membrana celular del líquido extracelular.
- **Función de los iones  $Ca^{2+}$ .** Las células musculares lisas no contienen troponina, por lo que los puntos de unión de la miosina sobre los filamentos delgados están siempre expuestos. En lugar de controlar el acceso a dichos puntos de unión, el calcio en el músculo liso regula la actividad de las cabezas de miosina de los filamentos gruesos. Es decir, la miosina hidroliza el ATP sólo si el calcio está presente, lo que permite continuar a través del ciclo de los puentes cruzados.

Debido a estas dos importantes diferencias, los sucesos en la contracción del músculo liso difieren de los del músculo esquelético (fig. 7-15). Existe una variación considerable en el mecanismo de la contracción del músculo liso, pero una secuencia típica es la siguiente:



**Figura 7-15. Regulación del músculo liso.** En respuesta a una señal química, mecánica o eléctrica, el calcio entra en el citoplasma y estimula de forma indirecta la actividad de la cabeza de miosina. Las moléculas de miosina activadas forman puentes cruzados con la actina y contraen el músculo. *Verdadero o falso: la mayoría del calcio proviene del líquido extracelular.*

1. Un suceso, como una señal química (p. ej., neurotransmisores), una señal eléctrica (p. ej., potencial de acción o graduado), o una señal mecánica (p. ej., estiramiento), activa los canales de calcio de la membrana celular y, en algunos casos, en el retículo sarcoplasmático. Las señales químicas deben utilizar un sistema de segundo mensajero. Estas señales se analizan a continuación.
2. El calcio entra en el citoplasma desde el líquido extracelular y, posiblemente, la limitada cantidad del retículo sarcoplasmático.
3. Aumenta la concentración intracelular de  $Ca^{2+}$ .
4. A través de una serie de pasos enzimáticos, el calcio activa las cabezas de miosina.
5. Las cabezas de miosina activadas forman puentes cruzados con moléculas de actina y los filamentos se deslizan el uno sobre el otro, lo que causa una contracción muscular.

...neri  
...das e  
...molé  
...lo es  
...nal que  
...sculo liso  
...activa de  
...a cabo  
...membra  
...miosa se  
...cción mu  
...enzim  
...dos e ind  
...miosa fos  
...Apuntes  
...17. Segú  
...iene Harr  
...liso? ¿Por c  
...La cont  
...es invo  
...El movim  
...no está su  
...quelético.  
...sistema n  
...del sisten  
...rio → (C  
...Sin en  
...por nerv.  
...hormona  
...taglandi  
...bóno, ox  
...algunos.  
...recubre  
...muscula  
...se contr  
...factores  
...señalan  
...contra  
...sanguir  
...que la r  
...El m  
...cánicas  
...tensiór  
...lo tant  
...sobred  
...del est  
...se va l  
...del órg  
...evita s  
...Por  
...poten

**Recuerde!** Las cabezas de miosina están reguladas en el músculo liso; los puntos de unión de las moléculas de actina están regulados en el músculo esquelético.

Al igual que en el músculo esquelético, la relajación del músculo liso se inicia cuando el calcio es eliminado de forma activa del citoplasma. En el caso del músculo liso, se lleva a cabo principalmente por proteínas transportadoras de membrana. Sin embargo, recuerde que las cabezas de miosina se activan enzimáticamente para iniciar la contracción muscular. Por lo tanto, deben ser desactivadas de forma enzimática para detener el ciclo de los puentes cruzados e inducir la relajación del músculo liso. La enzima *miosina fosfatasa* hace el trabajo.

### Apuntes sobre el caso

7-17 Según la información proporcionada aquí, ¿tiene Hammid problemas con la función del músculo liso? ¿Por qué o por qué no?

### La contracción del músculo liso es involuntaria

El movimiento del músculo liso es involuntario, es decir, no está sujeto a un control consciente, como el músculo esquelético. Algunos músculos lisos están inervados por el sistema nervioso neurovegetativo, una división importante del sistema nervioso que no está sujeta a control voluntario (cap. 8).

Sin embargo, no todos los músculos lisos están inervados por nervios del sistema nervioso neurovegetativo. Ciertas hormonas o sustancias químicas locales, tales como prostaglandinas, iones de hidrógeno y gases (dióxido de carbono, oxígeno y óxido nítrico), estimulan la contracción de algunos. Consideremos, por ejemplo, el músculo liso que recubre los vasos sanguíneos (cap. 11). Las células musculares lisas de las paredes de los vasos sanguíneos se contraen o relajan en respuesta a la producción local de factores paracrinos secretados por las células vecinas que señalan su necesidad de más o menos flujo sanguíneo. La contracción de estas células musculares constriñe los vasos sanguíneos, lo que reduce el torrente circulatorio, mientras que la relajación dilata el vaso, aumentándolo.

El músculo liso también es estimulado por señales mecánicas. Este mecanismo homeostático impide la sobredistensión de los vasos sanguíneos y otros tejidos y evita, por lo tanto, su lesión. Consideremos, por ejemplo, un estómago sobredistendido por una comida muy copiosa. El músculo del estómago comienza a contraerse conforme el estómago se va llenando, con lo que previene la rotura del músculo del órgano (y, dicho sea de paso, provoca el malestar que evita seguir consumiendo más alimentos).

Por último, las células de algunos músculos lisos tienen potenciales de membrana inestables, que generan los po-

tenciales de acción autoestimulados denominados *actividad marcapasos*. En el tracto gastrointestinal, por ejemplo, la actividad marcapasos genera ondas de contracción del músculo liso (*peristaltismo*) que impulsan los alimentos desde un extremo del tubo digestivo al otro (cap. 14). Como veremos en el capítulo 11, el músculo cardíaco también posee autoestimulación.

### El músculo liso se contrae como una sola unidad

Grupos de células musculares lisas se contraen al unísono porque las células están conectadas entre sí por uniones comunicantes (*gap junctions*) (cap. 4), diminutos túneles con líquido que van de una célula a la siguiente y que permiten la rápida propagación de la señal a través de todas las células. Cuando una señal eléctrica o química estimula una célula, el cambio se extiende a través de toda la red de células musculares que se contraen como una sola unidad. Por lo tanto, la fuerza de contracción del músculo liso no pueden variarse cambiando el número de células que se contraen, como en el músculo esquelético, que contiene fibras musculares que están aisladas eléctricamente unas de otras. En cambio, la cantidad de tensión generada por las células musculares lisas individuales varía en función de la cantidad de calcio que puede entrar en la célula desde el líquido extracelular, que a su vez activa un mayor o menor número de cabezas de miosina.

### Examen sorpresa

7-31 Verdadero o falso: por lo general, el calcio que causa la contracción del músculo liso proviene del líquido extracelular, pero el calcio que produce la contracción del músculo esquelético por lo general proviene del retículo sarcoplasmático.

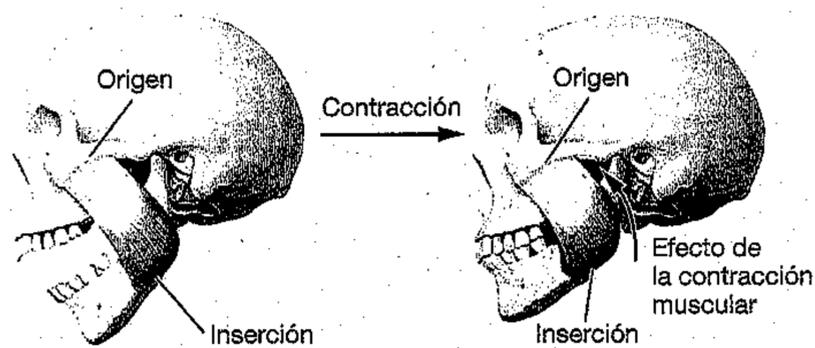
7-32 ¿Encontraría troponina en el músculo liso?

7-33 Para generar una mayor contracción en el músculo liso, ¿variarnos la fuerza producida por cada fibra muscular o variarnos el número de células musculares que se contraen?

### Acciones del músculo esquelético

Los músculos esqueléticos mueven los huesos o los estabilizan en ciertas posiciones, y (en el caso de los músculos faciales) mueven la piel y fascia asociada. La mayoría de los músculos cruzan una articulación y actúan moviendo un hueso en relación con otro. El final del músculo, que sirve como un ancla para el movimiento, se denomina *origen*, y el extremo, que mueve una parte del cuerpo, *inserción*.

La contracción de un músculo produce una tracción (¡nunca empuja!) de la inserción hacia el origen. Consideremos, por ejemplo, el músculo masetero, con origen en



**Figura 7-16. Origen e inserción.** La mayoría de los músculos cruzan una articulación y se insertan en dos huesos. El origen del músculo se fija en el hueso menos móvil; la inserción, en el hueso más móvil. En este esquema, ¿el músculo se inserta en la mandíbula o en el hueso temporal?

la apófisis cigomática del hueso temporal e inserción en la mandíbula (fig. 7-16).

La contracción de este músculo cierra la mandíbula, lo que acerca esta última (inserción) a la apófisis cigomática (origen). Las palabras *origen* e *inserción* pueden no tener un significado literal para los extremos de ciertos músculos del torso, porque se mueven las partes del cuerpo de ambos extremos. Por ejemplo, algunos músculos se insertan en la columna vertebral en ambos extremos y doblan la columna vertebral, por lo que se puede discutir cuál es el extremo del origen y cuál el de la inserción.

La acción ejercida por un músculo en particular varía de acuerdo con el lugar en el que se inserta y cómo están orientadas las fibras. Por ejemplo, un músculo circular rodea la boca. Cuando se contrae, frunce la boca, como en un beso.

Cuando se produce un movimiento, las acciones de los diferentes músculos a menudo se complementan o se oponen entre sí. La función de un músculo en un movimiento concreto se puede describir de la siguiente manera:

- **Músculo principal (o agonista):** es el músculo principal responsable para un movimiento dado. El cuádriceps en la parte anterior del muslo es el músculo principal que extiende (estira) la pierna en la rodilla.
- **Antagonista:** es el músculo que se opone a la acción del músculo principal. Los antagonistas deben relajarse y alargarse para permitir el movimiento, y a menudo ejercen la acción contraria cuando se contraen. Los músculos isquiotibiales en la parte posterior de la pierna deben relajarse y alargarse cuando el cuádriceps femoral endereza la pierna.
- **Sinérgico:** es el músculo que ayuda a la acción del músculo principal. Algunos músculos sinérgicos, denominados *fijadores*, evitan el movimiento de una articulación cercana. Recuerde que los músculos se acortan cuando se contraen, acercando la inserción al origen. Sin fijadores, el origen también se movería hacia la inserción. Por ejemplo, cuando inspiramos profundamente, varios

músculos del cuello evitan que el cuello se flexione, que otros músculos pueden elevar la caja torácica.

Para unir todas estas interacciones, consideremos cómo levantamos el brazo lateralmente en el hombro (abducción). El músculo deltoides es el motor principal. El supraespinoso (un músculo del manguito de los rotadores profundo al músculo deltoides) es un sinérgico importante para el inicio del movimiento. La gravedad es el antagonista principal, pero los antagonistas musculares al deltoides son los músculos pectoral mayor y dorsal ancho (ambos aductores del brazo). Muchos músculos actúan como fijadores mediante la estabilización de la escápula, incluyendo el trapecio y el pectoral menor. Todos estos músculos pueden visualizarse en la lámina 7-5 al final del capítulo.

### Apuntes sobre el caso

**7-18 Cuando Hammid camina sobre sus talones, se contraen los gemelos y se relaja el peroneo largo. ¿Qué músculo es el principal y cuál es el antagonista?**

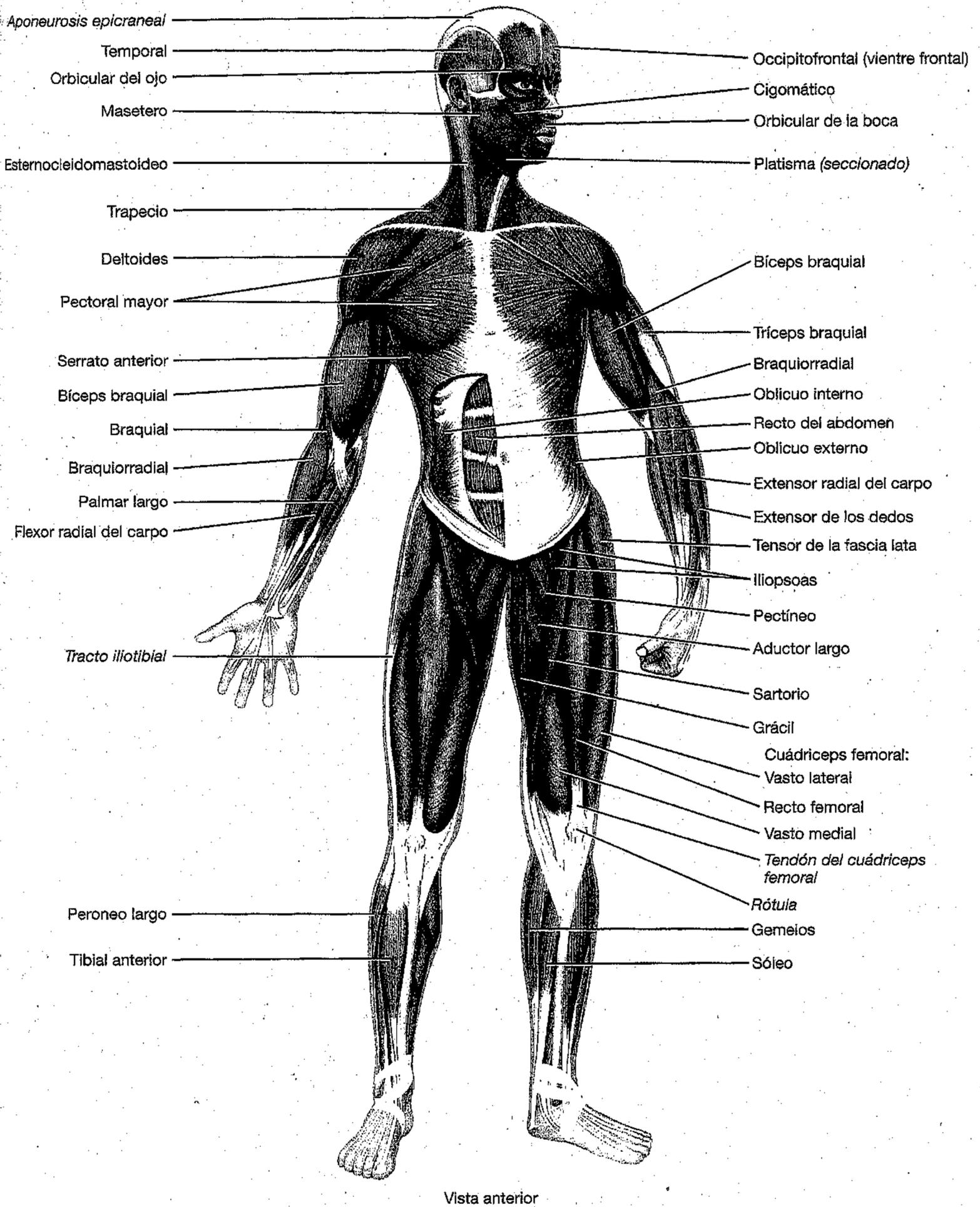
### Examen sorpresa

**7-34** Cuando un músculo se contrae, ¿qué parte se mueve más, ¿el origen o la inserción?

**7-35** ¿Cómo se denomina un músculo que ayuda a la acción de uno principal?

## Principales músculos esqueléticos

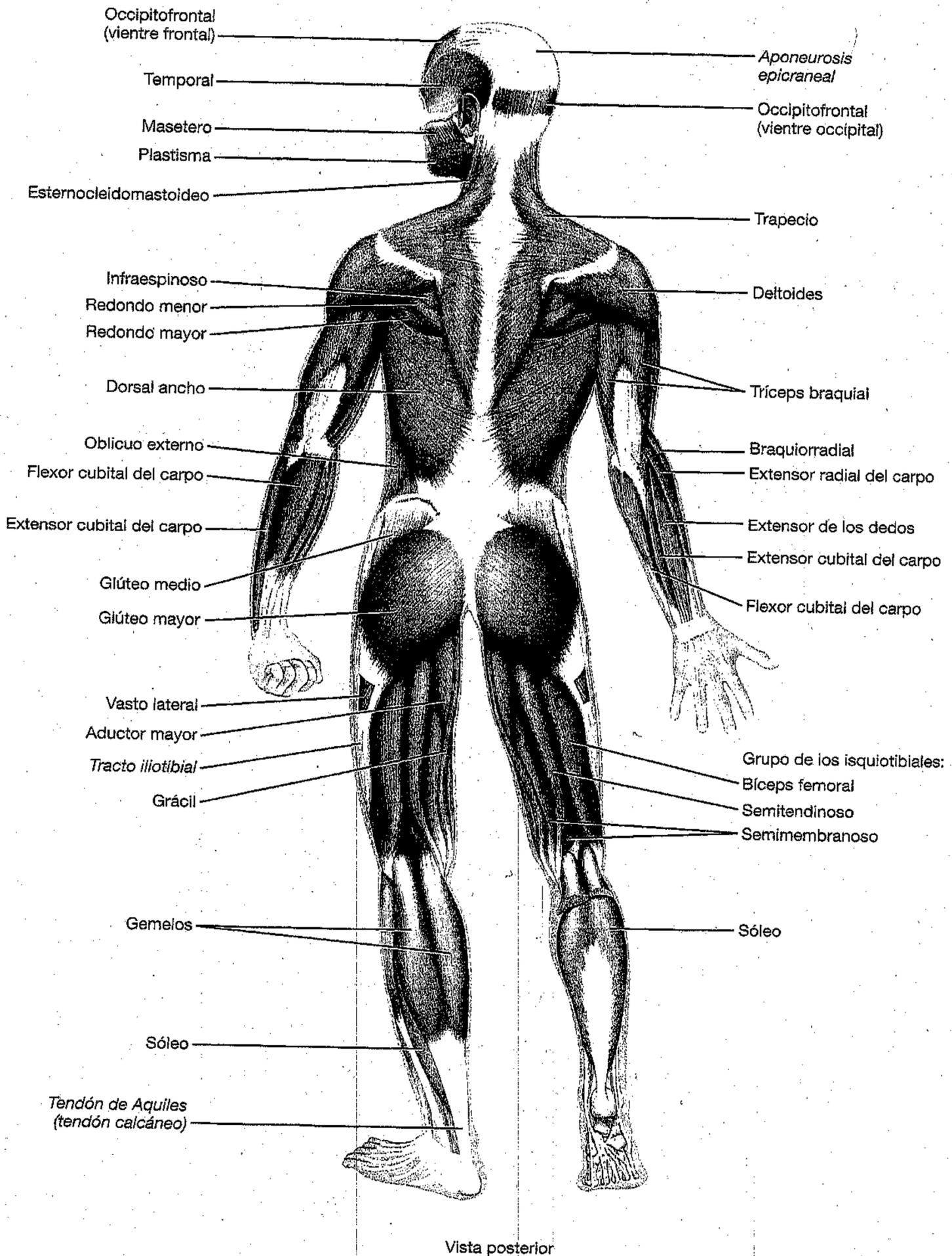
El cuerpo humano contiene cientos de músculos, desde los músculos grandes y fuertes a los pequeños músculos que mueven los ojos. Comentaremos un subgrupo de estos músculos, que hemos elegido porque son importantes en la postura o en el movimiento del cuerpo o porque son puntos de referencia importantes. Como se comentó en el cuadro de Historia de la ciencia, titulado «Arte médico e historia de la disección humana», los artistas han representado el cuerpo humano con diversos fines durante miles de años, pero sólo hace pocos cientos de años empezaron a presentarse sus estructuras internas para estudiarlas científicamente. Utilice nuestras ilustraciones y las tablas contiguas para conocer la ubicación y la forma de los principales músculos esqueléticos. Podría aprender más fácilmente la anatomía de los músculos mediante: a) el aprendizaje de partes de la palabra utilizada para dar nombre a los músculos y b) realizando las acciones de cada músculo a medida que lee sobre el mismo. Las figuras 7-17 y 7-18 proporcionan un resumen de los principales músculos superficiales. En las láminas 7-1 a 7-9 se detallan los músculos de cada región y un resumen de sus funciones importantes.



Vista anterior

Figura 7-17. **Músculos superficiales, vista anterior.** Dos de las estructuras que se señalan no son músculos.

para  
 s có  
 (ab-  
 al, el  
 dores  
 tante  
 mista  
 s son  
 lucen  
 dian-  
 cio y  
 tizar-  
 que  
 S  
 sde  
 los  
 es-  
 tes  
 son  
 a el  
 o e  
 re-  
 les  
 na  
 en-  
 ti-  
 les  
 e la  
 de  
 cu-  
 ida  
 io-  
 es.  
 da



Vista posterior

Figura 7-18. Músculos superficiales, vista posterior. Basándose en el nombre y en sus conocimientos de los movimientos de las articulaciones sinoviales, encuentre un músculo que aproxima el miembro inferior a la línea media.

Arte

Esta  
tendi  
funci  
orga  
disec  
mag  
sus r  
unos  
La  
no er  
much  
part  
religi  
Ning  
estru  
man  
disec  
inter  
En lo  
grieg  
form  
mos  
sup  
part  
D  
(350  
hum  
y los  
para  
cuar

A  
Ref



## HISTORIA DE LA CIENCIA

### Arte médico e historia de la disección humana

Esta obra está repleta de arte médico fabuloso, sin el cual tendríamos una pobre comprensión de la forma y la función humanas. Estas ilustraciones de músculos y otros órganos representan una realidad documentada por disecciones repetidas durante muchos siglos. ¿Puede imaginar su vida cotidiana sin saber qué aspecto tienen sus músculos?, ¿o su corazón?, ¿o su cerebro? Hasta hace unos 500 años, muy pocas personas sabían esas cosas.

Las representaciones más antiguas de la forma humana no eran mucho más que figuras de palo realizadas hace muchos miles de años en las paredes de las cavernas (parte A). Tuvieron una finalidad artística, tal vez para ritos religiosos, y no tenían ninguna intención científica.

Ninguna civilización antigua intentó representar la estructura interna del cuerpo, porque todas las culturas mantenían que la santidad del cuerpo humano prohibía la disección humana. Sin embargo, existía un profundo interés por la forma humana como objeto de arte.

En los últimos siglos antes de la Era Común (a.C.) los griegos esculpían obras maestras sin precedentes de la forma humana, sobre todo figuras fuertes, jóvenes, mostrando sus músculos claramente por debajo de la superficie. No obstante, el interés era artístico, no científico (parte B).

Después, en el siglo IV a.C., Herófilo de Calcedonia (350-280 a.C.), un griego realizó disecciones de cadáveres humanos. Herófilo describió el cerebro, la médula espinal y los nervios, y especuló que eran de importancia vital para la función humana. Los egipcios le siguieron pronto, cuando Alejandro Magno (356-323 a.C.) autorizó

disecciones en Alejandría. Pero las descripciones producidas por estos anatomistas antiguos eran en gran parte narrativas, no pictóricas, y no fueron informativas según los estándares presentes. Las ilustraciones que se incluían eran planas, carecían de perspectiva y sobre todo servían para decorar el manuscrito.

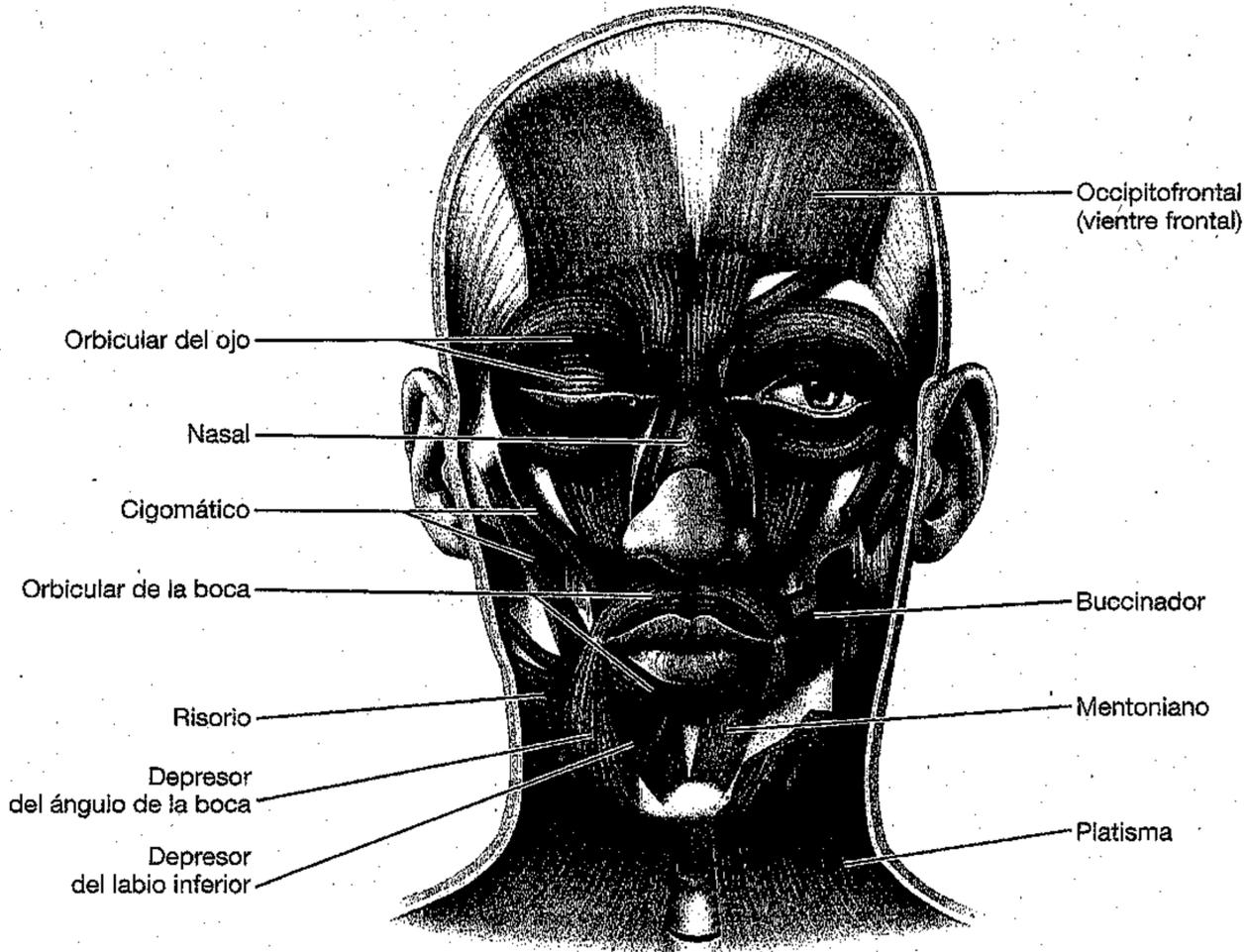
Aunque se continuó diseccionando cuerpos durante los siguientes 1000 años, el conocimiento que la disección podría haber proporcionado fue ignorado en gran medida y considerado irrelevante por los médicos de la época. Esto era debido a que se empaparon de las teorías de Hipócrates (460-370 a.C.), quien definió la salud como un correcto equilibrio entre cuatro supuestos humores: flema (*mucus*), sangre, bilis negra y bilis amarilla. Un exceso de uno o más de estos humores, creía Hipócrates, causaba la enfermedad. Por tanto, la comprensión de la anatomía no era de gran utilidad en este sistema médico.

Con la llegada del Renacimiento en la Europa occidental en el siglo XIV, nació el método científico moderno y comenzaron a comprenderse correctamente y por primera vez los hechos revelados por la disección humana. En el siglo XVI, el holandés Andreas Vesalius (1514-1564) realizó disecciones y contrató artistas para representar los hallazgos, y en 1543 publicó su trascendental *De Humani Corporis Fabrica* (sobre el funcionamiento del cuerpo humano), que por primera vez representaba los músculos, los huesos y otras partes del cuerpo con una claridad excepcional e ingenio artístico (parte C).



Representaciones de los músculos. A) Dibujos de las cuevas. B) Escultura griega. C) Dibujos de Vesalius.

Lámina 7-1. Músculos de la expresión facial



Lámina

Nombre

Los músculos producen

**Occipitofrontal**  
(occipit = occipital, frontal = p)

**Occipitofrontal**  
(occipit = occipital, frontal = p)

**Orbicular del ojo**  
(orb = circular)

**Nasal**  
(nasal = nasal)

**Cigomático**  
(zygoma = zygomatic)

**Orbicular de la boca**  
(orb = circular)

**Depresor del ángulo de la boca**  
(depressor = depressor, anguli = angle)

**Mentoniano**  
(mentum = chin)

**Depresor del labio inferior**  
(depressor = depressor, labii = lip)

**Buccinador**  
(buccia = cheek)

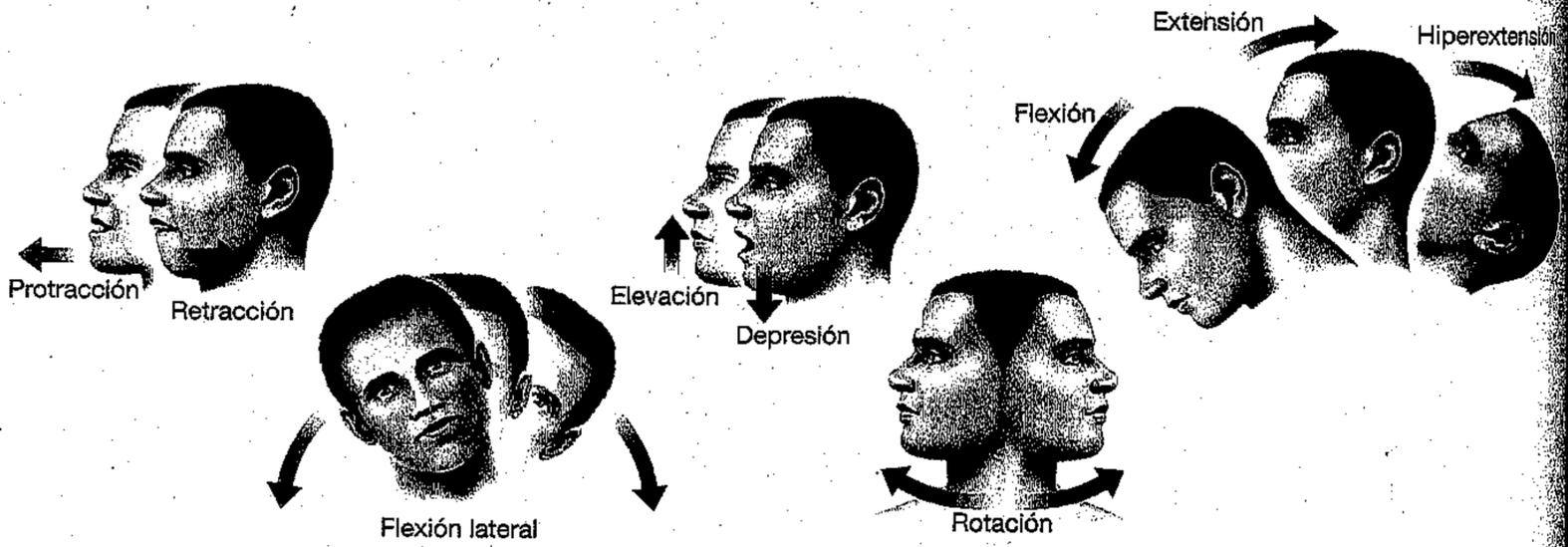
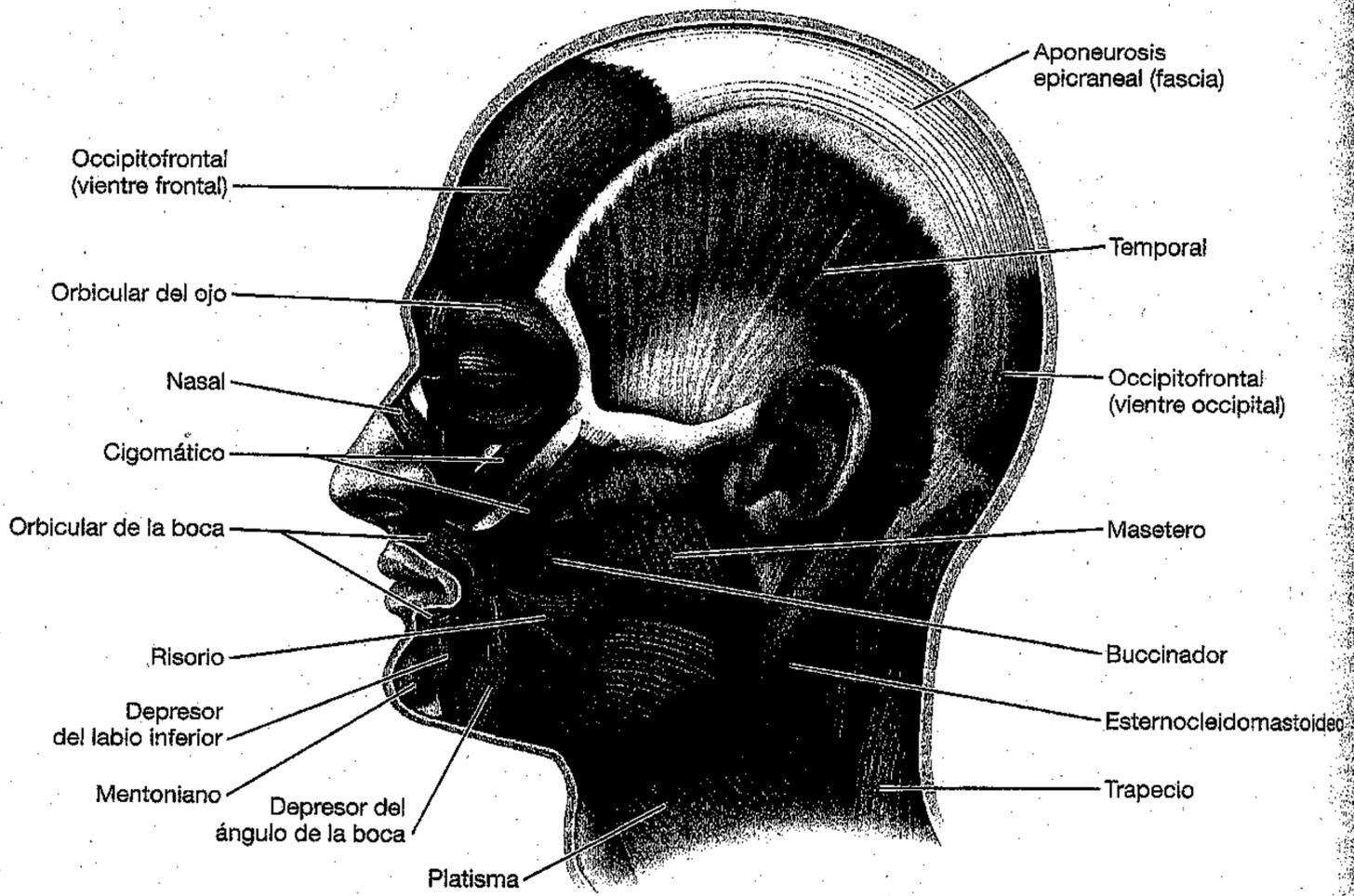
**Risorio**  
(risor = riser)

**Platisma**  
(platys = flat)

### Figura 7-1. Músculos de la expresión facial

	Origen	Inserción	Acción
<b>Levator superii externus, vientre frontal</b> <i>Levit = base del cráneo;</i> <i>super = parte delantera)</i>	Aponeurosis epicraneal (tendón)	Cejas y piel de la frente	Eleva las cejas, arrugas de la frente
<b>Levator superii internus, vientre occipital</b> <i>Levit = base del cráneo;</i> <i>super = parte delantera)</i>	Huesos occipital y temporal	Aponeurosis epicraneal	Tira hacia atrás el cuero cabelludo
<b>Orbicular del ojo</b> <i>Orb = circular; ocul = ojo)</i>	Hueso frontal, maxilar superior (pared medial de la órbita)	Piel de alrededor de los ojos	Cierra los párpados
<b>Alar del nariz</b> <i>Alar = nariz)</i>	Maxilar superior	Puente de la nariz (cartílago)	Lleva los lados de la nariz hacia el tabique nasal
<b>Levator labii superioris, cigomático</b> <i>Levit = hueso de la mejilla)</i>	Hueso cigomático	Piel y músculo en las comisuras labiales	Eleva la comisura de la boca, como al sonreír
<b>Orbicular de la boca</b> <i>Orb = circular; oris = boca)</i>	Maxilar superior, cara profunda de la piel	Piel en las comisuras de la boca	Cierra y protruye los labios (besar, chupar), da forma a los labios (habla)
<b>Depresor del labio inferior</b> <i>Depressor = hacia abajo;</i> <i>infer = labio; infer = hacia abajo)</i>	Mandíbula	Orbicular de la boca	Tira el labio inferior hacia abajo (al mostrar impaciencia)
<b>Mentoniano</b> <i>Mentum = barbilla)</i>	Mandíbula	Piel del mentón	Levanta y protruye el labio inferior (hacer pucheros)
<b>Depresor del ángulo de la boca</b> <i>Depressor = hacia abajo;</i> <i>angulus = ángulo; oris = boca)</i>	Mandíbula	Boca (comisura)	Lleva hacia abajo las comisuras de la boca (fruncir)
<b>Levator labii superioris, mejillero</b> <i>Levit = mejilla)</i>	Maxilar superior, mandíbula (procesos alveolares)	Orbicular de la boca	Aplana la mejilla (sonreír, empujar la comida contra los molares, silbar, instrumentos de viento)
<b>Levator labii inferioris, risador</b> <i>Levit = risa)</i>	Platisma, masetero		Tira hacia fuera el ángulo de la boca (risa burlona)
<b>Levator anguli oris, plano</b> <i>Levit = plano)</i>	Fascia que recubre deltoídes, pectoral mayor	Mandíbula	Tensa la piel cuando se aprietan los dientes (lo que produce arrugas en la piel), lleva la mandíbula hacia abajo, ayuda al depresor del ángulo de la boca

Lámina 7-2. Músculos que controlan la mandíbula y mueven la cabeza



labre  
Los podero  
músculo pr  
cervical.

Masetero  
(maseter =

Temporal  
(temporal =

Pterigoideo  
(músculos ;  
no-se mues

Esternocleidomastoideo  
(sternon = e  
clavícula; m.  
mastoides c

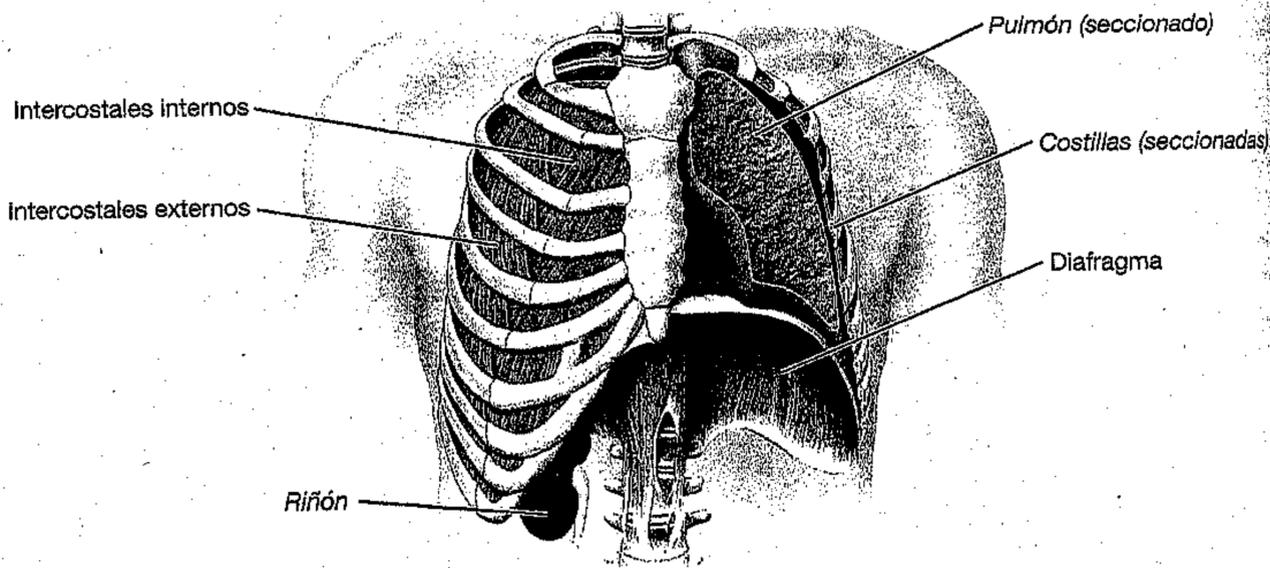
Trapecio  
(también  
trapezoid =

Erector de l  
(lámina 7-  
spinae = de

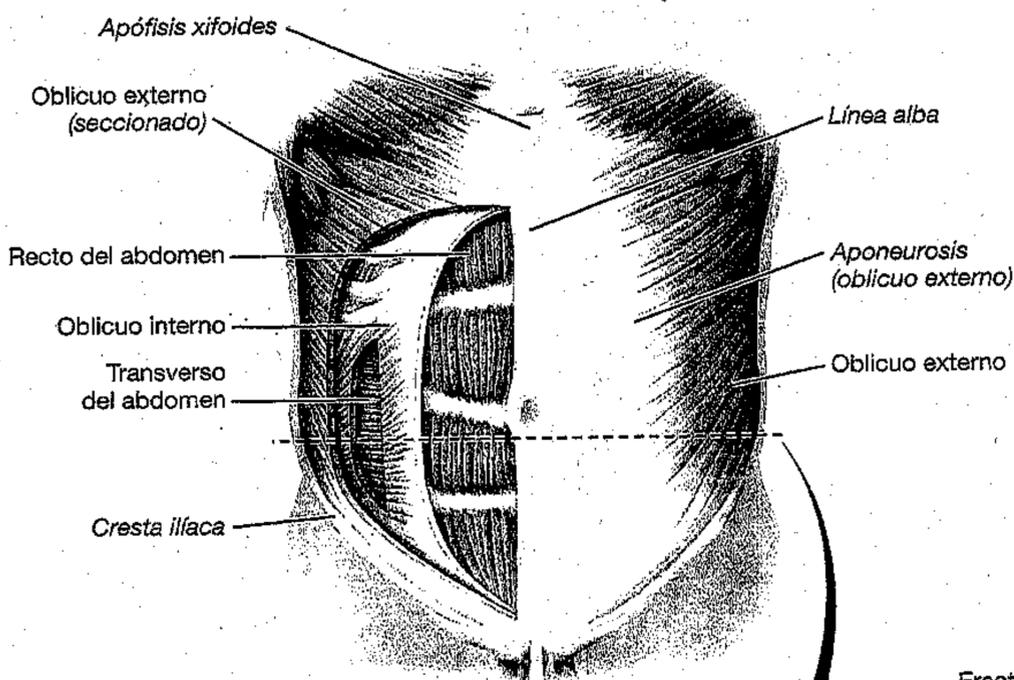
Figura 7-2. Músculos que controlan la mandíbula y mueven la cabeza

	Origen	Inserción	Acción
	Hueso temporal (proceso cigomático)	Mandíbula	Eleva la mandíbula (morder, masticar)
	Hueso temporal	Mandíbula	Eleva la mandíbula, retrae el mentón
	Esfenoides	Mandíbula	Elevan la mandíbula, protruyen el mentón
	Esternón, clavícula	Hueso temporal (apófisis mastoides), hueso occipital	En conjunto: flexiona el cuello (lleva el mentón al pecho) Por separado: flexiona hacia los lados y rota el cuello (aproxima el oído al hombro del mismo lado)
	Hueso occipital, vértebras (C7, dorsales)	Clavícula, escápula (acromion, espina)	Extiende el cuello; también mueve el hombro
	Costillas y vértebras	Huesos occipital y temporal, costillas, vértebras	Extiende el cuello (también mueve la columna vertebral)

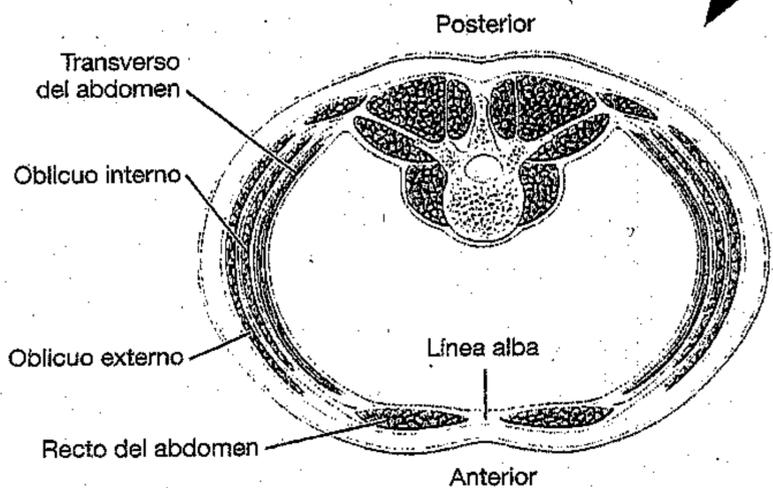
**Lámina 7-3. Músculos del tórax: músculos que mueven la columna vertebral, músculos abdominales y músculos respiratorios**



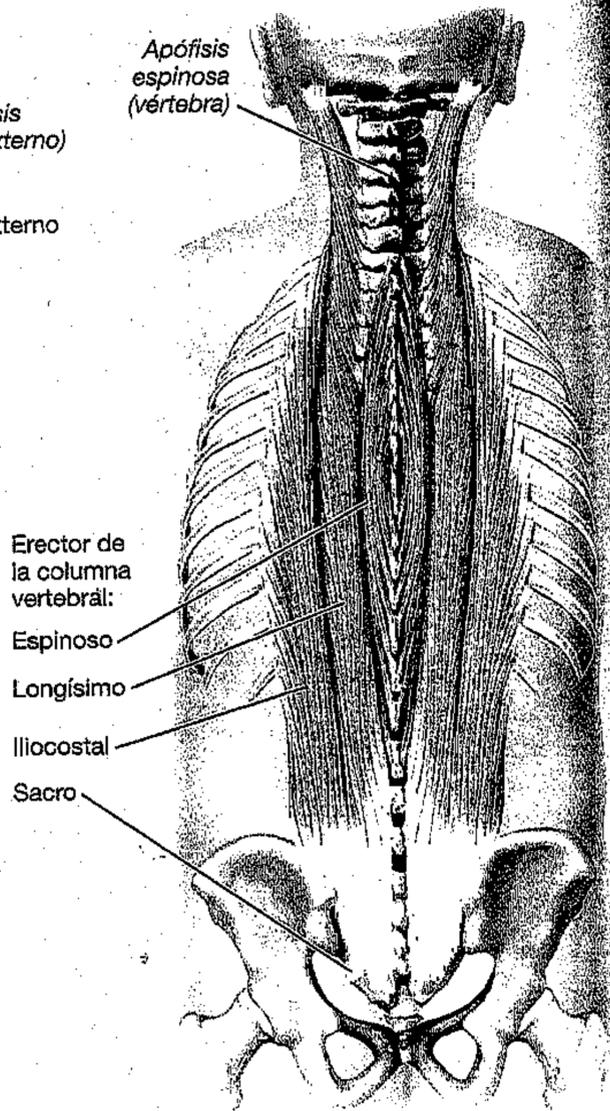
**A Músculos de la respiración**



**B Músculos abdominales, vista frontal**



**C Músculos abdominales, sección transversa**



**D Músculos profundos de la columna vertebral**

Lámina 7-3.

grupos de los m  
mentos de la re

recto anterior d  
rectus = recto;  
abdominus = ab

oblicuo extern  
external = pró  
oblique = inclin

oblicuo intern  
internal = más  
oblique = incli

transverso del  
transverse = t  
abdominis = a

Erector de la c  
grupos espino  
iliocostal

erector = elev  
spinæ = de la  
longissimus =  
iliocostal = re  
costillas)

Esternocleid  
lámina 7-2

Diafragma  
diaphragma

Intercostales  
internal = n  
intercostal =

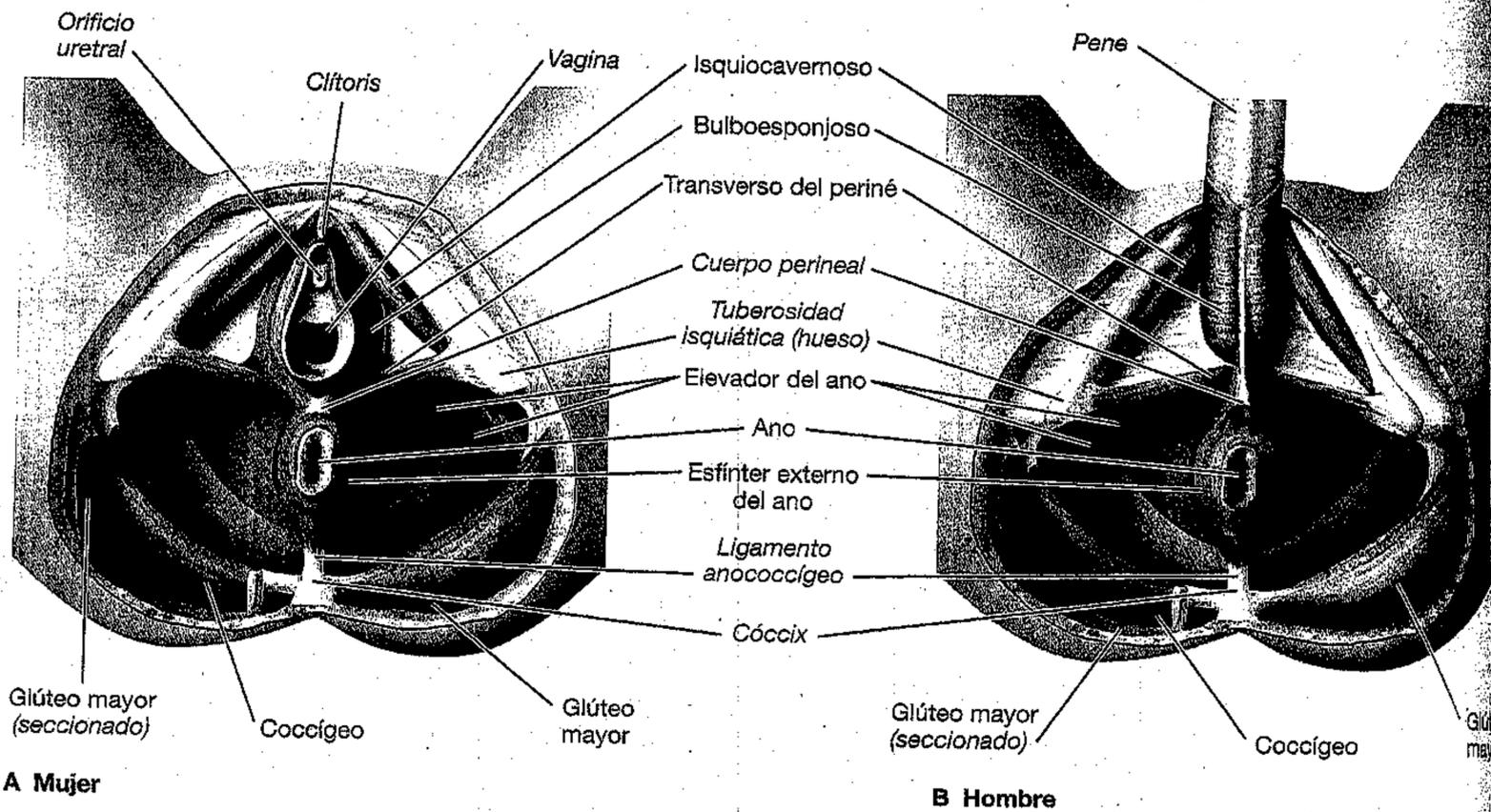
Intercostale  
external =  
superficie; i  
las costillas

### Lámina 7-3. Músculos del tórax: músculos que mueven la columna vertebral, músculos abdominales y músculos respiratorios

Nombre	Origen	Inserción	Acción
<p>Muchos de los músculos que se muestran en esta lámina no mueven huesos. En lugar de ello, están involucrados en los diminutos movimientos de la respiración y en la compresión del contenido abdominal.</p>			
<b>Recto anterior del abdomen</b> ( <i>rectus = recto;</i> <i>abdominus = abdomen</i> )	Pubis	Apófisis xifoides (esternón), costillas	Flexiona la columna vertebral, comprime el abdomen
<b>Oblicuo externo</b> ( <i>external = próximo a la superficie;</i> <i>oblique = inclinado</i> )	Costillas V-XII	Ilion, pubis, línea alba	Los dos: flexionan la columna vertebral, comprimen el abdomen Uno: flexiona lateralmente la columna vertebral
<b>Oblicuo interno</b> ( <i>internal = más lejos de la superficie;</i> <i>oblique = inclinado</i> )	Cresta ilíaca	Costillas X-XII, línea alba	Igual que los oblicuos externos
<b>Transverso del abdomen</b> ( <i>transverse = a través;</i> <i>abdominis = abdomen</i> )	Cresta ilíaca, cartílagos intercostales de las costillas VII-XII	Apófisis xifoides, línea alba, pubis	Comprime el abdomen
<b>Erector de la columna vertebral: grupos espinoso, longísimo iliocostal</b> ( <i>erector = elevar;</i> <i>spinae = de la columna vertebral;</i> <i>longissimus = el más largo;</i> <i>iliocostal = relacionado con las costillas</i> )	Tendón que se origina en el ilion, el sacro y las vértebras lumbares	Huesos occipital y temporal, costillas, vértebras	Ambos lados: extiende la columna vertebral (también extiende la cabeza) Un lado: flexiona lateralmente la columna vertebral
<b>Esternocleidomastoideo</b> (v. lámina 7-2)	Esternón, clavícula	Hueso temporal (apófisis mastoides), hueso occipital	Juntos: flexiona la sección cervical de la columna vertebral (también mueve la cabeza)
<b>Diafragma</b> ( <i>diaphragma = barrera o partición</i> )		Apófisis xifoides, cartílagos costales de las costillas inferiores, vértebras lumbares	Se contrae para que se expanda el tórax, lo que produce la inspiración; se relaja para que se encoja el tórax, lo que produce la espiración
<b>Intercostales internos</b> ( <i>internal = más lejos de la superficie;</i> <i>intercostal = entre las costillas</i> )	Borde superior de las costillas	Borde inferior de la costilla inferior	Mueve hacia abajo las costillas; activa la espiración
<b>Intercostales externos</b> ( <i>external = más próximo a la superficie;</i> <i>intercostal = entre las costillas</i> )	Borde inferior de las costillas	Borde superior de la costilla inferior	Eleva las costillas durante la inspiración

**Lámina 7-4. Músculos del periné**

Nombre	Origen	Inserción	Acción
<b>Transverso del periné</b> ( <i>transverse = a través; perineum = región entre el ano y los genitales</i> )	Tuberosidad isquiática	Cuerpo perineal	Estabiliza el periné
<b>Elevador del ano</b> ( <i>levator = elevador; ani = ano</i> )	Pubis, espina ciática	Cóccix, uretra, recto, periné	Ayuda en la defecación; estabiliza el periné
<b>Esfínter externo del ano</b> ( <i>external = más próximo a la superficie; anal = ano; sphincter = tensador</i> )	Ligamento anococcígeo, cóccix	Cuerpo perineal	Cierra el ano
<b>Isquiocavernoso</b> ( <i>ischio = pelvis; cavernosus = tejido hueco del pene o clítoris</i> )	Tuberosidad isquiática, pubis	Clítoris (mujeres), pene (hombres)	Mantiene la erección de clítoris y pene comprimir las venas
<b>Bulboesponjoso</b> ( <i>bulbo = inflamado; spongiosus = como una esponja</i> )	Pene (hombres) o fascia perineal (mujeres)	Cuerpo perineal, clítoris (mujeres), pene (hombres)	Mantiene la erección de clítoris y pene mediante la compresión de las venas; ayuda en la expulsión de las últimas gotas de orina o semen (hombres); constricción vagina (mujeres)
<b>Coccígeo</b> ( <i>coccyx = extremo inferior de la columna vertebral</i> )	Isquion	Cóccix, parte inferior del sacro	Estabiliza el periné; tira del cóccix hacia adelante durante la defecación, parto

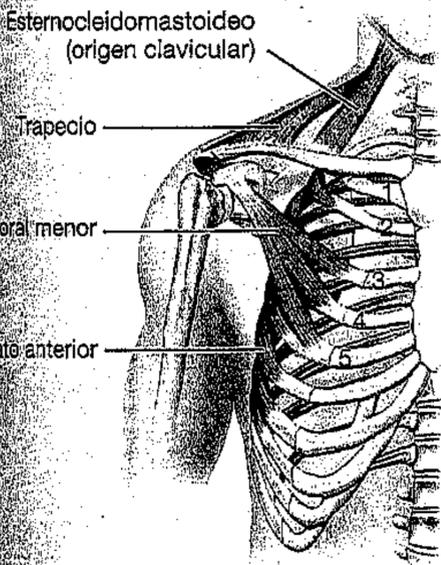
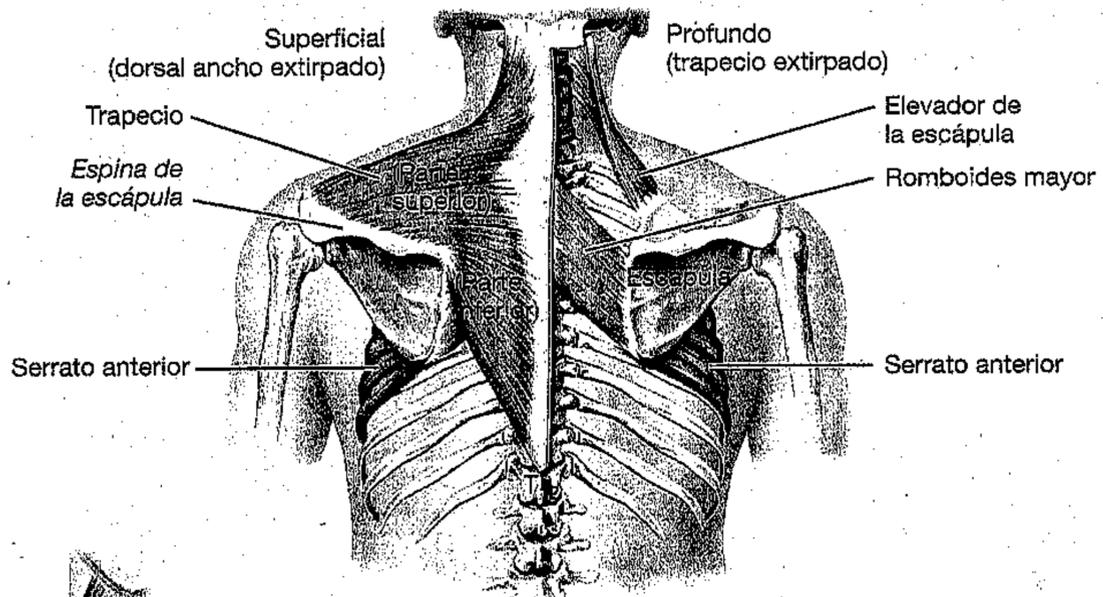


7-5.  
músculos que  
así  
late  
de la es  
= elevar;  
= escáp  
= en for  
trapezoid  
menor  
= tórax;  
= menor)  
may  
= en  
= majo  
anterior  
= con  
= tierra;  
= antes

Esternc  
Trape  
Pectoral me  
Serrato ant

**Figura 7-5. Músculos que mueven y estabilizan la cintura escapular**

	Origen	Inserción	Acción
<b>Elevador de la escápula</b> (Elevator = elevar; Scapulae = escápula)	Vértex C1-C4 (apófisis transversas)	Escápula (apófisis coracoides)	Eleva y rota la escápula hacia abajo; fija la escápula (también flexiona lateralmente el cuello)
<b>Trapezio</b> (Trapezi = en forma de trapecioide)	Hueso occipital, vértebras (C7, dorsales)	Clavícula, escápula (acromion, espina)	La parte superior eleva la escápula, la parte inferior desciende la escápula; ambas partes en conjunto retraen la escápula
<b>Pectoral menor</b> (Pector = tórax; minor = menor)	Costillas II-V	Escápula (apófisis coracoides)	Protruye la escápula
<b>Romboides mayor</b> (Rhomboid = en forma de rombo; mayor = mayor)	Vértex D1-D4	Escápula	Retrasa y rota la escápula hacia abajo; se utiliza en los movimientos de fuerza hacia abajo (como martillar)
<b>Serrato anterior</b> (Serratus = con dientes de sierra; anterior = antes de)	Costillas superiores	Escápula	Denominado también el músculo de los boxeadores; importante en el movimiento del puñetazo y de empujar, ya que lleva hacia delante la escápula y la estabiliza de forma que el hombro se mueve hacia abajo y delante; rota la escápula hacia arriba



Vista anterior

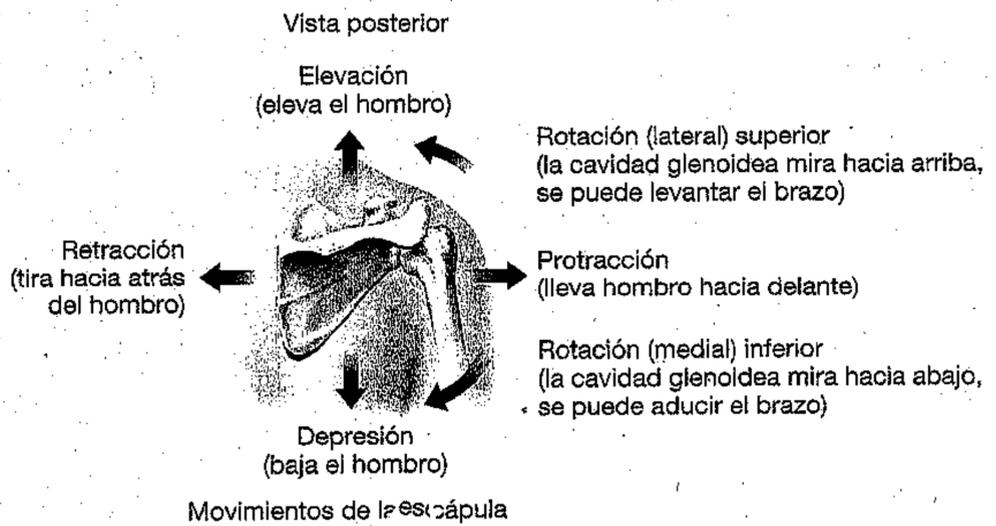


Lámina 7-6. Músculos que mueven el brazo (húmero) en la articulación del hombro

ma 7

articulac  
n los mús  
reor y su  
za la artic  
oco profui

dorsal anch  
atissimus  
bra = de l

ectoral m  
pector = p

Redondo n  
ares = lar  
mejor = ma

Supraespir  
supra = er  
de la escáp

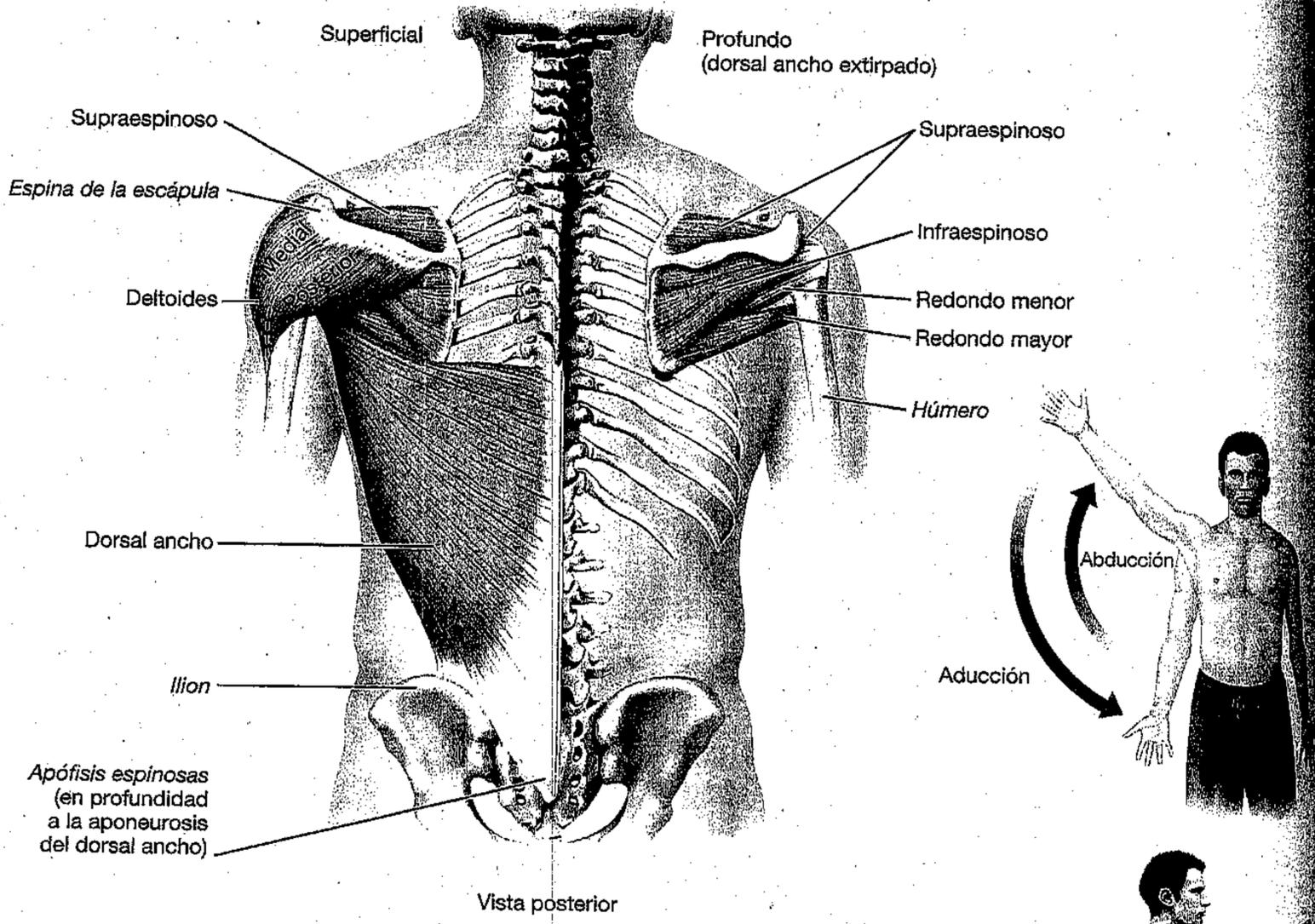
Infraespinc  
infra = del  
sima = es

Redondo n  
ares = lar  
minor = m

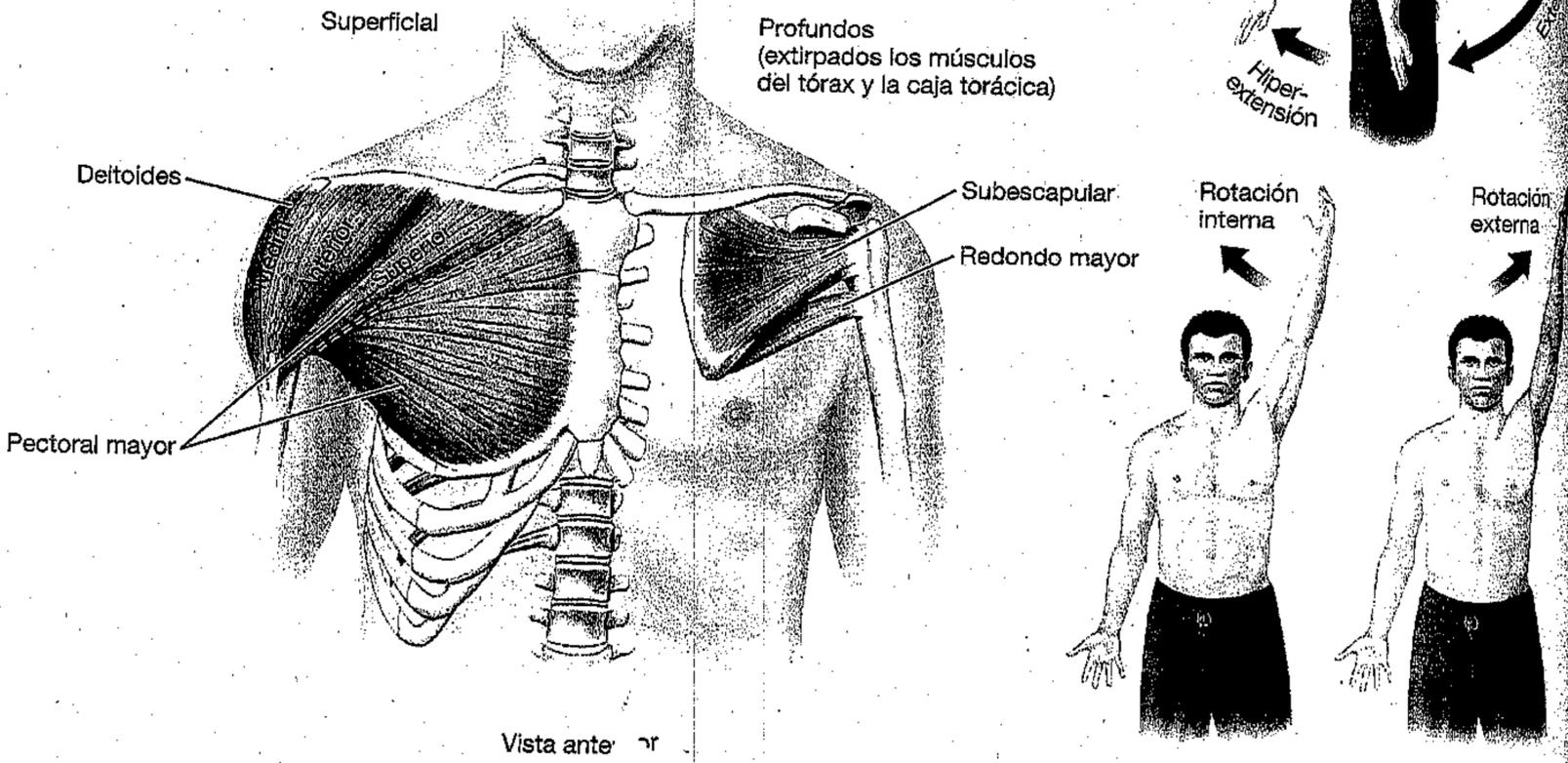
Subescapt  
sub = deb  
scapularis

Deltoides  
deltoid =

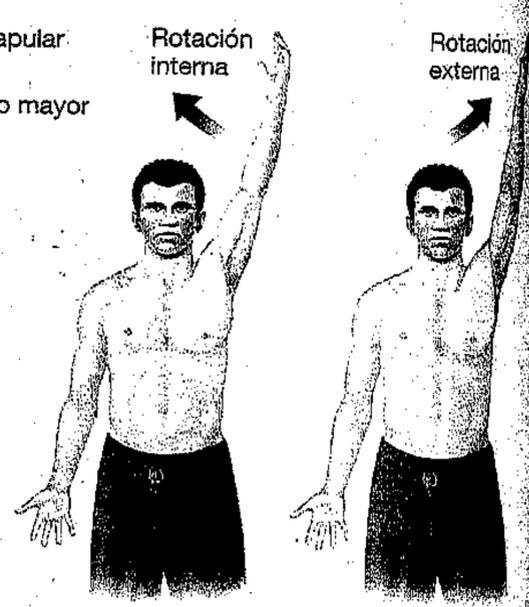
Parte del n



Vista posterior



Vista anterior



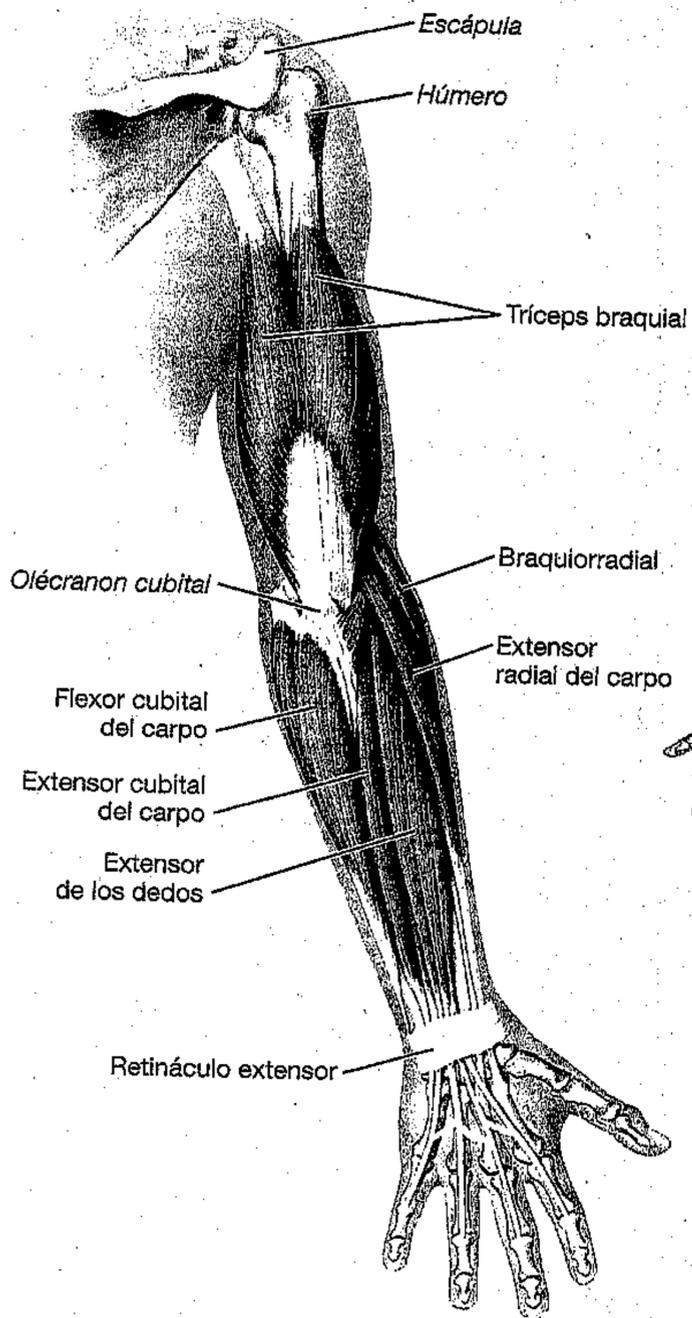
### Figura 7-6. Músculos que mueven el brazo (húmero) en la articulación del hombro

Músculo	Origen	Inserción	Acción
<b>Gran ancho</b> ( <i>latissimus = el más ancho;</i> <i>latissimus = de la espalda</i> )	Vértebra, sacro, ilion	Húmero	«Músculo de la escalada»; extiende e hiperextiende el húmero; aduce el húmero detrás de la espalda (p. ej., para rascarse sobre la escápula); rotación interna del húmero
<b>Pectoral mayor</b> ( <i>pectoral = pecho; mayor = mayor</i> )	Clavícula, esternón, cartílagos costales	Húmero	Aducción y rotación interna del húmero; la parte superior flexiona el húmero
<b>Redondo mayor</b> ( <i>redondo = largo y redondo;</i> <i>mayor = mayor</i> )	Escápula	Húmero	Aducción, rotación interna del húmero; ayuda en la extensión desde la posición de flexión; ayuda a estabilizar la articulación del hombro cuando se activa el deltoides
<b>Supraespinoso*</b> ( <i>supra = encima; spina = espina</i> <i>(de la escápula)</i> )	Escápula	Húmero	Ayuda al deltoides a completar la abducción
<b>Infraespinoso*</b> ( <i>infra = debajo;</i> <i>spina = espina de la escápula</i> )	Escápula	Húmero	Rotación externa del húmero
<b>Redondo menor*</b> ( <i>redondo = largo y redondo;</i> <i>menor = menor</i> )	Escápula	Húmero	Rotación externa del húmero
<b>Subescapular*</b> ( <i>sub = debajo;</i> <i>scapularis = escápula</i> )	Fosa subescapular	Húmero	Rotación interna del húmero
<b>Coracoacromial</b> ( <i>coraco = de forma triangular</i> )	Clavícula, escápula (espina y acromion)	Húmero	Forma el contorno redondeado del hombro; en conjunto, abduce el húmero; produce movimientos de balanceo del brazo durante la marcha (la parte anterior ayuda al pectoral mayor en la flexión del húmero; la parte posterior ayuda al dorsal ancho en la extensión del húmero)

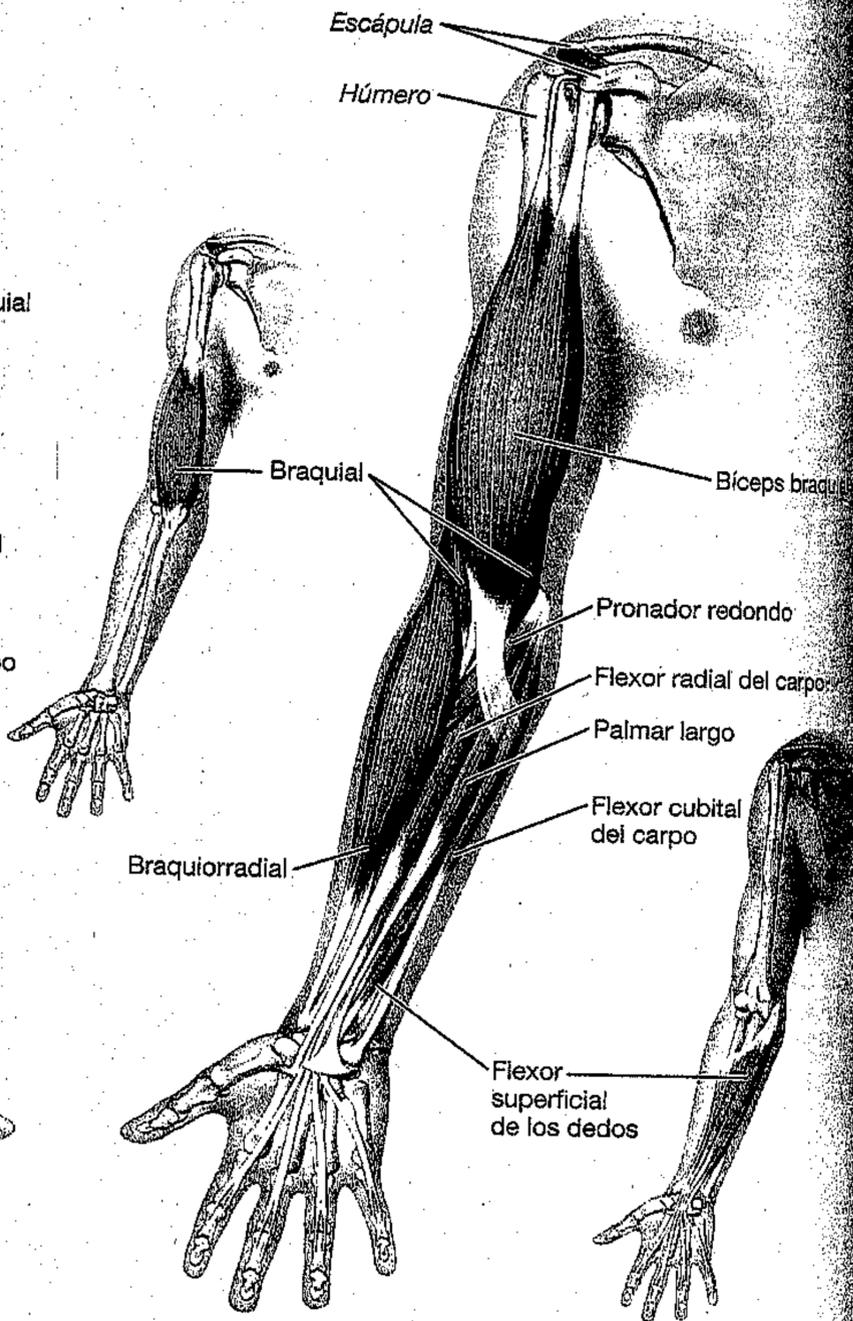
\*Parte del manguito de los rotadores

Rotación  
externa

Lámina 7-7. Músculos que mueven el antebrazo, la mano y los dedos



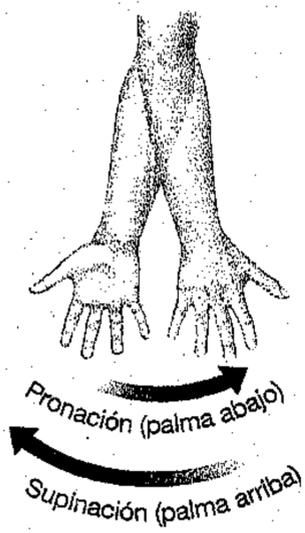
Vista posterior



Vista anterior

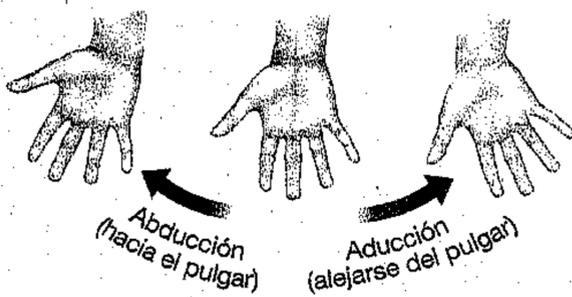


Flexión  
Extensión



Pronación (palma abajo)  
Supinación (palma arriba)

Articulación del codo (antebrazo)

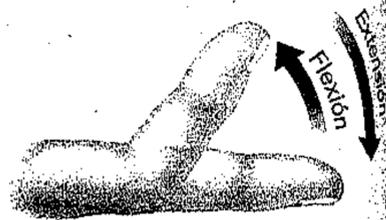


Abducción (hacia el pulgar)  
Aducción (alejarse del pulgar)



Flexión  
Extensión

Articulación de la muñeca (mano)



Flexión  
Extensión

Articulaciones interfalángicas (dedos)

Lámina 7-7

Músculo que mueven el antebrazo.

**Braquial**  
(brachi = braz)

**Braquiorradial**  
(brachi = braz; radi = radio)

**Bíceps braquial**  
(bi = dos; brachi = braz)

**Tríceps braquial**  
(tri = tres; brachi = braz)

**Extensor radial del carpo**  
(extensor = alejarse de la articulación; radi = radio)

**Pronador redondo**  
(pronate = girar abajo; teres = tercio)

**Flexor radial del carpo**  
(flex = disminuir articulación; radi = radio)

**Palmar largo**  
(palma = palma)

**Flexor cubital superficial de los dedos**  
(flex = disminuir articulación; cubitalis = cúbito)

**Extensor cubital del carpo**  
(extensor = alejarse de la articulación; ulnaris = cúbito)

**Flexor superficial de los dedos**  
(flex = disminuir articulación; superficialis = superficie)

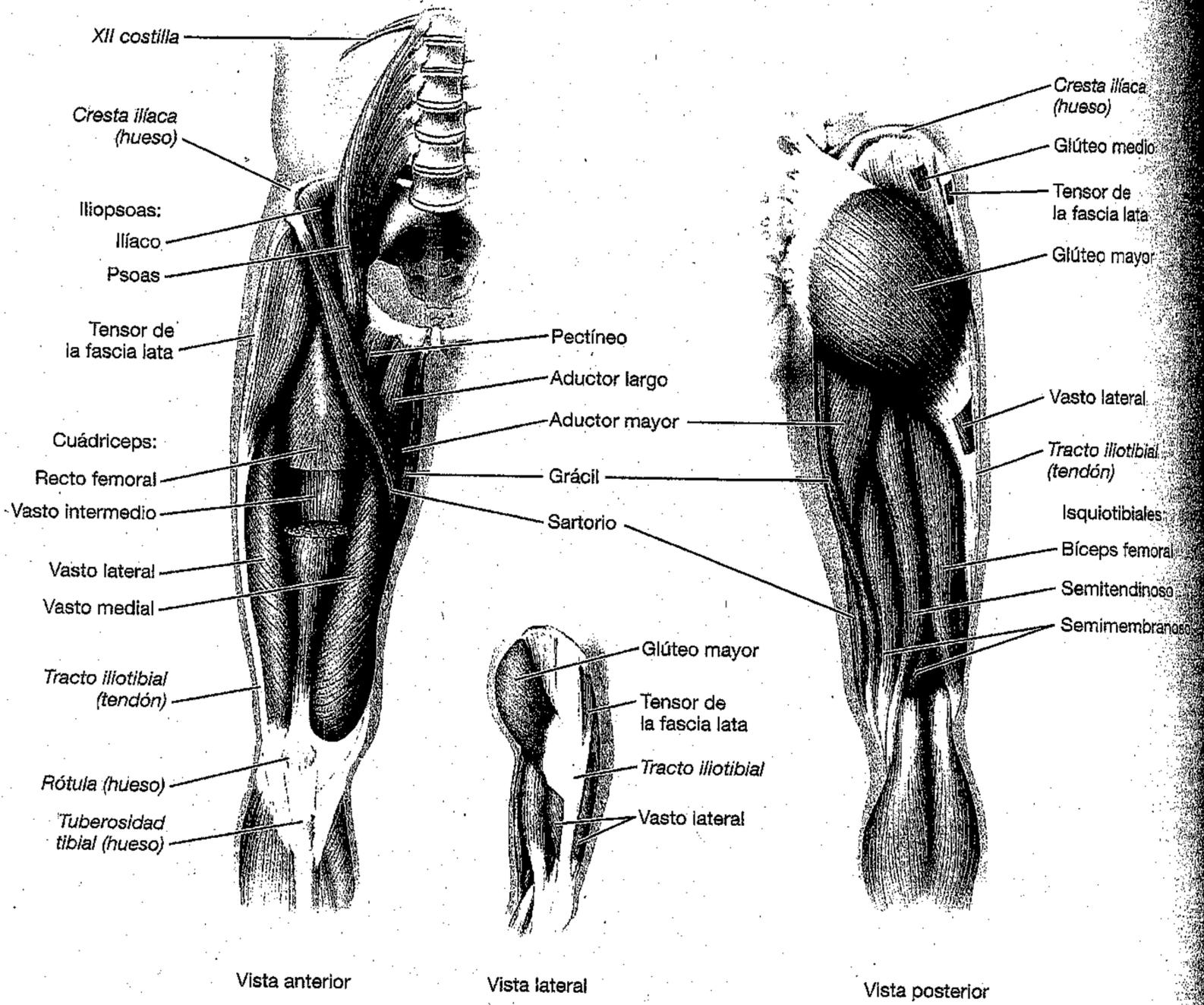
**Extensor de los dedos**  
(extensor = alejarse de la articulación; de la mano)

**Figura 7-7. Músculos que mueven el antebrazo, la mano y los dedos**

Músculo	Origen	Inserción	Acción
<b>Braquial</b> (brachi = brazo)	Húmero	Cúbito	Flexiona el codo (músculo principal, todas las posiciones)
<b>Braquiorradial</b> (brachi = brazo; radi = radio)	Húmero	Radio	Flexiona el codo; ayuda al braquial cuando son precisos movimientos rápidos
<b>Músculo braquial</b> (músculos = dos cabezas; brachi = brazo)	Escápula (apófisis coracoides y tubérculo)	Radio, fascia del antebrazo	Supina el codo (músculo principal), flexiona el codo cuando el antebrazo está en supinación (no cuando está en pronación)
<b>Músculo braquial</b> (músculos = tres cabezas; brachi = brazo)	Escápula, húmero	Olécranon cubital	Extiende el codo (músculo principal)
<b>Extensor radial del carpo</b> (extensor = aumenta el ángulo de la articulación; carpus = muñeca; radi = radio)	Húmero	2.º metacarpiano	Extiende y abduce la muñeca; necesario para apretar el puño
<b>Rotador redondo</b> (pronate = girar la palma hacia abajo; teres = largo y redondo)	Húmero, apófisis coronoides del cúbito	Radio	Prona y flexiona el codo
<b>Flexor radial del carpo</b> (flex = disminuye el ángulo de la articulación; carpus = muñeca; radi = radio)	Húmero	2.º y 3.º metacarpianos	Flexiona y abduce la muñeca (mueve la mano hacia delante y hacia fuera)
<b>Palmar largo</b> (palma = palma; longus = largo)	Húmero	Fascia	Débil flexor de la muñeca
<b>Flexor cubital del carpo</b> (flex = disminuye el ángulo de la articulación; carpus = muñeca; ulnaris = cúbito)	Húmero, cúbito	5.º metacarpiano	Flexiona y aduce la muñeca
<b>Extensor cubital del carpo</b> (extensor = aumenta el ángulo de la articulación; carpus = muñeca; ulnaris = cúbito)	Húmero, cara posterior del cúbito	5.º metacarpiano	Extiende y aduce la muñeca; necesario para cerrar el puño
<b>Flexor superficial de los dedos</b> (flex = disminuye el ángulo de la articulación; digit = dedo de la mano; superficial = cerca de la superficie)	Húmero, cúbito, radio	Falange media de cada dedo	Flexiona los cuatro dedos a nivel de la articulación interfalángica proximal
<b>Extensor de los dedos</b> (extensor = aumenta el ángulo de la articulación; digit = dedo del pie o de la mano)	Húmero	Falanges distal y media de cada dedo	Extiende los cuatro dedos en todas las articulaciones interfalángicas



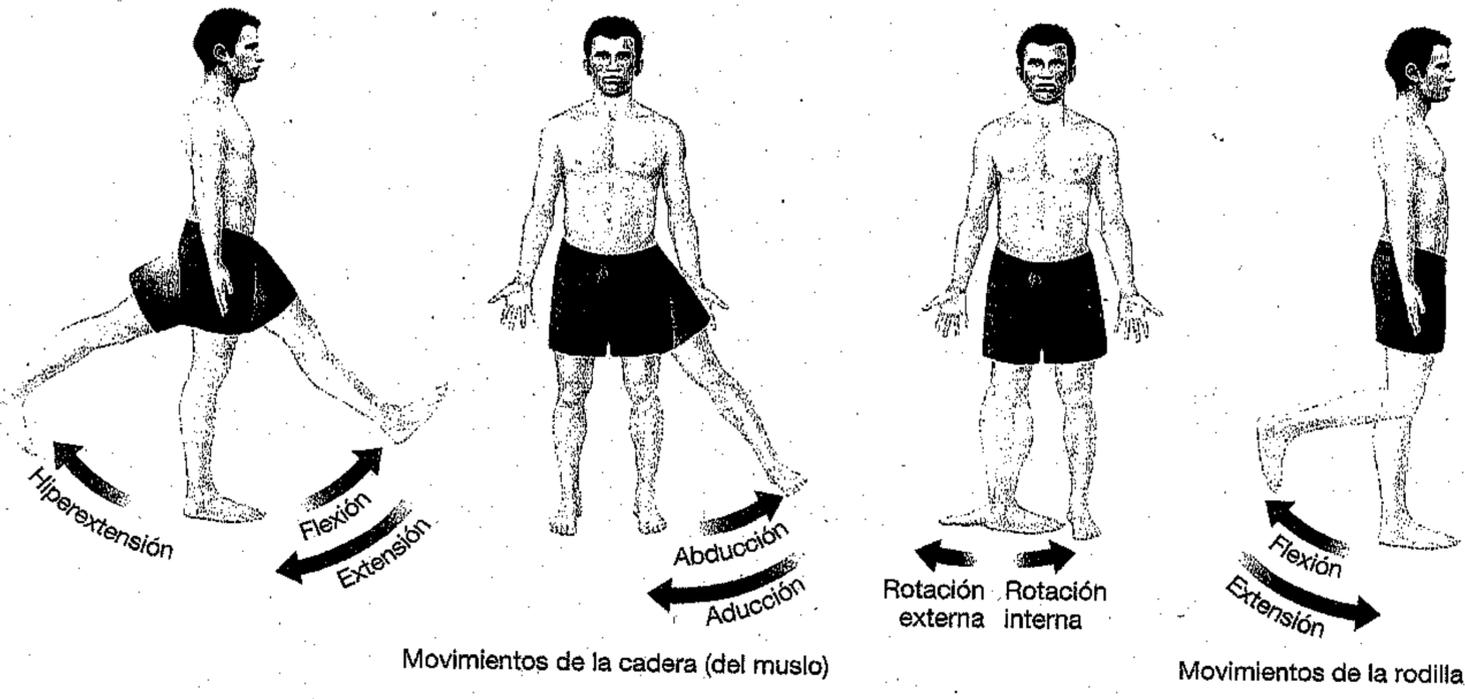
Lámina 7-8. Músculos que mueven el muslo y la pierna



Vista anterior

Vista lateral

Vista posterior



Movimientos de la cadera (del muslo)

Movimientos de la rodilla (de la pierna)

Glúteo: músculo que mueve el muslo y la pierna.  
 Cresta ilíaca (hueso): parte del hueso ilíaco.  
 Glúteo medio: músculo que mueve el muslo.  
 Tensor de la fascia lata: músculo que mueve el muslo.  
 Glúteo mayor: músculo que mueve el muslo.  
 Vasto lateral: músculo que mueve la pierna.  
 Tracto iliotibial (tendón): tendón que mueve la pierna.  
 Isquiotibiales: grupo de músculos que mueven la pierna.  
 Bíceps femoral: músculo que mueve la pierna.  
 Semitendinoso: músculo que mueve la pierna.  
 Semimembranoso: músculo que mueve la pierna.  
 Vasto: grupo de músculos que mueven la pierna.  
 Grácil: músculo que mueve la pierna.  
 Aductor largo: músculo que mueve el muslo.  
 Aductor mayor: músculo que mueve el muslo.  
 Pectíneo: músculo que mueve el muslo.

## Lámina 7-8. Músculos que mueven el muslo y la pierna

Nombre	Origen	Inserción	Acción
<p>Los músculos del muslo son grandes y poderosos, adecuados a su función de mantener la postura erguida, al correr o caminar o al levantar cargas pesadas. Algunos de estos músculos sólo actúan para mover la articulación de la cadera, otros la rodilla y algunos, ambas. Los músculos anteriores suelen producir la flexión de la cadera y la extensión de la rodilla, como al inicio del movimiento de la marcha. Los músculos posteriores suelen producir la extensión de la cadera y la flexión de la rodilla, como en el final de la marcha. Un tercer y poderoso grupo, situado en la parte interna, aduce el muslo y no tiene efecto sobre la pierna. La abducción y rotación del muslo es relativamente débil; la realizan músculos pequeños o es una función menor de músculos grandes.</p>			
<b>Iliaco</b> ( <i>ilac = ilion</i> )	Ilion	Fémur (trocánter menor)	Flexiona y rota hacia fuera la cadera; flexiona la columna vertebral
<b>Psoas</b> ( <i>psoas = músculo del lomo</i> )	Vértebrae lumbares	Se une al iliaco para insertarse en el fémur (trocánter menor)	Flexiona y rota hacia fuera la cadera; flexiona la columna vertebral
<b>Sartorio</b> ( <i>sartor = sastré, hace referencia a la posición tradicional de piernas cruzadas</i> )	Espina iliaca	Tibia	Cruza la pierna: flexiona, abduce y rota hacia fuera; flexiona la rodilla
<b>Cuádriceps femoral:</b> ( <i>quadriceps = cuatro cabezas; femoris = fémur</i> )			
<b>Recto femoral</b> ( <i>rectus = recto; femoris = fémur</i> )	Espina iliaca	Los cuatro músculos se unen e insertan en la rótula, y a continuación en la tuberosidad tibial	Extiende la rodilla, flexiona la cadera
<b>Vasto lateral</b> ( <i>vastus = grande; lateralis = lateral</i> )	Fémur (trocánter mayor, línea áspera)		Extiende la rodilla
<b>Vasto medial</b> ( <i>vastus = grande; medialis = medial</i> )	Fémur (trocánter mayor, línea áspera)		Extiende la rodilla
<b>Vasto intermedio</b> ( <i>vastus = grande; intermedius = medio</i> )	Fémur		Extiende la rodilla
<b>Gracil</b> ( <i>gracile = delgado</i> )	Pubis	Tibia	Aduce y rota hacia dentro la cadera; flexiona la rodilla
<b>Aductor largo</b> ( <i>adduct = mueve hacia la línea media; longus = largo</i> )	Cresta y sínfisis del pubis	Fémur (línea áspera)	Aduce, rota hacia dentro y flexiona la cadera
<b>Aductor mayor</b> ( <i>adduct = mover hacia dentro; magnus = grande</i> )	Pubis, isquiático	Fémur (línea áspera)	Aduce, rota hacia dentro y extiende la cadera
<b>Pectíneo</b> ( <i>pectin = peine</i> )	Pubis	Fémur	Aduce y flexiona la cadera

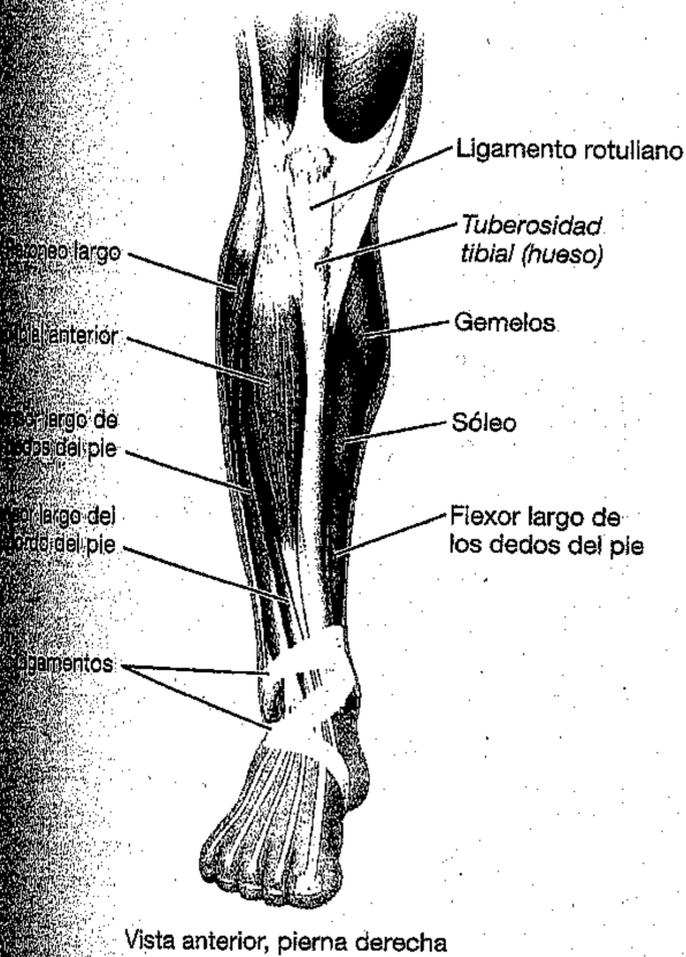
Continúa

## Lámina 7-8. Músculos que mueven el muslo y la pierna (cont.)

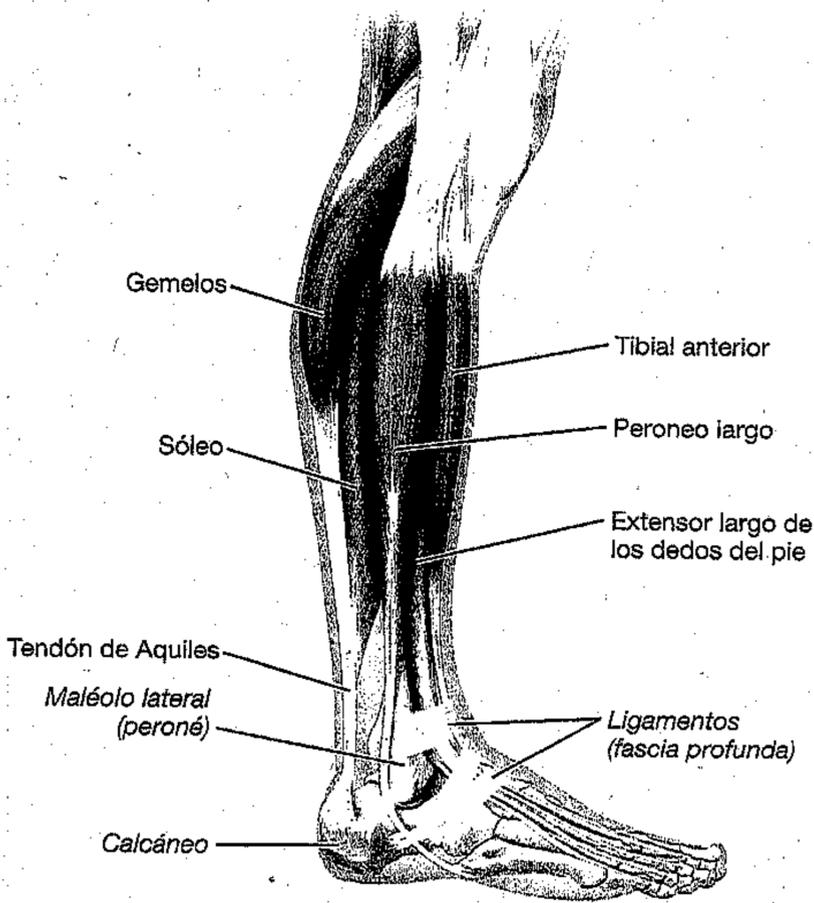
Nombre	Origen	Inserción	Acción
<b>Tensor de la fascia lata</b> ( <i>tensor = tensa; fasciae = fascia; lat = amplia</i> )	Ilion	Tracto iliotibial, finaliza en la tibia	Aduce y flexiona la cadera
<b>Glúteo medio</b> ( <i>glute = nalga; medius = medio</i> )	Ilion	Fémur (trocánter mayor)	Abducción y rotación externa de la cadera
<b>Glúteo mayor</b> ( <i>glute = nalga; maximus = mayor</i> )	Cresta ilíaca, sacro, cóccix	Tracto iliotibial, fémur (línea áspera)	Extensión y rotación externa de la cadera
<b>Isquiotibiales:</b> ( <i>hace referencia a tendones en la cara posterior de la rodilla</i> )			
<b>Bíceps femoral</b> ( <i>biceps = dos cabezas; femoris = fémur</i> )	Tuberosidad isquiática, línea áspera del fémur	Peroné (cabeza) y tibia (cóndilo lateral)	Flexiona la rodilla; extiende la cadera
<b>Semitendinoso</b> ( <i>semi = mitad; tendo = tendón</i> )	Tuberosidad isquiática	Tibia proximal	Flexiona la rodilla; extiende la cadera
<b>Semimembranoso</b> ( <i>semi = mitad; membran = membrana</i> )	Tuberosidad isquiática	Tibia (cóndilo medial)	Flexiona la rodilla; extiende la cadera

**Figura 7-9. Músculos que mueven el pie y los dedos del pie**

	Origen	Inserción	Acción
<b>Peroneo anterior</b> ( <i>peroneus anterior</i> ; <i>tibia</i> ; <i>anterior</i> = frente)	Tibia; cóndilo lateral, cuerpo	1.ª cuña y metatarsiano	Flexión dorsal e inversión del tobillo
<b>Extensor largo de los dedos del pie</b> ( <i>extensor digitorum pedis</i> ; <i>extensor</i> = aumenta el ángulo de articulación; <i>digitorum</i> = dedo de la mano del pie; <i>longus</i> = largo)	Tibia	Falange distal de los dedos 2.º-5.º	Extiende los cuatro dedos del pie, flexión dorsal del tobillo
<b>Extensor largo del dedo gordo del pie</b> ( <i>extensor hallucis pedis</i> ; <i>extensor</i> = aumenta el ángulo de la articulación; <i>hallux</i> = dedo gordo del pie)	Peroné	Falange del dedo gordo del pie	Extiende el dedo gordo del pie; flexión dorsal del tobillo
<b>Peroneo largo</b> ( <i>peroneus longus</i> ; <i>peroneus</i> = peroné; <i>longus</i> = largo)	Peroné, tibia (cóndilo lateral)	Cuña media y primer metatarsiano del pie	Evierte el tobillo; mantiene la pierna estable cuando se hace equilibrio sobre un pie
<b>Gemelos</b> ( <i>gemelli</i> ; <i>gemelli</i> = vientre; <i>cnem</i> = pierna)	Fémur; cóndilos lateral y medial	Calcáneo (a través del tendón de Aquiles)	Flexión plantar del tobillo; eleva el talón al caminar; flexiona la rodilla; importante en los movimientos rápidos (correr, saltar)



Vista anterior, pierna derecha

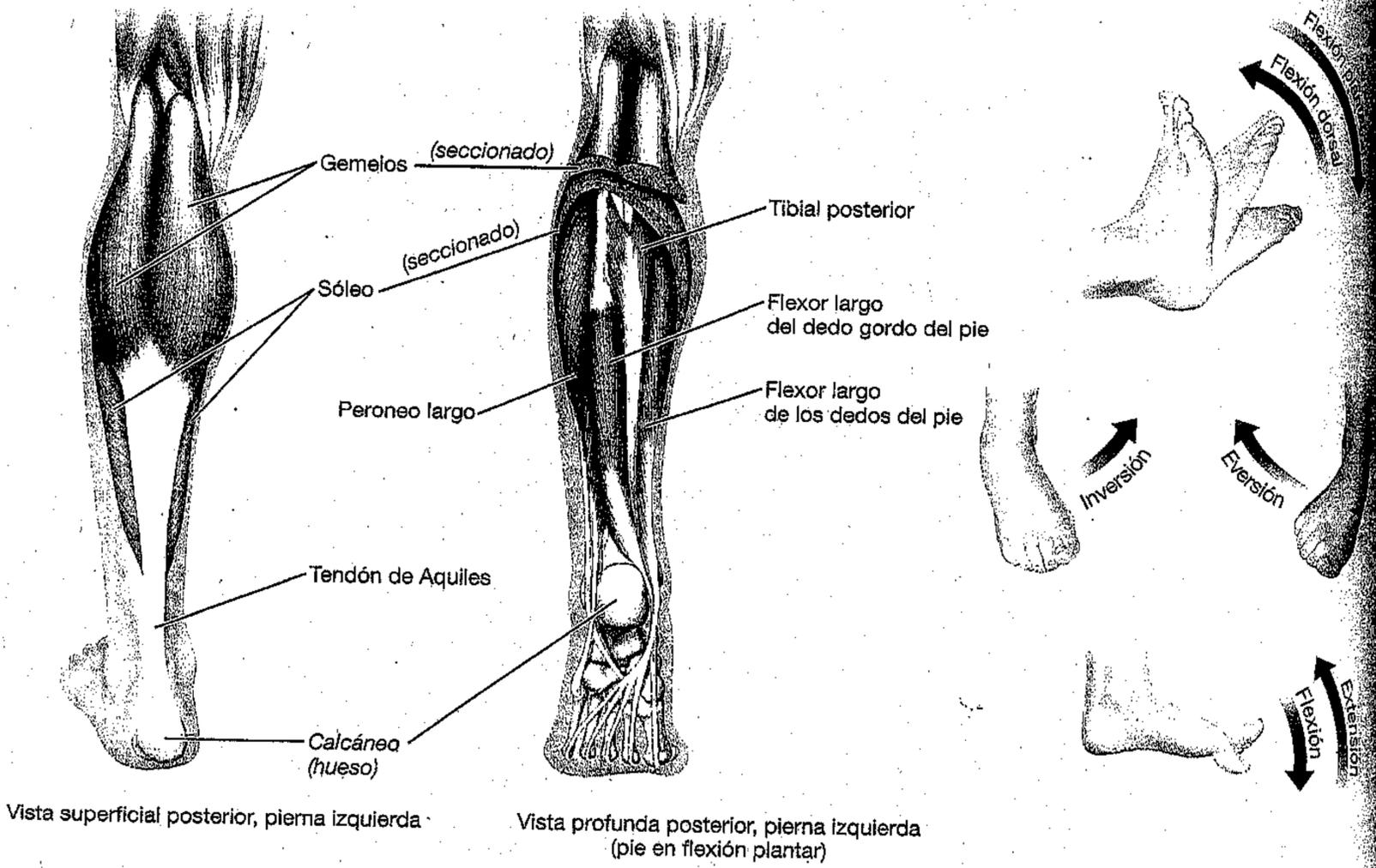


Vista lateral, pierna derecha

Continúa

**Lámina 7-9. Músculos que mueven el pie y los dedos del pie (cont.)**

Nombre	Origen	Inserción	Acción
<b>Sóleo</b> ( <i>soleus = un pez plano</i> )	Peroné (cabeza) y tibia proximal	Calcáneo (a través del tendón de Aquiles)	Flexión plantar del tobillo. <i>(Nota: se contrae de forma alternada con los músculos extensores de la pierna para mantener el equilibrio al caminar)</i>
<b>Tibial posterior</b> ( <i>tibialis = tibia; posterior = detrás</i> )	Tibia, peroné	Múltiples huesos del tarso y metatarsianos	Flexión plantar e inversión del pie
<b>Flexor largo de los dedos del pie</b> ( <i>flexor = disminuye el ángulo de la articulación; digitorum = dedos de la mano o del pie; longus = largo</i> )	Cara posterior de la tibia	Falanges distales de los dedos 2. <sup>o</sup> -5. <sup>o</sup> del pie	Flexión los cuatro dedos externos, flexión plantar del tobillo, apoyo de los arcos longitudinales del pie
<b>Flexor largo del dedo gordo del pie</b> ( <i>flexor = disminuye el ángulo de la articulación; hallux = dedo gordo del pie</i> )	Cara posterior del peroné	Base del dedo gordo del pie	Flexión del dedo gordo del pie, apoyo de los arcos longitudinales del pie, propulsión muscular durante caminar y salto



**CUE REVISIÓN**

- ¿Cuál es el músculo principal que produce la flexión plantar del pie? (ML)?
  - El músculo sóleo (estriado liso)
  - Las fibras reticulares de la fascia plantar
  - En la fascia plantar
  - Fibras de tejido conectivo
- La membrana del pie está formada por:
  - sarcómeros
  - sarcómeros y fibras reticulares
  - retículos
  - membranas

## Etimología

Prefijos y sufijos  
latinos/griegos

	Equivalentes en español	Ejemplos
Anta); se con los dierna para ninar el tobillo	Contra	Antagonista: músculo que trabaja en oposición al músculo principal
	Junto	Concéntrica; contracción muscular que une dos huesos (una contracción que aproxima)
	Separar	Excéntrica: contracción muscular que separa dos huesos (una contracción que alarga)
arnos, oyo de los	Longitud	Isométrica; contracción sin cambio (iso-) de longitud
	Músculo	Mioglobina; una proteína globular que se encuentra en el músculo
ie; soporte el pie; carrera y	Carne; músculo	Sarcolema: membrana (-lemma) de una célula muscular
	Junto	Sinérgico: músculo que trabaja junto con el principal
	Tensión	Isotónica: contracción sin cambio (iso-) de tensión
	Girar	Troponina: molécula (-in) que gira (apartá la tropomiosina) para producir la contracción muscular

## Questionario del capítulo

### REVISIÓN DEL CAPÍTULO

1. ¿Cuál de las siguientes características corresponden al músculo esquelético (ME) y cuál al músculo liso (ML)? Señalar todo lo que corresponda.

- El músculo tiene un aspecto con bandas (estriado).
- Las contracciones musculares no pueden controlarse conscientemente.
- En el estómago y en la pared del intestino existe tejido muscular.
- Fibras musculares que se fatigan tras contracciones repetidas.

2. La membrana externa de una célula muscular se denomina

- sarcoplasma.
- sarcolema.
- retículo sarcoplasmático.
- membrana endosómica.

3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones se aplica a la unión neuromuscular de los músculos esqueléticos?

- Utiliza la noradrenalina como neurotransmisor.
- Se compone de múltiples varicosidades dispersas por numerosas fibras musculares.
- Su activación produce la entrada de calcio en la célula desde el líquido extracelular.
- Los receptores de los neurotransmisores son también canales de sodio.

4. Los filamentos delgados

- están anclados por cuerpos densos en el músculo liso.
- están compuestos sólo de actina.
- se encuentran en el músculo esquelético, pero no en el músculo liso.
- están compuestos de miosina.

Flexión plantar  
en dorsal

Extension

5. **Un sarcómero.**
- es una neurona y las fibras musculares que inerva.
  - recorre toda la longitud de un músculo.
  - se une a los sarcómeros adyacentes por los discos Z.
  - es la unidad funcional de los músculos esquelético y liso.
6. **Durante la contracción muscular,**
- se acortan los filamentos gruesos.
  - se acortan los filamentos delgados.
  - se acortan tanto los filamentos gruesos como los delgados.
  - no se acortan ni los filamentos gruesos ni los delgados.
7. **El papel del calcio en la contracción del músculo liso implica**
- activar las enzimas que activan las cabezas de miosina.
  - suministrar energía para los ciclos de los puentes cruzados.
  - mostrar los puntos de unión de miosina en las moléculas de actina.
  - iniciar los potenciales de acción en la célula muscular.
8. **En el músculo esquelético, nuevas moléculas de ATP son necesarias para**
- separar las cabezas de miosina de los filamentos de actina.
  - mantener el gradiente de concentración de sodio.
  - proporcionar energía para el movimiento de las cabezas de miosina.
  - todo lo anterior.
9. **Las fibras de tipo I**
- se fatigan lentamente.
  - contienen grandes depósitos de glucógeno.
  - son el tipo más fuerte de fibra.
  - contienen pocas mitocondrias.
10. **Un ejemplo de contracción isométrica durante una flexión sería**
- sostenerse inmóvil en la posición de flexión.
  - contraer el tríceps braquial a medida que baja el cuerpo al suelo.
  - contraer el bíceps braquial a medida que levanta el cuerpo del suelo.
  - b y c.
11. **El párpado se cierra por las acciones del**
- orbicular de los labios.
  - orbicular del ojo.
  - mentoniano.
  - occipitofrontal.
12. **La contracción del músculo esternocleidomastoideo en un único lado del cuerpo**
- levantará un hombro.
  - bajará un hombro.
  - acercará un oído hacia el hombro del mismo lado.
  - moverá un hombro hacia adelante.
13. **El músculo abdominal más superficial es el**
- transverso del abdomen.
  - oblicuo interno.
  - oblicuo externo.
  - recto del abdomen.
14. **El músculo que retrae la escápula es el**
- serrato anterior.
  - pectoral menor.
  - pectoral mayor.
  - romboides mayor.
15. **¿Cuál de los siguientes músculos no forman parte del manguito de los rotadores?**
- Deltoides.
  - Supraespinoso.
  - Redondo menor.
  - Subescapular.
16. **El músculo principal en la flexión del antebrazo es el**
- bíceps braquial.
  - braquial.
  - braquiorradial.
  - tríceps braquial.
17. **El músculo del muslo que se origina en el hueso ilíaco y se inserta en el trocánter mayor del fémur es el**
- sartorio.
  - psoas.
  - glúteo medio.
  - tensor de la fascia lata.
18. **El músculo que abduce el muslo es el:**
- grácil.
  - pectíneo.
  - aductor largo.
  - glúteo medio.
19. **El elevador del ano se origina en**
- el isquion.
  - el pubis.
  - la fascia perineal.
  - el ilion.
20. **La contracción del extensor del dedo gordo se traduciría en**
- inversión.
  - eversión.
  - flexión plantar.
  - flexión dorsal.

¿Cuál de los siguientes músculos forma parte del grupo de los isquiotibiales?

- a. Recto interno.
- b. Vasto externo.
- c. Semimembranoso.
- d. Recto femoral.

no lado

¿Cuál de los siguientes músculos extiende la mano?

- a. Palmar largo.
- b. Extensor de los dedos.
- c. Extensor cubital del carpo.
- d. Pronador redondo.

Al llegar a la cima de una montaña, se encuentra con una vista tan bella que se queda boquiabierto.

El músculo principal de esta acción es

- a. el músculo temporal.
- b. el músculo masetero.
- c. músculo depresor del labio inferior.
- d. la gravedad.

parte del

Ha echado el ojo a una deliciosa galleta de chocolate.

Pero, a medida que su mano se extiende para obtener

la galleta, alguien se la quita. Se retira, haciendo

pucheros. El músculo principal de esta acción de los

labios es el

- a. mentoniano.
- b. buccinador.
- c. cigomático.
- d. risorio.

o es el

¿Cuál de los siguientes músculos flexiona con fuerza la columna vertebral?

- a. Erector del abdomen.
- b. Erector de la columna vertebral.
- c. Transverso del abdomen.
- d. Intercostales internos.

eso ilíon

is el

## COMPRESIÓN DE CONCEPTOS

Enumere cinco funciones del tejido muscular.

Especifique el tipo de tejido muscular implicado:

esquelético, cardíaco y/o liso.

27. Compare y contraste metabolismo anaerobio y metabolismo aerobio en las siguientes categorías:

- a. Tipos de nutrientes utilizados.
- b. Número aproximado de moléculas de ATP producidas a partir de una molécula de glucosa (y, en su caso, una molécula de ácido graso).
- c. Necesidad de oxígeno.

28. Al comenzar su segundo año de universidad, se da cuenta que su amigo ha «aumentado de volumen» significativamente y que sus músculos son más grandes.

- a. ¿Qué clase de ejercicios producen un crecimiento importante de los músculos?
- b. Comente el papel de las células satélite en el crecimiento muscular.

## APLICACIÓN

29. Se ha desarrollado un nuevo fármaco que bloquea la acetilcolinesterasa. Usted busca algo para relajar los músculos. ¿Sería adecuado utilizar este medicamento? Explique por qué sí o por qué no.

30. Mientras presencia ballet, observa a una bailarina levantando los talones para ponerse de puntillas.

- a. Ponga nombre a esta acción a partir de la terminología del movimiento que ha aprendido en el capítulo 6.
- b. ¿Cuál es el músculo principal de esta acción?
- c. Señale un músculo sinérgico involucrado en esta acción.
- d. Señale un músculo antagonista involucrado en esta acción.

Puede encontrar las respuestas a estas preguntas en el apartado de recursos para estudiantes en:

<http://thepoint.lww.com/espanol-McConnellandHull>