

El tejido conectivo envuelve fibras y fascículos musculares y músculos completos

Las fibras del músculo esquelético son delicadas, y cada una de ellas está envuelta por una vaina de tejido conectivo denominada **endomisio**, que la cubre, la aísla, le da soporte y la 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**. Éstos están envueltos con una vaina gruesa y resistente de tejido conectivo denominada **perimisio**.

A su vez, 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 tejido de colágeno fuerte y excepcionalmente resistente que une el músculo al hueso. Cuando dicho tejido forma un cordón grueso y resistente para la inserción en un único punto, éste se denomina **tendón** (v. fig. 7-2 B); aprendió sobre 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**.

Examen sorpresa

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?

7-7 ¿Cómo se denominan las extensiones de la membrana que penetran profundamente en el sarcoplasma?

7-8 ¿Qué diferencia hay entre perimisio y endomisio?

Contracción del músculo esquelético

Está leyendo 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 sus movimientos. Se producen sin más. Pero, ¿cómo?

Una 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 que estimula una contracción en el músculo esquelético (una **motoneurona visceral** transporta una señal similar al músculo liso o 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 (Na^+) entren en la célula cuando se le une la acetilcolina (ACh; el ligando).

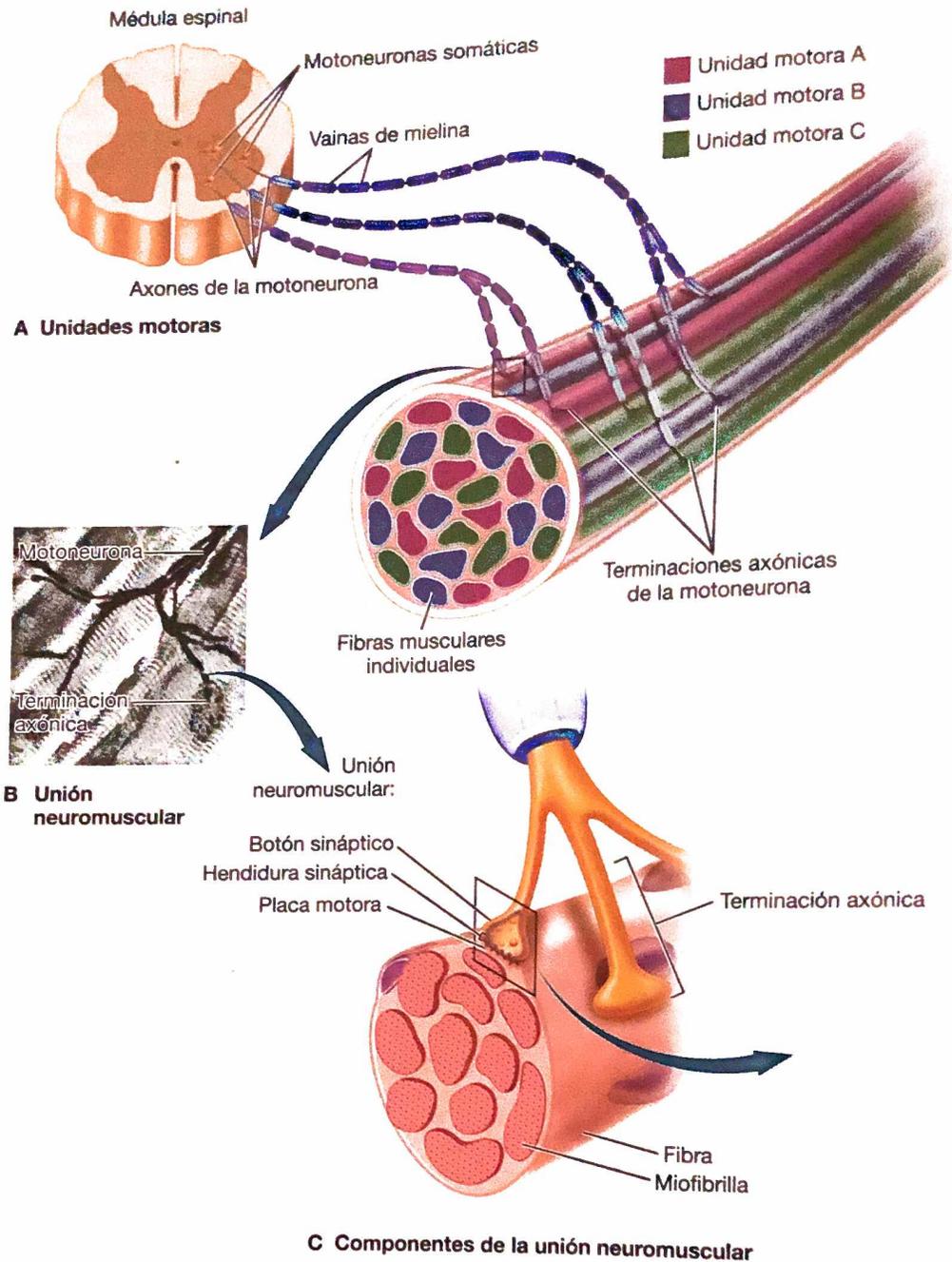


Figura 7-3. Unidades motoras y unión neuromuscular. A) Una unidad motora está formada por una motoneurona somática y las fibras del músculo esquelético que inerva. Obsérvense tres unidades motoras; un músculo promedio tendrá muchas más. B) La microfotografía muestra un axón ramificándose para alcanzar varias fibras musculares. C) El botón sináptico de la neurona hace 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 garra 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.

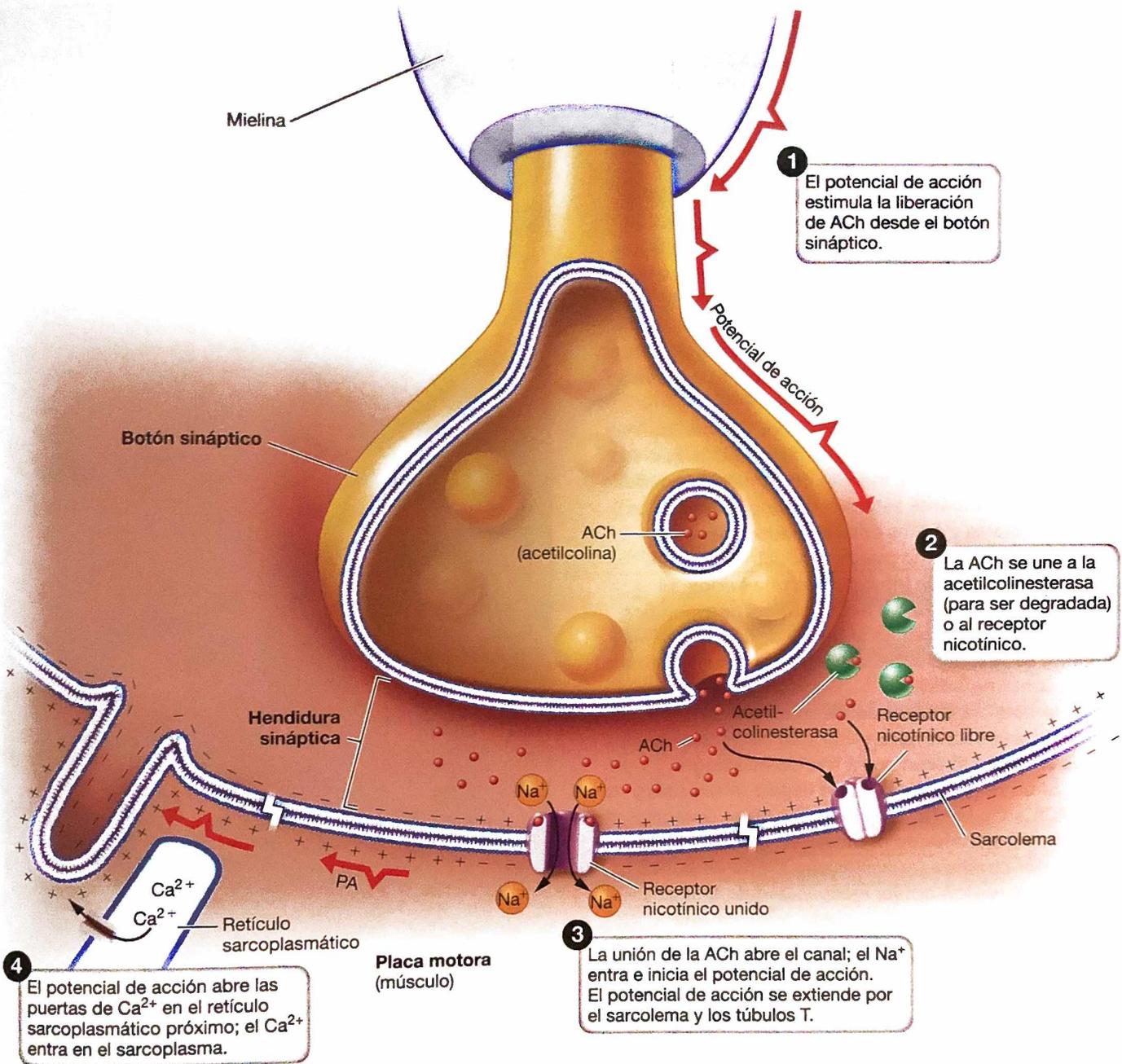


Figura 7-4. Sucesos en la unión neuromuscular. Una señal eléctrica (un potencial de acción, PA) viaja hasta la motoneurona. Una señal química (ACh) lleva la señal a través de la hendidura sináptica e inicia una señal eléctrica (un PA) en la célula muscular. Señale la enzima que finaliza la acción de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

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.

4. 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 (Ca^{2+}), denominado *bomba de calcio*, lleva de forma activa 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 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»).

Recuerde, del capítulo 4, que las señales pueden ser eléctricas o químicas. La 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

7-6 ¿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.

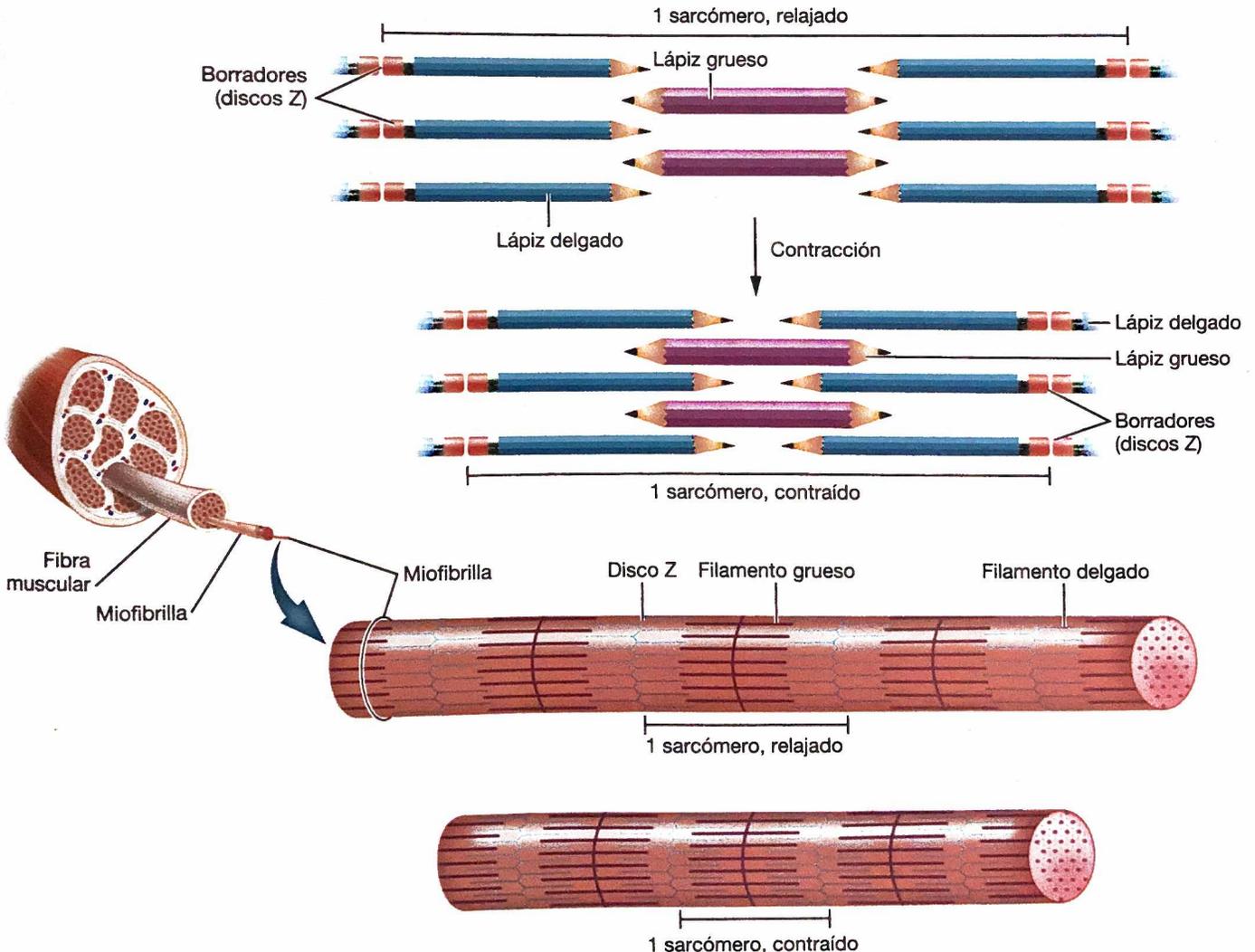


Figura 7-5. Las miofibrillas están formadas por miofilamentos. Pueden utilizarse lápices para construir un modelo de sarcómero. Cuando aumenta el solapamiento entre los lápices, el sarcómero se acorta. Una miofibrilla está formada por muchos sarcómeros alineados extremo a extremo en fila. Cuando se acortan 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?