

aspecto uniforme sin estrías transversales. Como se comentará más adelante en este capítulo, la ausencia de estriaciones está estrechamente relacionada con su función.

El músculo liso es involuntario; no podemos ordenar a la pared del estómago que se relaje para que dé cabida a una gran cantidad de comida. En lugar de eso, el estómago responde automáticamente a la estimulación mecánica del bolo alimenticio, que sólo es uno de los muchos estímulos que gobiernan 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.

Apuntes sobre el caso

7-2 ¿Qué tipo de músculo se ve afectado por la enfermedad de Hammid?

Todo el tejido muscular es extensible

Una importante característica común a los tres tipos de tejido muscular es su *extensibilidad*, es decir, su capacidad de 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 fuese extensible, sólo esta simple acción podría producir la rotura del músculo. Los órganos internos extensibles del organismo (el corazón, la vejiga, el intestino, el útero y así sucesivamente) están constituidos por músculo cardíaco o liso, que también tienen esta propiedad. Por el contrario, si el cirujano estirase de forma involuntaria el tejido del cerebro, el hígado, el bazo o el riñón, éste se rompería.

Examen sorpresa

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

7-2 Señala los dos tipos de músculo estriado.

7-3 Señala dos tipos de músculo involuntario.

7-4 ¿Qué tipo de tejido muscular presenta fatiga?

Estructura del tejido muscular esquelético

Dado que las células musculares son únicas en su capacidad de 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 cardíaco 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 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**, 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

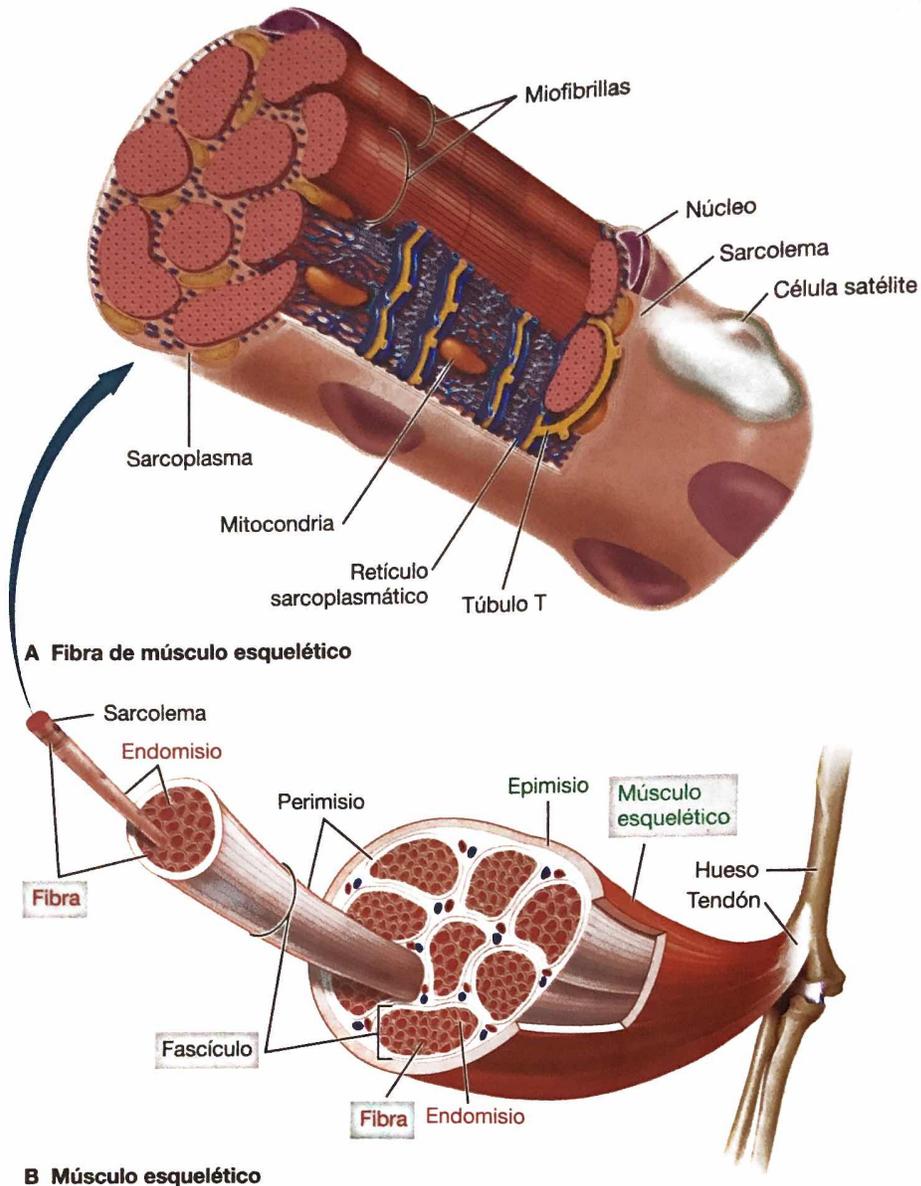


Figura 7-2. Células musculares esqueléticas y músculos. A) Las fibras musculares están llenas de miofibrillas. B) Muchas fibras musculares están empaquetadas juntas formando un fascículo, y muchos fascículos se unen para formar un músculo. Señale la capa de tejido conectivo que rodea un fascículo.

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 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).