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; es decir, 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 tejido muscular 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 y evita que nuestra cabeza caiga sobre los hombros. Una actividad relacionada es la *estabilización de las articulaciones:* en cada actividad deben estabilizarse las articulaciones de modo que no se desplacen fuera de control, 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 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.

- *Mover sustancias dentro del organismo.* Las contracciones automáticas autoestimuladas del músculo cardíaco impulsan la sangre a través de los vasos sanguíneos; ondas de contracciones de músculo liso impulsan el contenido intestinal a lo largo del tracto intestinal, y otras ondas similares dan la energía suficiente para la eyaculación masculina y el orgasmo femenino.
- *Producir calor.* Tanto si se trata de la conversión de gasolina en movimiento del vehículo o la conversión de glucosa 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.

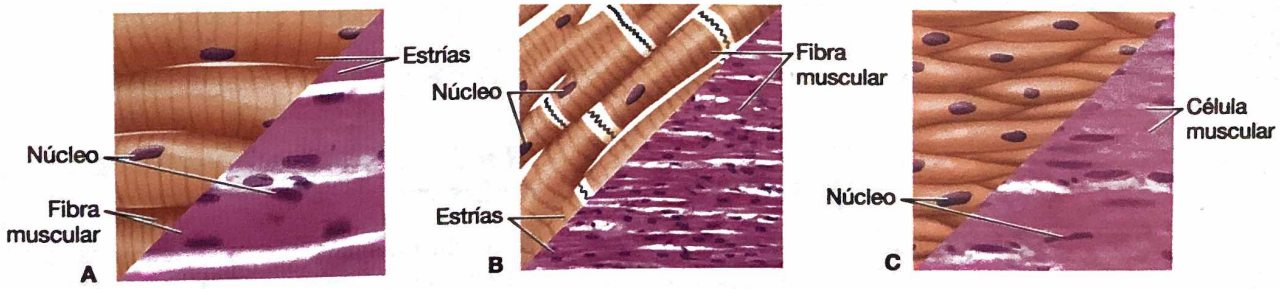
Apuntes sobre el caso

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:

Tabla 7-1. Tejido muscular

Característica	Esquelético	Cardíaco	Liso
Localización	A menudo unido a huesos	Corazón	Paredes de los vasos sanguíneos, órganos viscerales
Aspecto	Fibras cilíndricas largas	Fibras cilíndricas ramificadas	Células pequeñas; en ocasiones ramificadas
	Delgadas	Estriadas	No estriadas
	Estriadas	Núcleo único	Núcleo único
	Múltiples núcleos		
			
Control	Voluntario	Involuntario	Involuntario
Contracción	Contracción y relajación rápidas	Contracción y relajación moderadas	Contracción y relajación lentas; pueden mantenerla durante períodos prolongados
¿Fatiga?	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 (estrías) 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.

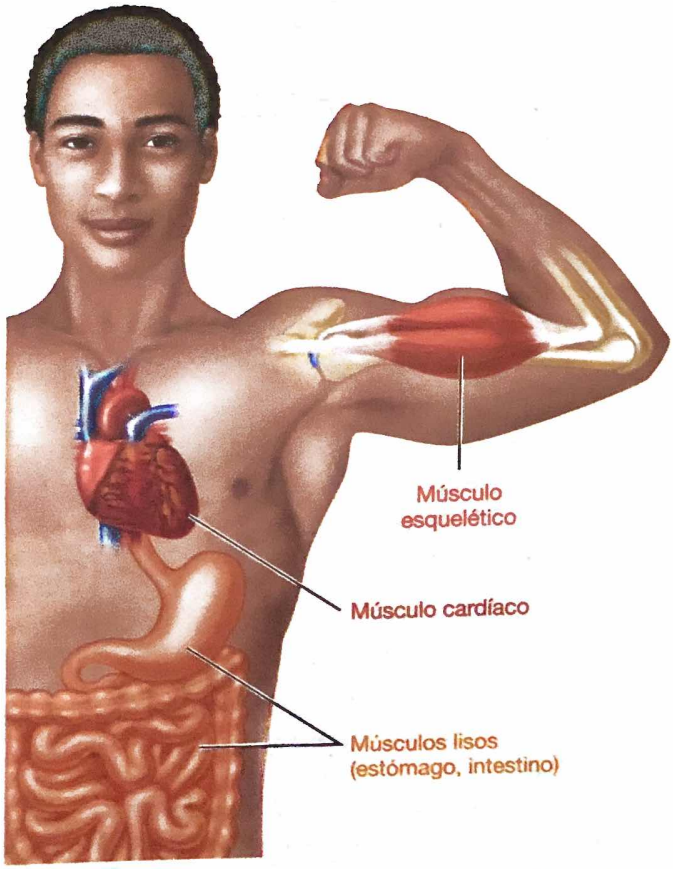


Figura 7-1. Músculos en acción. El músculo cardíaco *(rojo oscuro)* mantiene el movimiento de la sangre; el músculo liso *(naranja)* permite la digestión de los alimentos y la retención de la orina, y el músculo esquelético *(rojo claro)* mueve el cuerpo. *¿Qué tipo de músculo forma la pared del estómago?*

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 se preparan para contraerse de nuevo. No mantienen la contracción durante períodos prolongados, ya que se fatigan tras contracciones repetidas. Más adelante comentaremos la naturaleza precisa de la fatiga muscular, que es única del músculo esquelético; el músculo cardíaco y el 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 estriado, 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, puede aumentarlo.

Al igual que las fibras del músculo esquelético, las células musculares cardíacas se contraen rápidamente y a continuación se relajan. Sin embargo, al contario 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 de las paredes de los órganos huecos, como los vasos sanguíneos, la vejiga de la orina, el útero y el intestino (fig. 7-1). 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 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. 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