

B.1.3

Función muscular

Comprensiones del programa de estudios

B.1.3.1 El cuerpo utiliza distintos tipos de contracciones musculares para generar movimiento y estabilidad. Cada tipo de contracción tiene una función diferente.

B.1.3.2 La teoría de los miofilamentos deslizantes describe la interacción entre los miofilamentos y las moléculas responsables del sarcómero o la contracción muscular.

bh

Introducción

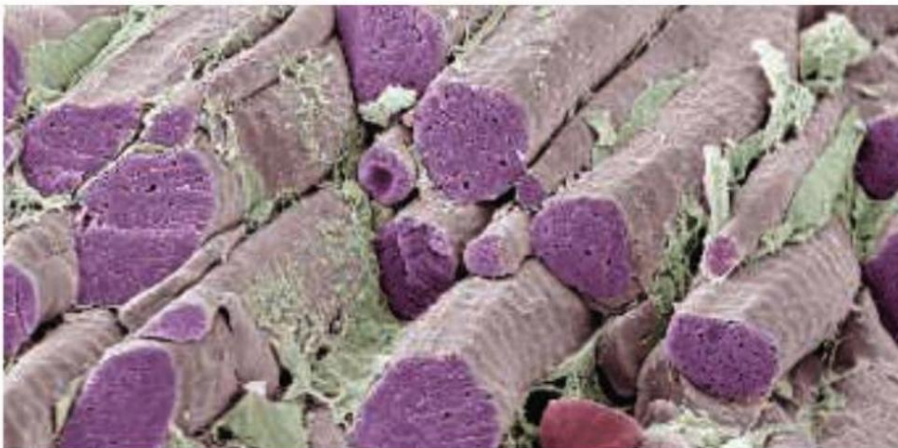
El cuerpo humano cuenta con más de 600 músculos, que varían en tamaño, forma y estructura. En conjunto, representan entre el 40% y el 50% del peso corporal.

Hay tres tipos de músculos, cada uno con funciones diferentes.

- El músculo esquelético está bajo control voluntario y tiene un aspecto estriado, lo que significa que tiene bandas oscuras y claras alternadas que son visibles si se examina al microscopio. El músculo esquelético tiene tendones que se adhieren principalmente al hueso, por lo tanto, la función principal de este tipo de músculo es mover el esqueleto.
- El músculo cardíaco (o del corazón) también es estriado, pero está bajo control involuntario, por lo tanto, se contrae sin que tengas que pensar en ello conscientemente.
- El músculo liso recubre las paredes de los vasos sanguíneos y órganos huecos como El estómago y los intestinos. También es involuntario, pero no tiene un aspecto estriado como el músculo esquelético y cardíaco.

El músculo tiene cuatro funciones principales.

- El movimiento se produce a través de la interacción de los huesos, los músculos esqueléticos y Articulaciones. Cuando los músculos esqueléticos se contraen, ejercen fuerzas sobre los tendones, que a su vez tiran de los huesos y provocan el movimiento de las articulaciones.



▲ Figura 1 Músculo esquelético visto bajo un microscopio electrónico de barrido (SEM)

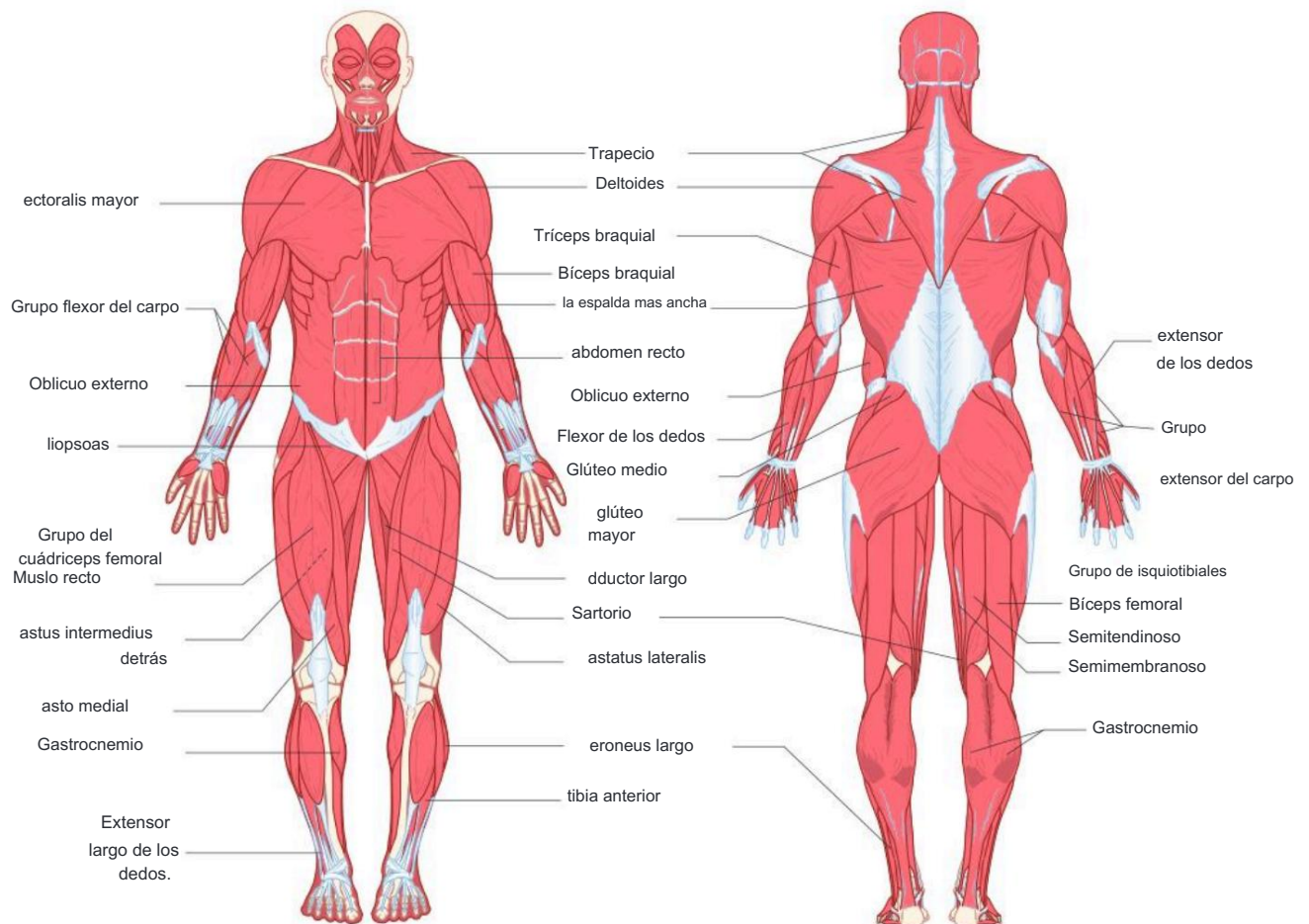
- Los músculos también mueven sustancias dentro del cuerpo. Por ejemplo, los músculos lisos ayudan a mover los alimentos a través del tracto gastrointestinal, el músculo cardíaco bombea sangre a todos los tejidos del cuerpo y el músculo esquelético ayuda a que la sangre venosa regrese al corazón.
- Cuando los músculos posturales se contraen, ayudan a estabilizar y mantener el cuerpo.
Posiciones. Por ejemplo, los músculos posteriores del cuello se contraen para mantener la cabeza en posición vertical, de lo contrario caería hacia adelante. Por lo tanto, los músculos pueden estar activos incluso si parece que no hay movimiento en la articulación.
- Cuando los músculos se contraen voluntaria o involuntariamente (como ocurre con los escalofríos), Pueden generar hasta el 85% del calor corporal.

En este capítulo, el enfoque principal se centra en los músculos esqueléticos más grandes que son importantes para el movimiento de las articulaciones.

Propiedades del tejido muscular

Las propiedades del músculo incluyen contractilidad, extensibilidad y elasticidad.

- La contractilidad es la capacidad del músculo de contraerse y generar fuerza cuando es estimulado por un nervio. El tejido muscular es el único tejido del cuerpo que tiene esta propiedad. Los músculos suelen estar dispuestos en pares, de modo que cuando un músculo se contrae o se acorta, el músculo opuesto se estira.
- La extensibilidad es la capacidad del músculo de estirarse más allá de su longitud de reposo normal.
- La elasticidad es la capacidad del músculo para volver a su longitud de reposo original después del Se elimina el estiramiento.



▲ Figura 2 El sistema muscular

Para ilustrar esto, piense en lo que sucede cuando usted levanta un vaso para beber un poco de agua.

Primero, un nervio envía una señal al músculo de la parte delantera del brazo (bíceps braquial) indicándole que se contraiga. El músculo se acorta utilizando la propiedad de contractilidad.

Al doblar el codo, el músculo de la parte posterior del brazo (tríceps braquial) se estira y se alarga, demostrando así la propiedad de extensibilidad. Cuando se baja el brazo nuevamente, el tríceps vuelve a su longitud original debido a la elasticidad.

Una fibra muscular promedio puede acortarse hasta aproximadamente el 50% de su longitud de reposo original y estirarse hasta aproximadamente el 150% de su longitud de reposo original.

Función neuromuscular

Como se explicó en el capítulo A.1.1, el sistema nervioso está formado por millones de fibras nerviosas, todas ellas portadoras de señales eléctricas diminutas. El sistema nervioso central (SNC) está formado por el cerebro y la médula espinal y es donde se lleva a cabo la mayor parte de la detección y el control. El sistema nervioso periférico es la disposición de los nervios que se extienden desde la columna vertebral hasta las extremidades y otras partes del cuerpo.

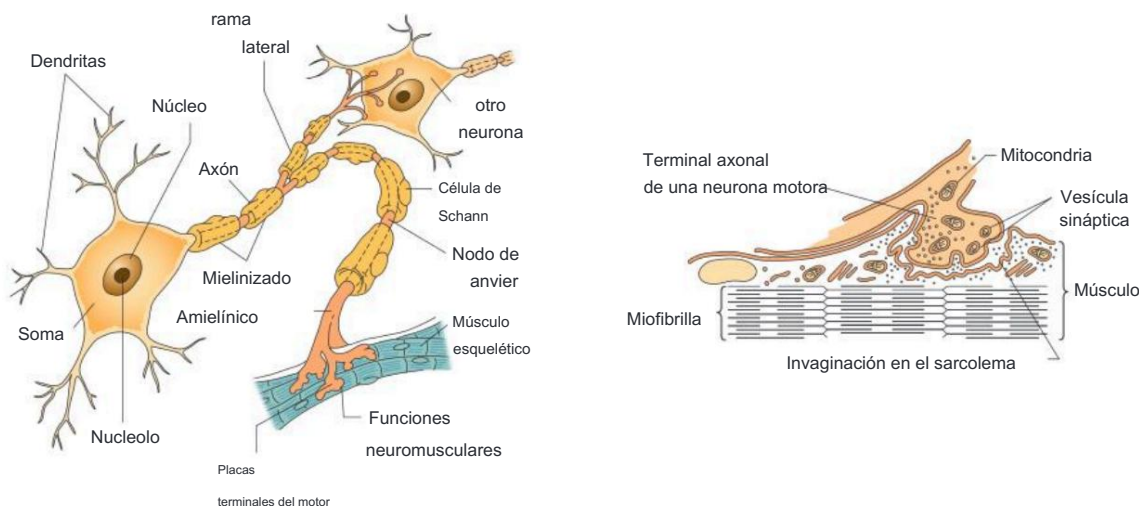
Las neuronas motoras son los nervios que llevan información desde el sistema nervioso central hasta los músculos y que les indican que se contraigan o se relajen. Hay alrededor de 200.000 neuronas motoras en el cuerpo humano y se las suele llamar sistema eferente.

Las células nerviosas del cerebro envían impulsos eléctricos a los músculos para permitir contracciones musculares coordinadas.

Moléculas como el trifosfato de adenosina (ATP) y la fosfocreatina (PCr) proporcionan la energía necesaria para impulsar la contracción muscular. El ATP es la principal "moneda" energética de las células vivas. El ATP se utiliza para transferir la energía química necesaria para las reacciones metabólicas. Estructuralmente, el ATP consta de tres grupos de fosfato unidos a una unidad de adenosina. Consulte el capítulo A.2.3 para obtener más información sobre cómo el cuerpo produce energía utilizando ATP.

Estructura de las neuronas

La neurona está formada por varios componentes que tienen diferentes funciones en la transmisión de señales nerviosas. La estructura de una neurona motora se muestra en la Figura 3.



▲ Figura 3 Estructura de una neurona motora

El soma, o cuerpo celular, se encuentra dentro de la médula espinal o en grupos fuera de ella llamados ganglios. Las dendritas conectan la neurona con otras neuronas y permiten que la información fluya entre diferentes nervios. El axón es el componente principal de la transmisión de señales nerviosas. Es similar a un cable eléctrico y tiene una cubierta hecha de mielina, una proteína que garantiza que la señal eléctrica esté aislada de los tejidos circundantes. La cubierta de mielina tiene huecos llamados nódulos de Ranvier, que ayudan a la transmisión de la información.

En el extremo de la neurona, donde se une a la célula muscular, el axón no está mielinizado.

La neurona se une a la fibra muscular en la unión neuromuscular o placa motora terminal, y en realidad existe un espacio entre la neurona y la fibra muscular llamado sinapsis, a través del cual la transmisión de la señal nerviosa eléctrica estimula el músculo.

Unidades motoras

El músculo se organiza en unidades motoras. Una unidad motora es una neurona motora individual y las fibras musculares que inerva. El número de fibras musculares por neurona motora puede ser tan alto como 2000 (por ejemplo, en el glúteo mayor en la parte posterior de la cadera) o tan pequeño como 10 (por ejemplo, en el ojo). Una gran cantidad de fibras musculares por neurona motora permite que una sola neurona motora haga que el músculo genere grandes fuerzas; una pequeña cantidad de fibras musculares por neurona motora proporciona pequeñas fuerzas pero gran precisión. La cantidad de fibras musculares estimuladas por una neurona motora se denomina relación de innervación.

Cuando la unidad motora está innervada por la neurona motora, todas sus fibras musculares se contraen a la vez. Esto se denomina principio de todo o nada: todas las fibras musculares unidas a una neurona motora están relajadas o contraídas.

Tipos de unidad motora

Hay tres tipos de unidad motora, que varían en el tipo de fibra muscular, así como en el tamaño.

- Las unidades motoras de tipo I están formadas principalmente por fibras musculares de tipo I (contracción lenta) y tienen velocidades de transmisión nerviosa bastante lentas y fuerzas musculares pequeñas. Sin embargo, pueden mantener contracciones durante mucho tiempo, ya que son resistentes a la fatiga.
- Las unidades motoras de tipo IIa están formadas principalmente por fibras musculares de tipo IIa (contracción rápida), tienen tiempos de transmisión neuronal rápidos y fuerzas de contracción más fuertes, y también son resistentes a la fatiga.
- Las unidades motoras de tipo IIx también consisten principalmente en músculos de tipo IIa (de contracción rápida) pero con fibras de tipo IIx. Generan los tiempos de contracción más rápidos y las mayores fuerzas, pero se fatigan a un ritmo elevado y, por lo tanto, no pueden mantener las contracciones durante un largo período de tiempo.

Por lo tanto, las unidades motoras de tipo I serían útiles para actividades que requieren fuerzas pequeñas durante un período prolongado, como caminar o trotar. Las unidades motoras de tipo IIa serían más apropiadas para actividades que requieren fuerzas mayores pero que se llevan a cabo durante un período prolongado, como nadar y andar en bicicleta. Las unidades motoras de tipo IIx producen fuerzas muy grandes muy rápidamente, por lo que serían fundamentales para correr, saltar, lanzar y levantar pesas.

Unidades de investigación

Realizar una investigación para determinar si las unidades motoras de tipo I tienen un diámetro neuronal mayor o menor que las unidades motoras de tipo II.

Unidades motoras, tipo de fibra muscular y ejercicio

No todas las fibras musculares son iguales. En promedio, la mayoría de los músculos están compuestos por aproximadamente un 50 % de fibras de tipo I, un 25 % de fibras de tipo IIa y un 25 % de fibras de tipo IIx. Sin embargo, el porcentaje exacto de cada uno de estos tipos de fibras varía mucho en los distintos músculos y entre individuos.

En general, las fibras musculares tipo I tienen un alto nivel de resistencia aeróbica y son muy eficientes en la producción de ATP a partir de (la oxidación de) carbohidratos y grasas.

Se necesita ATP para proporcionar energía para la contracción (y relajación) de la fibra muscular.

A los tipos de fibra muscular de contracción lenta y de contracción rápida se los suele denominar con los términos alternativos de tipos de fibra resistente a la fatiga (FR) y de fatiga rápida (FF), respectivamente, debido a sus propiedades.

¿Alguna vez has visto cómo una manzana se vuelve marrón al dejarla a la intemperie durante un tiempo? Ese es un ejemplo de oxidación. El oxígeno del aire reacciona con ciertos compuestos de la manzana y hace que cambie de color. En términos simples, la oxidación es un proceso en el que ciertas cosas se combinan o reaccionan con el oxígeno.

Mientras se produzca la oxidación, las fibras musculares tipo I seguirán produciendo ATP.

Por el contrario, las fibras musculares de tipo II tienen una resistencia aeróbica relativamente pobre en comparación con las de tipo I. Son mejores en el rendimiento anaeróbico (sin oxígeno). En ausencia de oxígeno adecuado, el ATP se forma a través de vías de energía anaeróbica. Las unidades motoras de tipo IIa generan más fuerza que las de tipo I, pero se fatigan más fácilmente. Las fibras musculares de tipo IIa se utilizan durante eventos de resistencia más cortos y de alta intensidad, como la carrera de 1500 m o la natación de estilo libre de 400 m.

Las fibras musculares de tipo IIx se utilizan predominantemente en eventos altamente explosivos, como la carrera de velocidad de 100 m y la natación de velocidad de 50 m.

Unidades de investigación

El tipo de fibra del músculo esquelético se clasifica según la velocidad contráctil como de contracción lenta (tipo I) o de contracción rápida (tipo II). Las fibras de contracción rápida se pueden diferenciar además en fibras intermedias (tipo IIa) y fibras glucolíticas rápidas (tipo IIx). En cuanto al nivel de rendimiento, los atletas de élite (velocidad o resistencia) poseen un mayor predominio de un tipo de fibra (más fibras de tipo II o I, respectivamente) en comparación con sus homólogos de sub-élite. Los atletas con una mayor proporción de fibras de tipo II tienen más probabilidades de tener éxito en pruebas de velocidad (como el ciclismo de velocidad en pista) y pruebas de tipo potencia (como el levantamiento olímpico de "arranque"), o movimientos cíclicos que requieren alta frecuencia (como la carrera de velocidad de 200 m en pista). Por el contrario, los atletas con más fibras de tipo I tienen más probabilidades de tener un mayor éxito en pruebas de tipo resistencia como la carrera de maratón.

Realice una investigación para responder las siguientes preguntas.

En deportistas bien entrenados:

- ¿Existe una capacidad de fuerza máxima similar entre diferentes tipos de fibras musculares?
- ¿Existen diferencias en el número de mitocondrias en los diferentes tipos de fibras musculares?
- ¿Los tipos de fibra muscular difieren con respecto al contenido de mioglobina?
- ¿Los tipos de fibra muscular difieren con respecto a la densidad capilar?

El principio del reclutamiento ordenado

Cuando se activa una unidad motora, todas las fibras musculares de la unidad motora se contraen para desarrollar fuerza. La activación de más unidades motoras es la forma en que los músculos producen más fuerza. Por el contrario, cuando se necesita poca fuerza, solo se reclutan unas pocas unidades motoras. Tanto las unidades motoras de tipo IIa como las de tipo IIx contienen más fibras musculares que las de tipo I. Cuando haces ejercicio o practicas deporte, a medida que aumenta la intensidad de la actividad, la contracción del músculo esquelético implica el reclutamiento progresivo de unidades motoras de tipo I, seguidas de las de tipo II, y el número de fibras musculares reclutadas aumenta en el siguiente orden: tipo I tipo IIa tipo IIx.

Esto se conoce como el principio de reclutamiento ordenado. Este orden de reclutamiento de las unidades motoras está directamente relacionado con el tamaño de su neurona motora, siendo las neuronas motoras más pequeñas las que se reclutan primero.

Hipertrofia, atrofia y patrones de reclutamiento de unidades motoras

La hipertrofia es un aumento del tamaño o la masa de un órgano o tejido corporal. La hipertrofia de las fibras es un aumento del tamaño de las fibras musculares existentes. Entonces, ¿cómo aumenta el tamaño de un músculo? Hay dos tipos de hipertrofia muscular: transitoria y crónica. Durante e inmediatamente después de una única sesión de ejercicio, se desarrolla una hipertrofia transitoria (que dura solo un corto tiempo), principalmente por la acumulación de líquido en el músculo. El líquido proviene del plasma sanguíneo y regresa a la sangre en unas pocas horas.

La hipertrofia crónica es el aumento del tamaño muscular que se produce con el entrenamiento de resistencia a largo plazo. Con la hipertrofia crónica se producen cambios estructurales en el músculo que resultan de un aumento del tamaño de las fibras musculares individuales existentes (hipertrofia de las fibras), o un aumento del número de fibras musculares (hiperplasia de las fibras), o de ambos. Es bien sabido que el entrenamiento de resistencia promueve el aumento de la fuerza y la masa muscular, o la producción de fuerza máxima, y que estos resultados son consecuencia de adaptaciones neurales y musculoesqueléticas, que dan lugar a una mayor activación voluntaria del músculo (el cerebro envía señales más fuertes y potentes a los músculos, diciéndoles que trabajen más duro). Las investigaciones (Alix-Gages et al., 2022) han demostrado que las ganancias tempranas de fuerza muscular de un programa de entrenamiento de resistencia a largo plazo se deben a cambios en el patrón por el cual los nervios activan las fibras musculares: los factores neuronales (mayor reclutamiento de unidades motoras y/o tasa de reclutamiento de unidades motoras) contribuyen más a las ganancias de fuerza durante las primeras 8 a 10 semanas de entrenamiento, y la hipertrofia de las fibras musculares se convierte en un contribuyente importante después de aproximadamente 10 semanas de entrenamiento (Kenney et al., 2021).

La atrofia es la pérdida de tamaño o masa del tejido corporal, como la atrofia muscular por desuso. Las investigaciones han demostrado que los músculos que no se utilizan durante semanas o meses

Los músculos comienzan a disminuir de tamaño y existe una asociación entre la pérdida de tamaño muscular y la pérdida de fuerza muscular (Bickel et al., 2011). Los músculos pueden volverse inactivos a través de la inmovilización (por ejemplo, una pierna rota con un yeso) o cuando las personas dejan de entrenar. El efecto de atrofia muscular parece ser mayor en las fibras musculares de tipo I. La buena noticia es que los músculos se recuperan cuando se reanuda la actividad y/o el entrenamiento. Sin embargo, el período de recuperación después de la inmovilización es sustancialmente más largo que el período de inmovilización en sí.

Reflexiones de pensamiento

Los atletas de muchos deportes (como el judo) utilizan la hipertrofia del músculo esquelético para mejorar el rendimiento. Además, una mayor masa muscular se ha asociado con una mejor salud. La hipertrofia del músculo esquelético va acompañada de un aumento de la abundancia de minerales, proteínas o sustratos (Sedlmeier et al., 2021). Piense en el sustrato como el "combustible" o los "bloques constructores" para el crecimiento muscular: los nutrientes, como las proteínas, son el combustible necesario para el crecimiento muscular. Con el entrenamiento de resistencia también hay un aumento de la hipertrofia del tejido conectivo.

Reflexiones de investigación

¿Qué sucede con la masa y la fuerza muscular durante un vuelo espacial prolongado en el que los astronautas se encuentran en un entorno donde...
¿Las fuerzas gravitacionales son considerablemente menores que las de la Tierra?

Tipos de contracción muscular

Cuando los músculos se contraen, sus extremos se dirigen hacia el centro del cuerpo. Sin embargo, los músculos pueden mover los segmentos corporales al variar la fuerza de contracción y la posición de la línea de acción del músculo en relación con la articulación.

Contracción muscular isométrica

Una contracción isométrica es otro nombre para una contracción muscular estática (sin movimiento). Piense en una lucha de brazos en la que la contienda permanece estática.

Contracción muscular concéntrica isotónica

Cuando los músculos se contraen a una velocidad controlada por el deportista se denomina isotónico.

Cuando un músculo crea movimiento acortando su longitud, esto se denomina contracción muscular concéntrica isotónica.

Contracción muscular excéntrica isotónica

Los músculos pueden ejercer fuerza incluso mientras se alargan. Una contracción excéntrica es cualquier acción muscular en la que el músculo se alarga. Una contracción excéntrica isotónica es cuando el músculo se contrae, pero el efecto de la fuerza muscular es menor que el de la resistencia: los extremos de los músculos en realidad se separan más, aunque el músculo todavía se esté contrayendo, por ejemplo, al hacer ejercicio pliométrico, como saltar con los dos pies sobre vallas colocadas muy cerca sin detenerse, o saltar sobre y desde una caja baja y volver a saltar inmediatamente al caer.

Movimiento isocinético

El movimiento isocinético es cuando un músculo se contrae de manera que el segmento corporal al que está unido se mueve a una velocidad constante alrededor de la articulación. Este tipo de movimiento es muy poco común en el deporte y el ejercicio (la mayoría de los movimientos tienen una fase de aceleración y una fase de desaceleración) y, por lo general, requiere un equipo complejo para garantizar que la velocidad de rotación del segmento sea constante. Este tipo de movimiento (regulado por el equipo) es útil en la rehabilitación cuando un terapeuta quiere asegurarse de que la velocidad de una extremidad no sea excesiva. Sin embargo, al igual que en las contracciones isotónicas, solo porque el segmento corporal se mueve a una velocidad de rotación constante, no se puede asumir que el músculo se está contrayendo a una velocidad constante debido a los diferentes ángulos de tracción a través del ROM.

La última forma en que un músculo puede afectar el movimiento de un segmento es relajándose.

La fuerza de contracción muscular es cero. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que aún puede haber cierta resistencia al movimiento (especialmente si el músculo se mueve más allá de su longitud relajada) debido a la extensibilidad y elasticidad residuales del músculo y el tendón.



▲ Figura 4 Contracción excéntrica isotónica

Puntos clave

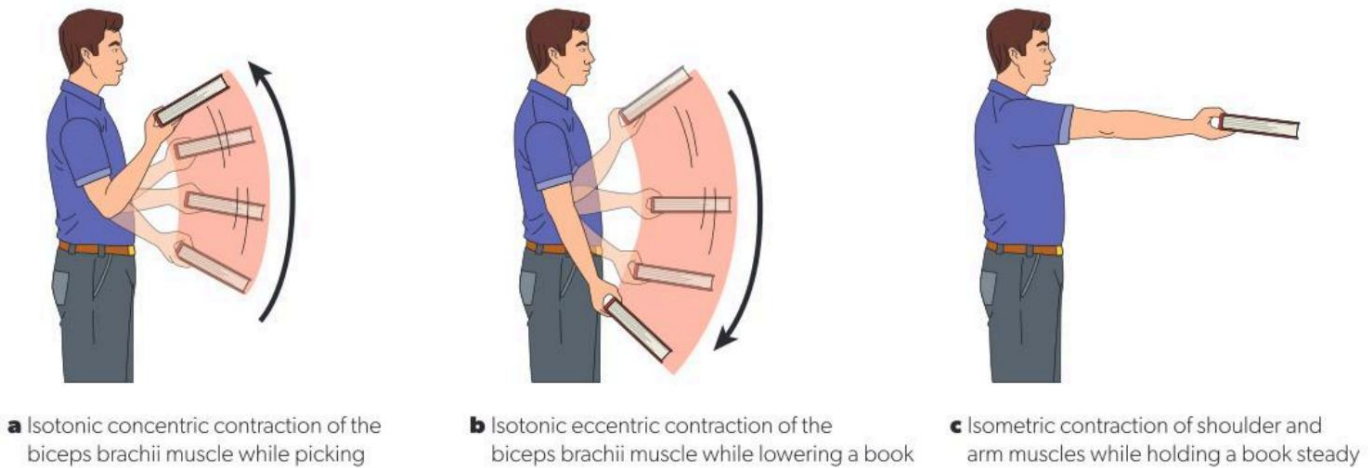
Músculo concéntrico isotónico

Contracción: el músculo se acorta al generar fuerza contra una resistencia. La fuerza generada por el músculo es mayor que la fuerza opuesta o resistencia, como en el caso de una flexión de bíceps.

Músculo excéntrico isotónico

Contracción: el músculo se alarga mientras genera fuerza contra una resistencia. La fuerza generada por el músculo es menor que la fuerza opuesta o resistencia, como cuando bajas lentamente la mancuerna de manera controlada durante un curl de bíceps.

Función muscular

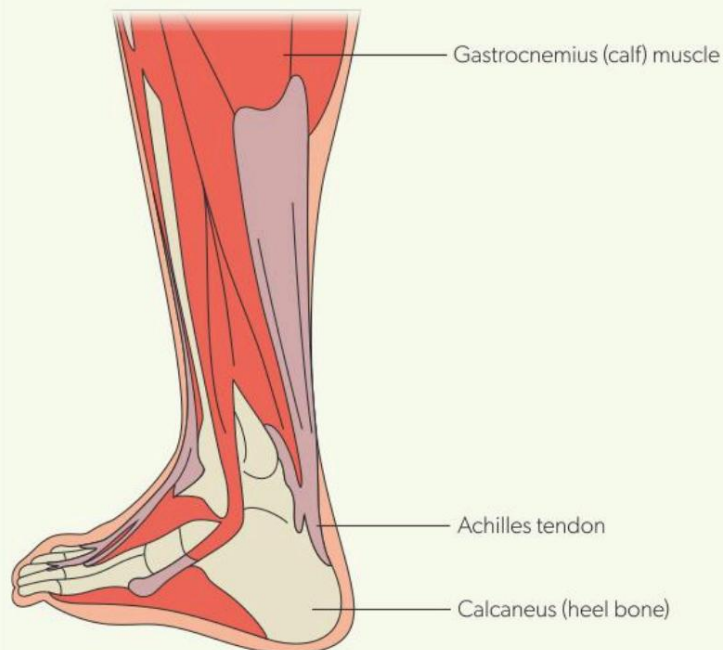


▲ Figura 5 Tipos de contracción muscular al levantar y bajar un libro

El tendón de Aquiles

Un tendón es un tejido conectivo que une el músculo al hueso y transmite la fuerza del músculo (que se contrae) al hueso. Los tendones deben ser lo suficientemente fuertes como para transmitir fuerza al hueso y ser capaces de almacenar y liberar energía elástica. Por lo tanto, los músculos están unidos a los tendones, que pasan por encima de las articulaciones y tiran para crear movimiento. Los tendones varían en longitud y estructura. El tendón de Aquiles del músculo gastrocnemio (pantorrilla) une el músculo al calcáneo (hueso del talón), como se muestra en la

Figura 6 a continuación. El tendón de Aquiles es el tendón más grueso, fuerte y grande del cuerpo humano, pero a pesar de su tamaño y fuerza, es el tendón que se lesiona con más frecuencia en el cuerpo humano. Las roturas del tendón de Aquiles tardan mucho tiempo en repararse y, a veces, dejan limitaciones funcionales a largo plazo. Varios atletas profesionales, incluido el gran jugador de baloncesto Shaquille O'Neal, se han retirado antes de tiempo debido a una rotura del tendón de Aquiles.



▲ Figura 6 El tendón de Aquiles conecta el músculo gastrocnemio al calcáneo.

Condiciones de pensamiento

Contracción excéntrica y dolor muscular.

El dolor muscular puede deberse a diversos factores, pero uno de los más comunes es el daño subcelular (y la inflamación asociada) que se hace evidente uno o dos días después del ejercicio. Esto se denomina dolor muscular de aparición tardía (DOMS) y parece estar relacionado con el ejercicio que incluye grandes cantidades de ejercicio excéntrico (por ejemplo, correr cuesta abajo, en el que los músculos cuádriceps se contraen excéntricamente en la rodilla para controlar el peso corporal). La ruptura mecánica de los enlaces actina-miosina que se produce en la contracción excéntrica combinada con las grandes fuerzas musculares que se pueden producir en este tipo de ejercicio da como resultado varios cambios bioquímicos y mecánicos en el músculo.

Estos síntomas provocan inflamación, rigidez y dolor que alcanzan su punto máximo entre 24 y 48 horas después del ejercicio, aunque pueden durar hasta 10 días. El daño muscular se puede controlar examinando los niveles de creatina quinasa, una enzima que participa en la descomposición y síntesis de proteínas musculares. El método más eficaz para tratar las DOMS es el ejercicio ligero, aunque algunos estudios han sugerido que los medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE), los masajes o los baños de hielo pueden ayudar.

¿Alguna vez has experimentado DOMS después de un ejercicio intenso? Piense en la actividad que causó esto, qué músculos estaba usando y cómo los estaba usando.

Papel del músculo en los movimientos articulares

Los músculos se utilizan de distintas maneras cuando se mueven las articulaciones. Estas funciones dependen del movimiento deseado, el tipo de músculo utilizado, la posición de los músculos en relación con la articulación y el tipo de contracción.

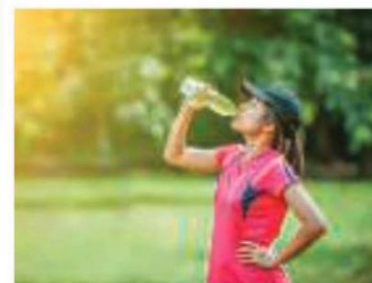
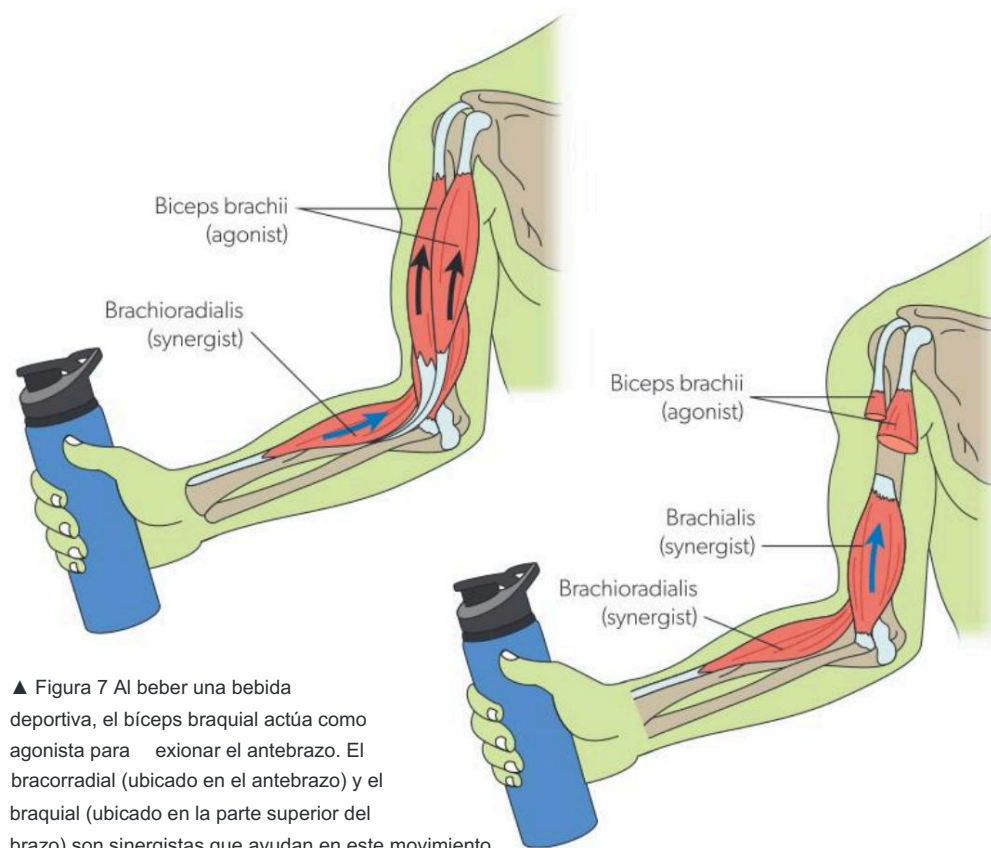
- **Agonista (motor).** En esta función, el músculo se contrae de forma concéntrica para mover el hueso en relación con la articulación. El músculo se acorta y el par muscular es mayor que cualquier par de resistencia. Existen diferentes niveles de agonista: principal, auxiliar o de emergencia. Por ejemplo, al levantar un peso (flexión del codo) durante un curl de bíceps, el motor principal o agonista sería el bíceps braquial (el músculo grande en la superficie anterior del brazo superior), y los motores auxiliares serían el braquial (un músculo más pequeño en la superficie anterior del codo) y el braquiorradial (el músculo que va desde arriba del codo hasta la muñeca en la superficie anterior del antebrazo).
- **Antagonista.** Si un músculo se contrae excéntricamente, a menudo actúa como un Antagonista de la acción articular. Esto significa que actúa en la dirección opuesta a su función concéntrica habitual y se alarga aunque se esté contrayendo, por ejemplo, al bajar el peso durante el curl de bíceps (extensión del codo), el bíceps braquial y los otros dos músculos actúan como antagonistas para frenar el descenso (si los músculos se relajaran, el peso simplemente caería debido a la gravedad). Tenga en cuenta que el tríceps braquial (el músculo de la superficie posterior del brazo) no se contrae en esta acción; esto simplemente "arrojaría" el peso al suelo ya que el codo se extendería activamente a gran velocidad, en lugar de hacerlo bajo control.
- **Fijador (estabilizador).** Cuando los músculos se contraen, ambos extremos son atraídos hacia el centro del músculo. Sin embargo, si solo se requiere un extremo del músculo para mover un segmento corporal, entonces el segmento corporal al que está unido el otro extremo del músculo (generalmente el otro segmento de la articulación) debe mantenerse estacionario. Por lo tanto, esto requerirá que al menos otro músculo se contraiga (generalmente de manera isométrica) para evitar que este segmento se mueva de modo que el agonista pueda mover el segmento deseado. Estos otros músculos se denominan fijadores o estabilizadores y son muy importantes. Esta es una de las ideas principales detrás del principio de estabilidad central: los músculos del núcleo deben ser fuertes para que puedan mantener estable el tronco del cuerpo mientras los agonistas o antagonistas mueven las extremidades.

- Sinergista (neutralizador). La mayoría de los músculos tienen más de una acción en una articulación. Por ejemplo, cuando el bíceps braquial se contrae, no solo flexiona la articulación del codo sino que también supina la articulación radiocubital. Por lo tanto, si no se requieren estas acciones adicionales, se deben utilizar otros músculos para evitarlas. Estos músculos se denominan sinergistas o neutralizadores y se contraen (generalmente de forma isométrica) para evitar acciones no deseadas de los agonistas o antagonistas. En el ejemplo anterior, se utilizarían uno o ambos músculos pronadores si no se deseara la supinación cuando el bíceps braquial se contrae.

Es importante evaluar qué tipo de contracción experimentan los músculos (en particular los agonistas) durante un movimiento. En general, si una extremidad se mueve en la dirección opuesta a una fuerza de resistencia, como la gravedad, los agonistas experimentan una contracción concéntrica isotónica. Sin embargo, si una extremidad se mueve en la misma dirección que la fuerza de resistencia (pero bajo control), los antagonistas realizan una contracción excéntrica isotónica. Si no hay movimiento aparente, pero los músculos se contraen, es probable que se esté produciendo una contracción isométrica.

Piense en la flexión de la pierna a la altura de la rodilla mientras se prepara para realizar un tiro en el fútbol. Durante el movimiento inicial, los isquiotibiales se denominarían agonistas y los cuádriceps antagonistas. A medida que la pierna se mueve para que el pie golpee la pelota, los músculos realizan la acción opuesta. Los isquiotibiales se activan y se convierten en antagonistas para frenar o detener el movimiento, y los cuádriceps se convierten en agonistas, ya que son los responsables de producir la extensión de la rodilla para aplicar fuerza a la pelota.

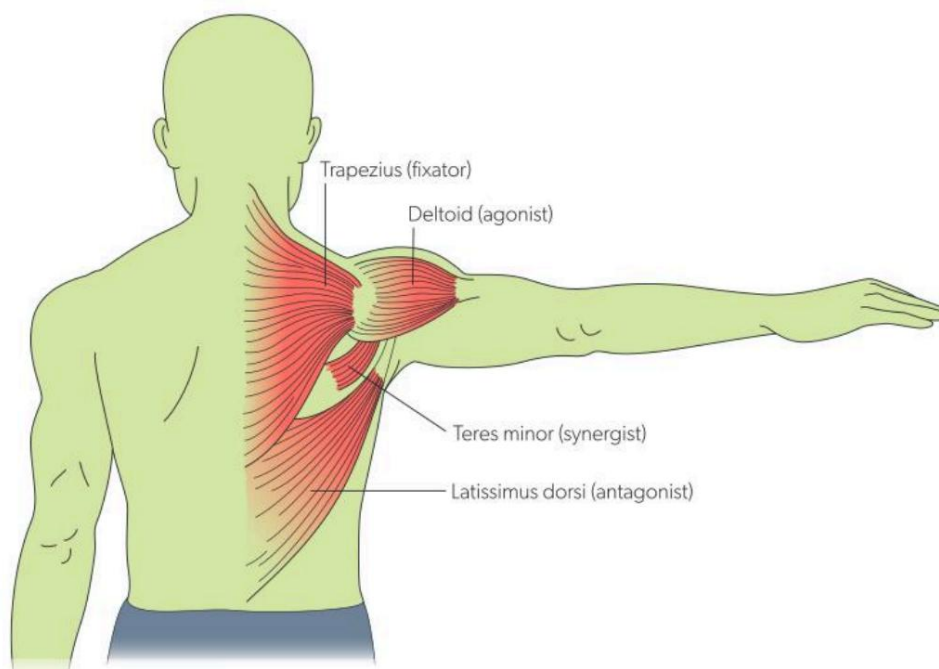
Consideremos ahora la acción de tomar una bebida mientras se corre una maratón, como se muestra en la Figura 7.



▲ Figura 7 Al beber una bebida deportiva, el bíceps braquial actúa como agonista para flexionar el antebrazo. El braquiorradial (ubicado en el antebrazo) y el braquial (ubicado en la parte superior del brazo) son sinergistas que ayudan en este movimiento.

Los músculos desempeñan diversas funciones en el movimiento. Por ejemplo, pensemos en una gimnasta que realiza una abducción de brazos en una competición de anillas.

- El deltoides es el agonista ya que es responsable del movimiento de abducción.
- El dorsal ancho es el antagonista ya que resiste la abducción.
- El trapecio es uno de los músculos fijadores ya que mantiene la escápula en su lugar.
- El teres menor actúa como sinergista ya que se contrae para eliminar cualquier acción articular no deseada de otro músculo.



▲ Figura 8 Los roles de los músculos durante el desempeño de una gimnasta en las anillas

En resumen, el músculo responsable principal de un movimiento se denomina agonista, y los músculos que ayudan en esta acción se denominan sinergistas. Un sinergista que hace que el sitio de inserción sea más estable se denomina fijador. Un músculo con la acción opuesta al motor principal se denomina antagonista. Los antagonistas deben relajarse para permitir que se produzca un movimiento, o contraerse al mismo tiempo que los agonistas para controlar o ralentizar un movimiento (articular).

Inhibición recíproca

Cuando un agonista se contrae para mover un segmento corporal, es habitual que el antagonista (el músculo con la acción de contracción concéntrica opuesta) se relaje. Esto significa que el agonista no se enfrenta a ninguna torsión muscular que actúe en la dirección opuesta a la del movimiento. Este reflejo se denomina inhibición recíproca y es una acción automática controlada por neuronas. Cuando se estimula la neurona motora agonista, se inhibe la neurona motora del antagonista, lo que evita que se contraiga con fuerza. Durante el deporte y el ejercicio, estas señales son muy importantes para garantizar la máxima torsión alrededor de las articulaciones cuando los músculos agonistas se contraen.

Es un error común pensar que cuando los músculos agonistas se contraen de forma concéntrica, los músculos antagonistas se contraen de forma excéntrica.

Términos clave

Inserción El final de un esqueleto. músculo que se adhiere al hueso siendo tirado.

Origen El extremo del músculo unido a un hueso fijo.

Agonista Músculo cuya contracción es responsable de producir un movimiento.

Antagonista Músculo que se opone a la acción de un agonista.

Sinergista Músculo cuya contracción ayuda a un agonista en una acción.

Fijador Músculo que ayuda a un agonista al impedir o reducir el movimiento en otra articulación.

Si se realizan movimientos de flexión de bíceps, esto sería contraproducente, ya que los músculos antagonistas estarían produciendo un par de torsión en la dirección opuesta al movimiento, lo que reduciría el par de torsión neto alrededor de la articulación. Por ejemplo, durante la fase ascendente de un curl de bíceps, el músculo bíceps braquial se contrae de forma concéntrica y el tríceps braquial (el músculo antagonista) se relaja. Durante la fase descendente (si es lenta y controlada), el músculo bíceps braquial se contrae de forma excéntrica y el tríceps braquial sigue relajado.

Sin embargo, en ocasiones es necesario que tanto el agonista como el antagonista se contraigan al mismo tiempo (por ejemplo, para controlar el equilibrio o para que una articulación se “rigidice” al aprender una tarea). Esto se denomina coactivación y, en este caso, la inhibición recíproca es anulada por el sistema nervioso voluntario.



Reflexiones de pensamiento

Los movimientos suelen ser el resultado de varios músculos esqueléticos que actúan como un grupo en lugar de hacerlo de forma individual. La mayoría de los músculos esqueléticos están dispuestos en pares opuestos (antagónicos) en las articulaciones.

Por ejemplo:

- flexores ↔ extensores
- abductores ↔ aductores.

En pares opuestos de músculos, un músculo, llamado motor principal o agonista, se contrae para provocar una acción mientras que el otro músculo, el antagonista (anti = contra), se estira y cede a los efectos del agonista. Con un par opuesto de músculos, los papeles del agonista y el antagonista pueden intercambiarse para diferentes movimientos. Por ejemplo, al extender el antebrazo a la altura del codo, el tríceps braquial es el agonista y el bíceps braquial es el antagonista. Sin embargo, los papeles de los dos músculos se invierten durante la flexión del codo.

¿Puedes pensar en otro ejemplo en el que los roles del agonista y el antagonista se invierten?



Pregunta de enlace

¿Cómo afecta la desnutrición a la función muscular? (A.2.2)

Considerar:

- ¿La desnutrición puede ser una ingesta calórica o de nutrientes inadecuada o excesiva?
- ingesta insuficiente de proteínas y fuerza/debilidad muscular
- deficiencia de nutrientes y atrofia muscular
- ingesta inadecuada de carbohidratos y resistencia muscular
- recuperación muscular después del ejercicio
- electrolitos y calambres musculares.



Pregunta de enlace

¿Cómo afectan los diferentes tipos de fibras musculares a nuestra capacidad de ejercer fuerzas en un entorno deportivo? (B.1.4, B.2.1)

Considerar:

- fibras musculares de contracción lenta (tipo I), resistencia a la fatiga y resistencia
- fibras musculares tipo I, velocidad de contracción y potencia
- fibras musculares de contracción rápida (tipo IIa) y resistencia a la fatiga
- fibras musculares tipo IIa, velocidad de contracción, resistencia y potencia • fibras musculares de contracción rápida (tipo IIx), velocidad de contracción, fuerza muscular y poder
- fibras musculares tipo IIx y tiempo hasta la fatiga
- interacción entre fibras musculares de contracción lenta y de contracción rápida
- otros factores, como la técnica, el entrenamiento, la nutrición o la preparación mental.

Mecánica de la contracción muscular

Cuando se observa un músculo bajo el microscopio, se pueden ver miles de fibras musculares cilíndricas y largas dispuestas paralelas entre sí. Al observarlas más de cerca, se revelan estructuras más pequeñas llamadas miofibrillas, que tienen bandas claras y oscuras y le dan al músculo el aspecto estriado que se mencionó anteriormente.

Las miofibrillas contienen filamentos delgados (actina) y filamentos gruesos (miosina). En general, hay dos filamentos delgados por cada filamento grueso. Los filamentos no se extienden por toda la longitud de una fibra muscular, sino que están dispuestos en unidades funcionales llamadas sarcómeros.

Como se mencionó en la introducción del capítulo, cuando se observan al microscopio, los sarcómeros de las fibras musculares aparecen rayados o estriados. Estas estrías cruzadas se deben a la superposición de las proteínas actina y miosina en la fibra muscular. Los filamentos gruesos y delgados se superponen en mayor o menor medida, dependiendo de si el músculo está contraído, relajado o estirado. El detalle de las fibras musculares y los sarcómeros se muestra en la Figura 9.

Términos clave

Miofibrillas Los elementos contráctiles del músculo esquelético.

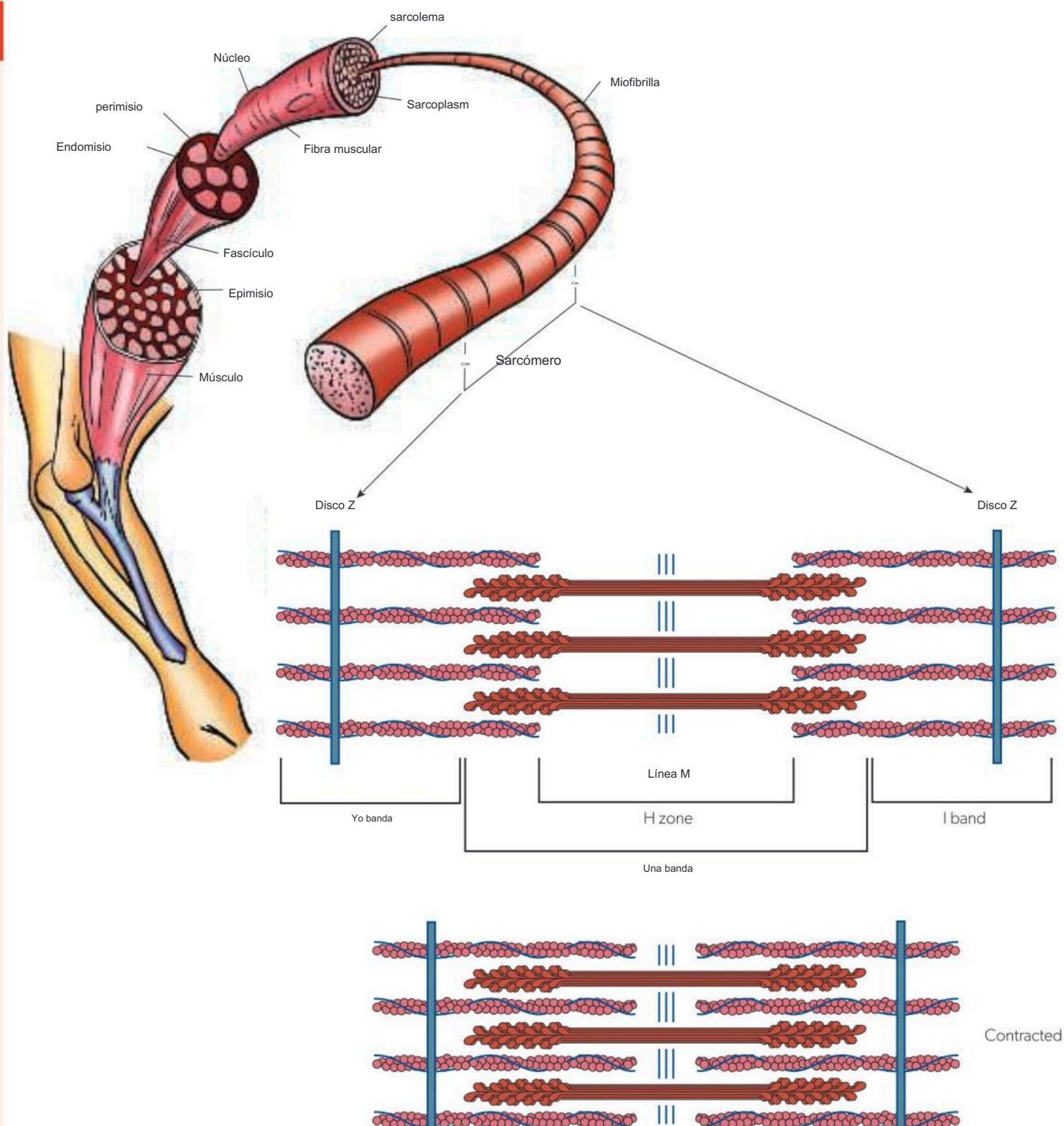
Los discos Z separan un sarcómero del siguiente.

Banda A La parte media del sarcómero que se extiende a lo largo de los filamentos gruesos. Hacia cada extremo de la banda A hay una zona de superposición (tanto de los filamentos gruesos como de los delgados).

Banda I Parte de un sarcómero que contiene filamentos delgados, pero no filamentos gruesos. El disco AZ pasa por el centro de cada banda I.

Zona H Parte de un sarcómero que contiene filamentos gruesos pero no delgados.

Línea M Parte de un sarcómero que consiste en proteínas que mantienen unidos los filamentos gruesos en el centro de la zona H.



▲ Figura 9 Fibra muscular y sarcómeros

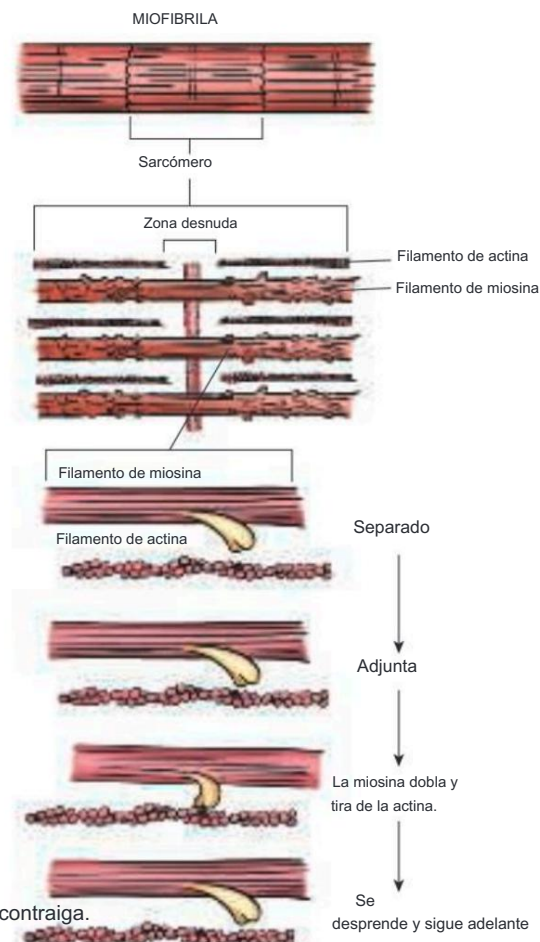
La teoría del lamento deslizante

La contracción muscular comienza con un impulso eléctrico, generado voluntariamente desde el cerebro o por reflejo, que viaja a lo largo de una neurona motora hasta la unión neuromuscular de la unidad motora. En la unión neuromuscular o placa motora terminal, hay un espacio entre el extremo de la neurona y las fibras musculares. Esto se llama sinapsis. Cuando la señal llega a esta sinapsis, se libera una sustancia química llamada acetilcolina. Esto cambia el estado eléctrico del músculo y hace que una señal llamada potencial de acción viaje a lo largo de las fibras musculares.

El potencial de acción viaja a través de las fibras musculares hasta los túbulos T y estimula el retículo sarcoplásmico para que libere iones de calcio (Ca^{2+}). Esto abre los sitios de unión de las moléculas de actina y las cabezas de las moléculas de miosina se mueven hacia estos sitios. Las cabezas de las moléculas de miosina tienen una forma parecida a la de un palo de golf y son los extremos de las cabezas los que se unen a la actina. Unido a la cabeza de miosina se encuentra el ATP químico y este se divide químicamente en difosfato de adenosina (ADP) y fosfato. Al mismo tiempo, la cabeza de la miosina se "dobla", deslizando así la actina un poco en relación con la miosina.

La miosina se libera de la actina y el ATP fresco puede unirse a la cabeza de miosina. Si la señal eléctrica todavía está presente, también habrá calcio fresco disponible y las cabezas de miosina pueden unirse a los siguientes sitios en la actina. De esta manera, la actina ha sido arrastrada en paralelo a la miosina. Esto sucede repetidamente mientras la señal neuronal está activa, por lo que el músculo se contrae por el deslizamiento de la actina en relación con la miosina. Esto se conoce como la teoría del lamento deslizante y fue propuesta por primera vez por Huxley en 1957. Las fibras musculares están formadas por muchos miles de moléculas de actina y miosina, y el deslizamiento de todas ellas hace que el músculo se contraiga.

Cuando el nervio ya no está estimulado, la acetilcolina esterasa elimina la acetilcolina, el calcio regresa al retículo sarcoplásmico y las cabezas de miosina regresan a sus posiciones de reposo lejos de la actina.



▲ Figura 10 El deslizamiento de muchos miles de moléculas de actina y miosina hace que el músculo se contraiga.

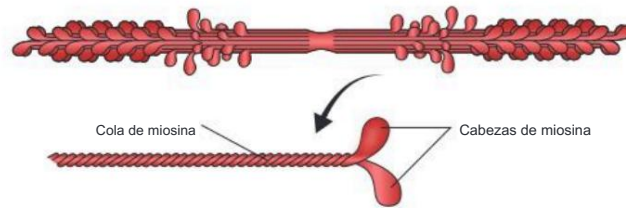
El ciclo del puente cruzado

El ciclo de puentes cruzados (o ciclo de contracción) se refiere a la secuencia repetitiva de eventos moleculares que ocurren entre las cabezas de miosina (puentes cruzados) y los filamentos de actina durante la contracción muscular. Al inicio de la contracción muscular, cuando se activan los puentes cruzados de miosina, se unen a la actina, y la cabeza de miosina se inclina y arrastra el filamento delgado hacia el centro del sarcómero. La inclinación de la cabeza de miosina se llama golpe de potencia. Tirar del filamento delgado más allá del filamento grueso acorta el sarcómero y genera fuerza muscular. Cuando las fibras musculares no se contraen, la cabeza de miosina permanece en contacto con la molécula de actina, pero la unión está bloqueada (por la tropomiosina). Después de que la cabeza de miosina se inclina, se separa inmediatamente y gira de nuevo a su posición original, y se adhiere a un nuevo sitio más adelante a lo largo del filamento de actina. Los repetidos acoplamientos y golpes de fuerza hacen que los lamentos se deslicen unos sobre otros, de ahí la teoría del lamento deslizante.

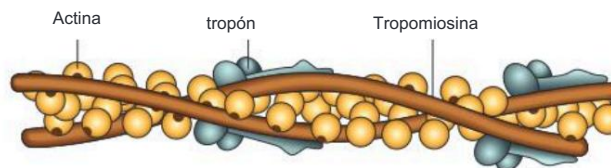
Funciones de la troponina y la tropomiosina

Las colas de miosina forman la superficie del filamento grueso y las cabezas de miosina se proyectan hacia afuera, en dirección a la actina que las rodea. La miosina y la actina generan fuerza durante la contracción muscular. Aunque se los denomina filamentos de actina, cada filamento delgado en realidad está compuesto por tres moléculas de proteína diferentes: actina, tropomiosina y troponina. La tropomiosina y la troponina trabajan juntas junto con los iones de calcio para mantener la relajación o iniciar la contracción del músculo. En estado de reposo, las moléculas de tropomiosina cubren los sitios de unión de la miosina en las moléculas de actina, lo que evita la unión de las cabezas de miosina.

Cuando un impulso nervioso (o potencial de acción) produce la liberación de iones de calcio del retículo sarcoplásmico, estos iones se unen a la troponina en las moléculas de actina. La troponina inicia la contracción moviendo las moléculas de tropomiosina fuera de los sitios de unión de la miosina en las moléculas de actina. Las cabezas de miosina pueden unirse a los sitios de unión de las moléculas de actina, lo que produce la contracción muscular. Por lo tanto, un aumento en la concentración de iones de calcio inicia la contracción muscular, mientras que una disminución la detiene. La compleja secuencia de eventos que desencadena la contracción de una fibra muscular se denomina acoplamiento excitación-contracción porque comienza con la excitación de un nervio motor y produce la contracción de las fibras musculares. La troponina y la tropomiosina ayudan a activar y desactivar la contracción muscular.



(a) Un filamento grueso (arriba) y una molécula de miosina (abajo)



(b) Porción de un filamento

delgado ▲ Figura 11 Detalle de un sarcómero

Preguntas de investigación

Durante el "golpe de potencia", ¿la cabeza de miosina gira hacia o desde el centro del cuerpo? ¿sarcómero?

Control de la fuerza muscular

Cuando se le indica a un músculo que se contraiga, el SNC generalmente controla la fuerza de contracción para que el segmento corporal se mueva adecuadamente. Esto puede requerir una fuerza muy grande (como en los músculos cuádriceps al patear) o una fuerza pequeña (como al escribir). El control de la fuerza muscular puede llevarse a cabo reclutando las unidades motoras de dos maneras.

El principio de tamaño se aplica cuando se reclutan primero las unidades motoras más pequeñas y solo cuando se requieren fuerzas mayores se estimulan las unidades motoras grandes. Sin embargo, en actividades que requieren fuerzas muy grandes, este principio puede no ser efectivo. Por lo tanto, la frecuencia de inervación de la unidad motora también puede variar, y una mayor tasa de activación provoca una mayor fuerza en el músculo. Esto se denomina codificación de frecuencia o tasa de reclutamiento de unidades motoras.



Pregunta de enlace

¿Cómo se puede aplicar el conocimiento de la teoría del lamento deslizante para optimizar la ingesta y el momento de ingesta de nutrientes, para mejorar la función muscular, la recuperación y el rendimiento en atletas e individuos activos?

(A.2.2.1, A.2.2.2)

Considerar:

- aminoácidos, reparación muscular y recuperación post-ejercicio
- Las reservas de glucógeno y el papel del ATP en la potenciación de las contracciones musculares.
- momento de la ingesta de nutrientes
- hidratación, función muscular y rendimiento
- consideraciones sobre micronutrientes (como calcio, magnesio y potasio)
- estrategias de ingesta de nutrientes y tiempos de ingesta según sus objetivos específicos y el tipo de deporte/requerimientos de ejercicio.



Pregunta de enlace

¿Cómo se puede utilizar la tecnología para apoyar nuestra comprensión de los fenómenos microscópicos? (NOS, Herramienta 2)

Considerar:

- microscopios, células, moléculas y estructuras atómicas
- técnicas de imagen y observación de procesos celulares, interacciones proteicas y estructuras subcelulares
- espectroscopia y determinación de la composición química, molecular
Estructuras y comportamiento dinámico de las moléculas
- Tecnologías de secuenciación de ADN y estudio de genes (como la genética de los pacientes que responden y de los que no responden)
- computadoras y simulaciones, observaciones experimentales y teóricas
comprensión y entornos virtuales
- herramientas y algoritmos de análisis de datos analíticos para procesarlos, analizarlos e interpretar grandes datos (como patrones, correlaciones y tendencias de fenómenos microscópicos).

Pregunta de practica

El calcio es necesario para ayudar a la contracción muscular. Explique cómo los músculos de un atleta se contraen rápidamente una vez que los iones de calcio se unen a la troponina. (6 puntos)

Resumen

- Los músculos son estimulados por los nervios para contraerse.
- Se requiere energía para que se produzca la contracción muscular.
- Los músculos están organizados en unidades motoras, cada una de las cuales contiene una neurona junto con los brazos musculares.
- Las unidades motoras tipo I, tipo IIa y tipo IIx tienen diferentes velocidades de contracción, fuerzas de contracción, resistencia a la fatiga y diámetros de neuronas.
- Un impulso nervioso motor que produce una contracción muscular se denomina acoplamiento excitación-contracción.
 - Un potencial de acción hace que se liberen iones de calcio del retículo sarcoplásmico.
 - Los iones de calcio se unen a la troponina.
 - La troponina mueve las moléculas de tropomiosina del sitio de unión de miosina en las moléculas de actina, lo que permite que las cabezas de miosina se unan a ellas.
 - La cabeza de miosina tira del filamento delgado (actina) más allá del filamento grueso (miosina).

Comprueba tu comprensión

Después de leer este capítulo, usted debería poder:

- explicar cómo las fibras musculares y las neuronas motoras se combinan para formar unidades motoras
- describir cómo se inervan las unidades motoras para crear fuerzas musculares
- describir diferentes tipos de contracción muscular
- describir cómo los músculos suelen funcionar en pares
- explicar la teoría del lamento deslizante de la actividad muscular contracción.

Preguntas de autoaprendizaje

1. Resuma y dé ejemplos de cómo se relacionan las ecuaciones concéntricas y excéntricas.
Las contracciones difieren.
2. Describa la relación entre el desarrollo de la fuerza muscular y el reclutamiento de unidades motoras tipo I y tipo II.
3. Distinguir entre las funciones de los tres tipos de músculo.
4. Explique cómo la teoría del lamento deslizante explica la contracción muscular.
5. ¿Cómo contribuyen los iones de calcio y el ATP a la contracción muscular y ¿relajación?

bh



Pregunta basada en datos

Se ha informado que la suplementación con jugo de remolacha (BRJ) mejora la contracción del músculo esquelético. Un estudio (diseño cruzado, aleatorizado y doble ciego) evaluó el efecto de la suplementación con BRJ en la potencia de salida durante las contracciones musculares concéntricas (CON) y excéntricas (ECC) durante una media sentadilla en 18 hombres adultos activos. El grupo experimental (suplementación con BRJ) se comparó con un grupo placebo (sin suplementación con BRJ), y las potencias de salida medias y máximas (\pm DE) se muestran en la Tabla 1.

▼ Tabla 1

	Placebo grupo	Grupo de suplementación con BRJ
Potencia concéntrica media (vatios) 644 (\pm 153)	750 (\pm 173)	
Potencia excéntrica media (vatios) 572 (\pm 131)	684 (\pm 154)	
Potencia concéntrica máxima (vatios) 1.075 (\pm 205)	1.251 (\pm 249)	
Potencia excéntrica máxima (vatios) 1.005 (\pm 176)	1.195 (\pm 265)	

Fuente: Adaptado de Rodríguez-Fernández et al. (2021).

1. Distinga entre contracción muscular excéntrica y concéntrica durante el ejercicio de media sentadilla. (1 punto)
2. Identifique qué grupo y tipo de contracción muscular produjo la mayor potencia máxima. (1 punto)
3. Explique las diferencias encontradas entre la potencia media y la potencia máxima durante la contracción muscular. (3 puntos)