



“La importancia de la forma de las proteínas en la contracción muscular”

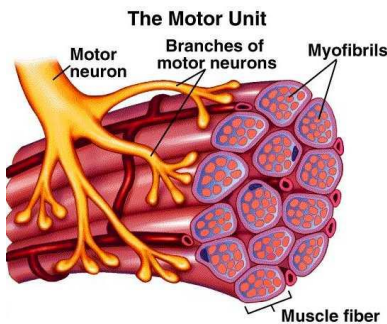
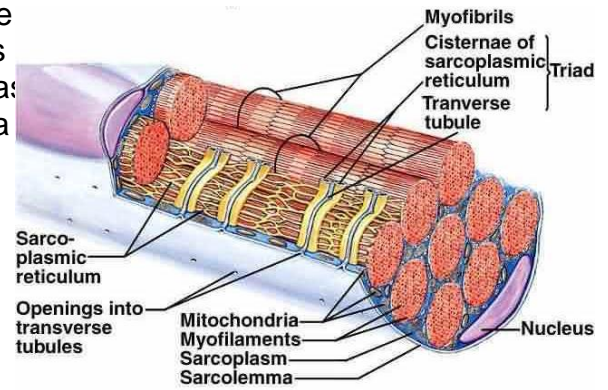
Nombre		curso
		3º Medio ELECTIVO A, B y C
contenidos	habilidades	objetivo
U2. Estudiando la versatilidad de las proteínas	Describir Analizar Investigar Usar modelos	A 5. Explicar las relaciones entre estructuras y funciones de proteínas en procesos como la actividad enzimática, flujo de iones a través de membranas y cambios conformacionales en procesos de motilidad celular y contracción muscular.

Antecedentes

Prof. G.Toledo C.

Estructura de la célula muscular

Las células musculares están especializadas para contraerse. Un músculo individual es, en realidad, un paquete de cientos a miles de fibras que son largas células musculares cilíndricas. La membrana celular de las células musculares se denomina sarcolema; el citoplasma es el sarcoplasma y el retículo endoplásmico está modificado y se le denomina retículo sarcoplásmico (RS). Los canales desde el sarcolema hacia el sarcoplasma y al RS se llaman túbulos transversales (T). Los túbulos T permiten que los impulsos eléctricos de las neuronas motoras se canalicen directamente al RS, lo que hace que libere iones de calcio e inicie una contracción. Las células musculares están formadas por haces de miofibrillas que contienen las unidades de contracción, llamadas sarcómeros, formadas por dos proteínas principales: miosina y actina.



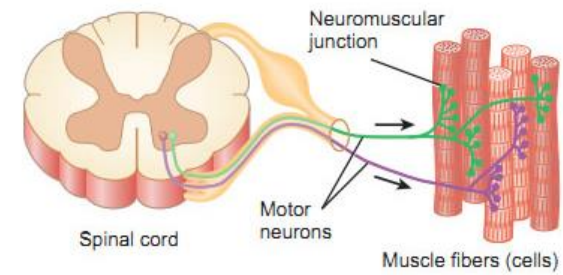
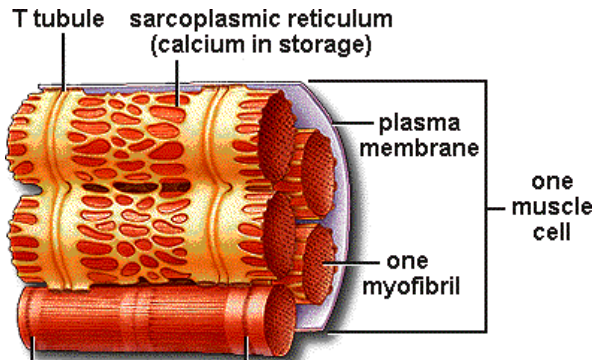
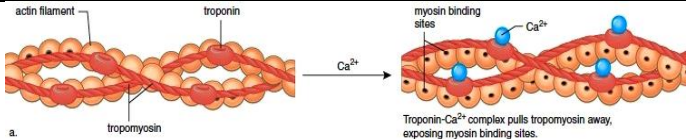
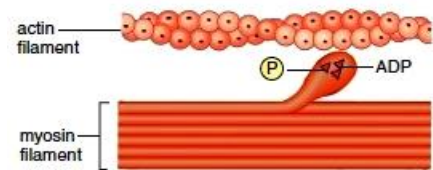
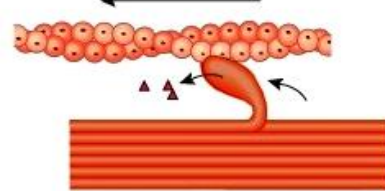
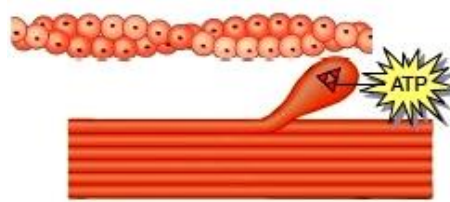
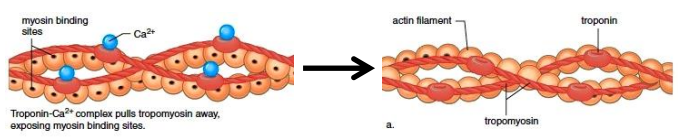
La Unidad Motora

Las neuronas motoras se conectan a los músculos esqueléticos para controlar el movimiento. Cada neurona motora en realidad controla a un grupo de células musculares llamado unidad motora. Todas las células en la unidad motora serán estimuladas por la neurona motora al mismo tiempo. Los movimientos que necesitan habilidades motoras finas, como escribir con un lápiz, tienen solo unas pocas células musculares para cada unidad motora, lo que permite la precisión. Los movimientos más grandes, como recoger una bolsa, tienen muchas células musculares por cada unidad motora..

Contracción Muscular

Una contracción muscular es un ciclo complicado y puede variar según el tipo de contracción y el tipo de tejido muscular. La siguiente tabla describe y esquematiza los pasos de una contracción muscular de acuerdo con la teoría del filamento deslizante.

Pasos de una Contracción Muscular

1	El cerebro o bien la médula espinal envía un impulso nervioso al músculo.	
2	El impulso viaja por la neurona motora y llega a una unión neuromuscular donde libera acetilcolina; este neurotransmisor desencadena el impulso en el músculo.	
3	El impulso viaja a través de la membrana plasmática (sarcolema) y baja por los túbulos T que rodean a las miofibrillas.	
4	A medida que el impulso pasa a través de los túbulos T, provoca que el retículo sarcoplásmico (RS), que rodea el túbulo T, libere iones de Calcio (Ca^{2+}) hacia el sarcoplasma. Estos iones finalmente llegan al sarcómero.	
5	El Ca^{2+} se une a la troponina, ubicada en el filamento de actina, lo que hace que la tropomiosina se mueva y exponga los sitios de unión para la miosina.	 <p style="font-size: small;">Troponin-Ca^{2+} complex pulls tropomyosin away, exposing myosin binding sites.</p>
6	La cabeza de la miosina ahora se une a la actina y forma un puente cruzado.	
7	Se libera ADP y P_i de la miosina, lo que hace que la miosina se mueva. Este movimiento se llama golpe de fuerza.	
8	El ATP se une a la miosina provocando la disociación entre la actina y la miosina (se libera la actina). El ATP se hidroliza a ADP y P_i . La miosina ahora está lista para formar otro puente cruzado y el ciclo de contracción continuará hasta que se detenga el impulso.	
9	Una vez que se detiene el impulso, se libera Ca^{2+} de la troponina, lo que hace que la tropomiosina cubra los sitios de unión y evite la contracción. El Ca^{2+} vuelve al RS y espera otro impulso. Esto es la relajación muscular.	 <p style="font-size: small;">Troponin-Ca^{2+} complex pulls tropomyosin away, exposing myosin binding sites.</p>

Anormalidades de la Contracción

Existen varios trastornos relacionados con la contracción muscular y la terminología médica relacionada. Los siguientes términos se usan al describir movimientos o acciones anormales que comienzan con un trastorno del mecanismo de contracción muscular..

- **Ataxia** – incapacidad para realizar movimientos coordinados
- **Bradicinesia** – movimientos rígidos y lentos
- **Coreoatetosis** – movimientos aleatorios continuos
- **Distonía** – contracciones musculares sostenidas
- **Mioclónía** – contracciones rápidas y breves
- **Discinesias paroxísticas** – movimientos involuntarios anormales y repentinos
- **Espasticidad** – aumento de la rigidez muscular
- **Tics** – movimientos involuntarios complejos y repetitivos

Procedimiento

Parte A. ¿Qué sucede cuando un músculo se contrae?

Lo que sucede dentro de las células y tejidos musculares cuando un músculo se contrae es muy complejo. Las animaciones pueden ayudarnos a comprender mejor este concepto.

Entra al siguiente sitio web:

https://www.whfreeman.com/BrainHoney/Resource/6716/SitebuilderUploads/Hillis2e/Student%20Resources/Animated%20Tutorials/pol2e_at_3301_Molecular_Mechanisms_of_Muscle_Contraction/pol2e_at_3301_Molecular_Mechanisms_of_Muscle_Contraction.html(en inglés, traducido por mi al final de la guía)

Haz clic en la pestaña de la animación en la parte superior de la página. Elije la versión paso a paso en la parte inferior de la animación. Responde las siguientes preguntas mientras trabajas con la animación de la contracción muscular.

Animación sobre la contracción muscular		
	Pregunta	Respuesta
Estructura de la célula muscular	¿Qué son las miofibrillas? ¿Cómo se organizan en sarcómeros?	
	¿Cuáles filamentos (2) de proteínas se encuentran en el sarcómero?	
	La titina es una proteína que mantiene en su posición a los filamentos de miosina y de actina, para que funcione la maquinaria contráctil del sarcómero. Actúa como un “resorte molecular”, permitiendo que las células musculares se contraigan en sintonía. ¿A cuáles dos estructuras del sarcómero está unida la titina?	

	Dibuja un sarcómero y rotula la miosina, la actina, la línea Z y la titina.	
	¿Qué es la teoría de los filamentos deslizantes	

Pasos de una contracción muscular

Paso 1	¿Qué desencadena una contracción?	
Paso 2	¿Qué neurotransmisor se libera en una unión neuromuscular?	
Paso 3	¿Hacia dónde se propaga o viaja la señal electroquímica?	
Paso 4	¿Qué se libera del retículo sarcoplásmico cuando el potencial de acción pasa a través de los túbulos T?	
Paso 5	¿Hacia dónde viaja el calcio?	
Paso 6	¿Cuáles proteínas (son 2) están en los filamentos de actina?	
	¿Qué molécula energética se une a las cabezas de miosina?	
Paso 7	¿Qué sucede cuando el calcio se une a la troponina?	
Paso 8	¿A qué proteína y en qué lugar de esa molécula se une la cabeza de miosina? ¿Qué se forma?	
Paso 9	¿Qué les sucede a P_i y al ADP cuando se une la miosina?	

Paso 10	¿Qué es el golpe de fuerza?	
Paso 11	¿Qué sucede cuando el ATP se une a la cabeza de miosina?	
Paso 12	¿Qué sucede después de que cesa el potencial de acción?	

Regresa a la página de la animación y usa la versión narrada para vincular todos los Pasos.

Mecanismo molecular de la contracción muscular

INTRODUCCIÓN

Un animal realiza la mayor parte de su comportamiento mediante la contracción y relajación de los músculos. Los músculos esqueléticos tienen una organización en la que los haces de filamentos de proteínas forman las células musculares y los haces de células musculares forman los músculos. Las células musculares son el producto de la fusión de muchas células diferentes, por lo que cada célula muscular contiene muchos núcleos. La organización subcelular de una célula muscular también incluye los haces de filamentos de proteínas antes mencionados, llamados miofibrillas. Dentro de estas miofibrillas, se encuentran las unidades contráctiles reales, los sarcómeros. Cuando los sarcómeros dentro de una célula muscular se contraen, el propio músculo se contrae y se acorta. En la animación adjunta, examinamos el mecanismo por el cual un sarcómero se acorta durante la contracción.

1. Las unidades contráctiles de un músculo se encuentran dentro de las células musculares individuales, que también se denominan fibras musculares. Cada fibra muscular contiene numerosos haces de filamentos de proteínas. Estos haces, llamados miofibrillas, están organizados en unidades contráctiles repetidas llamadas sarcómeros.
2. Un sarcómero contiene dos tipos de filamentos de proteínas: filamentos de actina y filamentos de miosina. Cada filamento de actina está unido a una línea Z, que se encuentra en cada extremo de un sarcómero. Los filamentos gruesos de miosina se encuentran entre las líneas Z, pero no están adheridos a ellos directamente. En cambio, se mantienen en su posición mediante una proteína llamada titina.
3. Un mecanismo propuesto para la relajación y contracción de un sarcómero se llama teoría del filamento deslizante. Durante una contracción, los sarcómeros se acortan. Sin embargo, los filamentos de actina y miosina siguen manteniendo el mismo tamaño; simplemente se "deslizan" uno al lado del otro, cambiando sus posiciones relativas a medida que el músculo se contrae y se relaja.
4. La contracción se desencadena cuando un potencial de acción en una neurona motora somática alcanza la unión neuromuscular, la unión entre la neurona y el músculo esquelético. La despolarización del axón terminal provoca la liberación del neurotransmisor acetilcolina en la hendidura sináptica entre la neurona y el músculo.
5. Los neurotransmisores activan la fibra muscular para que dispare un potencial de acción propio. Esta señal eléctrica se propaga a lo largo de la membrana plasmática de la fibra muscular. También se propaga a las invaginaciones tubulares de la membrana plasmática, llamadas túbulos T.
6. Los túbulos T se encuentran adyacentes al retículo sarcoplásmico (RS), un orgánulo que consta de una red membranosa de compartimentos. El RS almacena iones de calcio y los secuestra del resto del citoplasma. Cuando el potencial de acción pasa a través de los túbulos T, el RS libera calcio en el citosol.
7. Los iones de calcio difunden por todo el citoplasma de los sarcómeros. Dentro de los sarcómeros, los filamentos de actina parecen dos hileras de perlas entrelazadas. Los filamentos de miosina son más gruesos y tienen cabezas en forma de protuberancias en sus extremos.
8. Sobre los filamentos de actina se ubican dos tipos de proteínas. Una proteína, la troponina, se encuentra a intervalos regulares a lo largo de los filamentos de actina. Otra proteína, llamada tropomiosina, corre a lo largo

de cada hebra de actina. Las cabezas de la miosina en este punto están unidas a moléculas de ADP y fosfato inorgánico (Pi).

9. Una vez que el retículo sarcoplásmico ha liberado calcio, los iones de calcio se unen a moléculas de troponina. Al unirse, la troponina cambia de posición y aparta la molécula de tropomiosina. Cuando la tropomiosina se mueve, expone un sitio de unión a la miosina en cada una de las subunidades de actina del filamento de actina.
10. Las cabezas de miosina vecinas ahora pueden unirse al filamento de actina. Cuando una cabeza de miosina se une a la actina, forma lo que se conoce como un puente cruzado.
11. Después de que la miosina se une a los filamentos de actina, se libera Pi. La liberación hace que las cabezas de miosina giren, lo que obliga a los filamentos de actina y miosina a deslizarse uno al lado del otro, y se libera ADP. Este movimiento representa el "golpe de fuerza" de la contracción muscular.
12. Antes de que las cabezas de miosina puedan liberar y realizar golpes de fuerza adicionales, primero deben unirse al ATP. Cuando el ATP se une a las cabezas de miosina, las cabezas liberan el filamento de actina. El ATP se hidroliza rápidamente en ADP y Pi. La energía liberada por la hidrólisis libera las cabezas de miosina, preparándolas para otro ciclo.
13. Poco después de que cesa el potencial de acción, el retículo sarcoplásmico bombea el calcio que había liberado de regreso a su interior. Después de que el calcio abandona las moléculas de troponina, las moléculas de tropomiosina ocultan nuevamente los sitios de unión a la miosina. Los filamentos de actina y miosina luego se deslizan de regreso a sus posiciones originales, relajando y alargando el sarcómero.
14. Los sarcómeros de una fibra muscular se contraen y vuelven a relajarse con cada señal de una neurona motora.

CONCLUSIÓN

Una contracción muscular puede explicarse por el ciclo de eventos moleculares que tienen lugar entre los filamentos de actina y miosina. En un solo ciclo, una cabeza de miosina se une a un filamento de actina, realiza un golpe de fuerza y luego se libera. Ten en cuenta que para que los dos filamentos se desconecten, la cabeza de miosina debe unirse a una nueva molécula de ATP. Después de que la miosina libera la actina, hidroliza su ATP e inicia otro ciclo de interacciones actina / miosina.

Aunque nos centramos en una sola cabeza de miosina, de hecho, un filamento de miosina tiene muchas cabezas de miosina. Cada filamento de miosina también está rodeado por seis filamentos de actina a los que pueden unirse las diferentes cabezas de miosina. Por lo tanto, cuando una cabeza de miosina rompe su contacto con la actina, otras cabezas de miosina todavía se conectan a los filamentos de actina y así evitan que el sarcómero se deslice hacia su posición relajada.

La relajación del sarcómero ocurre después de que el calcio regresa al retículo sarcoplásmico. Mientras que la liberación de calcio del retículo sarcoplásmico se produce por un evento pasivo en el que el calcio se mueve a través de los canales iónicos, el retorno del calcio es un evento activo que requiere energía. El control de la contracción muscular ocurre al nivel de calcio libre en el citoplasma; todos los demás componentes involucrados en la contracción muscular están siempre presentes y esencialmente esperan que los iones de calcio comiencen la acción.ç

Los estudiantes reflexionan acerca de la contracción muscular, mediante preguntas orientadoras como las siguientes:

Reflexione sobre las siguientes preguntas

- ¿De qué forma mi organismo puede llevar a cabo diversas actividades que involucren a los músculos de mi cuerpo?
- Distingue la clasificación de los músculos al interior del organismo.
- ¿Qué estructuras son necesarias para que se produzca la contracción muscular a nivel celular?
- ¿Qué tipo de control regula este proceso?, ¿quién sistema de órgano lo realiza?
- ¿Cuál es el rol del calcio en la contracción muscular?
- ¿Cuál es el rol del ATP en la contracción muscular?

<https://es.slideshare.net/gustavotoledo/contraccin-muscular-3-d> (apunte presente en slideshare, que es una traducción de la animación que está en youtube <https://www.youtube.com/watch?v=S5uFagpEPMI&t=15s>)