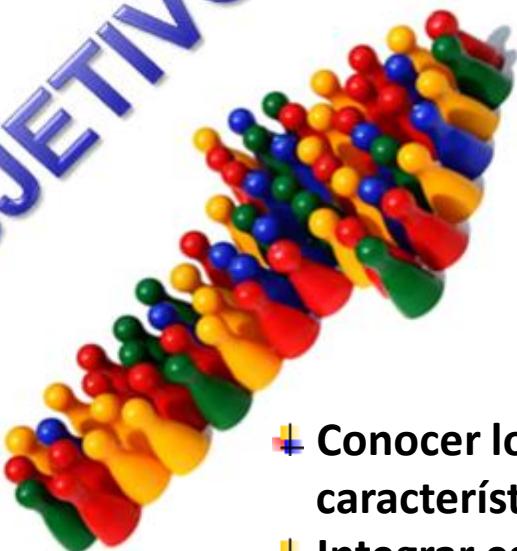


FISIOLOGÍA

NEUROMUSCULAR

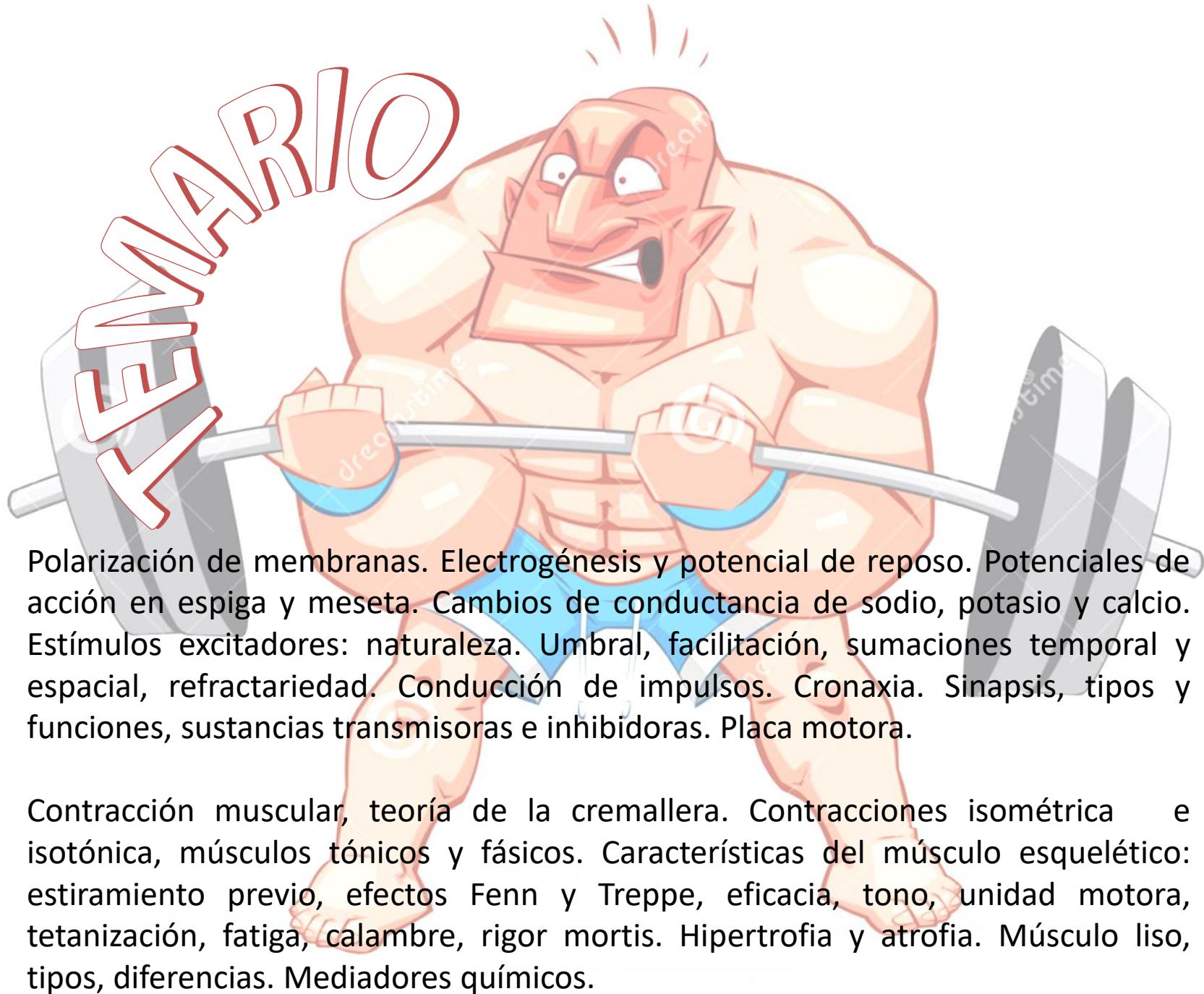
MCGP

OBJETIVOS



- ⊕ Conocer los distintos tipos de músculos y sus características comunes y diferenciales
- ⊕ Integrar estas similitudes y diferencias a la función propia de cada músculo





Polarización de membranas. Electrogénesis y potencial de reposo. Potenciales de acción en espiga y meseta. Cambios de conductancia de sodio, potasio y calcio. Estímulos excitadores: naturaleza. Umbral, facilitación, sumaciones temporal y espacial, refractariedad. Conducción de impulsos. Cronaxia. Sinapsis, tipos y funciones, sustancias transmisoras e inhibidoras. Placa motora.

Contracción muscular, teoría de la cremallera. Contracciones isométrica e isotónica, músculos tónicos y fáscicos. Características del músculo esquelético: estiramiento previo, efectos Fenn y Treppe, eficacia, tono, unidad motora, tetanización, fatiga, calambre, rigor mortis. Hipertrofia y atrofia. Músculo liso, tipos, diferencias. Mediadores químicos.

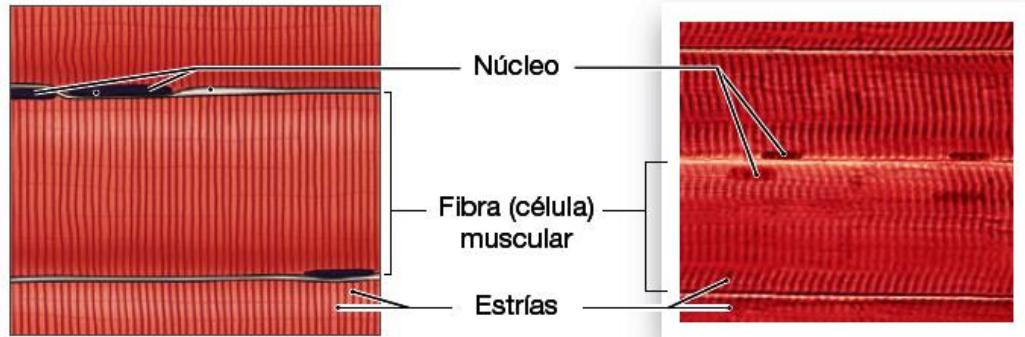
Músculos

- Movimiento
 - Fuerza
 - Calor

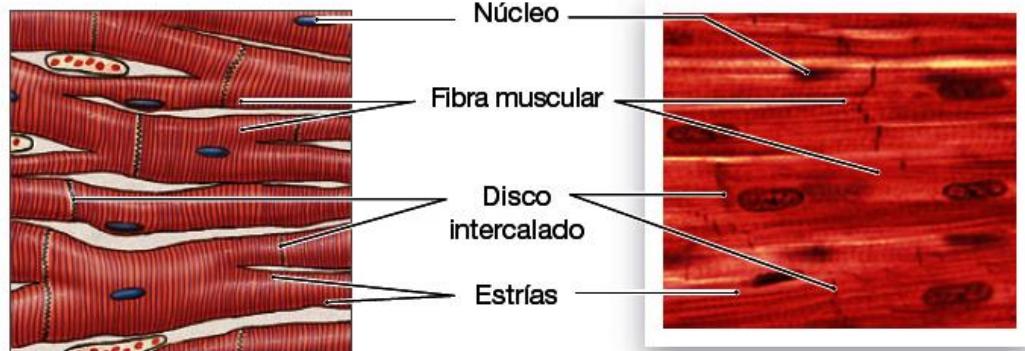
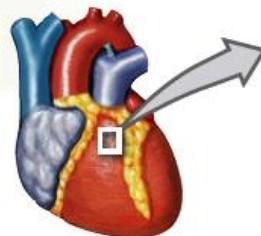


LOS TRES TIPOS DE MÚSCULOS

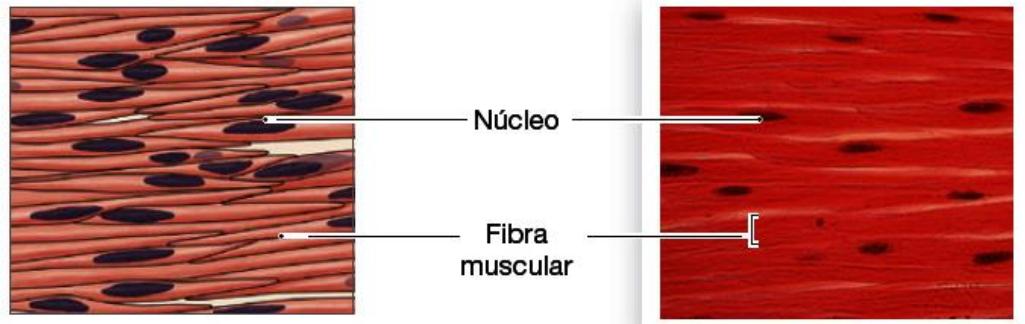
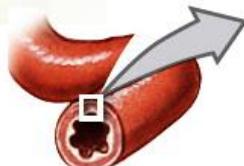
(a) Las fibras de músculo esquelético son células grandes y multinucleadas que se ven rayadas o estriadas en el microscopio.



(b) Las fibras de músculo cardíaco también son estriadas, pero son más pequeñas y ramificadas y tienen un solo núcleo. Las células están unidas en serie mediante uniones llamadas discos intercalados.



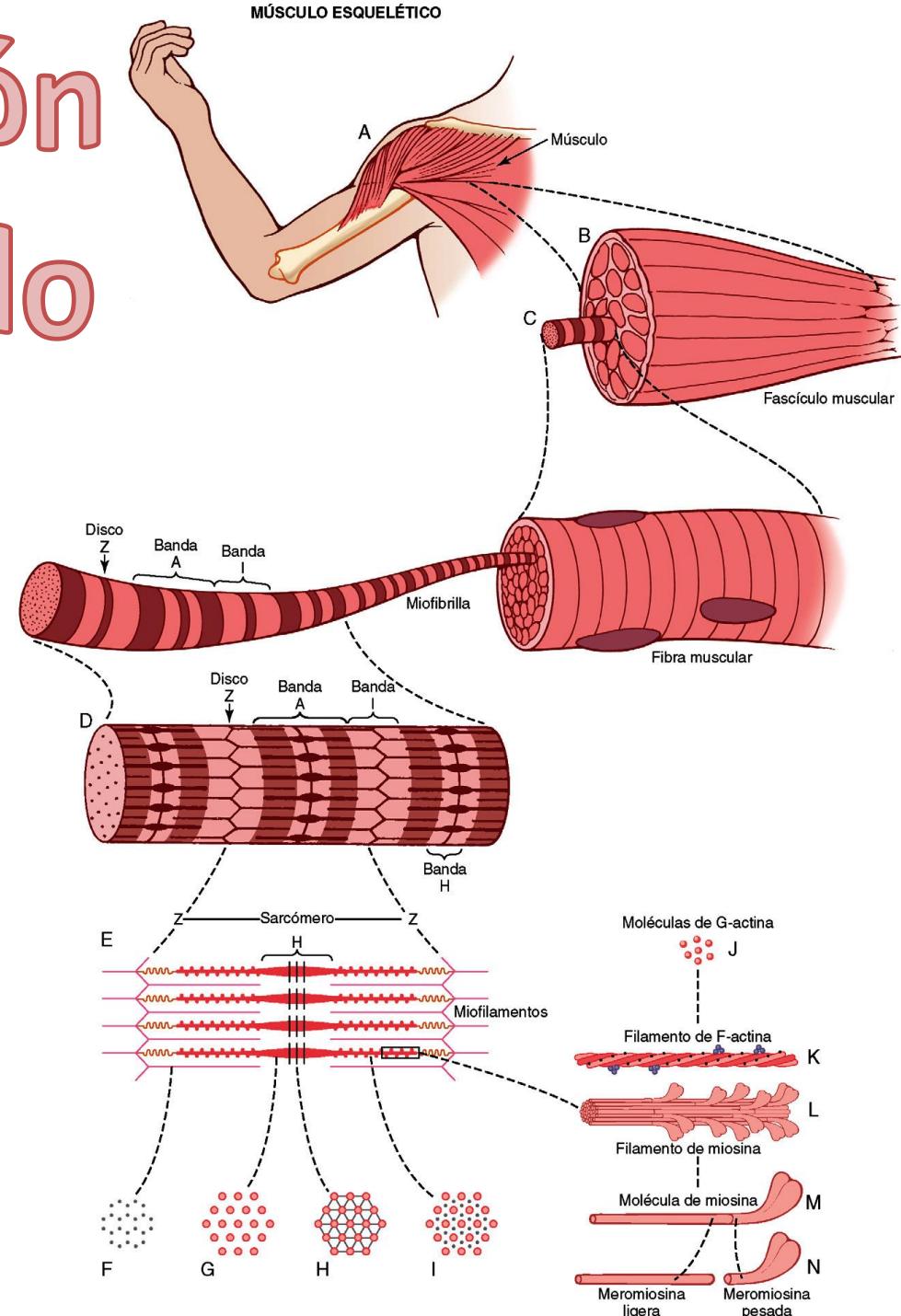
(c) Las fibras de músculo liso son pequeñas y no tienen estrías.

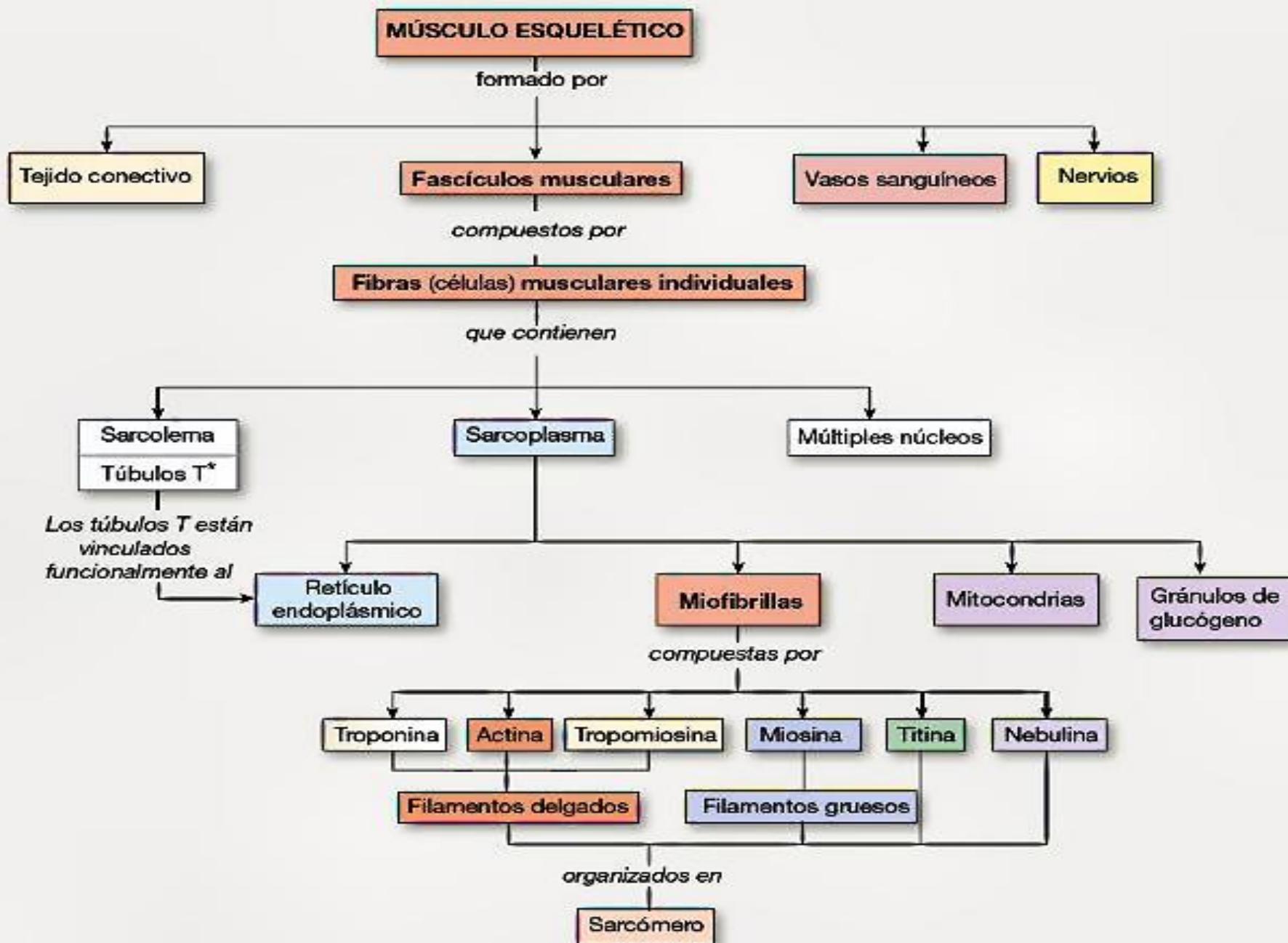


Organización del músculo



Guyton





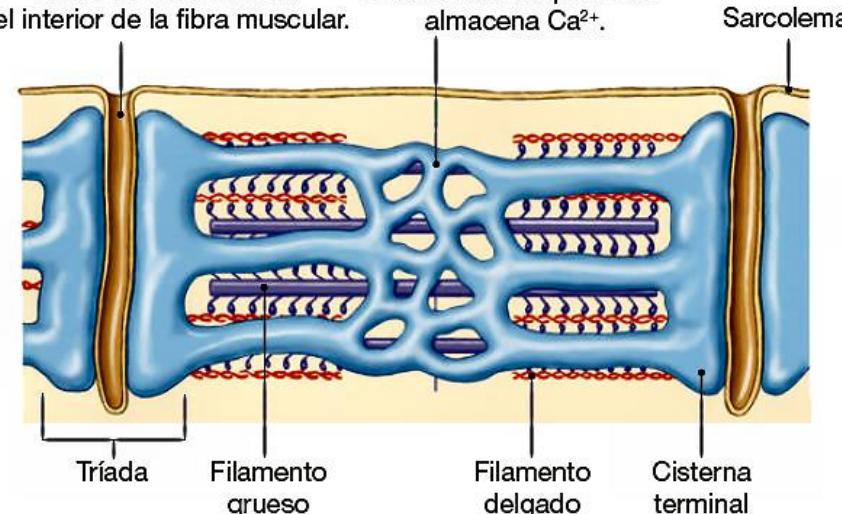
* Los túbulos T son una continuación del sarcolema.

TÚBULOS T

Los túbulos T son extensiones de la membrana celular (sarcolema) que se asocian con los extremos (cisternas terminales) del retículo sarcoplásmico.

El túculo T lleva potenciales de acción hacia el interior de la fibra muscular.

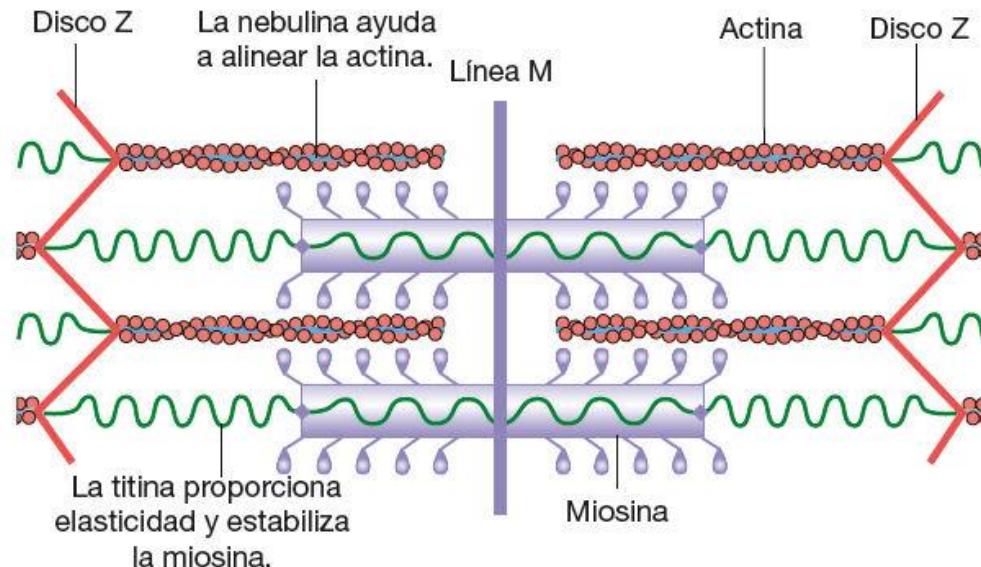
El retículo sarcoplásmico almacena Ca^{2+} .



Estructura

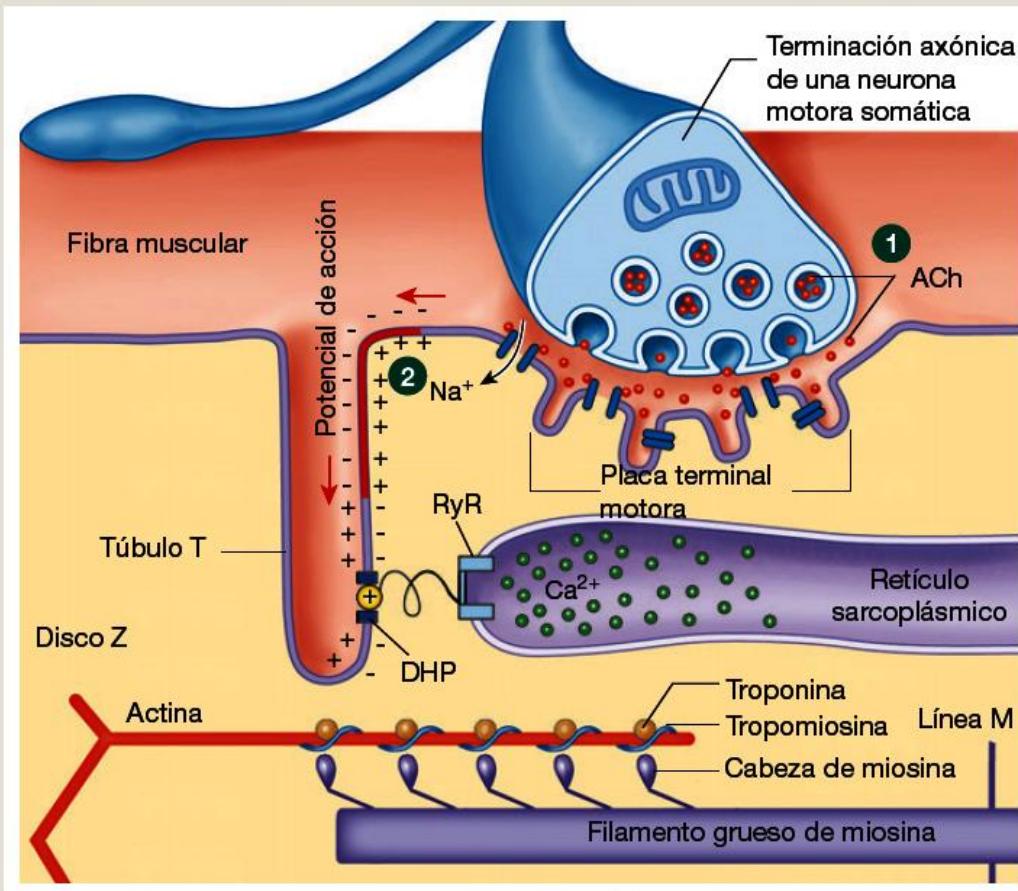
TITINA Y NEBULINA

La titina y la nebulina son proteínas accesorias gigantes. La titina cubre la distancia entre un disco Z y su línea M vecina. La nebulina, que se dispone a lo largo de los filamentos delgados, se adhiere a un disco Z pero no llega hasta la línea M.



Acoplamiento excitación-contracción y relajación

(a) Inicio del potencial de acción del músculo



LEYENDA

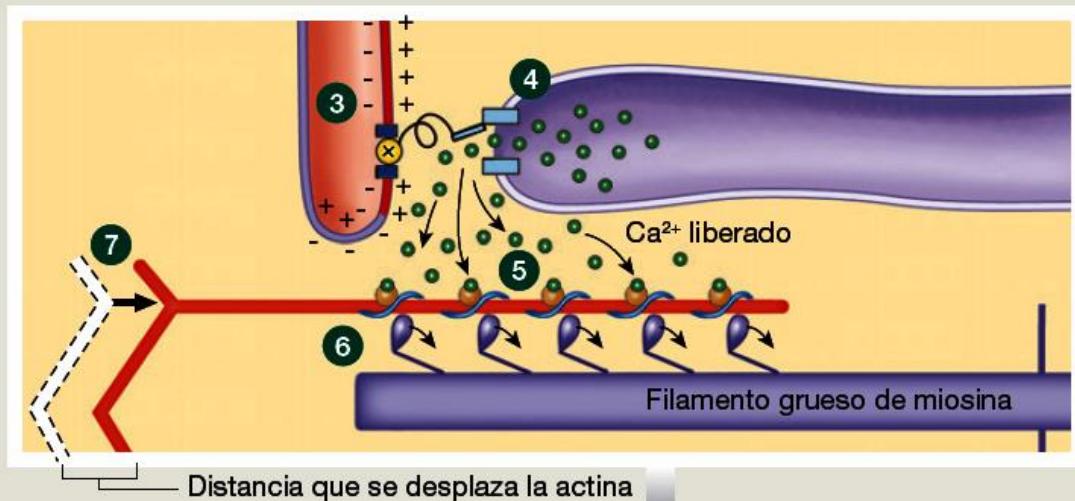
DHP = canal de calcio tipo L o receptor de dihidropiridina

RyR = canal-receptor de rianodina

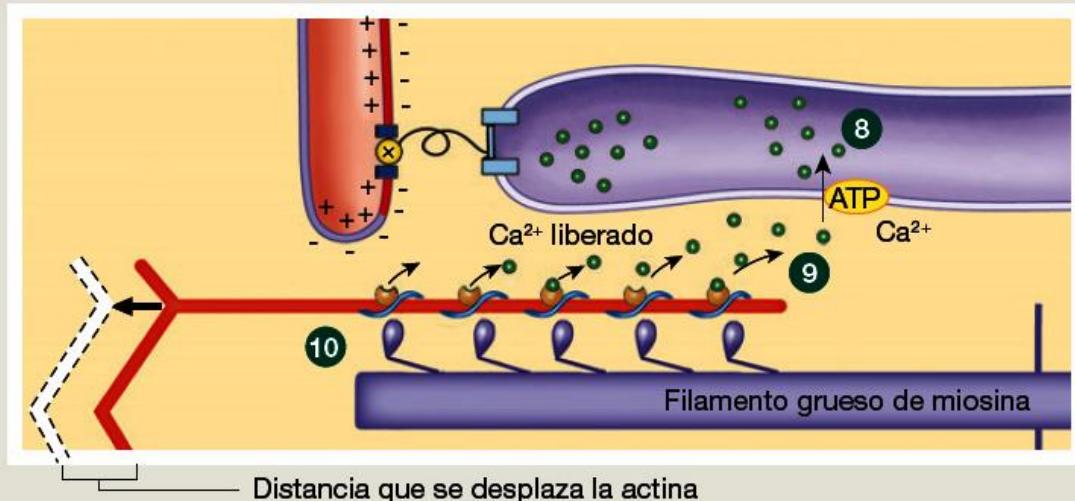
1 La neurona motora somática libera ACh en la unión neuromuscular.

2 La entrada neto de Na⁺ a través del canal-receptor de ACh desencadena un potencial de acción en la fibra muscular.

(b) Acoplamiento excitación-contracción



(c) Fase de relajación



3 El potencial de acción en el tubulo T altera la conformación del receptor DHP.

4 El receptor DHP abre canales RyR liberadores de Ca²⁺ del retículo sarcoplásmico y el calcio entra en el citoplasma.

5 El Ca²⁺ se une a la troponina, permitiendo la unión actina-miosina.

6 Las cabezas de miosina llevan a cabo los golpes de fuerza.

7 El filamento de actina se desplaza hacia el centro del sarcómero.

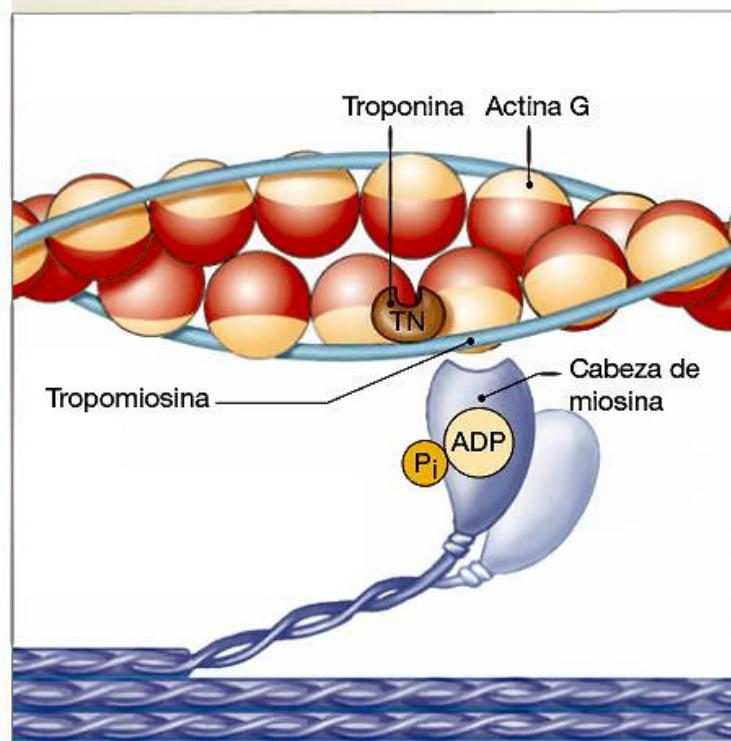
8 Las bombas Ca²⁺-ATPasa del retículo sarcoplásmico bombean Ca²⁺ hacia el interior del orgánulo.

9 La disminución de la [Ca²⁺] cítosólica hace que el Ca²⁺ se separe de la troponina.

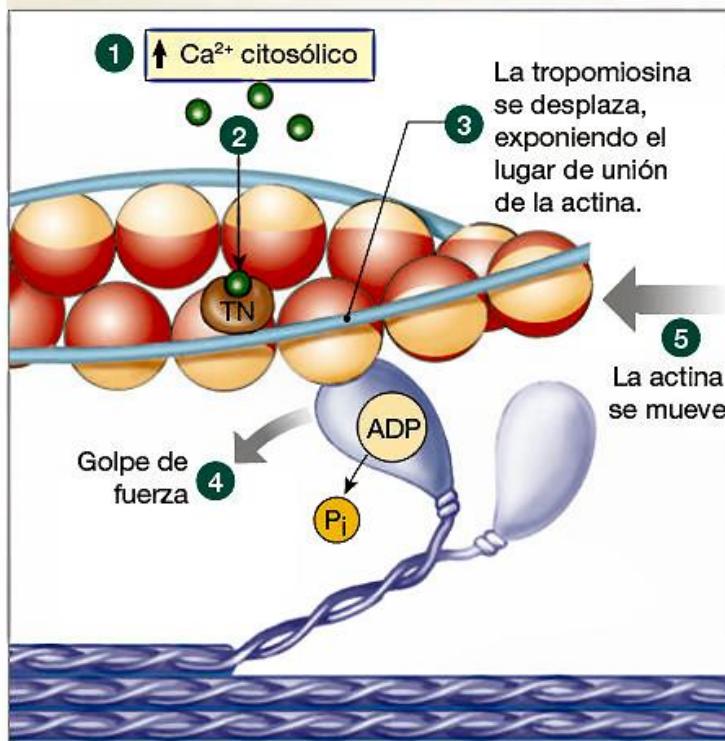
10 La tropomiosina vuelve a cubrir los lugares de unión. Cuando las cabezas de miosina se desprenden, los elementos elásticos tiran de los filamentos y los devuelven a su posición relajada.

TROPONINA Y TROPOMIOSINA

(a) **Estado de relajación.** Cabeza de miosina amartillada. La tropomiosina bloquea parcialmente el lugar de unión en la actina. La miosina está unida débilmente a la actina.



(b) **Inicio de la contracción.** Una señal de calcio inicia la contracción.



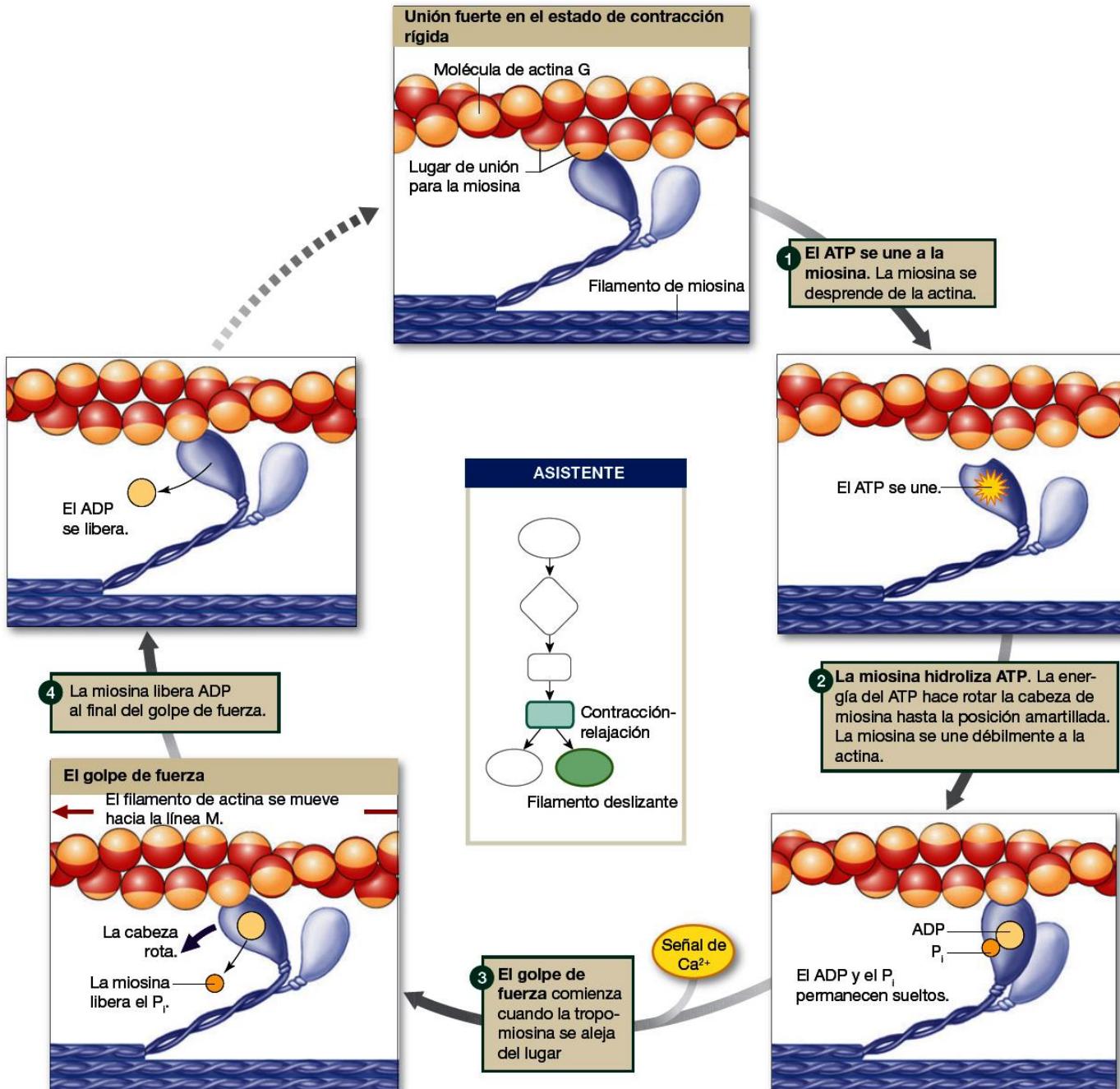
1 Los niveles de Ca^{2+} en el citosol aumentan.

2 El Ca^{2+} se une a la troponina (TN).

3 El complejo troponina- Ca^{2+} aleja la tropomiosina del lugar de unión de la actina para la miosina.

4 La miosina se une estrechamente a la actina y completa el golpe de fuerza.

5 El filamento de actina se mueve.

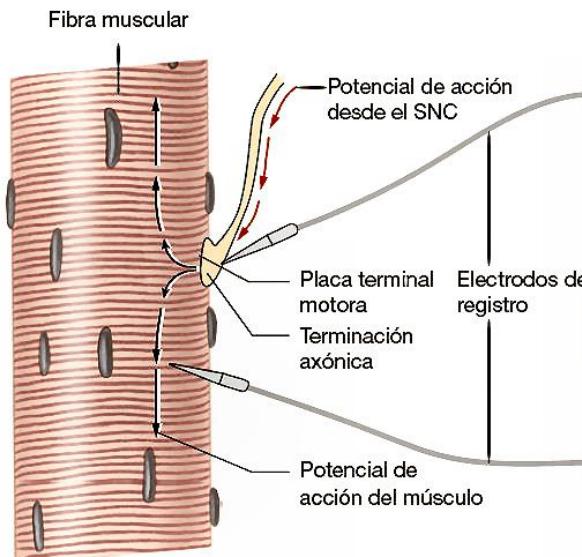


Características de los tipos de fibras musculares

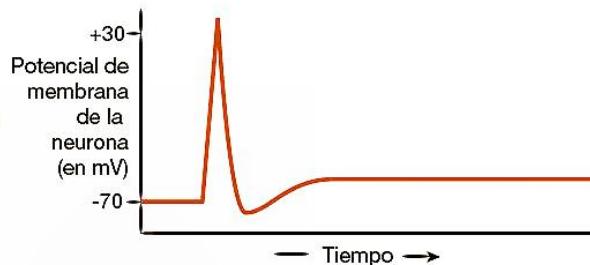
	Oxidativas lentas; músculo rojo	Oxidativas-glucolíticas rápidas; músculo rojo	Glucolíticas rápidas; músculo blanco
Velocidad de desarrollo de la tensión máxima	La más lenta	Intermedia	La más rápida
Actividad de la miosina ATPasa	Lenta	Rápida	Rápida
Diámetro	Pequeño	Intermedio	Grande
Duración de la contracción	La más prolongada	Corta	Corta
Actividad de la Ca^{2+}-ATPasa en el RS	Moderada	Alta	Alta
Resistencia	Resistentes a la fatiga	Resistentes a la fatiga	Se fatigan fácilmente
Usos	Las más utilizadas: postura	Posición de pie, deambulación	Las menos utilizadas: salto; movimientos rápidos y finos
Metabolismo	Oxidativo; aerobio	Glucolítico, pero se vuelve más oxidativo con entrenamiento de resistencia	Glucolítico; más anaerobio que en el tipo oxidativo-glucolítico rápido
Densidad de capilares	Alta	Intermedia	Baja
Mitocondrias	Numerosas	Moderadas	Escasas
Color	Rojo oscuro (mioglobina)	Rojo	Pálido

TIEMPOS DEL ACOPLAMIENTO E-C

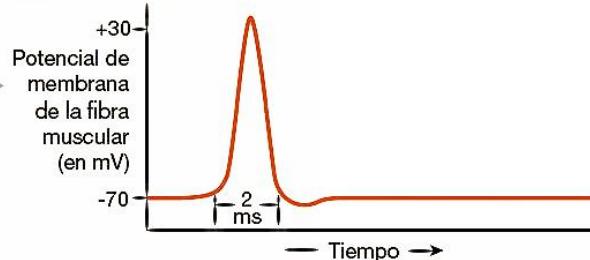
Los potenciales de acción en la terminación axónica (gráfico superior) y en la fibra muscular (gráfico del medio) son seguidos por una contracción muscular (gráfico inferior).



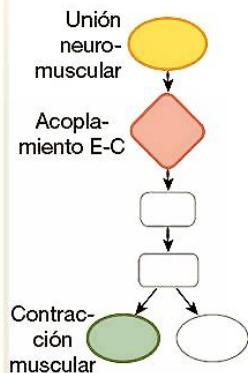
Potencial de acción de la neurona motora



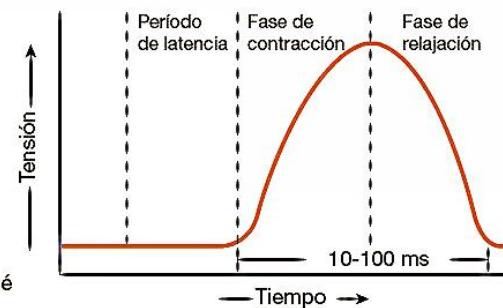
Potencial de acción de la fibra muscular



ASISTENTE



Desarrollo de tensión durante una contracción muscular



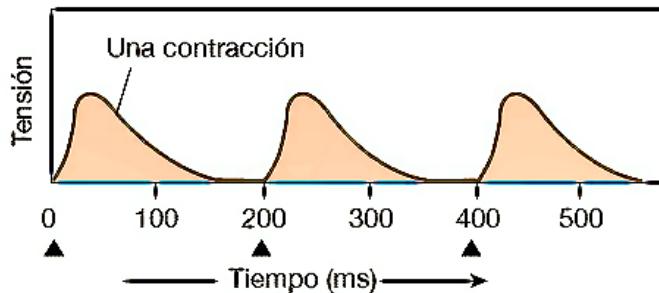
P

PREGUNTA

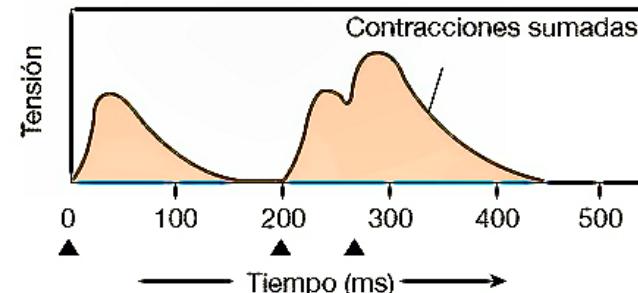
- ¿El movimiento de qué ion/es y en qué dirección/ones genera:
- el potencial de acción de la neurona?
 - el potencial de acción del músculo?

SUMACIÓN DE CONTRACCIONES

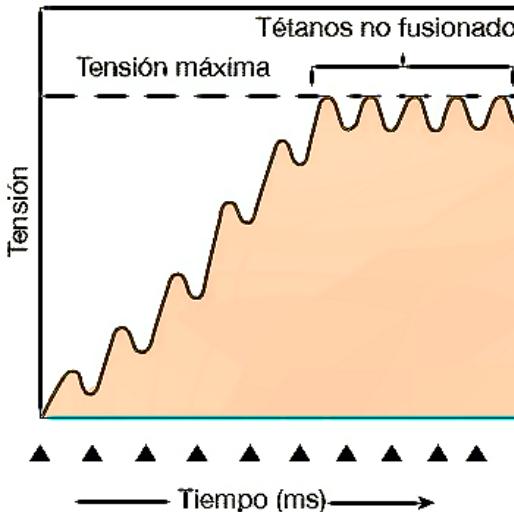
(a) **Contracciones individuales:** el músculo se relaja completamente entre los estímulos



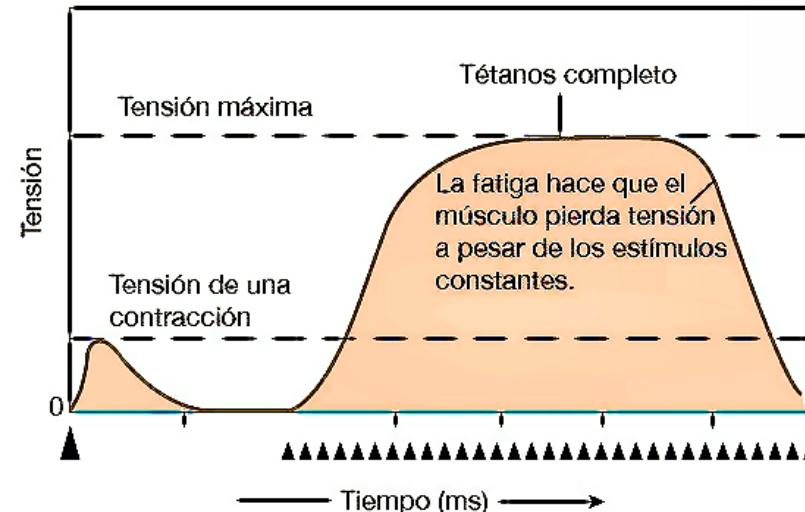
(b) **Sumación:** los estímulos, cercanos entre sí, no permiten la completa relajación del músculo.



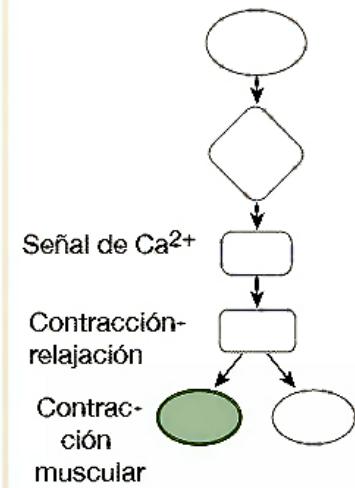
(c) **Sumación que conduce al tétanos no fusionado:** los estímulos están suficientemente separados para permitir una leve relajación muscular entre ellos.

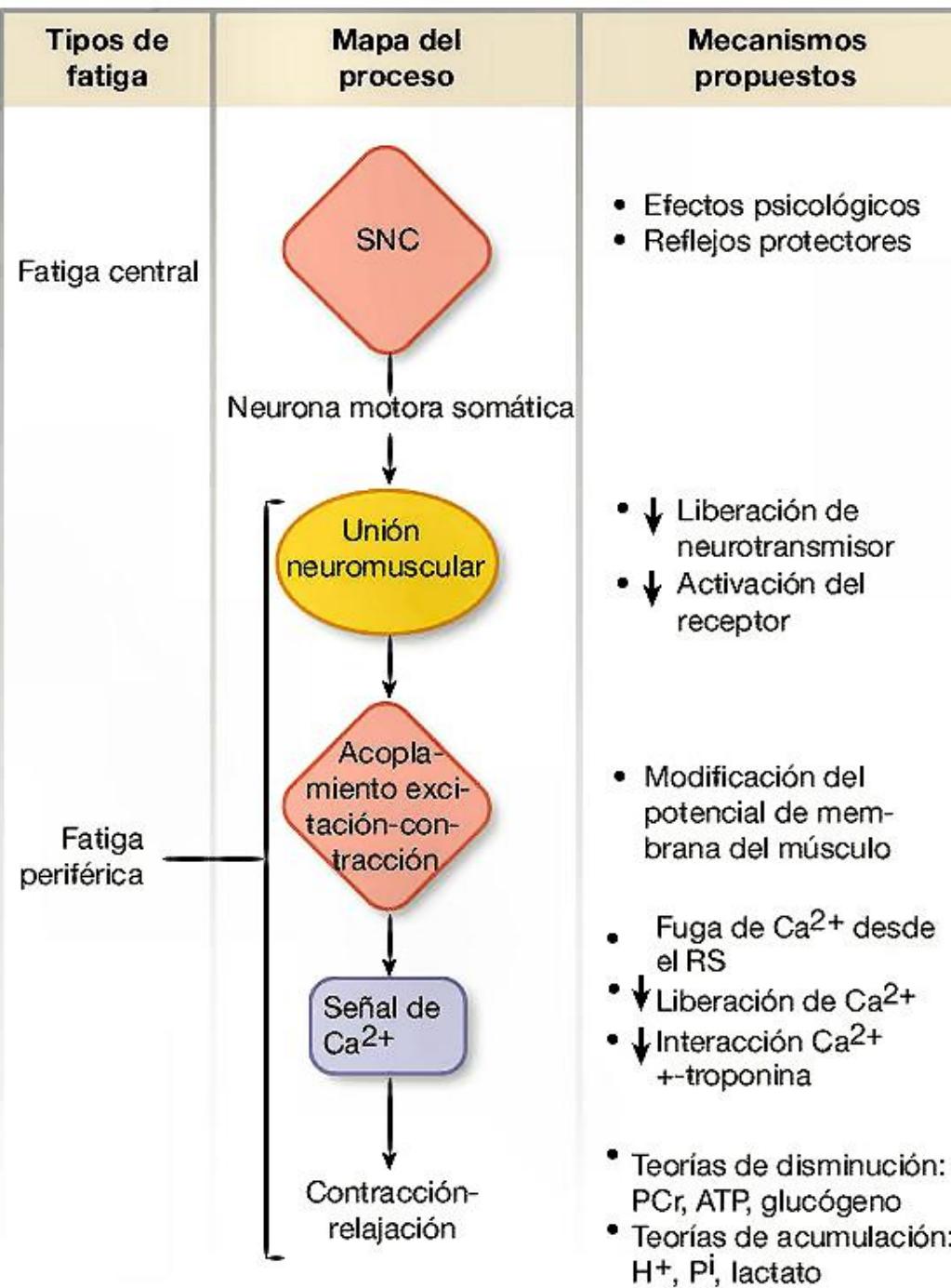


(d) **Sumación que conduce al tétanos fusionado:** el músculo alcanza una tensión constante. Si se fatiga, la tensión disminuye rápidamente.



ASISTENTE



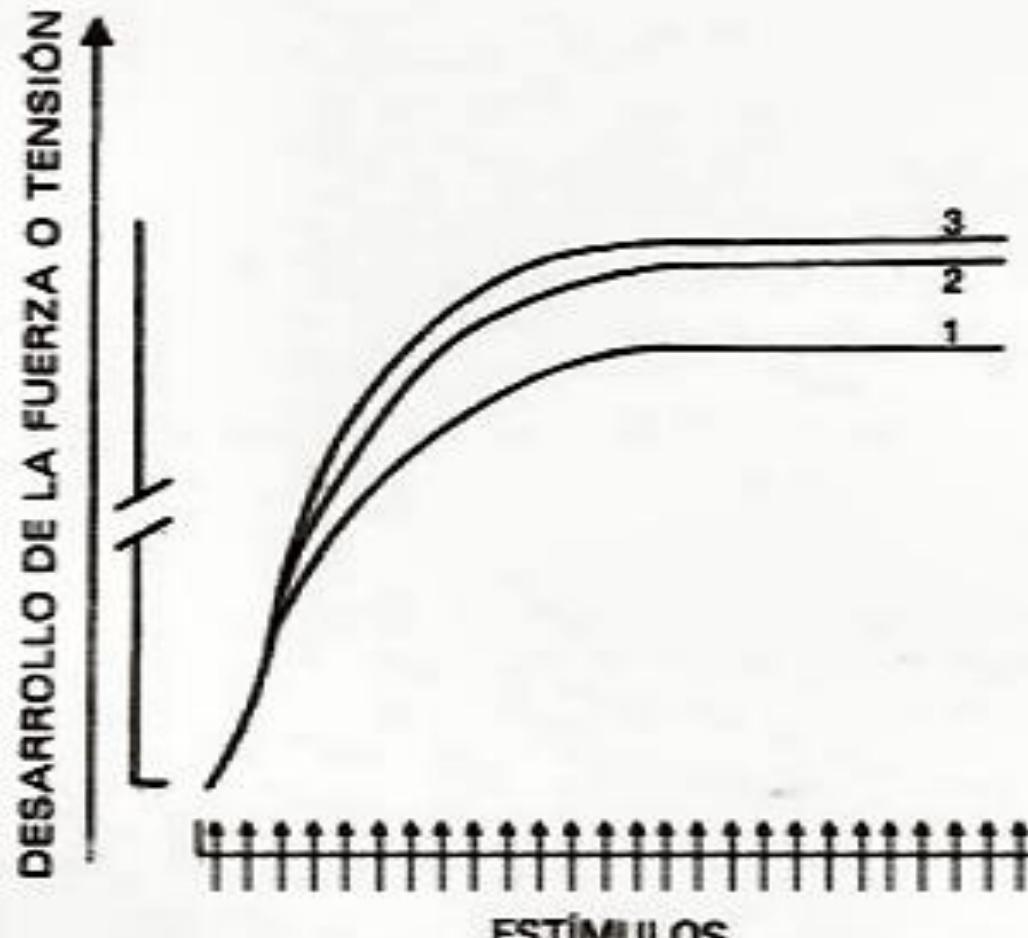


MÚSCULO ESQUELÉTICO

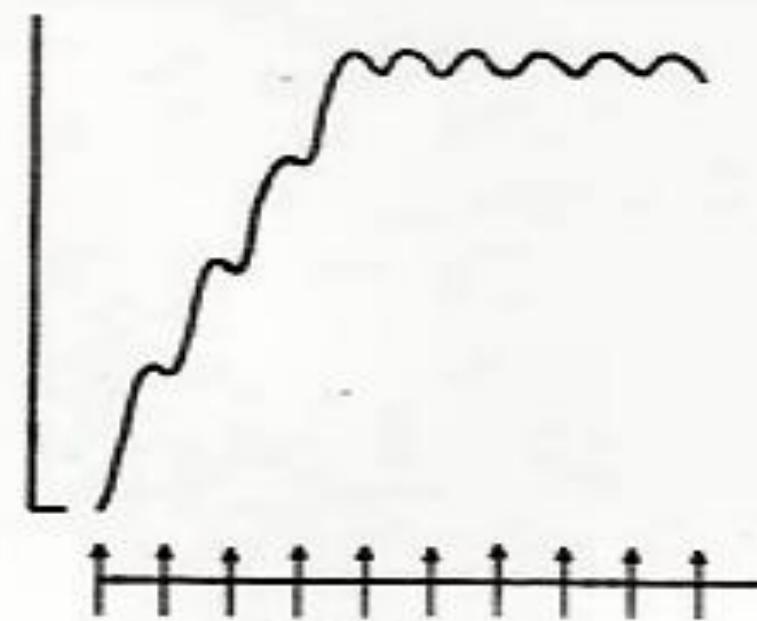
Características mecánicas de la contracción muscular

- SACUDIDA MUSCULAR ÚNICA
- LEY DEL TODO O NADA
- UNIDAD MOTORA
- SUMACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL
 - TETANIZACIÓN Y FATIGA
 - EFICIENCIA O EFICACIA
 - VELOCIDAD VERSUS CARGA
- TIPOS DE CONTRACCIÓN: ISOMÉTRICA E ISOTÓNICA
 - CALAMBRE – RIGOR MORTIS
 - TONO MUSCULAR
 - EFECTO TREPPE
 - EFECTO FENN

Efecto Treppe

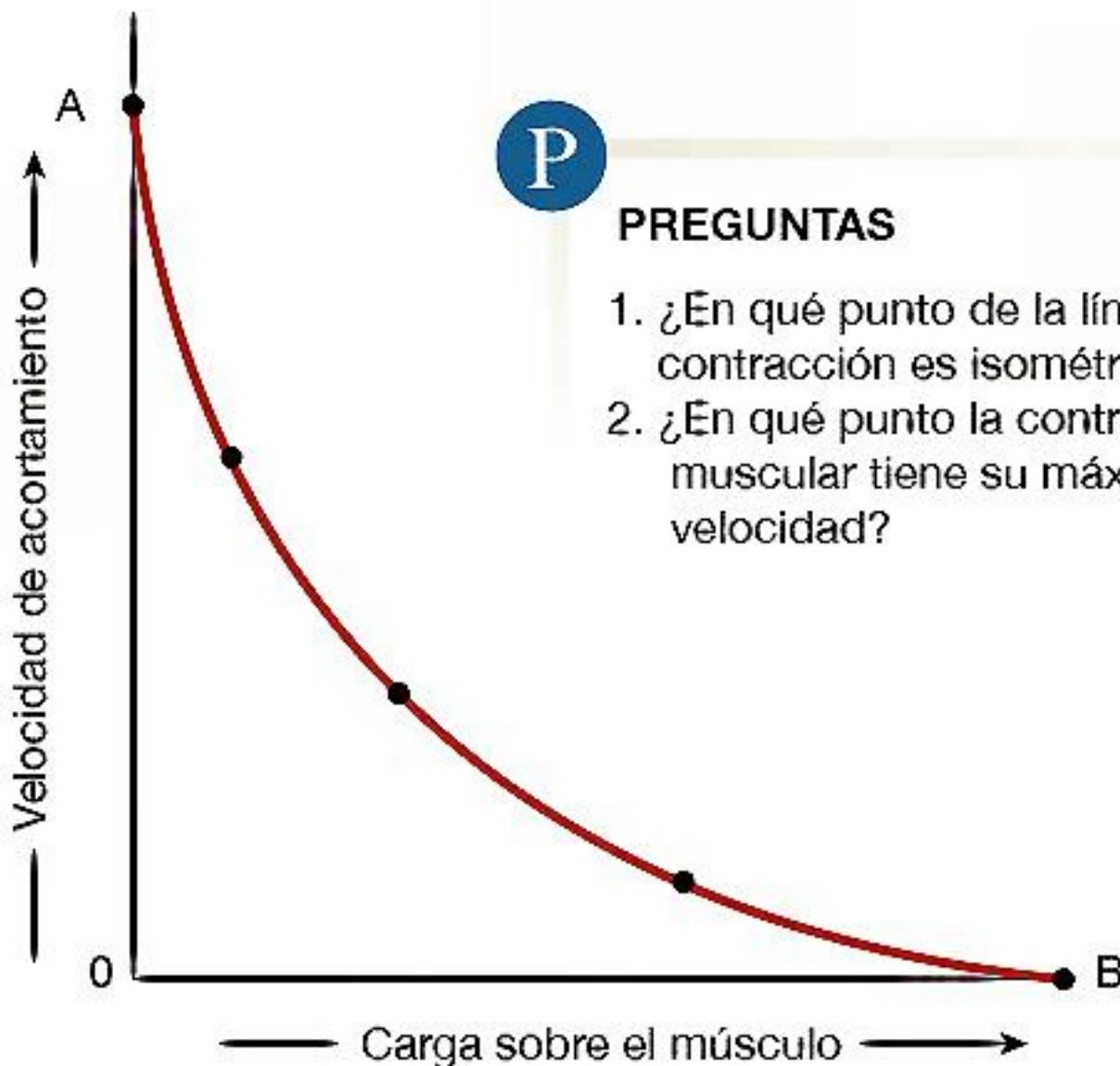


Tétanos completo



Treppe

RELACIÓN ENTRE CARGA Y VELOCIDAD EN EL MÚSCULO ESQUELÉTICO



P

PREGUNTAS

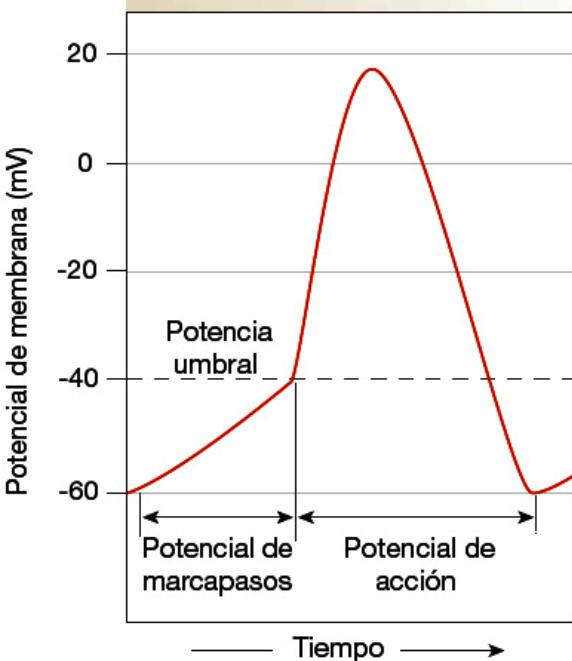
1. ¿En qué punto de la línea la contracción es isométrica?
2. ¿En qué punto la contracción muscular tiene su máxima velocidad?

MÚSCULO CARDÍACO

POTENCIALES DE ACCIÓN EN LAS CÉLULAS CARDÍACAS AUTORRÍTMICAS

Las células autorritmicas tienen potenciales de membrana inestables, llamados potenciales de marcapasos.

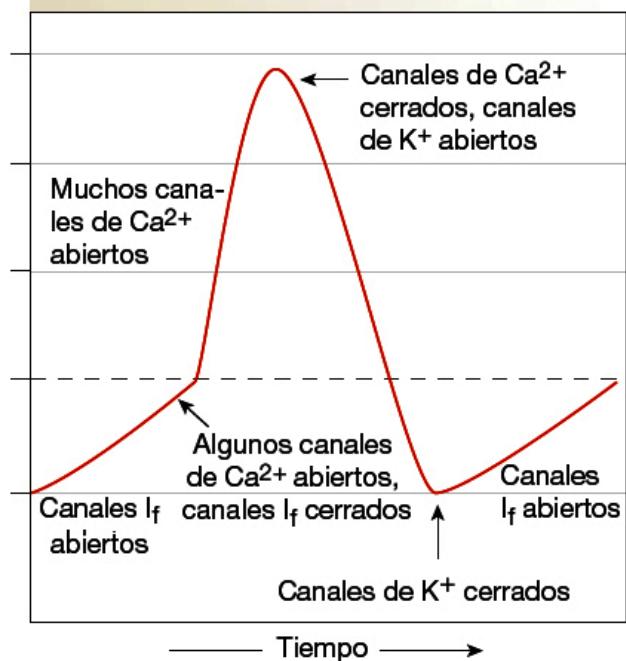
(a) El potencial de marcapasos se hace gradualmente menos negativo hasta que alcanza un valor umbral y dispara un potencial de acción.



(b) Movimientos de iones durante los potenciales de acción y de marca-pasos.

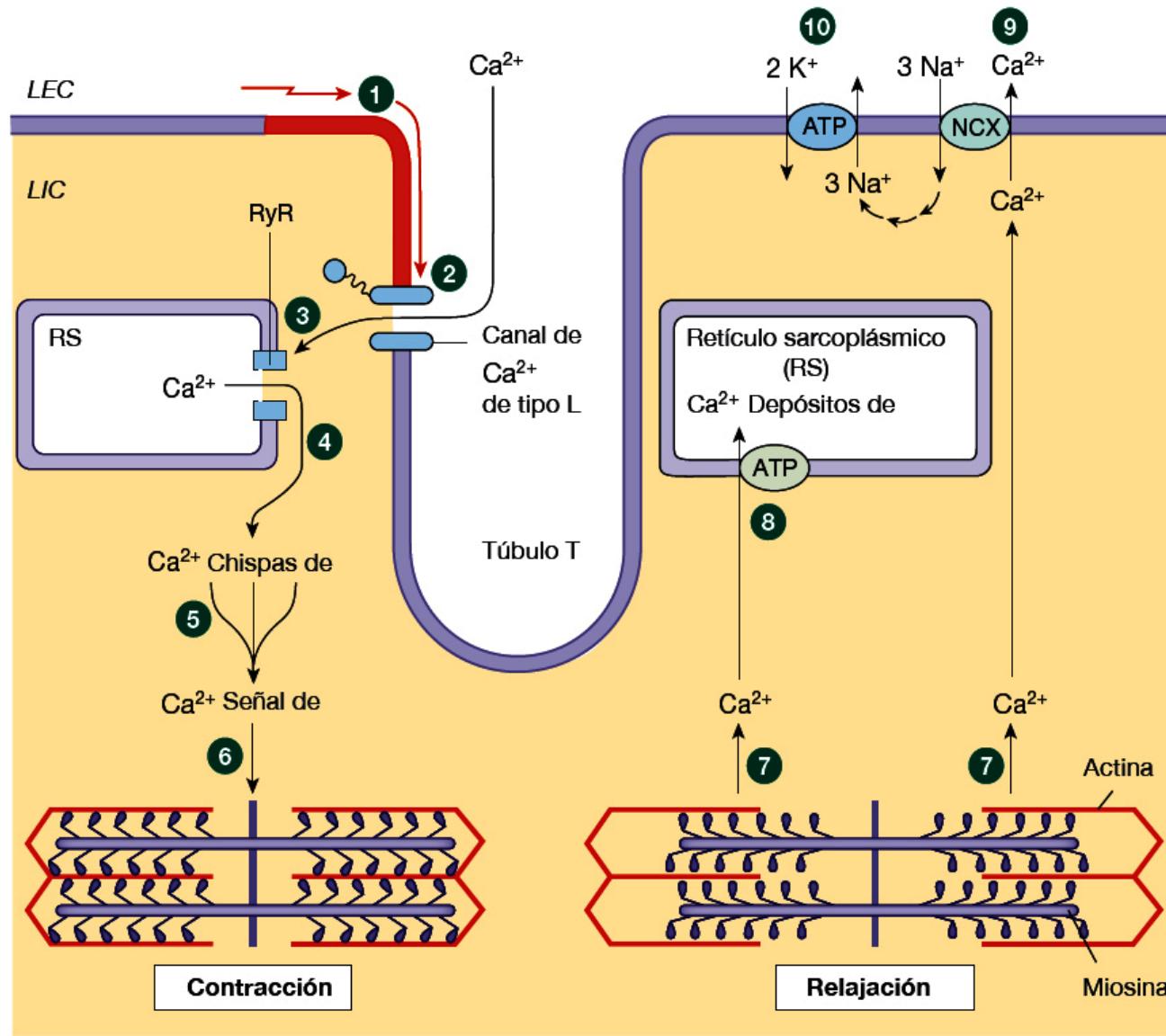


(c) Estado de los distintos canales iónicos

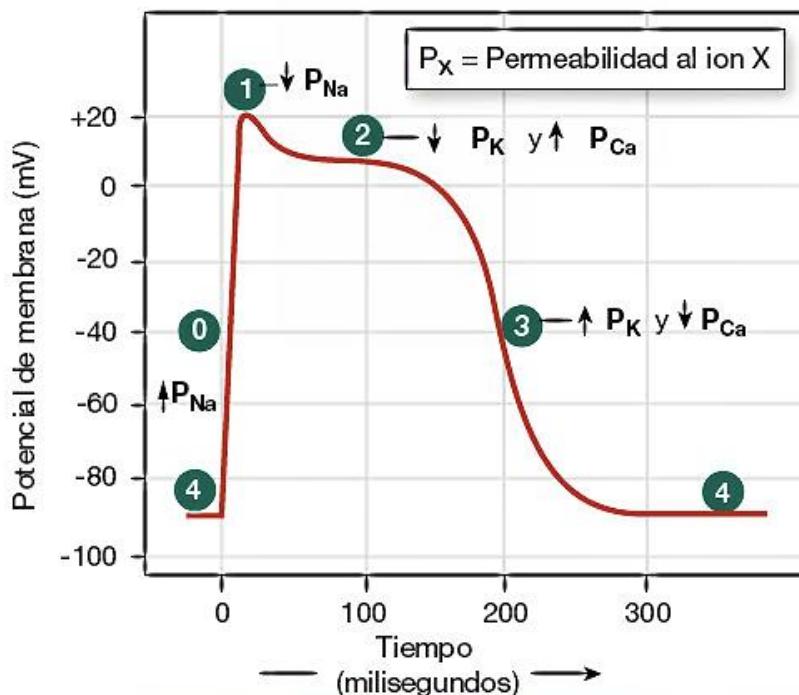


ACOPLAMIENTO EXCITACIÓN-CONTRACCIÓN EN EL MÚSCULO CARDÍACO

Esta figura ilustra los sucesos celulares que llevan a la contracción y la relajación de las células contráctiles cardíacas.



POTENCIAL DE ACCIÓN DE UNA CÉLULA CARDÍACA CONTRÁCTIL



Fase*	Canales de membrana
0	Se abren los canales de Na^+
1	Se cierran los canales de Na^+
2	Se abren los canales de Ca^{2+} ; se cierran los canales rápidos de K^+
3	Se cierran los canales de Ca^{2+} ; se abren los canales lentos de K^+
4	Potencial en reposo

*Los números de las fases son una convención.



PREGUNTA

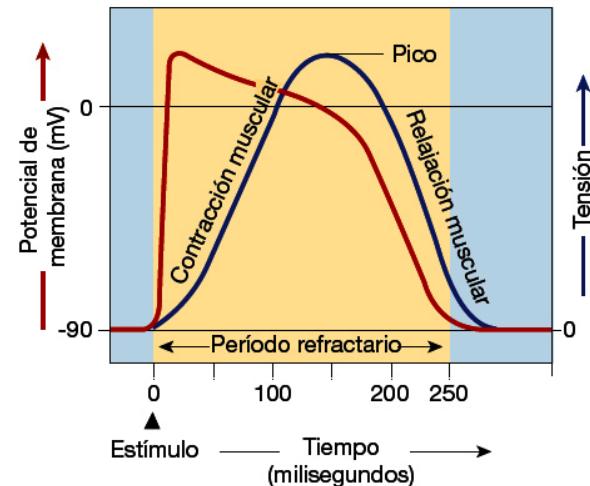
Compare el movimiento de los iones durante este potencial de acción con los movimientos de los iones de un potencial de acción de una neurona (Fig. 8-9).

PERÍODOS REFRACTARIOS Y SUMACIÓN

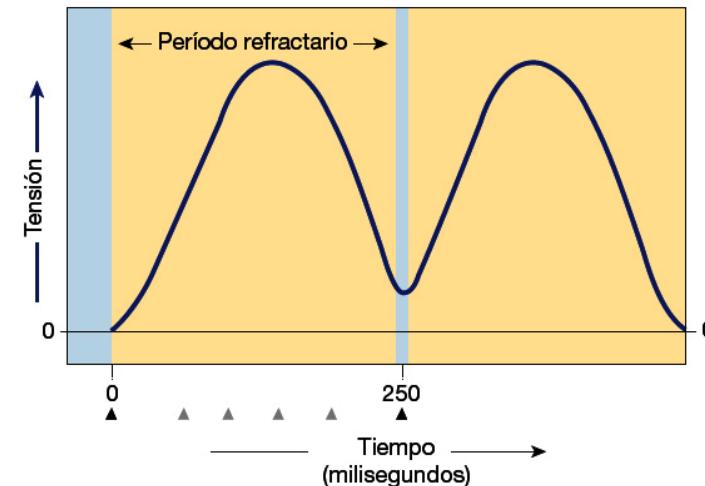
La sumación en el músculo esquelético produce contracción tónica o tetánica, que podría ser mortal si se produjese en el corazón.

Músculo cardíaco

(a) Fibra muscular cardíaca: el período refractario dura casi tanto como la contracción muscular completa.

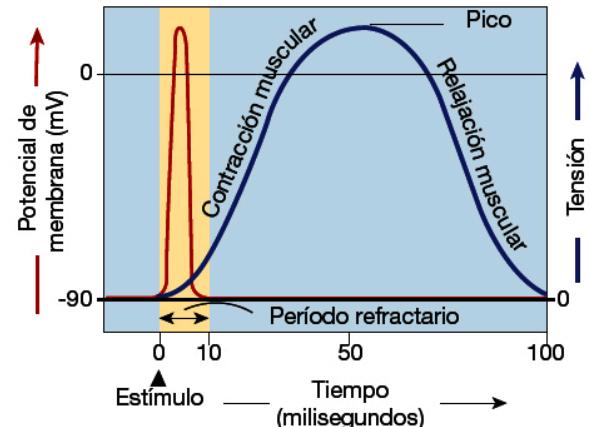


(b) El prolongado período refractario del músculo cardíaco previene la contracción tónica.

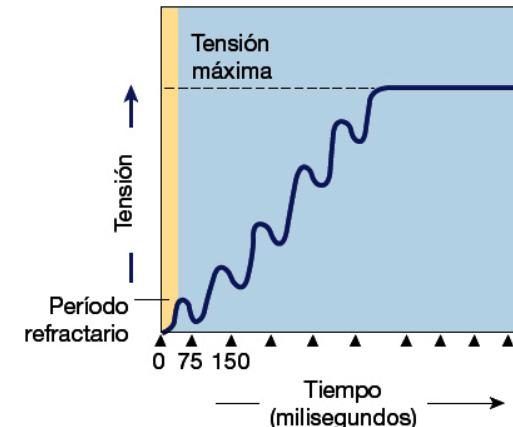


Músculo esquelético

(c) Fibra de contracción rápida del músculo esquelético: el período refractario (amarillo) es muy breve en comparación con el tiempo que se requiere para el desarrollo de la tensión.



(d) Los músculos esqueléticos que son estimulados de manera repetida muestran sumación y contracción tónica (no se muestran los potenciales de acción).



LEYENDA

- ▲ = Estímulo para el potencial de acción
- = Potencial de acción (mV)
- = Tensión del músculo

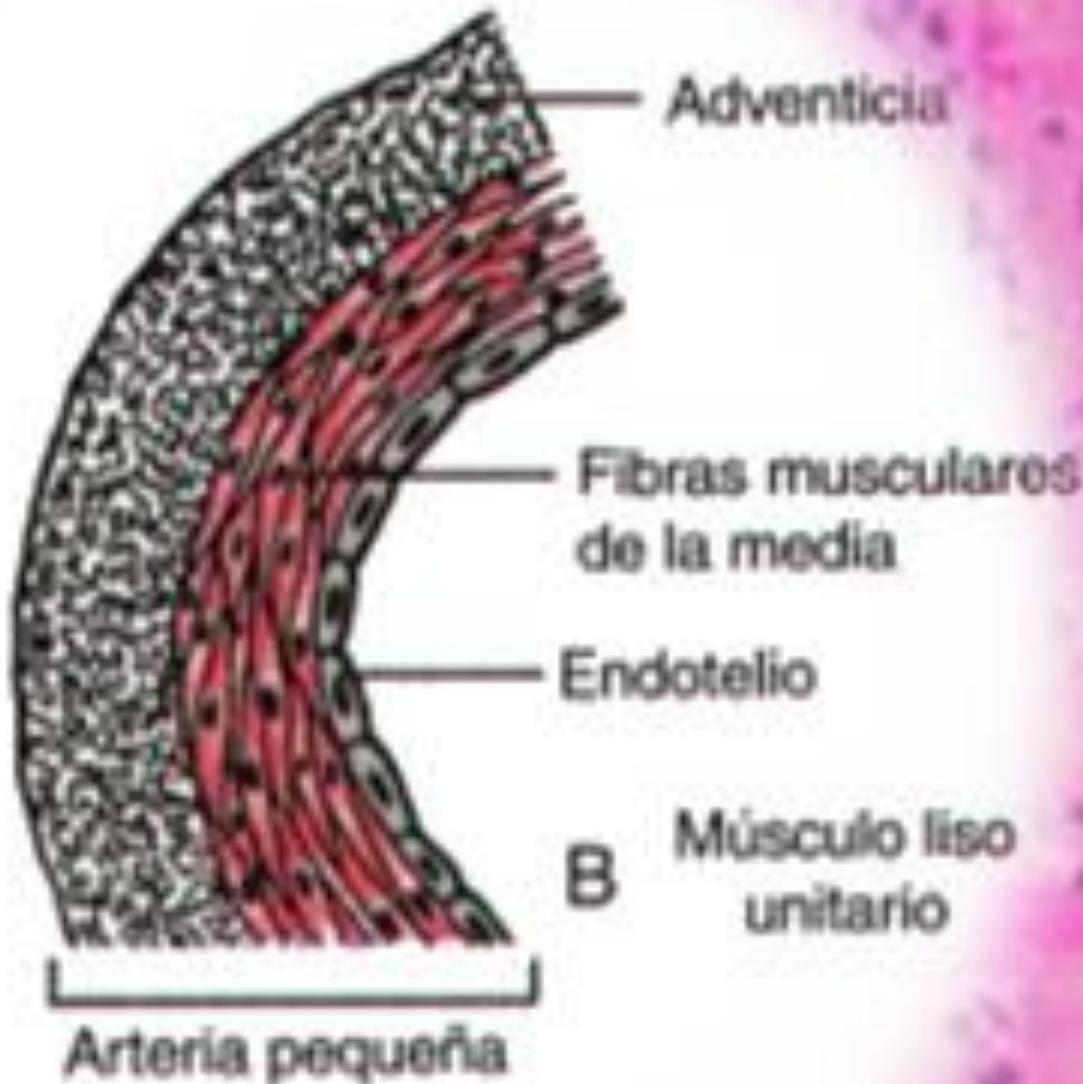
MÚSCULO LISO

- Vascular
- Gastrointestinal
- Urinario
- Reproductivo
- Respiratorio
- Ocular

- Posee más variedad de fibras y propiedades eléctricas.
- Las fibrillas no se distribuyen en sarcómeras.
- Trabaja en un rango amplio de longitudes.
- Su anatomía y funcionalidad es más difícil de dilucidar. Puede poseer capas que pueden ir en diferentes direcciones.
- Posee propiedades eléctricas variables. Utiliza menor energía para desarrollar igual fuerza que el músculo esquelético y en mayor tiempo sin fatigarse.
- Funcionalmente tiene múltiples vías de activación y regulación (eléctricas o químicas) – SNA y hormonal y otras sustancias.
- Posee células más pequeñas y con una estructura diferente
- El acoplamiento conducción contracción es distinto. No posee regiones receptoras especializadas.



Músculo liso
multiunitario

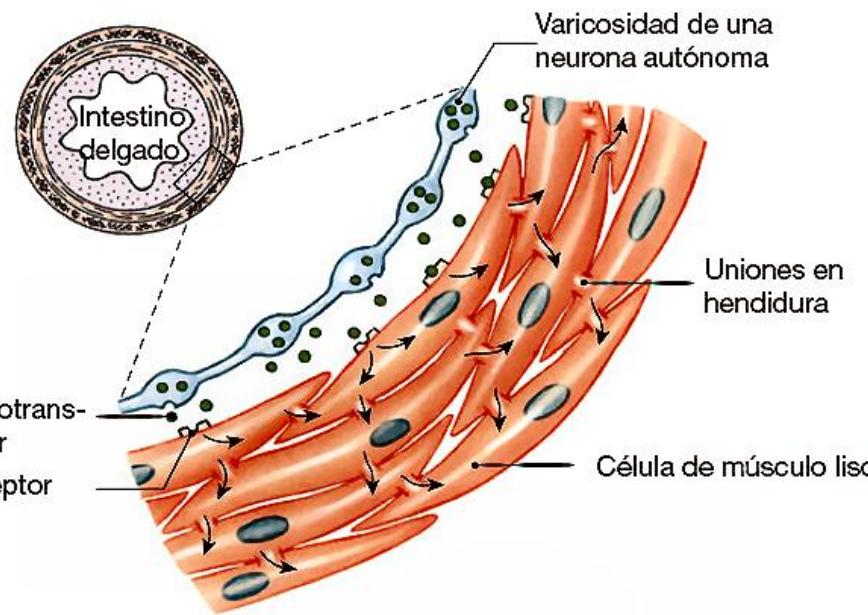


TIPOS:

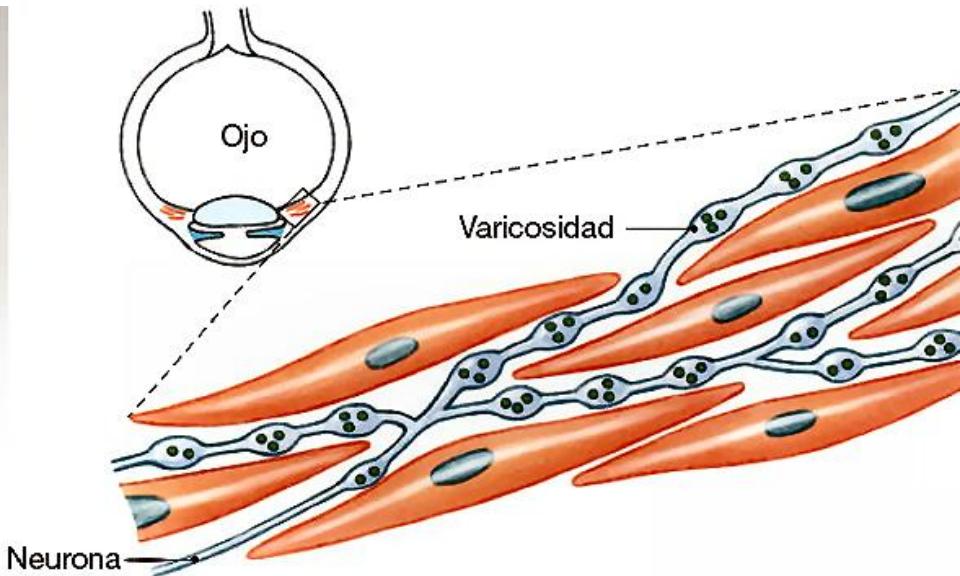
- Músculo liso multiunitario
- Músculo liso unitario

COORDINACIÓN DEL MÚSCULO LISO

(a) Las células de músculo liso unitario están conectadas mediante uniones en hendidura, y las células se contraen como una unidad.

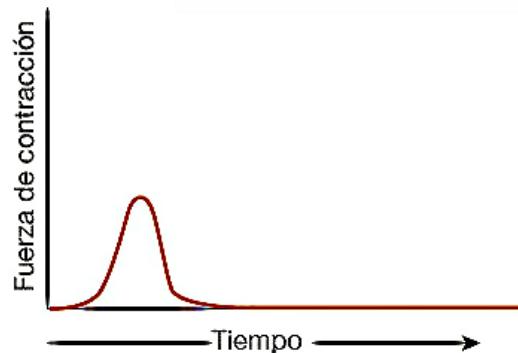


(b) Las células de músculo liso multiunitario no están conectadas eléctricamente, y cada célula debe ser estimulada independientemente.

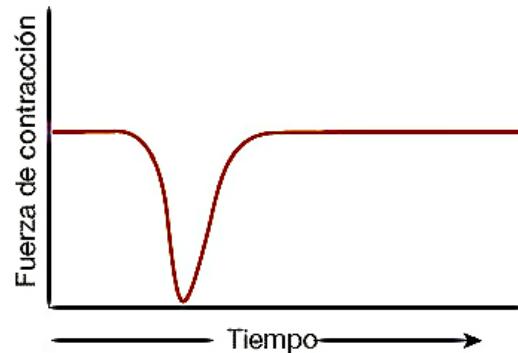


CONTRACCIONES DEL MÚSCULO LISO

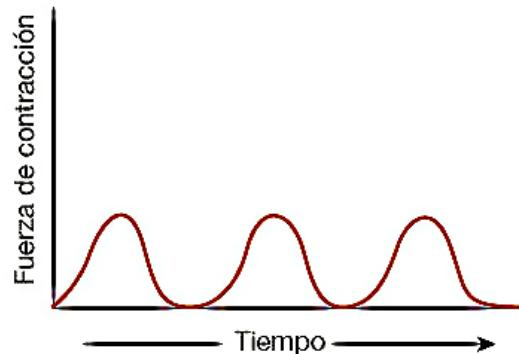
(a) Un músculo liso fásico que está habitualmente relajado.
Ejemplo: esófago



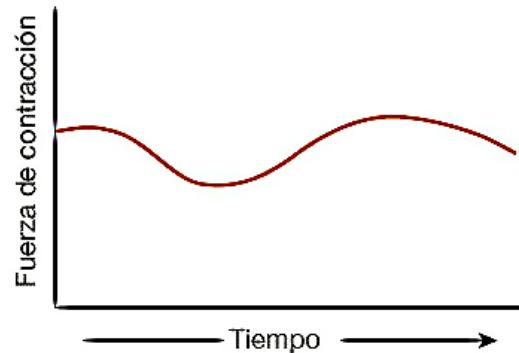
(c) Un músculo liso tónico que está habitualmente contraído.
Ejemplo: un esfínter que se relaja para permitir el paso de sustancias.



(b) Un músculo liso fásico que alterna entre contracción y relajación.
Ejemplo: intestino

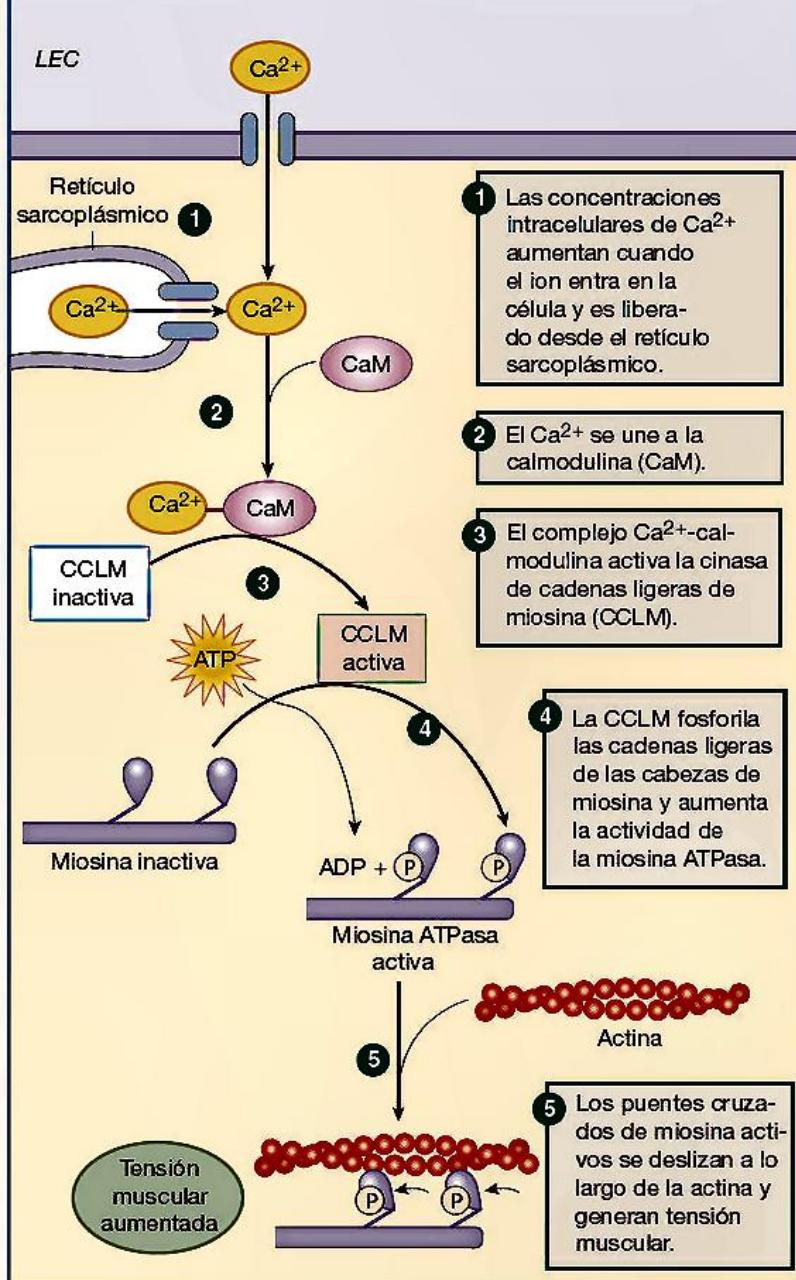


(d) Un músculo liso tónico cuya contracción varía según se requiera.
Ejemplo: músculo liso vascular



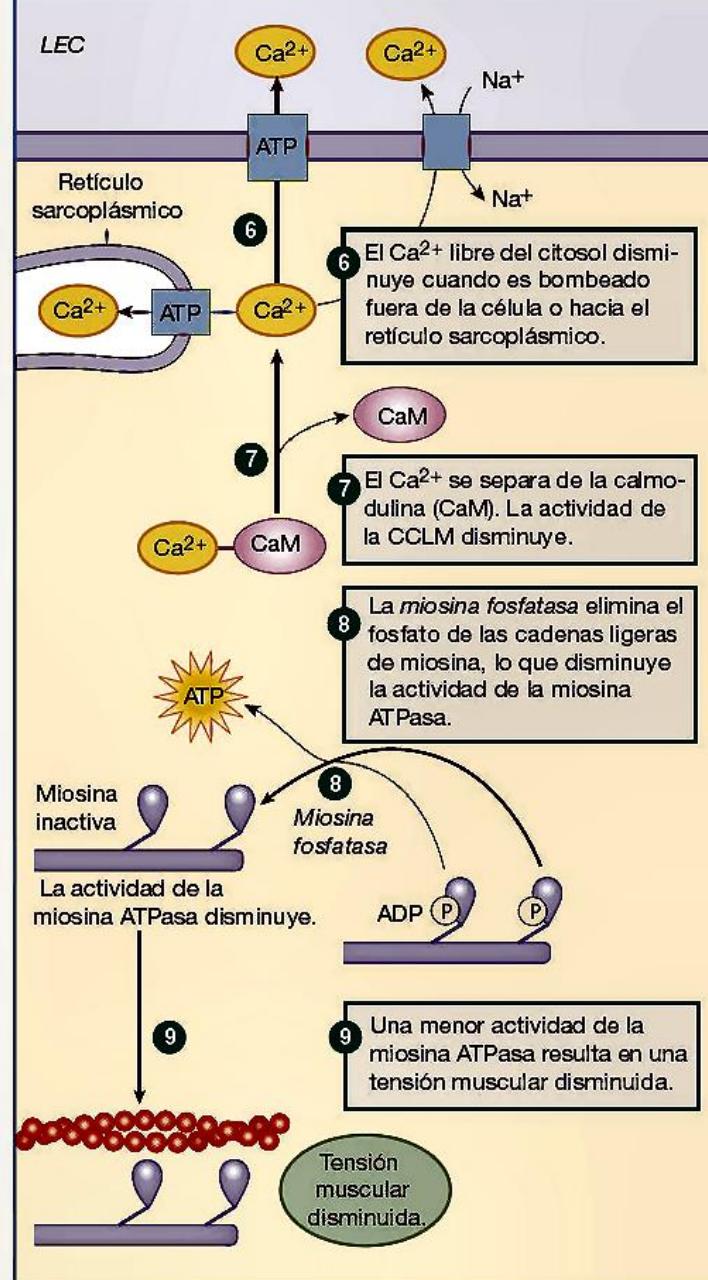
Contracción del músculo liso

El aumento del calcio citosólico es la señal para la contracción.

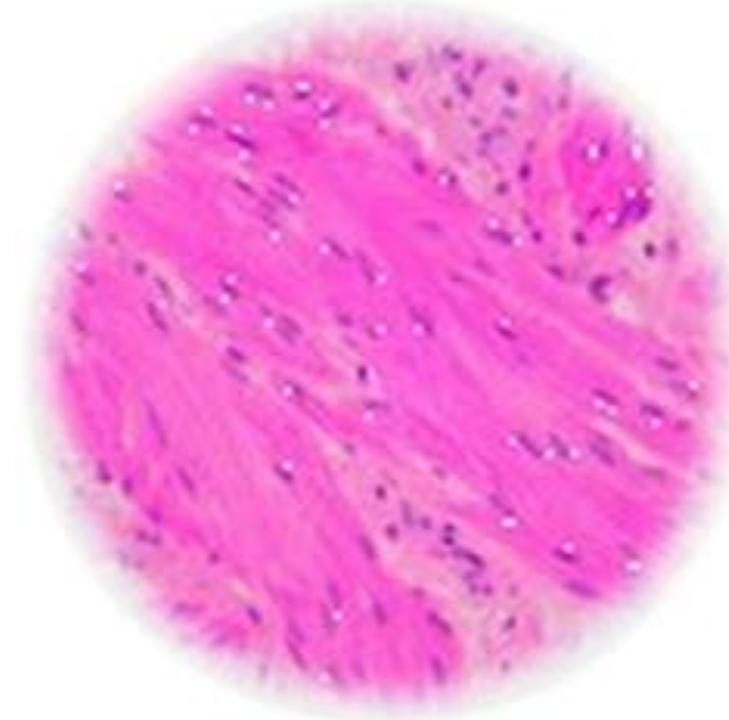
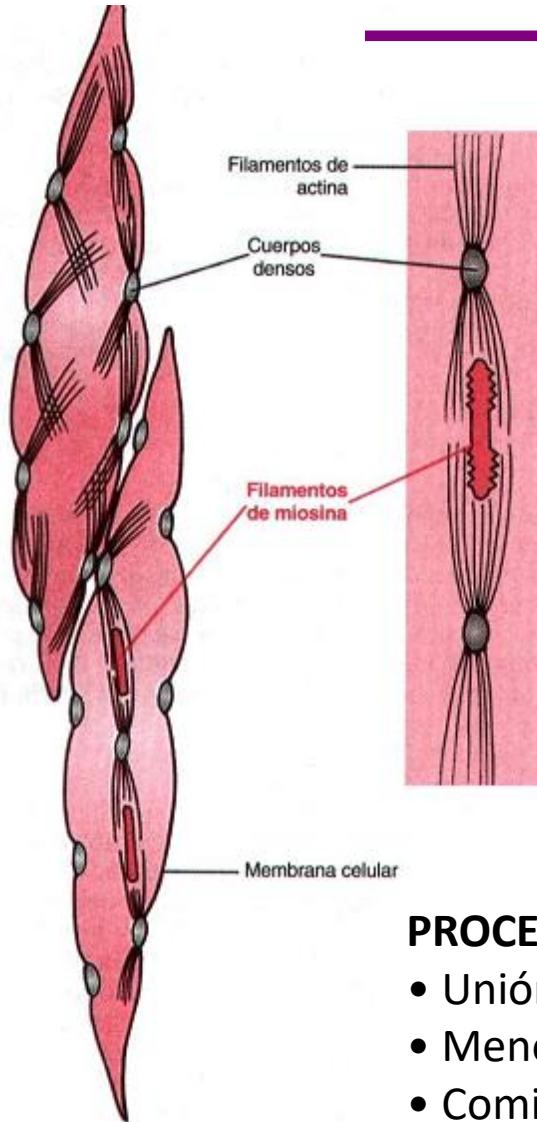


Relajación en el músculo liso

La eliminación de Ca²⁺ del citosol es el primer paso en la relajación.



MÚSCULO LISO



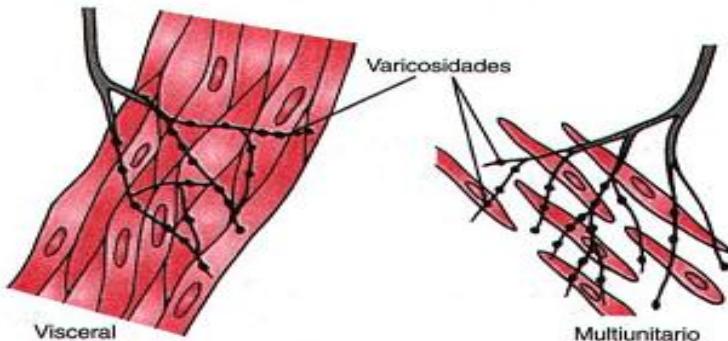
PROCESO CONTRÁCTIL

- Unión mucho mas lenta de la miosina a la actina
- Menor energía requerida
- Comienzo lento de la contracción y relajación del músculo liso
- Mayor fuerza de contracción

MÚSCULO LISO

REGULACIÓN DE LA CONTRACCIÓN POR LOS IONES CALCIO

1. Los iones calcio se unen a la calmodulina
2. Activación de una miosina cinasa (Ez fosforiladora)
3. Se fosforila una de las cadenas livianas de la miosina y de esa manera se despega
4. La cabeza fosforilada permite que se una el filamento de actina al de miosina
5. Cuando baja la concentración de calcio a un valor crítico se revierte el proceso
6. Una miosina fosfatasa desfosforila la cabeza de miosina

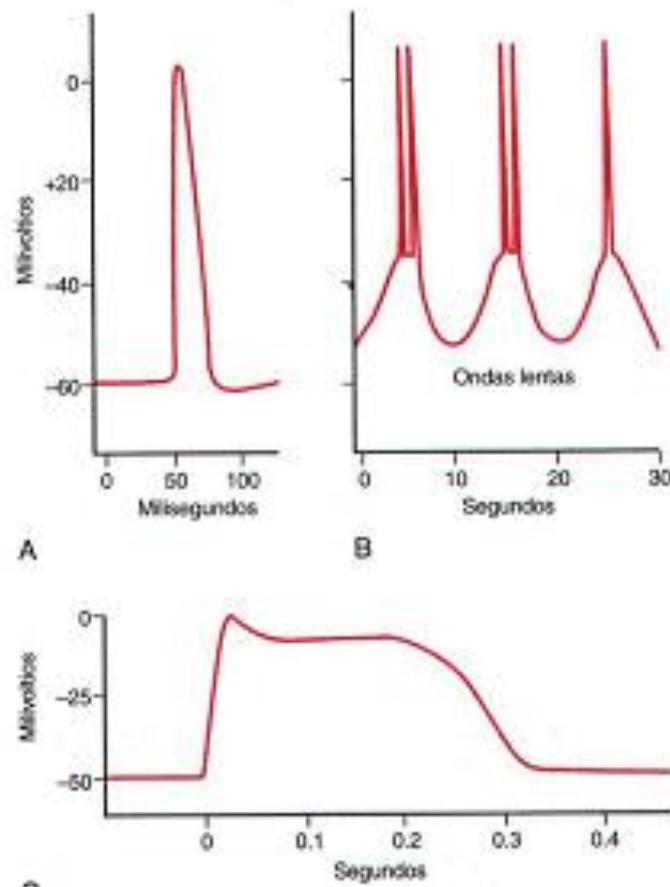


CONTROL NEUROLÓGICO Y HORMONAL DE LA CONTRACCIÓN DEL MÚSCULO LISO

Tanto Acetilcolina como Noradrenalina pueden excitar o inhibir al músculo liso, la acción que va a provocar cada una de ellas dependerá del receptor al que se una

MÚSCULO LISO

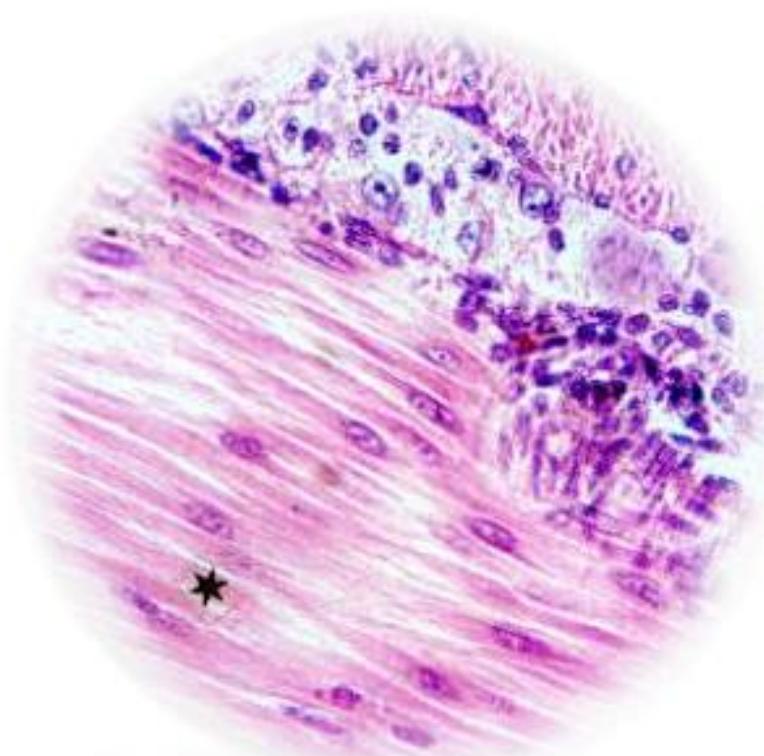
POTENCIALES DE MEMBRANA Y DE ACCIÓN EN EL MÚSCULO LISO UNITARIO



Potencial de membrana = - 50 a -60 mV

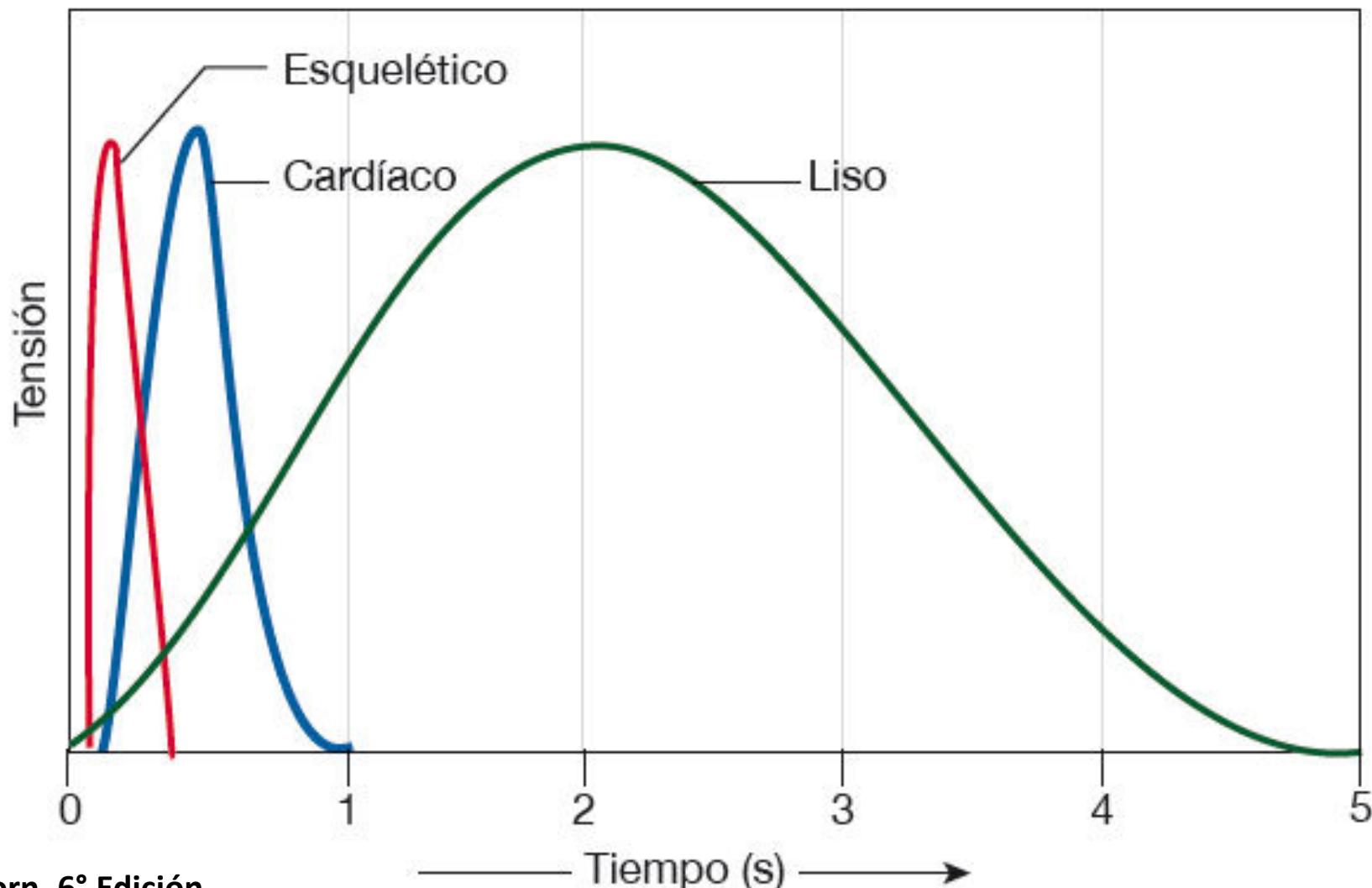
Potenciales de acción

- En espiga
- Con meseta

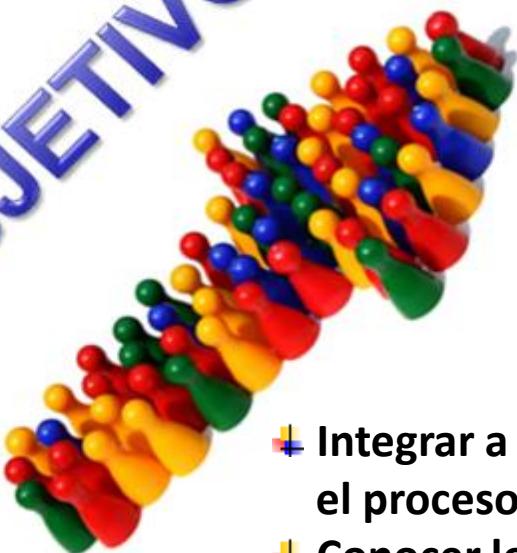


Duración de la contracción muscular en los tres tipos de músculo

Los músculos lisos son los más lentos para contraerse y relajarse.



OBJETIVOS



- ✚ Integrar a los fenómenos eléctricos en el proceso de comunicación celular.
- ✚ Conocer los distintos tipos de músculos y sus características comunes y diferenciales
- ✚ Integrar estas similitudes y diferencias a la función propia de cada músculo

