

TEJIDO MUSCULAR

Dra. María José Madariaga

“Histología y embriología” – 2018

Área Morfología

A stylized, layered mountain range graphic in shades of teal and blue, located in the bottom right corner of the slide.

Tejido especializado en el movimiento del cuerpo y sus partes y en el cambio de tamaño y forma de los órganos internos



CONTRACCIÓN

(Transformación de energía química en energía mecánica)

ESTRIADO

(estriado transversal)

Esquelético

Fijado a los huesos (voluntario).
Encargado de los movimientos del esqueleto y la posición corporal y de los movimientos de los ojos.

Visceral

Lengua, faringe, porción lumbar del diafragma, segmento superior del esófago (voluntario)
Fonación, deglución y respiración

Cardíaco

Corazón (automatismo, involuntario)
Tipos: de contracción y de conducción.

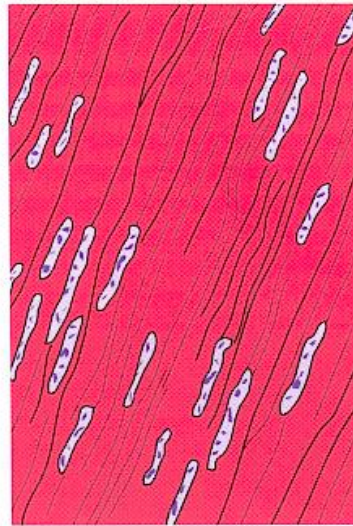
LISO

Vascular o Multiunitario

Vasos sanguíneos de mayor calibre, iris del ojo, conducto deferente

Visceral o Unitario

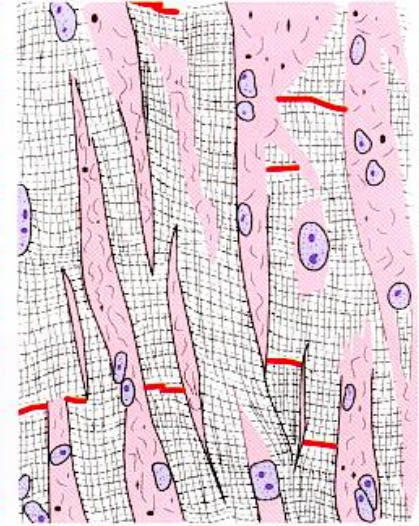
Visceras u órganos (automatismo, involuntario)



Músculo liso

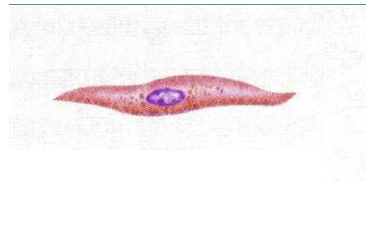
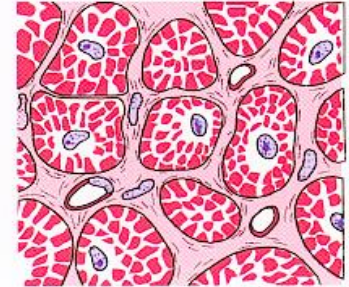
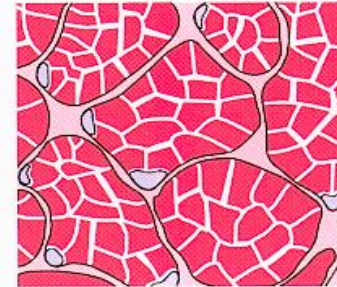
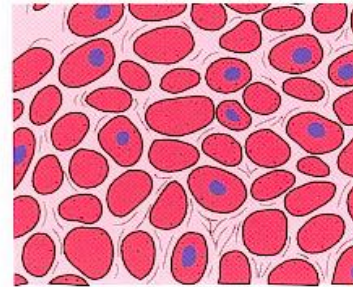


Músculo esquelético

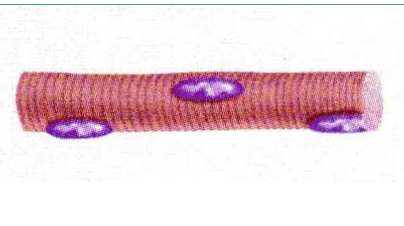


Músculo cardíaco

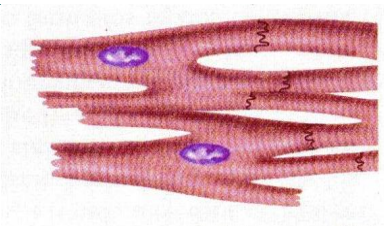
Fig. 13-1. Dibujos esquemáticos que muestran las **características histológicas básicas de los tres tipos de músculo**, como se ven en **cortes longitudinales (parte superior) y transversales (parte inferior)**, respectivamente, con el microscopio óptico. (Según Leonhardt.)



Célula ahusada, mononucleada, 20 a 500 μm



Célula cilíndrica, multinucleadas, 100 μm hasta 30 cm (sincicio)



Célula ramificada, uni o bi-nucleada, 50 a 100 μm

Tejido muscular esquelético

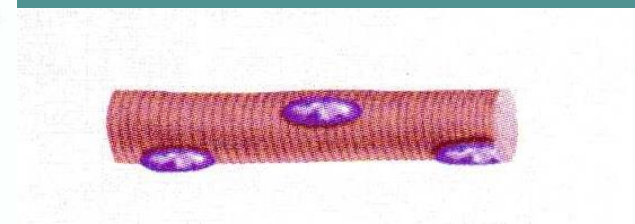
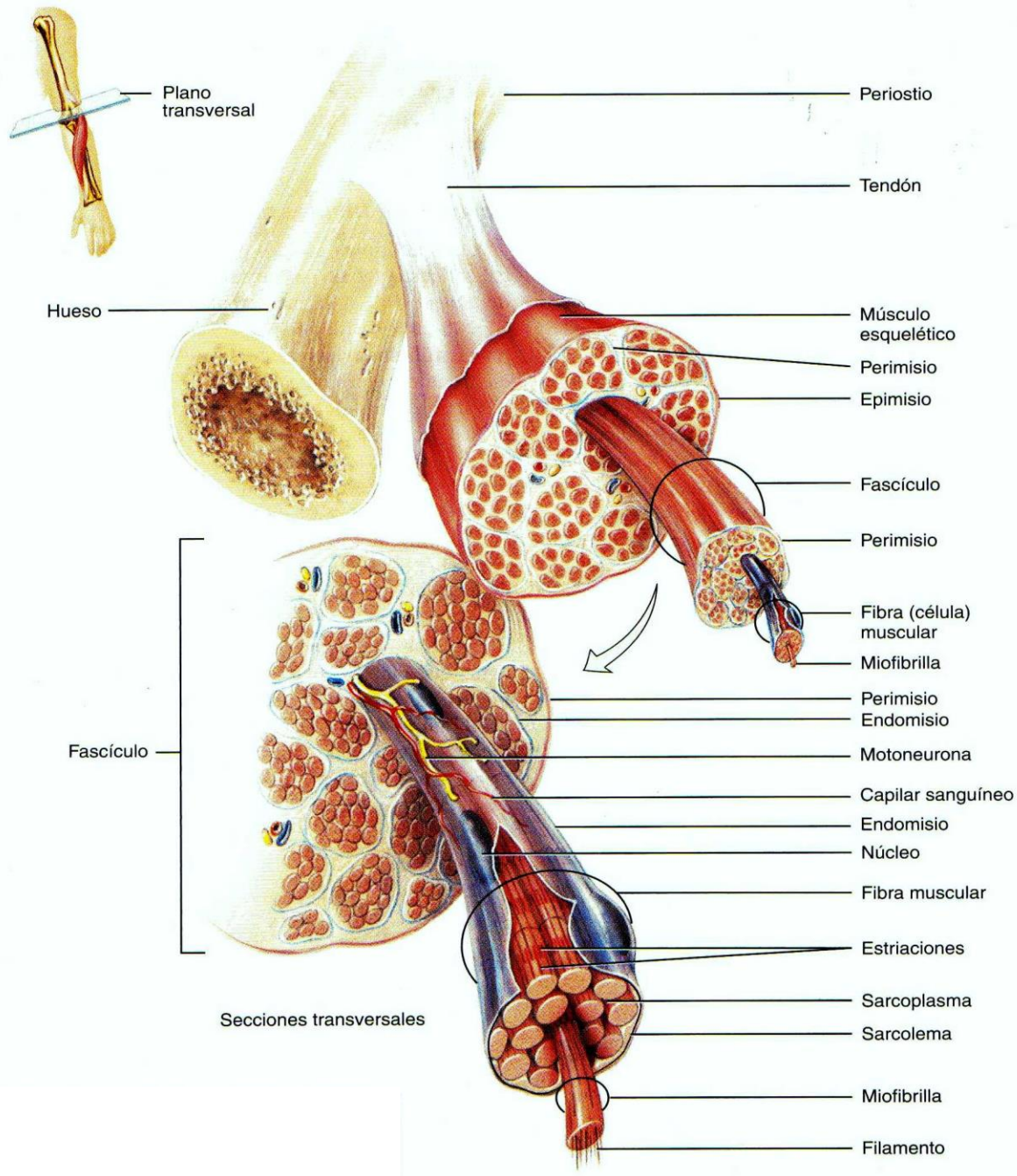
Célula = FIBRA

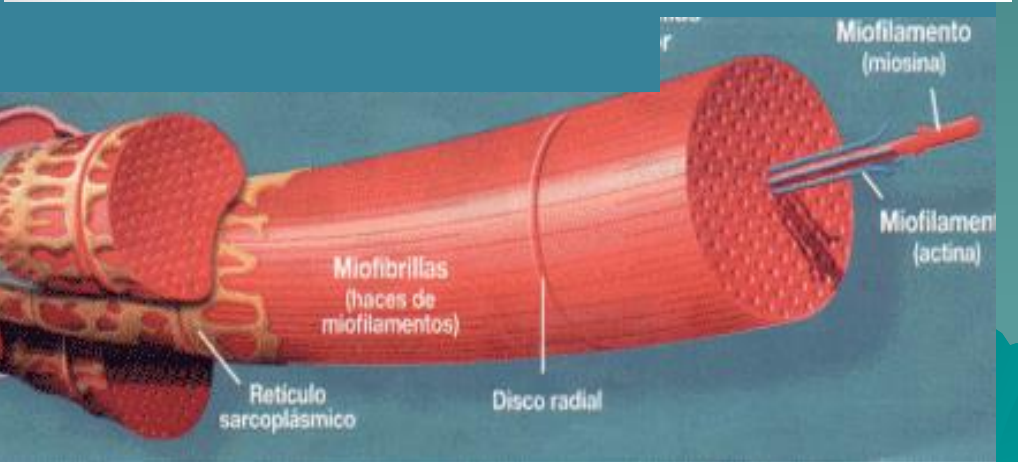
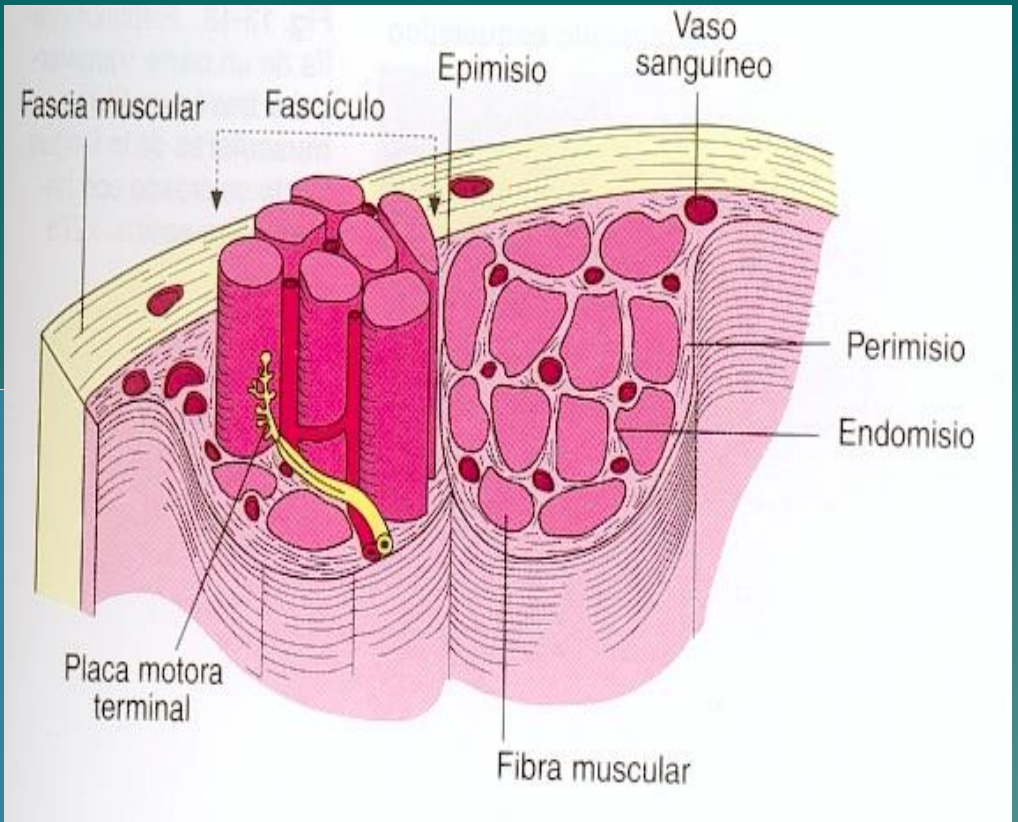
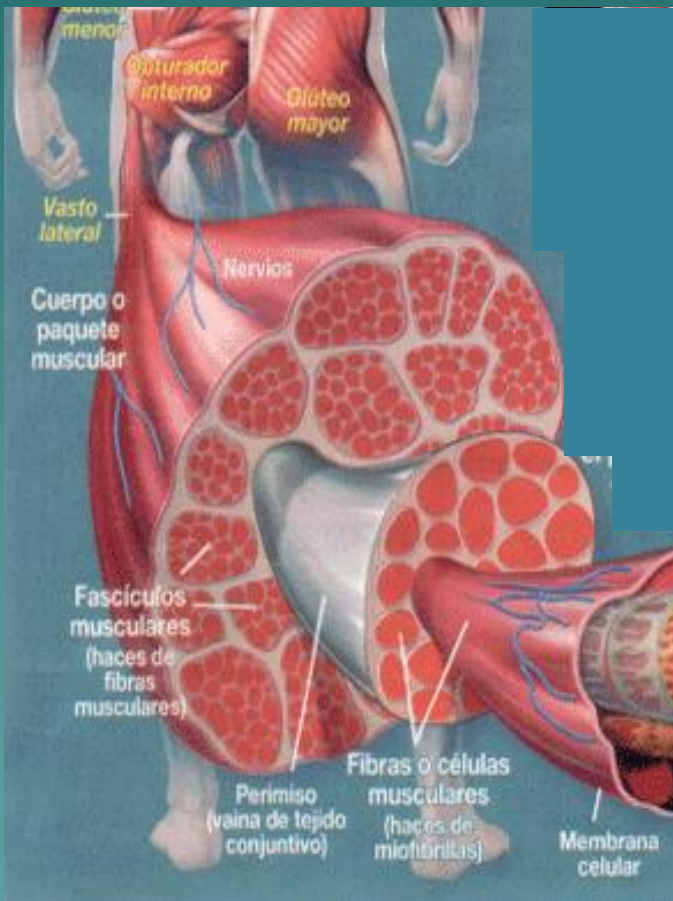
Membrana = SARCOLEMA

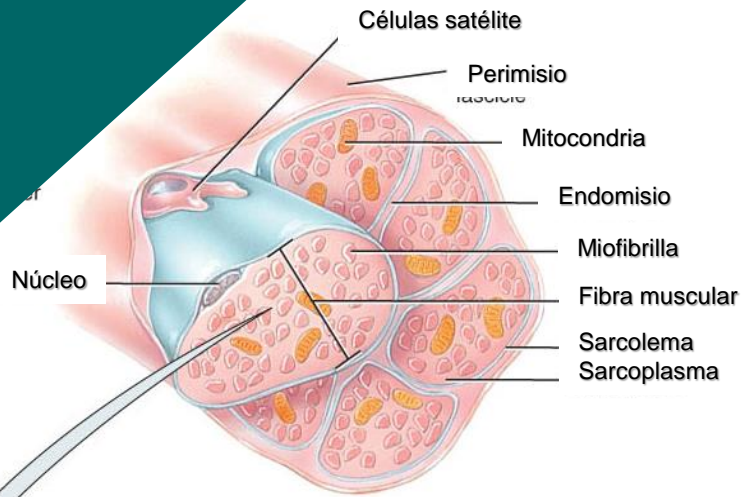
Citoplasma = SARCOPLASMA

**Retículo endoplasmático liso = RETICULO
SARCOPLASMATICO**

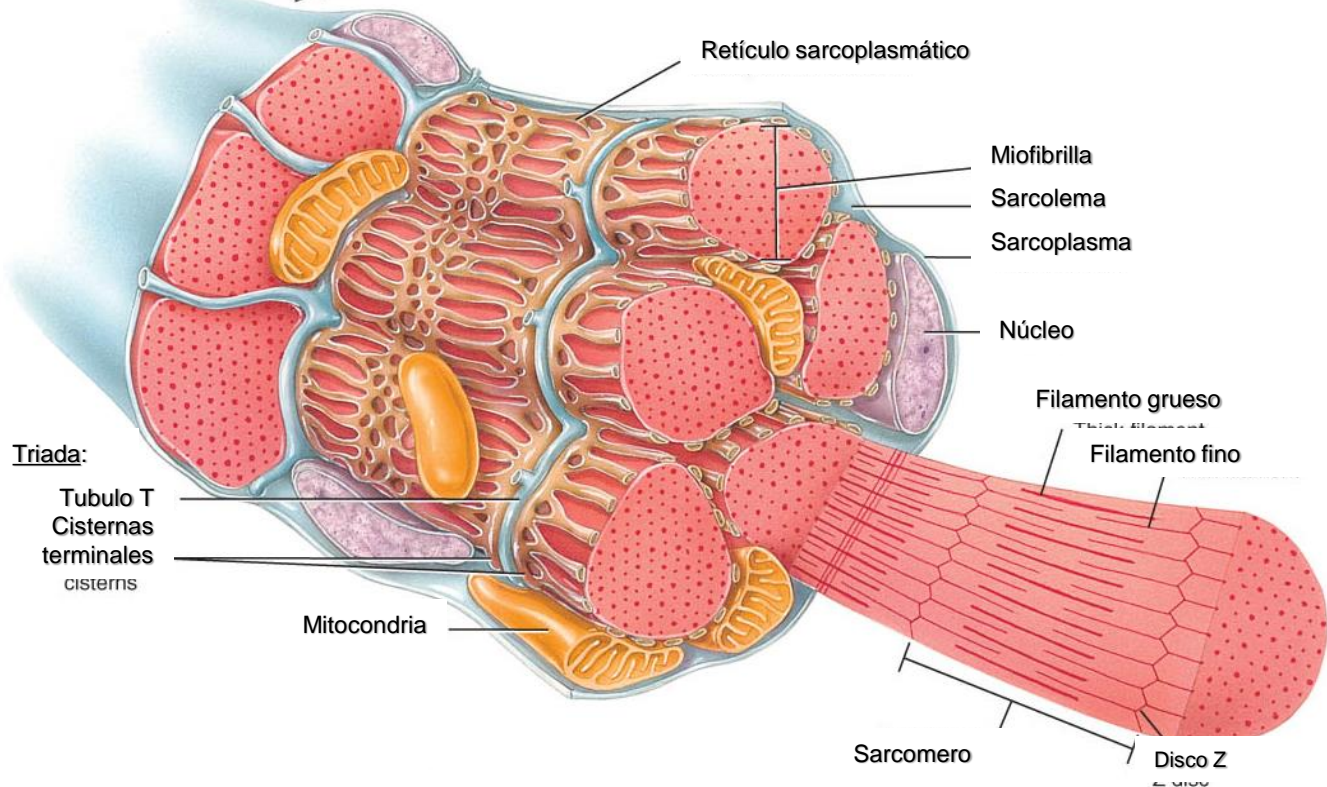
Mitocondrias = SARCOSOMAS







Organización de un fascículo



Hematoxilina



Impregnación argéntica
(fibras de reticulina)

Tipos de fibras (células) musculares esqueléticas

- ◆ De acuerdo con su color *in vivo*
- ◆ Se pueden distinguir con reacciones histoquímicas y citológicas especiales (glucógeno, NADH deshidrogenasa, ATP-asa), no con H-E.
- ◆ El tipo de fibra está dado principalmente por el contenido de mioglobina (fuente de O_2) y la cantidad de mitocondrias (metabolismo oxidativo).

Rojas: unidades de contracción lenta.

Gran resistencia a la fatiga, menos tensión muscular.
Extremidades de mamíferos, músculos del dorso.

Blancas: unidades motoras de contracción rápida.

Pronta fatiga y gran pico de tensión muscular.
Movimientos finos.

Músculos extrínsecos del ojo, movimientos de los dedos.

Intermedias



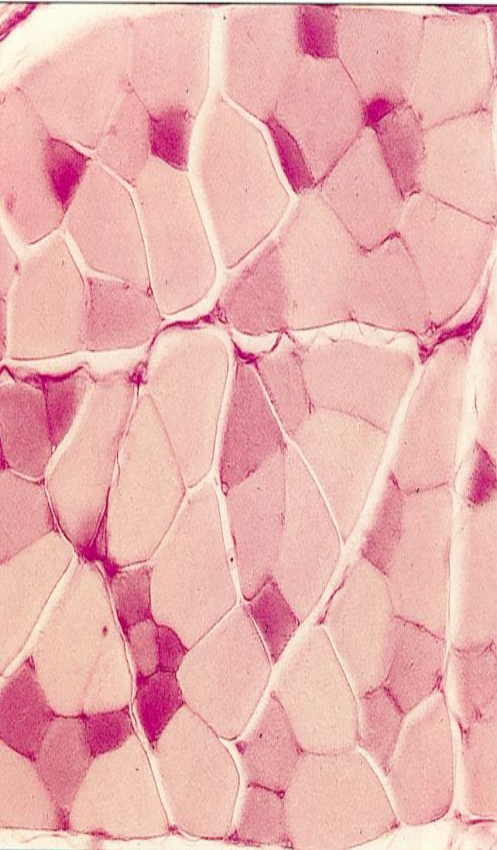
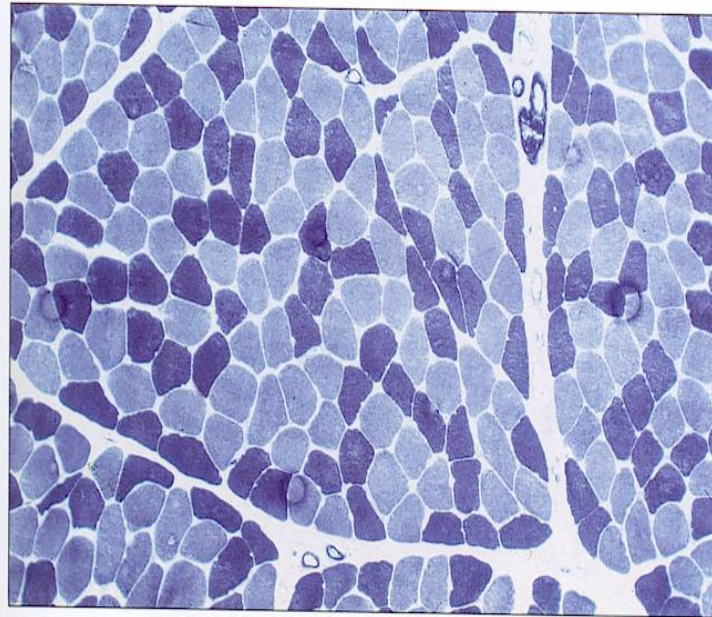
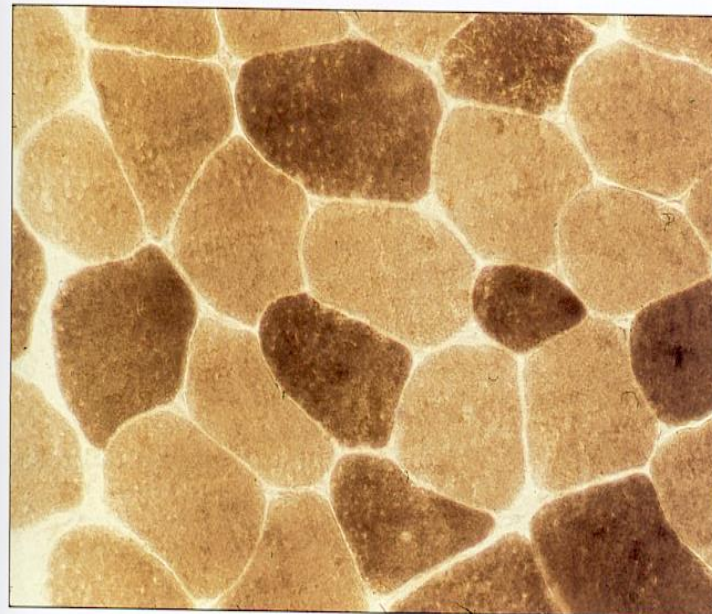


Fig. 25.—Valorando la cantidad de glucógeno en las fibras del músculo esquelético se comprueba la doble población celular; las fibras de contracción lenta o fibras rojas son pobres en glucógeno, por lo que en la imagen aparecen pálidas, mientras que las fibras de contracción rápida o t son ricas en glucógeno y en la fotografía aparecen rojas, muy positivas. PAS. 400x.



26



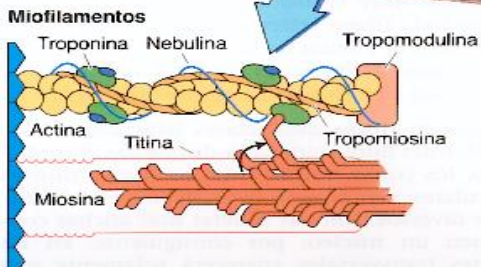
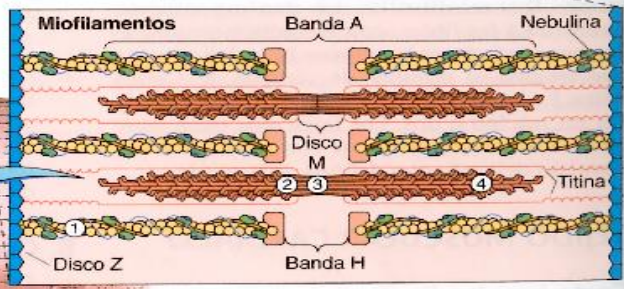
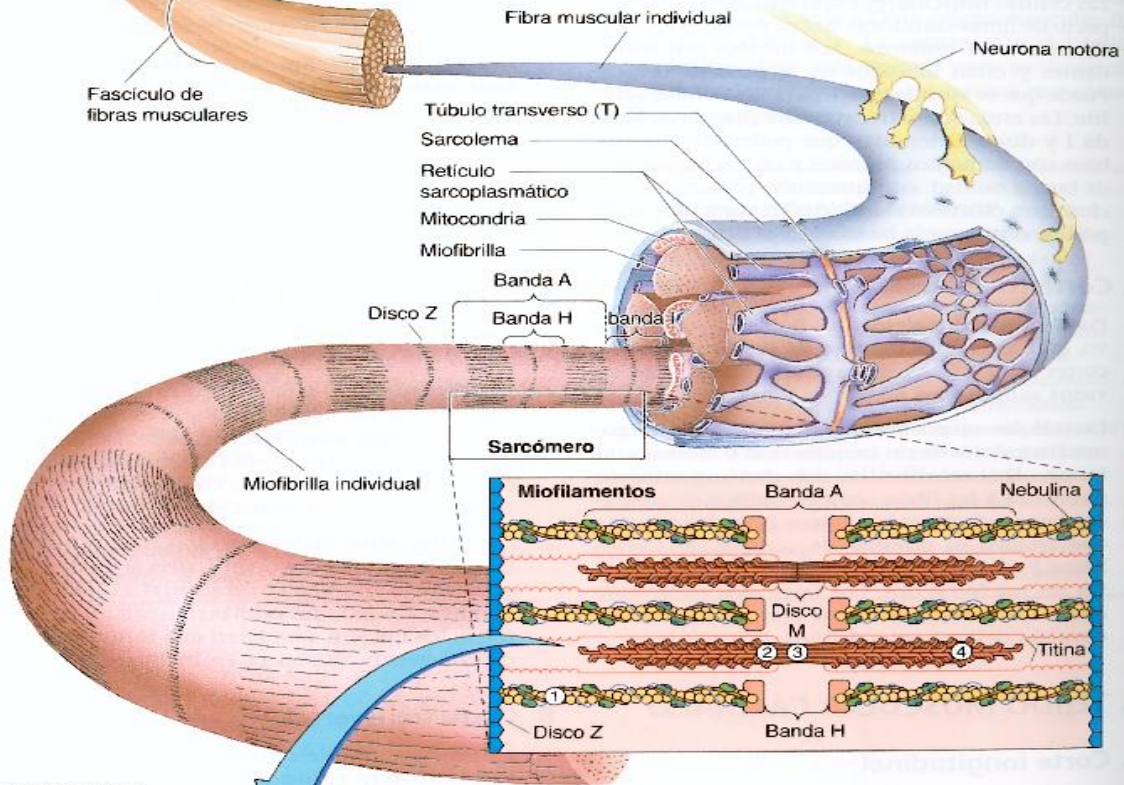
27

Figs. 26 y 27.—Los niveles de NADH deshidrogenasa (fig. 26) y ATP-asa (fig. 27) son altos en las fibras rojas.

200x, 400x.



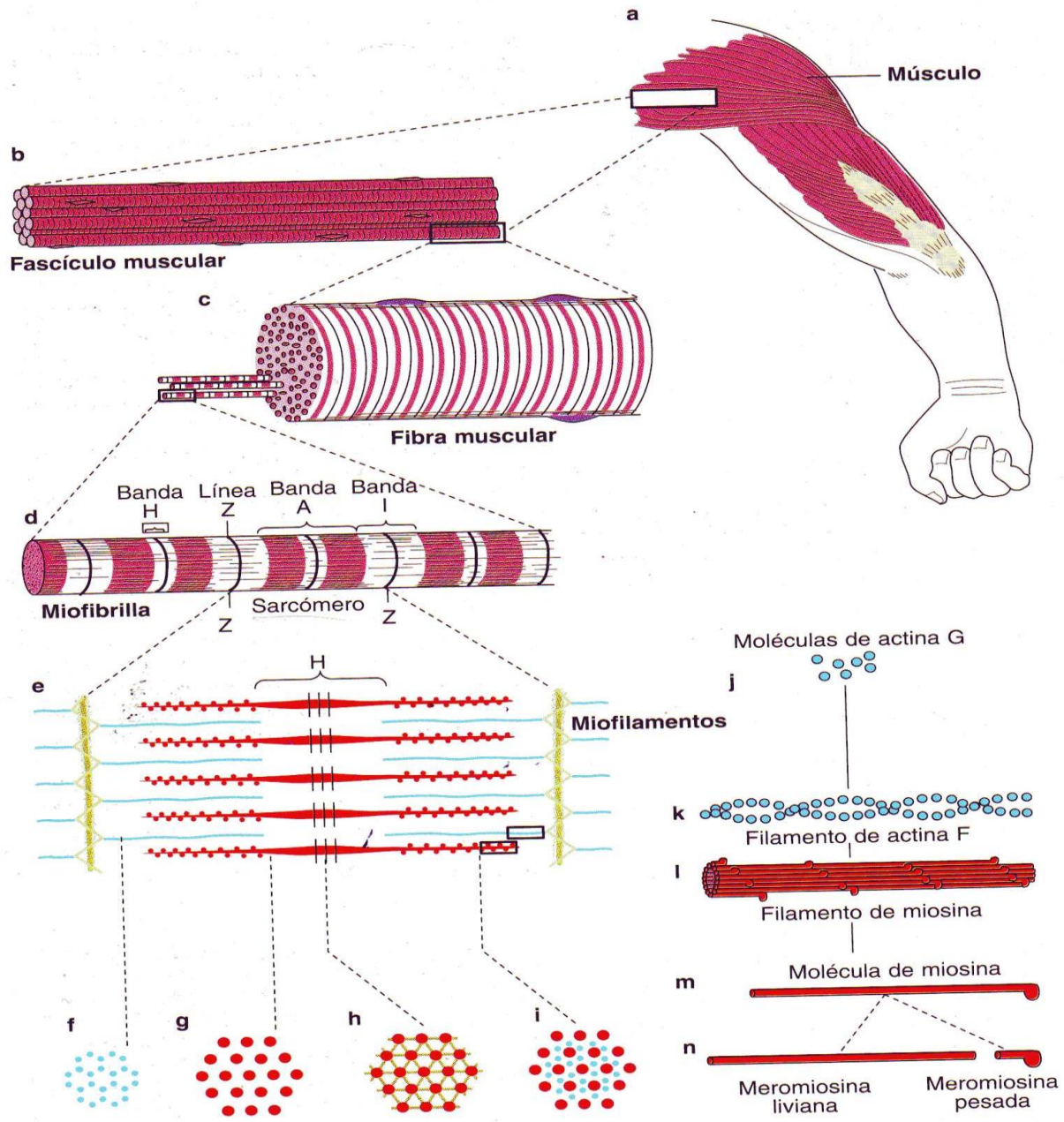
Las estriaciones de la célula muscular esquelética se resuelven en **bandas A** y **bandas I**. Las bandas I están divididas en dos mitades iguales por un **disco Z** y cada banda A contiene una zona clara, la **banda H**. En el centro de cada banda H hay un mesofragma oscuro, el **disco M**. Las miofibrillas contiguas están adheridas entre sí por filamentos intermedios de desmina y vimentina. La unidad contráctil básica de la célula muscular esquelética es el **sarcómero**, un conjunto de **miofilamentos (filamentos gruesos y finos)** ordenados con precisión. Invaginaciones tubulares, los **túbulos T (túbulos transversos)**, de la membrana plasmática muscular penetran profundamente en el sarcoplasma y rodean las miofibrillas de tal modo que a la altura de cada unión entre las bandas A y las bandas I estos túbulos se asocian con las **cisternas terminales** dilatadas del retículo sarcoplasmático (retículo endoplasmático liso) para formar **triadas**.



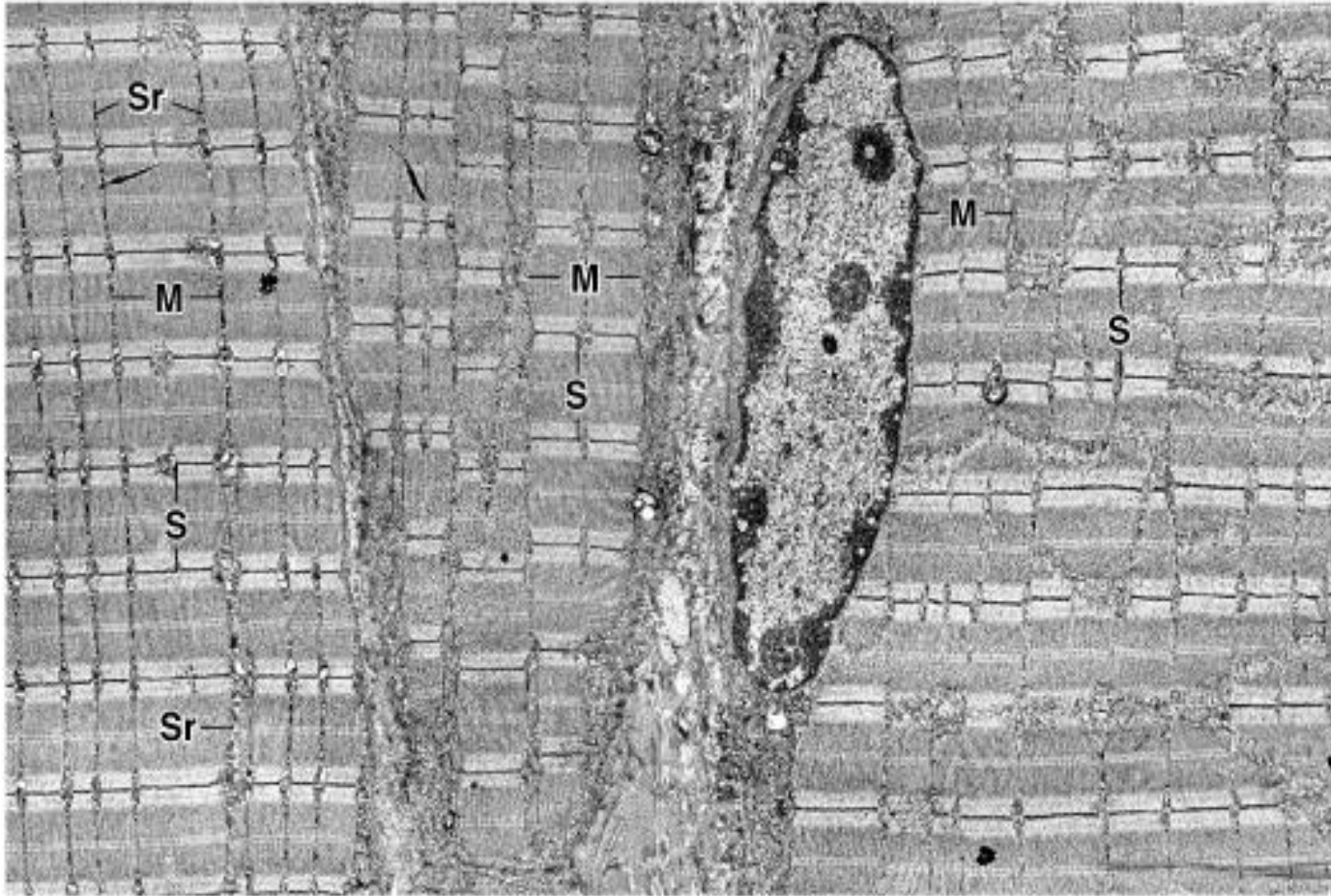
En el corte transversal de la banda A se ve que cada filamento grueso está rodeado por seis filamentos finos ubicados en los vértices de un hexágono imaginario.

Características de las células musculares esqueléticas

- La subunidad estructural y funcional de la fibra muscular es la ***miofibrilla***
- Las miofibrillas están compuestas de haces de ***miofilamentos***
- La unidad funcional de la miofibrilla es el ***sarcómero***: porción de miofibrilla comprendida entre dos líneas Z contiguas ($\pm 2,5 \mu\text{m}$)



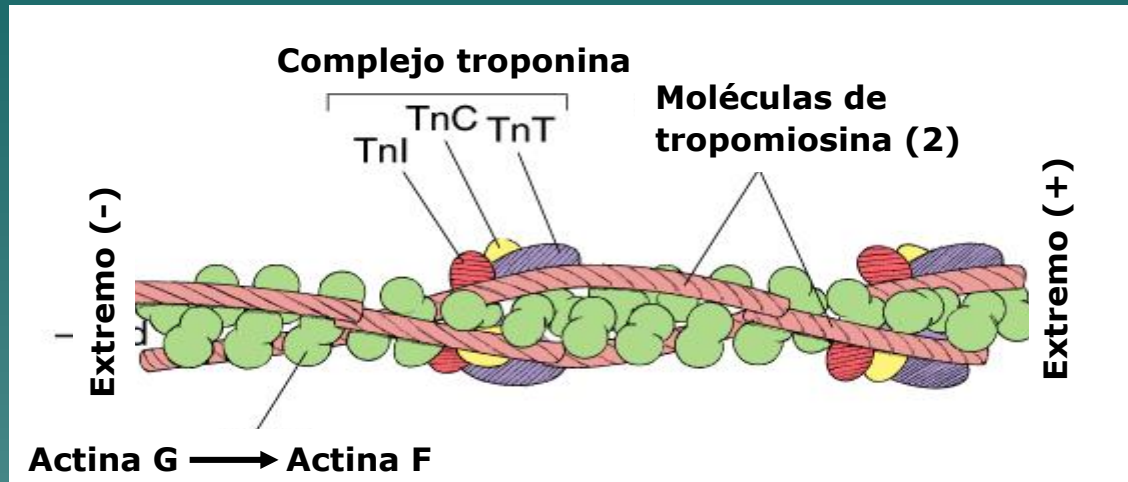
Relación actina/miosina: 6/1



Microscopía electrónica de fibras musculares esqueléticas

Filamento fino

(6 a 8 nm diám., 1 μ m long.)



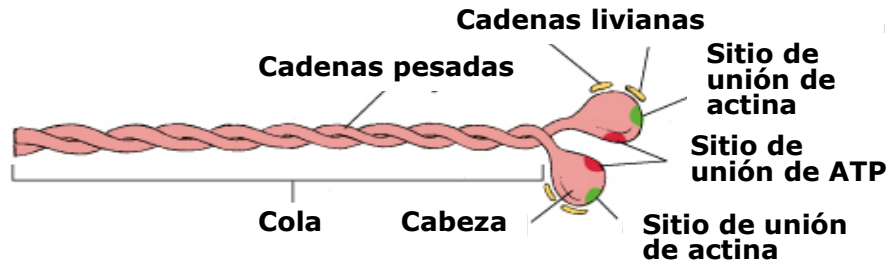
Componentes:

- **ACTINA:** 2 filamentos globulares enrollados entre sí,
- **TROPOMIOSINA:** 2 filamentos fibrilares enrollados entre sí,
- **TROPONINA:** complejo globular con 3 subunidades:
 - TnT (unión a tropomiosina)
 - TnC (unión de Ca^{+})
 - TnI (inhibición de unión a miosina)

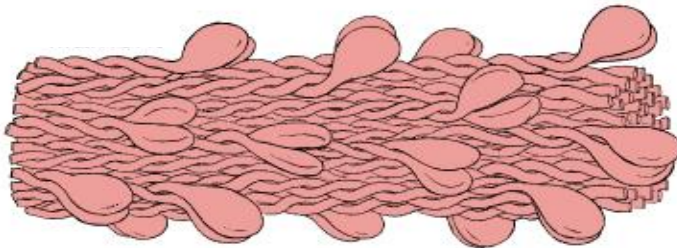
Filamento grueso

(15 nm diám., 1.5 μ m long.)

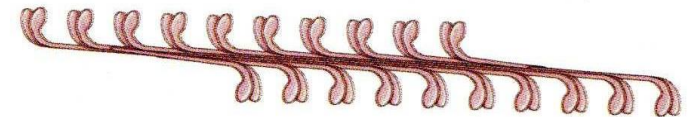
Molécula de miosina II



Filamento grueso bipolar
(músculo esquelético)



Filamento grueso

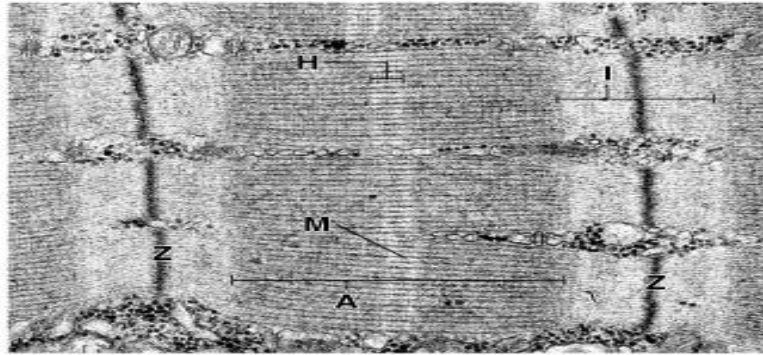


Filamento grueso polar lateral
(músculo liso)

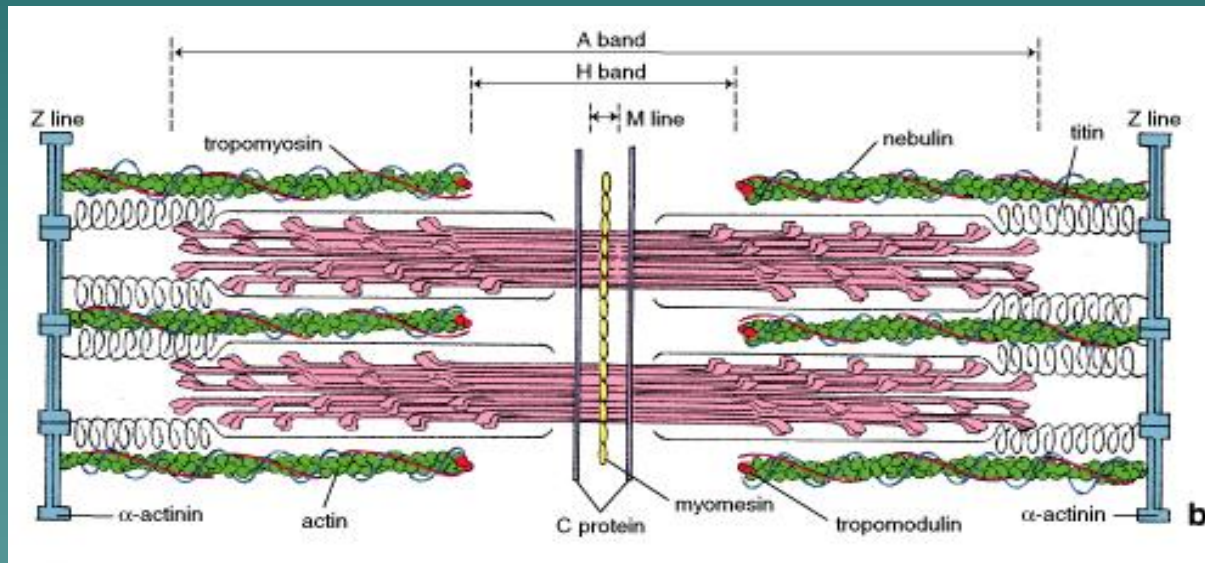
Componente:

MIOSINA II: 2 cadenas pesadas (cada una con una cabeza globular) y 4 cadenas livianas (2 esenciales, 2 reguladoras)

Las 200 a 300 moléculas se agrupan cola con cola (bipolar)

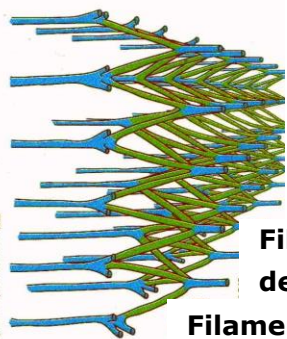


Microscopía electrónica del sarcómero



Esquema de la estructura molecular del sarcómero

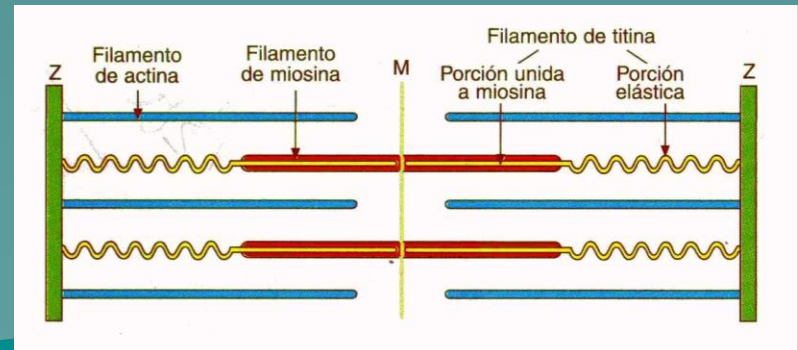
Línea Z



Filamento de actina

Filamento de actina

Filamento Z



PROTEÍNAS ACCESORIAS (mantienen la alineación precisa de los filamentos finos y gruesos)

Titina 2500kDa ancla los filamentos gruesos en la línea Z

α -actinina 190 kDa organiza los filamentos finos en forma paralela y los ancla a la línea Z

Nebulina 600kDa, inelástica, adherida a la línea Z. Ayuda a la α -actinina a anclar los filamentos finos a la línea Z

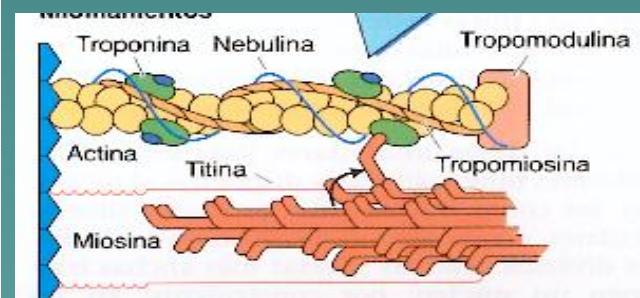
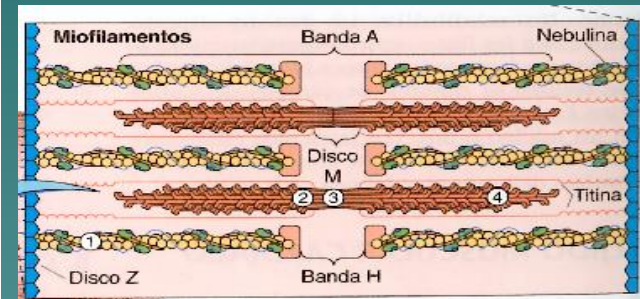
Tropomodulina, fijadora de actina, 40 kDa, mantiene y regula al filamento de actina

Desmina, proteína de filamento intermedio, 53kDa, forma una malla alrededor de l sarcómero a la altura de Z, con lo que une a los discos entre sí y a la membrana plasmática

Miomesina, fijadora de miosina, 180 kDa, mantiene los filamentos gruesos alineados en la línea M.

Proteína C idem miomesina

Distrofina, 427kDa, vincula la laminina (lámina externa de la célula muscular) con filamentos de actina.

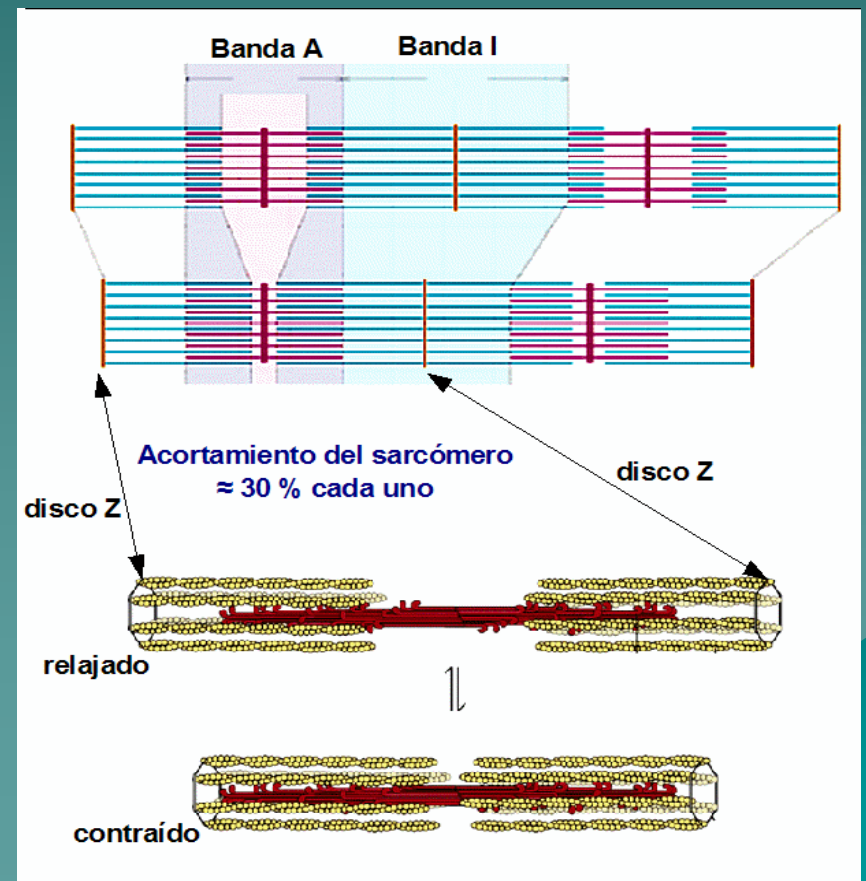
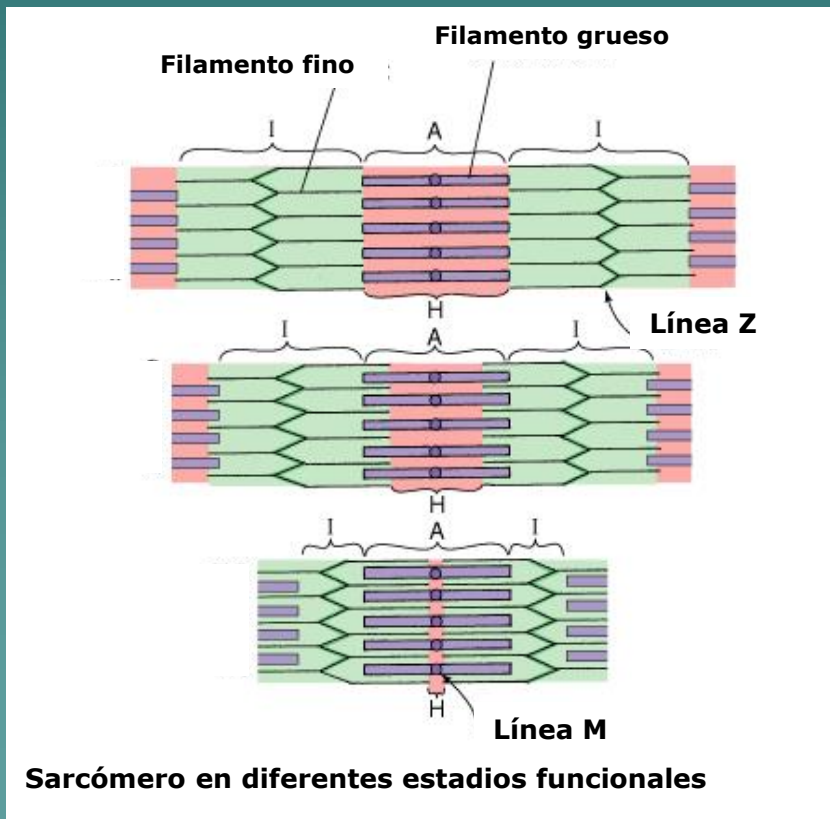


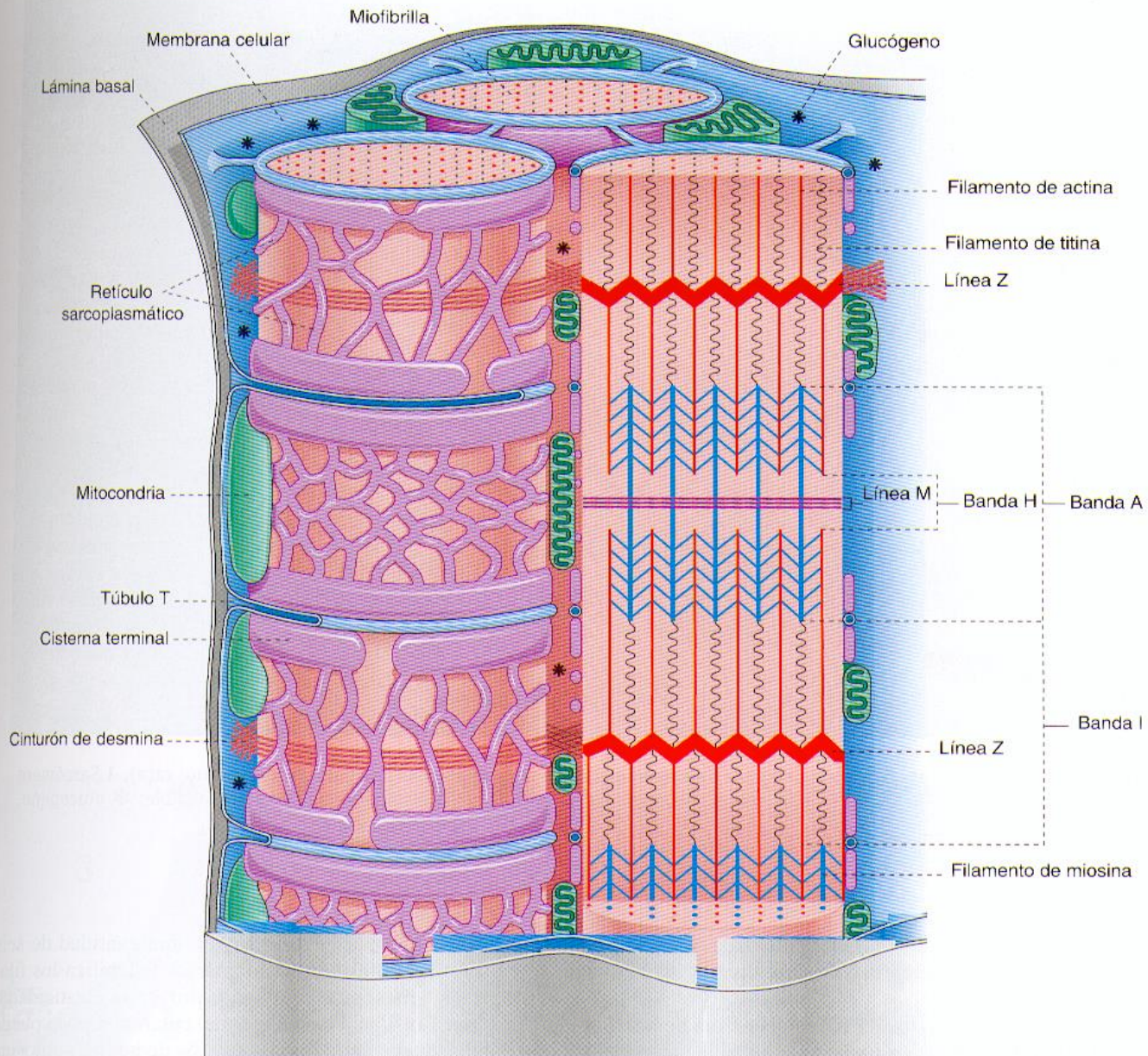
CONTRACCIÓN



INTERACCIÓN DE MIOFILAMENTOS

Modelo de filamentos deslizantes



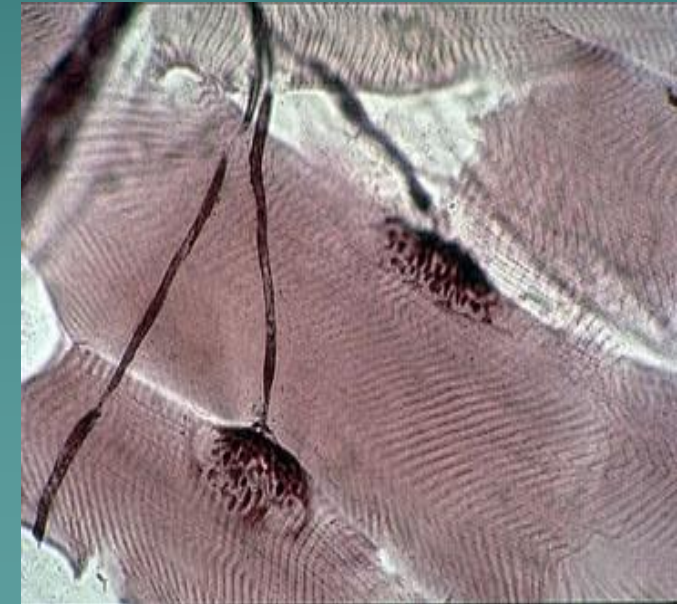
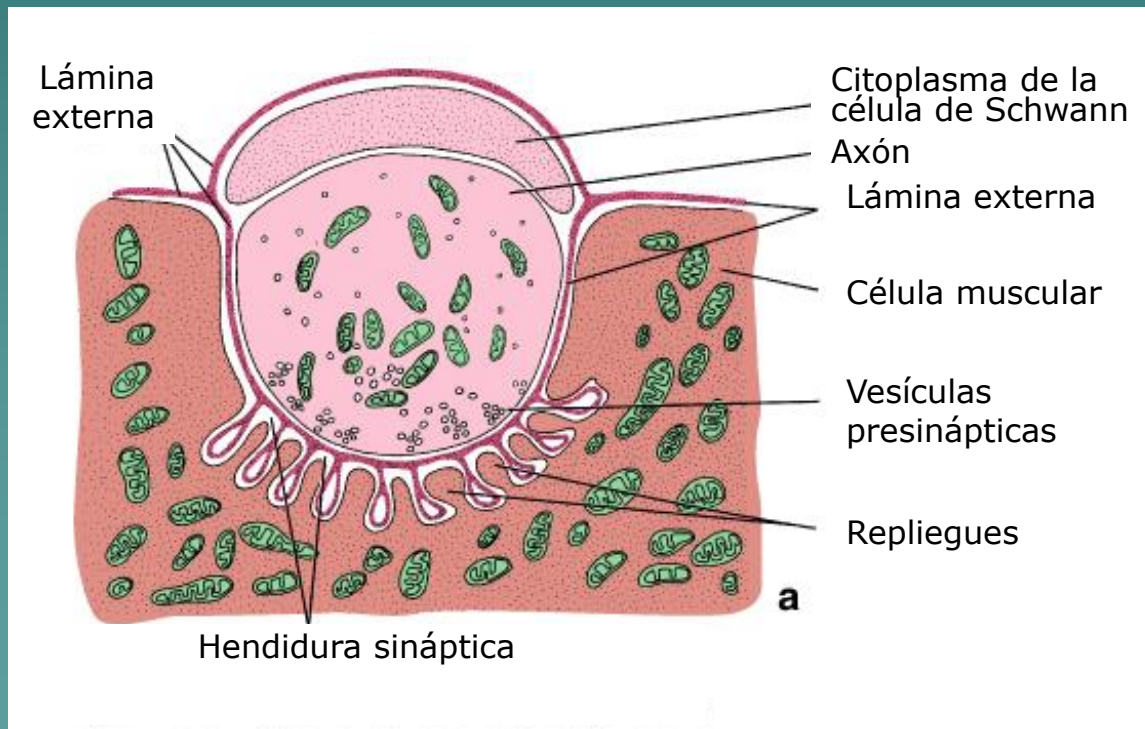


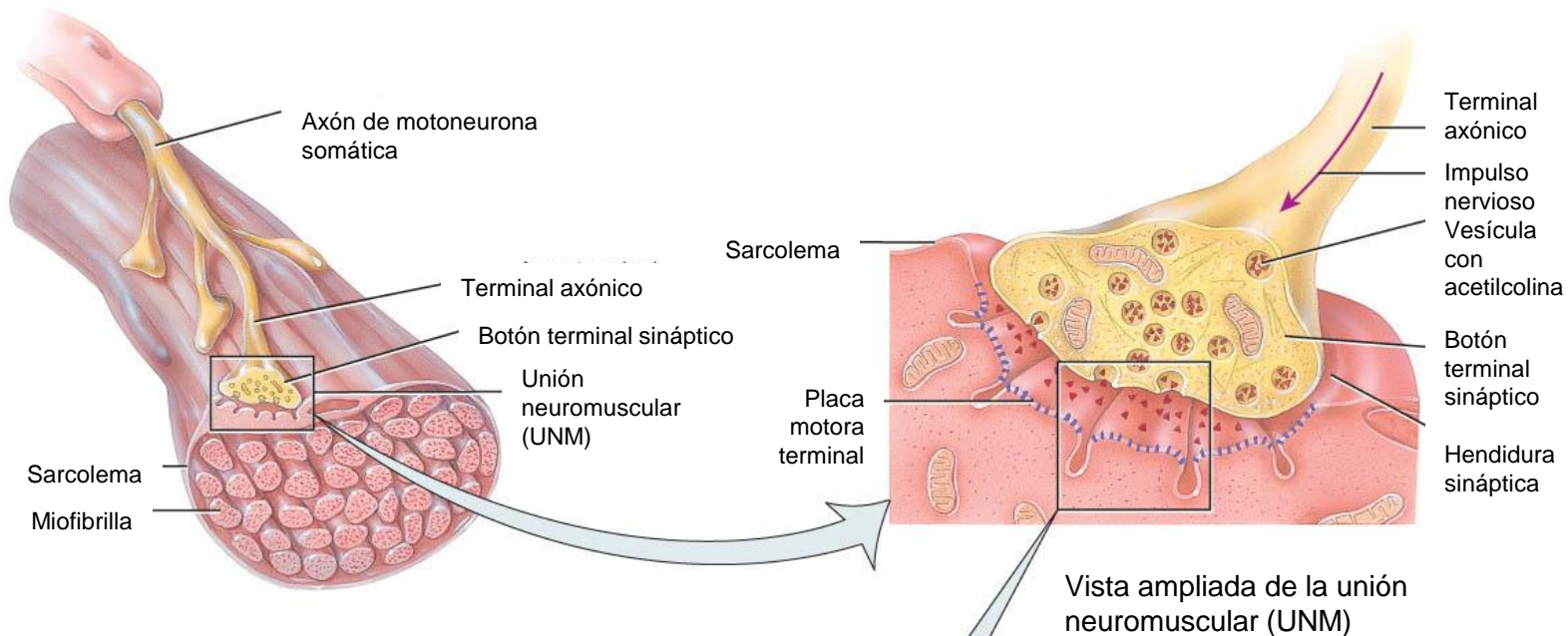
Aparato contráctil y estructuras de la membrana de la célula muscular esquelética. TRIADA

Inervación motora

Las fibras musculares esqueléticas están inervadas por neuronas motoras que se ubican en la médula espinal o en el tronco del encéfalo. Las ramificaciones terminales finalizan sobre células musculares individuales.

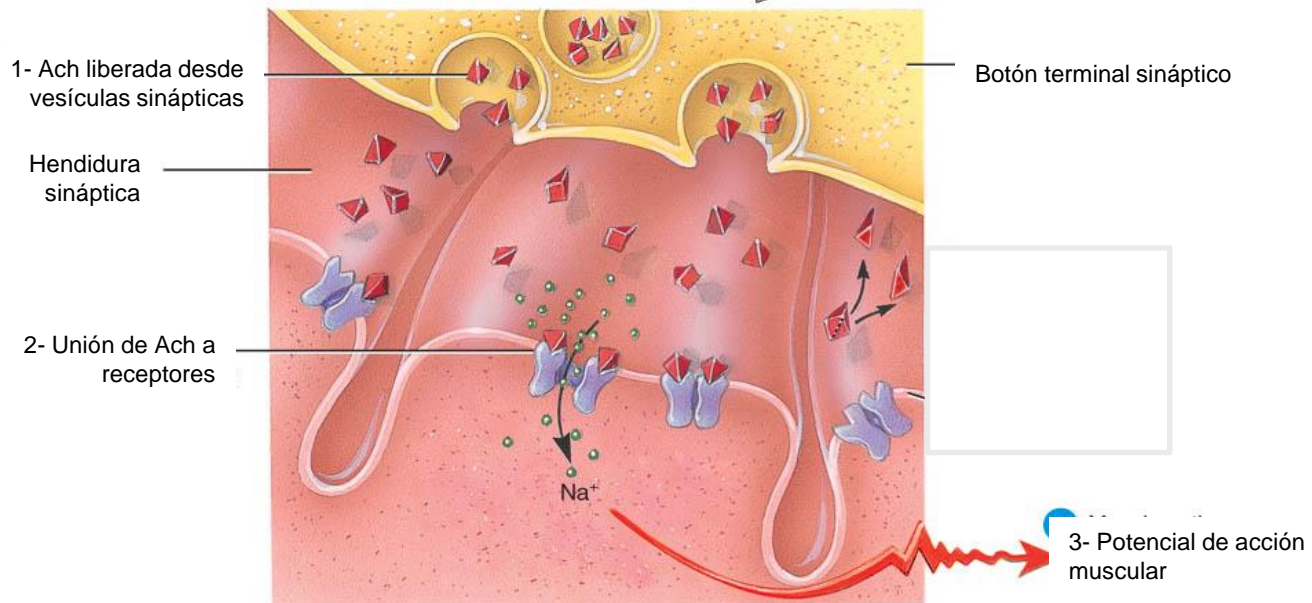
El sitio de contacto entre las ramificaciones terminales del axón y el músculo es la **unión neuromuscular (placa motora terminal)**.

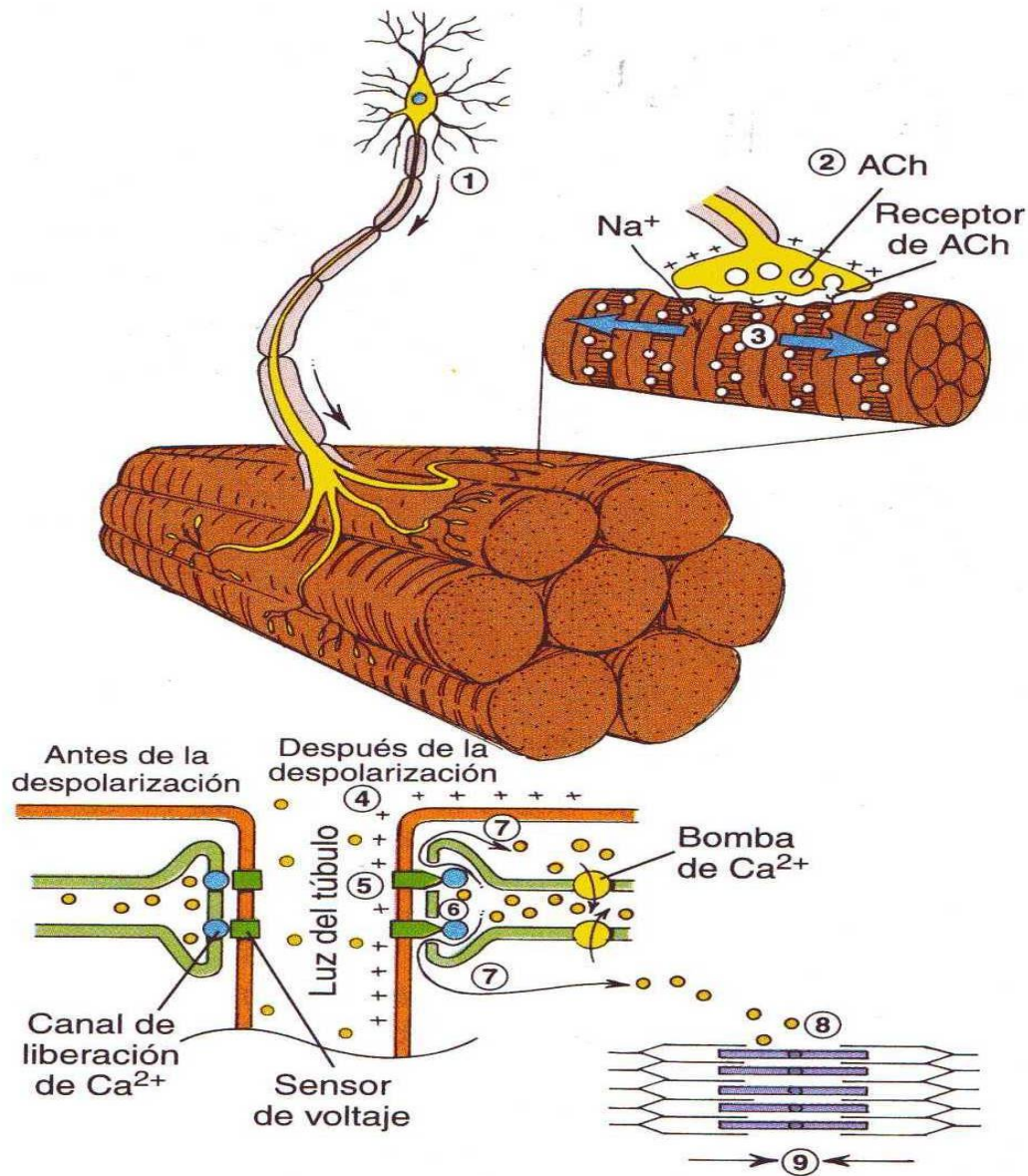




Unión neuromuscular (UNM)

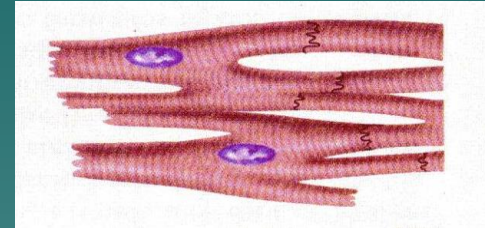
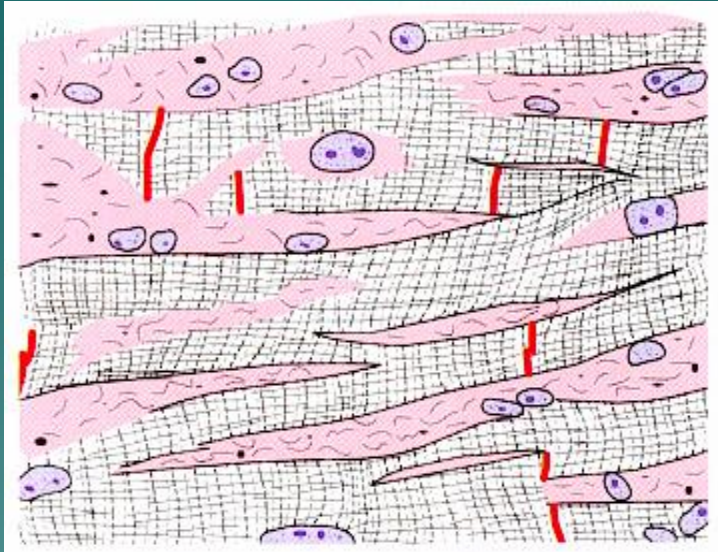
Vista ampliada de la unión neuromuscular (UNM)





Resumen de los eventos que conducen a la contracción del músculo esquelético.

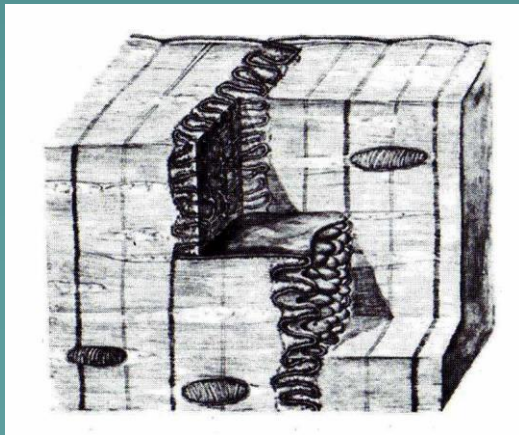
Características de las células musculares cardíacas

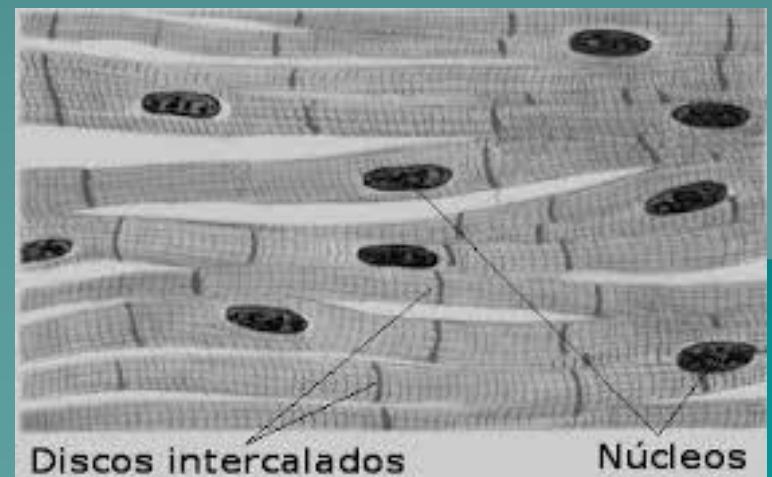
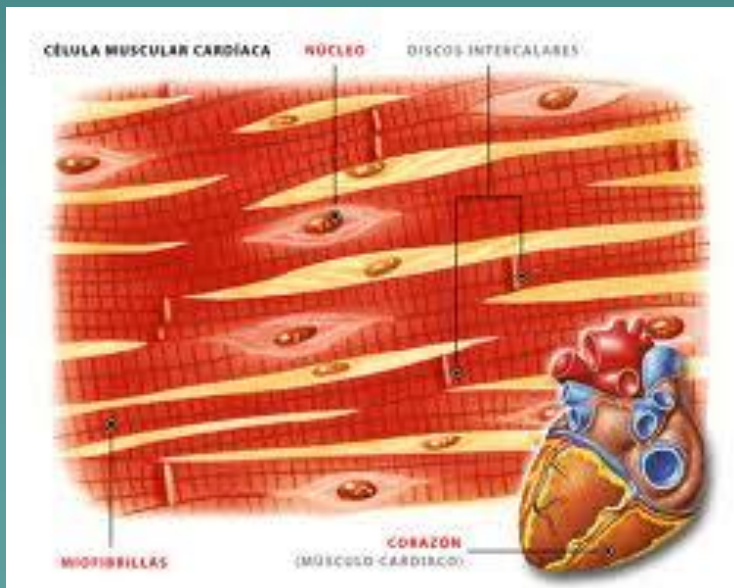
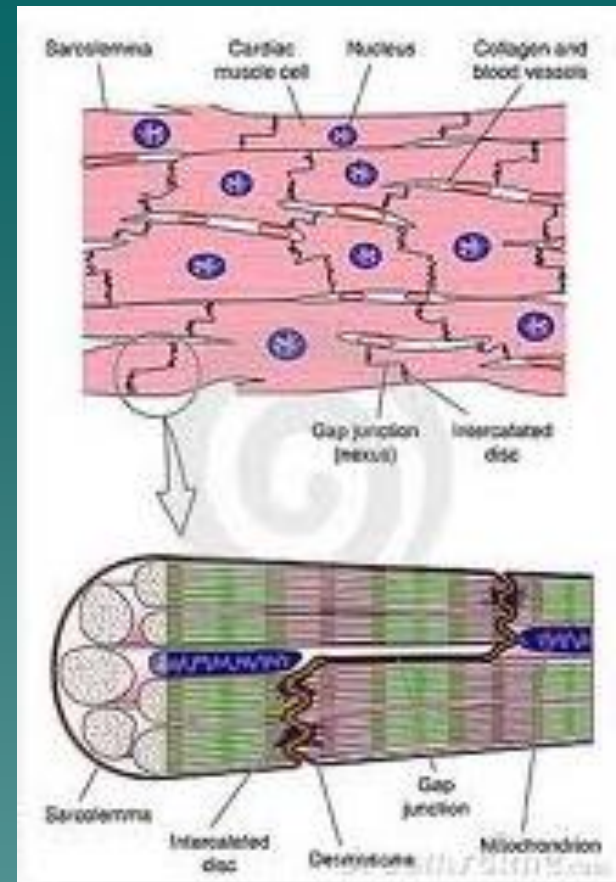


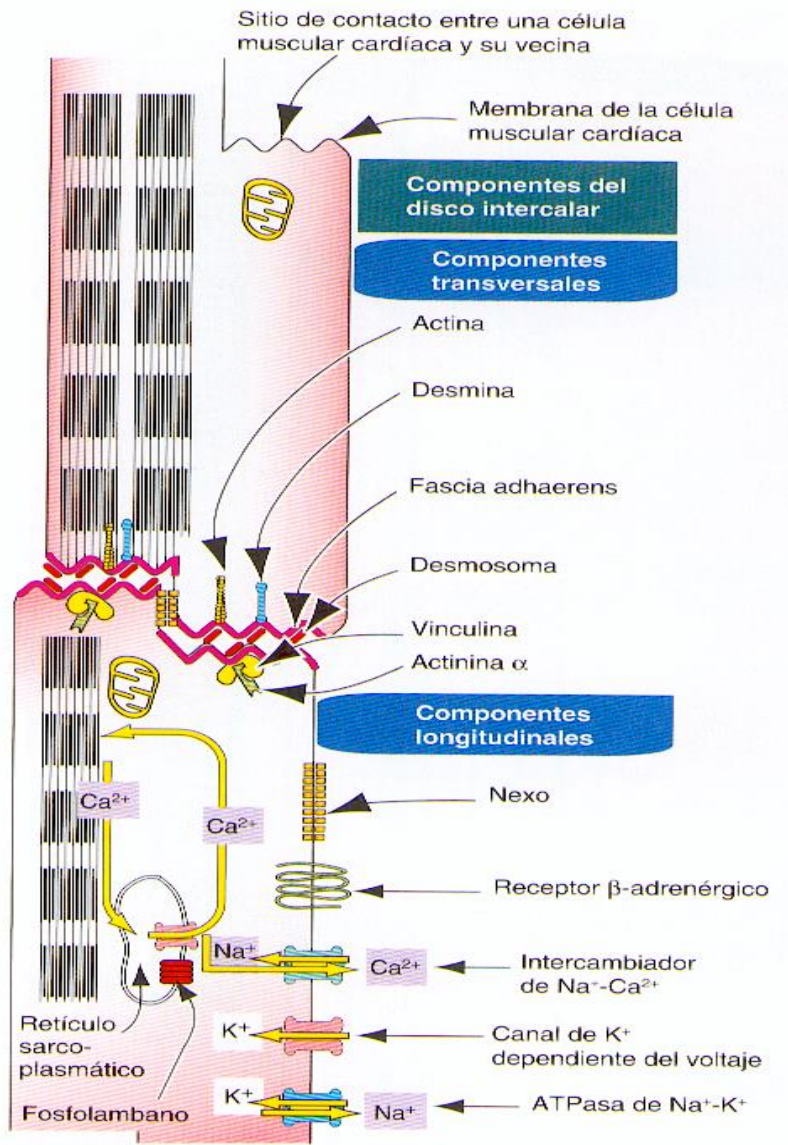
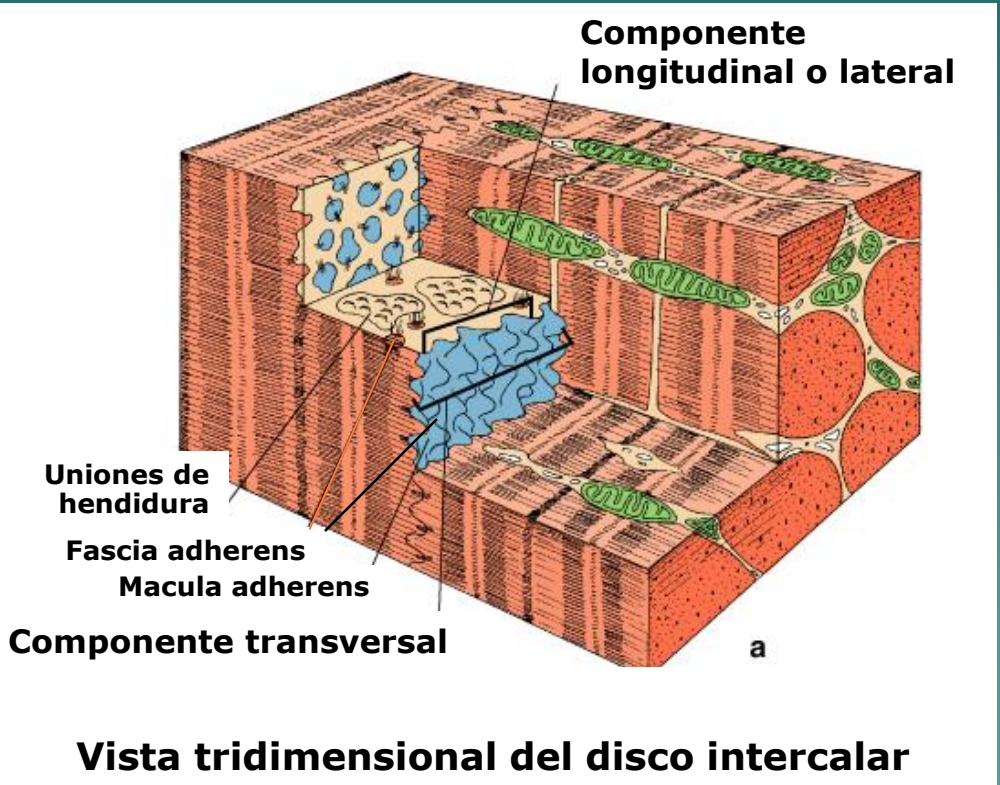
- Célula alargada, ramificada, con 1 o 2 núcleos centrales (50 a 100 μm)

- Las organelas se concentran en la zona perinuclear o yuxtannuclear; en aurículas: *gránulos auriculares* (ANF y BNF)
- Hay abundantes mitocondrias grandes y depósitos de glucógeno entre las miofibrillas;
- Adhesión especial entre las células : **discos intercalares:**

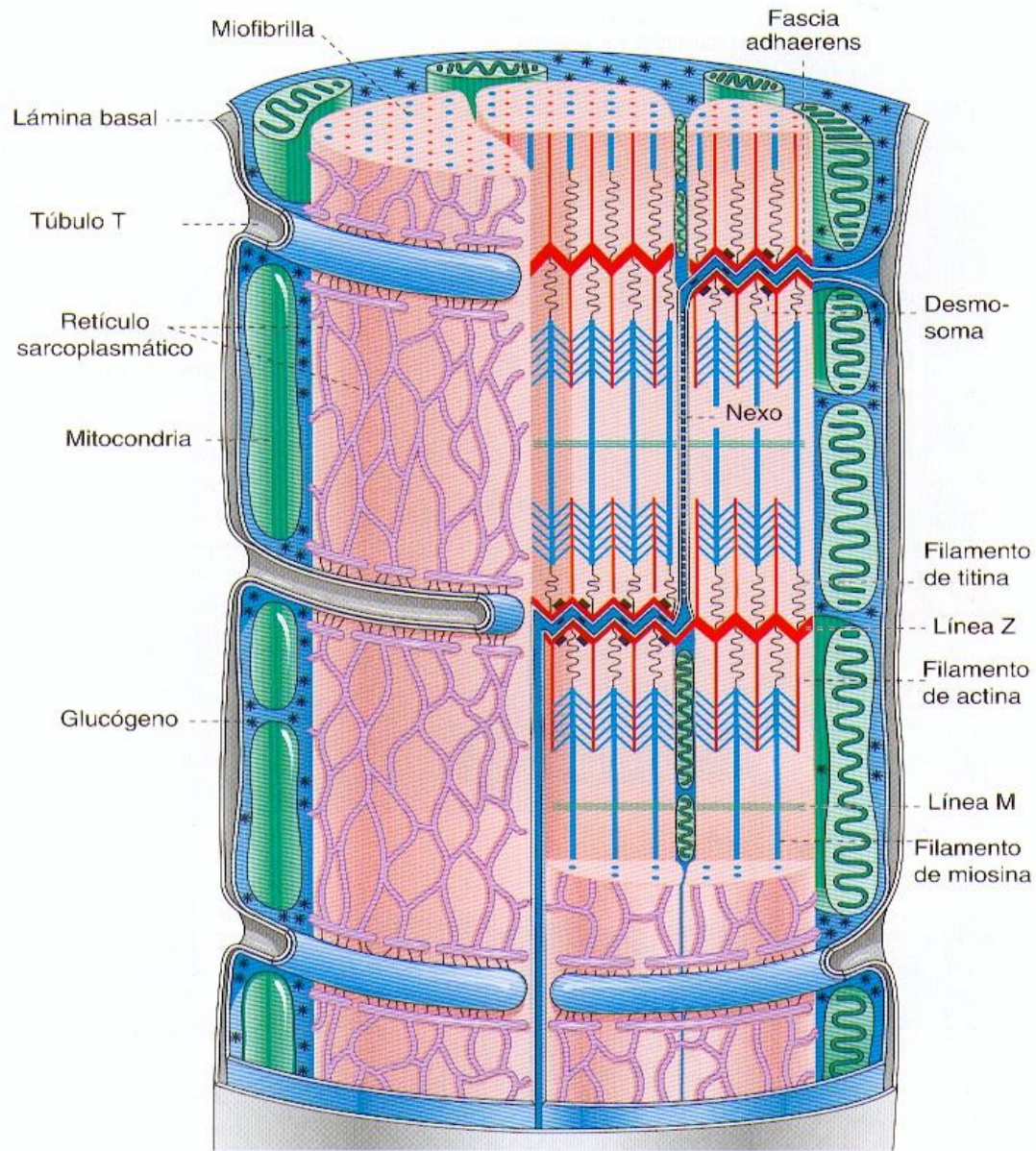
- *Unión adherente (fascia adherens)*
- *Desmosomas (macula adherens)*
- *Uniones de hendidura o nexos (comunicantes)*



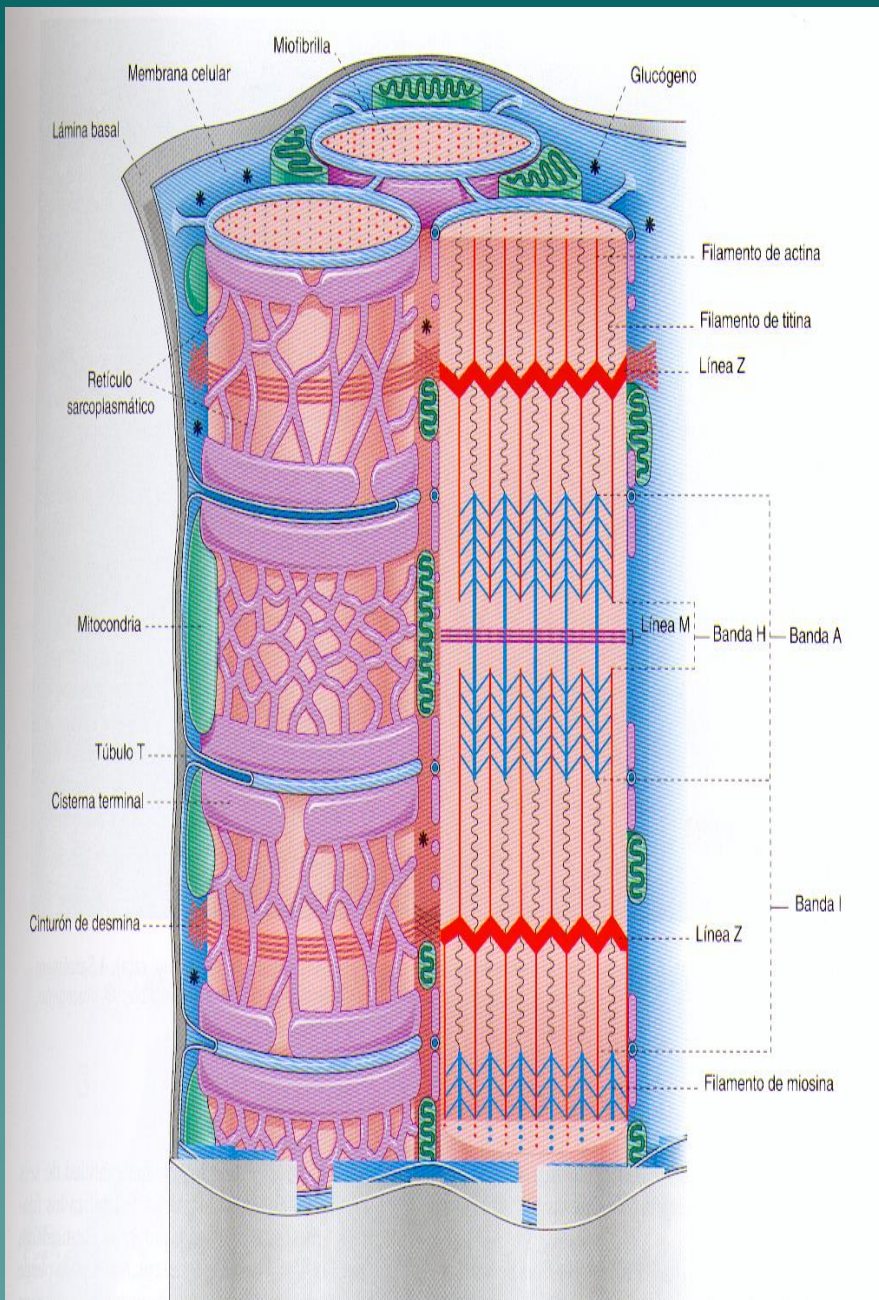




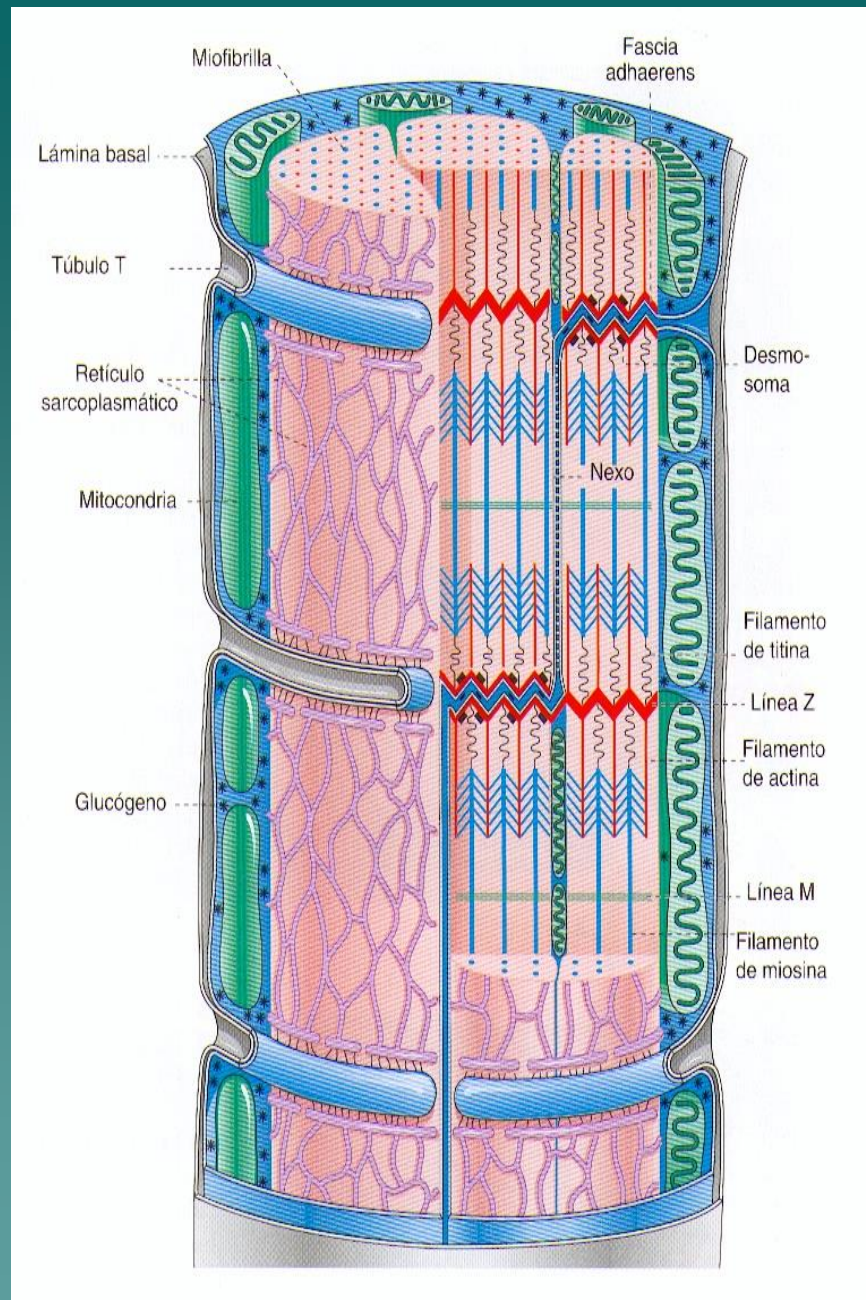
Los discos intercalares unen células musculares cardíacas y poseen **componentes transversales y longitudinales** organizados en forma escalonada. El componente transversal contiene una **fascia adhaerens**, la cual corresponde al **disco Z**, dado que aquí están anclados los filamentos de actina a través de actinina α y vinculina. Otros elementos del componente transversal son los desmosomas, que están vinculados con los filamentos de desmina. Las **uniones de hendidura** (nexos) son las estructuras fundamentales del componente longitudinal.



Aparato contráctil y estructuras de la membrana de la célula muscular cardíaca. DIADA



Célula muscular esquelética = TRIADA



Célula muscular cardíaca = DIADA

Clasificación del músculo liso según la inervación

- **MULTIUNITARIO o vascular**

Fibras unitarias que funcionan con independencia e inervadas cada una por una terminación nerviosa. Cada axón tiene varias ramificaciones que se extienden entre las fibras.

Contracciones fásicas, no espontáneas (iris del ojo, conducto deferente, vasos de mayor calibre)

- **UNITARIO o visceral**

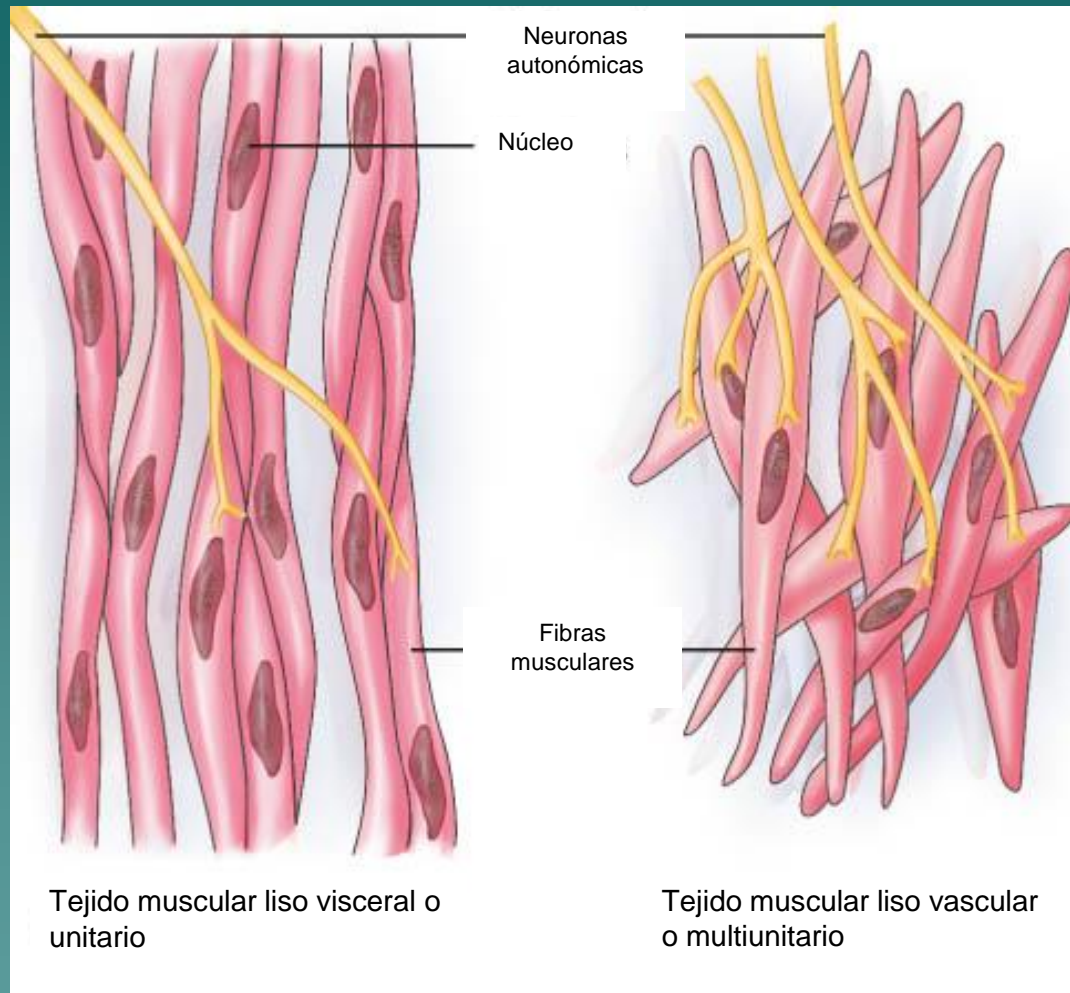
Densos haces o **capas** de células unidas por nexos y con glucosaminoglucanos (PAS+) y fibras reticulares (sales de Ag) entre ellas.

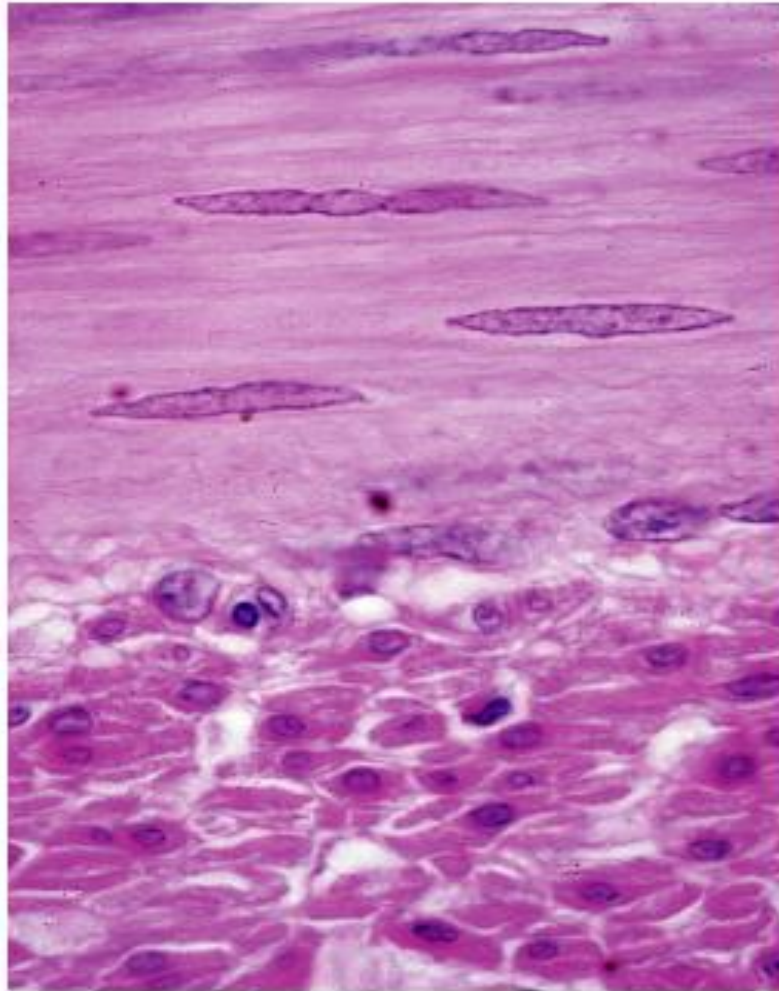
Contracciones espontáneas frente al estiramiento, hormonas, etc. La inervación modifica la contracción espontánea.

Las ramificaciones axónicas nunca entran en contacto directo con las fibras sino que se enroscan entre ellas o llegan hasta el tejido conjuntivo que rodea a las capas.

Contracción tónica o TONO (paredes de los órganos huecos)

Alto grado de regulación hormonal.





**Micrografía del músculo liso del intestino
(cortes longitudinal y transversal)**

Características de las células musculares lisas

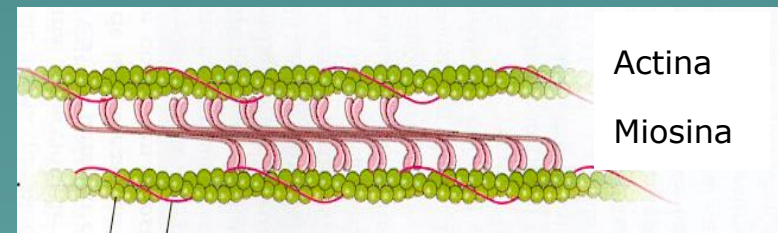
- Célula ahusada, núcleo único y central (20 a 500 μm);



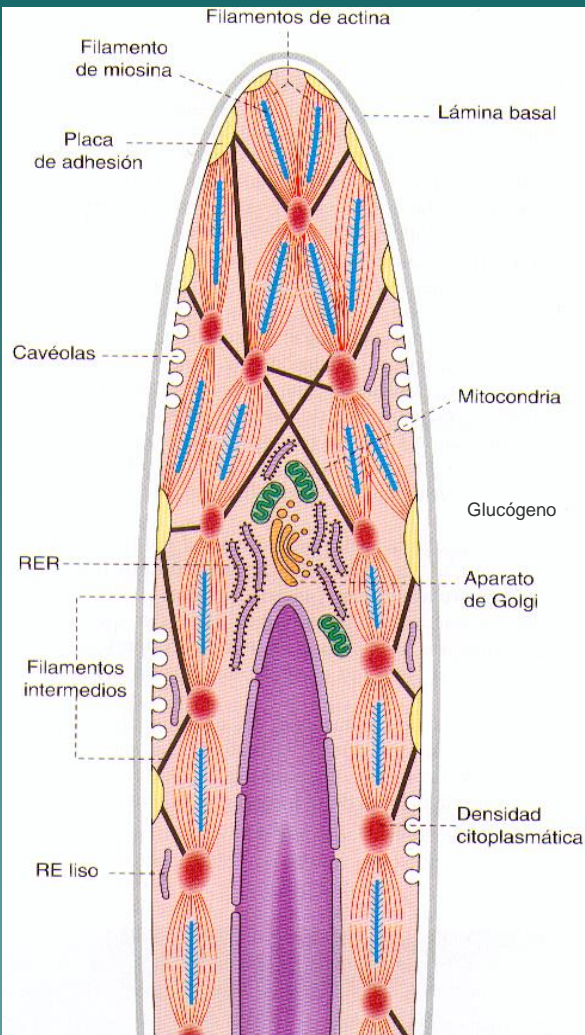
- Organelas en los polos nucleares;
- Sistema de invaginaciones sarcolémicas (**caveolas**), vesículas citoplasm. y REL pero no sistema T (Ca^{+});
- **Cuerpos densos** o condensaciones citoplasmáticas: **α -actinina** (Z). **Placas de inserción** en membrana (**talina, vinculina**);
- Aparato contráctil: **filamentos finos y gruesos**.

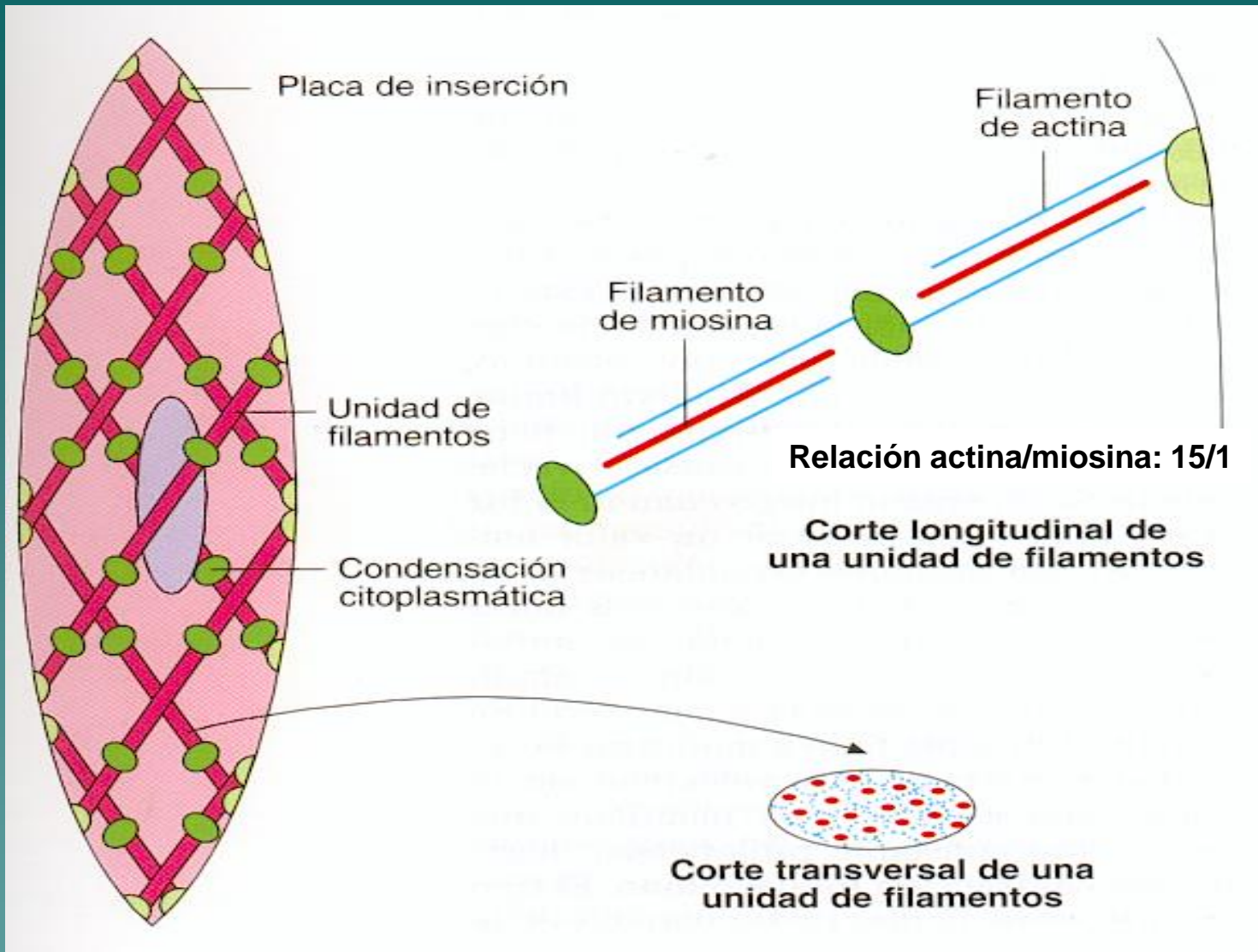
Filamentos finos: actina, tropomiosina y caldesmona, calponina (no troponina)

Filamentos gruesos: miosina II



- Citoesqueleto: **filamentos intermedios** de **desmina** (visceral) y **desmina** y **vimentina** (vascular);
- Secretan matriz de tejido conjuntivo (colágeno IV y III, laminina, elastina y glucoproteínas adhesivas)

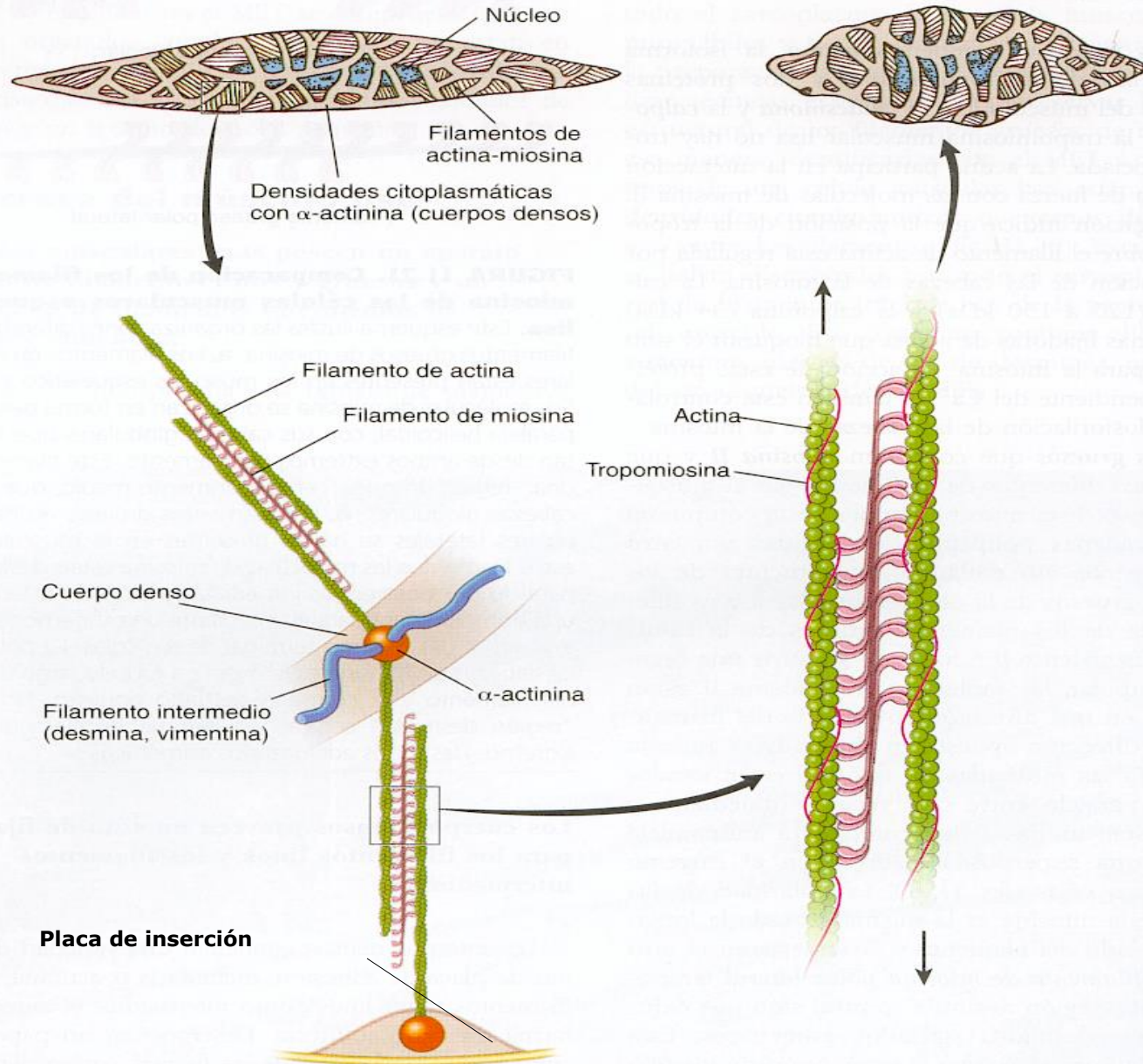




Dibujo esquemático de la posible organización del aparato contráctil y del citoesqueleto en las células musculares lisas

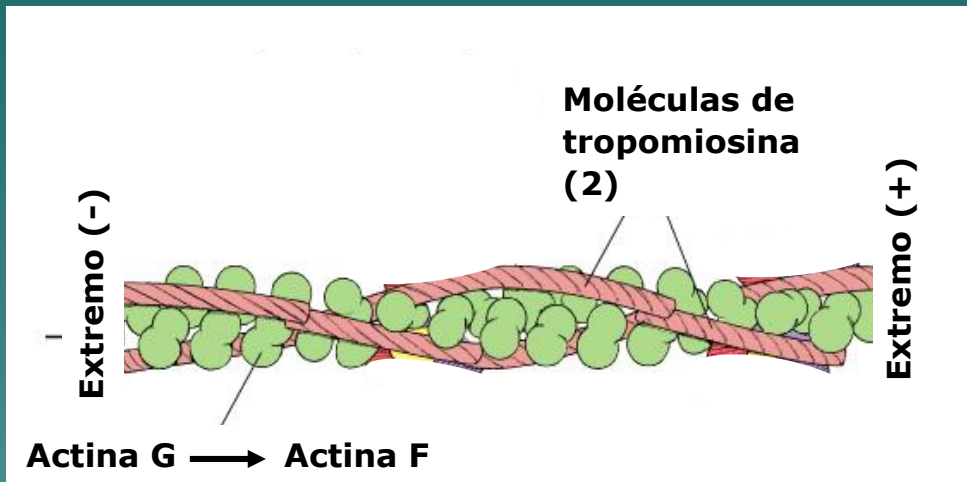
RELAJADO

CONTRAÍDO



Filamento fino

(6 a 8 nm diám., 1 μ m long.)

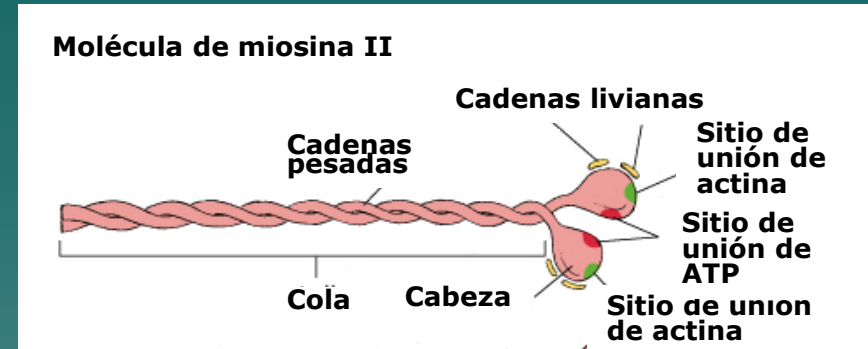


Componentes:

- **ACTINA:** 2 filamentos globulares enrollados entre sí,
- **TROPOMIOSINA:** 2 filamentos fibrilares enrollados entre sí,
- **CALDESMONA:** proteína fijadora de actina (bloquea sitio de unión para miosina)
- **CALPONINA:** proteína fijadora de actina (bloquea sitio de unión para miosina)

Filamento grueso

(15 nm diám., 1.5 μ m long.)



Componente:

MIOSINA II: 2 cadenas pesadas (cada una con una cabeza globular) y 4 cadenas livianas (2 esenciales, 2 reguladoras) (polar lateral)

Otras proteínas del músculo liso

- **MLCK** (quinasa de cadenas livianas de miosina)
- **Calmodulina**: proteína ligadora de Ca^{++} , emparentada con la TnC

Estímulos:

- Impulsos mecánicos (estiramiento)
- Despolarizaciones eléctricas (estimulación nerviosa: Aco y NA)
- Estímulos químicos (angiotensina II, tromboxano A_2)
- Hormonas circulantes (E, oxitocina, vasopresina)

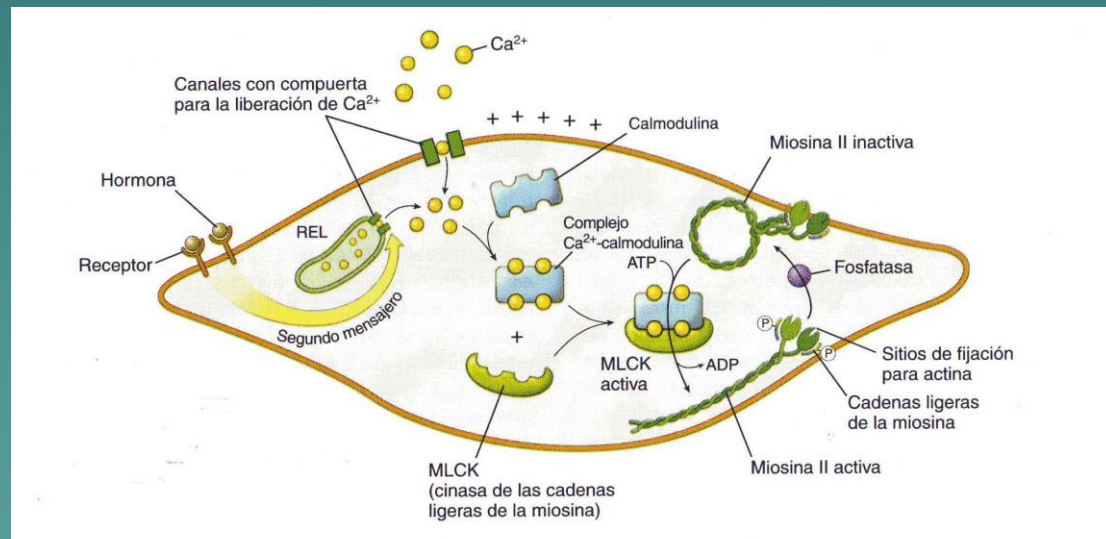


FIGURA 11.23. Representación esquemática que ilustra los pasos que conducen a la iniciación de la contracción del músculo liso. Para iniciar la contracción del músculo liso es necesario un aumento de la concentración del Ca^{2+} en el citosol. Este aumento se logra mediante la despolarización inicial de la membrana celular o mediante la estimulación hormonal de receptores superficiales de la célula. El Ca^{2+} intracitosólico se une a la calmodulina (4 iones de Ca^{2+} por cada molécula de calmodulina) para formar el complejo Ca^{2+} -calmodulina. Luego este complejo se une a la cinasa de la cadena ligera de la miosina (MLCK) para fosforilar una de las dos cadenas ligeras reguladoras de la molécula de miosina. Una vez fosforilada la miosina cambia su conformación y se activa el sitio de fijación para la actina que hay en su cabeza, lo que le permite adherirse a la actina. En presencia de ATP la cabeza de la miosina se flexiona y se produce la contracción. REL, retículo endoplasmático liso.

DATOS CURIOSOS

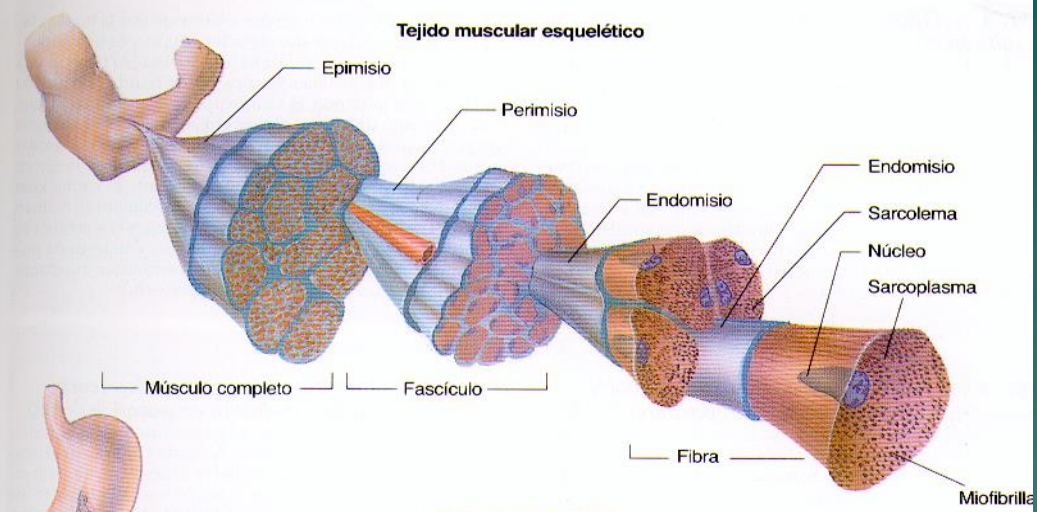
La variación en el diámetro de las **fibras musculares esqueléticas** depende de factores tales como el músculo específico, la edad y el sexo, el estado de nutrición y entrenamiento físico de la persona.

El crecimiento muscular luego del nacimiento se produce principalmente por **hipertrofia** (aumento del tamaño de fibras preexistentes por aumento del número de miofibrillas y demás organelas) más que por hiperplasia (aumento en el número de fibras). La **hiperplasia** tiene lugar más fácilmente en el músculo liso, cuyas células no han perdido la capacidad de dividirse por mitosis.

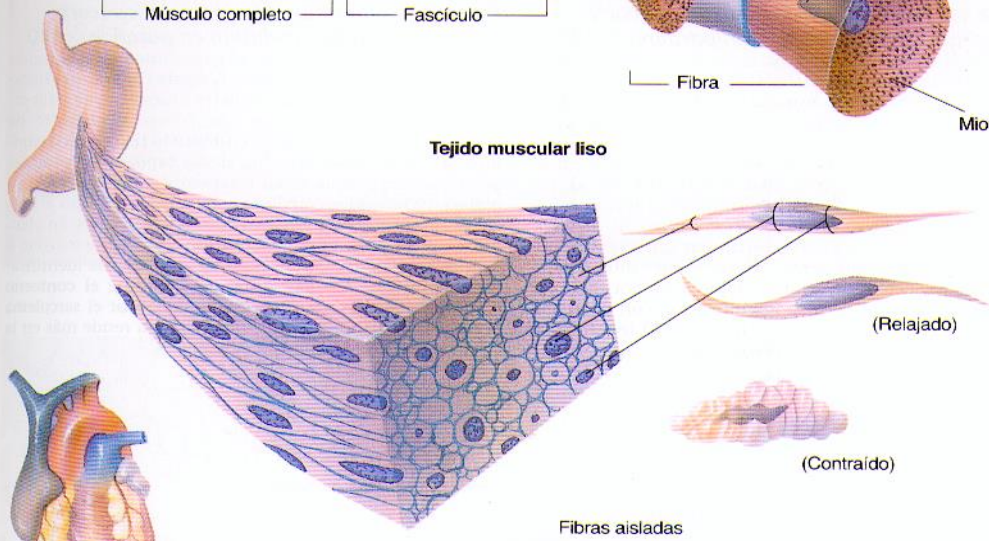
La **atrofia** es una disminución de la masa muscular por disminución del tamaño de las fibras debida a pérdida progresiva de miofibrillas. Puede deberse a desuso (reversible) o a desnervación (irreversible).

Los pocos mioblastos (células generadoras de fibras musculares) que persisten en la edad adulta se llaman **células satélite** y se ubican entre el sarcolema y el endomisio, pero no alcanzan cuando la lesión es grande, por lo que la fibra muscular es reemplazada por **tejido fibroso cicatrizal**.

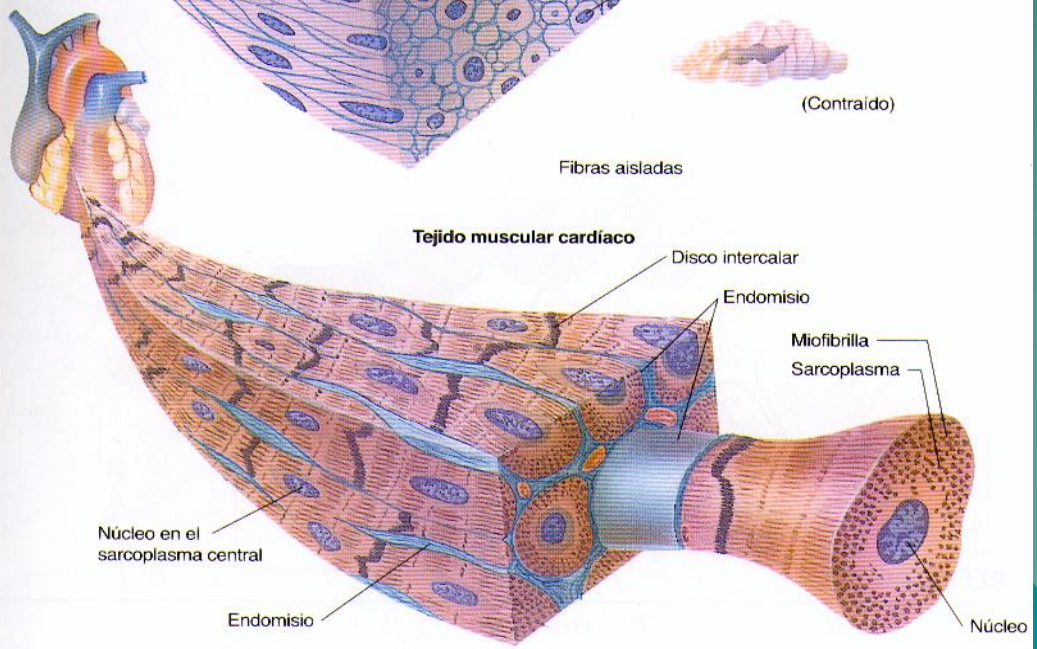
Tejido muscular esquelético





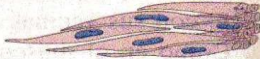
Tejido muscular liso



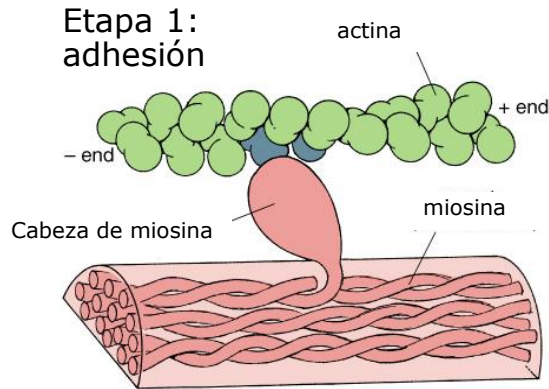
Tejido muscular cardíaco



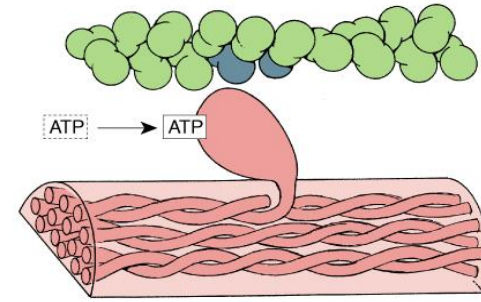
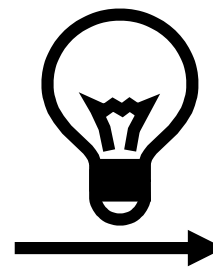
Cuadro 10-1. Comparación de los tres tipos musculares

	Esquelético	Cardíaco	Liso
			
Características estructurales			
Célula muscular	Célula grande, alargada, 10-100 μm de diámetro, hasta 100 cm de longitud (m. sartorio)	Célula corta, angosta, 10-15 μm de diámetro, 80-100 μm de longitud	Células alargadas y fusiformes, 0,2-2 μm de diámetro, 20-200 μm de longitud
Ubicación	Músculos asociados con el esqueleto, músculos estriados viscerales (p. ej., lengua, esófago, diafragma)	Corazón, venas cavas superior e inferior, venas pulmonares	Vasos, vísceras y otros órganos
Componentes de tejido conjuntivo	Epimisio, perimisio, endomisio	Endomisio (tejido conjuntivo subendocárdico y subpericárdico)	Endomisio, vainas y fascículos
Fibra	Célula muscular esquelética individual	Lineal, disposición ramificada de varias células musculares cardíacas	Célula muscular lisa individual
Estriaciones transversales	Sí	Sí	No
Núcleo	Muchos, periféricos (subsarcólemicos)	Único, central, rodeado por región yuxtannuclear	Único, central
Túbulos T	Sí, a la altura de la unión A-I (tríada: con dos cisternas terminales); dos túbulos T por sarcómero	Líneas Z (díada: con cisterna terminal pequeña); un túbulo T por sarcómero	Reemplazados por invaginaciones y vesículas similares a cavéolas
Uniones célula-célula	No	Discos intercalares con 1. Fascia adherens 2. Macula adherens (desmosoma) 3. Uniones de hendidura (nexos)	Uniones de hendidura (nexos)
Características especiales	Túbulos T y sER bien desarrollados	Discos intercalares	Cuerpos densos, cavéolas y vesículas citoplasmáticas
Funciones			
Tipo de inervación	Voluntaria	Involuntaria	Involuntaria
Inervación eferente	Somática	Autónoma	Autónoma
Tipo de contracción	"Todo o nada" (fibras rojas y blancas)	"Todo o nada" rítmica (marcapasos, sistema de conducción del corazón)	Contracciones lentas, parciales, rítmicas, espontáneas (marcapasos gástricos)
Regulación de la contracción	Por fijación de Ca^{2+} en la TnC; esto hace que la tropomiosina se mueva y deje expuestos los sitios de unión para la miosina en los filamentos de actina	Por fijación de Ca^{2+} en la TnC; esto hace que la tropomiosina se mueva y deje expuestos los sitios de unión para la miosina en los filamentos de actina	Por fosforilación de las cadenas livianas de la miosina por la cinasa de las cadenas livianas de la miosina en presencia del complejo Ca^{2+} -calmodulina
Crecimiento y regeneración			
Mitosis	No	No (en condiciones normales)	Sí
Respuesta a la demanda	Hipertrofia	Hipertrofia	Hipertrofia e hiperplasia
Regeneración	Limitada (células satélite y células miógenas de la médula ósea)	No (en condiciones normales)	Sí



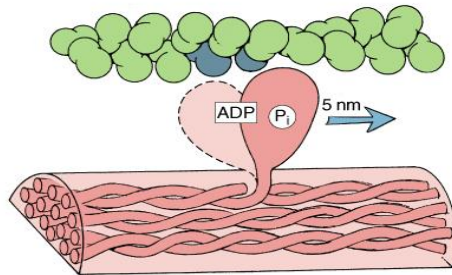


Etapa 2: separación

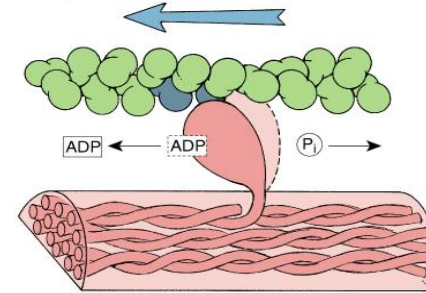


Ca⁺⁺

Etapa 3: Flexión



Etapa 4: generación de fuerza

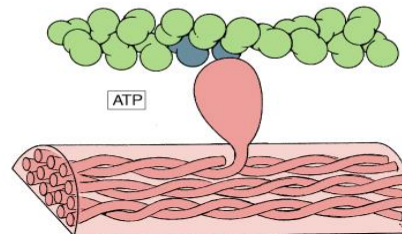


Golpe de fuerza




Unfig. 10.6. Stage 4 of the contraction cycle.

Copyright © 2003 Lippincott Williams and Wilkins

Etapa 5: readhesión



Cuadro 10-1. Comparación de los tres tipos musculares

	Esquelético	Cardíaco	Liso
			
Características estructurales			
Célula muscular	Célula grande, alargada, 10-100 μm de diámetro, hasta 100 cm de longitud (m. sartorio)	Célula corta, angosta, 10-15 μm de diámetro, 80-100 μm de longitud	Células alargadas y fusiformes, 0,2-2 μm de diámetro, 20-200 μm de longitud
Ubicación	Músculos asociados con el esqueleto, músculos estriados viscerales (p. ej., lengua, esófago, diafragma)	Corazón, venas cavas superior e inferior, venas pulmonares	Vasos, vísceras y otros órganos
Componentes de tejido conjuntivo	Epimisio, perimisio, endomisio	Endomisio (tejido conjuntivo subendocárdico y subpericárdico)	Endomisio, vainas y fascículos
Fibra	Célula muscular esquelética individual	Lineal, disposición ramificada de varias células musculares cardíacas	Célula muscular lisa individual
Estriaciones transversales	Sí	Sí	No
Núcleo	Muchos, periféricos (subsarcoplémicos)	Único, central, rodeado por región yuxtannuclear	Único, central
Túbulos T	Sí, a la altura de la unión A-I (tríada: con dos cisternas terminales); dos túbulos T por sarcómero	Líneas Z (díada: con cisterna terminal pequeña); un túbulo T por sarcómero	Reemplazados por invaginaciones y vesículas similares a cavéolas
Uniones célula-célula	No	Discos intercalares con 1. Fascia adherens 2. Macula adherens (desmosoma) 3. Uniones de hendidura (nexos)	Uniones de hendidura (nexos)
Características especiales	Túbulos T y sER bien desarrollados	Discos intercalares	Cuerpos densos, cavéolas y vesículas citoplasmáticas
Funciones			
Tipo de inervación	Voluntaria	Involuntaria	Involuntaria
Inervación eferente	Somática	Autónoma	Autónoma
Tipo de contracción	"Todo o nada" (fibras rojas y blancas)	"Todo o nada" rítmica (marcapasos, sistema de conducción del corazón)	Contracciones lentas, parciales, rítmicas, espontáneas (marcapasos gástricos)
Regulación de la contracción	Por fijación de Ca^{2+} en la TnC; esto hace que la tropomiosina se mueva y deje expuestos los sitios de unión para la miosina en los filamentos de actina	Por fijación de Ca^{2+} en la TnC; esto hace que la tropomiosina se mueva y deje expuestos los sitios de unión para la miosina en los filamentos de actina	Por fosforilación de las cadenas livianas de la miosina por la cinasa de las cadenas livianas de la miosina en presencia del complejo Ca^{2+} -calmodulina
Crecimiento y regeneración			
Mitosis	No	No (en condiciones normales)	Sí
Respuesta a la demanda	Hipertrofia	Hipertrofia	Hipertrofia e hiperplasia
Regeneración	Limitada (células satélite y células miógenas de la médula ósea)	No (en condiciones normales)	Sí