



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Histología del tejido muscular

T E S I N A

Que para obtener el Título de:

CIRUJANA DENTISTA

Presenta:

DIVINA XOCHIQUETZAL ESLAVA NOGUEZ

DIRECTOR: C.D. ISRAEL MORALES SÁNCHEZ

ASESORA: DRA. SANTA PONCE BRAVO

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'No. 30' followed by a stylized signature.

MÉXICO, D. F.

2005

m. 342821

A quienes me han dado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija: amor, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme, a quienes la ilusión más grande de su vida ha sido convertirme en una persona de provecho, a quienes nunca podré pagarles todos los desvelos ni con las riquezas más grandes del mundo.

MIS PADRES

A quien me ha brindado cariño, apoyo y comprensión cuando más lo he necesitado.

MI HERMANA

A mis amigos por esos buenos momentos que compartimos y seguimos compartiendo hasta ahora a pesar de nuestras diferencias.

Al ser que ocupa un lugar muy importante en mi vida...

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
Capítulo I. MÚSCULO ESQUELÉTICO, ESTRIADO.....	7
VOLUNTARIO	
1. Determinación y diferenciación.....	7
2. Localización.....	8
3. Características de la fibra muscular	8
4. Componentes celulares.....	11
5. Organización estructural.....	13
6. Organización molecular	15
7. Base molecular de la contracción.....	18
8. Fuentes de energía para la contracción.....	21
9. Clasificación de las fibras.....	21
10. Inervación.....	23
11. Mecanismo de reparación.....	29
Capítulo II. MÚSCULO VISCERAL, LISO INVOLUNTARIO..	31
1. Origen.....	31
2. Localización.....	31
3. Características de la fibra muscular.....	32
4. Función.....	33
5. Componentes celulares.....	33
6. Organización molecular.....	35
7. Mecanismo de contracción.....	36
8. Etapas de la contracción.....	36
9. Inervación.....	38
10. Mecanismo de reparación.....	41

INTRODUCCIÓN.

Los organismos multicelulares han desarrollado células muy especializadas, las **células musculares**, para salvaguardar las necesidades de movilidad interna y externa que tiene el organismo.

Las células musculares son alargadas con el eje longitudinal orientado en la dirección del movimiento y por ello suelen llamarse **fibras musculares**.⁽¹⁾

El tejido muscular se deriva del mesodermo paraaxial, específicamente de los somitómeros o de los somitas los cuales se encuentran laterales a la notocorda y su diferenciación se debe principalmente a un proceso de alargamiento gradual, con síntesis simultánea de proteínas filamentosas.^(2,3)

El tejido muscular consta de tres elementos básicos:

1. **Las fibras musculares mismas**, que suelen disponerse en haces o fascículos, aunque a veces se presentan como elementos aislados.
2. **Una abundante red capilar** que proporciona oxígeno y sustancias nutritivas, y elimina los materiales tóxicos de desecho.
3. **Tejido conectivo fibroso de sostén** con fibroblastos y fibras colágenas elásticas. Los vasos sanguíneos y nervios son conducidos por este tejido conectivo, que también conserva unidas las fibras musculares y les proporciona un sostén para que puedan ejercer con utilidad la tracción producida por su contracción.⁽⁴⁾

En el organismo de los vertebrados existen tres tipos de musculatura bien diferenciadas por estructura y función:

❖ ***Músculo esquelético, estriado voluntario.***

Se encuentra insertado en huesos o aponeurosis, que constituye la porción carnosa de los miembros y las paredes del cuerpo.

❖ ***Músculo visceral, liso involuntario.***

Se encuentra en las paredes de las vísceras huecas y en la mayor parte de los vasos sanguíneos.

❖ ***Músculo cardíaco, estriado involuntario.***

Forma las paredes del corazón y también se localiza en las paredes de los vasos sanguíneos principales adyacentes. ^(1,4)

MÚSCULO ESQUELÉTICO, ESTRIADO VOLUNTARIO

Determinación y diferenciación del músculo esquelético

Aunque las células miogénicas se parecen a las células mesenquimatosas que pueden dar lugar a muchos otros tipos celulares en el embrión han sufrido un suceso de restricción que las compromete con la línea formadora de músculo, estas células pasan por varias divisiones mitóticas adicionales antes de llegar a la división mitótica terminal y convertirse en **mioblastos postmitóticos**.

Las células miogénicas en proliferación mantienen el ciclo celular por medio de la acción de factores de crecimiento como el **factor de crecimiento de los fibroblastos (FGF)** y el **factor de crecimiento transformador beta (TGF- β)**. En el miotoma del somita, los factores reguladores biogénicos se expresan en las regiones formadoras del músculo. El antígeno de diferenciación miogénica (MyoD), uno de estos factores, saca las células mesenquimatosas del ciclo celular porque impide su entrada en la fase S y además estimula su diferenciación porque activa unos genes específicos del músculo. Otros factores de crecimiento, como el factor de crecimiento similar a la insulina o "like insuline", participa en la promoción de la diferenciación muscular.

Los mioblastos postmitóticos comienzan a transcribir sus RNA mensajeros para las principales proteínas contráctiles, la actina y la miosina, pero el proceso fundamental en el ciclo vital del mioblasto postmitótico es la fusión con otras células similares en un miotubo multinucleado. La fusión de los mioblastos es un proceso preciso que implica su alineación y adhesión mediante mecanismos de reconocimiento celular mediados por Ca^{2+} y la fusión final de sus membranas plasmáticas.

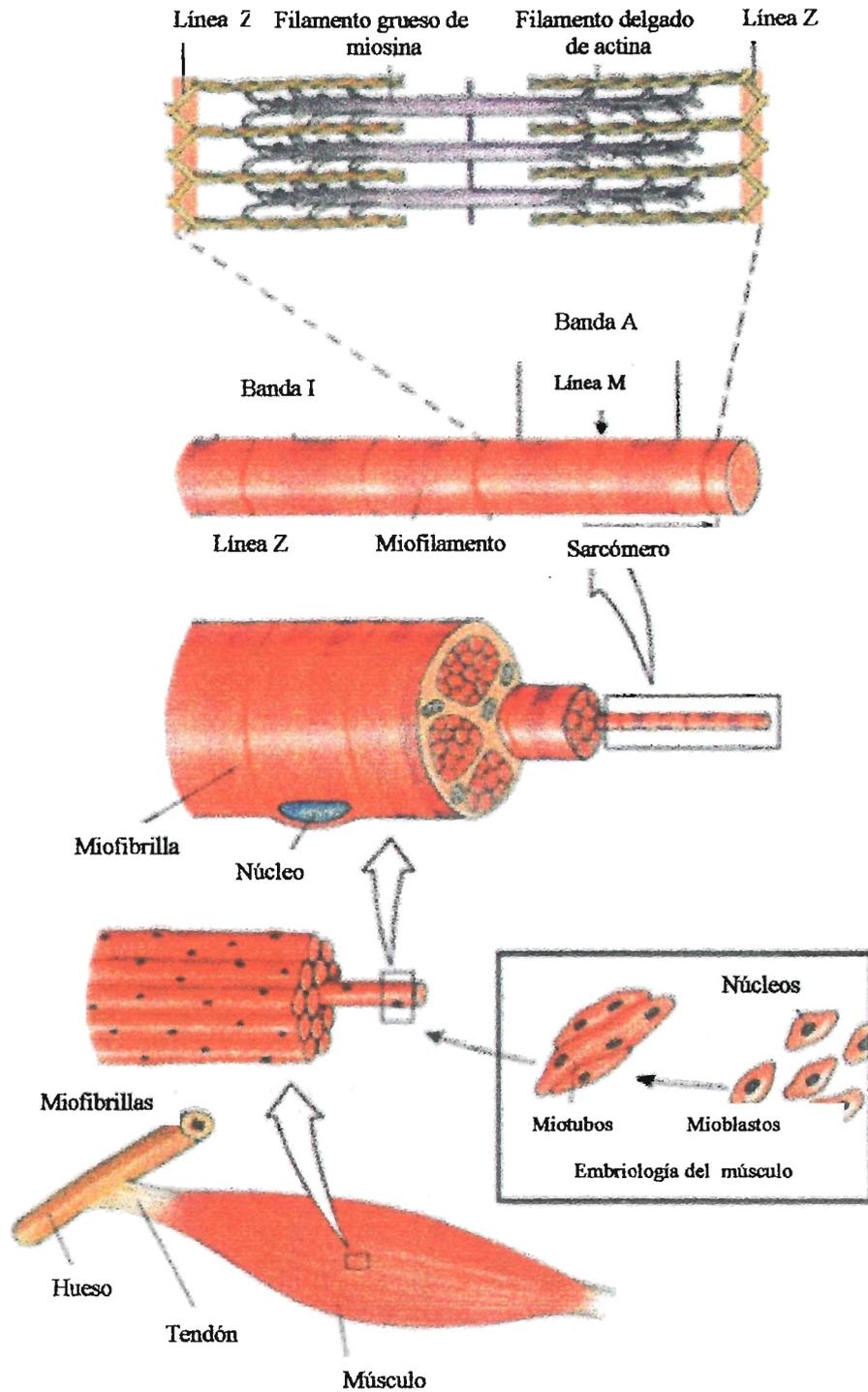


Fig. 1. Esquema donde se muestra la conformación del músculo esquelético desde el nivel molecular al microscópico. Imagen tomada de <http://www.kcl.ac.uk/lp/christerhogstrand/courses/hbo223/muscles.htm>.

- **Perimisiso** (Gr. *peri*, alrededor)

Divisiones de tejido conectivo que se extienden desde el epimisiso hacia adentro y dividen el músculo en fascículos (haces) de fibras musculares.

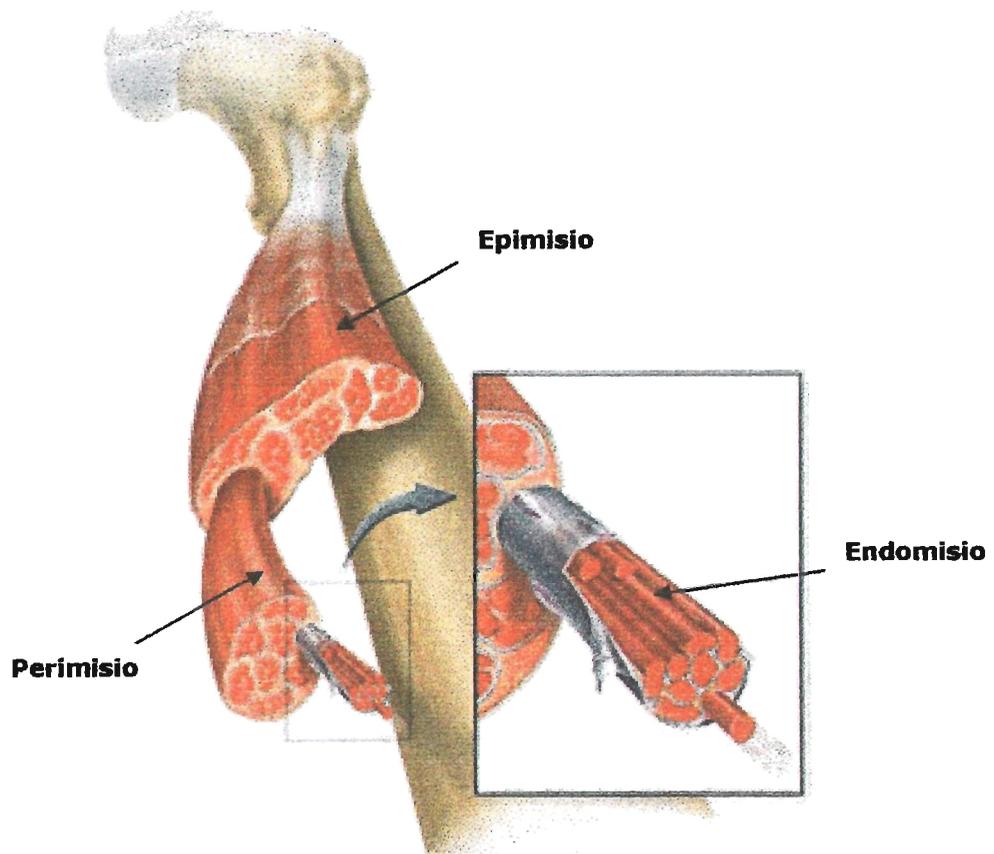


Fig.2. En el esquema se puede observar el tejido conectivo del músculo estriado. Imagen tomada de <http://faculty.southwest.tn.edu/rburkett/A&P1%20Muscle%20Physiology.htm>.

- **Endomisiso** (Gr. *endon*, dentro)

Divisiones más delicadas de tejido conectivo laxo que se extienden desde el perimisiso hacia fascículos individuales, en donde encierran a cada fibra en el fascículo; estas divisiones relativamente delgadas contienen capilares y fibras nerviosas. ^(6,4)

Componentes celulares

Núcleo

La fibra del músculo esquelético contiene varios cientos de núcleos, localizados justo por debajo del sarcolema, o sea en la región periférica de su citoplasma (fig.3).

Los núcleos son aplanados y ovales en el sentido longitudinal de la fibra y están dispersos a lo largo de la fibra. (1,7)



Fig. 3. Fotomicrografía de un corte transversal (a) y un corte longitudinal (b) a través de fibras musculares esqueléticas. 400x. Imagen tomada de http://iupucbio2.iupui.edu/nb261/lab_chapt_10_skeletal_muscle_tissue.htm.

Retículo sarcoplásmico

Es una disposición de vesículas membranosas y túbulos situados en el sarcoplasma y, por lo tanto, dispuestos alrededor de las miofibrillas (fig.4.).

Su función es regular la concentración de Ca^{2+} dentro de las miofibrillas, lo que a su vez constituye el factor que determina si interactuarán los filamentos delgados con los gruesos realizándose la contracción.

Sarcosomas

Están dispuestas en filas entre las miofibrillas en el sarcoplasma.

Desempeñan una función en las reacciones que intervienen en la producción de la energía requerida para la contracción. ⁽¹⁾

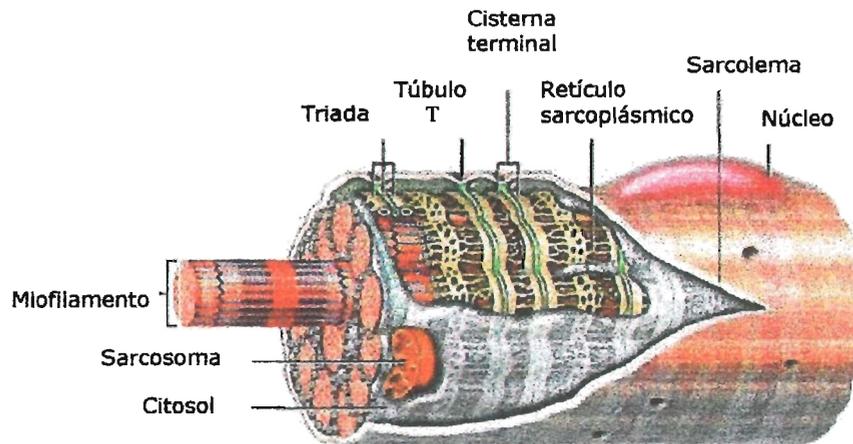


Fig. 4. Esquema que muestra en tres dimensiones la ultraestructura de una fibra muscular esquelética. Imagen tomada de http://sorrel.humboldt.edu/smd10/Sierra%2012_9_01/Pulic.html/69%20Muscle%20CD.

Miofibrilla

Las miofibrillas son elementos contráctiles que corren en el eje mayor de las células y que explican la extracción longitudinal que se observa en todas las células musculares.

Cada miofibrilla es un haz de miofilamentos más pequeños, que pueden ser de dos tipos: uno compuesto principalmente de actina y otro de miosina, las principales proteínas contráctiles.

La estriación de la miofibrilla se debe a la repetición de unidades iguales llamadas sarcómero. ⁽¹⁾

Organización estructural

Sarcómero (Gr. meros, parte)

Es la unidad estructural y funcional de la miofibrilla (fig.5).

Cada sarcómero está formado por la parte de miofibrilla que queda entre dos líneas Z sucesivas y contiene una banda A que separa dos hemibandas I, la banda A presenta una zona más clara en su centro, la banda H. ⁽¹⁾

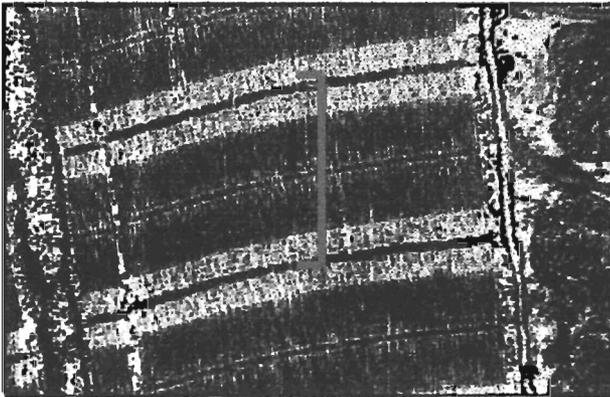


Fig. 5 .Micrografía electrónica de un corte longitudinal de músculo esquelético que muestra un sarcómero. Imagen tomada de <http://trc.ucdavis.edu/miguinam/apc/100modules/Musculoskeletal/Muscle>.

Banda A

Son anisotrópicas (Gr. **anisos**, desigual; **trope**, transformar) es decir birrefringentes a la luz polarizada.

- Bandas oscuras
- Esta formada principalmente por filamentos gruesos.⁽¹⁾

Banda H

(al. Hall, claro)

Los filamentos delgados de cada extremo de un sarcómero relajado se proyectan en la banda A una cuarta parte de su longitud, con lo que queda una zona más clara, en la porción media de la banda A que corresponde a la zona H.

La zona H casi desaparece durante la contracción, ya que en esta última los filamentos gruesos y delgados abarcan gran parte de la banda A. ^(1,7)

Banda I

Son isotrópicas, es decir presentan difracción simple a la luz polarizada; son bandas claras que esta formada solamente por la parte de los filamentos finos que no son invadidos por los filamentos gruesos.

Línea Z

(al. Zwischenscheibe, disco intermedio)

En cortes longitudinales de los sarcómeros el disco Z aparece como una línea en zigzag con la matriz del disco Z, que corta la línea zigzagueante. Se interpreta que el disco Z y su matriz son estructurales o de esqueleto porque los filamentos finos están anclados a los ángulos de zigzag. ⁽⁸⁾

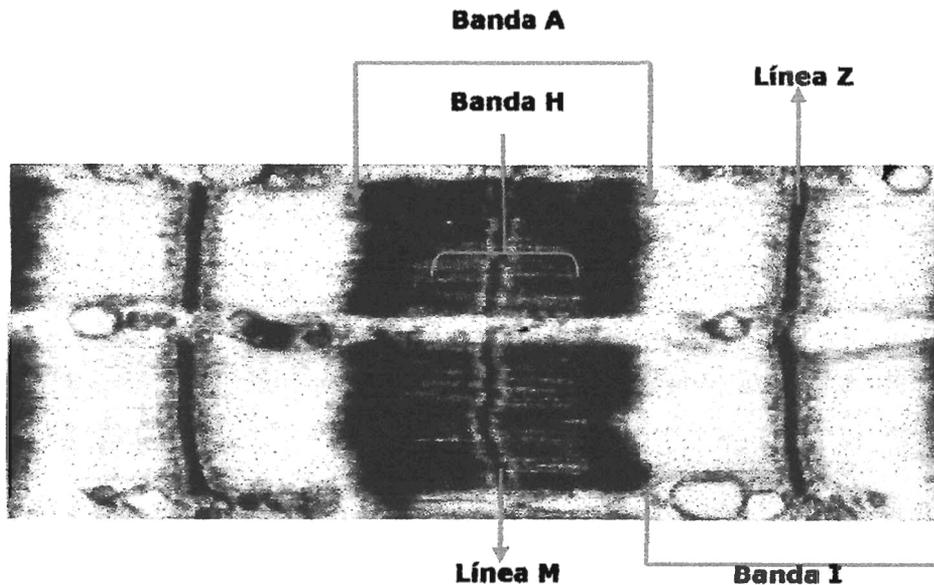


Fig. 6. Imagen captada con microscopio electrónico en un corte longitudinal de músculo esquelético en el cual se diferencian las bandas y líneas que conforman una miofibrilla. Imagen tomada de <http://molber.vilabol.uoi.com.br/fisio/diflesq.htm>.

Línea M

La línea M corresponde a una estructura transversal de unión que une la porción media, más gruesa, de los filamentos de miosina, constituida por **miomesina**, una proteína fijadora de miosina, denominada proteína C. ⁽⁵⁾

Organización molecular

Las miofibrillas del músculo esquelético están formadas por miofilamentos de dos tipos: los filamentos gruesos conformados por miosina y otras tres proteínas que se encuentran en los filamentos finos. La miosina y la actina, juntas, representan el 55% del total de las proteínas del músculo estriado. Estas poseen características individuales que permiten su función. ⁽¹⁾

Miosina

- ✚ La molécula de miosina es grande y compleja.
- ✚ Tiene forma de bastón con 20 nm de longitud y 2-3 nm de diámetro.
- ✚ Compuestas por dos cadenas pesadas y cuatro cadenas ligeras.
- ✚ La molécula comprende una región en forma de bastón o cola, cuello y cabeza.
- ✚ Las colas se agregan para formar filamentos gruesos.
- ✚ El cuello y la cabeza se proyectan lateralmente para formar un puente cruzado. ^(9,1)

Actina

- ✚ Se presenta en forma de polímeros largos (actina F) formados por dos cadenas de monómeros globulares (actina G) enroscada en doble espiral.
- ✚ Cada monómero de actina (actina G) tiene 5,6 nm de diámetro.
- ✚ Las moléculas de actina G son estructuralmente asimétricas.
- ✚ Cuando las moléculas de actina G se polimerizan par formar actina F, la parte anterior de un monómero se combina con la parte posterior del otro, produciendo un filamento polarizado.⁽¹⁾

Tropomiosina

- ✚ Es una molécula larga y fina.
- ✚ Mide cerca de 40 nm de longitud.
- ✚ Contiene dos cadenas polipeptídicas enroscadas.
- ✚ Las moléculas de tropomiosina se unen entre sí por sus extremos para formar filamentos largos que se localizan a lo largo del surco existente entre los dos filamentos de actina F.^(1,3)

Troponina

- ✚ Es una proteína globular grande localizada sobre un extremo de cada molécula de tropomiosina.
- ✚ También es una proteína reguladora, ya que contiene sitios de unión de Ca^{2+} implicados en el control de la contracción y la relajación.
- ✚ Formada por un complejo de tres subunidades:
 - Troponina T: Que se une fuertemente a la tropomiosina.
 - Troponina C: Tiene gran afinidad a Ca^{2+} .
 - Troponina I: Cubre el punto activo de actina, donde tiene lugar la interacción entre actina y miosina.^(1,3)

Túbulos transversos

- ✦ Son invaginaciones del sarcolema superficial y su luz se continúa con el espacio extracelular (fig. 7 b).
- ✦ Favorecen la rápida propagación de la excitación y despolarización de la membrana de superficie a toda la fibra muscular. ⁽⁴⁾

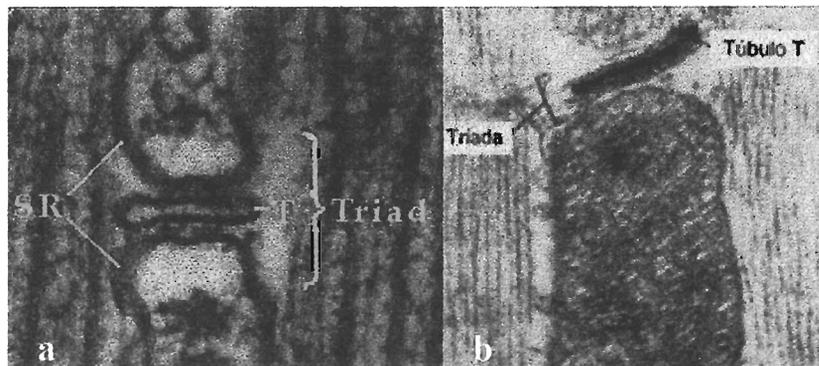


Fig. 7. Micrografía electrónica de (a) tríada y retículo sarcoplásmico (b) tríada y túbulo T en el músculo esquelético. Imagen tomada de <http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci312/Muscle/musclelect.HTM>.

Tríada

Cerca del extremo de cada sarcómero hay una cisterna terminal del retículo sarcoplásmico, estas cisternas rodean al sarcómero en forma de pares de collares, uno por cada unión de bandas A e I, y están en aposición estrecha con el túbulo T que rodea a la miofibrilla en este nivel. En consecuencia cada sarcómero esta envuelto por dos túbulos T (fig. 7 a).

En los sitios en que un túbulo T y las dos cisternas terminales que hay a sus lados se observan en el corte transversal, las tres estructuras se designan con el nombre de **tríada**. ⁽⁷⁾

Base molecular de la contracción

El proceso mediante el cual se realiza el acortamiento de los elementos contráctiles en el músculo implica el deslizamiento de los filamentos delgados sobre los gruesos. El ancho de las bandas A permanece constante, mientras que las líneas Z se juntan cuando el músculo se contrae y se apartan cuando es estirado. Cuando el músculo se acorta los filamentos delgados se aproximan entre sí desde los extremos opuestos del sarcómero; cuando el acortamiento es marcado, estos filamentos se traslapan (fig. 8).

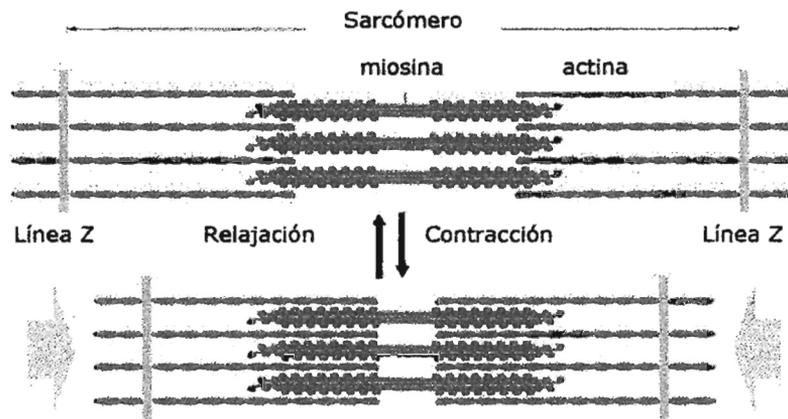


Fig. 8. Esquema de un sarcómero, que muestra las proteínas contráctiles en hileras entrelazadas de filamentos gruesos y finos que se deslizan unos sobre otros durante la contracción y la relajación. Imagen tomada de <http://www.kcl.ac.uk/ip/christerhogstrand/courses/hbo223/muscles.htm>.

El deslizamiento durante la contracción muscular es producido por la ruptura y regeneración de los enlaces cruzados entre la actina y la miosina. Las cabezas de las moléculas de miosina se enlazan a la actina en un ángulo de 90° , producen movimiento de la miosina sobre la actina por apoyo y luego se desconectan y reconectan en el siguiente sitio de enlace, repitiéndose el proceso de manera seriada. Cada ciclo individual de enlace, apoyo y desprendimiento acorta el músculo en 1%. Cada filamento grueso tiene cerca

de 500 cabezas de miosina, y cada una de estas efectúa un ciclo completo cerca de cinco veces por segundo durante la contracción rápida.

La fuente de energía para la contracción muscular es el ATP. La hidrólisis de los enlaces entre los residuos de fosfato de este compuesto se acompaña de la liberación de una gran cantidad de energía y, por lo tanto, son llamados enlaces de alta energía. En el músculo la hidrólisis de ATP a adenosínfosfato (ADP) es catalizada por la proteína contráctil miosina; y esta actividad de adenosíntrifosfatasa (ATPasa) se encuentra en las cabezas de las moléculas de miosina, donde están en contacto con la actina (fig.9).

El proceso por el cual la despolarización de la fibra muscular inicia la contracción se llama **acoplamiento de la excitación-contracción**. El potencial de acción es transmitido a todos los miofilamentos que se encuentran en la miofibrilla a través del sistema T, el cual dispara la liberación de Ca^{2+} desde las **cisternas terminales**.

El Ca^{2+} inicia la contracción al unirse con la troponina C. En el músculo en reposo, la troponina I está fuertemente unida a la actina y la tropomiosina cubre los sitios donde las cabezas de miosina se unen con la actina. Por lo tanto, el complejo troponina-tropomiosina constituye una "proteína relajante" que inhibe la acción recíproca entre la actina y la miosina. Cuando el Ca^{2+} liberado por el potencial de acción se une con la troponina C, la unión de la troponina I con la actina probablemente se debilita y eso permite que la tropomiosina se mueva lateralmente. Este movimiento descubre sitios de enlace para las cabezas de miosina de manera que se desdobra el ATP, ocurriendo la contracción. Por cada molécula de troponina que se une a Ca^{2+} , se descubren siete sitios de enlace de la miosina.

Poco después de la descarga de Ca^{2+} , el retículo sarcoplásmico empieza a reacumularlo en sus partes longitudinales a través de transporte activo. Desde ahí se difunde hacia las cisternas terminales, donde se almacena hasta que lo descarga el siguiente potencial de acción. Una vez que la concentración de Ca^{2+} fuera del retículo ha descendido suficientemente, la acción química recíproca entre la miosina y la actina cesa y el músculo se relaja. Si el transporte de Ca^{2+} dentro del retículo se inhibe, la relajación no ocurre aunque no haya más potenciales de acción; la contracción sostenida resultante se denomina contractura. El ATP provee la energía para el transporte activo de Ca^{2+} al interior del retículo sarcoplásmico. Así pues, tanto la contracción como la relajación del músculo requieren de ATP. ⁽¹⁰⁾

Ley del todo o nada

Esta ley postula que una neurona motora o fibra muscular responde completamente (todo) o no del todo (nada) ante un estímulo. Esto implica que existe un umbral (intensidad mínima) de estimulación para la fibra muscular inervada. Si la estimulación es inferior al umbral, no ocurre la contracción de las fibras inervadas, por otro lado, si el estímulo de la motoneurona es igual o sobre el umbral, entonces ocurre la contracción. ⁽¹¹⁾

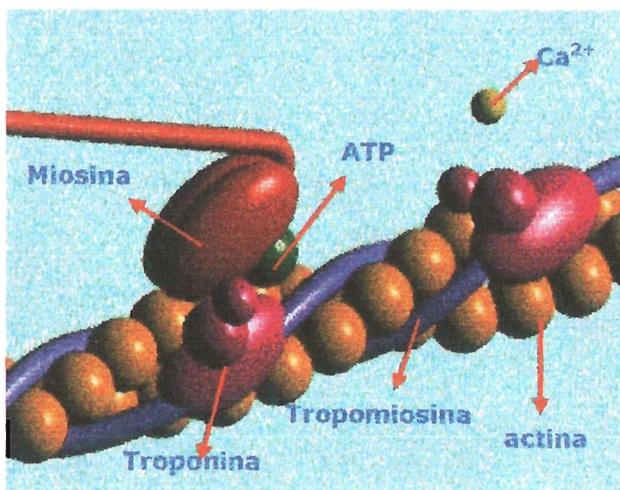


Fig.9. Diagrama del mecanismo de contracción. Imagen tomada de <http://kcl.ac.uk/ip/christerhogstrand/courses/hbo223/muscles.htm>.

Fuentes de energía para la contracción

Como el proceso de contracción consume una gran cantidad de energía, las células del músculo esquelético conservan una concentración elevada de los compuestos ricos en energía ATP y fosfato de cretina. El ATP se elabora por fosforilación oxidativa dentro de los sarcosomas de las células musculares durante los periodos de inactividad o de actividad baja. También se convierten con facilidad en fuentes energéticas las gotitas de lípidos y el glucógeno, que abundan en el sarcoplasma. Durante los periodos prolongados de contracción muscular el ADP generado se fosforila por dos medios: **glucólisis anaerobia**, que produce acumulación de ácido láctico, y transferencia de fosfato de alta energía desde el fosfato de creatina catalizada por **fosfocreatincinasa**.⁽⁵⁾

Clasificación de las fibras

✚ Fibras extrafusales

Al contraerse producen movimientos.

✚ Fibras intrafusales

Forman parte del huso neuromuscular, el receptor propioceptivo muscular especializado.

Fibras extrafusales

🕒 TIPO I : Fibras rojas

🕒 TIPO II: Fibras blancas

- TIPO II a: Contracción rápida y resistente a la fatiga.
- TIPO II b: Contracción rápida y menos resistente a la fatiga.
- TIPO II x ó II d: Tienen la capacidad de adaptarse al tipo de entrenamiento. ⁽¹²⁾

Fibras rojas (tipo I)

- Son finas y forman pequeñas unidades motoras.
- Color rojo oscuro (gran contenido de mioglobina).
- Pobres en ATPasa.
- Elevado contenido de sarcosomas.
- Son resistentes al agotamiento.
- Responden lentamente y con una larga latencia, y están adaptadas para contracciones lentas, de larga duración para el mantenimiento de la postura.
- Los músculos de la espalda son músculos rojos. ⁽¹⁰⁾

Fibras blancas (tipo IIb)

- Gruesas y forman grandes unidades motoras.
- Claras (menor contenido de mioglobina).
- Ricas en ATPasa.
- Escasos sarcosomas.
- Se agotan rápidamente.
- Realizan sacudidas de corta duración y se especializan en movimientos finos y hábiles.
- Los músculos extraoculares y algunos de la mano corresponden a los músculos rápido. ⁽¹⁰⁾

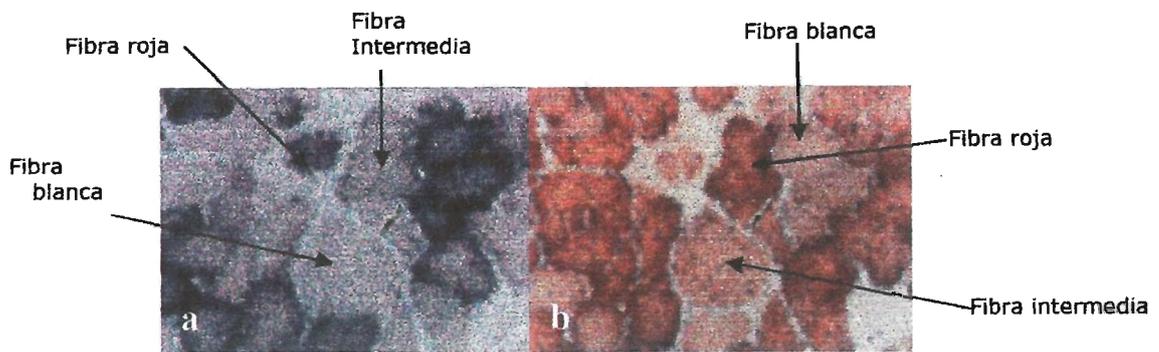


Fig.10. a y b. Corte transversal de músculo estriado en el cual se aprecian los diferentes tipos de fibra. <http://www.technion.ac.il/>.

Fibras intrafusales

🔴 Fibras del saco nuclear

Las porciones medias no contráctiles contienen núcleos tan numerosos que literalmente tienen el aspecto de bolsas de núcleos; son de gran tamaño que por lo general hay de una a cuatro de ellas en el huso.

🔴 Fibras de cadena nuclear

No presentan una reacción media expandida, y sus núcleos están alineados en una sola hilera, semejantes a una cadena. Pueden existir hasta diez fibras de este tipo en el huso. ⁽¹²⁾

Inervación

🔵 VIA PIRAMIDAL

Se encargan de transmitir el impulso motor voluntario, directamente, o bien a través de vía sinapsis, hacia las motoneuronas α y γ .

🔵 VIAS MOTORAS NO PIRAMIDALES

Son fundamentales en la correcta coordinación de los actos voluntarios.

Inervación eferente

Los nervios motores encargados de inervar a los músculos esqueléticos tienen, como componente esencial, axones de motoneuronas α y γ envueltos en vainas de mielina que les proporcionan las células de Schwann.

Los axones de las motoneuronas no están cubiertos por vainas de mielina en su tramo final, que discurre en el espesor del músculo. Aquí van a contribuir a formar una estructura, denominada *placa motriz* donde tiene lugar la *sinapsis muscular*, punto en el que se establece la continuidad fisiológica, pero no anatómica entre el nervio y el músculo. ⁽¹²⁾

Placa motora terminal

Es la zona de contacto entre una fibra nerviosa motora y una fibra del músculo esquelético (Fig.11).

La misión de la placa motriz es transmitir el impulso nervioso a la fibra muscular estriada, utilizando como mediador químico el neurotransmisor acetilcolina. ⁽¹²⁾

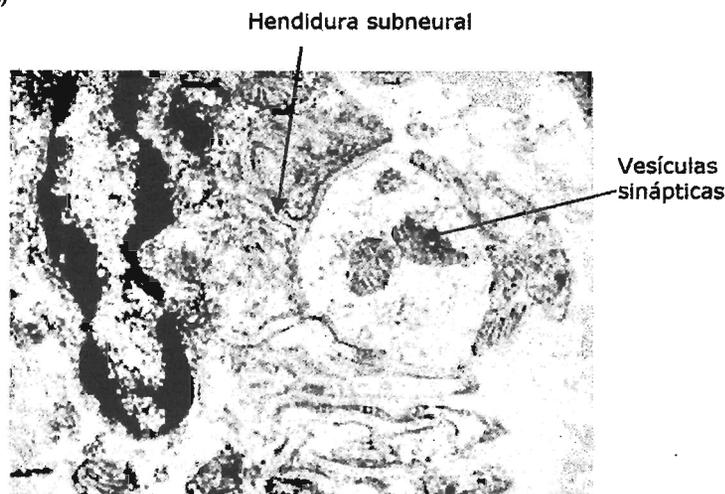


Fig. 11. Placa motora donde aparece el aparato presináptico repleto de vesículas, la hendidura sináptica que contiene la membrana basal y la membrana postsináptica con múltiples invaginaciones. Imagen tomada de <http://www.snc.es/cursos/muscular/Histología/ppi-7.htm>.

Unidad motora

Es un conjunto de fibras musculares que están inervadas por una única motoneurona, es decir, por las terminales procedentes de un solo axón. ⁽¹²⁾

Tipos de motoneurona

● MOTONEURONA α_1 y α_2

- ❖ Tienen el cuerpo o soma de gran tamaño.
- ❖ El axón es más grueso.
- ❖ Terminan en las fibras musculares rojas y blancas.

● MOTONEURONA γ

- ❖ γ_1 : cuando terminan en las fibras de saco nuclear.
- ❖ γ_2 : cuando terminan en las fibras de cadena nuclear.

● α_1 y γ_1

Establecen sinapsis directamente con las estructuras encargadas de transmitirles la información, que son, respectivamente los haces piramidales y las fibras sensitivas procedentes de los husos musculares.

● α_2 y γ_2

Reciben a través de sucesivas sinapsis establecidas entre varias neuronas intercalares, la información que procede de haces motores piramidales y extrapiramidales. ⁽¹²⁾

Inervación aferente

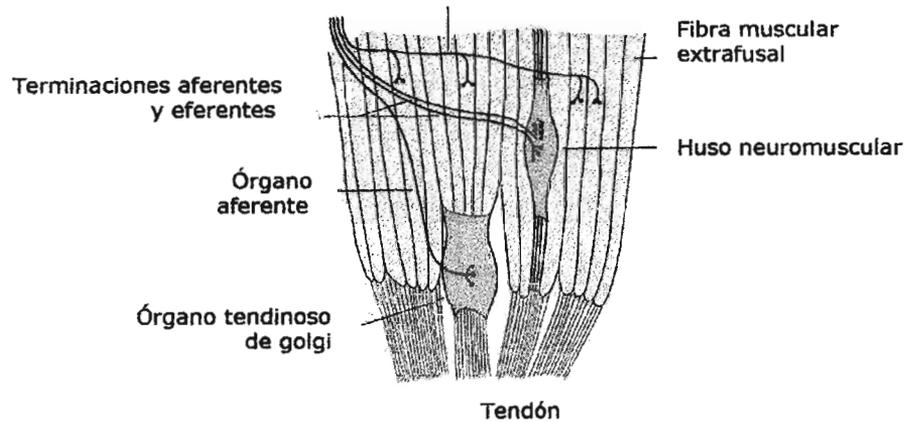


Fig. 12. Se observan los receptores sensoriales en el músculo esquelético. Imagen tomada de <http://www.vrid.usach.cl/histologia/guiaCP9.htm>.

Husos musculares

Estas estructuras son receptores de los cambios de longitud de los músculos estriados (fig.13).

Características

- ✦ Lo envuelve una cápsula extensible de tejido conectivo
- ✦ Es fusiforme
- ✦ Diámetro 0.2 mm en su porción medial
- ✦ Longitud 3-5 mm
- ✦ Presenta orientación longitudinal. (7)

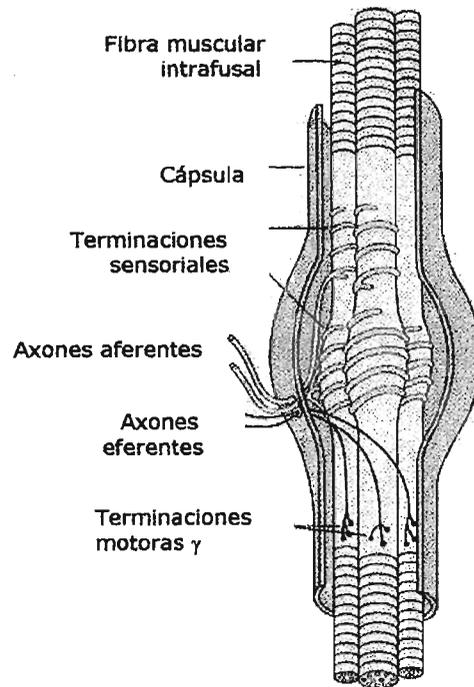


Fig. 13. Representación esquemática de un huso neuromuscular. Imagen tomada de <http://www.vrid.usach.cl/histologia/guiaCP9.htm>.

Función

Encargado de informar al SNC del estado de estiramiento previo o tono muscular que tiene un determinado músculo, antes de enviarle el impulso motor, y de seguir informando en este sentido durante la contracción muscular. ⁽⁸⁾

Órganos tendinosos de golgi (Órganos neurotendinosos)

Están presentes en las uniones de los músculos con sus tendones y también en aponeurosis. Se trata de estructuras encapsuladas.

La fibra aferente mielínica de gran calibre que inerva un órgano tendinoso de Golgi tiene muchas ramas amielínicas, que se ramifican en el interior de tales órganos entre los haces colagenosos del tendón; carecen de inervación eferente estimulando a las terminaciones aferentes por compresión y torsión entre los haces colagenosos, cuando el tendón está en tensión, ya que responden a la tensión de los músculos con que se relacionan.

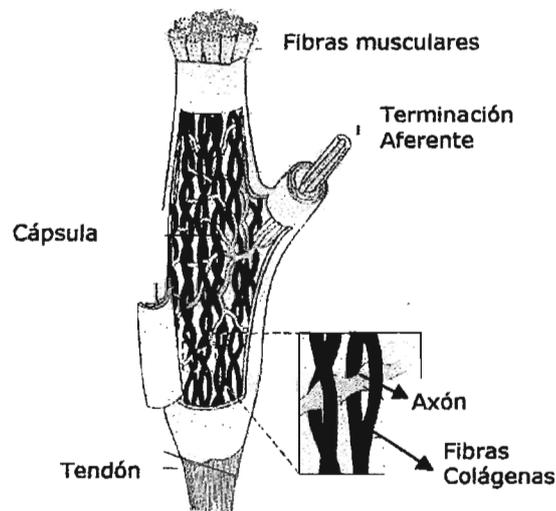


Fig.14. Se observan los elementos del órgano tendinoso de golgi. Imagen tomada de <http://www.vrid.usach.cl/histologia/guiaCP9.htm>.

La estimulación de un órgano tendinoso de Golgi origina la inhibición refleja de la transmisión de impulsos de las neuronas motoras inferiores que inervan el músculo. ⁽⁸⁾

Mecanismo de reparación

Aunque los núcleos de las fibras musculares esqueléticas no se dividen, el músculo tiene capacidad de reconstruirse. Se admite que las células satélite son responsables de la regeneración del músculo esquelético. ⁽³⁾

Células satélite

Estas células son mononucleares, fusiformes dispuestas paralelamente a las fibras musculares, dentro de la placa basal que envuelve las fibras y sólo pueden identificarse al microscopio electrónico (fig. 15).

Después de una lesión u otro estímulo, las células satélite que normalmente están quiescentes, se vuelven activas, proliferan por división mitótica y se funden unas a otras para formar nuevas fibras musculares esqueléticas.

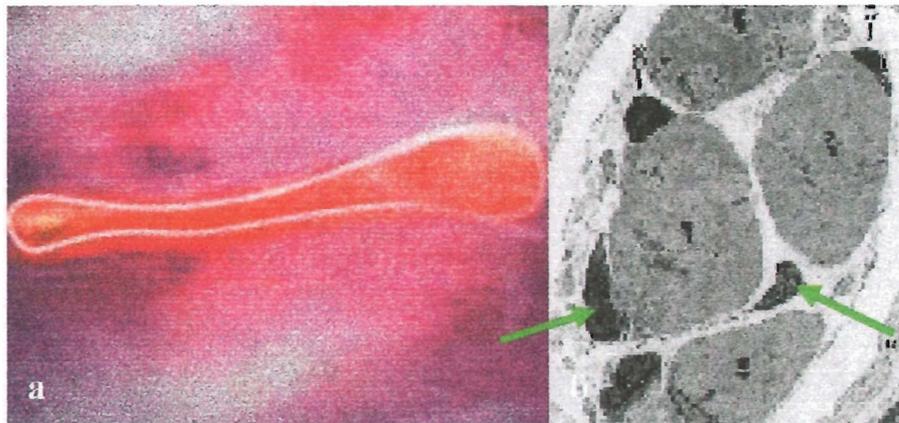


Fig.15. (a) Imagen que muestra la morfología de una célula satélite (b) en un corte transversal se muestran cuatro fibras musculares y dos células satélite flecha. a. Imagen tomada de http://cbc.ca/cgi_bin/templates/email.cgi?/2001/01/02/02/muscle010102. b. Imagen tomada de <http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci312/Muscle/Musclect.HTM>.

Las células satélite entran en actividad cuando el músculo es sometido a un ejercicio intenso. En este caso, se multiplican y se funden con las fibras musculares preexistentes, contribuyendo a la hipertrofia del músculo. ⁽³⁾

Miofibroblastos

Los miofibroblastos son células fusiformes que secretan colágeno, a nivel ultraestructural se observa que estas células contienen agregados de fibras de actina asociados a miosina que les confieren una capacidad contráctil.

Los miofibroblastos son apenas visibles en los tejidos normales, donde suelen formar una población celular inactiva, constituyen también una población celular dispersa en el tejido de sostén colagenoso laxo.

Sin embargo, en caso de lesión tisular, se producen activación y proliferación de miofibroblastos, cuya función parece ser la de reparar los daños resultantes de la muerte del tejido. Los miofibroblastos secretan colágeno con el objeto de proporcionar un entramado firme que permita consolidar el área dañada (cicatriz fibrosa) y se contraen para reducir el tamaño del área lesionada y en la erupción dental. ^(5,13)

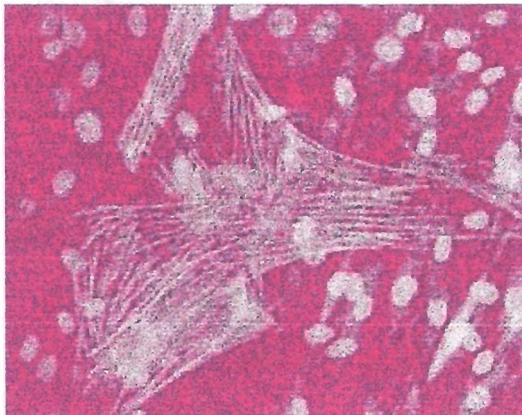


Fig .16. Micrografía que muestra miofibroblastos in vitro. Imagen tomada de http://www.raft.ac.uk/annual_report_2003/report_2003_page_3.html.

MÚSCULO VISCERAL, LISO INVOLUNTARIO

Origen

A diferencia de otros tipos musculares gran parte del músculo liso se deriva del mesodermo esplácnico, de este, las excepciones son el músculo ciliar y los músculos del esfínter de la pupila del ojo que se derivan del ectodermo de la cresta neural y gran parte del músculo liso vascular que suele originarse en el mesodermo local. ⁽²⁾

Localización

Este tipo de músculo también llamado no estriado o involuntario, se encuentra en las paredes de las vísceras huecas, vías gastrointestinales, parte de las vías reproductivas y vías urinarias. También se encuentra en paredes de vasos sanguíneos, en arterias y linfáticos mayores, conductos de mayor tamaño, las glándulas compuestas y vías respiratorias; haces pequeños dentro de la dermis, en el iris y en el cuerpo ciliar del ojo. ⁽⁵⁾

La mayor parte de las vísceras huecas están cubiertas por dos capas de músculo liso (fig.17):

- ✦ Capa Interna. Compuesta por fibras de distribución circular.
- ✦ Capa Externa. Compuestas por fibras de distribución longitudinal. ⁽⁷⁾

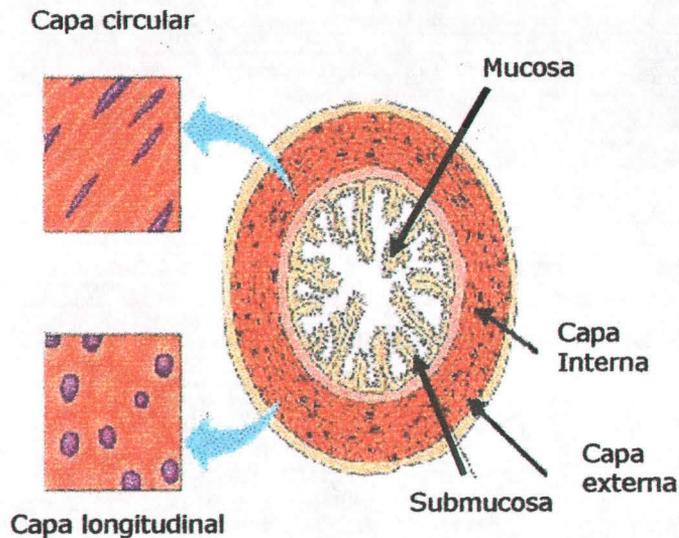


Fig. 17. En el intestino se observan dos diferentes capas de músculo liso, una corre a lo largo y otra alrededor del órgano, juntas producen los movimientos peristálticos. Imagen tomada de http://webanatomy.net/histology/muscle_histology.htm.

Características de la fibra muscular

- ✚ Forma: células largas ahusadas.⁽¹⁾
- ✚ La fibra presenta un único núcleo redondo u oval, central.⁽³⁾
- ✚ El tamaño de la fibra varía considerablemente según su localización; Las fibras más grandes se encuentran en el útero grávido hasta 10 X 500 μm , mientras que las más pequeñas se encuentran en las arteriolas (2 X 15 μm).
- ✚ Sin embargo la mayor parte de ellas miden en promedio
 - 0.2 mm de longitud
 - 8.0 μm de diámetro.⁽⁷⁾

Las células musculares lisas están revestidas y mantenidas juntas por una red muy delicada de fibras reticulares. En el músculo liso también existen vasos y nervios que penetran y se ramifican entre las células. La fibra muscular lisa esta también revestida por una capa de glucoproteína amorfa (glucocálix).⁽³⁾

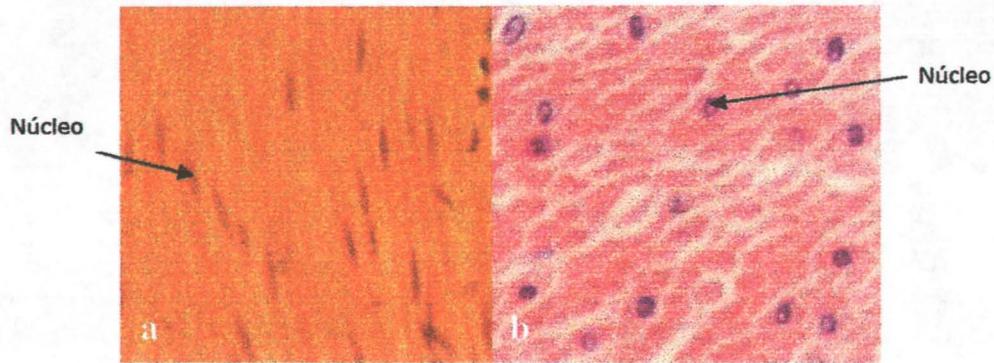


Fig. 18. Fotomicrografía de un corte longitudinal (a) y un corte transversal (b) a través de fibras musculares lisas. a. Imagen tomada de [http://domin.dom.edu./faculty/jonahmm/biol111/biol%5fslides/muscle/pages/05smooth muscle hi mag.htm](http://domin.dom.edu./faculty/jonahmm/biol111/biol%5fslides/muscle/pages/05smooth%20muscle%20hi%20mag.htm). b. Imagen tomada de ⁽¹⁾ el CD ROM Geneser.

Función

Además de sus funciones contráctiles algunas de las células del músculo liso son capaces de efectuar síntesis exógena de proteínas. Entre las sustancias elaboradas por las células de músculo liso para su utilización extracelular están la colágena tipo III (fibras reticulares), fibras elásticas, glucosaminoglucanos y factores de crecimiento como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF) presente en el plasma sanguíneo; es importante en el proceso de cicatrización de heridas, dado que estimula la proliferación de las células del tejido conectivo y músculo liso. ^(5,3)

Componentes celulares

Núcleo

El núcleo es alargado en el sentido longitudinal de la fibra y posee extremos alargados y afinados (fig 18). En los cortes transversales el núcleo aparece en el centro. El núcleo se pliega pasivamente al contraerse la fibra. La cromatina suele ser periférica y se distinguen varios nucleolos. ^(1,7)

El citoplasma perinuclear de las células de músculo liso, sobre todo en las regiones adyacentes a los dos polos del núcleo, contiene en abundancia **sarcosomas**, aparatos de Golgi, retículo endoplásmico rugoso y liso e inclusiones, como glucógeno. ⁽⁵⁾

Retículo sarcoplásmico

El retículo sarcoplásmico de las fibras musculares lisas presenta desarrollo escaso y consiste en sarcotúbulos angostos con cisternas terminales. No existen túmulos T, aunque sí hileras longitudinales de vesículas estrechamente apiñadas las cuales se abren en la superficie de la fibra y se localizan justo por debajo de la membrana celular. Estas vesículas se denominan **cavéolas** ⁽⁷⁾, las cuales pueden funcionar en la descarga y secuestro de Ca^{2+} . ⁽⁵⁾

Sobre la superficie interna del plasmalema, entre las cavéolas, también se observan zonas electrodensas dispersas o **placas de inserción**, con características de adhesiones focales, que contribuyen a fijar los filamentos de actina a la placa.

Del mismo modo se encuentran **condensaciones citoplasmáticas** a intervalos regulares por todo el sarcoplasma, que se ha demostrado contienen la proteína fijadora de actina α -actinina. Además a menudo el plasmalema está en contacto con las células musculares vecinas mediante uniones comunicantes, en los sitios en que las células no están unidas por estas hay un espacio de 50-80 nm de espesor ocupado por los componentes de la lámina extracelular. ⁽¹⁾

Organización molecular

La mayor parte del sarcoplasma es ocupado por filamentos, como son los delgados filamentos de actina y gruesos filamentos de miosina y en parte filamentos intermedios. ⁽¹⁾

Filamentos de actina

Los filamentos de actina son menos numerosos en este tipo de músculo, comparado con el estriado, los cuales poseen un diámetro de 7 nm, son de tipo estable ya que no se confunden con los monómeros de actina G y se encuentran relacionados de igual manera alrededor de los filamentos de miosina. ⁽¹⁾

Filamentos de miosina

Estos filamentos tienen en promedio unos 15 nm de diámetro. Cada filamento de miosina se caracteriza por estar rodeado por un anillo de delgados filamentos de actina. De modo que la relación total entre filamentos de miosina y filamentos de actina es de 1:15. ⁽¹⁾

Las moléculas de miosina se encuentran alineadas, de modo que se proyectan las cabezas de meromiosina pesada (S_1) desde los filamentos gruesos a toda la longitud del filamento con los extremos carentes de meromiosina pesada. La mitad del filamento posee también meromiosina pesada, lo que pone a la disposición una zona de superficie más extensa para la interacción de la actina con la miosina y para permitir las contracciones de larga duración.

No se aplica al músculo liso la ley del todo o nada. Puede contraerse toda la célula o hacerlo sólo una parte de ella en un momento determinado, aunque el modo de contracción obedece, probablemente a la "teoría de los filamentos deslizantes de la contracción".

Las fuerzas contráctiles se ven reforzadas, desde el interior de la célula, por un sistema adicional de filamentos intermedios, **vimentina** y **desmina** en el músculo liso vascular, y **desmina** en el músculo liso no vascular. Estos filamentos intermedios junto con los filamentos delgados, se insertan en cuerpos densos, formados por actinina- α y otras proteínas asociadas con la superficie citoplasmática del sarcolema del músculo liso, y se cree que su función se parece a la de las líneas Z. La fuerza de contracción se descarga, a través de la asociación entre los miofilamentos y los cuerpos densos, hacia los filamentos intermedios, que actúan para torcer y acortar la célula a lo largo de su eje longitudinal. ⁽⁵⁾

Mecanismo de contracción

Aunque la regulación de la contracción del músculo liso depende del Ca^{2+} , el mecanismo de control difiere del observado en el músculo estriado porque los filamentos delgados del músculo liso están desprovistos de troponina (fig. 19); por lo tanto, no solo las moléculas de miosina asumen una configuración diferente porque el sitio de fijación de actina está oculto por su mitad de meromiosina ligera, sino también porque las cadenas ligeras son distintas a las del músculo estriado. ⁽⁵⁾

Etapas de la contracción

1. Los iones de Ca^{2+} liberados desde las cavéolas se fijan a la calmodulina y por lo tanto altera su configuración. El complejo de Ca^{2+} y **calmodulina** activa a continuación a la **cinasa de las cadenas ligeras de la miosina** (Fig. 20).

- La cinasa de las cadenas ligeras de la miosina fosforila a una de las cadenas ligeras de miosina, lo que permite que se despliegue la mitad de meromiosina ligera para formar la molécula de miosina típica con forma de "bastón de golf".

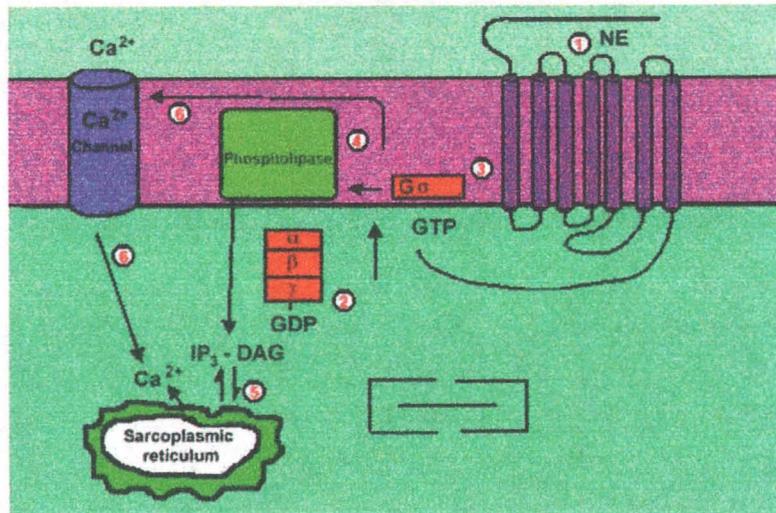


Fig. 19. Esquema en el cual se muestra como se inicia el mecanismo de contracción del músculo liso. Imagen tomada de <http://www.kcl.ac.uk/ip/christerhogstrans/courses/hbo223/muscles.htm>.

- La cadena ligera fosforilada descubre el sitio de fijación de actina en la miosina, y permite la interacción entre la actina y el fragmento S₁ de la miosina, lo que da por resultado la contracción.

Como la fosforilación ocurre con lentitud, el proceso de contracción del músculo liso requiere más tiempo que el de los músculos estriados. La hidrólisis de ATP ocurre con mayor lentitud en el músculo liso que en el estriado; por tanto, la contracción del músculo liso no es sólo **prolongada**, sino que además requiere **menos energía**.

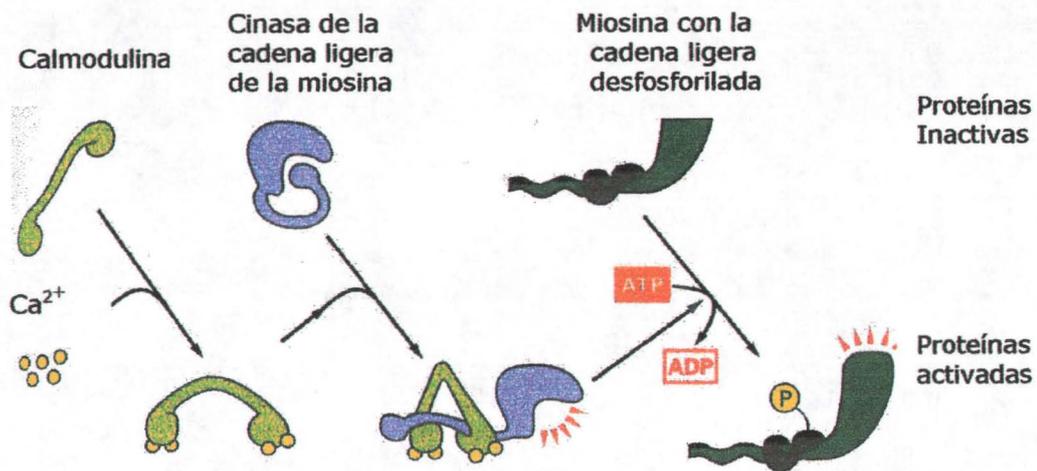


Fig. 20. La contracción se activa con la presencia de Ca^{2+} , por la cinasa de la cadena ligera de la miosina, que cataliza la fosforilación de un lugar en particular en uno de los dos tipos de cadenas ligeras de la miosina. <http://www.kcl.ac.uk/lip/christerhogstrans/courses/hbo223/muscles.htm>.

La disminución de la concentración sarcoplásmica de Ca^{2+} da por resultado disociación del **complejo de calmodulina y Ca^{2+}** , lo que produce inactivación de la **cinasa de la cadena ligera de miosina**. La desfosforilación subsecuente de las cadenas ligeras de miosina *oculta* el sitio de fijación de la actina en la miosina y la *relajación* subsecuente del músculo. (5)

Inervación

La inervación de la musculatura lisa tiene lugar a través de las vías simpáticas y parasimpáticas del sistema nervioso autónomo.

Con base a su inervación y función se reconocen dos tipos de músculo liso:

➤ El tipo multiunitario

Se compone de fibras unitarias que funcionan con independencia entre sí y que a menudo son inervadas por **una única terminación nerviosa**. La

activación tiene lugar por difusión de un potencial de acción, la contracción es rápida y es seguida por la relajación completa, denominada **contracción fásica**, nunca presentándose contracciones espontáneas.

Este tipo de músculo se encuentra en:

- ✚ el iris del ojo
- ✚ el conducto deferente
- ✚ los vasos de mayor calibre

Por inervación de las células musculares lisas del **tipo multiunitario**: cada axón posee varias ramificaciones que se extienden entre las fibras del músculo liso. En los sitios de contacto entre las ramificaciones y las fibras musculares se interrumpe la vaina de Schwann y el axón desnudo crea expansiones en los puntos de contacto, las **varicosidades**, que contienen la sustancia transmisora (acetilcolina o noradrenalina). ⁽¹⁾

➤ **El tipo unitario o visceral**

Esta compuesto por densos haces o capas de células musculares unidas por uniones de intersticio también denominadas comunicantes o nexos. Este tipo se caracteriza por la capacidad de contraerse espontáneamente. Las contracciones espontáneas se difunden a través de estas uniones a las fibras vecinas, por lo que se genera una actividad progresiva. La inervación es abundante, pero el efecto de la acción nerviosa está dirigido sobre todo a modificar la actividad espontánea. La velocidad de la contracción es baja y se mantiene una contracción constante prolongada, denominada **contracción tónica o de tono**.

Este tipo de músculo se encuentra en:

- ✚ Vías biliares
- ✚ Vías urinarias
- ✚ Útero
- ✚ Tubo digestivo ^(1,4)

El tipo unitario se caracteriza por su elevado grado de regulación por acción hormonal, en contraposición con la inervación autónoma ⁽¹⁾. En el músculo liso visceral se identifican dos tipos de contracción que parecen ser independientes una de otra:

- **Contracciones rítmicas**

Se presentan como ondas periódicas de contracción después de una generación espontánea de impulsos.

- **Contracción tónica**

Es el estado continuo de contracción parcial que da como resultado el tono muscular. ⁽⁴⁾

En la inervación de las células musculares lisas del tipo unitario:

Las ramificaciones del axón nunca entran en contacto directo con las fibras musculares lisas. Las ramificaciones se enroscan entre las fibras o llegan hasta el tejido conectivo que rodea los haces o las capas de fibras. Las ramificaciones del axón también aquí forman **varicosidades** y la sustancia transmisora liberada debe difundir a través del espacio extracelular, a menudo por distancias considerables, para llegar a las fibras musculares inervadas. Las células musculares lisas poseen receptores colinérgicos del tipo muscarínico, sensibles a acetilcolina, además de receptores

α -adrenérgicos y β -adrenérgicos para noradrenalina. Estos últimos también son activados por la adrenalina circulante. ⁽¹⁾

Mecanismo de reparación

Regeneración

Las células musculares lisas **son capaces de dividirse (mitosis)**, pero en general la capacidad regenerativa del músculo liso es limitada. Las grandes destrucciones del músculo liso se reparan mediante la formación de una cicatriz de tejido conectivo. ⁽⁸⁾

MÚSCULO CARDIACO, ESTRIADO INVOLUNTARIO

Origen

El músculo cardiaco se deriva de un mesénquima esplácnico claramente definido, la capa mioepicárdica, cuyas células originan el epicardio y el miocardio. La primera estructura formada es la cavidad cardiaca primitiva. ⁽⁵⁾

Localización

El músculo cardiaco se encuentra sólo en el corazón y en las venas pulmonares en el sitio en que estas se unen con el corazón. ⁽⁵⁾

Características de la fibra muscular

En un corte transversal su aspecto es menos regular que en un corte longitudinal (fig.21 a), donde el recorrido de las fibras es bastante paralelo observándose ramificaciones que se comunican con las fibras vecinas. ⁽¹⁾

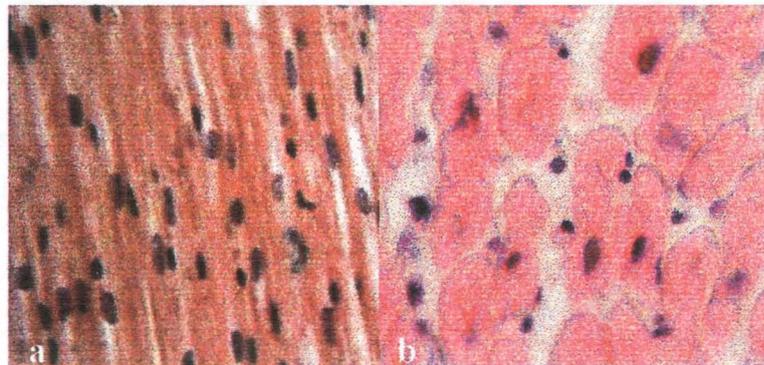


Fig. 21. Fotomicrografía de un corte longitudinal (a) y un corte transversal (b) a través de fibras musculares cardíacas. a. Imagen tomada de http://domin.dom.edu/faculty/jonahmm/biol111/biol%5fslides/muscle/pages/05smooth_muscle_hi_mag.htm. b. Imagen tomada de ⁽¹⁾ CD ROM Geneser

Las longitudes de las células musculares cardíacas en reposo varía, pero en promedio miden $15\mu\text{m}$ de diámetro y $80\mu\text{m}$ de longitud ⁽⁵⁾. Estas células están recubiertas por una delicada vaina de tejido conjuntivo, equivalente al

endomio del músculo esquelético. Hay una abundante red de capilares sanguíneos entre las células que siguen la dirección longitudinal a estas. ⁽³⁾

Componentes celulares.

Núcleo

Pueden ser uni o multinucleados (fig. 21), los cuales se presentan de gran tamaño, ovoides, claros y localizados en la parte media de la célula. ⁽¹⁾

Retículo sarcoplásmico

El retículo sarcoplásmico no está tan desarrollado y se distribuye irregularmente entre los miofilamentos. ⁽⁵⁾

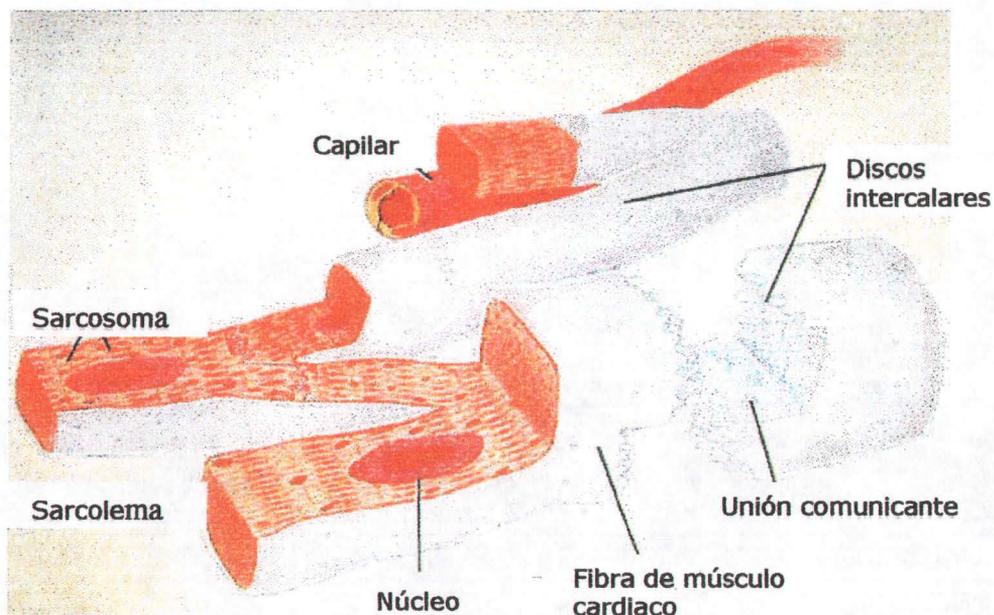


Fig.22. Dibujo esquemático que muestra en tres dimensiones la ultraestructura de una fibra muscular cardíaca. Imagen tomada de http://faculty.washington.edu/kepeter/118/photos/cardio_illustrations.htm.

El retículo sarcoplásmico del músculo cardiaco no forma cisternas terminales como sucede en el músculo esquelético, solo hay aproximaciones del retículo sarcoplásmico a los túbulos T. En la musculatura de los ventrículos, los túbulos T son mayores y más numerosos que en el músculo esquelético, los cuales se encuentran a nivel de la banda Z. ⁽³⁾

Sarcosomas

La célula muscular cardiaca contiene numerosos sarcosomas grandes (fig. 22). Casi la mitad del volumen de la célula del músculo cardiaco está ocupada por sarcosomas, ello debido a su gran consumo de energía. ⁽⁵⁾

Organización estructural

Estriaciones transversales

El músculo cardiaco está formado por largas fibras provistas de estriaciones transversales, al igual que el músculo esquelético. Estas estriaciones se deben a la disposición de filamentos finos y gruesos separados por líneas Z. ⁽⁶⁾

Discos intercalares

El músculo cardiaco también presenta unas bandas transversales especiales llamadas **discos intercalares**. Los discos intercalares son uniones termino-terminales (extremo con extremo). ⁽⁸⁾



Fig.23. Fotomicrografía de un corte transversal de músculo cardíaco en el cual se señalan los discos intercalares. Imagen tomada de <http://www.vridusach.cl/histologia/guiaCP9.htm>.

El disco intercalar atraviesa todo el ancho de la fibra, pero suele estar compuesto por varias porciones longitudinales desplazadas, por lo que presentan un aspecto semejante a una escalera (fig.23). Dichas estructuras siempre se encuentran a nivel de la parte media de las bandas I, donde se localizan las líneas Z, pero son más grandes que éstas ⁽¹⁾. En los discos intercalares se encuentran tres tipos de uniones principales: la fascia adhaerens o ***zónula adhaerens***, la mácula adhaerens o ***desmosoma*** y las ***uniones comunicantes*** o “gap junctions”.

Las ***zónulas adhaerentes*** representan la principal especialización de la membrana de la parte transversal del disco; están presentes también en las partes laterales y sirven para fijar el filamento de actina de los sarcómeros terminales.

Las ***maculae adhaerentes*** son desmosomas que se unen a las células musculares cardíacas, impidiendo que se separen debido a la actividad contráctil constante del corazón.

En las partes laterales del corazón se encuentran ***uniones comunicantes*** responsables de la continuidad iónica entre células musculares próximas. Desde el punto de vista funcional el paso de iones permite que agregados

de células musculares se comporten como si fueren un **sincitio**, pues el estímulo para la contracción pasa como una onda de una célula a otra. ⁽³⁾

Organización molecular

Díada

Las triadas no son frecuentes en las células cardíacas, ya que los túbulos T generalmente no se asocian a una sola expansión lateral del retículo sarcoplásmico. Por ello una de las características del músculo cardíaco es la presencia de díadas, constituidas por un túbulo T y una vesícula del retículo sarcoplásmico. ⁽³⁾

Fuentes de energía para la contracción

El aprovisionamiento de energía del corazón se debe al glucógeno en cierta parte, pero principalmente a los triglicéridos (cerca de 60% durante la frecuencia cardíaca basal). Como es elevada la necesidad de oxígeno de la célula del músculo cardíaco, contiene mioglobina en abundancia. ⁽⁵⁾

Fibras de Purkinje

Las fibras musculares cardíacas modificadas o fibras de Purkinje, que conforman el haz auriculoventricular y sus ramificaciones, conducen los impulsos con mayor velocidad que las fibras musculares cardíacas comunes (velocidad de conducción de 2-3 m/seg., comparado con unos 0.6m/seg. en las fibras musculares cardíacas comunes). Las fibras de Purkinje se diferencian por tener mayor cantidad de miofibrillas; que por lo general sólo se encuentran en la parte periférica de la fibra. Las fibras de Purkinje

también son más gruesas y los núcleos que a menudo aparecen en grupos, son más redondeados. Por último, las fibras de Purkinje contienen más glucógeno que las fibras musculares cardíacas comunes. Mediante el microscopio electrónico se visualizan las fibras de Purkinje como fibras musculares cardíacas comunes, compuestas por células individuales, las células de Purkinje, dispuestas en hileras, donde las células hacen contacto entre sí extremo a extremo y lado a lado, con formación de grandes nexos correspondientes a las superficies de contacto compuestas por células individuales.

Las células de Purkinje del haz auriculoventricular y sus ramificaciones están separadas de las células musculares cardíacas comunes por una capa de tejido conectivo y solo se comunican entre sí por las ramificaciones terminales subendocárdicas, donde se observan nexos entre las células de Purkinje y las células cardíacas comunes. ⁽¹⁾

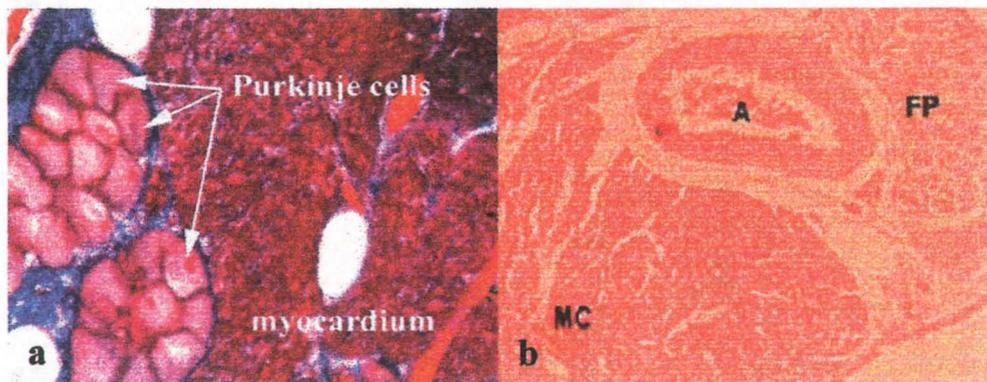


Fig. 24. Fotomicrografía en un corte transversal de corazón que señala en a) las células de Purkinje y el miocardio y en b) el músculo cardíaco MC, las fibras de Purkinje FP y una arteria A. Imagen obtenida de <http://www.luciana.correa.nom.br/chel/rei10odontoche1.htm>.

Respuesta contráctil

La respuesta contráctil del músculo cardiaco comienza casi inmediatamente al inicio de la despolarización, y dura cerca de una y media veces más que el potencial de acción. El papel del Ca^{2+} en el acoplamiento de la excitación-contracción es igual al del músculo esquelético, excepto que tanto el calcio que penetra al líquido extracelular como el del retículo sarcoplásmico contribuyen a la contracción. Las respuestas del músculo son de carácter todo o nada, esto es, las fibras musculares se contraen completamente si es que responden. Puesto que el músculo cardiaco es absolutamente refractario durante la mayor parte del potencial de acción, la respuesta contráctil está, por lo menos, más allá de la mitad de su curso, antes de que una segunda respuesta pueda ser iniciada. Por lo tanto, no puede presentarse tétanos del tipo que se ve en el músculo esquelético; la contracción tetánica del músculo cardiaco de cualquier duración tendría consecuencias mortales y en este sentido, el hecho de que el músculo cardiaco no pueda tetanizarse, es una característica de seguridad. Se dice que el músculo ventricular se encuentra en el "periodo vulnerable" al final del potencial de acción, debido a la estimulación, consecencialmente inicia la fibrilación. ⁽¹⁰⁾

Inervación

El corazón esta inervado por fibras parasimpáticas (vía el nervio vago) y simpáticas: las fibras forman plexos cardíacos cerca de la base del corazón. Las fibras del vago forman sinapsis con las células ganglionares parasimpáticas, localizadas en los plexos y en las paredes auriculares. Las fibras postganglionares adrenérgicas y colinérgicas entregan terminales sobre todo en los nódulos sinusal y auriculoventricular. Además las arterias coronarias y las venas cardiacas son inervadas por fibras adrenérgicas.

Se encuentran fibras aferentes como receptores específicos de estiramiento y como nociceptores que modifican el dolor. ⁽³⁾

El corazón recibe nervios tanto del sistema nervioso simpático como del parasimpático, que forman plexos en la base del órgano. No existen en el corazón terminaciones nerviosas comparables a la placa motora del músculo esquelético. Las fibras musculares cardíacas son capaces de autoestimularse independientemente del sistema nervioso, estas células no tienen todas el mismo ritmo pero al estar unidas por uniones comunicantes, las que tienen el ritmo más acelerado conducen a todas las demás.

Las fibras del sistema generador y conductor del impulso son las de ritmo más rápido, pero las células de la parte contráctil del corazón son capaces de hacer trabajar al órgano con ritmo más lento, en el caso de que se produzca un fallo en el sistema conductor, el sistema nervioso ejerce en el corazón una acción reguladora adaptando el ritmo cardíaco a las necesidades del organismo como un todo. ⁽³⁾

Mecanismo de reparación

El corazón carece de capacidad regenerativa debido a la falta de capacidad mitótica en las células musculares cardíacas después del nacimiento ya que no existen células satélite; después de la lesión como por ejemplo en caso de infarto de miocardio, invaden fibroblastos la región lesionada, experimentan división celular y forman tejido conectivo fibroso (tejido de cicatrización) para reparar la lesión. ⁽⁵⁾

Crecimiento

Después del parto, el corazón sólo crece por aumento de tamaño de cada célula muscular cardíaca, dado que no se presenta mitosis en la vida extrauterina. ⁽¹⁾

Expresión genética en cardiopatías.

Dentro de la expresión fenotípica, se han detectado genes, los cuales son causantes de diversas cardiopatías, ello en base a una inadecuada expresión por mutaciones, tanto de tipo puntual (las menores), como por bloque. Dentro de las cardiopatías, cuya expresión genética está más descrita, se encuentran:

Cardiomiopatía hipertrófica (HCM) ⁽¹⁴⁾

Gen mutado	Alteración
MYH7 Gen de cadena pesada β -miosina	Transmisión alterada de la fuerza de la cabeza al cuerpo del filamento grueso.

Cardiomiopatía dilatada (DCM) ⁽¹⁴⁾

Gen mutado	Alteración
MYH7 Gen de cadena pesada de miosina	Altera la magnitud o la polaridad del movimiento del puente cruzado (contracción)
TPM1 Gen β -Tropomiosina	Deteriora el enlace Troponina T y Ca^{2+} (generación de fuerza).
LMNA Gen Lamin A/C	Distrofia muscular

DMH Gen distrofina	Distrofia muscular (Duchenne y Becker)
G – 4.5 Gen Tazafina	Hipertrofia, dilatación y/o fibroelastosis endocodial (Síndrome de Barth)

Displasia ventricular derecha arritmogénica (ARVD) ⁽¹⁴⁾

Gen mutado	Alteración
JUP Gen placoglobina	Alteraciones marcadas en la morfología del desmosoma.

Cardiomiopatías restrictivas ⁽¹⁴⁾

Gen mutado	Alteración
DES Gen desmina	Disturbios en la conducción del impulso.

CONCLUSIONES

- ✦ **El linaje muscular es un fenotipo altamente especializado cuya importancia es relevante para el completo funcionamiento orgánico, por lo que su función contráctil se puede considerar imprescindible.**
- ✦ **Los organismos se aprovechan de la contracción de las células musculares y de la distribución de los componentes extracelulares del músculo para permitir constricción, locomoción y otros movimientos de propulsión.**
- ✦ **El fundamento molecular de la transducción quimiomecánica es idéntico en los diferentes tipos de músculo.**
- ✦ **El músculo liso tiene gran importancia desde el punto de vista médico por su participación en enfermedades de diferentes sistemas como el respiratorio, el genitourinario, el digestivo, el circulatorio y otros órganos.**
- ✦ **Los procesos patológicos pueden ocasionar cambios en la expresión genética de las proteínas contráctiles, y por lo tanto modificar el rendimiento muscular.**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Geneser F. Histología sobre bases biomoleculares. 3ª ed. México: Editorial Médica panamericana, 2000.
2. Carlson B. Embriología humana y biología del desarrollo. 2ª Ed. España : Editorial. Harcourt, 2000.
3. Junqueira L. Carneiro J. Histología básica. Texto y atlas. 4ª ed. España: Editorial Masson, 1996.
4. Lesson T. Texto y atlas de histología . 5ª ed. México: Editorial Mc Graw Hill interamericana, 1987.
5. Gartner L. Hiatt J. Histología texto y atlas. México. Editorial Mc Graw Hill. Interamericana. 1997.
6. Conmark D. Introduccion to histology. México: editorial Harla, 1986.
7. Ham A. Tratado de histología. 8ª ed. México: Nueva editorial Interamericana.1986.
8. Ross M. Romrell L. Histología texto y atlas color. 3ª ed. México: Editorial médica panamericana, 1999.
9. Berne R. Fisiología. 3ª ed. Madrid: Mosby – year book europe Ltd., 2002.

10. Ganong W. Fisiología médica. 16^a ed. México: Editorial El Manual Moderno, 1998.
 11. Lopategui E. El sistema muscular: función durante el movimiento humano. 2003. <http://www.salud.med.com/fisio/Ej/MuscE.html>.
 12. Smith V. Atlas de los sistemas neuromusculares con funciones estáticas y dinámicas. 2^a ed. Barcelona: Publicaciones médicas Espaxs, 2003.
 13. Stevens A. Steven J. Texto y atlas de histología. España: Mosby/Doyma Libros, 1995.
 14. Fatkin D. Gram. R. Molecular mechanisms of inherited cardiomyopathies. Rev. Physiol. 2002; 82: 945-980.
 15. Albert B. Biología molecular de la célula .3^a ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1996.
-  <http://www.kcl.ac.uk/ip/christerhogstrand/courses/hbo223/muscles.htm>.
-  http://iupucbio2.uipui.edu/nb261/lab_chapt_10_skeletal_muscle_tissue.htm.
-  http://sorrel.humboldt.edu/smd10/Sierra%2012_9_01/Public_html/69%20Muscle%20CD
-  <http://trc.ucdavis.edu/miquinam/apc100modules/Musculoskeletal/muscle>
-  <http://molbr.vilabo.uol.com.br/fisio/diflesq.htm>
-  <http://www.technion.ac.il/>
-  <http://www.snc.es/cursos/muscular/Histologia/guiCP9.htm>
-  <http://cbc.ca/cgi-bin/templates/email.cgi?/2001/01/02/02/muscle010102>

-  <http://classes.aces.uiuc.edu/AnSci312/Muscle/Musclect.HTM>
-  http://www.raft.ac.uk/annual_report_2003/report_2003_page_3.html
-  http://webanatomy.net/Histology/muscle_histology.htm
-  http://http.domin.dom.edu./faculty/johamm7biol111/biol%5Fslides/muscle/pages/05smooth_muscle_hi_mag.htm
-  http://faculty.washington.edu/kepeter/118/photos/cardio_ilustrations.htm
-  <http://www.luciana.correa.nam.br/che/rel100d0ntoche1.htm>