

entre estas dos subunidades es flexible, lo que permite que las dos subunidades se muevan.

Túbulo T y retículo sarcoplásmico

El sarcolema emite con periodicidad invaginaciones tubulares que penetran profundamente en el sarcoplasma. Estos túbulos envuelven las miofibrillas y forman el sistema tubular T.

En el músculo esquelético de los mamíferos estos túbulos se localizan en el límite entre las bandas A e I.

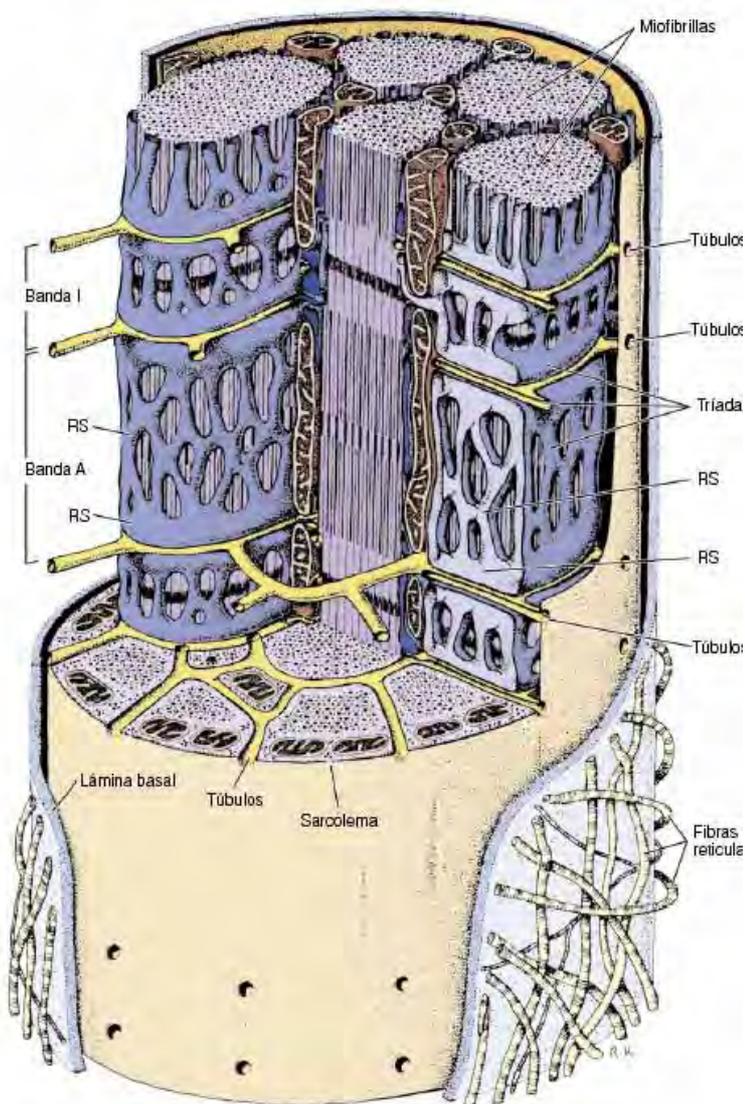


Fig. 7 Esquema de la fibra muscular estriada esquelética., donde se observan las miofibrillas envueltas por el retículo sarcoplásmico. Los tubos T (invaginaciones del sarcolema) y la triada que forman con las cisternas distendidas del retículo. Las sarcómeras y sus bandas y líneas.

El retículo sarcoplásmico liso (RSL) se dispone alrededor de las miofibrillas. En la microfotografía electrónica de esta figura, podemos apreciar que está constituido por dos cisternas terminales aplanadas, las cuales se comunican por cada lado con una serie de tubos (sarcotúbulos); estos se anastomosan generalmente en la porción central.

Las cisternas del retículo sarcoplásmico se encuentran estrechamente relacionadas con los túbulos T, formando una estructura típica denominada **triada**. En los cortes ultrafinos las triadas aparecen constituidas por dos cisternas terminales y un túbulo T central.

La proximidad del túbulo T con respecto a las cisternas permite que el túbulo T, responsable de la transmisión de la onda de despolarización de la membrana, libere los iones de Ca^{++} que se almacenan en las cisternas hacia el sarcoplasma, para dar inicio a la contracción.

Mecanismo de la contracción muscular

La llamada teoría del desplazamiento de los filamentos es hasta ahora la hipótesis aceptada para explicar el mecanismo de la contracción muscular. De acuerdo con ella, cuando el músculo se contrae, los filamentos delgados y gruesos se deslizan entre sí en sentidos opuestos, lo cual trae como consecuencia la desaparición gradual de la banda H y la disminución de la banda I, que puede desaparecer en caso de una contracción extrema. Todo esto produce la reducción de la longitud de la sarcómera.

La longitud de la banda A, permanece constante, pero no así las bandas H e I, que disminuyen. En este mecanismo de deslizamiento hay cambios relativos en la posición de los grupos de filamentos, pero ni los filamentos de miosina ni los de actina cambian su longitud.

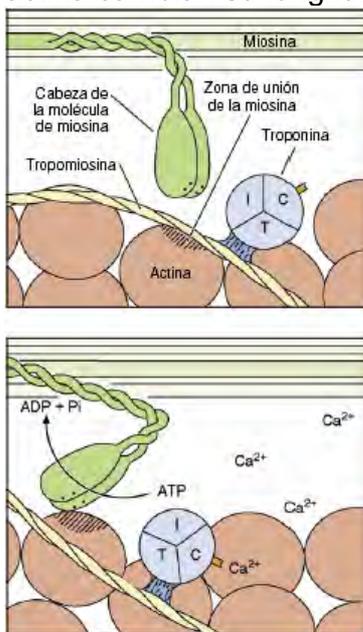


Fig. 8 Mecanismo de la contracción muscular.

Cuando existe una estimulación contráctil todas las miofibrillas se contraen simultáneamente. La contracción comienza en la unión A-I, es decir, en el lugar de la triada. Se conoce que el calcio que rodea las miofibrillas es necesario para la contracción muscular.

Cuando se inicia la contracción aparecen iones de Ca^{++} dentro de la miofibrilla. Estos iones reaccionan con la troponina, la cual sufre un cambio conformacional desplazando a la tropomiosina, del surco que ocupa en los filamentos de actina, de esta manera se exponen los sitios de unión de este filamento fino con la miosina, permitiendo la interacción de ambos y provocando un desplazamiento de los filamentos de miosina sobre los de actina, lo que da lugar a la contracción.

Es indudable el requerimiento de energía para este proceso el que es proporcionado por el desdoblamiento del adenosintrifosfato (ATP).

El músculo para su suministro de ATP depende, en primera instancia, de la concentración de ATP de la célula. Dado que no es factible almacenar una gran reserva de ATP en la célula este se obtiene mediante el desdoblamiento de la fosfocreatinina.

Después que ha terminado la contracción, el ATP puede restituirse por combustión del glucógeno y otros metabolitos, en presencia de oxígeno.

Cuando el abastecimiento de oxígeno es insuficiente, como ocurre durante el ejercicio, se puede obtener energía a partir del glucógeno por vía anaeróbica.

El músculo como un órgano

El tejido muscular contiene tejido conjuntivo en cantidades diferentes. La fibra colágena del tejido conjuntivo es mucho más dura que las fibras musculares, por tanto la dureza de la carne (músculo) de consumo depende del tejido conjuntivo que contenga.

El músculo estriado, en su conjunto, está rodeado por tejido conjuntivo que recibe el nombre de **epimisio**. También en él encontramos el tejido conjuntivo separando el músculo en haces, **perimisio**, y por último se presenta tejido conjuntivo muy fino extendido desde el **perimisio** y que rodea a cada fibra, constituyendo el **endomisio**.

Inserción

Los elementos conjuntivos del músculo se continúan con las estructuras del tejido conjuntivo, en las cuales está insertado el músculo.

El sarcolema que cubre el extremo redondeado de cada fibra muscular que se halla cerca de un tendón, un periostio u otra estructura conjuntiva a la cual el músculo se halla fijado, se une firmemente con ella; por tanto, los extremos de las fibras musculares y de los elementos conjuntivos de un músculo están firmemente unidos a las estructuras conjuntivas, sobre las cuales ejerce tracción.

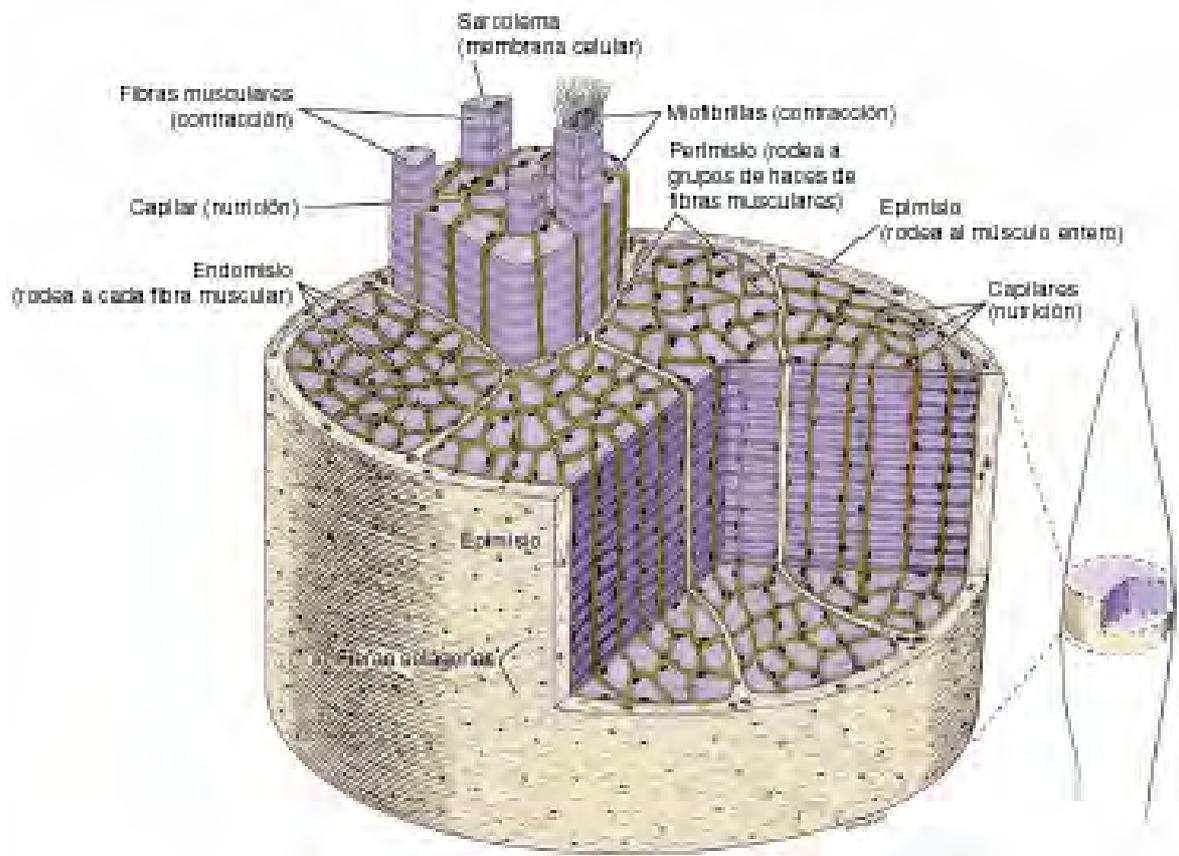


Fig. 9 El músculo como órgano. El tejido conjuntivo se muestra a tres niveles. Alrededor de cada fibra muscular. Endomisio. Rodeando los fascículos musculares: Perimisio. Rodeando el músculo en su conjunto: Epimisio.

Riego sanguíneo

Las arterias atraviesan el epimisio y penetran en el músculo, ramificándose en pequeños vasos que terminan en los capilares del endomisio entre las fibras musculares individuales, formando un plexo notablemente abundante.

Los linfáticos son numerosos, pero no se encuentran en asociación íntima con las fibras musculares; están localizados en el epimisio y perimisio.

Desarrollo y regeneración de las fibras musculares estriadas

Las células musculares estriadas en el embrión se originan a partir de los mioblastos, los cuales sufren mitosis repetidas y se fusionan para constituir miotúbulos. La adición de mioblastos a los miotúbulos continúa originando túbulos estrechos con gran número de núcleos. Los núcleos de los miotúbulos no se dividen durante el desarrollo embrionario.

Algunos investigadores han observado figuras de mitosis en las fibras musculares de las ratas en crecimiento. Se trata de células mionucleadas pequeñas, localizadas entre la membrana basal y la membrana plasmática de las células musculares; a estas se les denominó **células satélite de los músculos**. Esta

evidencia permitió concluir que las células satélites se dividen, y que el número de núcleos aumenta como resultado de esta división. Se piensa que las células satélites actúen como mioblastos.

Cuando el músculo sufre una lesión aparecen mioblastos que se dividen y que se derivan de las células satélites antes mencionadas.

Crecimiento postnatal

Durante la vida postnatal los músculos aumentan de longitud y ancho, y el número de fibras musculares no aumenta.

El espesor del músculo aumenta hasta cierto punto, debido al ejercicio.

El crecimiento en longitud y ancho del músculo se considera que sea producto de la síntesis de miofilamentos nuevos en el sarcoplasma, y de que estos se añaden a las miofibrillas existentes.

Las grandes pérdidas de tejido muscular son reparadas por proliferación del tejido conjuntivo.

La inactividad o la pérdida de inervación motora conduce a una rápida atrofia.

Músculo cardíaco

El tejido muscular cardíaco es estriado e involuntario; en él las células son alargadas y de núcleo central con uno o dos nucleolos y miden unos 100 μm de largo por unos 15 μm de diámetro. Presentan estriaciones transversales similares a las de las células musculares estriadas, pero dichas estriaciones no suelen ser tan netas como en la célula estriada voluntaria, poseen también más sarcoplasma que el miocito estriado esquelético. Las células forman columnas y sus ramificaciones se anastomosan de modo irregular.

Las miofibrillas están separadas por mitocondrias dispuestas en hileras entre ellas, siendo muy alto el número de las mismas dado las necesidades energéticas del miocito cardíaco; por la misma razón es más abundante la cantidad de glucógeno. También en los lugares de unión de dos células adyacentes se presenta una línea oscura transversal llamada **disco intercalar**, que cruza la fibra y forma líneas generalmente en forma de peldaños, denominándose por ello **discos escaleriformes**. Con la utilización del M/E ha quedado aclarado que estos discos son las especializaciones de unión de las membranas celulares de las células cardíacas denominadas **uniones intercomunicantes**.

Los túbulos T del músculo cardíaco son semejantes a los del músculo esquelético y difieren de ellos en que tienen mayor diámetro, y están a nivel de la línea Z y no a nivel de las uniones A-I.

Entre los intersticios de las células cardíacas está presente el endomisio del músculo cardíaco, constituido por tejido conjuntivo laxo muy rico en capilares sanguíneos, linfáticos y fibras nerviosas.

En el músculo cardíaco, al envejecer el individuo, se aprecian depósitos de pigmentos de liposcina en el sarcoplasma; cuando hay una gran cantidad de este pigmento toma coloración pardusco el miocardio, lo cual se conoce como atrofia parda del corazón.