

110

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
"CUAUTITLAN"

MORFOFISIOLOGIA DEL TEJIDO MUSCULAR,
ESTUDIO RECOPILATIVO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A :
ARSENIO SORDO ALEMAN

ASESORES DE TESIS

M.V.Z. Carlos Manuel Appendini Tazzer

M.V.Z. Marco Antonio Fajardo Roman



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

R E S U M E N .

El presente trabajo, fue elaborado con el fin de servir como material de apoyo para los estudiantes de la carrera de Médico Veterinario Zootecnista, enfocado básicamente al conocimiento de la estructura y función del tejido muscular en sus diferentes variedades.

Durante la elaboración del trabajo se tomó en consideración la necesidad de incluir medios ilustrativos, básicamente esquemas y dibujos útiles para facilitar el proceso de aprendizaje.

El ordenamiento y secuencia del texto obedece en forma especial a tratar de facilitar el aspecto didáctico, ya que, los temas se trataron de lo general a lo particular, esto aunado a la omisión de las referencias bibliográficas durante la redacción del trabajo, a la terminología usada y a la inclusión de los esquemas tienen la finalidad de no distraer la atención del lector.

En la conjugación de material de enlace de diferentes materias se busca llenar la idea de morfología en lo que respecta al tejido muscular, importante este por considerarse uno de los cuatro tejidos básicos del organismo junto con el tejido epitelial, conjuntivo y nervioso.

I N D I C E

	Página
I GENERALIDADES DEL TEJIDO MUSCULAR	1
II MUSCULO ESQUELETICO	5
Concepto	5
Morfología	7
Estructura al microscopio óptico	8
Ultraestructura	11
Fibras del Tipo I	15
Fibras del Tipo II	15
Organización de las células de los músculos	16
Irrigación	18
Inervación	18
Regeneración	18
III MUSCULO CARDIACO	19
Concepto	19
Morfología	19
Diferencias estructurales	21
Irrigación	24
Regeneración	25
IV MUSCULO LISO	26
Concepto	26
Morfología	26
Irrigación	30
Inervación	31
Regeneración	32
V CARACTERISTICAS DIFERENCIALES DE LAS FIBRAS MUSCULARES ESQUELETICAS, LISAS Y CARDIACAS	33
VI NOTAS SOBRE LA FUNCION MUSCULAR	35
Placa motora	35
Mecanismo de contracción muscular	37

	Página
Modificación del tamaño de las bandas durante la contracción	41
Características contráctiles del músculo cardia- co y músculo liso	42
Tono muscular	44
VII BIBLIOGRAFIA	45

I GENERALIDADES DEL TEJIDO MUSCULAR.

Debemos entender que el movimiento es una función corporal esencial que se realiza por medio de la contracción muscular. El tejido muscular constituye alrededor del 60-70% del peso del individuo y está formado por células especializadas que tienen la capacidad de recibir y responder a estímulos, engrosarse, acortarse y también extenderse o alargarse. Asimismo poseen elasticidad y pueden recuperar su forma original después de la contracción.

Además de que los músculos dan movimiento al individuo, mantienen la postura y aportan calor para el organismo; a su vez también participan en otras funciones como son: el latir del corazón, la respiración, fragmentación y propulsión de los alimentos a lo largo del tubo digestivo, el transporte de orina y la contracción de la vejiga para su vaciamiento, así como la dilatación y contracción de los vasos sanguíneos entre otras.

El tejido muscular (o simplemente músculos), tiene como función principal el transformar la energía química en energía cinética -alimento en movimiento- proporcionando movilidad al individuo en su medio y a los órganos y líquidos dentro del mismo.

Esta actividad mecánica la realiza mediante el acortamiento de las unidades que la forman -células musculares-, fenómeno que se denomina contracción.

A las células musculares se les ha denominado también fibras musculares o fibrocélulas musculares.

El tejido muscular (como todos los elementos contráctiles) se caracteriza por la presencia de fibrillas intracitoplasmáticas o miofibrillas que en última instancia son las estructuras responsables de la contracción.

Todos los elementos de las fibrocélulas musculares se originan en la capa embrionaria intermedia llamada mesodermo.

Para clasificar el tejido muscular se han tomado en consideración sus características histológicas, su inervación y su forma de respuesta a los estímulos, por lo que es posible diferenciar tres tipos:

- Músculo estriado voluntario o esquelético.

Presenta estriaciones al microscopio óptico. Su contracción depende de la voluntad de los individuos. Se llama esquelético porque se relaciona con los huesos a los que les da movimiento. Este músculo es el que conocemos como carne. Se encuentra en los bíceps, los maseteros, glúteos, y en general recubriendo todos los huesos del organismo.

- Músculo estriado involuntario o cardíaco.

Al microscopio óptico presenta estriaciones poco aparentes, su contracción no depende de la voluntad de los individuos, ade-

más se contrae rítmicamente con frecuencia, variable según la especie debido a un sistema propio de autoexcitación y conducción de los estímulos. Las fibras musculares cardíacas se contraen de manera similar a como lo hacen las fibras musculares esqueléticas, y estas fibras forman en general el músculo del corazón o miocardio.

- Músculo liso involuntario.

El músculo liso involuntario puede dividirse en: músculo liso visceral y músculo liso de unidades múltiples (o multiunitario).

Al microscopio electrónico el músculo liso no presenta estriaciones, y su contracción no depende de la voluntad de los individuos.

El músculo liso visceral está dispuesto en grandes láminas y tiene puentes de baja resistencia entre las células musculares individuales. Estos puentes al igual que los que presenta el músculo cardíaco son zonas donde las membranas de dos células adyacentes se unen para formar una sola membrana. La localización de este tipo de músculo es básicamente en órganos huecos como arterias, útero, estómago, intestino, etc.

El músculo liso de unidades múltiples a diferencia del músculo liso visceral, consta de unidades individuales sin puentes de interacción y se encuentra en estructuras como el iris del ojo donde ocurren contracciones graduadas y finas.

La observación microscópica de las tres variedades de fibrocélulas musculares nos muestra sus organelos que son los componentes de la célula que le permiten producir energía, aprovechar y almacenar nutrientes, reproducirse y conducir impulsos nerviosos entre muchas otras funciones. Algunos de estos organelos reciben un nombre en particular, empleado para referirse a estructuras de las células musculares. A continuación se señala la terminología empleada al respecto.

Sarcoplasma.- Porción no diferenciada de citoplasma (paraplasma).

Sarcosomas.- Mitocondrias.

Miofibrillas.- Fibras de citoplasma vistas al microscopio electrónico.

Retículo sarcoplásmico.- Retículo endoplásmico.

Sarcolema.- Para algunos autores es la membrana plasmática, en tanto para otros es la unión de la membrana plasmática con la membrana basal. Estructura que une el tejido epitelial.

II MUSCULO ESQUELETICO.

Concepto:

El tejido muscular estriado voluntario o músculo esquelético, está formado por elementos contráctiles de gran tamaño, cuyo conjunto forman los llamados músculos de la anatomía macroscópica. Constituye la parte activa del aparato locomotor y es llamado genéricamente carne.

Su masa representa cerca del 50% del peso corporal, además de encontrarlo relacionado con el esqueleto. También lo encontramos en órganos que no se relacionan con los huesos como la lengua, la laringe, esófago (en los ruminantes y caninos) en el tejido muscular subcutáneo y el diafragma.

Las características morfofisiológicas comunes del músculo esquelético son: su contracción está ligada a la voluntad de los individuos, presenta estriaciones transversales (observables al microscopio óptico) y está constituido por una gran cantidad de fibrocélulas musculares esqueléticas.

Las fibrocélulas musculares esqueléticas tienen la forma de cilindros alargados que se adelgazan rápidamente en sus extremidades. En las secciones transversales las células aparecen poligonales por sus contactos con células vecinas. (Fig. II-1)

La longitud de las células es variable; en los músculos cor-

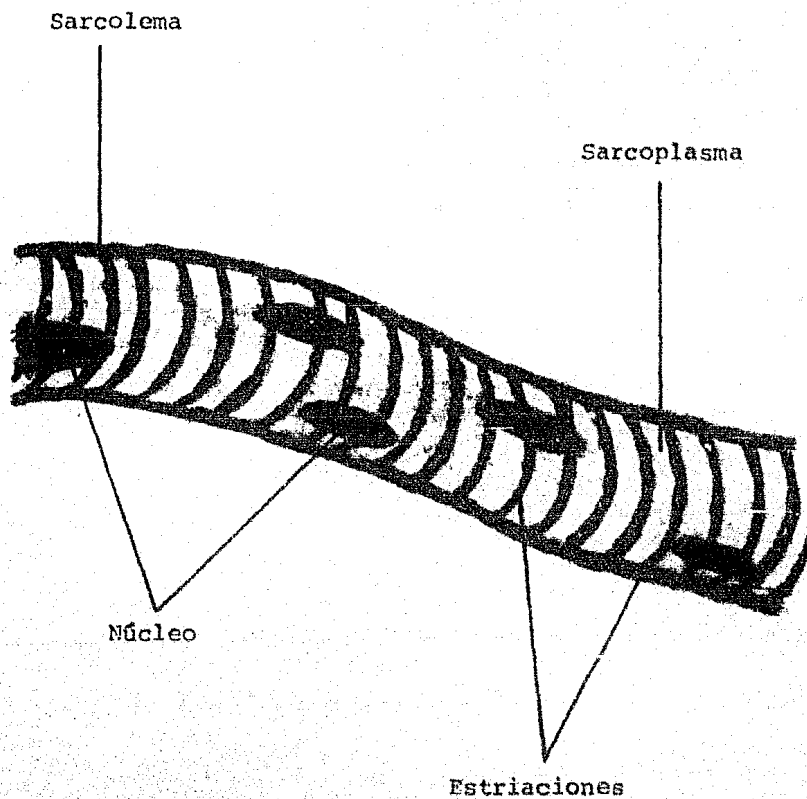


Fig. II-1.- Esquema de una fibra muscular esquelética.

(Modificado de Guyton 1984).

tos pueden tener la misma longitud que el músculo que forman, mientras que en los músculos largos las células se unen por medio de tejido conjuntivo con otras fibrocélulas. Cada célula mide de pocos milímetros a varios centímetros de longitud por 20 a 50 micras de diámetro. Son gruesas en los músculos que desarrollan gran fuerza y delgadas en aquellos de movimientos precisos y suaves. La longitud y diámetro de las fibrocélulas aumenta durante el crecimiento en forma variable dependiendo de el ejercicio que efectúe el individuo; al terminar el crecimiento las células pueden sufrir un desarrollo posterior como consecuencia de un sobrefuncionamiento (músculo de los animales de trabajo y de los atletas) fenómeno llamado "hipertrofia muscular".

Por otra parte, la inactividad muscular prolongada genera una disminución del diámetro muscular y la pérdida de su capacidad funcional, a este fenómeno se le llama "atrofia muscular".

Estructura de la fibra muscular.

Su estructura es muy característica por la gran cantidad de material en forma de filamentos contráctiles de naturaleza proteica llamada "miofibrillas" así como por la gran cantidad de núcleos que poseen (de algunas decenas a varios cientos) y por su abundante sarcoplasma.

Los núcleos se localizan en la porción periférica de las células cerca de la membrana plasmática, a la cual pueden desplazar ligeramente hacia afuera, su forma es alargada y ovoide y miden de 5 a 7 micras de ancho por 5 a 15 micras de largo. -- Los núcleos se presentan menos numerosos y más distanciados --

en las extremidades de las fibrocélulas.

En el citoplasma se encuentran gran cantidad de miofibrillas (fig. II-2) dispuestas paralelamente según el eje mayor de la célula. En los cortes transversales las miofibrillas aparecen como un puntilleo. Estas miofibrillas se desplazan a todo lo largo de la célula, cada célula contiene una gran cantidad de miofibrillas (se ha calculado que en una fibrocélula de 50 micras de diámetro pueden ser hasta 2,000 miofibrillas); el diámetro de cada miofibrilla varía de algunas décimas de micras hasta dos micras.

En los cortes longitudinales las miofibrillas aparecen como haces longitudinales llamados campos de Cohnheim o columnas de Leydig; estas columnas no presentan una densidad homogénea (ni en fresco o después de la fijación o tinción) sino que están constituidos por bandas opacas, refringentes (bandas oscuras o anisótropas) también conocidas como bandas A, y bandas claras poco refringentes (bandas claras o isotropas) llamadas bandas I. Se ha observado que las bandas A se encuentran dispuestas al mismo nivel que las bandas A de las miofibrillas contiguas (de la misma fibrocélula) y lo mismo sucede con las bandas I; o sea, están alineadas de tal manera que las bandas A (oscuras) atraviesan toda la célula al mismo nivel; de la misma manera se alinean las bandas I (claras).

Esta secuencia en las bandas A e I es la responsable de las estriaciones características que lo diferencian del músculo liso.

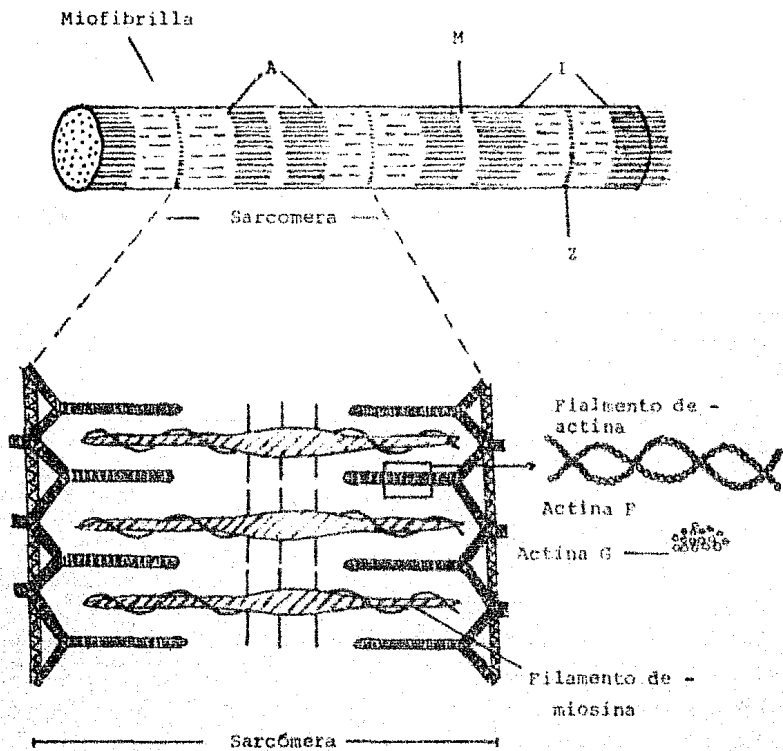


Fig. II-2. Esquema de uma miofibrilla esquelética.
(Modificado de Junqueira 1982).

A grados aumentos (800-1,000 diámetros) y en cortes obtenidos correctamente, es factible observar que las bandas A e I están a su vez subdivididas por líneas o discos:

- La banda I está subdividida en dos porciones iguales por una línea o disco llamado línea o disco Z.
- La banda A presenta en su centro una línea delgada, oscura llamada línea H o disco H, y a su vez la línea H está subdividida por la línea M.
- El espacio comprendido entre dos líneas Z se le llama sarcómera y es considerada la unidad de contracción del músculo.

Al microscopio electrónico, se observa que cada miofibrilla está formada a su vez por una cantidad muy grande de filamentos o miofilamentos de dos tipos, y que la disposición de estos es por lo que se observan las estriaciones como se verá posteriormente.

En el sarcoplasma se encuentran numerosos sarcosomas (mitocondrias) en forma de bastones cortos, colocados entre las miofibrillas paralelas a ellas, generalmente son más numerosas a la altura de la banda I, y sobre todo en la zona de la placa neuromotora (zona de relación entre la fibrocélula muscular y la terminación nerviosa).

También se observan gotas de glucógeno en el sarcoplasma sobre todo a nivel de la banda A en su unión con la banda I. Cerca de cada núcleo se localiza un Aparato de Golgi poco desarrollado y ocasionalmente se observa también a este nivel -

el diplosoma. Por lo que respecta a otras estructuras (organelos del metaplasma), estos se encuentran poco desarrollados -- con excepción del retículo sarcoplásmico que se describirá al hablar de la ultraestructura. El sarcoplasma también poseen gran cantidad de mioglobina que es una cromoproteína similar a la hemoglobina de los glóbulos rojos que se combina con el oxígeno para almacenarlo dentro de la célula muscular hasta que lo necesitan las mitocondrias. Este oxígeno se encuentra fijo de manera inestable durante los períodos de reposo y es liberado durante la contracción.

Se ha observado que la intensidad de coloración del músculo puede variar entre individuos de la misma especie.

Ultraestructura de la fibrocélula muscular esquelética.

En las secciones longitudinales, las miofibrillas aparecen -- constituidas por dos tipos de miofilamentos: (fig. II-3)

Miofilamentos gruesos de miosina, formados exclusivamente por proteína miosina.

Miofilamentos delgados de actina, formados por la proteína actina y pequeñas cantidades de tropomiosina, troponina y alfa-actina.

Cada miofilamento de actina y miosina está representado millones de veces en cada miofibrilla. Se disponen de forma muy regular y son las responsables de las estriaciones que se observan en los cortes longitudinales. Los dos tipos de filamen

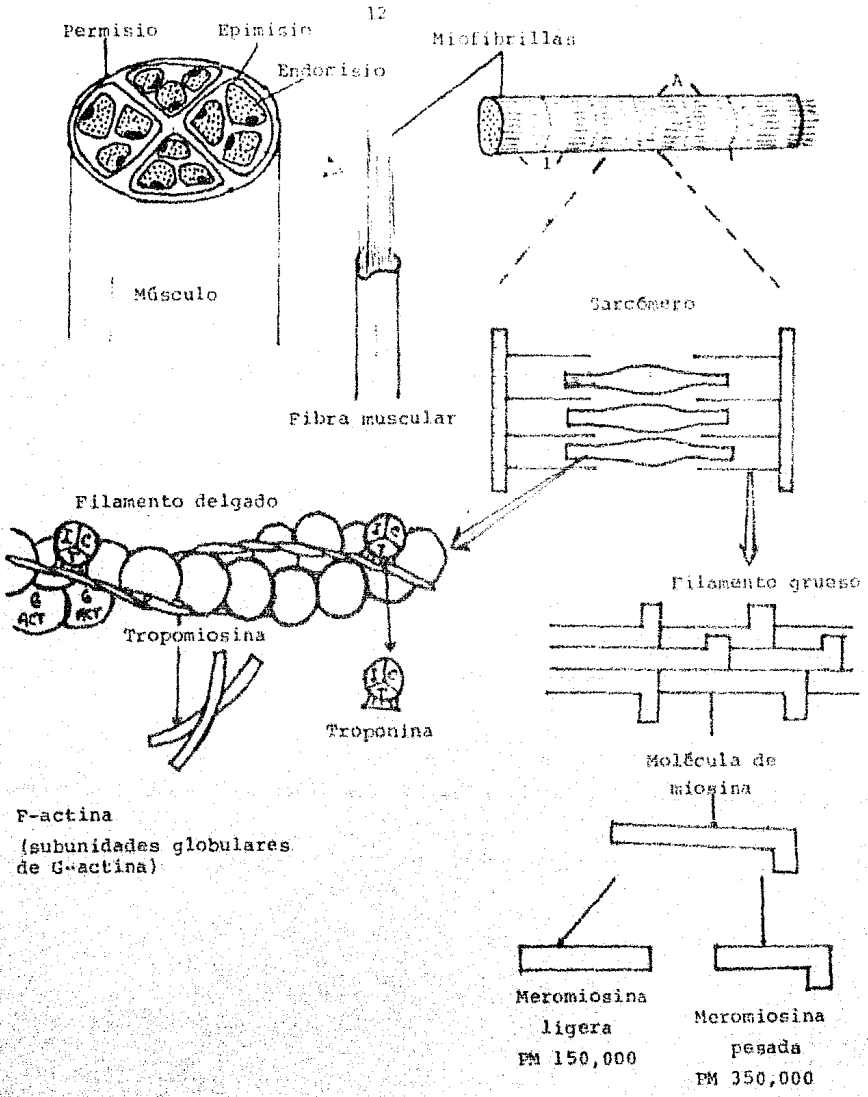


Fig. II-3. Estructura del músculo esquelético.

(Modificado de Ganong 1982, Junqueira 1982)

tos se disponen según el eje longitudinal de la célula.

Filamentos gruesos de miosina.

Ocupan todo lo largo de la banda A, miden de 1.5 a 1.6 micras de largo por 100 a 110 Å de espesor, en toda su longitud, -- excepto en la porción central que son más gruesos (a la altura del disco M).

Cada miofilamento contiene cerca de 300 moléculas de miosina, que es una proteína con peso molecular de 45,000. Si se somete a una digestión con tripsina se divide en dos porciones:

- Meromiosina ligera. Con peso molecular de 100,000 formada por dos filamentos enrollados en espiral (únicamente se encuentra en el eje longitudinal de miofilamento).
- Meromiosina pesada. Con peso molecular de 350,000 no enrollada en espiral, presenta una porción delgada (en el eje longitudinal) y una porción gruesa (que sobresale del miofilamento); a nivel de esta porción se encuentra ATPasa.

La molécula de miosina, se dispone de tal manera, que en un trayecto de 160 Å de longitud, sobresalen en forma helicoidal seis moléculas de meromiosina pesada a manera de ganchos. En los cortes transversales, se observa que los miofilamentos de miosina, están separados entre sí por un espacio de 450 Å: -- en los cortes transversales se observan como puntos que si -- trazamos en forma imaginaria, líneas que los unan, observaremos triángulos y hexágonos.

Filamentos delgados de actina.

Presentan una longitud de 1.06 micras hacia cada lado de la línea Z y un diámetro de 70 a 80 Å. El filamento de actina está formado por una molécula de proteína actina F, que a su vez está formada por actina globular o actina G, enrolladas en hélice. Cada unidad globular tiene un diámetro de 55 Å y un peso molecular de 70,000. En los dos surcos que deja el enrollamiento de las dos cadenas de actina F, y a lo largo de siete moléculas de actina G se encuentra una molécula de tropomiosina por cada surco (la tropomiosina es una molécula filamentosa).

Después de que la tropomiosina recorre las siete moléculas de actina G se une a otra proteína globular llamada troponina, la cual se continúa con otra molécula de tropomiosina, y así sucesivamente. En la parte media del filamento de actina, lo que corresponde al disco Z, la proteína que predomina es la tropomiosina. Su disposición no se conoce con exactitud, sin embargo, se dice que a este nivel se encuentran cuatro filamentos de tropomiosina que se abren y se ponen en contacto con cuatro moléculas diferentes de actina de la sarcómera contigua, garantizando la continuidad entre las dos sarcómeras y por la disposición espacial toma la apariencia de una línea continua en zig-zag que atraviesa transversalmente a la miofibrilla formando el disco Z.

Cada molécula de tropomiosina mide cerca de 400 Å y está formada por dos cadenas enrolladas en espiral, su peso molecular es de 54,000.

En un corte transversal las miofibrillas de actina se disponen entre los miofilamentos de miosina en número de seis alrededor de cada filamento, de tal manera que si se trazara una línea imaginaria entre las seis moléculas de actina, da la apariencia de un hexágono.

La cantidad de sarcoplasma, mioglobina y la mayor o menor cantidad de miofibrillas entre otras características hacen que las fibras presenten variaciones en su coloración al observarse en fresco, desde un color rojo pálido, hasta un rojo intenso de tal manera que, existen dos tipos de fibrocélulas:

- Fibras rojas del primer tipo I.
- Fibras blancas o del segundo tipo II.

Fibras del primer tipo I.

Presentan un diámetro reducido, su sarcoplasma es abundante - con gran cantidad de glucógeno, mioglobina y gotas de lípidos. Las miofibrillas son relativamente poco numerosas, por lo que las estriaciones transversales no son muy aparentes. Las mitocondrias son muy abundantes. La irrigación de las fibras se efectúan por una red capilar muy rica y amplia.

Fibras del segundo tipo II.

Su diámetro es mayor respecto al tipo I, contienen numerosas miofibrillas, pero su sarcoplasma es escaso, lo mismo que la mioglobina. Las estrias transversales son muy evidentes, contienen pocas mitocondrias y la red vascular que las nutre es

más escasa.

En la mayor parte de los casos, las fibras del tipo I y II se localizan en músculos particulares; otras veces un mismo músculo puede contener los dos tipos de fibrocélulas. Desde un punto de vista funcional, las fibras rojas del tipo I se contraen más lentamente que las blancas, pero desarrollan una mayor fuerza, además se contraen por un período mayor respecto al tipo II.

Por lo que respecta a su localización, se ha observado que los músculos rojos del tipo I abundan en los animales salvajes, - en los músculos de las patas de las aves corredoras y en los músculos pectorales (pechuga) de las aves voladoras, forman también la mayor parte de los músculos de los vertebrados superiores.

Los músculos blancos del tipo II se encuentran en los miembros pélvianos de los conejos (m. femoral, abductor largo, - biceps femoral, etc.) en los músculos pectorales de las aves no voladoras como el pollo.

Reticulo sarcoplásmico y sarcolema.

Al microscopio electrónico, se pone de manifiesto un complejo de estructuras tubulares bien ordenadas, la mayor parte de ellas corresponden al reticulo sarcoplásmico, el cual se relaciona en zonas específicas con invaginaciones del sarcolema. La membrana plasmática presenta invaginaciones tubulares a intervalos regulares, las cuales penetran profundamente a la fi

brocélula a la altura del disco Z o en el punto de unión entre la banda A e I. Estas invaginaciones rodean a los grupos de miofibrillas y su lumen comunica con el espacio extracelular, haciendo llegar a las partes profundas de la célula los metabolitos del líquido extracelular importantes para la nutrición de la célula, por una parte, y por otra, eliminar rápidamente los metabolitos de deshecho (recordemos que la fibrocélula muscular es muy gruesa). Al tubo que penetra se le llama sistema T o tubo T.

El retículo sarcoplásmico está formado por un sistema de tubos (sarcotúbulos) anastomosados entre sí, formando una red. El punto de anastomosis es a la altura de la línea Z o entre las bandas A e I, formando cisternas más amplias llamadas cisternas terminales. A los túbulos sarcoplásmicos se les llama sistema L o túbulos L.

El perimisio envía al interior de las subunidades tejido conjuntivo laxo, acompañado de capilares y pocas fibras nerviosas. El tejido conjuntivo laxo rodea cada fibrocélula denominándose "endomisio" y es el que va a formar la membrana basal que rodea a cada célula, o sea, el endomisio se revuelve en una trama de fibras reticulares o membrana basal, sólo observable con tinciones especiales o al microscopio electrónico. Las fibras reticulares están contenidas en un material de proteínas y mucopolisacáridos en forma similar a lo que sucede con las membranas basales de los epitelios. Ahora bien, de la misma manera que el epimisio se continúa con el epitendón, el endomisio y perimisio se continúan respectivamente con el epitendón y el peritendón, lo cual hace de éstas dos estructuras: una sola unidad anatómica muy fuerte y el tendón, éste último se une al hueso en forma muy similar. Por esta conti--

nidad anatómica, el músculo al contraerse jala al hueso.

Irrigación e inervación del músculo esquelético.

La irrigación de la musculatura esquelética es llevada a cabo por arterias que atraviesan el epimisio para llegar a la subtancia del músculo. Estas arterias se ramifican en pequeños - vasos que atraviesan el permisio y terminan en capilares que finalizan en el endomisio.

La inervación del músculo estriado esquelético, esta dada por la ramificación de axones de las neuronas motoras espinales. Estos nervios cruzan el epimisio por un punto llamado motor, después de esto se produce la ramificación y estas ramas llegan al perimisio.

Regeneración del músculo esquelético.

Cuando algunas porciones de tejido muscular sufren daño, la - reparación puede llevarse a cabo por la formación de tejido - cicatricial o por la proliferación de células musculares. En lo que respecta al músculo esquelético, éste posee una limitada capacidad de regeneración y la reparación puede llevarse a cabo a partir de las "células satélites" de las fibras musculares esqueléticas y la formación de tejido conjuntivo cicatricial. Las "células satélites" son consideradas como mioblastos que aparecen por primera vez en la vida fetal y en ocasiones persisten en la vida adulta.

III MUSCULO CARDIACO.

Concepto:

Es el conjunto de fibrocélulas musculares estriadas que forman al miocardio o músculo del corazón. Las células que lo forman "fibrocélulas musculares cardiacas" se disponen en forma de red (una fibrocélula seguida de una, dos ó más fibrocélulas) rodeadas por tejido conjuntivo laxo con gran cantidad de capilares y por su membrana basal.

Las células presentan la forma de cilindros más o menos regulares, con una longitud de 50-150 micras y un diámetro de 15 a 20 micras. En alguno de sus extremos pueden presentar ramificaciones en ángulo agudo (células apantalonadas). (Fig. III-1).

Las células y sus ramificaciones se conectan en forma lineal con células vecinas, de tal manera que sus ramificaciones se abren en forma de red y para formar el miocardio se enreda como una "madeja".

En las preparaciones histológicas, especialmente si están bien teñidas, se observa que en los cortes longitudinales en la unión de una célula con la siguiente aparecen unas líneas bastante oscuras, transversales llamadas "discos intercalares" o trazos escaleriformes de Von Ebner de los cuales se pensó que unían a las células formando un sincitio, sin embargo, la microscopía electrónica ha demostrado que a este nivel se encuentran interdigitaciones en el límite entre dos

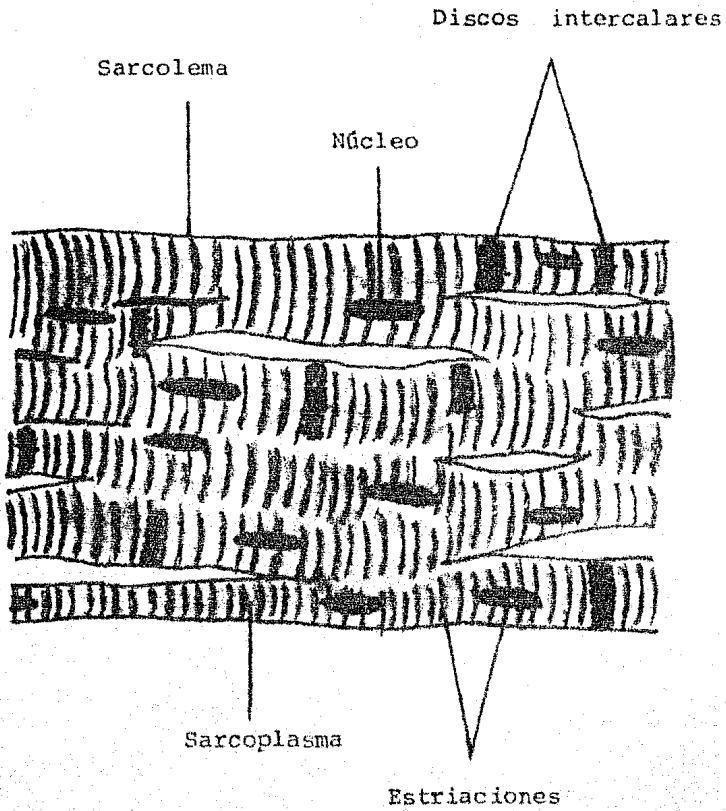


Fig. III-1. Esquema de una fibra muscular cardíaca.

(Modificado de Guyton 1984)

células con las membranas separadas entre sí por un espacio de 200 A° en el que se encuentra la substancia llamada "cemento", presenta también desmosomas y uniones fuertes (estas últimas sobre todo en las porciones laterales de la célula).

Debemos tener presente que el corazón se contrae continuamente, y que el tejido conjuntivo que rodea a las fibrocélulas es muy escaso, por esto, la presencia de los discos intercalares con sus medios de unión permite la contracción sin que se separen las células.

Los discos intercalares pueden atravesar la fibrocélula de lado a lado formando líneas rectas, o bien en forma discontinua o de escalera, de aquí el nombre de trazos escaleriformes. El disco intercalar tiene un grosor de 1.5 micras.

La estructura y ultraestructura cardíacas se parecen en mucho al de las fibrocélulas musculares esqueléticas, por lo que en este aspecto, se marcarán las diferencias existentes entre ambos tipos de músculos.

Diferencias estructurales de las fibrocélulas musculares cardíacas.

Las fibrocélulas musculares cardíacas sólo presentan uno ó dos núcleos (rara vez tres ó cuatro) y estos se sitúan en la porción central o axial. La forma de los núcleos es ovoide con doce micras de longitud.

Las miofibrillas son menos abundantes, respecto al músculo -

esquelético no se observan los campos de Cohnheim o columnas de Leydig.

El sarcoplasma es más abundante y sobre todo adensado en los polos del núcleo. El glucógeno y los sarcosomas son más abundantes (el glucógeno se sitúa a nivel de la banda I).

En el sarcoplasma se presenta el pigmento lipofuchina más -- abundante en los individuos viejos. Las estriaciones trans-- versales de las miofibrillas son menos densas que en músculo esquelético, por lo que casi no se observan. En lo que se re-- fiere a la organización entre miofibrillas y sarcoplasma, -- las fibrocélulas musculares cardíacas pertenecen al tipo I o músculo rojo de contracción lenta.

El retículo sarcoplásmico no está tan desarrollado como en -- el músculo esquelético, sin embargo, los sistemas de tubos T son más amplios y profundos, en su porción central presentan mucopolisacaridos como continuación del que reviste la super-- ficie externa del sarcolema. A diferencia del tejido muscu-- lar esquelético, la fibra muscular cardíaca está compuesta -- debidamente por la unión de varias células musculares cardíacas dispuestas en columnas formando largos sincitios. Por lo que en el caso del músculo cardíaco los términos fibra muscu-- lar y célula muscular no son sinónimos. Además de las célu-- las que integran al tejido muscular cardíaco, existen célu-- las musculares especializadas representadas por:

a) Células nodales.

b) Fibrocélulas de Purkinje.

a) Células nodales.

Son de apariencia fusiforme y presentan una gran cantidad de ramificaciones, las cuales forman una trama, su tamaño es de 25 micras, aproximadamente la mitad de una célula muscular - cardiaca, están orientadas en forma paralela al trayecto de la arteria nodal. Se encuentran delimitadas por abundante te jido conjuntivo denso el cual está altamente vascularizado.

En el citoplasma es posible observar un solo núcleo situado en posición central así como miofibrillas, abundantes mito-- condrias y ribosomas. La organización de las miofibrillas es muy similar a lo descrito para las fibras musculares cardia-- cas excepto que carecen de sistema T. No presentan discos in-- tercalares como tales, sin embargo, en los puntos donde esta-- blecen contacto los elementos celulares vecinos, existen to-- das las especializaciones del plasmalema descritas en los -- discos intercalares.

Las células nodales se encuentran exclusivamente en dos si-- tios de la pared muscular del corazón. Al primero se le deno-- mina nodo sino-atrial (S.A.) y está situado en la unión de -- la vena cava craneal con el atrio derecho, y en este sitio -- donde debido a la capacidad que tienen estas células para -- despolarizarse automáticamente, se genera el estímulo cardia-- co. El segundo sitio de localización es el septo inter-atrial en la porción cercana a donde desemboca el seno coronario y el borde septal de la valva atrio-ventricular. Tiene la fun-- ción de retrasar el paso del impulso de los atrios a los ven-- trículos.

b) Fibrocélulas de Purkinje.

Su morfología varía de fusiforme a cilíndrica, presenta un solo núcleo en posición central, son de mayor tamaño que las musculares cardíacas, presentan abundante sarcoplasma rico en glucógeno, tiene escasos miofilamentos, carecen de sistema T. Son ligeramente acidófilas debido a la gran cantidad de glucógeno, el cual se sitúa en el centro de las células. Los escasos filamentos se sitúan siempre en la periferia bajo el plasmalema. La forma como se relaciona con las células musculares cardíacas es a través de discos intercalares.

Las células de Purkinje también se denominan células de conducción del corazón ya que son las encargadas de propagar el estímulo cardíaco a toda la masa muscular ventricular. Estas células se organizan formando fibras, las cuales forman una red que se distribuye ampliamente en el músculo cardíaco. -- Las principales ramas de esta red constituyen las ramas derecha e izquierda del haz - atrio-ventricular, las porciones terminales de estas ramificaciones se localizan en el interior de la masa muscular del ventrículo y forman la red de Purkinje.

Irrigación del músculo cardíaco.

La irrigación de la musculatura cardíaca es proporcionada -- por las arterias coronarias. Las ramas de esta arteria atraviesan el pericardio formando una muy rica red de capilares que se distribuyen ampliamente en todo el miocardio entre -- las células musculares cardíacas.

Regeneración del músculo cardíaco.

El tejido muscular cardíaco no tiene capacidad de regenerarse, la reparación se lleva a cabo por la formación de tejido conjuntivo cicatricial.

IV MUSCULO LISO.

Concepto:

El tejido muscular liso está formado por la reunión de células con forma de huso, mononucleares, inervada por el sistema nervioso autónomo, por lo que su contracción es de tipo involuntario.

Morfología y estructura de las fibrocélulas musculares lisas.

Son células fusiformes, o sea, redondeadas con las puntas afiladas (fig. IV-1), su tamaño es variable dependiendo del sitio donde se encuentran; por ejemplo: en las paredes de los vasos sanguíneos miden de 5 a 20 micras de longitud; en el intestino pueden medir hasta 200 micras, en el útero en reposo pueden variar de 50 a 90 micras y hasta 300 ó 900 micras al final de la gestación. En todos los casos, la porción central es la de mayor diámetro, midiendo 5, 10 ó 25 micras. El tamaño de las fibrocélulas es independiente de la masa corporal. En las secciones histológicas generalmente se observan más cortas y gruesas que en vivo.

En los haces y láminas, las fibrocélulas musculares lisas se alinean en forma paralela, pero no regularmente. La porción central (con el núcleo) de una célula se relaciona con las porciones delgadas de las células vecinas (en cortes longitudinales).

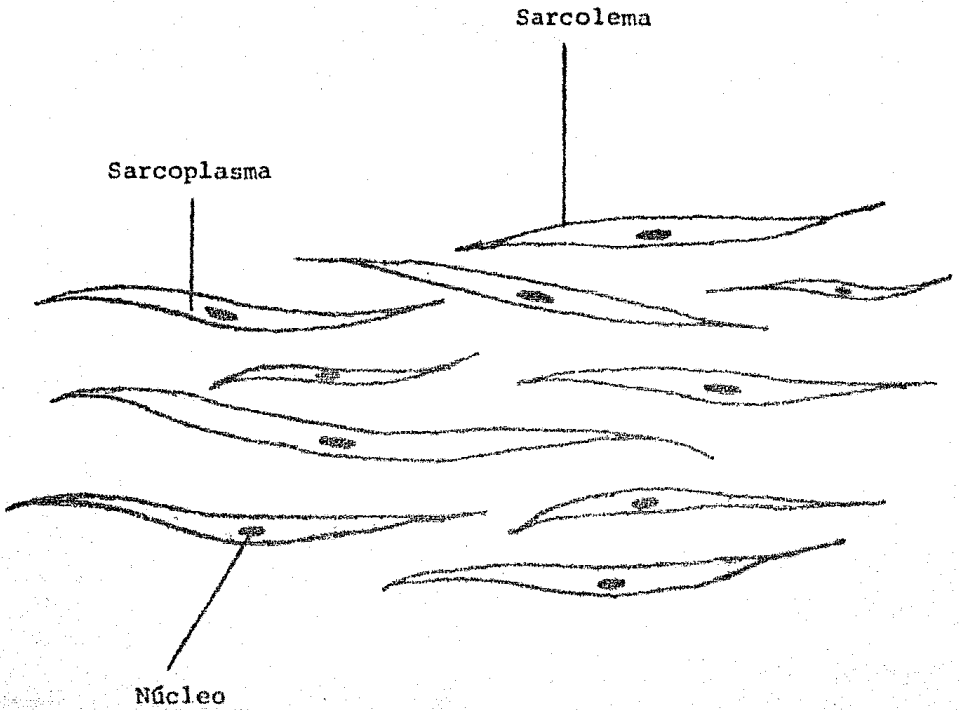


Fig. IV-1. Esquema de una fibra muscular lisa.

(Modificado de Junqueira 1982)

En los cortes transversales, las células aparecen circulares con el diámetro variable dependiendo de la altura del corte, el núcleo sólo se observa cuando la cuchilla pasa por la porción central, o sea en las células que se cortan por su diámetro mayor.

Entre célula y célula se observa un espacio de separación -- (espacio intersticial) de 500 a 1000 Å, ocupado por una sustancia amorfa PAS positiva (mucopolisacáridos) y por un material fibrilar de tipo reticular con algunas fibras elásticas (membrana basal). Estos materiales unen morfológicamente y funcionalmente el haz muscular. En algunas porciones muy pequeñas falta este espacio permitiendo que las células se junten más, formando en ocasiones "uniones fuertes". Estas contribuyen al paso del estímulo de contracción de una célula a otra.

El sarcolema o membrana plasmática presenta en toda su extensión la cubierta de la membrana basal y numerosas invaginaciones pequeñas, debidas a fenómenos de pinocitosis y micropinocitosis que son mecanismos por los cuales la membrana engloba parte del líquido extracelular con el fin de obtener nutrientes, a su vez también pueden presentar evaginaciones que se relacionan con estructuras similares de la célula -- muscular vecina.

El núcleo se encuentra en posición central y de forma ovoide ligeramente alargada, la cromatina es poco concentrada. Durante la concentración el núcleo modifica su forma enrollándose como "tirabuzón" o en zig-zag.

En el citoplasma rodeando al núcleo se encuentra una sustancia en la que se acumulan y condensan productos de secreción formados en otra parte de la célula llamada aparato de Golgi que se aprecia poco desarrollado.

Observamos también algunas cisternas del retículo sarcoplásmico liso a retículo endoplásmico y sarcosomas o mitocondrias que son las encargadas de producir la energía utilizada por la célula, repetidas por todo el citoplasma pero poco numerosas, lo mismo que otros organelos de la fibrocélula. Parte del citoplasma está ocupado por un material de naturaleza proteica y a su vez contráctil dispuesto en forma de filamentos que se agrupan originando fibrillas que reciben el nombre de miofibrillas y están dispuestas en forma paralela al eje longitudinal de la fibra muscular y no son muy abundantes. La observación de estas se hace difícil al microscopio óptico y por esto se le denomina músculo liso, pero se observan claramente al microscopio electrónico.

El músculo liso se encuentra muy difundido en el organismo de los animales, en las paredes de los vasos sanguíneos y linfáticos, en las paredes de los órganos huecos del aparato digestivo, respiratorio, urogenital, en las cápsulas de algunos órganos como el bazo, forma la musculatura del iris y del cristalino, así como en la musculatura de los cuerpos cavernosos del pene.

Para poder efectuar su función, las fibrocélulas musculares lisas se organizan en grupos variables de pocas a muchas células reunidas en haces formando láminas. Su disposición y número es de acuerdo a la función que efectúa cada órgano en particular.

A continuación ilustramos algunos ejemplos:

- En haces muy finos, de dirección circular, alrededor de los vasos sanguíneos, interviniendo para regular la amplitud del lumen de los vasos y por lo tanto, modificar la presión sanguínea y la cantidad de sangre que llega a los órganos.
- En haces muy finos también, pero de dirección axial en las vellosidades intestinales, favoreciendo la absorción de los alimentos.
- En forma de láminas más gruesas (una de dirección circular y otra longitudinal) alrededor de los intestinos, útero y vejiga. Sus contracciones son más fuertes, reducen el lumen de los conductos que rodea y favorece la expulsión o avance del contenido (movimientos peristálticos para mezclar el alimento con los jugos digestivos); contracción durante el parto, así como la expulsión de la orina por la vejiga.
- En otros sitios como el iris del ojo se organizan en forma radial aumentando o disminuyendo el calibre de la pupila (regular la cantidad de luz que penetra al ojo) alrededor del cristalino (modifica la distancia focal).

Irrigación del músculo liso.

La red capilar presente entre los haces de fibrocélulas musculares lisas, está formada por capilares no muy abundantes. Estos se sitúan en el espacio intersticial sin ocuparlo mas que en pequeñas porciones, acompañados de tejido conjuntivo

laxo. Los capilares no se relacionan con todas las células, por lo que los fenómenos de difusión y pinocitosis son muy importantes para la nutrición.

Inervación del músculo liso.

La musculatura lisa se encuentra inervada por fibras del sistema nervioso autónomo, son fibras mielínicas y amielínicas de los sistemas simpático y parasimpático. Al microscopio electrónico se ha observado que corresponden a las del tipo en botón terminando a una distancia de 100 Å del sarcolema.

La frecuencia de uniones entre las fibras nerviosas y las células musculares es variable, dependiendo del órgano inervado; por ejemplo: en la musculatura del conducto deferente parece ser que todas o casi todas las células se relacionan con un botón sináptico. En el intestino sólo un número reducido de células presentan botón sináptico.

Cuando no todas las células se relacionan con los nervios, el impulso nervioso tiene que pasar de la célula inervada a las que no lo están, esto se logra a través de las "uniones fuertes" o bien porque el mediador químico se difunde por el líquido intersticial.

El mecanismo de contracción parece estar ligado a la presencia de las proteínas fibrilares de actina y miosina. En el músculo liso generalmente la contracción es lenta, con frecuencia variable de algunos segundos a varios minutos.

Regeneración del músculo liso.

Generalmente las fibrocélulas musculares lisas no se renuevan, permanecen durante toda la vida de los individuos. En algunos casos es factible que se formen nuevos elementos celulares, a partir de las células mesenquimatosas indiferenciadas, que son células las cuales se originan de las fibras musculares y que persisten en el cuerpo incluso hasta la vida adulta o más raramente se reemplazan por mitosis de las fibrocélulas musculares lisas.

Un caso particular del músculo liso se presentan en el útero durante la gestación; en esta etapa las células musculares aumentan considerablemente su tamaño, esto se debe a la acción hormonal y a la presencia del embrión o feto. Al término de la gestación, la matriz puede haber aumentado treinta veces su volumen inicial.

V CARACTERISTICAS DIFERENCIALES DE LAS FIBROCELULAS
MUSCULARES LISA, ESQUELETICA Y CARDIACA.

CARACTERISTICAS	M. LISO	ESQUELETICO	M. CARDIACO
Forma y tamaño celular, corte longitudinal.	De huso 15, 200 ó más micras.	Cilíndricas alargadas, de pocos mm. a varios cm.	Cilíndricas, ramificadas (apantalonadas) - 50 a 150 micras.
Corte transversal. -- Forma, tamaño y posición de núcleo.	Circular 5 a 10 micras uno por célula central, en bastón, 10 a 25 micras.	Redonda o poligonal 20 a 150 micras, varios cientos, 30 por mm. periféricos en bastón 5 a 15 por 5 a 7 micras.	Redonda 9 a 20 micras, uno a dos por célula central o exéntrico, ovoide, 12 micras.
Estriaciones corte longitudinal.	No se observan	Muy evidentes	Evidentes, discos intercalares.
Corte transversal. Estriaciones.	Invisibles	Puntos gruesos agrupados.	Visibles, en ocasiones puntilleo delicado.
Sarcolema	Abundante	Muy escaso	Escaso
Lipofuchina	Muy escasa	Ausente	Frecuente sobre todo en adultos (viejos).

CARACTERISTICAS	M. LISO	2 - M. ESQUELETICO	M. CARDIACO
Irrigación.	Escasa.	Abundante.	Muy abundante.
Contracción.	Lenta.	Fuerte, graduable - en el tiempo volun- taria.	Frecuentemente varia- ble en las especies, rítmica, involuntaria.
Sistema T	No se presenta.	Desarrollado.	Muy desarrollado.
Sistema L	No presenta.	Muy desarrollado.	Desarrollado.

VI NOTAS SOBRE LA FUNCION MUSCULAR.

Placa motora.

A la zona de sinapsis entre una fibra nerviosa y una fibra muscular esquelética se le llama placa motora, y ésta permite la transmisión de los impulsos nerviosos a la célula muscular. Una sola fibra nerviosa motora puede inervar a varias fibras musculares. Al conjunto de fibrocélulas musculares inervadas por una sola fibra nerviosa se le llama unidad motora, así como una sola fibra nerviosa puede inervar a una o dos células musculares cuando se trata de músculos de contracción rápida o precisa, siendo el caso contrario para músculos que no requieren un control delicado o fino, en los cuales suele haber hasta 1,000 fibras musculares por unidad motora.

La placa motora se forma por la unión del plasmalema y por la porción terminal o teledendrón de la fibra nerviosa, encontrándose entre esa unión el espacio sináptico (espacio de 30 a 40 mm. entre ambas membranas). (Fig. VI-1)

La dilatación terminal de la fibra nerviosa contiene mitocondrias, microtúbulos, vesículas con mediadores químicos (substancias producidas por las neuronas que ocasionan cambios de potencial en la membrana de la célula vecina) y la membrana plasmática. La porción terminal de la fibra nerviosa se encuentra recubierta por una célula de Schwann y el endomisio en este nivel se continúa con el endoneuro que es una membrana de tejido conjuntivo encargado de recubrir la fibra nerviosa y las células de Schwann.

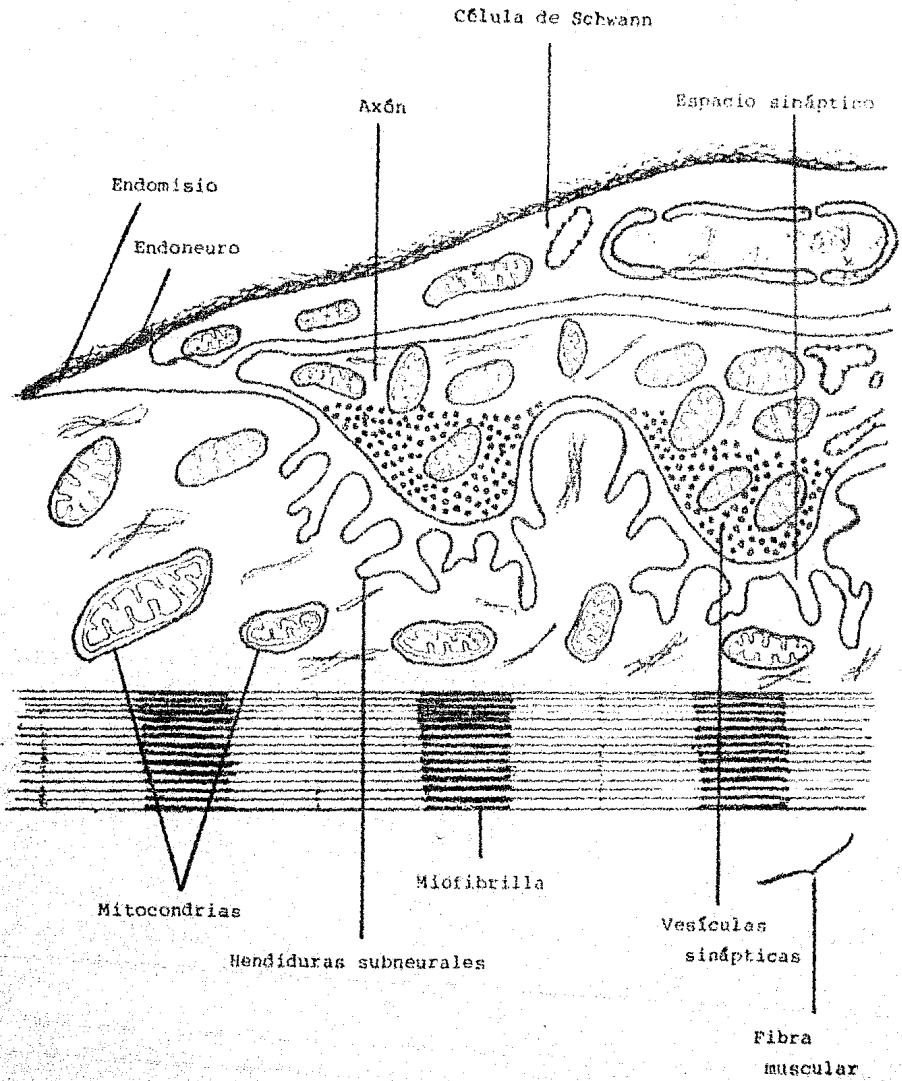


Fig. VI-1. Esquema de la placa motora (sinapsis neuromuscular).

(Modificado de Ham 1984)

Mecanismo de contracción.

La teoría de la contracción muscular se fundamenta en evidencias químicas y morfológicas.

En el punto de unión neuromuscular las vesículas que contienen acetil colina en la porción terminal de la fibra nerviosa, normalmente liberan el mediador como resultado de la llegada de ondas de despolarización; cambio de la permeabilidad de la terminal y entrada a ella de iones Ca^{++} .

El mediador químico liberado es rápidamente degradado por acción de la enzima acetilcolinesterasa específica de tal manera que sólo actúa durante un período corto.

La acción de la acetilcolina sobre la fibra muscular consiste en un aumento transitorio y local de la permeabilidad de la membrana plasmática para iones Na^+ provocando la despolarización local de la misma, este proceso se transmite a lo largo de toda la superficie de la fibrocélula muscular así como hacia el interior de la misma a través del sistema tubular T. A consecuencia de ello, el retículo sarcoplásmico libera iones de calcio los cuales están almacenados en la luz del retículo cuando el músculo está relajado. El hecho de que la liberación de iones calcio por parte del retículo sarcoplásmico ocurre al mismo tiempo que la llegada de la onda de despolarización, el sistema T, así como también la cercanía espacial de ambas estructuras, ha hecho pensar que el fenómeno de la despolarización alcanza al retículo sarcoplásmico y desencadena una serie de eventos no del todo comprendidos que favorecen la liberación de dichos iones.

Por métodos bioquímicos se ha demostrado que el retículo sarcoplásmico posee como parte constitutiva proteínas con capacidad para captar el calcio, una de las más sobresalientes es la ATPasa Ca-activa (60-80%) la cual se encuentra unida a la superficie externa de la membrana del retículo. Otra es la calcequestrina, la cual también se ha visto que tiene una orientación hacia la superficie externa de la membrana.

Una vez que los iones de Ca^{++} han sido liberados, esto es -- cuando han pasado al citosol de la fibra muscular, la troponina y la tropomiosina desencadenan el mecanismo de contracción; cuando los niveles de Ca^{++} bajan, estas proteínas interrumpen el mecanismo.

Con base en estudios de difracción con rayos X, se ha propuesto que cuando concentraciones de Ca^{++} son menores de 1×10^{-8} , la tropomiosina se sitúa ligeramente encima de los surcos de actina F, por lo que oculta los sitios de unión de la actina con las cabezas de miosina (Fig. V-2). Ahora bien, al ir aumentando las concentraciones de calcio la troponina capta el calcio y esta unión desencadena un cambio de la molécula de troponina el cual se transfiere a la molécula de tropomiosina provocando que esta última se introduzca a los surcos de actina y exponga los sitios de unión de la actina para la miosina. (Fig. VI-3)

La miosina tiene capacidad para captar una molécula de ATP y descomponerla en ADP y fosfato inorgánico; la porción de la miosina con esta capacidad es la meromiosina pesada. La velocidad con que se libera al medio la molécula hidrolizada es sumamente lenta cuando la miosina se encuentra sola, en cam-

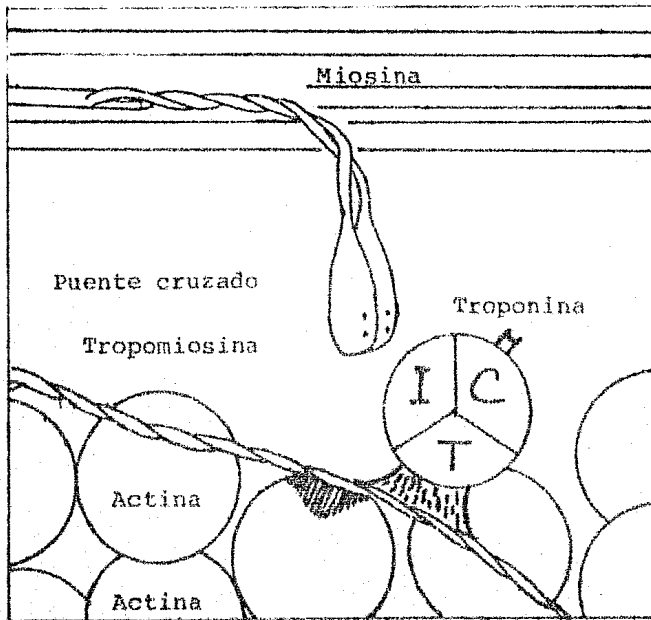


Fig. VI-2. Situación de la tropomiosina sobre los surcos de actina ocultando los sitios de unión de la actina con las cabezas de miosina durante el estado de reposo de la fibra muscular...

(Modificado de Ganong 1982)

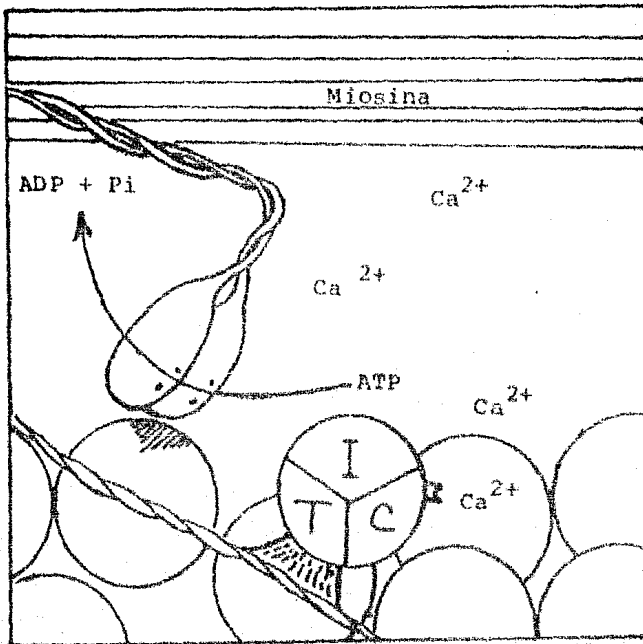


Fig. VI-3. Ante la presencia del calcio la molécula de troponina transfiere a la tropomiosina y expone los sitios de unión de la actina para las cabezas de miosina, formándose enlaces sucesivos que acortan a la fibra muscular.

(Modificado de Ganong 1982).

bio cuando después de unirse a una molécula de ATP se une también a una molécula de actina el proceso es notablemente más rápido.

Cuando en la fibrocélula muscular una cabeza de miosina capta una molécula de ATP y la hidroliza en ADP y fosfato inorgánico, la molécula de miosina sufre un cambio conformacional que trae como consecuencia la activación del sitio de unión con la actina y de esta manera la cabeza de miosina se activa al filamento de actina. En el momento en que la miosina se une a la actina, los productos de la hidrólisis de ATP se liberan y al hacerlo provocan un segundo cambio en la cabeza de miosina, la cual sufre un giro de 45 grados con respecto a su posición original. Esta inclinación de 45 grados provoca que el filamento de actina se deslice y avance.

Como consecuencia del deslizamiento de los filamentos delgados se reduce la amplitud de la banda H, hasta prácticamente desaparecer disminuye la banda I también reduciéndose, así la sarcómera y consecuentemente la longitud del músculo. -- Cuando la permeabilidad de la membrana se recupera, el retículo sarcoplasmático capta de nuevo el ion Ca^{++} , se interrumpe así la actividad ATPasa presente en la miosina y por consiguiente tiene lugar la relajación muscular.

Modificación del tamaño de las bandas durante la contracción.

Durante la contracción se presenta una modificación de la longitud de las bandas. (Fig. VI-4):

- La banda I se acorta.

- Los discos Z se acercan entre sí y a la banda A.
- Los discos H disminuyen su grosor o desaparecen.
- La banda A mantiene su longitud invariable.

Si la contracción es al máximo de su capacidad, se obtiene una disminución de la longitud equivalente al 65%, en relación a la célula en reposo.

Estas modificaciones en la longitud de las bandas, al observarlas al microscopio electrónico, muestran que no se presenta un acortamiento en la longitud de los miofilamentos, sino un deslizamiento; un corrimiento entre ellos acercándose más entre sí. Los filamentos de actina, se profundizan más entre los de miosina, ocupando una gran porción cada vez mayor al disco A, con la consiguiente reducción del disco I y del disco H.

Al terminar la contracción, las fibrocélulas se relajan y se presenta el fenómeno inverso, la banda I retorna a su dimensión de reposo y contemporáneamente los discos H y discos M.

Características contráctiles del músculo cardíaco y músculo liso.

A diferencia del músculo esquelético que no puede contraerse a menos que reciba estímulos provenientes del sistema nervioso central, el músculo cardíaco late por sí solo automáticamente, aunque recibe inervación del sistema nervioso autóno-

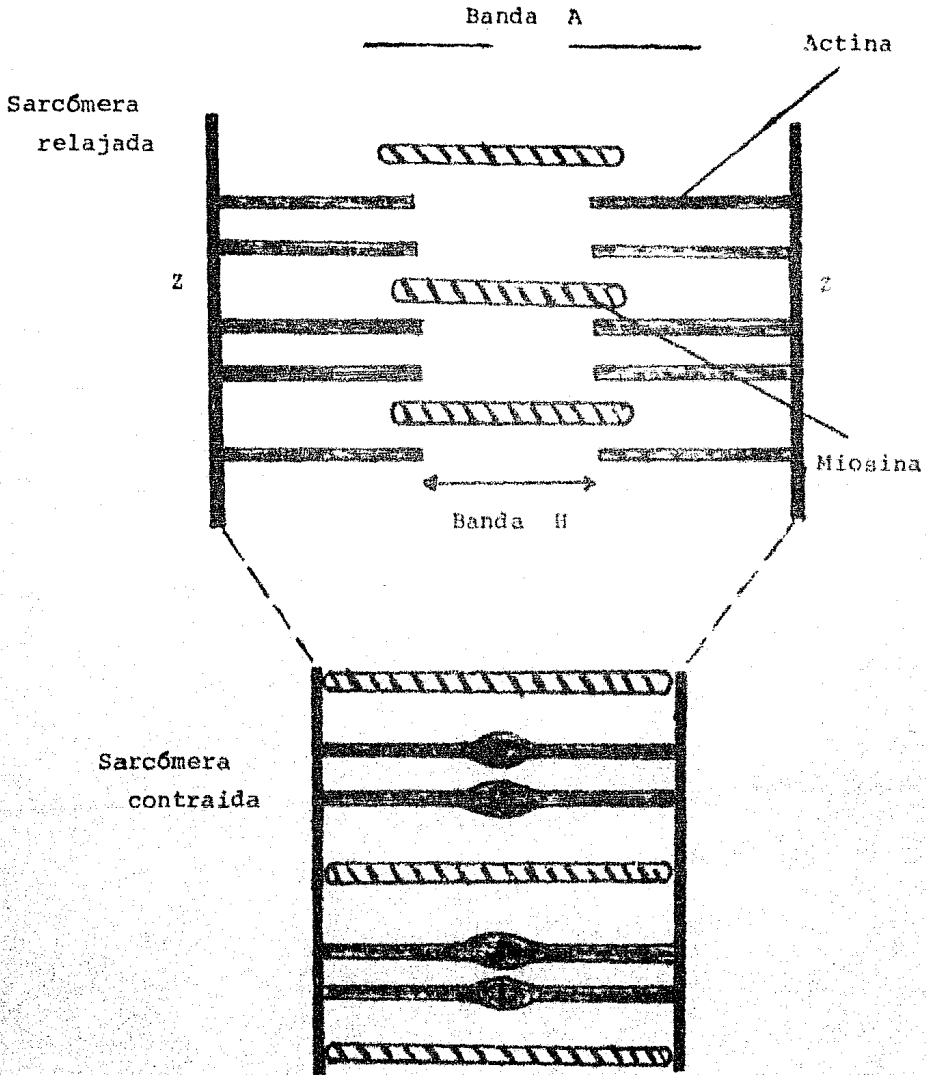


Fig. VI-4. Modificación del tamaño de las bandas - durante la contracción.

(Modificado de Ganong 1982).

mo.

La función de la inervación autonómica no es la de iniciar - los latidos cardiacos, sino la de regular los latidos automáticos. Por su parte el músculo liso presenta dos tipos de contracción:

La primera es la continua, que asegura el estado de contracción sostenida que confiere un tono muscular, la contracción es parcial.

La segunda sobre el tono puede sobreponerse a una contracción más enérgica, rítmica y discontinua como sería la contracción tónica en la pared del intestino.

Tono muscular.

Se le llama tono muscular a la contracción residual del músculo esquelético en reposo. Se cree que este tono muscular - se origina de impulsos nerviosos provenientes de la médula - espinal, ya que las fibras esqueléticas no se contraen sin - que la fibra sea estimulada por un potencial de acción. Los impulsos de la médula espinal son controlados en parte por los husos musculares que son receptores sensoriales localizados prácticamente en todos los músculos esqueléticos y se encargan de percibir el grado de contracción muscular. Para el mantenimiento del tono muscular, la terminal axónica descarga una pequeñísima cantidad de acetil colina, la cual como agente neurotransmisor despolariza localmente la placa motora.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Beford W.D. Lo esencial de la Histología. El Manuel Moderno, México, 1975.
- 2.- Bulbring, E. Brading, A.F., Jones A.W. and Tomitat. Smooth Muscle. Adn Assessment of Current Knowledge. University - of Texas Press, 1981.
- 3.- Dellman H.D. Brown E. Histología Veterinaria. Lea and Febiger. 1976.
- 4.- Dellman D.H. Veterinary Histology. 2a. edición. Ed. Reston Publishing Company Ic. U.S.A. 1981.
- 5.- Difiori M.S.H. Diagnóstico Histológico, Compendio y Atlas de Histología. 8va. Ed. El Ateneo. 1984'
- 6.- Ganong F.W. Fisiología Médica. 9a. ed. El Manual Moderno. 1984.
- 7.- George, J.C. and Berger A.J. Avian Miology. Academic Press New York. 1966.
- 8.- Getty R. Anatomía de los Animales Domésticos. 5a. ed. Tomo I y II. Salvat, 1982.
- 9.- Grinel A.D. and Brazier M.A. The Regulations of Muscle -- Contraction Exitation-Contraction coupling. UCLA Forum in Medical Sciences Number 22. Academic Press, 1981.

- 10.- Grup R.O. Histology, Mc Graw Hill, 1975.
- 11.- Guyton C.A. Tratado de Fisiología Médica 6a. ed. Interamericana, 1985.
- 12.- Ham A. Tratado de Histología 8va. ed. Interamericana, - 1984.
- 13.- Junqueira L.C. and Carneiro J. Histología Básica. 2a. - Ed. Salvat, 1982.
- 14.- Langer G.A. and Brady A.J. The Mammalian Myocardium. -- John Wiley and Sons, 1974.
- 15.- Lentz M.D. Cell Fine Estructure. W.B. Saunders Co. Philadelphia, 1971.
- 16.- Lesson C.R. Histología. Interamericana, 1981.
- 17.- Pomer W. and Pearsons T. Anatomía Comparada. Interamericana, 1982.
- 18.- Sokoloffi L. and Bland J.H. The Musculoskeletal System. Williams and Wilkins, 1975.
- 19.- Warwick R. and William P.L. Gray's Anatomy 35 th. British Edition W.B. Saunder Company, 1975.
- 20.- Weirs L. and Ray O. Greep. Histología, 4a. ed. El Ateneo, 1982.

- 21.- William F. Windle. Histología. 5a. ed. Mc. Graw-Hill - Latino Americana, S.A. 1977
- 22.- Willson F.C. The Musculoskeletal System. J.B. Lippincott, 1975.