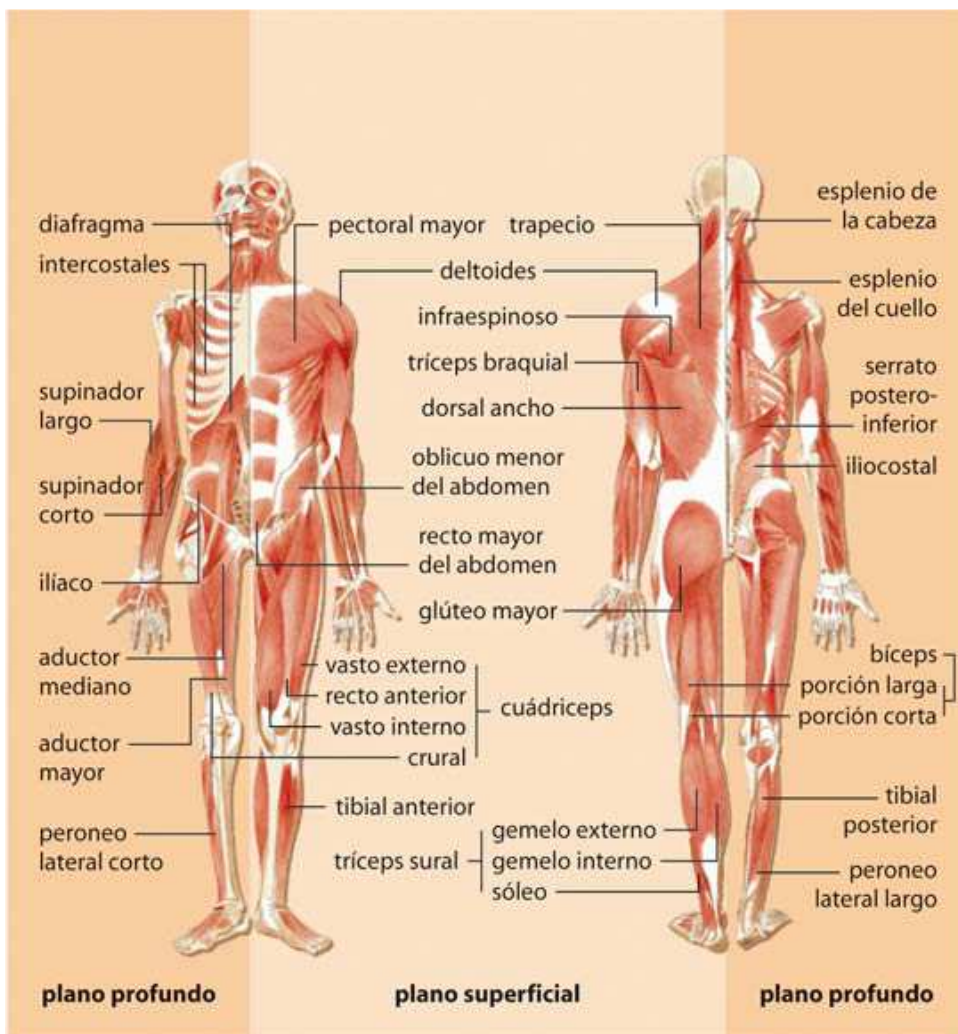


EL MUSCULO ESQUELETICO

INTRODUCCION

Aproximadamente el 40% de nuestro cuerpo está formado por 600 músculos denominados esqueléticos, a parte de ellos existen otros músculos como el liso y el cardíaco. La principal función del mismo es traccionar de los huesos (palancas) a través de su unión, por medio del tendón para generar **“movimientos”**.

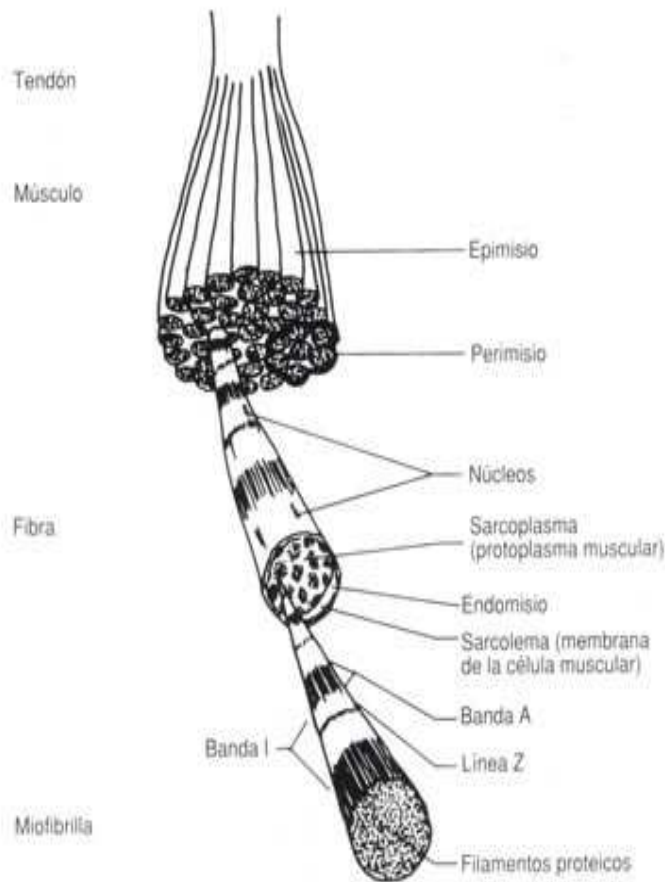


Este músculo esquelético podemos analizarlo desde una visión **MACROSCOPICA** partiendo desde el tejido conectivo quien actúa como el límite que diferencia las distintas unidades y sub-unidades dentro del mismo.

Todo el músculo está rodeado por un tejido conectivo denominado **epimisio**.

La sub-unidad más grande, el HAZ MUSCULAR o FASCICULO también rodeado por tejido conectivo, recibe el nombre de **perimisio**. Luego en el interior de cada fascículo nos encontramos con varios cientos de fibras o células musculares también rodeadas de tejido conectivo denominado **endomisio**.

Subunidades estructurales y funcionales del músculo esquelético



Desde un punto de vista más profundo, el cual debemos conocer y comprender nos encontramos la organización **MICROSCOPICA** del músculo.

El músculo está integrado por numerosas fibras, las cuales consisten en sub-unidades cada vez más pequeñas. Estas fibras (célula muscular) poseen una membrana que las rodea denominada **SARCOLEMA** que es quien propaga la onda de despolarización (señal nerviosa necesaria para provocar la contracción) a través de una red tubular, además de presentar en su extremo fibras de colágeno que se fusionan al tendón. La función de este último reside

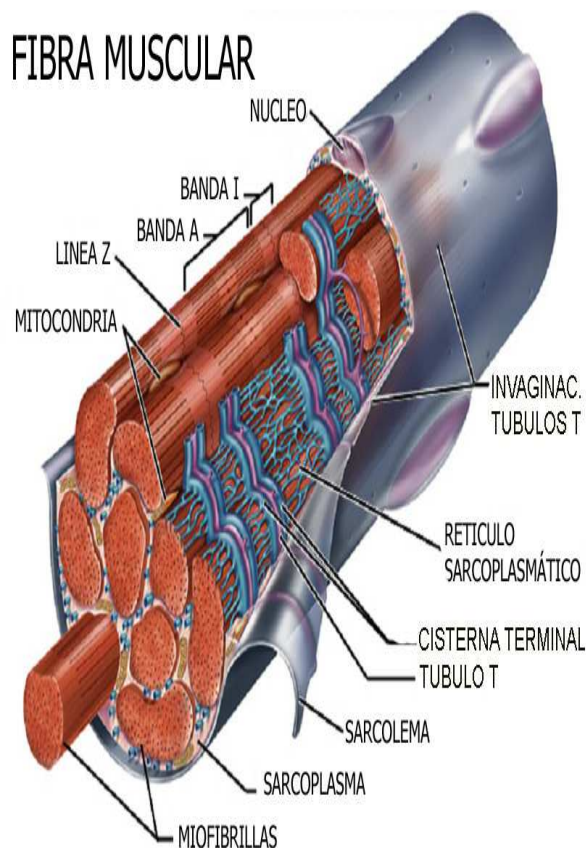
en proteger la fibra, resistiendo al estiramiento (por poseer elementos elásticos).

En el interior de cada fibra existen componentes sub-celulares conocidos como el protoplasma denominado en la célula muscular como SARCOPLASMA, allí se encuentran suspendidas las miofibrillas. Este comprende a todos los elementos intracelulares habituales.

Posee enzimas, fosfatos, potasio, además de una gran cantidad de mitocondrias lo que indica la necesidad de contraer gran cantidad de ATP. El sarcoplasma posee un RETICULO SARCOPLASMÁTICO que presenta una organización especial de gran importancia en la contracción muscular. Esta es una red tubular paralela a los filamentos que se divide en:

- . RETICULO SARCOPLASMÁTICO LONGITUDINAL (red tubular)
- . SISTEMAS TERMINALES (entre ambos conforman la conocida Triada)

La función de los mismos es liberar el calcio de la contracción y secuestrar al mismo en la relajación.

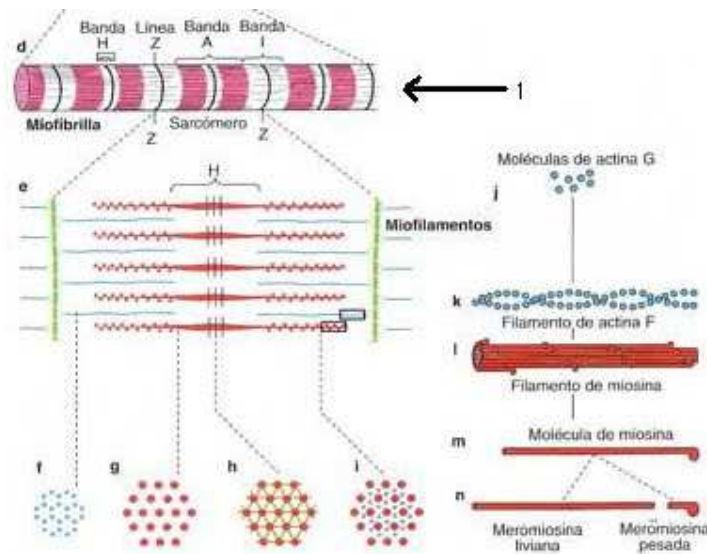


Volviendo a la MIOFIBRILLA antes nombrada, es el componente que diferencia a la célula muscular de todas las otras células. Cada fibra posee entre cientos y miles de miofibras o miofibrillas las que a su vez poseen unos mil quinientos

filamentos de miosina y unos tres mil de actina, los cuales son filamentos (polímeros) proteicos responsables de la contracción muscular. Estos se interdigitan entre sí parcialmente, lo que da a las miofibrillas el tono de bandas claras y oscuras alternas dando el nombre de estríado.

El SARCÓMERO es la unidad funcional más pequeña de la miofibrilla. Se lo define con la distancia entre dos "líneas Z". Una línea Z en realidad es un disco que representa el límite entre las unidades sarcoméricas. Una vez estimulada la miofibrilla, esta unidad se contraerá.

EL SARCÓMERO



El músculo esquelético se caracteriza por la presencia de zonas claras (Banda I) y oscuras (Banda A) que se alternan. La banda I de un sarcómero está constituida solo por filamentos de actina que se extienden desde las líneas Z hacia el centro del sarcómero donde comienza a entrecruzarse con filamentos de miosina. Las diminutas proyecciones que se extienden desde los filamentos de miosina hacia los filamentos de actina reciben el nombre de PUENTES de miosina. Estas proyecciones son el instrumento que hace posible el acortamiento del músculo durante la contracción isotónica. Una zona en el centro de la banda A que está constituida principalmente por filamentos de miosina se denomina zona H. Durante la contracción la zona H se volverá más pequeña o desaparecerá a medida que la actina y la miosina se deslicen entre sí (o se interdigiten).

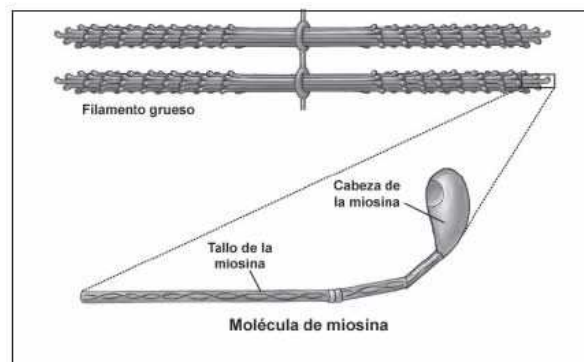
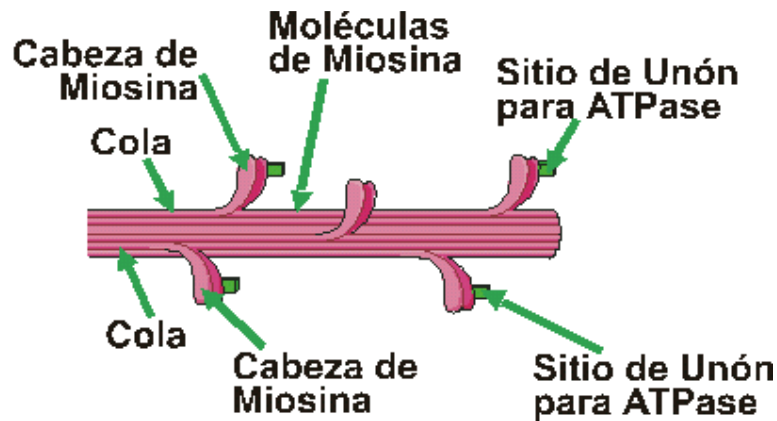
El conocimiento de las diversas partes que componen las fibras nos permite analizar la función del músculo esquelético desde varios enfoques, en primer lugar lo veremos desde el punto de vista mecánico. Pero previamente profundizaremos más respecto de los dos grandes responsables de la teoría de la contracción como lo son los FILAMENTOS GRUESOS o de miosina y los delgados o de ACTINA.

FILAMENTOS

Filamento Grueso Miosina

Está constituido por cadenas pesadas de polipéptidos que se enrollan entre sí formando un doble espiral. En el extremo del espiral se encuentran situados una masa proteica globulosa llamada cabeza de miosina y el otro extremo se denomina cola.

La porción espiral de cada molécula se extiende simultáneamente hacia los lados lo que produce un brazo que lleva a la cabeza fuera del cuerpo. Los brazos y cabezas en su conjunto se llaman puentes cruzados, los cuales se cree son flexibles en dos puntos llamados bisagras, uno de los puntos es donde el brazo deja el cuerpo del filamento y otro en la cabeza (unión con el brazo). Cabe aclarar que cada filamento de modo que cada grupo sucesivo de puentes se desplaza axialmente del cuerpo a 120° . Otro aspecto a considerar de la cabeza esencial para la contracción es que se puede hidrolizar ATP utilizando la energía para la contracción (Se dice que existen miosinas rápidas y lentas).



Filamento Delgado Actina

Está conformado por tres componentes diferentes: ACTINA, TROPONINA Y TROPOMIOSINA. La unidad funcional consta de 7 monómeros de Actina, 1 de Tropomiosina y 1 complejo troponina.

Cada filamento de actina se halla insertado en su base con firmeza a los discos Z. La columna vertebral del filamento ACTINA es una molécula de proteína ACTINA F de cadena doble, la que a su vez es formado por ACTINA G la cual posee adherido cada una de éstas a ADP; se cree que éstos son los puntos activos del filamento de actina.

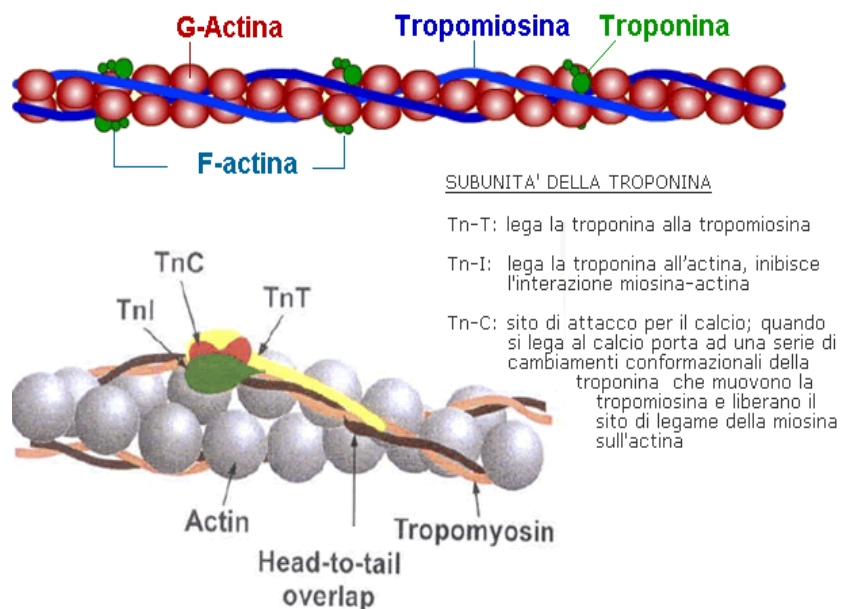
La TROPOMIOSINA es una proteína que se une a la actina F. En estado de reposo la tropomiosina descansa sobre los sitios activos de la ACTINA de modo que no pueda existir atracción con los filamentos de miosina.

TROPONINA: Se trata de un complejo de tres sub-unidades proteicas unidas laxamente que desempeñan cada una de ellas un papel específico en el control de la contracción muscular.

Troponina I: Posee afinidad por la ACTINA. Es inhibidora del Ca⁺

Troponina T: Une a las otras dos y tiene afinidad por la Tropomiosina.

Troponina C: Tiene afinidad por los iones de Ca⁺ (calcio) que son los responsables de iniciar el proceso de contracción.



Existen otros 2 filamentos llamados GRUESOS Y FINOS, pero no son de importancia relevante.

TEORIA DE LOS PUENTES CRUZADOS

(Desde el punto de vista mecánico)

La contracción es la consecuencia del deslizamiento entre sí de los filamentos delgados y gruesos.

Los filamentos se unen por la unión de sus puentes (formados por las cabezas de miosina).

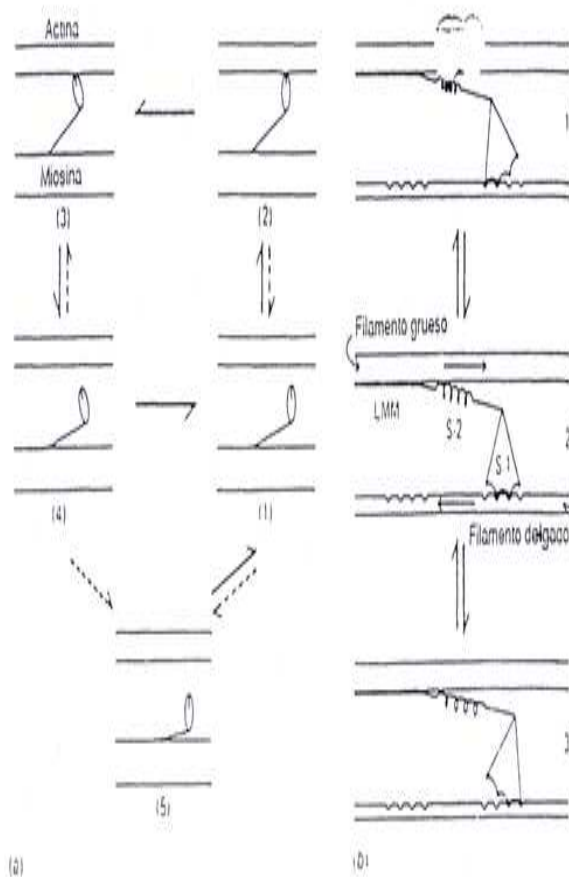
Los filamentos de ACTINA se mueven en sentido opuesto hacia el centro entre los de Miosina.

La presencia de dos puntos flexibles sobre la cola del puente transversal daría a la cabeza de Miosina la movilidad necesaria para la orientación hacia el filamento delgado.

El ATP proporciona la energía necesaria para la unión.

La tensión desarrollada tiene que ver con el número de puentes adheridos.

La distancia acortada tiene que ver con los ciclos de formación y ruptura.



TEORIA DE LOS PUENTES CRUZADOS

(Desde el punto de vista químico veremos la INTERACCION ACTINA-MIOSINA) .

Entendemos que un filamento de actina sin la presencia del complejo TROPONINA-TROPOMIOSINA se une fuertemente a la miosina en presencia de Mg y ATP los cuales abundan en la miofibrilla. Se cree que los sitios activos de la actina son inhibidos por dicho complejo.

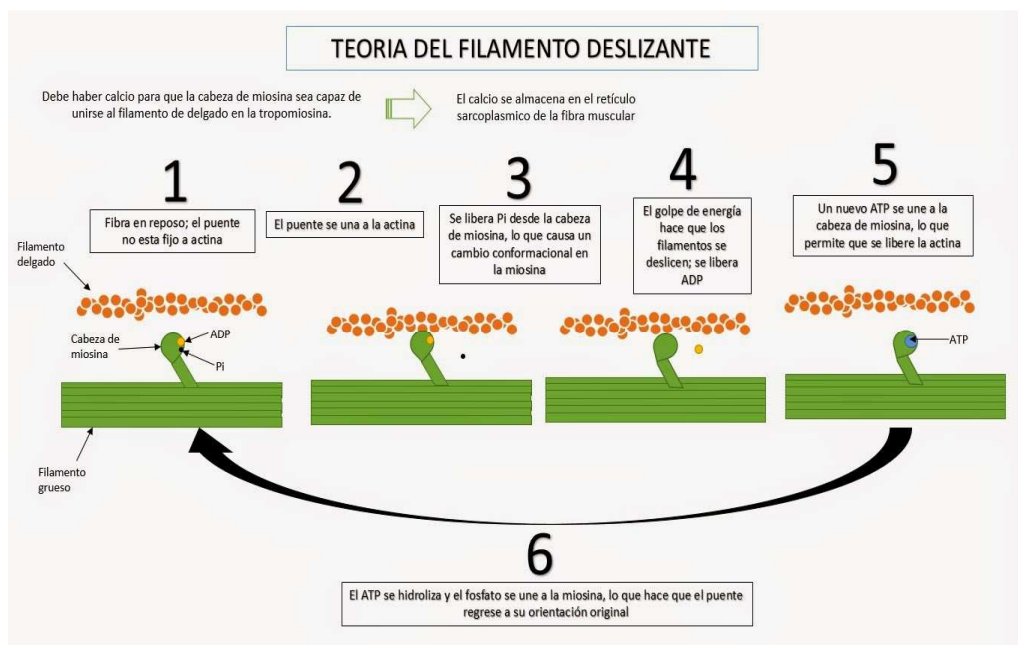
Hasta que aparecen los iones de Calcio (Ca^{+}), en su presencia desaparece el efecto inhibitor del Complejo Troponina-Tropomiosina. Exactamente no se conoce el proceso, pero se piensa que el calcio se une con la Troponina C provocando un cambio en el complejo Troponina el cual hace que la tropomiosina sea desplazada a una región más profunda (entre dos bandas de actina) descubriendo así los sitios activos de ACTINA.

Antes del comienzo de la contracción las cabezas de los puentes cruzados se unen con ATP. La actividad ATP pasa (enzima) desdobra el ATP quedando ADP y Pi unidos a la cabeza.

Cuando aparece el Ca en acción, que anula el efecto inhibitor e induce a un cambio de conformación de la cabeza; ésta tira de la ACTINA; la energía que activa el impulso se hallaba en la cabeza.

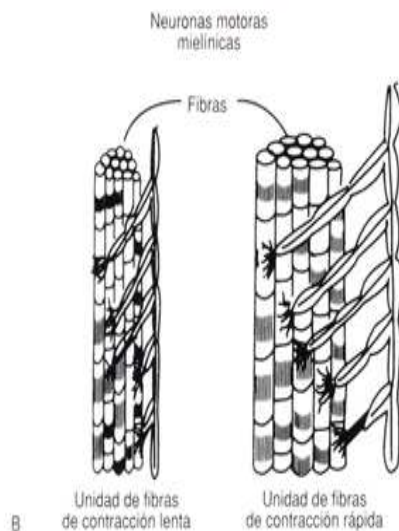
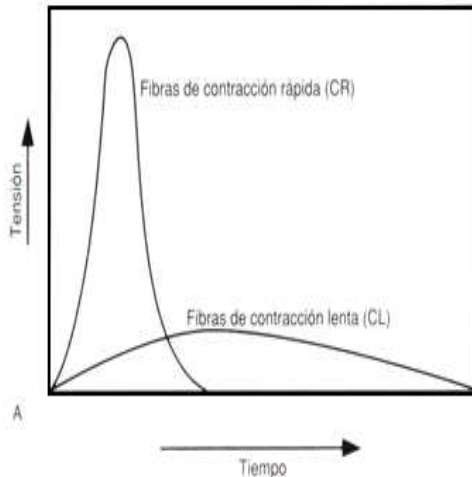
Cuando la cabeza se desprende de la ACTINA se desdobra una nueva molécula de ATP dicha energía endereza la cabeza que recupera su posición inicial quedando dispuesta para un nuevo impulso de fuerza.

De ésta forma continúa el proceso hasta que el músculo no pueda o quiera tirar más.



Unidad Motora

Es la neurona motora única y el grupo de fibras musculares a las cuales ésta inerva, es la parte más pequeña del músculo capaz de contraerse de forma independiente, aunque normalmente las fibras no se contraigan como entes aislados.



Cada motoneurona que abandona la médula espinal inerva diferentes tipos de fibra, siendo el número dependiente del tipo de músculo. En general los músculos pequeños que reaccionan rápidamente y cuyo control debe ser exacto tienen pocas fibras inervadas por cada motoneurona. Los grandes músculos que no requieren de un control fino pueden presentar varios cientos de fibras en cada unidad motora. Las fibras de cada unidad no se encuentran unidas en un solo haz, sino que se extienden por el músculo en forma de microhaces de 3-15 fibras. Una contracción potente requiere de muchas unidades motoras activadas al mismo tiempo. Esta interdigitación permite a las

diferentes unidades motoras contraerse en ayuda de las demás, en lugar de actuar como segmentos individuales.

Aún cuando las unidades motoras funcionan en general de la misma manera, también existe un grado de especialización entre las unidades motoras. Existen dos tipos básicos de unidades motoras, y en lo que a entrenamiento se refieren muy importantes de diferenciar, las unidades de CL contracción lenta y las de CR contracción rápida, las cuales serán examinados luego con mayor detalle.

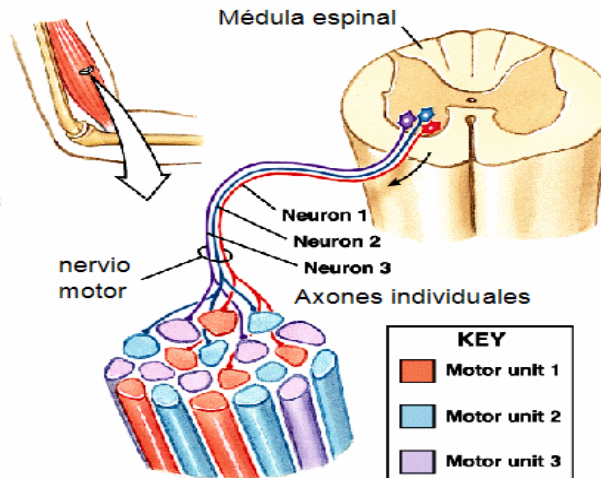
Control motor: unidad motora

➤ Unidad motora: Fibras inervadas por una motoneurona

- Fibras individuales todo-o-nada
- Fibras dispersas (gradación)
- Umbrales diversos (gradación)
- Fibras asíncronas (gradación y fatiga)

Divergencia:

- 1:1 en finos (dedos)
- 1:200 en potentes (piernas)



➤ Regulación de la tensión:

- Frecuencia de disparo
- Patrón de disparo
- Reclutamiento de unidades
- Fatiga asíncrona

Contracción, Sumación y Tetanía

La contracción – relajación de un músculo en respuesta a un estímulo se denomina CONTRACCION.

Cuando un músculo es activado por un estímulo único mientras es extendido por efecto de una carga moderada sucede un breve retardo entre la llegada del estímulo y la iniciación de la tensión que se denomina, período de latencia y se

debe a la demora de la propagación del potencial de acción a lo largo de la membrana plasmática y túbulos T y a la transmisión de la señal al retículo sarcoplasmático para provocar la liberación del Ca^{+} .

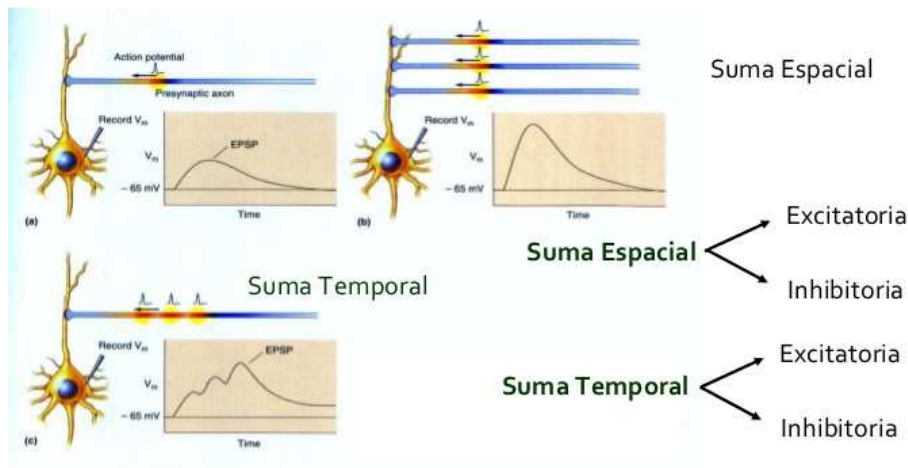
Si al mismo músculo se le aplica un segundo estímulo de intensidad igual o mayor, éste responderá o no, según el intervalo de tiempo entre el primero y el segundo, ya que existe un breve período después de la estimulación durante el cual un segundo estímulo no puede provocar respuesta, éste período se denomina período refractario absoluto o efectivo. Si el segundo estímulo es efectivo antes de la relajación una segunda contracción que desarrolla mayor tensión se fusiona con la primera; éste fenómeno se llama SUMACION. La explicación de esto sería posiblemente que el Ca^{+} de la primera contracción todavía se halle en el sarcoplasma y se una con más Ca^{+} liberado para la segunda contracción.

Si se repite el estímulo con una frecuencia suficientemente elevada el músculo no se relajará en cada excitación y permanecerá en un estado de contracción denominado TETANIA.

Existe además un período cuando el músculo retorna gradualmente a su estado inicial de excitabilidad denominado PERIODO REFRACTARIO RELATIVO en donde los estímulos de intensidad superior al umbral provocarán una respuesta (Sumación). La duración de cada uno de los períodos depende de las características del músculo.

La sumación antes vista puede suceder de dos maneras

- 1- Aumentando el número de unidades motoras que contraen simultáneamente SUMACION MULTIPLES DE FIBRAS: cuando el sistema nervioso central envía una señal débil para que se contraiga un músculo, se estimularán las unidades motoras que sean más pequeñas y contengan menos fibras con preferencia a las más grandes. A medida que aumente la potencia de la señal, se activarán unidades motoras más grandes. A esto se lo conoce como Principio de Talla. Otra característica importante de la sumación de múltiples fibras es que la médula espinal dirige asincrónicamente a distintas unidades motoras, con lo que la contracción va alternándose de manera que se pueden lograr pequeñas contracciones de baja frecuencia de estimulación.
- 2- SUMACION DE FRECUENCIA: hace referencia a lo explicado en primera instancia, son contracciones individuales que se suceden una tras otra a baja frecuencia de estimulación que luego va aumentando hasta la TETANIZACION.



Suma Espacial: se produce cuando hay la activación sincrónica de dos o más terminales nerviosos.

Suma Temporal: se produce cuando una salva de potenciales de acción alcanza un terminal nervioso.

Activación del músculo esquelético

La actividad muscular es controlada por el SNC por medio de la inervación motora de las miofibrillas. Cada fibra nerviosa toma contacto con la superficie de las fibras musculares por medio de terminaciones en forma de bulbo denominada placa mioneural.

El potencial de acción viaja a lo largo de la fibra nerviosa provocando la liberación de Acetil Colina (AC neurotransmisor) desde unas pequeñas bolsas llamadas vesículas terminales, favoreciendo de ésta manera la permeabilidad a los iones de Ca^{+} , además de generar una entrada repentina de Na^{+} y una salida de iones de Potasio (K) a través de la membrana, lo que conlleva a la despolarización que se propaga a lo largo de la fibra.

La estimulación del músculo pone en marcha un proceso que se inicia en el sarcolema y termina en la maquinaria contráctil. Queda claro que el proceso de despolarización iniciado en la unión neuromuscular debe trasladarse hasta la parte central de las miofibrillas a través de la red tubular (Túbulos T), los cuales se encuentran muy próximos a las cisternas terminales.

Durante el reposo estos canales se encuentran cerrados, pero cuando un potencial de acción llega a los túbulos T, se produce una transferencia de la carga, que conlleva a un cambio de conformación de la membrana de las cisternas y de allí una abertura de los canales. Se supone que las corrientes

iónicas generadas inducen a la liberación de Ca^{2+} de las cisternas del sarcoplasma.

Allí los iones de Ca^{2+} se fijan a la Troponina C, lo que sirve para liberar el efecto inhibitor de la Troponina I en la interacción ACTO-MIOSINA. Luego, por lo ya visto sucede una unión y desunión de los puentes que genera el acortamiento del sarcómero, acortando el músculo.

Todo el proceso se puede resumir de la siguiente manera:

ESTIMULO----->despolarización del Sarcolema----->el potencial de acción se propaga por la red tubular----->Se libera el calcio del sarcoplasma ----->El calcio se propaga y se une a la Tropanina C (sitio activo)----->Se elimina el efecto inhibitor de la Troponina I----->Se unen los filamentos delgados y gruesos----->Se deslizan entre sí acortando el sarcómero .

Esta serie de acontecimientos es reversible generando un restablecimiento progresivo hasta volver a las condiciones de reposo (relajación).

