

EL SISTEMA MUSCULAR

MOTOR Y VEHICULO DE EXPRESION

Apunte preparado por
Igor Pacheco Blanco
Académico
Departamento de Teatro
Facultad de Artes
Universidad de Chile

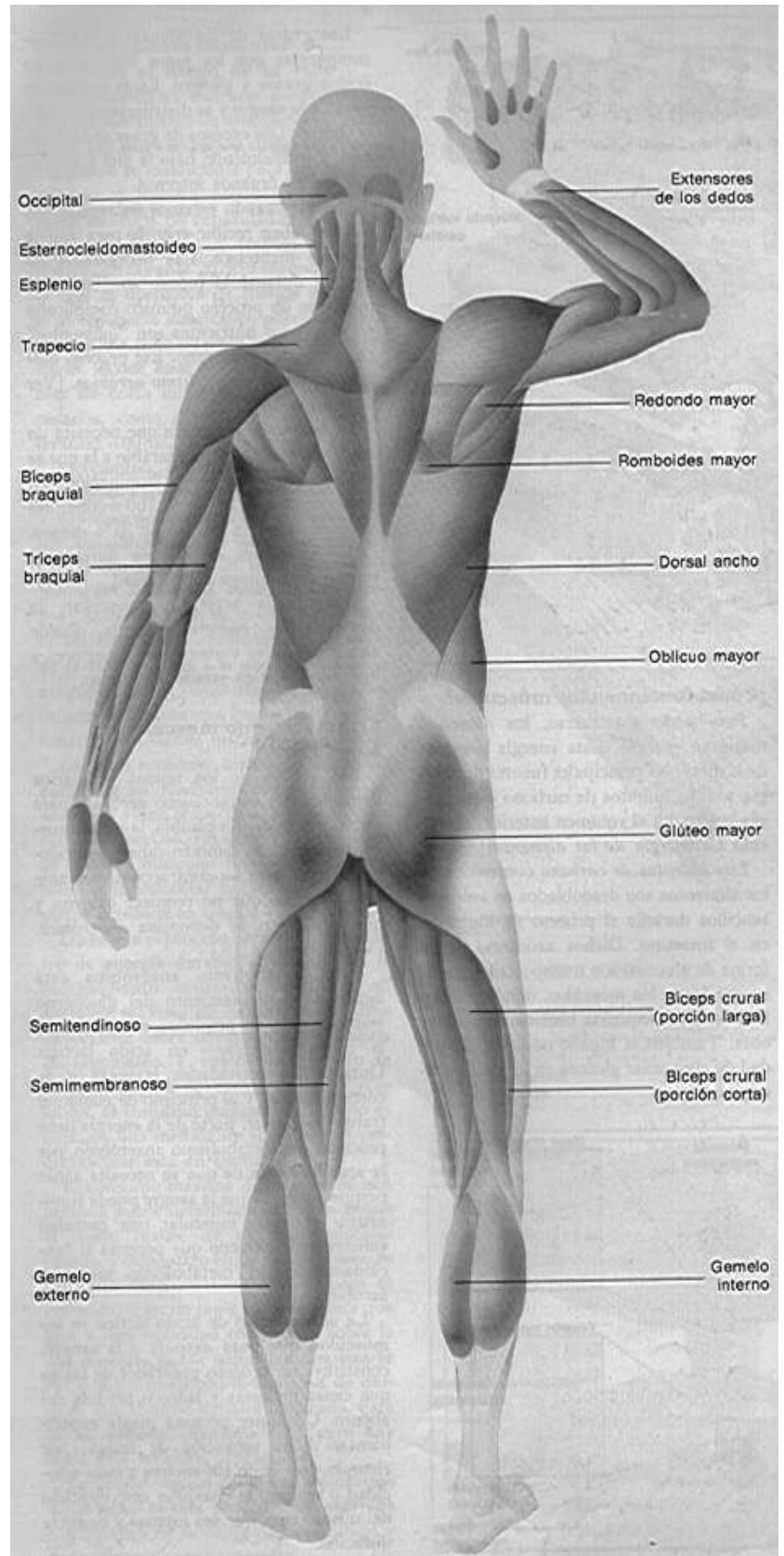
2010

INTRODUCCION

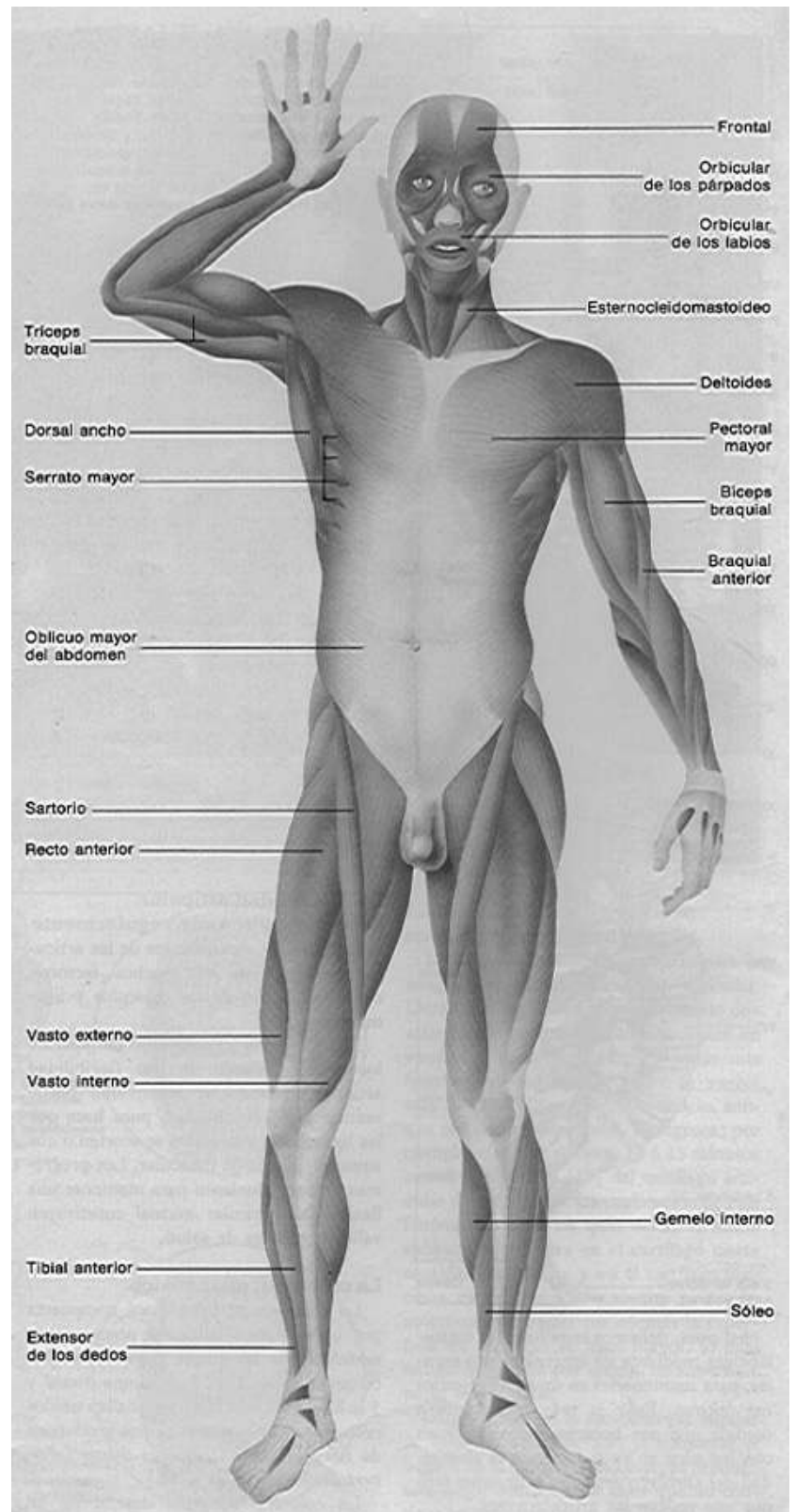
El tema a abordar pretende poner a disposición del actor un soporte cognitivo con relación a los elementos responsables de un gesto, movimiento, acción o esfuerzo. Situaciones todas, que se encuentran presentes en el maravilloso tránsito de la creación teatral. Probablemente nos enfrentemos a una terminología extraña o compleja; sin embargo permitirá valorar la magnificencia del instrumento del actor, (su cuerpo).

Para adentrarnos en el tema podemos señalar que toda la masa muscular de cada individuo puede considerarse como un solo sistema orgánico, que constituye alrededor del 40% de peso corporal. Todos los movimientos humanos, desde el parpadeo de un ojo hasta una carrera de maratón, dependen del adecuado funcionamiento de los músculos esqueléticos.

Visión dorsal del sistema de músculos voluntarios superficiales del cuerpo. Las masas musculares, rojas y voluminosas, son verdaderas masas contráctiles que impulsan el movimiento; y las estructuras blancas, los tendones, se insertan en los huesos para mover las palancas mecánicas del esqueleto. Todo este impresionante sistema está hecho para el movimiento, y sólo la actividad puede mantenerlo en óptimas condiciones



El trabajo físico intenso, como el requerido para determinados montajes teatrales; el trabajo que realiza un obrero, un pescador artesanal o una actividad deportiva y/o recreativa, necesita de la acción combinada de todos los músculos. Estos no suelen trabajar a plena potencia al mismo tiempo. Su nivel cambia continuamente a medida que los diferentes músculos entran en acción o se relajan, bajo el gobierno central del cerebro y los nervios motores, con el propósito de satisfacer las necesidades motrices y cumplir los objetivos que demanda su función.



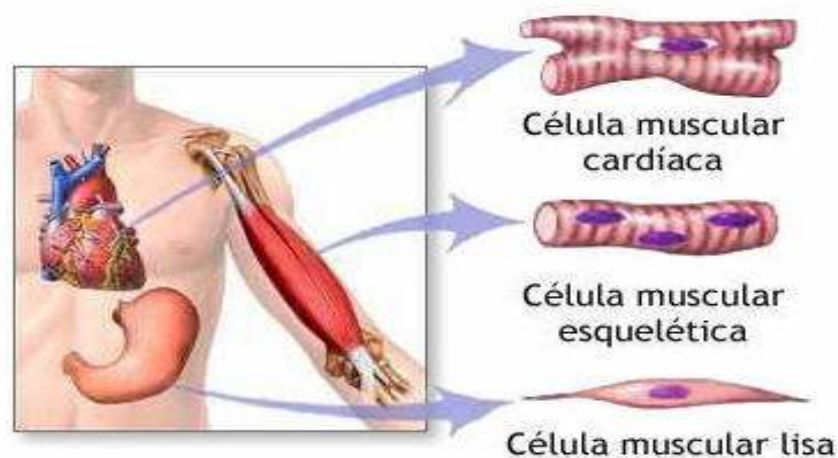
Este es el motor del cuerpo, el que le sirve para moverse, para relacionarse con el mundo exterior. Los que aquí se ven son los músculos esqueléticos más superficiales de la parte frontal del cuerpo. Destacan por su volumen: el 40% del peso del organismo. Unos sirven sobre todo para los movimientos potentes y amplios. Otros nos permiten enhebrar una aguja o fruncir levemente el entrecejo.

COMPOSICION DE LOS MUSCULOS

Los músculos están compuestos por tejido muscular y tejido conjuntivo. El tejido muscular está constituido por largas células o fibras musculares.

En nuestro organismo existen tres tipos de músculos, los cuales desempeñan funciones distintas, estos son: los músculos "*ESTIRADOS*" o "*ESQUELÉTICOS*", el músculo "*CARDÍACO*" y los músculos "*LISOS*" de los órganos internos. Una característica común en estos tres tipos de músculos es su contractibilidad. Todas las células musculares están compuestas por elementos contractiles de naturaleza proteica, llamados miofibrillas. Al ser estimulados por un impulso nervioso, producen una fuerza durante su contracción. Cuando la célula muscular no se acorta, no se produce movimiento, por lo que esa actividad se denomina fuerza "*ESTÁTICA*" o "*ISOMÉTRICA*". En este caso no tendría lugar ningún trabajo externo al tejido. Ahora si la célula muscular se acorta, se produce el movimiento. Si este trabajo dinámico se produce por el mantenimiento de una fuerza constante en el músculo, la contracción muscular se denomina "*ISOTÓNICA*". En el trabajo dinámico o isotónico, las articulaciones se mueven, resultando así un trabajo mecánico externo.

TIPOS DE MUSCULOS



La actividad física requiere exclusivamente de la participación de los músculos *esqueléticos*, ya sea en forma de *trabajo estático* o *dinámico*. Todas las actividades de la vida diaria de un sujeto se llevan a cabo mediante distintas combinaciones de estos dos tipos de trabajo muscular, o por continuos cambios de uno a otro.

Por su parte, el músculo *cardíaco* es el que acciona la bomba de sangre que es el corazón, se mantiene continuamente activo en contracciones rítmicas durante toda la vida.

Finalmente los músculos *lisos* son importantes elementos funcionales de los vasos sanguíneos (arterias, venas y sus componentes), de los intestinos y de otros órganos

huecos. Se denominan lisos porque a diferencia de los músculos esqueléticos no tienen estrías cuando se observan al microscopio.

Los músculos esqueléticos están bajo el control de nuestra voluntad y poseen su centro de control en el cerebro. En cambio, los músculos lisos están gobernados por el sistema nervioso autónomo y sus funciones típicas son: por una parte, transportar los alimentos a lo largo del tubo digestivo; y por otra, regular el caudal de sangre en los vasos sanguíneos ensanchando o estrechando su diámetro, según la necesidad de oxígeno de los tejidos.

MUSCULOS ESQUELÉTICOS

En el cuerpo de cada ser humano es posible encontrar alrededor de 475 músculos diferentes, los que se agrupan en unidades funcionales y que están bajo el control de nuestra voluntad. Unos son flexores y otros extensores, según la acción que produzcan con su contracción; es decir, la flexión o la extensión de los segmentos corporales. Los músculos que trabajan juntos o en cooperación para producir un movimiento se denominan *sinérgicos*; y los que poseen una función opuesta, se llaman *antagonistas*. Cuando los sinérgicos que contraen los antagonistas se relajan, lo hacen como resultado de un mecanismo reflejo.

¿CÓMO FUNCIONAN?

Para poder contraerse, los músculos necesitan energía. Esta energía proviene de la dieta; las principales fuentes de energía son los *hidratos de carbono* y las *grasas*.

Los hidratos de carbono contenidos en los alimentos, son desdoblados en azúcares sencillos durante el proceso de digestión en el intestino. Dichos azúcares, ya en forma de glucosa, son transportados por la sangre hasta los músculos, donde pueden almacenarse en pequeñas cantidades. También el hígado tiene la capacidad de almacenar glucosa en forma de glucógeno. Las grasas de los alimentos son descompuestas por los jugos digestivos en: ácidos grasos y glicerol. Estas sustancias pasan a la sangre y se distribuyen por el cuerpo; almacenándose los excesos, principalmente, bajo la piel y alrededor de los órganos internos.

También cuando estamos en reposo, las células deben recibir energía para que la vida se mantenga (metabolismo basal). Las necesidades de energía durante el reposo son cubiertas mediante un proceso químico complicado en que los nutrientes son "quemados" en presencia de oxígeno. Ese proceso químico se llama metabolismo aeróbico.

La cantidad de energía que necesita un adulto en reposo, es comparable a la que se requiere para una óptima iluminación, es decir, los hombres necesitan cerca de 100 vatios por minutos; las mujeres requieren un 10 o un 20% menos. Las necesidades de energía durante el reposo disminuyen con la edad. Durante la actividad corporal, la demanda de energía aumenta, pudiendo alcanzar niveles varias veces superior a los necesarios en estado de reposo.

EL METABOLISMO ANAERÓBICO

Las células de tejidos ordinarios dependen del metabolismo aeróbico para obtener energía. En cambio la célula muscular estriada es también capaz de producir energía para su contracción mediante otro proceso, que no requiere oxígeno y que, por lo tanto, se denomina anaeróbico. Este metabolismo anaeróbico está ligado al desdoblamiento de glucógeno (almacenado en pequeñas cantidades en la célula muscular) en ácido láctico.

Durante actividades intensas, de corta duración y al principio de cualquier trabajo muscular, parte de la energía procede del metabolismo anaeróbico, por la sencilla razón de que se necesita algún tiempo, antes de que la sangre pueda suministrar al tejido una cantidad suficiente de oxígeno, que permita el funcionamiento del metabolismo muscular aeróbico.

La acumulación de ácido láctico en los músculos, que luego pasa a la sangre, constituye un proceso generador de fatiga, manifestándose en malestar, jadeo o pérdida del aliento. En ningún caso el ácido es el responsable del dolor muscular post-ejercicio. El ácido láctico producido en los trabajos anaeróbicos se recicla y vuelve a constituirse en energía.

METABOLISMO AERÓBICO

Como se podrá apreciar, el metabolismo muscular *anaeróbico* constituye sólo un mecanismo accesorio o auxiliar, que entra en acción cuando el aporte sanguíneo es insuficiente para suministrar oxígeno al metabolismo aeróbico. La capacidad del metabolismo anaeróbico es muy limitada, ya que permite un trabajo muscular de alta intensidad por alrededor de 20 o 30 segundos, como un esfuerzo de máxima velocidad e intensidad en un mínimo de tiempo, por ejemplo: levantar un peso, etc.. En cambio, la capacidad del metabolismo muscular *aeróbico* es ilimitada y dependerá del combustible suministrado por los alimentos y de las grasas almacenadas. Sin embargo, las tasas máximas de liberación de energía mediante el metabolismo aeróbico son muy menores que las producidas por el metabolismo anaeróbico y depende de la capacidad máxima en que la circulación sanguínea puede suministrar oxígeno a los músculos. El elemento limitante del suministro es, en 1° instancia, el corazón y luego la capacidad del músculo para consumir el oxígeno disponible, entre otras.

La fibra muscular aislada es capaz de aumentar su rendimiento energético en 100 veces en relación al que puede general en estado de reposo. En cambio, el conjunto de la masa muscular total del organismo sólo puede aumentar su rendimiento energético aeróbico en 10 o 15 veces.

Debido a que el proceso normal de suministro energético durante el ejercicio es el metabolismo muscular aeróbico, el "consumo máximo de oxígeno" es el indicador de mayor relevancia acerca de la capacidad de trabajo del organismo. Del mismo modo en que el suministro de oxígeno depende del sistema cardiovascular, el consumo máximo de

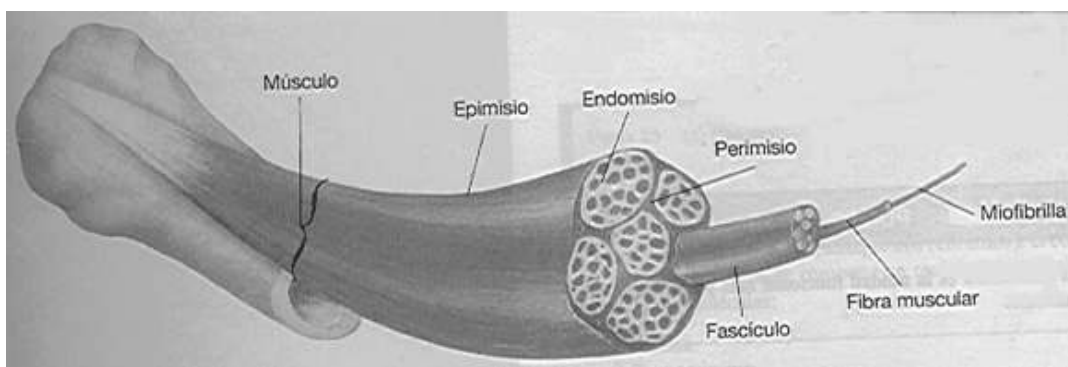
oxígeno es también una medida para determinar el nivel en que se puede encontrar en un sujeto dicho sistema cardiovascular.

ESTRUCTURA Y FUNCION DEL MUSCULO ESQUELETICO

Si bien es cierto que no es complejo reconocer en la práctica, la ubicación y la función de los principales músculos del cuerpo; es también necesario para quien durante toda su vida demandará del instrumento cuerpo y por ende del sistema muscular (como lo es el actor), conocer la composición interna y el funcionamiento de este complejo y maravilloso sistema.

De acuerdo a lo anterior, es posible señalar que cuando pensamos en los músculos, tendemos a considerar cada uno de ellos como una sola unidad. Ello pareciera natural debido a que cuando observamos a simple vista su accionar, cada músculo se aprecia como una unidad independiente. Lejos de esa apreciación, el músculo esquelético corresponde a una estructura altamente compleja.

Si observamos un músculo después de realizar un corte transversal, apreciaremos en primera instancia -después de la piel y el tejido adiposo- el tejido conectivo exterior que lo recubre. Esto corresponde al *epimisio*, el cual rodea todo el músculo manteniéndolo unido. Inmediatamente después, se pueden observar pequeños haces de fibras envueltos por una vaina de tejido conectivo denominada *perimisio*. Del mismo modo, los haces reciben el nombre de *fascículos*. Finalmente, si cortamos el perimisio y observamos a través de una lupa, podremos ver las fibras musculares. Ellas corresponden a las células musculares. A su vez cada fibra muscular está cubierta por una vaina de tejido conectivo, denominado *endomisio*.



Teniendo claro las partes que componen un músculo (Epimisio, Perimisio, Fascículos, Endomisio y Fibra Muscular) nos adentraremos en la unidad funcional del músculo, la *fibra muscular*.

Las fibras musculares tienen un diámetro entre 10 y 80 micras, prácticamente invisible para el ojo humano. Cada fibra tiene la longitud del músculo que compone. Ello significa

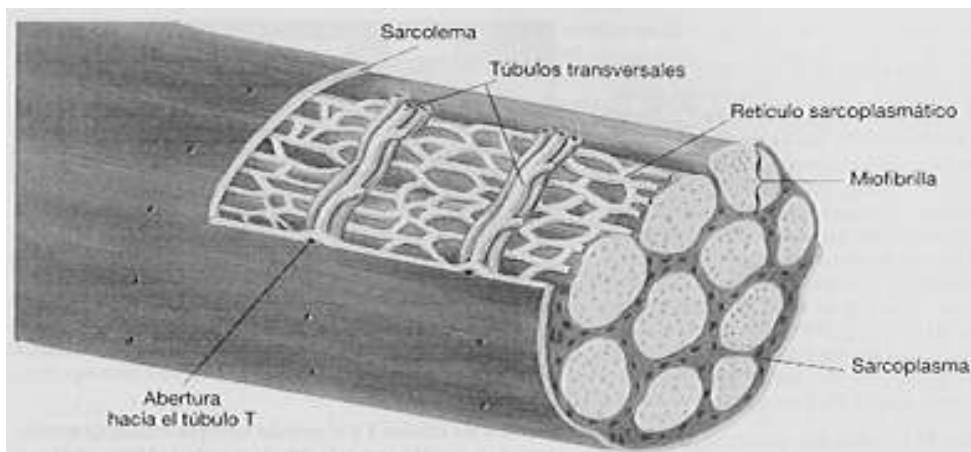
que una fibra muscular ubicada en el muslo puede alcanzar más de 35 cmts. de largo. El número de fibras por cada músculo varía de acuerdo al tamaño y función de éste.

COMPONENTES DE UNA FIBRA MUSCULAR

Sarcolema: Membrana de plasma que rodea a la fibra muscular y que en sus extremos se funde con el tendón, elemento fibroso de colágeno que permite la unión del músculo con el hueso, permitiendo a su vez la transmisión de la fuerza generadas por el conjunto de fibras musculares (músculo) a los huesos, creando el movimiento.

Sarcoplasma: Al interior de la fibra muscular encontraremos las miofibrillas y entre estas cuerdas que abarcan toda la longitud de la fibra muscular, encontrarnos una sustancia similar a la gelatina denominada sarcoplasma. Esto corresponde a la parte fluida de la fibra muscular y dicho fluido contiene proteínas, minerales, glucógeno, grasas disueltas y un compuesto que se combina con el oxígeno denominado mioglobina, que es similar a la hemoglobina.

Túbulos Transversales (o túbulos T): Son extensiones del sarcolema que pasan lateralmente a través de la fibra muscular, estos túbulos se interconectan cuando pasan por entre las miofibrillas, permitiendo que los impulsos nerviosos recibidos por el sarcolema sean transmitidos rápidamente a las miofibrillas individuales. Estos túbulos constituyen también los caminos hacia las partes interiores de la fibra muscular para que transiten los fluidos que transportan sustancias como la glucosa, el oxígeno y los iones.



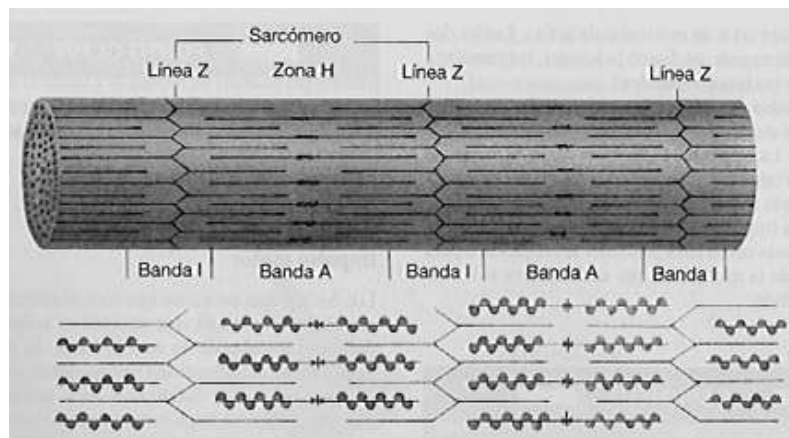
Retículo Sarcoplasmático: Son canales membranosos que corren parejos a las miofibrillas y dan vueltas alrededor de ellas. Este retículo sirve como depósito de calcio; el cual es esencial para la contracción muscular.

Miofibrilla: Cada fibra muscular contiene entre varios cientos y varios miles de miofibrillas. Estas constituyen el elemento contractil del músculo esquelético y aparecen como largos filamentos conformados por sub- unidades denominados sarcomeros.

Sarcomero: Un sarcomero constituye la unidad básica de una miofibrilla y cada una de las miofibrillas se compone de varios sarcomeros.

Si miramos al microscopio electrónico una miofibrilla podremos observar dos tipos de pequeños filamentos de proteínas que son los responsables de la acción muscular: la *actina* y la *miosina*.

Estos filamentos, gracias al impulso motor que llega de la respectiva fibra nerviosa, - hecho que genera la secreción de neuro transmisores y la liberación de iones de calcio almacenados en sarcoplasma- hacen que se deslicen uno (actina) a lo largo del otro (miosina), produciéndose con ésto el acortamiento de la fibra (contracción) y el correspondiente alargamiento a su estado de reposo (relajación).



MUSCULO ESQUELETICO Y EJERCICIO

Tipos de Fibras.

Si analizamos las fibras musculares desde el punto de vista de sus características, nos daremos cuenta que no todas las fibras son iguales. En nuestro sistema muscular contamos con al menos dos tipos: las *fibras lentas* y las *fibras rápidas*. (rojas o blancas - de tipo I o de tipo II - aeróbicas o anaeróbicas - ST o FT, etc.).

Las fibras lentas son las que se utilizan con mayor frecuencia, debido a que la mayoría de nuestros movimientos son lentos o con una demanda baja de energía. Las fibras rápidas, se utilizan en situaciones de emergencia o en oportunidades en que la demanda de esfuerzo, voluntaria o involuntariamente se hace mayor (ej.: entrenamiento, ensayos, alcanzar una meta, evitar una caída, etc.).

Pareciera ser que la característica de lenta o rápida de las fibras está determinada por su inervación, es decir: una unidad motora lenta, recluta entre 10 a 180 fibras musculares, las que son inervadas por una pequeña neurona para realizar la contracción. Por el contrario, una unidad motora rápida, es inervada por una célula nerviosa más grande,

reclutando entre 300 y 800 fibras. Ello implica que la velocidad de contracción para un movimiento rápido, se alcanza más eficientemente, debido a que un solo impulso recae en un número mayor de fibras.

Es importante señalar que los porcentajes de fibras musculares varían entre una persona y otra. Del mismo modo, los músculos de las extremidades superiores e inferiores de una persona tienen composición similar de fibras; es decir, en personas con predominio de fibras lentas en los músculos de sus piernas, se aprecia también un alto porcentaje de esas fibras en sus brazos. Para las fibras rápidas existe una relación similar. No obstante existen excepciones; el músculo soleo (debajo de los gemelos, en la pantorrilla) está casi completamente compuesto de fibras lentas.

ALGUNAS CARACTERISTICAS

Fibras Rojas (lentas, tipo I o aeróbicas).

Tienen una gran capacidad de resistencia aeróbica. Aeróbico significa "en presencia de oxígeno", la oxidación implica un proceso aeróbico. Las fibras rojas, son muy eficientes, en la producción de ATP a partir de la oxidación de los hidratos de carbono y las grasas.

El ATP se necesita para producir la energía que requiere la acción y la relajación muscular. No obstante la producción de energía en este tipo de fibra es alta en términos de cantidad pero de lenta producción. Ello implica que la especialidad de estas fibras son los trabajos de baja intensidad y larga duración.

Fibras Blancas (rápidas, tipo II o anaeróbicas).

Estas fibras tienen una mala resistencia aeróbica, es decir no tienen capacidad oxidativa, están mejor adaptadas para rendir anaeróbicamente (sin oxígeno). En este caso el ATP es generado por vía anaeróbica, no mediante oxidación. Estas fibras proporcionan gran cantidad de energía pero en una corta unidad de tiempo, siendo su capacidad de resistencia aeróbica, muy limitada.

Aparentemente las fibras rápidas no son activadas con facilidad por el sistema nervioso. Por ello se utilizan con poca frecuencia en actividades normales de baja intensidad, pero se emplean en esfuerzos altamente explosivos como carreras, saltos, lanzamientos, golpes, etc..

TIPOS DE ACCION MUSCULAR

El movimiento de un músculo se puede clasificar de las siguientes formas:

Concéntrico.
Estático.
Excéntrico.

Acción Concéntrica: corresponde a la principal acción muscular y dice relación con el acortamiento de las fibras (deslizamiento hacia el centro, de los filamentos de actina a lo largo de los filamentos de miosina). Debido a que se produce movimiento articular con esta acción, se denomina también *acción dinámica*.



Acción Estática: esto sucede cuando el músculo genera fuerza, pero su longitud permanece estática, es decir, el ángulo de la articulación no cambia. Esto puede suceder cuando intentamos desplazar un peso superior a nuestra capacidad o cuando por ejemplo, sostenemos un peso relativamente liviano con un brazo extendido sin moverlo.



Acción Excéntrica: corresponde a la fuerza que realizan los músculos cuando se alargan (deslizamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina hacia fuera). Un ejemplo lo constituye el movimiento del Bíceps Braquial cuando el codo se extiende para bajar un peso.



GENERACION DE FUERZA (Base del Movimiento).

El desarrollo de la fuerza muscular depende de los siguientes factores:

- **El número de unidades motoras activadas:**
Como la unidad motora corresponde al nervio motor y el grupo de fibras musculares que inerva; a mayor número de unidades motoras en acción, mayor será la fuerza resultante.
- **Tipos de unidades motoras activadas:**
Tal como se mencionó en el área referida al tipo de fibras musculares, donde se señaló que las unidades motoras de fibras rápidas generan más fuerza que las unidades motoras de fibras lentas, se puede concluir, que si se activan, en mayoría las unidades motoras rápidas, obtendremos una mayor fuerza resultante.
- **El tamaño del músculo:**
Obviamente obtendremos más fuerza en un músculo de tamaño mayor, que en uno de tamaño menor (ej.: cuádriceps v/s bíceps).
- **Diámetro transversal de la fibra:**
Si producto de un trabajo muscular se produce un engrosamiento de la fibra muscular, nos estamos refiriendo a una hipertrofia muscular, Ahora si un músculo a permanecido inactivo de esfuerzo, sus fibras serán más delgadas o se encontrarán atrofiadas. En estas circunstancias un grupo muscular con mayor volumen, producto del entrenamiento, debería desarrollar mayor fuerza.
- **Longitud de los músculos:**
Los músculos y sus tejidos conectivos (aponeurosis y tendones) tienen la propiedad de elasticidad, cuando se estiran, está elasticidad da como resultado energía acumulada. En una actividad muscular, posterior a un estiramiento, esta energía acumulada se libera, aumentando la intensidad de la fuerza. Cuando un músculo está elongado a una longitud aproximada al 20% con relación a la de reposo, la combinación de energía acumulada y la fuerza de acción muscular se optimizan, resultando una mayor producción de fuerza máxima. Aumentar o reducir la longitud muscular más allá del 20% en relación a su estado de reposo reduce el desarrollo de la fuerza. Si un músculo se estira en un 40% con relación a su estado de reposo, la fuerza resultante será igual a cero.
- **Angulo de la articulación:**
Dado que los músculos ejercen su fuerza a través de las palancas óseas, comprender la disposición física de estas palancas resulta crucial para comprender el movimiento. Si consideramos como referente el bíceps braquial, observaremos que la unión del tendón al bíceps, abarca solamente una décima parte de la distancia comprendida entre el surco del codo y la resistencia pesada que se mantiene en la mano. Así para sostener un peso de 4,5 kg. el músculo debe ejercer 10 veces esta fuerza, es decir 45 kg.

La fuerza generada en el músculo es transferida al hueso por medio de la inserción muscular (tendón). Al igual que con la longitud muscular, un ángulo articular óptimo hará que la intensidad de la fuerza transmitida al huso sea la

máxima. Este ángulo depende de las posiciones relativas de la inserción tendinosa en el hueso y de la carga que se esté moviendo. En el ejemplo utilizado del bíceps braquial, el mejor ángulo articular para la aplicación de los necesarios 45 kg. de fuerza es de 100°.

- **Velocidad de la acción:**

La velocidad de la acción muscular, también incide en la generación de fuerza para un determinado gesto.

En las acciones concéntricas (acortamiento) a mayor velocidad la fuerza máxima decrece. Por otro lado, las acciones excéntricas rápidas permiten la aplicación máxima de fuerza.

Documento basado en los fundamentos vertidos por los autores *Kristian Lange Andersen*, del Labortarorium For Miljofysilogi, Oslo, Noruega; *David Costill*, Director del Laboratorio del Rendimiento Humano, Universidad de Ball State, Muncie, Indiana, E.E.U.U. y *Carlos Saavedra*, Director de la Academia Chilena de Ciencias de la Actividad Física.

Santiago, Marzo 2010