



## Tema 4. Sistema muscular

### OBJETIVOS

#### **Visión general de los tejidos musculares**

1. Describir las semejanzas y las diferencias en la estructura y el funcionamiento de los tres tipos de tejidos musculares e indicar dónde se encuentran en el cuerpo.
2. Definir el sistema muscular y sus funciones.
3. Definir y explicar el papel de los siguientes elementos: endomisio, perimisio, epimisio, tendón y aponeurosis.

#### **Anatomía microscópica de los músculos esqueléticos**

4. Describir la estructura celular de los músculos esqueléticos
5. Describir el proceso de contracción de las células musculares.
6. Explicar el papel que desempeñan la actina y miosina.

### **Movimientos y actividad de los diferentes músculos esqueléticos**

7. Describir los efectos del ejercicio aeróbico y de resistencia en los músculos esqueléticos y en otros órganos corporales.
8. Aplicar el concepto de palancas a la actividad muscular
9. Mostrar o identificar los distintos tipos de movimientos corporales.

### **Anatomía básica de los músculos esqueléticos**

10. Nombrar y localizar los principales músculos del cuerpo humano (en un modelo de torso, en un cuadro de músculos o en un diagrama) y explicar la función de cada uno.

## **ESQUEMA DEL TEMA. CONCEPTOS BÁSICOS**

1. Características del movimiento y tipos de músculos
2. Propiedades y componentes de un músculo esquelético.
3. Tipos de células de un músculo esquelético
4. Características de los miocitos o células del músculo esquelético
5. El mecanismo de contracción muscular
6. Biomecánica: Control y movimiento muscular.
7. Acción en palanca de músculos y huesos
8. Coordinación entre distintos músculos
9. Planos, ejes y tipos de movimientos
10. Clasificación, tipos y nombres de músculos
11. Ventajas del ejercicio físico.
12. Lesiones más frecuentes relacionadas con el sistema muscular.

## 4.1

## LAS CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO Y LOS DISTINTOS TIPOS DE MÚSCULOS

Como vimos en el tema anterior la capacidad de movimiento del cuerpo humano depende del sistema locomotor que, como el resto de los sistemas y aparatos, es fruto de un largo proceso evolutivo. Para entender bien su anatomía y fisiología hay que tener en cuenta su origen, así como los procesos de selección sufridos por la especie humana durante su evolución.

En cualquier movimiento del cuerpo interviene:

- Órganos de sostén para el posible movimiento: Principalmente el sistema óseo
- Uniones de huesos y músculos: Ligamentos, tendones y articulaciones
- Órganos que proporcionan el movimiento: Esencialmente el sistema muscular
- Sistemas de control: El sistema nervioso y también el endocrino

En este tema nos centramos en los músculos, que se mueven gracias a que el sistema esquelético proporciona palancas y un marco de apoyo donde se anclan. La energía mecánica que necesitan los músculos proviene de la energía química (ATP) que generan las células musculares a partir de los nutrientes (principalmente glucosa y ácidos grasos) que reciben por los vasos sanguíneos.

Hay tres tipos de tejido muscular:

1. **Esquelético:** Es un músculo estriado y voluntario. El cuerpo humano tiene unos 700 músculos esqueléticos que se unen principalmente a los huesos o a la piel. La estriación se debe a que las proteínas que lo componen (miosina y actina) se encuentran perfectamente ordenadas; las zonas oscuras tienen ambas y las zonas claras solo tienen actina. Son los músculos que mueven el esqueleto, de ahí su nombre, formando el sistema muscular.

Los músculos esqueléticos además de producir movimiento realizan otras funciones adicionales:

- Estabilizan la posición del cuerpo, mantienen la postura y fijan las articulaciones
- Producen calor por termogénesis y por contracciones involuntarias del músculo esquelético (temblores). Esta función es esencial para supervivencia frente al frío.



**Figura 4.1.** Tipos de tejido muscular, de izq a drch esquelético, cardíaco y liso. Fuente:

2. **Cardíaco:** Es un músculo estriado e involuntario. Se caracteriza por ser auto rítmico debido al marcapasos que lleva incorporado. Se encuentra formando la pared del corazón, se llama miocardio.

3. **Liso:** Este músculo no es estriado y es involuntario. Se encuentra formando las paredes de las vísceras huecas, de los vasos sanguíneos y en los folículos pilosos. Se contraen bajo órdenes del sistema nervioso autónomo.

## 4.2 LAS PROPIEDADES DE LOS MÚSCULOS

La palabra músculo viene del latín *mus* que significaba “ratón” y *culus* que significa “pequeño”, y alude a un pequeño ratón que parece escondido entre la carne cuando se flexiona el brazo o la pierna. La característica fundamental de los músculos es la capacidad de contracción que acorta la fibra muscular y genera la fuerza suficiente para movimiento. Es una propiedad única que los distingue del resto de los tejidos corporales. Por consiguiente, los músculos son responsables de los movimientos corporales y podemos considerarlos como las *máquinas* que mueven el organismo.

Otras propiedades son:

1. Excitabilidad (receptividad o irritabilidad): consiste en la capacidad de recibir y responder a estímulos como:

- Las señales eléctricas (potenciales de acción muscular) al contactar con células nerviosas, o en el músculo cardíaco es el propio músculo el que genera su contracción (auto-rítmico)

2. Conductividad es la capacidad para propagar las señales eléctricas a través de la membrana que llega hasta las miofibrillas y genera movimiento

3. Extensibilidad dado que puede ser estirado sin dañarse

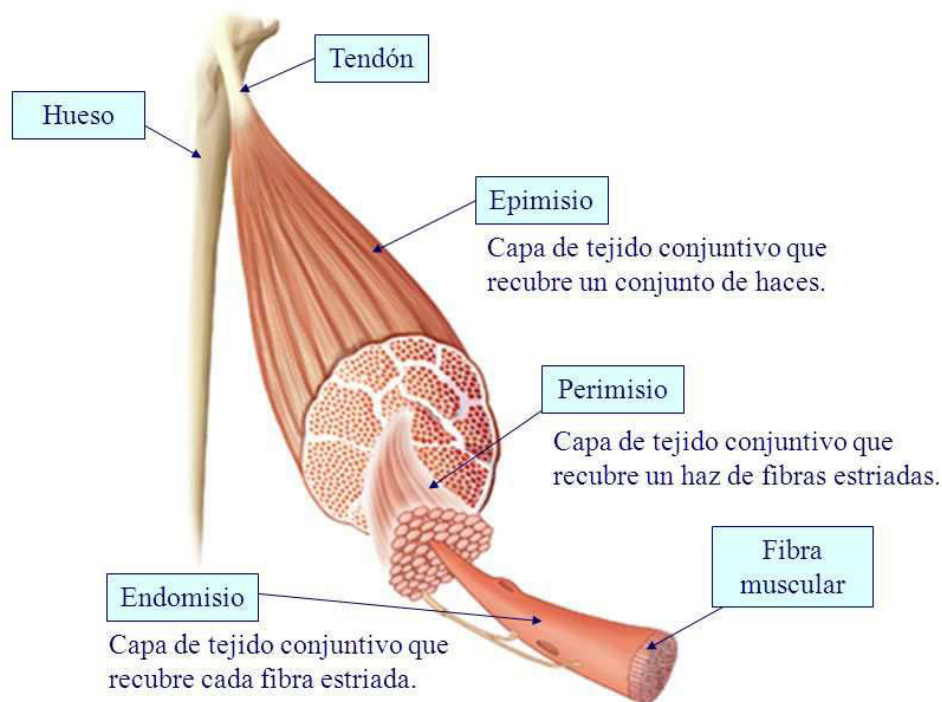
4. Elasticidad dado que recupera la forma original tras ser estirado o contraído

## 4.3 COMPONENTES DEL MÚSCULO

Cada músculo es un órgano que comprende además del músculo esquelético otros tejidos:

- Tejido conjuntivo ---- con función protectora
- Tejido nervioso ---- da la orden del movimiento
- Vasos sanguíneos ----proporciona gases y nutrientes y se lleva los desechos

Las fibras musculares esqueléticas, como la mayoría de las células, son blandas y sorprendentemente frágiles, si bien los músculos esqueléticos pueden producir una potencia tremenda; de hecho, la fuerza que generan, como cuando levantamos una pesa, es a menudo mucho mayor que la requerida para esa tarea. ¿Cómo es posible? La razón por la que no se rompen cuando producen dicha fuerza es que miles de fibras musculares están unidas formando un bloque rodeadas de tejido conjuntivo. Las bandas de tejido conjuntivo unen



**Figura 4.2.** Estructura de un músculo esquelético. Fuente: <https://goo.gl/images/2wekD4>

músculos con funciones similares entre sí y a la vez permiten el libre movimiento de los haces musculares. Podemos distinguir varios niveles de tejido conjuntivo en el músculo:

- ✚ **fascia:** capa más externa que cubre músculos y órganos. Lleva nervios y vasos sanguíneos y linfáticos hasta el músculo y rellena espacios huecos
- ✚ **epimisio,** capa que rodea un músculo (órgano)
- ✚ **perimisio,** capa que rodea haces o grupos de 10-100 células musculares
- ✚ **endomisio,** a nivel celular rodea cada una de las células individuales del músculo, es decir es una funda que cubre cada miocito o fibra muscular.

Todas estas capas de tejido conjuntivo se extienden más allá de la masa del músculo y se juntan en los extremos para formar bien tendones o bien aponeurosis.

- Los tendones son estructuras de forma cilíndrica, como cordones de tejido conjuntivo denso, que conectan un músculo al periostio de un hueso.
- Las aponeurosis son estructuras planas, son similares a los tendones, pero se extienden en forma de capa y tienen menor inervación e irrigación sanguínea.

## Neuronas y vasos sanguíneos

Cada órgano muscular está recorrido por un nervio, una arteria y dos venas

Los nervios conectan con el músculo formando unidades motoras. Las neuronas motoras parten directamente del centro nervioso, por ej., la médula espinal y llevan información al músculo acerca de su movimiento. Cada unidad motora consta de una neurona motora somática y todas las células del músculo esquelético que inerva y estimula, cuyo número oscila entre 3 y 2.000 células. De promedio una neurona contacta con 150 células musculares al unísono. Cada unidad motora tiene una terminación nerviosa que se ramifica y alcanza a todas las células musculares de la unidad a través de una placa que se llama unión neuromuscular. La fuerza total de una contracción depende del número de unidades motoras se activan y de lo grande que las unidades motoras sean.

Por su parte los vasos sanguíneos que proporcionan nutrientes y oxígeno y eliminan desechos. Cada fibra muscular se encuentra en estrecho contacto con un o dos capilares. Las fibras tipo I lentas son las mejor irrigadas y las que tienen unidades motoras más pequeñas.

#### 4.4 TIPOS DE CÉLULAS DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

El músculo esquelético utiliza ATP a gran velocidad cuando está activo; en el tema 2 (Metabolismo) vimos que hay 3 posibilidades para producir ATP en una célula:

1. Fosfato de creatina, que sólo existe en fibras musculares
2. Fermentación láctica anaeróbica
3. Respiración celular aeróbica

Las células musculares humanas (también llamadas miocitos o fibras musculares) no son todas iguales, tienen distintos tipos de metabolismo. Actualmente se reconocen unos 30 tipos de células diferentes, pero se puede simplificar y reducirlas sólo a dos tipos principales: fibras musculares de contracción lenta (tipo I) y de contracción rápida (tipo II) con dos subtipos IIA y IIB

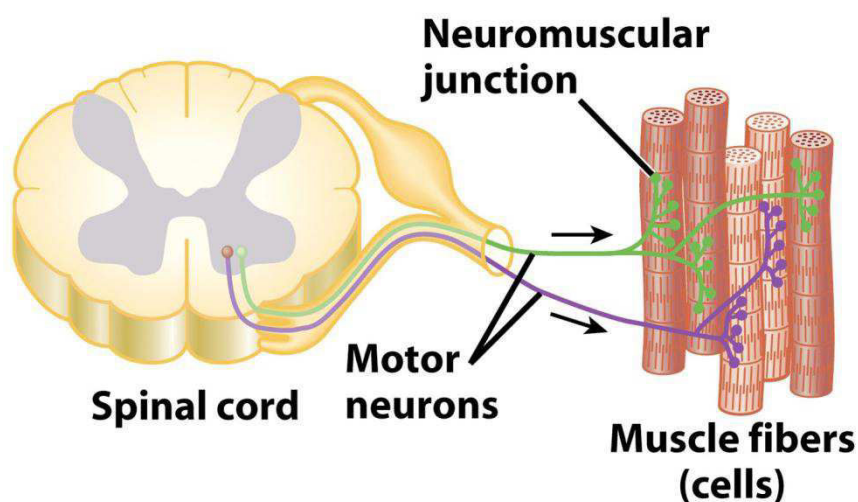
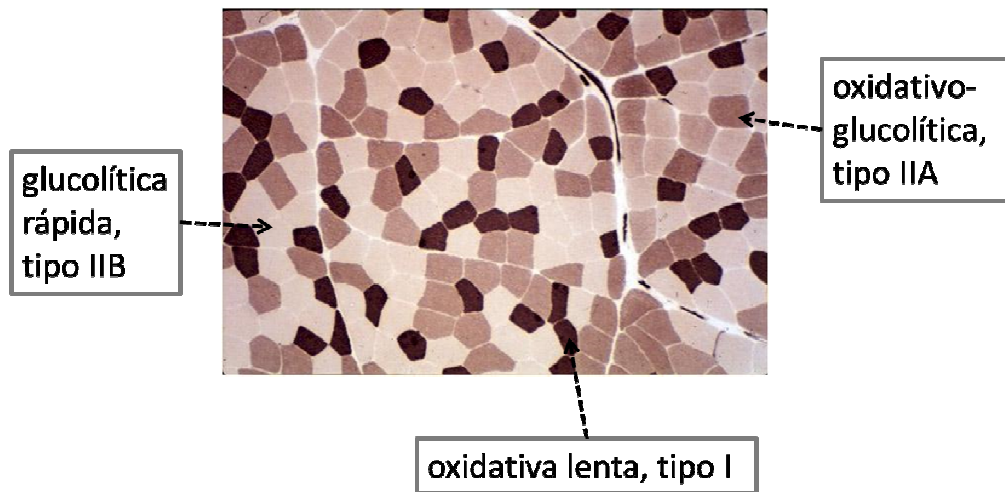


Figura 4.3. Unidad motora. Fuente: <http://ouopentextbooks.org/biol3103/chapter-10-muscles/>



**Figura 4.4.** Corte transversal mostrando las distintas fibras musculares en un músculo esquelético.

Fuente: [blogdelrunner.com](http://blogdelrunner.com)

Las fibras de **contracción lenta** presentan respiración celular aeróbica, las fibras musculares de fibras del tipo IIB son de **contracción rápida glicolítica**, es decir, predomina la fermentación láctica anaeróbicas; finalmente las del tipo IIA son oxidativas rápidas, con características intermedias entre las I y las IIB, y se llaman de **contracción rápida glicolítica-oxidativa**.

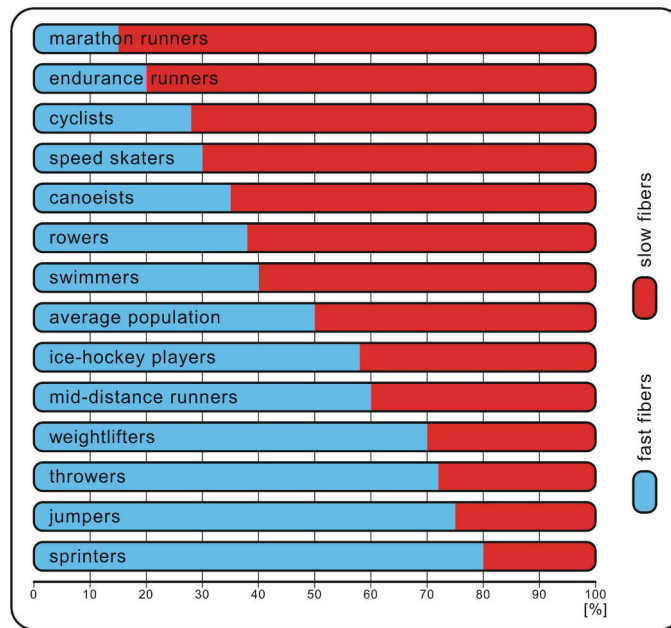
Se distinguen porque las de tipo I tienen poca fuerza y por tanto trabajan a baja velocidad pero pueden resistir largos periodos de tiempo trabajando. Todo lo contrario ocurre con las fibras IIB, que se caracterizan porque desarrollan gran fuerza / potencia y trabajan a gran velocidad pero enseguida se cansan, son de baja resistencia. Las del tipo IIA son intermedias entre los dos anteriores. (Tabla1)

- ♣ Tipo I (contracción lenta oxidativa), de color rojo
- ♣ Tipo IIA (contracción rápida glicolítica oxidativa), de color rojo
- ♣ Tipo IIB (contracción rápida glicolítica), de color blanco

*Tabla 1. Características principales de las distintas fibras musculares.*

Tipo de fibra	Color	Miofibrillas	Contracción	Fatiga	Mioglobina <sup>1</sup>	Glucógeno	Metabolismo
<i>Oxidativas lentas</i> I	Rojas	No muy abundantes	lenta	muy resistentes	muy abundante	abundante	aeróbico
<i>Oxidativas rápidas</i> IIA	Rojas	Muy abundantes	rápida	resistentes	abundante	abundante	aeróbica o anaeróbica
<i>Glucolíticas rápidas</i> IIB	Blancas	Muy abundantes	rápida y potente	poco resistentes	escasa	muy abundante	anaeróbica

<sup>1</sup>También mitocondrias y capilares



**Figura 4.5.** Cantidades relativas de fibras lentas (tipo I) y rápidas (tipo IIB) en atletas de diferentes disciplinas. Fuente: <http://www.fsp.muni.cz/emuni/data/reader/book-4/04.html>

La proporción de fibra difiere en diferentes músculos del cuerpo humano. Por ejemplo, los músculos posturales como los del cuello y cabeza tienden a contener fibras más lentas; en cambio músculos con movimientos bruscos ej. hombros y brazos abundan las fibras glucolíticas (ver tabla 2). Al contraerse el músculo los distintos tipos de fibras musculares se activan de acuerdo con la intensidad de movimiento. Durante el ejercicio de baja intensidad se reclutan principalmente fibras lentas. Sin embargo, con el aumento de la intensidad de ejercicio si estas fibras no son suficientes porque se requiere una fuerza mayor o mayor velocidad, el cuerpo reclutará las fibras de tipo IIA y finalmente la de tipo IIB. Es importante señalar aquí un ejemplo curioso, el músculo extraocular que desarrolla movimientos muy precisos y enérgicos, pero de poca fuerza. En este caso la unidad motora es muy pequeña (una media de 3 miocitos por neurona) pero tiene una elevada proporción de fibras que se contraen a máxima velocidad.

*Tabla 2. Situación y abundancia de los diferentes tipos de fibras musculares*

Tipo de fibra		Abundancia	
Oxidativas lentas	Tipo I	Rojas	Músculos posturales. Cuello
Oxidativas rápidas	Tipo IIA	Rojas	Musculatura de resistencia Piernas de corredores de fondo
Glucolíticas rápidas	Tipo IIB	Blancas	Musculatura de velocidad. Brazos



El número de cada tipo de fibras musculares viene dado genéticamente y varía de unos músculos a otros y también de una persona a otra. Aunque el número de fibras totales se mantiene constante sus características pueden variar con el entrenamiento y la edad.

- Ejercicios aeróbicos: convierten tipo IIB en IIA, consiguen mayor número de fibras con metabolismo oxidativo. Aumenta el riego, pero no aumenta la masa muscular
- Ejercicios anaeróbicos: transforman fibras IIB engrosándolas. Aumenta la masa muscular

Se ha demostrado que el uso de esteroides anabólicos por atletas para aumentar el tamaño muscular, la fuerza y la resistencia puede tener efectos secundarios muy graves.

## 4.5 MIOCITOS

Independiente del tipo de metabolismo, las células musculares también llamadas miocitos o fibras musculares se caracterizan por:

- Son largas, cilíndricas y multinucleadas
- 10 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro; longitud 10-30 cm
- No se dividen

Estas células constan de membrana (sarcolema), citoplasma (sarcoplasma) y núcleos (aproximadamente unos 100 núcleos periféricos)

El **sarcolema** es la membrana celular que se invagina hacia el interior formando túbulos T, que son muy importantes para que llegue rápidamente el potencial de acción muscular a todas las partes de la célula muscular.

El **sarcoplasma** es el citoplasma celular, que contiene:

- una gran cantidad de glucógeno para la producción de energía (ATP)
- mioglobina, proteína de color rojo que transporta el oxígeno a las mitocondrias

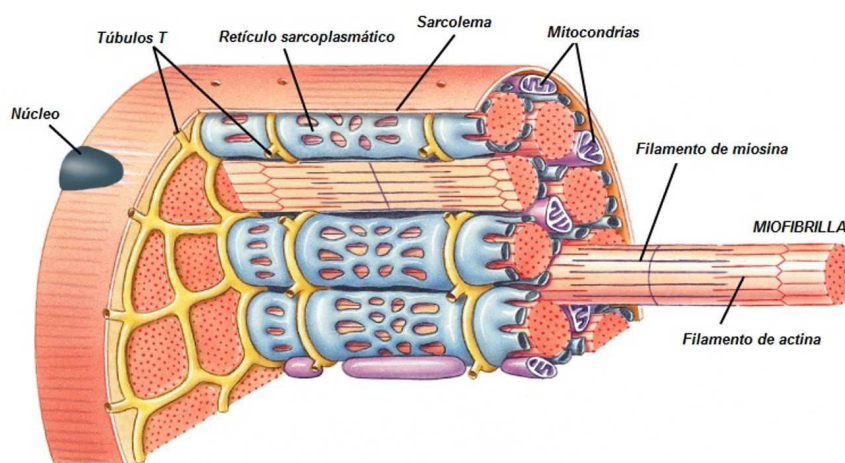


Figura 4.6. Orgánulos y estructura de un miocito. Fuente: <http://www.escolares.net/biologia/contraccion-muscular-musculatura/>

- gran número de las mitocondrias, en filas por toda la célula
- varios cientos de filamentos diminutos llamados miofibrillas
- cada miofibrilla está rodeada de SR (retículo sarcoplásmico)

Las miofibrillas a su vez están formadas por filamentos todavía más finos, los miofilamentos, constituidos por proteínas contráctiles. Hay de dos tipos de proteínas y por tanto dos tipos de miofilamentos, unos son de miosina y otros de actina.

Las miofibrillas se encuentran perfectamente colocadas, alineadas en paralelo formando bandas alternas claras (I) y oscuras (A) lo que proporciona a la célula muscular una apariencia rayada o estriada. La banda I tiene una interrupción en el centro, una zona más oscura denominada disco Z donde se anclan los miofilamentos de actina. También la banda A tiene una zona central más clara llamada zona H cuya línea M contiene unas pequeñas varas de proteínas que mantienen unidos los miofilamentos de miosina. Se llama sarcómero a una unidad formada por una banda A situada en posición central con dos medias bandas I laterales que llegan hasta el respectivo disco Z.

El **retículo sarcoplásmico** (RS) es un sistema de sacos tubulares similares al retículo endoplasmático liso (REL) de las células no musculares que almacena  $\text{Ca}^{+2}$  en los músculos relajados. La liberación de  $\text{Ca}^{+2}$  desencadena la contracción muscular.

## 4.6 PROCESO DE CONTRACCIÓN MUSCULAR

Durante la sinapsis neuro-muscular se producen la siguiente secuencia de acontecimientos:

1. Cuando el impulso nervioso llega al final del axón situado en la zona de unión neuromuscular, las vesículas sinápticas de la neurona liberan acetilcolina (ACh)
2. ACh liberada se difunde por el espacio sináptico hacia los receptores de la célula muscular, y cuando llega a ellos permite la abertura de canales de  $\text{Na}^{+}$ , de modo que el  $\text{Na}^{+}$  entra en el miocito desencadenando un potencial de acción (PA)

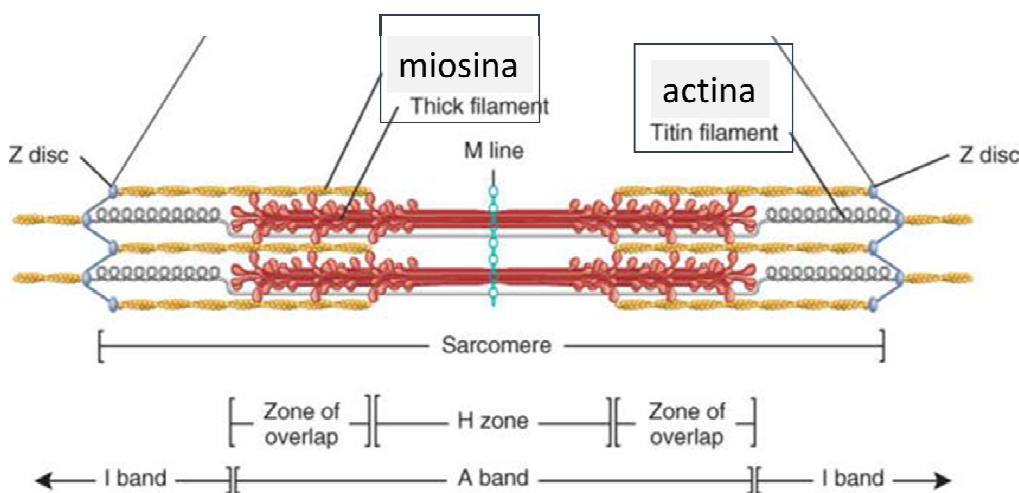
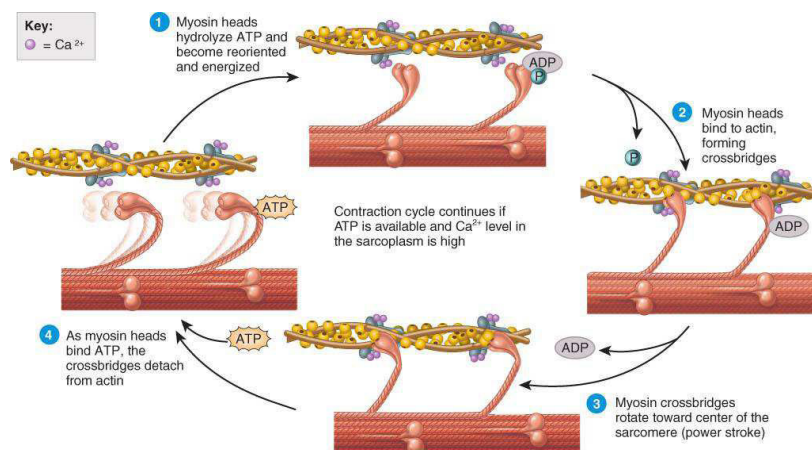


Figura 4.7. Sarcómero con sus bandas. Fuente: [Tortora](#)



**Figura 4.8.** Proceso de contracción de una célula muscular. Fuente: <http://humanbiologylab.pbworks.com/w/page/60230004/Muscle%20Contraction%20And%20How%20It%20Works>

3. El PA significa una orden para producir movimiento, el PA se extiende por el sarcolema y se difunde por los túbulos T hasta llegar al RS, e induce la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  en el sarcoplasma

4. El  $\text{Ca}^{2+}$  se une a las proteínas musculares lo que permite la unión de miosina con la actina, proceso que lleva acoplado un gasto de ATP (energía). El ciclo de contracción propiamente va a comenzar

5. Por su parte ACh se descompone rápidamente por la acetilcolinesterasa (AChE) y el  $\text{Ca}^{2+}$  se reabsorbe al RS

6. Durante la contracción la miosina crea puentes cruzados y tira de los filamentos de actina de modo que los miofilamentos de actina, algo más delgados que los de miosina, se deslizan hacia adentro del sarcómero y los discos Z se acercan entre sí. El resultado es que el sarcómero se acorta y toda la célula se contrae, pero curiosamente los miofilamentos no cambian de longitud, sólo se desplazan uno sobre otro

7. Si lo vemos con más detalle, lo que ocurre es que el Ca se une a las proteínas reguladoras en los miofilamentos de actina y cambian tanto la forma como la posición de estos filamentos. Esta acción deja expuestas las zonas de unión de las moléculas de actina, a la que se pueden adherir ahora las cabezas de las moléculas de miosina.

8. Las cabezas de miosina libres están “montadas” como una trampa para ratones. La adhesión física de la miosina a la actina “hace saltar la trampa”, lo que provoca que las cabezas de miosina pivoten hacia el centro del sarcómero. Debido a que la actina y la miosina se encuentran todavía unidas con firmeza entre sí cuando esto ocurre, los filamentos de actina también se desplazan ligeramente hacia el centro del sarcómero. El ATP proporciona la energía necesaria para liberar y recolocar cada cabeza de miosina, de forma que se encuentren preparadas para dar otro “paso” y adherirse a otra zona de unión más lejana del filamento de actina.

9. Cuando el potencial de acción finaliza y los iones de calcio se reabsorben en las zonas de almacenamiento SR, las proteínas reguladoras vuelven a su forma y posición originales y de

nuevo obstaculizan la unión de la miosina con los filamentos finos. Dado que ahora la miosina no tiene nada a lo que adherirse, la célula muscular se relaja y vuelve a su longitud original.

Ahora entendemos porque se produce el estado de *rigor mortis*. Hablamos de *rigor mortis* al referirnos a la rigidez muscular que comienza 3-4 horas después de la muerte y dura aproximadamente 24 horas.

Después de la muerte, los iones  $\text{Ca}^{+2}$  se liberan del SR y las cabezas de miosina se unen a actina, pero como la síntesis de ATP ha cesado, los puentes cruzados no pueden desprenderse de actina y quedan fijos. Tras unas 24 h las enzimas proteolíticas comienzan a destruir las células y estas uniones desaparecen.

## 4.7 ¿CÓMO SE CONTROLA EL SISTEMA ESQUELÉTICO?

Ahora que sabemos cómo funcionan las células musculares a nivel molecular podemos preguntarnos como se traduce esto en movimientos corporales.

Cada persona sabe en todo momento la posición de su cuerpo y es capaz de conocer y controlar todos los movimientos que realiza, siente su cuerpo en conjunto y en cada una de sus partes. Este “*sentido del cuerpo*” depende de tres elementos que operan a la vez y son coordinados por el sistema nervioso central:

1. la vista (que permite vernos)
2. el aparato vestibular del oído interno (relacionado con la percepción del equilibrio y posición corporal)
3. el sistema propioceptivo constituido por un conjunto de receptores articulares y musculares que miden el estado de tensión y grado de estiramiento de los músculos, tendones y ligamentos.

En la coordinación intervienen varias zonas del sistema nervioso: médula espinal, núcleos motores del encéfalo, cerebelo, corteza motora cerebral, órganos del equilibrio, vista. Si por alguna razón el sistema propioceptivo fallase (ver capítulo 3 del libro de O. Sacks (1985) *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*) esa persona sería incapaz de saber dónde tiene los brazos o las piernas, no sabría cómo moverse, se desmoronaría...

Podemos mantener los huesos y músculos en una posición dada, sin movimiento o la cabeza en posición vertical sin esfuerzo prácticamente; y de la misma forma mantenemos la postura corporal. Se dice que se mantiene el **tono muscular**; la explicación es que existen un pequeño número de unidades motoras que sufren una contracción automática por parte del SNC. Alternativamente se activan e inactivan los miocitos en un patrón constante cambio. Los bebés van controlando paulatinamente su tono muscular a partir del primer año, y alrededor de los 8 y 10 años controlan totalmente la postura corporal. Si se destruye la inervación a un músculo, por ejemplo, en un accidente, sus fibras musculares ya no son estimuladas, el músculo pierde el tono y se vuelven flácido.

## 4.8 ¿CÓMO SE MUEVEN LOS MÚSCULOS?

En los apartados siguientes vamos a estudiar cómo funcionan los músculos, como se efectúan los movimientos. Para ello aplicamos muchas nociones de física clásica (biomecánica) relativos a la relación del centro de gravedad con el equilibrio, leyes del movimiento, palancas etc. Esta parte de la anatomía muscular que comprende también fisiología y biomecánica se llama kinesiología del griego *kínesis* “movimiento” y *logos* “ciencia”.

Hemos visto que al ser activados los miocitos se contraen, por tanto es de esperar que el movimiento de músculo sea de contracción y tienda a acortarse. En la realidad no es así, el resultado final de un órgano, del conjunto del músculo no es siempre una contracción. Esto nos lleva a diferenciar dos tipos de músculos según su papel en el cuerpo. Los músculos tónicos o estáticos y los fásicos o dinámicos.

✚ Los **músculos tónicos** son los encargados de mantener la postura. Su función principal consiste en dar a nuestro cuerpo una estabilidad tanto en fase estática como dinámica. La mayoría están situados en la parte posterior del tronco y/o en las zonas proximales de las articulaciones de las extremidades. Sus fibras son principalmente de tipo I. Tienden al acortamiento por esa continua demanda que les hace estar siempre en contracción y van a sufrir hipertonía, a acortarse y a presentar contracturas.

✚ Los **músculos fásicos** o dinámicos son músculos con menos tono de base y su función principal es la de generar movimiento en las articulaciones a través de su contracción dinámica. Por eso contienen más fibras de tipo IIA y IIB. Suelen situarse en las extremidades. No suelen presentar problemas de acortamiento ya que solo están contraídos cuando son solicitados de manera activa. Su alteración es la tendencia a la hipotonía.

Tanto los músculos fásicos como los tónicos son necesarios para la locomoción humana y hay que entrenar todos, si bien a medida que envejecemos cobrarán mayor importancia los músculos tónicos pues una correcta higiene postural significa mejor calidad de vida.

Los músculos tónicos necesitan relajación y estiramiento. Sin embargo, los músculos fásicos que van a tender a la hipotonía no necesitan estiramiento, es más, el estiramiento puede ser contraproducente, sino fortaleza.

Dentro de los músculos tónicos distinguimos dos tipos de contracción:

Contracción dinámica o isotónica: (literalmente “mismo tono o tensión”) se produce si los miofilamentos realizan sus movimientos de deslizamiento de forma satisfactoria, el músculo se acorta, y se produce el movimiento. Doblar las rodillas, levantar un brazo o sonreír son ejemplos de contracciones isotónicas. A su vez, estas contracciones pueden ser:

- ◆ **Concéntricas**: un músculo se acorta para producir la fuerza y el movimiento desarrolla una tensión suficiente para superar una resistencia.
- ◆ **Excéntricas**: un músculo se alarga, manteniendo la fuerza y el movimiento.

Contracción isométrica: (literalmente “misma medida o longitud”) no se produce ningún movimiento; no hay cambio en la longitud del músculo. En las contracciones isométricas los miofilamentos de miosina “hacen girar sus ruedas” y la tensión en el músculo continúa

umentando. Intentan deslizarse, pero el músculo se opone a objetos más o menos inmóviles. La tensión se genera sin que se llegue a producir el acortamiento del músculo, por ej. si tratamos de levantar un mueble de 181 kilos, o si echamos un pulso contra un contrincante de igual fuerza. Otro ejemplo sería mantener un objeto fijo en la mano.

## 4.9 ACCIONES DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO: PALANCAS

Los músculos se unen a huesos, a otros músculos o a la piel mediante tendones. En la mayoría de los casos los músculos unen huesos distintos acercándolos durante la contracción. Si hay una articulación entre ambos huesos se producen el movimiento por acción de una palanca. De esta forma los músculos actúan debido a que las varillas rígidas (hueso) se mueven en torno a un punto fijo (articulación) que actúa como punto de apoyo.

En física, la ley que relaciona las fuerzas de una palanca en equilibrio se expresa mediante la ecuación que dice *la potencia (P) por su brazo (Bp) es igual a resistencia (R) por el suyo (Br)*, es decir

$$\text{Ley de la palanca: } P \times B_p = R \times B_r$$

El *origen* del músculo se sitúa en el hueso no móvil, que en las extremidades suele estar en posición proximal. El punto de *inserción* muscular se encuentra en el hueso móvil, que en las extremidades suele estar en posición distal. Entre ambos puntos se extiende el músculo, la parte muscular más gruesa se denomina *vientre* del músculo. Cuando el músculo se contrae, el punto de inserción se mueve hacia el origen.

En una palanca actúan dos fuerzas diferentes:

- la **potencia** o esfuerzo es la fuerza que provoca el movimiento, es el trabajo que se realiza con la contracción muscular. En general los músculos más cortos y con punto de inserción u origen perpendiculares a la dirección del movimiento son más potentes.

- la **resistencia** es la carga que se opone al movimiento, por ej. es el peso de parte del cuerpo o tal vez de un objeto.

Decimos que hay una ventaja mecánica si el músculo tiene un punto de inserción que está más lejos de la articulación así podrá producir más fuerza o potencia. En cambio, el músculo cuyo punto de inserción está situado más cerca de la articulación tendrá mayor amplitud de movimiento y puede moverse a mayor velocidad aunque no pueda desarrollar mucha fuerza

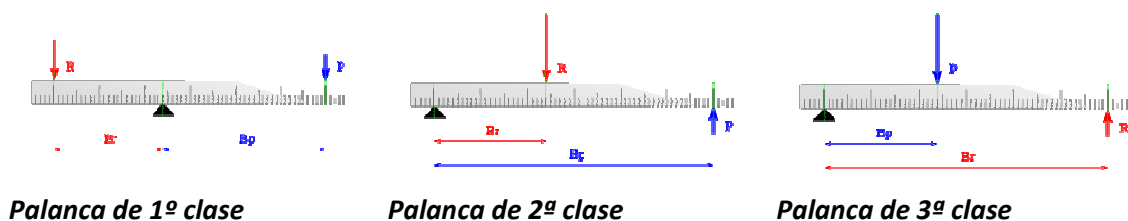


Figura 4.9. Los tres tipos de palancas. Fuente

### Palanca de 1ª clase

Puede producir ventaja mecánica o no dependiendo de la ubicación del esfuerzo y resistencia. Si el esfuerzo está más lejos del punto de apoyo que la resistencia, entonces se puede mover una resistencia pesada. El ejemplo típico es el balancín.

Ej. La cabeza apoyada en la columna vertebral

- El peso de la cara es la resistencia
- La articulación entre el cráneo y atlas es el punto de apoyo
- Músculos posteriores del cuello proporcionan el esfuerzo

En general todas las articulaciones de la columna son palancas de 1º orden.

### Palanca de 2º clase

Siempre produce ventaja mecánica, pues el esfuerzo o fuerza que realiza el músculo está más lejos de la articulación que la resistencia. Gana en fuerza, aunque pierde en velocidad. El ejemplo típico es de una carretilla.

Ej. Sostenerse sobre los dedos de los pies

- La resistencia es el peso corporal
- El punto de apoyo es la planta del pie
- El esfuerzo es la contracción de los músculos de la pantorrilla que tiran del talón hacia arriba

En realidad, en la planta del pie hay muchas articulaciones, y no hay ninguna articulación real en el cuerpo que sea una palanca de 2º orden.

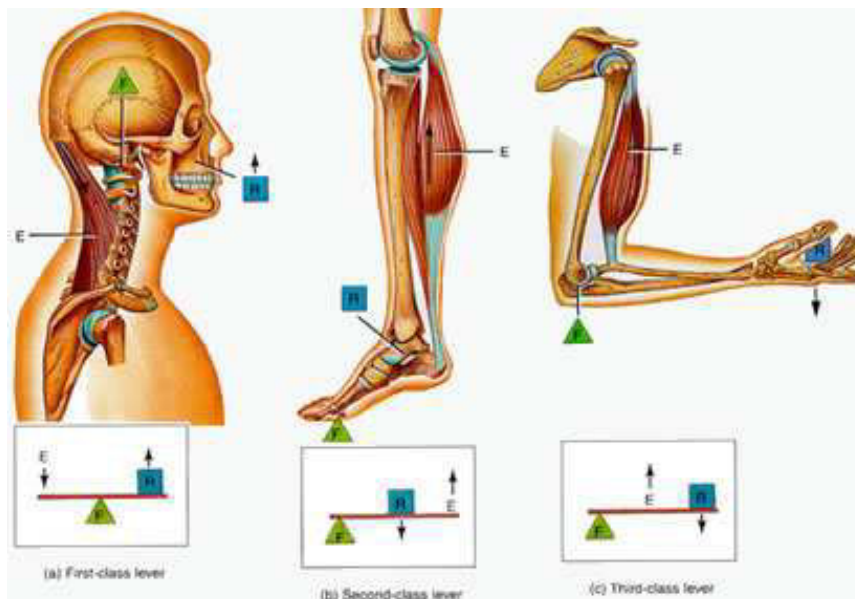


Figura 4.10. Palancas del cuerpo humano. Fuente: <http://www.portalhuarpe.com.ar>

**Palanca de 3ª clase**

Es la más común en el cuerpo, en las extremidades todas las palancas son así.

Siempre produce una desventaja mecánica, pues el esfuerzo está siempre más cerca de punto de apoyo que la resistencia, por tanto favorece la velocidad y el rango de movimiento sobre la fuerza.

Ej. Músculos flexores en el codo

- La resistencia es el peso en la mano
- Punto de apoyo es la articulación del codo
- Esfuerzo es la contracción del músculo bíceps braquial

## 4.10 COORDINACIÓN ENTRE MÚSCULOS

La ley de acción y reacción (3ª ley del movimiento de Newton) dice que en cualquier interacción hay un par de fuerzas de acción y reacción situadas en la misma dirección con igual magnitud y sentidos opuestos. Si aplicamos esta ley al movimiento muscular vemos que los músculos se contraen y relajan en grupo. El movimiento de una determinada parte del cuerpo es el resultado de varios músculos que trabajan coordinados al unísono. Los músculos actúan según sean sus zonas de fijación o inserción, pero no actúan solos, sino de forma conjunta. En un grupo muscular hay un músculo que inicia el movimiento, pero inmediatamente se contraen otros que reciben el nombre de **sinérgicos**. Estos músculos sinérgicos modulan la actividad, reforzándola o evitando que se produzcan interferencias de otros movimientos adicionales. Existen también los músculos antagonistas, cuyo papel es decisivo en el control que requiere la precisión de ciertos movimientos. Así se llama:

- **Agonista** o motor primario o protagonista: al músculo que se contrae para causar la acción deseada.
- **Antagonista**: el músculo con movimiento opuesto al agonista. Por ejemplo, en el codo:

<i>Flexión</i>	<i>Agonista: biceps braquial (flexor)</i>	<i>Extensión</i>	<i>Agonista: triceps braquial (ext.)</i>
	<i>Antagonista: triceps braquial (ext.)</i>		<i>Antagonista: biceps braquial (flexor)</i>

Los antagonistas actúan facilitando, controlando y regulando la acción del músculo agonista. Mientras el agonista realiza una contracción concéntrica el antagonista se distiende y realiza una contracción excéntrica. Por ejemplo, si con un vaso en la mano hacemos el movimiento de acercarlo para beber, el músculo agonista (biceps) realiza una contracción que terminaría cuando el vaso golpeará contra la cara o el brazo contra el antebrazo; esto no ocurre porque a la vez que el biceps se contrae, también lo hace (aunque estirándose) el triceps que es el que frena el movimiento, de esta forma el vaso llega lentamente hasta la boca y termina justo delante de ella.



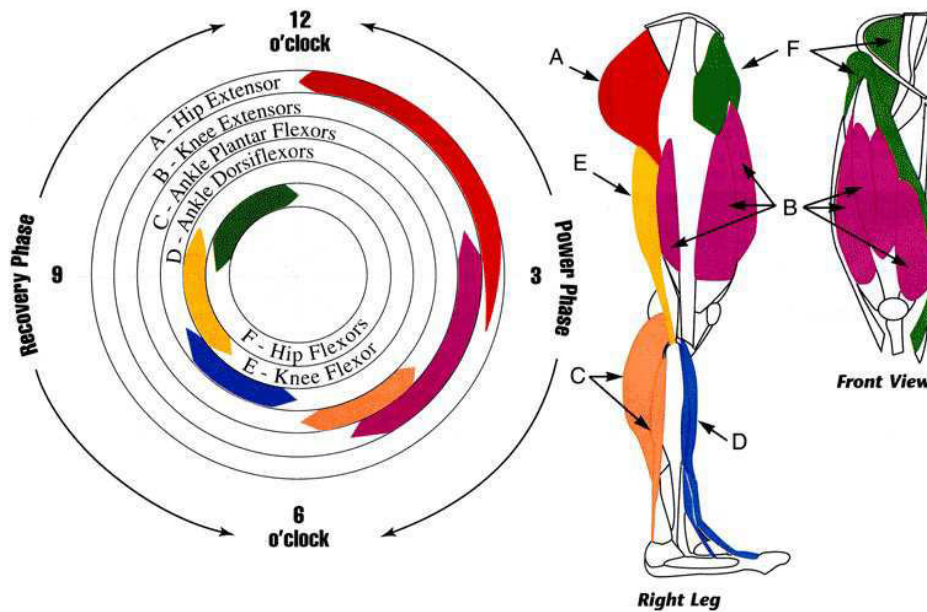


Figura 4.11. Pirámide de los alimentos. Fuente: [www.aleadiets.com/consejos1.php](http://www.aleadiets.com/consejos1.php)

o **Sinérgicos**: se refiere a músculos que colaboran indirectamente con el agonista, modulan la actividad, reforzándola o evitando que se produzcan interferencias de otros movimientos adicionales por ej. se contraen para estabilizar articulaciones cercanas.

También se puede destacar el papel de:

o **Fijadores** o estabilizadores: Estos músculos se contraen de forma isométrica para inmovilizar articulaciones vecinas a los efectos de permitir la acción de los músculos protagonistas. Generalmente cuando un músculo se contrae tiende a tirar de sus dos extremos (origen e inserción), los músculos fijadores actúan para afirmar el segmento que sirve de origen, de modo que el movimiento se produzca en la inserción. Por ejemplo: en la flexión del codo, el deltoides se contrae, inmovilizando la articulación del hombro así se puede elevar el brazo.

## Planos, ejes y tipos de movimientos

Si recordamos los tres planos, sagital, frontal y transversa vistos en el Tema 1, los podemos relacionar con los diferentes tipos de movimientos

Los movimientos en el plano sagital, hacia delante y hacia detrás, son la flexión y la extensión:

**Flexión** es un movimiento que reduce el ángulo de la articulación y acerca dos huesos entre sí. La flexión es típica de las articulaciones bisagra como doblar el codo o la rodilla, pero también se encuentra en las articulaciones esféricas, por ejemplo, al doblar la cadera hacia delante.

**Extensión**. La extensión es lo contrario de la flexión, que aumenta el ángulo o la distancia entre dos huesos o partes del cuerpo, como estirar la rodilla o el codo. Si la extensión es superior a 180°, por ejemplo al inclinar la cabeza o el torso hacia atrás de forma que la barbilla apunte hacia el techo, se trata de una hiperextensión.

Tabla 3. Planos, ejes y tipos de movimientos asociados

<b>Plano</b>	<b>Eje</b>	<b>Movimiento</b>
Sagital	Transversal o perlatlateral	Flexión Extensión Hiperextensión
Frontal	Anteroposterior	Abducción Aducción Flexión lateral
Transversal	Longitudinal	Rotación Pronación Supinación

Los movimientos en el plano frontal, de lado a lado, son la abducción y aducción:

**Abducción** o separación consiste en mover una extremidad hacia fuera, desde el plano medio del cuerpo. La palabra hace referencia al movimiento de abanico de los dedos de las manos o de los pies cuando se mueven hacia fuera.

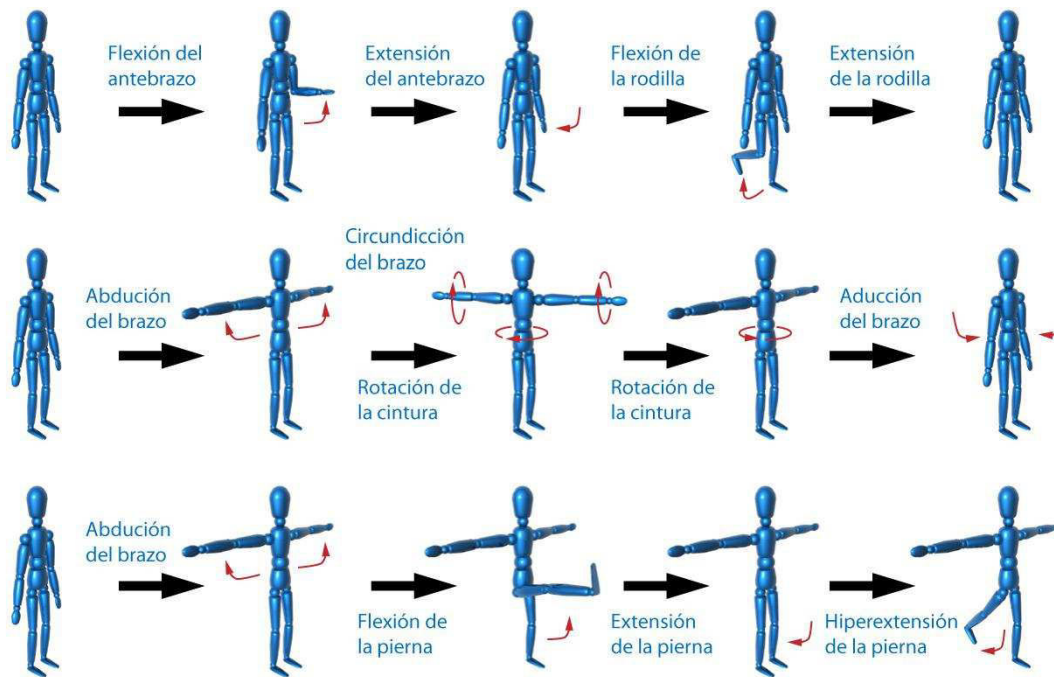
**Aducción** o aproximación es el movimiento contrario a la abducción; por tanto, es el movimiento de una extremidad que se acerca al plano medio del cuerpo.

El plano transversal parte el cuerpo en una mitad superior y otra inferior, el movimiento en el plano transversal es de rotación:

**Rotación** es el movimiento de un hueso alrededor de su eje longitudinal. La rotación es un movimiento típico de las articulaciones esféricas y también en las articulaciones en pivote, por ej., describe el movimiento del atlas alrededor del de la vértebra axis, como cuando decimos “no” con la cabeza.

**Circunducción** es una combinación de los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción típica en las articulaciones esféricas como los hombros. El extremo proximal de la extremidad no se mueve y el extremo distal se mueve en círculo. Toda la extremidad describe un cono.

**Supinación y pronación.** El movimiento de supinación es “girar hacia arriba o hacia afuera” y el de pronación es “girar hacia abajo o hacia adentro”. Por ejemplo, en los movimientos del radio alrededor del cúbito se produce la supinación cuando el antebrazo rota de forma lateral hasta que la palma de la mano queda mirando hacia delante, y el radio y el cúbito quedan paralelos. La pronación se produce cuando el antebrazo rota de forma medial, de forma que la palma quede mirando hacia atrás. La pronación cruza el radio sobre el cúbito, de forma que los dos huesos forman una X. Una ayuda para acordarte: si se levanta una taza hacia la boca sobre la palma de la mano, estás “supinando”.



**Figura 4.12.** Ejemplos de diferentes tipos de movimiento. Fuente: <http://odubercityinformation.blogspot.com.es/2013/06/movimientos-articulares-definicion-y.html>

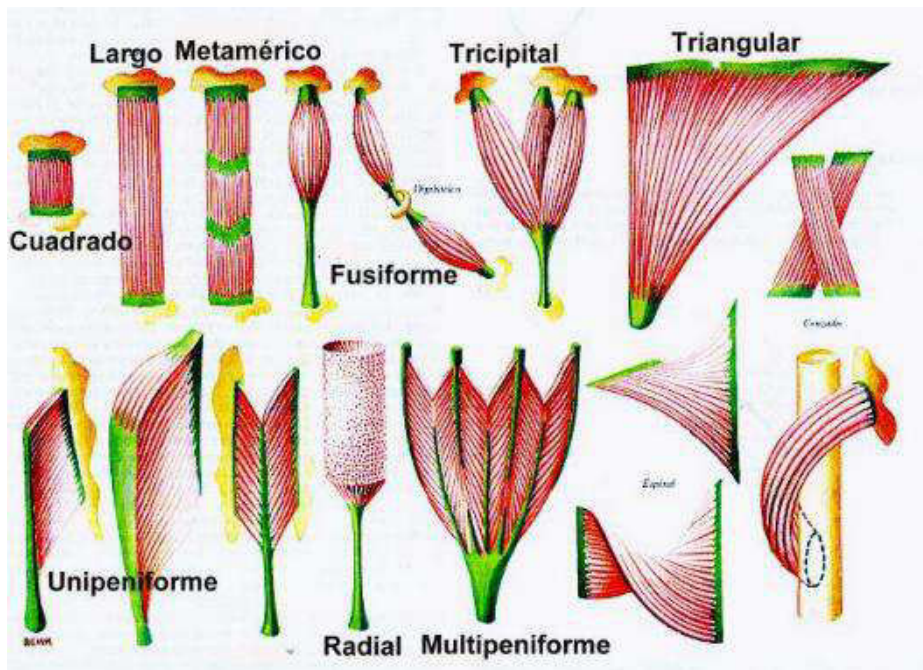
Los movimientos de las articulaciones se categorizan en relación a los tres planos, se ven con más detalle en las actividades.

## 4.11 CLASIFICACIÓN Y NOMBRES DE LOS MÚSCULOS

Hay muchas formas de clasificar los músculos atendiendo a distintos criterios, así encontramos que un mismo músculo puede aparecer en varias de las clasificaciones según el criterio que se utilice. Los nombres de los músculos vienen del pasado, la mayoría son nombres latinos, mientras que las clasificaciones son más modernas.

Sería muy complejo y poco útil analizar todas las clasificaciones, pero veamos algún ejemplo de estos criterios para conocer algunos de los nombres más comunes (*más ejemplos en el ejercicio de nombres de músculos*)

- **Función:** flexores, extensores, aductores, abductores, rotadores, supinadores, pronadores, elevadores... // agonistas, antagonistas, sinérgicos, fijadores
- **Forma:** redondos, cuadrados, piramidales, trapezoides, serratos...
- **Número de cabezas de origen:** bíceps, tríceps, cuádriceps. Por eso cuando aparecen músculos con el mismo nombre en distintas partes del cuerpo (ej. bíceps) se añade un apellido adicional que indica su situación. *Braquial* perteneciente al brazo, *crural* o *femoral* perteneciente al muslo, *sural* perteneciente a la pierna
- **Nº de vientres o estructura de los mismos:** digástrico, poligástrico, semitendinoso...



**Figura 4.13.** Diferentes formas de músculos. Fuente <http://www.anatomiahuman a.ucv.cl/ efi/ modulo11.html>

- Según punto de origen e inserciones: esternocleidomastoideo (pasa por el esternón, clavícula y ap. mastoideo)
- Según la dirección de las fibras: rectos, oblicuos, transversos, orbiculares
- Ordenación de las fibras respecto al tendón: fusiformes, penniformes.

## Tipos de estructura muscular

La fuerza que puede desarrollar un músculo es proporcional a la sección transversal del mismo y su capacidad de contracción depende de la disposición de los fascículos que contenga. En relación a ello hay tres tipos principales de estructura muscular:

- **Paralela:** los fascículos son paralelos al eje longitudinal del músculo. Estos músculos tienen forma de tira.
- **Longitudinal o fusiforme:** los fascículos están colocados casi paralelos disminuyendo hacia los tendones, el músculo tiene forma de huso con un vientre expandido en su sección media, como el músculo bíceps del brazo.
- **Penniforme:** con forma de pluma, estando el tendón ocupando el lugar del eje o raquis a lo largo de casi toda la longitud del músculo y las fibras musculares se adhieren en oblicuo al tendón central como las barbas de la pluma. Por ejemplo en el músculo extensor de los dedos de la pierna, los fascículos se insertan en un lado del tendón, por lo que el músculo es unipenniforme. Si los fascículos se insertan en lados opuestos o diferentes del tendón, el músculo es bipenniforme o multipenniforme.

Otras formas también comunes son:

**Circular:** los fascículos están dispuestos formando anillos concéntricos, ej. músculos orbiculares de la boca y los ojos. Los músculos circulares se encuentran a menudo alrededor de aberturas corporales externas a las que cierran mediante la contracción y se llaman esfínteres, como el esfínter anal.

**Convergente:** los fascículos se unen en un único tendón de inserción. Son músculos en forma triangular o de abanico, como el músculo pectoral mayor o el tórax anterior.

La disposición fascicular de un músculo determina el tipo, amplitud y potencia de un movimiento. Cuanto más largos y más paralelos se encuentran los fascículos al eje longitudinal del músculo, más pueden encogerse los músculos, presentan un movimiento de gran amplitud si bien no suelen ser muy potente. Un ejemplo es el sóleo, que se encuentra en la cara posterior de la pierna, debajo de los gemelos. En cambio, los músculos penniformes que tienen muchos fascículos cortos en un tendón común, como los gemelos, realizan movimientos cortos pero de gran potencia.

## 4.12 LAS VENTAJAS DEL EJERCICIO FÍSICO

El entrenamiento adecuado tiene como finalidad la mejora de la calidad del movimiento y el mantenimiento de la salud.

- Disminuye el riesgo de desarrollar cáncer. Investigaciones recientes han revelado que una falta de ejercicio físico incrementa el peligro de desarrollar algunos tipos de cáncer, como el cáncer de colon.
- Combate la ansiedad y la depresión. El ejercicio aumenta la autoestima, te hace sentir mejor y más relajado.
- Ayuda a dormir mejor. La actividad física proporciona un sueño profundo, siempre y cuando se espere un lapso de tiempo de una hora, desde que se termina el ejercicio hasta al acostarse a dormir.
- Alivia los dolores menstruales. Algunas mujeres han confirmado que el ejercicio reduce los síntomas premenstruales y los dolores durante la menstruación.
- También se sabe que la esperanza media de vida de aquellas personas que practican algún tipo de ejercicio físico moderado es mayor que la de las inactivas.

En resumen, hacer ejercicio mejora la calidad de vida e incrementa la sensación de bienestar.

Estos beneficios pueden ser permanentes o temporales, en función de la regularidad y de la intensidad de los ejercicios. El ejercicio regular aumenta el tamaño, la fuerza y la resistencia de los músculos. No obstante, no todos los tipos de ejercicio producen los mismos efectos; de hecho, existen importantes diferencias según el tipo de ejercicio.

Los tipos de **ejercicio aeróbicos** o **de entrenamiento**, como los de una clase de aeróbic, hacer *footing* o montar en bicicleta dan como resultado músculos más flexibles y más fuertes con una mayor resistencia a la fatiga. Estos cambios se deben, al menos parcialmente, a que el suministro de sangre al músculo aumenta y las células musculares forman más mitocondrias y almacenan más oxígeno. Pero no hace que el tamaño de los músculos aumente demasiado,

aunque el ejercicio se realice durante horas, como se explicó anteriormente se convierten miocitos de tipo IIB en IIA.

Además, el ejercicio aeróbico tiene otros muchos beneficios:

- El tamaño del corazón aumenta (se hipertrofia), de forma que se bombea más sangre con cada latido,
- Los pulmones se vuelven más eficientes en el intercambio de gases.
- En general el metabolismo de todo el cuerpo se vuelve más eficiente
- Mejora la digestión y la eliminación de desechos
- Mejora la coordinación neuromuscular y fortalece el esqueleto. Un ejercicio moderado regular fortalece los huesos, incrementando su contenido en minerales y, en consecuencia, reduce el riesgo de desarrollar osteoporosis
- Alivia los dolores de espalda. Las actividades deportivas que activan los músculos abdominales y de la columna vertebral mejoran la postura y previenen los dolores de espalda.
- En las paredes de los vasos sanguíneos se deposita menos grasa. De hecho previene la obesidad y hay menos probabilidad de contraer enfermedades tales como la diabetes y trastornos cardíacos

Los **ejercicios de resistencia** o **isométricos** sí que permiten aumentar el tamaño de los músculos. Los llamativos músculos de los culturistas o levantadores de pesas profesionales son resultado de este tipo de ejercicio, en los cuales los músculos se oponen a algunos objetos inmóviles (o casi inmóviles). Los ejercicios de resistencia requieren poco tiempo y muy poco o ningún equipamiento. La finalidad es aumentar la fuerza muscular, y el proceso es principalmente anaeróbico.

El aumento en el tamaño y la fuerza muscular que resulta se debe principalmente a la ampliación de las células musculares más que a un incremento en el número de ellas. Se transforman las fibras IIB, aumentan de grosor e incrementan la capacidad de almacenar glucógeno, el combustible de las células musculares. Asimismo, también aumenta la cantidad de tejido conjuntivo que refuerza los músculos.

Dado que los ejercicios aeróbico y de resistencia producen diferentes patrones de respuesta muscular, resulta importante conocer cuáles son los objetivos que queremos alcanzar. Obviamente, el mejor programa de ejercicio para la mayoría de la gente es el que incluya ambos.

La masa muscular se modifica a medida que envejecemos, la cantidad de tejido conectivo en los músculos aumenta, mientras que la cantidad de tejido muscular disminuye. Por tanto, los músculos se vuelven más fibrosos o más nervudos.

## 4.13 LESIONES MÁS FRECUENTES

En algunas ocasiones la práctica de ejercicio físico conlleva riesgos para la salud pues provoca lesiones en el sujeto que la práctica. De acuerdo con lo que vimos al hablar de músculos trabajando de forma sinérgica, se deduce que se produce una lesión cuando el juego de

agonista-antagonista de alguna forma falla o queda descoordinado debido a la fatiga. Para evitar las lesiones se deben respetar algunas pautas de actuación, siempre es mejor prevenir que sufrir una lesión deportiva.

Los factores preventivos consisten en:

- ◆ preparación física adecuada según el tipo de actividad a realizar
- ◆ calentamiento previo y adecuado según la actividad
- ◆ equipo adecuado (calzado, ropa, protectores, etc.)
- ◆ chequeos regularmente la salud con análisis y controles médicos
- ◆ vida saludable (alimentación equilibrada, evitar sustancias nocivas, descansar, etc.)
- ◆ parar inmediatamente ante cualquier síntoma de dolor o fatiga.

## Luxación o dislocación

Se separan los huesos del lugar donde se encuentran en la articulación. El hueso dislocado ya no está en su posición normal. La dislocación también puede causar daño a ligamentos y nervios.

Generalmente es causada por un impacto súbito a la articulación y con frecuencia se presenta después de un golpe, una caída u otro trauma.



**Figura 4.14.** Dislocación de un hombro. Fuente: <https://es.dreamstime.com/>

Las articulaciones más afectadas por dislocaciones son el hombro, cadera, rodilla y tobillo.

## Esguinces

Es una lesión de ligamentos debido a distensión, estiramiento excesivo, torsión o rasgadura.



Se produce una rápida inflamación, dolor e impotencia funcional.

El daño va desde un sobreestiramiento de tejido conjuntivo a la rotura parcial o rotura total. En caso de rotura total es necesaria la intervención quirúrgica.

**Figura 4.15.** Esguince en un tobillo. Fuente: <http://padelstar.es/lesiones/esguince-de-tobillo-tratamiento/>

Los más frecuentes son de tobillo, rodilla, codo, muñeca, pulgar, y cuello.

## Desgarro muscular

Es una lesión del tejido muscular acompañada de hemorragia provocada por la rotura de los vasos sanguíneos que recorren el músculo afectado, provocando un dolor muy intenso que impide contraerlo.

Sucedo por una superelongación (exceder al músculo más allá de su capacidad de estiramiento), por una contracción brusca



**Figura 4.16.** Desgarro muscular. Fuente: <http://goodeatingandhealth.blogspot.com.es/2015/08/how-to-treat-muscle-tear.html>

(veloz), o por realizar un esfuerzo superior a la capacidad biológica de resistencia a la tensión. Puede ser parcial si afecta a algunas fibras de un músculo o total si afecta a la mayoría o la totalidad.

Los desgarros más frecuentes son de la cara interna del muslo (aductor) y gemelos.

## Espasmo muscular

Es la contracción involuntaria y súbita de un músculo o grupo de músculos. Aparecen en situaciones de fatiga extraordinaria de un músculo, por un enfriamiento rápido o por una postura anómala. Determinadas sustancias químicas o pérdida de sales también pueden causar espasmos.

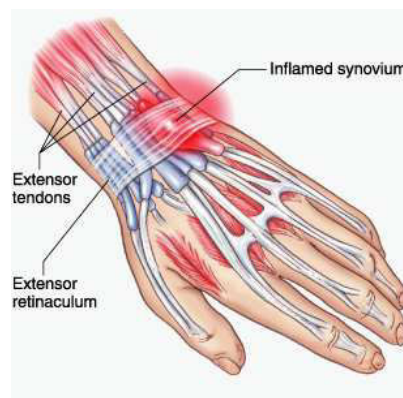
No está claro el motivo de esta dolencia, se contemplan la producción de ácido láctico, el desequilibrio de sales en la miofibrilla (especialmente Mg) y la fatiga de neuronas motoras y de neuronas inhibitoras del músculo antagonista.

## Tendinitis

Es la inflamación del tendón y tejidos conectivos asociados en ciertas articulaciones. El dolor va asociado con el movimiento.

El origen es un trauma, tensión, ejercicio excesivo o mala postura del tendón.

Muñecas, codos las rodillas, los talones y hombros son comúnmente afectados.



**Figura 4.17.** Tendinitis muñeca. Fuente: <http://www.mdguidelines.com/tendinitis>



## Contractura muscular

Es la contracción continuada e involuntaria del músculo o algunas de sus fibras. Suele aparecer cuando dicho músculo realiza una actividad inapropiada en intensidad o en función. Las contracturas pueden aparecer en el momento de realizar el ejercicio o al finalizarlo. Son consecuencia de una fatiga excesiva del músculo. Son frecuentes en la espalda brazos y piernas.

## Otros problemas menores

Calambre = un espasmo doloroso.

Tic = contracción involuntaria de los músculos normalmente bajo control voluntario. Ejp. párpado o los músculos faciales.

Temblor = contracción rítmica involuntaria de los músculos opuestos.

Fasciculación = breve contracción involuntaria de una unidad motora visible bajo la piel.

## Otros daños son:

**Entrenamiento excesivo:** hipertrofia muscular o hiperplasia. También se produce con hormonas: crecimiento + andrógenos (testosterona)

**Dolor muscular de aparición retardada (DOMS):** estas son las clásicas agujetas que aparecen tras la práctica deportiva tras 12-48 horas después del ejercicio. No se producen por acumulación de cristales de lactato como se pensaba hace unos años sino por la ruptura de miofibrillas en una fibra muscular. Técnicamente es por ruptura de los sarcómeros musculares, lo que acaba produciendo un efecto de inflamación ligero del músculo afectado. Las zonas más afectadas por este dolor son las uniones musculares y los tendones cerca de las articulaciones, esto se debe a que la zona musculo-tendinosa es donde existen más fibras musculares sometidas a más tensión. Las agujetas acaban con las fibras débiles, y las que consiguen aguantar la presión se van volviendo más fuertes.

**Atrofia muscular:** pérdida de miofibrillas, puede ser por desuso o por denervación. Es un proceso irreversible en 6m-2años.

**Rigidez muscular** es un movimiento lento asociado a dolor. Tiene un mecanismo poco claro.

## Daños en el tejido muscular

La regeneración del tejido muscular es muy limitada, porque estas células no se reproducen. Muchas veces la pérdida se rellena con tejido conjuntivo, se produce fibrosis

Las causas son diversas:

- Sarcolema roto
- Miofibrillas dañadas
- Discos Z interrumpidos

La reparación conlleva la formación de nuevos sarcolemas y la síntesis de proteínas, siempre es posible si la interrupción de fibra no es completa.

## Bibliografía

Finn, GM. 2013. *30-second anatomy*. Ivy Press, London.

Hansen, JT. 2015. Netter. Cuaderno de anatomía para colorear, 2ª edición. Elsevier, Barcelona.

Marieb, EN. 2008. *Anatomía y fisiología humana*. 9ª edición. Pearson Educación, Madrid.

Tortora, GJ y Derrickson, B. 2013. *Principios de anatomía y fisiología*, 13ª edición. Panamericana, Madrid.

Ver <http://learn.visiblebody.com/muscular>

<http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/Publicaciones/ApuntesAnatomiaAplicada/11-locomotor/oseo.htm> apuntes IES Rayuela con videos

<http://es.slideshare.net/melanycalles/lectura-sistema-musculo-esqueletico>

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/htm2/muscular.htm> láminas interactivas de la Junta de Andalucía, para ver nombres

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/muscular.htm> sistemas muscular, web Junta Andalucía

<http://www.cesdonbosco.com/profes/lumomo/web/biolog/fotos/bb2tema/biogale2t.htm> galería imágenes sistema locomotor

[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140227\\_ciencia\\_manos\\_y\\_pies\\_jgc\\_finde\\_manos\\_y\\_pies\\_como\\_obras\\_de\\_diseño](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140227_ciencia_manos_y_pies_jgc_finde_manos_y_pies_como_obras_de_diseño)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:M%C3%BAsculos\\_esquel%C3%A9ticos](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:M%C3%BAsculos_esquel%C3%A9ticos) principales músculos esqueléticos

<http://entrenamientodeportivouno.blogspot.com.es/> entrenamiento

<http://www.gustrength.com/kinesiology:what-is-anagonist-antagonist-stabilizer-fixator> agonistas, antagonistas y sinergia en el músculo

<http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo11.html> apuntes del sistema muscular

[https://books.google.es/books?id=eV2NMlopSNwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=eV2NMlopSNwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) El libro conciso de los puntos gatillo

[http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/body/factfiles/tone/adductor\\_animation.shtml](http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/body/factfiles/tone/adductor_animation.shtml)

<https://design.tutsplus.com/articles/human-anatomy-fundamentals-flexibility-and-joint-limitations--vector-25401> articulaciones y movimientos, excellent drawings