

Tema 59. Anatomía y Fisiología del aparato locomotor. Hábitos posturales adecuados y principales enfermedades.

3º E.S.O. Bloque 2. Tema 6.

59.1. Introducción

59.2. Caracteres generales del esqueleto y de los huesos:

59.2.1. Composición de los huesos: Materia orgánica y mineral.

59.2.2. Forma y estructura de los huesos

59.2.3. Accidentes de los huesos:

59.2.4. Formación y crecimiento de los huesos

59.2.5. Las articulaciones

59.3. Descripción del esqueleto humano:

59.3.1. Esqueleto de la cabeza:

59.3.2. Esqueleto del tronco

59.3.3. Esqueleto de las extremidades

59.4. Los músculos

59.4.1. Estructura del músculo propiamente dicho

59.4.2. Clasificación fisiológica de los músculos:

59.4.3. Inserciones musculares.

59.4.6. Nomenclatura topográfica de los músculos:

59.5. Fisiología del músculo

59.5.1. Contracción del músculo estriado esquelético

59.5.2. Propiedades de los músculos

59.6. Hábitos posturales adecuados y principales enfermedades

59.6.1. Alguna de las principales enfermedades del aparato locomotor

59.1. Introducción

Junto a las funciones de nutrición y de reproducción, el otro atributo de los seres vivos y por tanto del hombre, es la sensibilidad, es decir, la capacidad para reaccionar frente a los estímulos procedentes tanto del medio ambiente como del interior de nuestro propio organismo.

Al estudiar el sistema nervioso vimos que en éste se elaboran órdenes, que han de ser ejecutadas por alguna estructura. En efecto, el S. N. de la vida consciente elabora órdenes a nivel de la médula espinal (actos reflejos) y de la corteza cerebral (actos voluntarios), a partir de estos datos del mundo exterior captados por los sentidos; esto permite al individuo moverse en el medio en el que vive: buscar alimento, emigrar, etc., en relación a su propio sostenimiento; y también relacionarse con los demás individuos de su medio.

En el fondo de todos estos movimientos se descubren impulsos muy, algunos muy profundos (viscerales); otros de nivel voluntario. Las órdenes emanadas de los centros del S. N. de la vida consciente se transmiten a los músculos esqueléticos. Éstos producen el movimiento del individuo, gracias a su conexión con el esqueleto óseo. Por esto, los órganos efectores de la vida de relación son los huesos y los músculos. La sensibilidad y la integración orgánica son la base de las funciones de relación.

El **aparato locomotor** es un conjunto anatómico y funcional integrado por los huesos, articulaciones y músculos de nuestro cuerpo. Sirve para la realización de los movimientos voluntarios y para mantener la postura o posición de cada persona.

En el aparato locomotor hay que considerar una parte pasiva, el esqueleto, y una parte activa, el músculo.

59.2. Caracteres generales del esqueleto y de los huesos:

Está constituido por huesos, ciertas porciones cartilaginosas y ligamentos que unen a los huesos entre sí (articulaciones), y a éstos con los músculos.

Los huesos forman el armazón rígido de sostén, protección y de palancas del movimiento. Las porciones cartilaginosas y ligamentos forman fundamentalmente revestimientos de superficies óseas en las articulaciones.

Las funciones del esqueleto son:

- Soporte o armazón resistente donde se inserten los músculos permitiendo el movimiento.
- Sostener los tejidos blandos.
- Proteger ciertos órganos delicados, como cerebro, médula, pulmones.
- Es el reservorio de calcio y fósforo más importante del cuerpo y el sitio de formación de glóbulos rojos y algunos glóbulos blancos en tejidos particulares de la médula ósea.

59.2.1. Composición de los huesos: Materia orgánica y mineral.

La mayor parte del tejido está ocupado por la sustancia intercelular, comprende una porción orgánica (**osteína**) con abundantes fibras de colágeno que dota de elasticidad al hueso y una porción inorgánica impregnada de sales cálcicas (fosfatos, carbonatos, fluoruros) que proporciona dureza y fragilidad al hueso. La proporción de ambas va variando a lo largo de la vida del hombre, con la edad va aumentando la cantidad de sales minerales y disminuyendo la proporción de materia orgánica, lo que supone que a la vejez los huesos son más quebradizos. El contenido en agua del hueso es de un 25 %.

La parte orgánica, en huesos frescos, se puede eliminar por calcinación, mientras que los ácidos atacan la parte mineral, quedando el hueso en idéntica forma, pero flexible.

59.2.2. Forma y estructura de los huesos

De acuerdo con su forma se distinguen cuatro clases de huesos:

1. **Largos.** La longitud predomina sobre el resto de dimensiones. Los encontramos en las extremidades. Presentan una porción cilíndrica y hueca (**diáfisis**) y dos extremos más voluminosos (**epífisis**).
2. **Alargados.** Por ejemplo, los de las costillas en los que si bien predomina la longitud, son aplanados y carentes de diáfisis hueca como en los largos.
3. **Cortos.** Las tres dimensiones son similares. Los encontramos en la muñeca, dedos, etc.
4. **Planos.** Tienen dos dimensiones similares que sobrepasan bastante la tercera. Abundan en el cráneo, cara, etc.

En las secciones transversales de los huesos se pueden observar partes que presentan muchas cavidades intercomunicantes y otras partes que no presentan estas cavidades. El primer tipo se llama **hueso esponjoso** y el segundo **hueso compacto**.

La diáfisis de los huesos es casi totalmente compacta; sólo en la parte profunda hay algo de hueso esponjoso. En cambio, las epífisis están formadas por hueso esponjoso excepto la delgada capa superficial que es compacta.

Los huesos cortos tienen un centro esponjoso y la periferia compacta. Los huesos planos presentan dos capas compactas separadas por hueso esponjoso. En general, la capa superficial de los huesos es compacta y las partes interiores esponjosas.

Las cavidades del hueso esponjoso está ocupada por la médula ósea roja o hematógena. En el hueco de la diáfisis (canal medular) de los huesos largos hay médula amarilla constituida por tejido adiposo.

Los huesos tienen las superficies externas e internas cubiertas por envolturas conjuntivas (**periostio** y **endostio**), respectivamente. Sus funciones son las de nutrir el tejido óseo y suministrar osteoblastos para el crecimiento y reparación de los huesos.

59.2.3. Accidentes de los huesos:

Independientemente de la forma que presenten los huesos, su superficie suele presentar accidentes de diversa naturaleza que pueden ser salientes o cavidades. Ambos pueden servir para encajar en otro hueso (accidentes articulares o bien para inserciones musculares o alojamiento de determinados órganos).

- **Salientes:** Cóndilos, trócleas, crestas y apófisis.
- **Depresiones o cavidades:** Articulares (cavidades cotiloideas y glenoideas); No articulares (fosas, escotaduras, etc.).

59.2.4. Formación y crecimiento de los huesos

En la formación de los huesos se distinguen las siguientes fases:

- a) Primero se acumulan ciertas células en cada uno de los espacios donde se formarán los huesos constituyendo piezas membranasas o precartilaginosas.
 - b) Durante una segunda fase estas piezas se transforman en cartílagos. El esqueleto del embrión está constituido al principio por cartílago.
 - c) Finalmente el tejido óseo va sustituyendo al cartílago. Estas transformaciones son lentas y progresivas y no siempre son sustituidos los cartílagos por huesos, como ocurre en la laringe.
- Puede ocurrir que la osificación se lleva a cabo directamente a partir de las piezas membranasas (**osificación intramembranosa o conjuntiva**); si se inicia a partir de un modelo cartilaginosa se llama **osificación condral o endocondral**.

Los huesos crecen al formarse tejido óseo nuevo, a la vez que se destruye parcialmente el hueso existente. La forma del hueso se mantiene durante el crecimiento.

Los huesos largos crecen en longitud y espesor, su osificación es de tipo condral. Los huesos cortos tienen osificación condral a partir del centro de los mismos; los planos, de osificación intramembranosa, crecen al formar el periostio tejido óseo en la cara externa y producirse, a la vez, resorción en la cara interna.

El crecimiento en longitud se debe a la actividad de un disco cartilaginoso (cartílago epifisario o de conjunción), que separa la epífisis de la diáfisis. El cartílago crece en el sentido de la epífisis y de la diáfisis al mismo tiempo que es sustituido por tejido óseo en uno y otro lado. Cuando se osifica este cartílago (entre los 20 y 25 años) cesa el crecimiento en longitud del hueso.

El crecimiento en espesor de los huesos se debe a la formación de nuevas capas de tejido óseo en la superficie externa originada por el periostio. A la vez hay resorción de tejido óseo desde dentro hacia afuera aumentando el tamaño del canal medular. El depósito de nuevo tejido óseo (reparación y mantenimiento del hueso) está regulado, entre otros, por factores hormonales (calcitonina del tiroides y paratohormona del paratiroides, ver tema 58).

59.2.5. Las articulaciones

Son estructuras mediante las cuales los huesos se unen entre sí, y constituyen junto con los huesos la parte estática del aparato locomotor¹. Se clasifican en tres grupos:

- **Inmóviles o sinartrosis.** Impiden el movimiento entre los huesos. Se clasifican en "sinfibrosis" si el tejido que une los huesos es conjuntivo fibroso (suturas craneales), y "sincondrosis" si es cartilaginoso (articulaciones de las costillas con el esternón).
- **Semimóviles o anfiartrosis.** Se caracterizan porque los huesos están unidos por fibrocartílago, como sucede con las articulaciones de los cuerpos vertebrales. Sólo permiten pequeños movimientos. El disco cartilaginoso fibroso, existente entre las superficies articulares, los mantiene unidos por ligamientos.
- **Móviles o diartrosis.** Son las que permiten una mayor amplitud de movimientos. Se encuentran, generalmente, entre los huesos largos; en la rodilla, en el codo, etc. La porción fibrosa que une los extremos óseos se llama cápsula articular, dentro de la cual está la cavidad articular, que contienen un líquido incoloro, viscoso y transparente (**sinovia**). La sinovia actúa como lubricante de las superficies articulares, las cuales están revestidas de cartílago hialino. Varios ligamientos (músculos) contribuyen a unir los huesos.

En la articulación de la cadera, la extremidad articular del fémur (cóndilo) penetra en la cavidad glenoidea de la cintura pélvica, lo que permite movimientos en todos los planos posibles. Es la que tiene una máxima movilidad.

59.3. Descripción del esqueleto humano:

El nº de huesos que se suele encontrar en el esqueleto de los humanos es de 206. Este nº varía según las diferentes épocas de la vida. Lo podemos considerar, para su estudio, dividido en varias partes: esqueleto de la cabeza, del tronco y de las extremidades.

La cabeza consta del cráneo y de la cara y se une, mediante el cuello al tronco. Éste está formado por la columna vertebral o esqueleto axial, las costillas, que se apoyan en las vértebras y el esternón. Las extremidades son cuatro (dos anteriores y dos posteriores) y se unen al tronco mediante las correspondientes cinturas.

¹ la parte dinámica la constituyen los músculos

59.3.1. Esqueleto de la cabeza:

Distinguiremos entre los huesos del cráneo y los de la cara:

HUESOS DEL CRÁNEO:

Forman la cavidad craneana que contiene y protege al encéfalo. El cráneo está constituido por ocho huesos: 1 frontal, 1 occipital, 1 etmoides, 1 esfenoides, 2 parietales y dos temporales.

Frontal. Es un hueso medio, plano e impar a partir de los dos años de edad; hasta entonces es par. Se articula con el borde posterior con los parietales y por abajo con el etmoides y esfenoides y varios huesos de la cara. Forma la frente y los bordes orbitarios o arcos ciliares sobre las órbitas donde se alojan los ojos.

Occipital. Forma la nuca y está perforado por el agujero occipital, que comunica la cavidad craneana con el conducto raquídeo, que contiene la médula espinal. Se articula, por su parte superior, con los dos parietales, haciéndolo además con el esfenoides y los dos temporales. A los lados del agujero occipital están los cóndilos occipitales que articulan el cráneo con la primera vértebra (atlas).

Etmoides. Se encuentra en la base del cráneo ocupando el fondo de las fosas nasales. Consta de:

- Una lámina horizontal (lámina cribosa²), de cuyas porciones laterales parten dos masas en forma de cubo alargado, y
- de una lámina perpendicular o sagital en posición vertical. La lámina cribosa divide a la lámina perpendicular en dos partes: una superior (apófisis crista galli), y otra inferior, que forma parte del tabique de la fosa nasales. Cada una de las masas laterales presenta dos láminas, que son: cornete superior y medio.

Esfenoides. Está en la parte media de la base del cráneo, detrás del etmoides y delante del occipital. Consta de un cuerpo cuboideo, del que salen lateralmente un par de alas menores y otro par de alas mayores, y hacia abajo, un par de apófisis pterigoides. En la cara del cuerpo que mira a la cavidad craneana está la fosa hipofisaria, donde se aloja la hipófisis; la fosa y los demás constituyentes óseos que la limitan reciben el nombre de silla turca.

Parietales. Son dos huesos situados en el techo y pared lateral del cráneo, se unen entre sí según la línea media superior del cráneo. Tienen forma rectangular y se unen con el frontal, con el occipital y con los temporales.

Temporales. Se distinguen tres porciones: premastoides, escamosa y timpánica.

- La **porción premastoides** está constituida por el peñasco o porción petrosa que forma parte de la base del cráneo y en su interior está alojado el oído, y por la apófisis mastoidea, que se puede palpar detrás de la oreja. De la porción petrosa sale en dirección descendente la apófisis estiloides, que es larga y punzante.
- La **porción escamosa o concha** forma parte de las paredes del cráneo y presenta la apófisis cigomática dirigida hacia delante. Esta apófisis se articula con el hueso de la cara, denominado malar o cigomático, con el que forma el arco cigomático o "asa de la calavera". En la raíz de la apófisis cigomática y delante del orificio auditivo está la cavidad glenoidea, que se articula con el cóndilo de la mandíbula.
- La **porción timpánica** es un canal óseo que forma el conducto auditivo externo y contribuye con la escama a formar el orificio auditivo externo y la cavidad glenoidea.

HUESOS DE LA CARA

Su esqueleto está formado por 15 huesos: 2 maxilares, 2 palatinos, 2 malares, 2 cornetes inferiores, 2 ungüis, 2 nasales, 1 vómer, 1 mandíbula y 1 hioides. A éstos hay que añadir los huesecillos del oído medio.

² Está atravesada por numerosos orificios destinados a dejar paso a los nervios olfatorios.

Maxilares (superiores). Están provistos de alvéolos sobre los que se implantan los dientes. Cada maxilar consta de un cuerpo y varias apófisis, entre las que merecen mención: la apófisis frontal, cuyo extremo se articula con el frontal, y la apófisis palatina, que forma las 3/4 partes de la bóveda del paladar ósea.

Palatinos. En cada palatino se distingue una lámina ósea horizontal y otra vertical formando un ángulo recto: la lámina horizontal o palatina forma la cuarta parte posterior de la bóveda del paladar. La lámina vertical forma parte de la pared de las fosas nasales.

Malares o cigomáticos son los huesos de la mejilla (pómulos) y completan con la apófisis cigomática el "asa de calavera".

Cornetes inferiores o conchas inferiores tienen forma alargada y arqueada; están situados en las fosas nasales, debajo de los cornetes del etmoides.

Unguis o huesos lacrimales se encuentran en la pared interna de la cavidad orbital, tienen forma de uña. Tienen forma de laminilla cuadrangular y presentan un canal por el que pasan las lágrimas hasta las fosas nasales.

Nasales. Son dos huesos rectangulares que forman la parte superior de la nariz. Se articulan entre sí y con la porción nasal del frontal.

Vómer. Es un hueso plano y tiene forma de reja de arado. Se articula, en parte, con la lámina perpendicular del etmoides y forma la porción posterior y dorsal del tabique medio de la cavidad nasal.

Mandíbulas o maxilar inferior. Es el único hueso de la cabeza que puede realizar amplios movimientos. En la mandíbula se pueden distinguir: el cuerpo y dos ramas. El cuerpo, en forma de arco, presenta los alvéolos donde se implantan los dientes inferiores y unas eminencias o tubérculos mentonianos, que forman el mentón o barbilla. Las ramas tienen en sus extremos dos salientes mediante los cuales se articula con los temporales: el cóndilo con el que se articula con la cavidad glenoidea del temporal correspondiente, y la anterior o apófisis coronoides; la escotadura sigmoidea es el espacio que separa ambas.

Hioides. Tiene forma de U y está situado en la base de la lengua. Se une al cartílago tiroideo de la laringe mediante la membrana tirohioidea. En cada uno de sus dos extremos posteriores presentan una apófisis grande (grandes astas) y otra más pequeña (pequeñas astas).

Los huesecillos del oído medio forman una cadena de tres que se extienden desde el tímpano hasta la ventana oval del oído y son el martillo, el yunque y el estribo.

El Esqueleto visceral. Muy desarrollado en los vertebrados inferiores como los peces en los que constituye una importante parte del cráneo. En el hombre está representado por los maxilares, hioides y huesecillos del oído.

59.3.2. Esqueleto del tronco

Comprende el esqueleto axial o columna vertebral y la caja torácica.

LA COLUMNA VERTEBRAL

Tiene su origen en las masas celulares que rodean la notocorda del embrión en sus primeros estadios de desarrollo. Estas masas celulares (**esclerotomos**), tienen una disposición segmentaria y junto con la cuerda dorsal representan el esbozo membranoso de la columna vertebral.

A partir de los esclerotomos se forman una serie de vértebras cartilaginosas, que quedan separadas entre sí por un **disco intervertebral conjuntivo**.

Después comienza la osificación de las vértebras cartilaginosas, y hasta los 16 ó 20 años no se osifica completamente la columna vertebral.

El conjunto de **vértebras** forma un tallo flexible y resistente. Tiene forma de S por la presencia de cuatro curvaturas que de arriba abajo son: la cervical convexa por delante, la dorsal convexa por detrás, la lumbar convexa por delante y la sacra convexa por detrás. Estas curvaturas logran que la postura vertical del cuerpo sea recta. Además, el equilibrio del cuerpo sobre las caderas es perfecto, y las líneas de fuerza transmitidas por la columna vertebral, se continúa a lo largo de las extremidades inferiores, hasta apoyar en el plantar.

Cada vértebra está formada por una porción ventral voluminosa y maciza denominada cuerpo vertebral, y un arco aplanado, el arco vertebral, que limita el orificio vertebral.

El conjunto de orificios vertebrales forman el conducto vertebral en el que se encuentra la médula espinal. Sobre el arco vertebral existen apófisis: dos laterales o transversas, una dorsal o apófisis espinosa y cuatro verticales (apófisis articulares), destinadas a articular cada vértebra con la que tiene encima y debajo.

Tipo de vértebras.

La columna vertebral se extiende desde la base del cráneo hasta el extremo caudal del tronco y en ella se distinguen las siguientes regiones: cervical, dorsal, lumbar, sacra y coxígea.

Región cervical. Consta de siete vértebras pertenecientes al cuello. Estas vértebras tienen la apófisis transversa rudimentaria, el cuerpo de escasa altura y el orificio vertebral triangular y muy ancho.

La primera vértebra o atlas, la segunda o axis y la séptima o prominente difieren bastante de las demás. El atlas carece de cuerpo y de apófisis espinosa; sobre ella descansa la cabeza. El axis presenta una prolongación ascendente, la apófisis odontoides, que se introduce en el agujero vertebral del atlas y sobre la cual éste puede girar y, por tanto, la cabeza. La vértebra prominente es ostensible por su apófisis espinosa, especialmente larga y gruesa.

Región dorsal. Está integrada por 12 vértebras, las cuales se articulan con las costillas que forman con éstas y con el esternón la caja torácica; por ello, se llaman vértebras dorsales o torácicas.

Región lumbar. Consta de 5 vértebras de voluminoso cuerpo, en cuyas apófisis transversas aparecen unos rudimentos de costillas que se denominan apéndices costiformes. Los orificios vertebrales son triangulares y las apófisis espinosas robustas y dirigidas dorsalmente.

Región sacra. Constituida también por 5 vértebras soldadas entre sí, que originan un único hueso (sacro). Tiene forma triangular, con la base hacia arriba, se articula con los huesos coxales y forma la pelvis.

Región coxígea. Está formada por dos a 5 vértebras rudimentarias reunidas en un sólo hueso que se llama coxis o cóccix.

LA CAJA TORÁCICA:

Sobre la región dorsal de la columna vertebral se insertan dos pares de arcos esqueléticos aplanados denominados costillas, que con el esternón forman la caja torácica o tórax óseo.

Cada costilla consta de una porción ósea y otra porción cartilaginosa ventral más pequeña. En el extremo posterior presentan una cabeza y una tuberosidad mediante la que se articulan con las vértebras dorsales mediante las articulaciones vertebrocostales, y con el esternón con las articulaciones costoesternales. Las siete primeras costillas se articulan con el esternón (**costillas esternales**). Las tres siguientes se unen entre sí y a la séptima por sus cartílagos (costillas asternales fijas o **costillas falsas**). Las dos últimas tienen su extremo ventral libre (**costillas asternales flotantes**).

Esternón. Es una lámina ósea en forma de espada constituida por tres porciones: una más ancha y superior (manubrio o mango esternal) en la que se articula la clavícula y el primer par de costillas; le sigue el cuerpo u hoja a cuyo nivel se articulan los 6 pares siguientes de costillas y, por último, el apéndice xifoides, cartilaginosa y de forma puntiaguda.

59.3.3. Esqueleto de las extremidades

En el esqueleto de las extremidades distinguiremos la extremidad libre propiamente dicha y las piezas esqueléticas que la unen al tronco, las cuales reciben el nombre de cintura o cingulo. Como es natural, hay una cintura escapular para la extremidad anterior y una cintura pelviana para la extremidad inferior. Las extremidades anteriores o superiores realizan movimientos amplios y de gran exactitud. Las posteriores o inferiores tienen por misión la sustentación del cuerpo y el desplazamiento.

EXTREMIDADES ANTERIORES:

Cintura escapular o torácica: Está formada por dos huesos: la clavícula y el omóplato.

Clavícula. Está delante, en la parte superior del tórax. Tiene forma de S muy alargada y se articula por su extremo interno con el borde superior del esternón y por el externo con la apófisis acromión del omóplato. Su misión es impedir que el hombro se desvíe hacia adelante.

Omóplato. Está situado en la parte posterior del tórax. es plano, muy ancho y de forma triangular. En la cara posterior existe un relieve transversal, la espina del omóplato, que se continúa con una gran apófisis (acromión) por donde se articula, como hemos dicho, con la clavícula. En el ángulo externo del hueso está la cavidad glenoidea del omóplato, con la que se articula el hueso del brazo (húmero).

En el borde superior y hacia el ángulo externo se encuentra la apófisis coracoides (hueso independiente en los demás vertebrados). El omóplato corresponde, pues, a la soldadura de la escápula y el coracoides.

Extremidad superior libre:

En ella se distingue: el brazo, el antebrazo y la mano. El esqueleto del brazo está formado por un sólo hueso (húmero), el antebrazo por dos (cúbito y radio), y el esqueleto de la mano consta de los huesos carpo (muñeca), de los del metacarpo (palma de la mano) y falanges (dedos).

Húmero. Es un hueso largo típico (diáfisis, epífisis superior e inferior). La diáfisis tiene su mitad superior casi cilíndrica y la inferior en forma de prisma triangular. La epífisis superior (cabeza) es casi esférica y se articula con la cavidad glenoidea del omóplato.

La inferior presenta una zona articular en medio de dos eminencias laterales no articulares. En la zona articular hay una parte interna (tróclea o polea humeral) por donde se articula el extremo superior del cúbito, y una externa o cóndilo humeral en la que se articula la cabeza del radio. Por encima de la tróclea se encuentra una depresión (fosa olecraniana) donde se aloja la apófisis del mismo nombre del cúbito.

Cúbito o ulna. Se dispone paralelo, externamente, con el radio cuando dirigimos las palmas de la mano hacia adelante. Su diáfisis es prismática triangular. La epífisis superior tiene una cavidad (sigmoidea del cúbito), donde se articula con la tróclea del húmero; la apófisis olécranon, que acaba en pico, se aloja en la cavidad del mismo nombre del húmero (al estirar el brazo e impidiendo que el brazo se dirija hacia atrás. La epífisis inferior (cabeza del cúbito) es una superficie convexa, cuyo extremo distal se articula con el carpo.

Radio. Permite los movimientos de pronación (pulgar hacia dentro) y de supinación (pulgar hacia fuera). La epífisis superior presenta concavidad (cúpula del radio), mediante la que se articula con el cóndilo humeral. La epífisis distal tiene una superficie articular para los huesos del carpo.

Carpo: Está integrado por 8 huesecillos carpianos, dispuestos en dos filas. Los cuatro de la primera, desde el borde del radio al del cúbito, son: Escafoides, Semilunar, Piramidal, Pisiforme. Los cuatro de la segunda fila y siguiendo el mismo orden son: Trapecio, Trapezoides, Grande y Ganchoso.

Metacarpo. Está formado por cinco huesos (metacarpianos) y se conocen con el nombre de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto, comenzando desde la parte del pulgar. Se articulan con los huesos de la segunda fila del carpo y con las falanges.

Falanges o dedos. Son tres en cada dedo, excepto en el pulgar que sólo hay dos. Se denominan falange, falangina y falangeta, o bien, primera, segunda y tercera falange.

EXTREMIDADES INFERIORES:

Cintura pelviana:

También llamada cingulo abdominal está formada por un hueso (Coxal), que se articula por detrás con el sacro y por delante con el coxal del otro lado. Así forman un grueso anillo óseo (**pelvis**), que sostiene los órganos abdominales.

El esqueleto de la cintura pelvina de todos los tetrápodos consta de tres elementos óseos: **ileon, isquion, pubis**. En el hombre, y mamíferos en general, están los tres huesos unidos.

El ilion está en posición dorsocraneal y forma las caderas; el isquion está en posición caudodorsal, y el pubis se sitúa caudoventralmente. En la zona de confluencia de los tres huesos está la cavidad cotiloidea, que se articula con la cabeza del hueso del muslo (fémur). Entre el isquion y el pubis hay un gran orificio (agujero isquiopubiano u obturador).

Extremidad inferior libre:

Comprende el muslo, la pierna y el pie. De forma similar al esqueleto de la extremidad superior, el esqueleto del muslo consta de un solo hueso (fémur), dos en la pierna (tibia y peroné); estando formado el esqueleto del pie por los huesos del tarso (talón), metatarso (planta del pie), y las falanges de los dedos.

Fémur. Es el hueso más grande del cuerpo humano. Su diáfisis es ligeramente curva, presenta la concavidad hacia atrás; por la cara anterior es casi cilíndrico y posteriormente ofrece una cresta. La epífisis superior (cabeza del fémur), se articula con la cavidad cotiloidea del hueso coxal, y se une con la diáfisis por el cuello femoral, debajo del cual se localizan dos tuberosidades (trocanteres). La epífisis distal acaba en dos gruesos cóndilos femorales, entre los que se localiza la tróclea femoral, por donde se articula con la tibia.

Tibia. Se dispone paralela, por el exterior, con el peroné. Su diáfisis es prismática triangular (la arista anterior forma la espinilla). La epífisis anterior presenta dos gruesas prominencias (cóndilos), con dos cavidades glenoideas, sobre las que descansan los cóndilos femorales; la epífisis distal se articula con el hueso astrágalo del tarso, y en el lado interno presenta una apófisis (maléolo interno) que forma la prominencia ósea de la cara interna del tobillo.

Peroné o fíbula. Es largo y delgado. Por su extremo superior se articula con la tibia y por el inferior con el tarso y la tibia. En su parte inferior presenta una apófisis que corresponde a la base ósea de la cara externa del tobillo.

Entre el fémur y la tibia, en la rodilla, hay un hueso discoidal que se encuentra flotante la **Rótula**. Este hueso impide que la pierna se doble hacia adelante.

Esqueleto del pie

Consta de 26 huesos: 7 tarsianos, 5 metatarsianos y 14 falanges. Si se compara con el esqueleto de la mano se observa que el metatarso y las falanges del pie aparecen con el mismo nº de huesos que el metacarpo y falanges de la mano, respectivamente; incluso reciben denominaciones similares. En cambio el tarso tiene un hueso menos; el pisiforme no está representado.

El esqueleto del pie se puede considerar formado por dos hileras de huesos: Astrágalo (que se articula mediante una tróclea con la tibia), Escafoides, tres cuneiformes o cuñas (1º, 2º y 3º) y el 1º, 2º y 3º metatarsiano. La hilera externa está formada por el Calcáneo (su cara posterior forma el talón), cuboides y el 4º y 5º metatarsiano.

Las falanges forman el esqueleto de los dedos, y el pulgar sólo posee la primera y la última.

59.4. Los músculos:

La parte activa del aparato locomotor está constituida por los músculos y desempeña una doble misión: dinámica y estática. Los músculos realizan los movimientos de los huesos y, además, mantienen la posición o postura del cuerpo humano.

Los músculos del aparato locomotor tienen color rojo o pardo rojizo y forman la carne. Son de fibra estriada, reciben nervios del sistema nervioso central y se contraen voluntariamente. Contienen proteínas específicas para la contracción muscular (ver apartado 59.5).

Los músculos tiran de los huesos al contraerse. Los distintos movimientos que resultan, dependen de la articulación y de la relación de los músculos con los huesos. En efecto, los huesos actúan como palancas, las articulaciones como los puntos de apoyo y los músculos, al contraerse, como la fuerza que mueve los huesos.

59.4.1. Estructura del músculo propiamente dicho

ESTRUCTURA DE LAS MIOFIBRILLAS (OPCIONAL)

La mayor parte del citoplasma de las células o fibras musculares está ocupado por haces de miofibrillas. La unidad estructural y funcional de las miofibrillas es el **sarcómero**. La repetición de sarcómeros es lo que da el aspecto estriado a la fibra muscular.

Un sarcómero es una estructura cilíndrica, de cuyos extremos parten hacia el interior unas estructuras proteicas llamadas filamentos delgados. En la parte central del sarcómero existe un haz de filamentos gruesos, también de naturaleza proteica, que se intercalan regularmente entre los filamentos delgados, de modo que cada filamento grueso está rodeado por seis filamentos delgados, y cada filamento delgado separa dos o tres filamentos gruesos.

El filamento delgado tiene aspecto de cuerda de nudos: el equivalente de la "cuerda" es un polímero de la proteína **actina**, y los "nudos", dispuestos a intervalos regulares, están constituidos por la proteína globular **troponina**.

El filamento grueso consta fundamentalmente de unas 400 moléculas de **miosina**, formando un haz compacto. La miosina es una proteína en forma de "palo de golf", cuya cabeza puede apartarse elásticamente del haz de miosina que forman el filamento grueso.

CONSTITUCIÓN DEL MÚSCULO

Los músculos están formados por millones de fibras musculares. Las fibras musculares estriadas están agrupadas formando fascículos musculares; cada fibra está unida a las demás por una capa muy fina de tejido conjuntivo (**endomisio**). Los fascículos, a su vez, están agrupados y unidos por tejido conjuntivo (**perimisio interno**). Este conjunto de fascículos rodeado por una membrana externa de tejido conjuntivo (**perimisio externo o perimisio**), es lo que denominamos músculo.

El perimisio interno está constituido por los septos que parten del perimisio externo y se dirigen hacia el interior del músculo.

Por el perimisio llegan vasos sanguíneos que se ramifican y forman una red capilar distribuida paralelamente a las fibras musculares. Esta red capilar nutre al músculo. Asimismo por el perimisio llegan los nervios que conducen los estímulos.

59.4.2. Clasificación fisiológica de los músculos:

Atendiendo a la forma de los músculos se clasifican en largos, anchos y cortos.

Los **largos** pueden ser fusiformes y aplanados; los primeros son más gruesos por el centro y los segundos tienen el mismo grosor a lo largo de las fibras.

Cuando hay dos músculos acoplados de manera que si uno se contrae otro se relaja, se dice que son **antagonistas**. Si actúan para acercar o separar dos partes de un miembro se llaman flexores y extensores, respectivamente.

Si las partes movidas se acercan hacia el eje central los músculos se llaman aductores. Si se alejan de dicho eje se llaman abductores.

Los elevadores y depresores levantan o bajan, respectivamente, diferentes parte. Los pronadores y supinadores provocan un giro hacia abajo, los primeros y hacia arriba, los segundos.

Los esfínteres y los dilatadores cierran o abren un orificio. Los orbiculares bordean una abertura en forma de ojal. Estas tres clases de músculos no producen movimientos de huesos, pues no se insertan sobre ellos.

59.4.3. Inserciones musculares.

En los músculos se distinguen una porción intermedia o cuerpo (vientre en los músculos fusiformes), y dos porciones externas o inserciones, por las cuales se unirán a los huesos. La mayoría de los músculos están provistos de tendones, mediante los cuales se verifica dicha unión.

Los **tendones** son blancos y están formados por tejido conjuntivo fibroso. Sus fibras no son elásticas y forman haces separados por conjuntivo laxo, el cual, a su vez, envuelve a todos los fascículos del tendón formando el peritenonio.

En los músculos anchos los tendones son aplanados y forman láminas blancas y brillantes (**aponeurosis**).

Cada una de las porciones extremas del músculo recibe su nombre particular: Inserción de origen o cabeza al extremo proximal, y cola o inserción terminal al distal.

Cuando un músculo toma su inserción de origen por dos cabezas se denominan bíceps; si es por tres, tríceps; si es por cuatro, cuadríceps. Si toma su inserción muscular por dos colas, se denomina bicaudal; tricaudal si tiene tres o policaudal, cuando son varias.

59.4.6. Nomenclatura topográfica de los músculos:

El cuerpo humano posee numerosos músculos (unos 500), pero sólo estudiaremos los más importantes de cada una de las siguientes regiones: cabeza, cuello, tronco, extremidades superiores e inferiores.

MÚSCULOS DE LA CABEZA

Dentro de ellos, de acuerdo con el origen, se clasifican en dos grupos:

Músculos masticadores.

Entre ellos destacamos los que provocan la ascensión de la mandíbula inferior, interviniendo de forma notoria en la masticación:

Temporal. En forma de abanico, se extiende desde el hueso temporal hasta la mandíbula inferior pasando por el arco cigomático.

Masetero. Tiene forma de cuadrilátero y se extiende desde al arco cigomático hasta la cara externa de la rama mandibular inferior.

Pterigoideos. Hay uno medial y otro lateral, tienen su inserción de origen en la apófisis pterigoides del esfenoides y se extienden hasta el ángulo de la mandíbula, el primero, y hasta el cóndilo de la misma, el segundo.

Músculos mímicos

Son los responsables de los gestos de la cara que expresan el estado de ánimo. Pueden desempeñar esta función porque alguna de sus partes se insertan en la piel a la que imprimen movimiento.

- **Occipital.** Mediante su contracción favorece la acción del frontal.
- **Frontal.** Ascende las cejas y arruga la frente (expresión de atención).

- **Buccinador.** Forma la mayor parte de las mejillas y su contracción aumenta el tamaño transversal de la boca. (hinchon los carrillos y sirven para silbar).
- **Orbicular de los párpados.** Cierra los ojos.
- **Orbicular de los labios.** Cierra la boca
- **Risorio.** Se sitúan en medio de la mejilla, tiran hacia atrás de la comisura de los labios originando la sonrisa.
- **Nasal.** Estrecha el orificio de la nariz y produce arrugas en la piel de la misma.
- **Elevador del labio superior.** También eleva el ala de la nariz y descubre la parte interna del labio superior.
- **Cuadrado de los labios.** es depresor del labio inferior.
- **Cigomáticos mayor y menor.** Llevan hacia afuera y arriba la piel del labio superior y la comisura labial, respectivamente.

MÚSCULOS DEL CUELLO:

Son los responsables de los amplios movimientos de la cabeza. Como el esqueleto del cuello es reducido se favorece la libertad de movimientos. Se dividen en tres grupos: dorsal y músculos de la nuca, ventrolateral y grupo de músculos de origen cefálico.

Grupo dorsal

Trapezio. Tienen forma triangular, pero reciben este nombre porque entre los de ambos lados recuerdan a la forma trapezoidal. Se insertan en el occipital, a lo largo de las vértebras cervicales y dorsales, y en el omóplato. Ocupan, pues, la nuca y parte de la espalda. Su misión es elevar el hombro y desplazarlo hacia atrás.

Grupo ventrolateral:

- **Escalenos.** Se originan en las apófisis transversas de las vértebras cervicales y se insertan en las dos primeras costillas a las que sostienen y elevan.
- **Hioideos.** Se sitúan en posición ventral respecto al hueso hioides, cartílago tiroides y mandíbula. Actúan como depresores de la mandíbula.
- **Prevertebrales.** Al contraerse flexionan la cabeza.

De origen cefálico:

- **Cutáneo.** Se extiende desde la parte superior del tórax hasta las comisuras labiales cubriendo la cara ventral del cuello. Lleva las comisuras hacia abajo y contribuye al descenso de la mandíbula.
- **Esternocleidomastoideo.** Se extiende desde la apófisis mastoides del temporal hasta el mango del esternón y la clavícula. Su contracción produce la rotación de la cabeza. Si se contraen los dos esternocleidomastoideos a la vez inclinan la cabeza hacia adelante.
- **Digástrico.** Tiene como misión bajar la mandíbula inferior. Va desde el temporal (apófisis mastoides), al hioides y de éste al ángulo anterior de la mandíbula inferior (cara interna de la barbilla). Su nombre se debe a que está formado por dos vientres o abultamientos separados por un tendón; uno entre la apófisis mastoides y el hioides y el otro entre éste y la mandíbula inferior.

MÚSCULOS DEL TRONCO

Para estudiar los músculos del tronco establecemos tres grupos: troncoescapulares, del tórax y del abdomen.

En la parte inferior del tronco los músculos no son comparables a los troncoescapulares, pues la función que desempeñan las extremidades inferiores (sustentación del cuerpo y locomoción), es diferente a las de las extremidades superiores (movimientos amplios y precisos). Los músculos de la cintura pelviana se estudiarán con los de las extremidades inferiores.

Músculos troncoescapulares

Tienen su inserción de origen en el esqueleto del tronco o en los huesos de la cintura escapular y su inserción terminal es la extremidad superior del húmero. Producen el movimiento de la articulación escapulohumeral. Los más importantes son:

- **Trapezio.** Ya descrito en el cuello.
- **Deltoides.** Es el músculo del hombro y su nombre se debe al parecido que tiene con la forma triangular de la letra griega delta (Δ). Su contracción levanta el brazo y lo desplaza hacia delante y hacia atrás. Se inserta en el omóplato y clavícula y el húmero.
- **Dorsal ancho o gran dorsal.** Es el músculo de mayor superficie del cuerpo humano. Se origina en las últimas vértebras, cubre el dorso y se extiende hasta el omóplato hasta insertarse en el húmero. Su acción es antagónica a la de los pectorales mayores, determinando el desplazamiento de los brazos hacia adelante y hacia atrás.
- **Pectoral mayor.** Se extiende entre la clavícula y esternón, cubre la parte anterior del pecho y sus fibras, en forma de abanico, convergen hacia el hombro. Al contraerse aproximan los brazos.
- **Serrato mayor.** Se origina formando digitaciones (a lo que debe el nombre) en la parte lateral de las 9 ó 10 primeras costillas y va acoplándose a la pared del tórax hasta insertarse en el omóplato. Elevan el hombro.

Músculos del tórax

- **Costales,** intercostales, supracostales y subcostales. Son elevadores y depresores de las costillas y tienen importancia en los movimientos respiratorios.
- **Músculo toracoabdominal o diafragma.** Tiene forma circular abovedada y separa la cavidad torácica de la abdominal; su contracción hace que se aplane, con lo cual aumenta el volumen de la cavidad torácica y permite la entrada de aire durante la inspiración. Se inserta por detrás de la última vértebra dorsal y primeras lumbares; a los lados, en la cara interna de las costillas y delante en la apófisis xifoides del esternón. Tiene tres orificios por los que pasan, el esófago, la vena cava inferior y la arteria aorta.

Músculos del abdomen

Forman la mayor parte de las paredes abdominales y se contraen de forma refleja cuando algún agente ejerce presión sobre ellos. Esta propiedad permite reconocer procesos inflamatorios en las vísceras abdominales cuando aquéllos alcanzan la hoja visceral del peritoneo, pues las paredes abdominales se endurecen a consecuencia de la contracción. Los más notables son los siguientes.

- **Recto mayor del abdomen.** Está situado ventralmente, al lado de la línea media desde el pubis hasta los cartílagos de las costillas. Colabora en la eliminación del contenido intestinal, en la micción, vómito, etc. Presenta una típicas fajas tendinosas transversales, y entre los de ambos lados se encuentra la llamada "línea blanca o alba" del abdomen, que es la aponeurosis que se extiende como ellos desde la apófisis xifoides del esternón, al pubis.
- **Oblicuos externo o mayor del abdomen.** Es el mayor músculo del abdomen y el segundo en extensión el cuerpo. Cubre al anterior, y se extiende desde las porciones laterales de las costillas hacia adelante hasta terminar en una aponeurosis común con el del otro lado que se inserta en el pubis. Al contraerse doblan también el tórax hacia abajo.

MÚSCULOS DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES:

En los músculos de la extremidad superior libre se pueden distinguir dos grupos: los del brazo y los del antebrazo y mano.

Músculos del brazo

Se insertan en el cúbito o en el radio. Los más importantes son:

- **Bíceps braquial.** Ventral y antagonista al tríceps (flexiona el antebrazo). Posee dos vientres o ramas que se insertan en el omóplato, las cuales se reúnen inferiormente en una que se inserta cerca de la cabeza del radio.
- **Tríceps braquial.** Dorsal, extiende el antebrazo. Tiene su extremo superior dividido en tres ramas que se insertan, una de ellas en el omóplato y las otras dos en el húmero, mientras que el único extremo inferior, se inserta en la apófisis olecranon del cúbito.

Músculos del antebrazo y mano: Son muy numerosos:

- **Pronadores y Supinadores**, responsables del giro del radio sobre el cúbito. Los primeros van desde la cara anterior del extremo superior del cúbito, hasta el centro de la cara externa del radio, provocando su contracción el cruce de ambos huesos, y en consecuencia el giro de la mano con el dorso hacia arriba. Los supinadores de acción antagonista, van de la parte media del húmero al extremo inferior del radio.
- **Flexores y extensores de los dedos.** Son antagonistas. Los flexores se inician en la parte superior del cúbito y radio, ocupan la cara anterior del antebrazo y se prolongan por unos fuertes tendones que atraviesan la palma de la mano hasta llegar a la falange de los dedos. Los extensores arrancan del extremo inferior del húmero, recorren el antebrazo por su cara posterior y terminan como los flexores en los tendones que cruzando el dorso de la mano se insertan en las falanges.
- **Palmares.** Doblan la mano sobre el antebrazo.

MÚSCULOS DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES

Distinguimos los siguientes grupos: de la cintura pelviana, del muslo y de la pierna y el pie.

Músculos de la cintura pelviana

Tienen su inserción terminal en el fémur y se originan unos en el ilion (dorsales) y otros en el isquion o en el pubis (ventrales). Los dorsales que destacamos son: **Psoas mayor, ilíaco y glúteos** (menor, medio y mayor). Intervienen en la elevación del muslo, inclinación del tronco hacia adelante, abducción del fémur y mantenimiento del equilibrio en la posición bípeda erecta.

Los ventrales contribuyen a mantener el equilibrio de la pelvis y del tronco sobre los dos fémures.

Músculos del muslo

Se insertan en la tibia y el peroné y se pueden clasificar en: anteriores o extensores y posteriores o flexores.

a) Anteriores o extensores:

- **Cuádriceps femoral.** Es de los músculos más voluminosos del cuerpo y el único extensor de la pierna. Ocupa la cara interna del muslo, sus cuatro ramas o vientres se insertan, por arriba, con los trocánteres del fémur, e inferiormente se reúnen en el tendón rotuliano (tiene engastada la rótula en su espesor) que se inserta en la cara externa superior de la tibia.
- **Sartorio** (músculo de los sastres), que flexiona la rodilla y permite cruzar las piernas. Tiene forma acintada y se dirige oblicuamente cruzando el muslo por delante, desde el ilion hasta la cresta de la tibia.

b) Posteriores o flexores:

- **Bíceps femoral.** Flexiona la pierna. Se sitúa en la cara posterior del muslo y se halla formado por dos ramas que se insertan por la parte superior con el isquion y en el fémur, y se reúnen inferiormente en un solo tendón que se sujeta en la cabeza del peroné.
- **Semitendinoso y membranoso**, situados al lado del anterior, con función semejante, poseen un tendón superior que se inserta junto con una de las ramas del bíceps y uno inferior que lo hace con el extremo superior de la tibia.

Músculos de la pierna

- **Tríceps sural** o gastrocnémico que se compone de los **gemelos** que se originan en los cóndilos del fémur y por abajo terminan en el tendón de Aquiles, que se inserta en el hueso calcáneo. Estos músculos son fundamentales en la marcha, salto, etc., pues elevan el talón, extendiendo el pie, y con ello el cuerpo.
- También merecen citarse los músculos **tibial** (anterior y posterior); el anterior desciende por delante de la tibia hasta el pie, al que mueve en varias direcciones, especialmente flexionándolo hacia la pierna.
- **Extensores de dedos**, situado también en la cara anterior, tiene un largo tendón que discurre hacia abajo y por encima del pie se ramifica, llegando a la falange de los dedos.
- **Flexores de dedos**. Desde la cara posterior de la tibia sus tendones llegan a los dedos, atravesando la planta del pie.
- **Músculos del pie**. Tienen su inserción de origen y terminal en los huesos del pie y contribuyen a sostener el peso del cuerpo.

59.5. Fisiología del músculo

En el músculo el impulso mecánico se transforma en trabajo mecánico mediante la contracción muscular. El caso mejor estudiado es la contracción del músculo estriado.

59.5.1. Contracción del músculo estriado esquelético

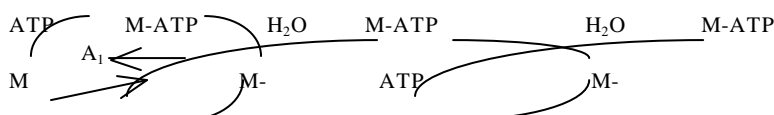
La señal que desencadena la contracción muscular es un estímulo nervioso colinérgico (acetilcolina), que llega a la célula muscular por medio de una sinapsis especializada, llamada **unión neuromuscular o placa motriz**. El nervio motor, a la llegada del impulso nervioso, libera acetilcolina en la placa motriz. El neurotransmisor alcanza receptores específicos en la membrana plasmática de la célula muscular, la cual se despolariza. La membrana plasmática de estas células (sarcolema) presenta invaginaciones regularmente dispuestas hacia el interior del citoplasma. Estas invaginaciones (túbulos transversos) están en contacto con el retículo endoplasmático de las células (retículo sarcoplásmico). De esta manera, la despolarización de la membrana plasmática se propaga por el retículo y produce en éste la apertura de conductos de Ca^{++} . El retículo sarcoplásmico en reposo está cargado de Ca^{++} , y este ión se libera bruscamente con la despolarización de la membrana. El Ca^{++} es el segundo mensajero de la contracción muscular.

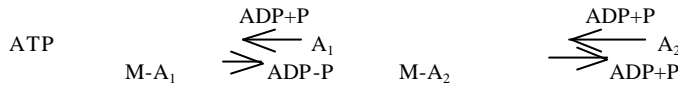
MECANISMO DE LA CONTRACCIÓN

La contracción muscular se produce por la interacción de las proteínas actina y miosina, de modo que los filamentos delgados se deslizan entre los gruesos, y el sarcómero se acorta longitudinalmente. La energía necesaria para la contracción se obtiene del ATP. Este ATP se obtiene a partir de las reservas de glucógeno del músculo. Además de esta fuente de energía, existe un mecanismo de almacenamiento temporal de la energía de la glucólisis antes de ser transferida al ATP, que es la fuente inmediata de energía durante la contracción. Así, la fosfocreatina es una especie de batería química. La glucólisis, carga la batería de fosfocreatina; el consumo de ATP durante la contracción la descarga.

La contracción muscular consta de las siguientes reacciones:

1. Hidrólisis del ATP, cuya energía se usa en la contracción.
2. Fosfocreatina + ADP \longleftrightarrow creatina + ATP
3. Glucógeno \longleftrightarrow Lactato + energía
4. Parte del lactato + $\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Energía}$ (-P usada en la resíntesis de ATP y fosfocreatina)





Una cabeza de miosina (M) va enlazando con distintas moléculas de actina (A₁, A₂,...) en cada ciclo se consume una molécula de ATP. La afinidad de la Miosina es ADP+ Pi \propto Actina \propto ATP

La interacción actina-miosina es posible por las distintas afinidades de la miosina hacia diferentes ligandos. En efecto, la afinidad de la miosina es máxima por el ATP, menor por la actina y mínima por el ADP + P. Así que, en presencia de ATP, la miosina se une a él. Pero la miosina tiene actividad ATPasa, hidrolizando al ATP, y uniéndose al ADP+P. Como la afinidad por la actina es mayor, la actina desplaza al ADP+P y se une a la miosina. El complejo actina-miosina permanece unido hasta que llega un nuevo ATP, que desplaza a la actina y comienza otro ciclo. Debe notarse que, en los sucesivos ciclos de reacción, la misma cabeza de miosina se une a actinas diferentes, cada vez más cercanas al extremo del sarcómero. Como resultado de esto, el sarcómero se acorta, al tiempo que el ATP se hidroliza.

En situación de reposo, la actina no puede interaccionar con la miosina porque el centro activo de la actina está ocluido por la troponina. El Ca⁺⁺, al ser liberado del retículo sarcoplásmico, se une específicamente a la troponina, produciendo en ella un cambio de conformación, de modo que el centro activo de la actina queda al descubierto. La contracción se mantiene mientras dura la presencia de Ca⁺⁺ y ATP.

Cuando cesa el impulso nervioso, la acetilcolina se hidroliza, y la membrana plasmática y el retículo sarcoplásmico se repolarizan. El Ca⁺⁺ del citosol se bombea activamente al interior del retículo por un enzima (bomba de calcio) que consume ATP. El interior del retículo sarcoplásmico, el Ca⁺⁺ se almacena unido a una proteína específica (calsecuestrina).

Al faltar el Ca⁺⁺ en el citosol, la troponina vuelve a adoptar la conformación primera, haciendo la actina inaccesible a la miosina. Al cesar la interacción actina-miosina, el músculo se relaja.

Como se ve el ATP se consume tanto en la contracción como durante la relajación. Aproximadamente 2/3 del ATP total se requieren para la contracción y 1/3 para la relajación. Cuando se realiza un esfuerzo muscular excesivo, puede agotarse el ATP, de modo que la bomba de Ca⁺⁺ no pueda seguir funcionando, y el Ca⁺⁺ permanece en el citosol; el resultado es una contracción muscular permanente y dolorosa (**calambre**). De la misma manera, poco después de la muerte del individuo, se agota el ATP muscular, el Ca⁺⁺ difunde pasivamente del retículo al citosol, las moléculas de miosina se unen a las de actina y se instaura una rigidez duradera del músculo (**rigor mortis**).

59.5.2. Propiedades de los músculos

El funcionamiento de los músculos se debe a las propiedades que tienen los mismos: excitabilidad, elasticidad, contractibilidad y tonicidad.

EXCITABILIDAD

Es una propiedad general de la materia viva, pero es especialmente ostensible en las fibras musculares y en las células nerviosas.

Las fibras musculares reaccionan o responden a determinados estímulos mediante una contracción que puede producir movimiento. El estímulo es el impulso nervioso que se produce en un centro nervioso y es transmitido por un nervio motor hasta el músculo. Sin embargo, se pueden utilizar estímulos químicos (ácidos y bases más o menos diluidos), mecánicos (pinchazos, golpes), térmicos (calor y frío), luminosos y eléctricos.

Los estímulos eléctricos son los que más se usan experimentalmente, pues a parte de que el músculo es muy sensible a ellos, son muy fáciles de medir y no alteran la constitución anatómica del órgano. Se utilizan para ello descargas de bajo voltaje (3-4 voltios).

ELASTICIDAD

Los músculos no sólo se contraen sino que también son extensibles, es decir se estiran y aumentan de longitud cuando se ejerce una tensión en uno de sus extremos, estando fijo el opuesto. La extensibilidad es proporcional a la carga tensora, pero debe tenerse en cuenta que como se estiran mucho a la menor tracción, luego les queda muy poco para ceder a medida que aumenta la fuerza que los alarga.

La elasticidad es la propiedad que poseen los músculos de volver a su primitiva posición, recuperando su forma y dimensiones iniciales, una vez que deja de actuar la fuerza que los había extendido. Tras la muerte los músculos pierden su elasticidad, adquiriendo un estado especial llamado (rigor mortis o rigidez cadavérica) que fija los músculos en la posición que tenían cuando acaece la muerte e impide cualquier movimiento que se trate de darles.

CONTRACTIBILIDAD

Es la propiedad fundamental de los músculos y consiste en que cuando un músculo se excita se endurece y disminuye bruscamente su longitud; pero su volumen permanece invariable, ya que al mismo tiempo aumenta de grosor. Mediante la contracción se aproximan los puntos de inserción de los músculos en los huesos y se produce el movimiento de estos últimos.

La contracción muscular presenta dos modalidades: si se excita un músculo con sus dos extremos fijos, conserva su longitud sin acortarse, pero aumenta su tensión (**contracción isométrica**). Si el músculo lo excitamos dejando libre un extremo se acorta, desarrollando una tensión constante (**contracción isotónica**). De acuerdo con la actividad de los músculos se distinguen dos tipos: músculos de contracción rápida, propia de la fibra estriada, y músculos de contracción lenta, típica de los de fibra lisa.

Al aplicar una corriente eléctrica a un músculo se produce una contracción sencilla o sacudida muscular, en la que se pueden distinguir tres fases: de latencia (tiempo transcurrido entre la estimulación y el comienzo de la contracción, 0'005 s), de contracción (tiempo en el que el músculo se acorta produciendo un trabajo, 0'04 s), y de relajación (el músculo recupera su posición inicial, 0'05 s).

Si se repite una estimulación antes de que el músculo se relaje, se superpone una segunda contracción originando un acortamiento superior al normal (suma de contracciones).

Si se aplica, experimentalmente, una serie de descargas a intervalos de tiempo muy cortos, de manera que lleguen antes que haya relajación, se produce una contracción continua (**tétanos o contracción tetánica**). Esta puede ser completa e incompleta según no haya relajación entre los estímulos o haya relajación incompleta.

La contracción fisiológica normal de los músculos es una contracción tetánica muy corta y se produce por una serie de impulsos nerviosos que llegan al músculos con mucha rapidez. En el caso del hombre unas 40 excitaciones por segundo.

Las fibras musculares obedecen a la **ley del todo o nada**, es decir, aunque el músculo no se contraiga al máximo, sus fibras, consideradas aisladamente, o se contraen con toda intensidad o no lo hacen.

En los músculos en estado de reposo permanece cierto grado de contracción isométrica que recibe el nombre de **Tono muscular**. La tonicidad muscular es la responsable de que el cuerpo mantenga su posición tanto en reposo como en movimiento.

El tono es un tétanos ligero en el que participan un pequeño nº de fibras de cada músculo en un momento dado. Las fibras individuales se contraen por turno, trabajando en relevos, de modo que cada fibra tiene oportunidad de recuperarse por completo mientras otras se están contrayendo, antes de ser estimulada una vez más para que se contraiga. Un músculo en tensión ligera puede reaccionar más rápido, y se contrae con más fuerza, que uno totalmente relajado.

FATIGA

Cuando un músculo se contrae repetidamente sus reservas de energía van disminuyendo y es necesaria la resíntesis de ATP. Para ello, aumenta el consumo de glucosa con el consiguiente aumento de oxígeno.

Si el ejercicio muscular es muy intenso, no es suficiente el aporte de oxígeno y entra en juego la descomposición del glucógeno muscular por vía anaerobia hasta convertirse en ácido láctico. Su presencia en el músculo, hace descender el pH, desnaturalizando los enzimas. El músculo pierde su poder de contracción y se dice que está fatigado.

La sensación de cansancio y las agujetas producidas por el acúmulo de ácido láctico son las manifestaciones de fatiga muscular existentes tras un ejercicio físico excesivo.

Cuando el músculo se fatiga en grado extremo, normalmente queda contraído y persiste la contracción durante cierto tiempo (contractura fisiológica del músculo).

59.6. Hábitos posturales adecuados y principales enfermedades

La postura es la composición de las posiciones de todas las articulaciones del cuerpo en un momento dado. En posturas incorrectas habrá músculos elongados y músculos retraídos. Los músculos en posiciones ligeramente retraídas tienden a ser más fuertes, y los que están elongados tienden a ser más débiles que los músculos que trabajan en oposición a ellos.

La debilidad muscular o la retracción pueden producir una mala alineación, y la mala alineación puede llevar a una debilidad tensa o a una retracción aceptable de los músculos. Desde el punto de vista mecánico, los defectos de alineación y movilidad crean dos tipos de problemas:

- a) Compresión indebida en las superficies articulares de los huesos,
- b) tensión indebida sobre huesos, ligamentos o músculos.

Eventualmente pueden ocurrir dos tipos de cambios óseos: la compresión indebida puede producir un desgaste, mientras que una tracción indebida puede producir un incremento del crecimiento óseo en el punto de unión.

Para la evaluación de los efectos de la postura se precisa de un modelo mediante el que las posturas individuales puedan ser juzgadas. La postura modelo tal como se utiliza se refiere a la postura ideal, no a la postura promedio. La alineación correcta, o los defectos posturales se describen en los términos de este modelo.

Además de esta postura ideal es adecuado y conveniente tener en cuenta una serie de hábitos posturales encaminados a prevenir tensiones durante nuestras actividades diarias. A continuación indicamos algunos ejemplos:

a) LEVANTAR PESO

Se deben doblar las rodillas, no la espalda y tener firmes los pies. No debe uno agacharse con las piernas rectas ni torcer la espalda mientras se levantan objetos.

b) CONDUCIR

Se debe adelantar el asiento del automóvil para mantener las rodillas en línea con las caderas, sentarse derecho y utilizar algún soporte en la región lumbar (ejemplo una toalla enrollada).

c) SENTARSE

Apoyarse firmemente contra el respaldo de la silla. No dejarse caer pesadamente sobre el asiento, evitar inclinarse hacia adelante y arquear la espalda.

d) DORMIR

Dormir de costado con las rodillas dobladas o de espaldas con una almohada debajo de las rodillas. No dormir en un sofá ni sobre un colchón demasiado blando y sin soporte; padecerá lordosis (ver desviaciones de la columna en el apartado siguiente) y tensión en la espalda, sobre todo si duerme boca abajo.

59.6.1. Alguna de las principales enfermedades del aparato locomotor

LUMBAGO. Es un dolor en la región lumbar que puede ir desapareciendo de forma espontánea o con un mínimo tratamiento. Se produce por curvar demasiado la espalda, levantar pesos, sobre todo si se soporta un peso adicional en los brazos, en la espalda o en los hombros. Puede producirse también como consecuencia de algunas enfermedades inflamatorias (espondilitis, osteoartritis, metástasis cancerígenas, etc.)

ATROFIA MUSCULAR. Se produce por falta de uso de algún músculo, o como resultado de una pérdida, degeneración o un defecto nervioso congénito.

DESVIACIÓN DE LA COLUMNA VERTEBRAL. Se definen tres desviaciones en la columna: **Cifosis, lordosis y escoliosis.** Las dos primeras se definen en el plano lateral mientras que la escoliosis en el plano frontal o anteroposterior.

Se habla de una cifosis cuando la curvatura de la columna vertebral está orientada hacia la espalda. En una lordosis, la curvatura está orientada hacia adelante. En cuanto a la escoliosis, se trata de una desviación hacia la derecha o hacia la izquierda indistintamente. Las dos primeras pueden ser fisiológicas, la escoliosis es siempre patológica. Ésta puede ser estructurada (ha producido cambios que tienen posibilidad de corregirse de forma espontánea) o no estructurada o fácilmente reversible.

CALAMBRES. Son contracciones sostenidas del músculo. Entre sus posibles causas destacamos: deficiencia en sales minerales, origen neurótico.

DISLOCACIÓN O LUXACIÓN. Desplazamiento de las partes móviles de una articulación que la deja inestable o inmóvil.

FRACTURAS. Las más normales son las de clavícula, muñeca y tobillo. Una fractura complicada significa que hay una herida abierta y que puede infectarse.

HERNIAS. Se desarrollan cuando un órgano o tejido se proyecta desde un compartimento del cuerpo a otro, o completamente fuera del cuerpo. Entre las que están originadas por un esfuerzo excesivo. Las más comunes son las que se producen en las ingles. A menudo existe debilidad congénita.

OSTEOMALACIA. Es un lento reblandecimiento de los huesos por falta de vitamina D que se da en personas mayores o tras varios embarazos.

OSTEOPOROSIS. Significa huesos porosos. El más pequeño golpe produce una fractura, siendo las más comunes las de cadera y las de muñeca, así como la de la columna vertebral produciendo la "joroba de la señora mayor".

La osteoporosis puede deberse a una falta de actividad. En la mujer postmenopáusica el descenso del nivel de estrógenos que acelera el proceso.

REUMATISMO y ARTRITIS. Términos muy utilizados sin un significado médico claro. El reumatismo abarca 200 trastornos en los que aparecen dolores musculares y en los ligamentos. La artritis es una inflamación de las articulaciones producida por el desgaste de las superficies de las mismas, especialmente en las caderas, rodillas, columna, manos y pies. Las causas no son muy bien conocidas, pero pueden incluir infecciones, lesiones y factores ocupacionales, como la enfermedad del codo de los tenistas.

HERNIA DISCAL. Entre las vertebras se encuentran unos gruesos discos de cartílago que actúan como amortiguadores, pero desde los 20 años, estos discos van degenerando lentamente y pueden desplazarse, herniándose a través de la rotura del ligamento cercano. Produce grandes dolores e inmovilidad.