

Sección II

Sistemas osteomioarticular y tegumentario



Introducción al estudio del cuerpo humano

Oladys Álvarez León, Caridad Dovalés, Washington Rossel

El conocimiento del cuerpo humano ha sido objeto de la atención de los seres humanos a través de toda la historia de la humanidad: antes que la ciencia médica se desarrollara, ya el hombre primitivo recreaba en pinturas rupestres su propio cuerpo; los antiguos momificadores egipcios, hace miles de años, tenían un profundo saber sobre las diferentes estructuras que conforman al ser humano. Con el decursar del tiempo y el desarrollo de las tecnologías, el conocimiento de cada una de las partes que conforman el cuerpo humano, desde su origen y su devenir dialéctico durante el desarrollo de la vida, tanto en la salud como en los procesos patológicos, han hecho del estudio de la morfología humana una obligada e imprescindible base referencial en el campo de las ciencias de la salud.

Al acercarse al estudio del cuerpo humano se debe partir del concepto que es un todo único que tiene capacidad de interactuar con el ambiente, de crecimiento y desarrollo, con un alto grado de especialización en cada uno de sus componentes, el cual se divide en grupos de estructuras por su origen y función, fundamentalmente, describiéndose sistemas de órganos y aparatos.

Posición del hombre en la naturaleza

El origen del hombre y la posición que este ocupa en la naturaleza, ha sido motivo desde la antigüedad, de discusión y polémica, consecuencia de las diferentes interpretaciones filosóficas que se hacen sobre el tema.

El materialismo, basándose en la ciencia, explica el origen del hombre como resultado de una larga evolución a partir de un grupo de homínidos ancestrales, en cuya formación se distinguen factores biológicos y sociales. En la escala zoológica el hombre se clasifica en el reino animal del tipo cordado. Es considerado como un vertebrado mamífero del orden primate y suborden antropoide.

La estructura del cuerpo humano presenta características comunes a todos los vertebrados:

- La existencia de un esqueleto axial y medio.
- Situación del sistema nervioso central dorsalmente con relación al eje esquelético.
- Polaridad o existencia de dos extremos en el cuerpo: el craneal y el caudal.
- La simetría bilateral, es decir, que ambas mitades del cuerpo son semejantes.
- La constitución segmentaria y metamérica de una parte del cuerpo, o sea, porciones de estructuras aproximadamente idénticas, situadas en forma consecutiva, una tras otra.
- La existencia de apéndices articulados al tronco que le permiten la traslación.

El hombre presenta, además, características particulares que lo distinguen de todos los animales:

- Adopta la postura erecta o vertical y una marcha bípeda; las vísceras se localizan de acuerdo con la posición del cuerpo.
- Comunicación abstracta y simbólica (lenguaje hablado y simbólico).
- Cerebro relativamente grande, capaz de desarrollar inteligencia, pensamiento abstracto, autoconciencia y previsión de futuro.
- Desarrollo de cultura, entendiéndose como conjunto de normas, reglas y conductas, así como los productos materiales espirituales que de ello se derivan.
- Utiliza las manos como órganos de trabajo, con las cuales construye instrumentos que le permiten adaptarse al medio circundante para su beneficio, favoreciendo el propio trabajo, la unión entre ellos y el desarrollo de la vida social.
- Capacidad para vivir en grupos sociales, con complejas relaciones individuales y de grupo.
- Hijos que necesitan mayor tiempo de cuidado parental.

- Destacadas modificaciones en la anatomía y fisiología del aparato reproductor femenino y masculino: en la mujer, desarrollo de las glándulas mamarias, ovulación no evidente, receptividad sexual continua, orgasmo desarrollado y menopausia; en el hombre, pene conspicuo y conducta paterna.
- Piel desnuda, con solo vello suave y pelo verdadero en algunas partes solamente.

El conocimiento del cuerpo humano se inicia con el estudio del sistema osteomioarticular (SOMA) o aparato locomotor y tegumentario, dado que constituyen el soma, la forma del cuerpo y el tegumento, la cubierta de este. Para ello es necesario familiarizarse con la terminología utilizada por el personal médico, la cual será de gran utilidad en el desempeño como médico general básico.

Terminología morfológica y su importancia

La terminología morfológica es el conjunto de términos técnicos empleados para designar las estructuras que componen el organismo. La mayoría de estos términos derivan del griego y el latín y en general indican la semejanza o relación de las estructuras con algún objeto o fenómeno, y sus relaciones espaciales.

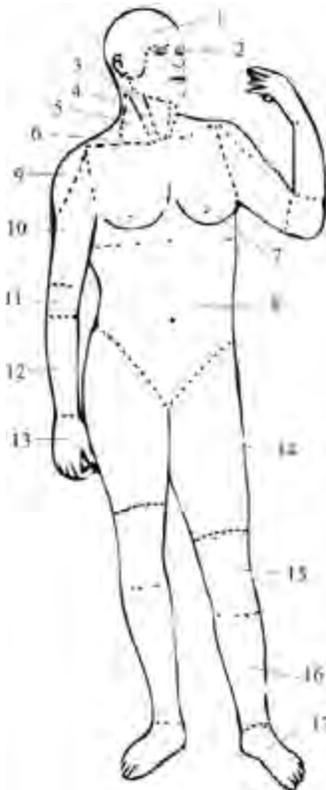


Fig. 6.1. Regiones del cuerpo humano. Vista anterior: 1. Cráneo; 2. Cara; 3. Cervical anterior; 4. Esternocleidomastoidea; 5. Cervical lateral; 6. Cervical posterior; 7. Pectoral; 8. Abdominal; 9. Deltoidea; 10. Brazo; 11. Codo; 12. Antebrazo; 13. Mano; 14. Muslo; 15. Rodilla; 16. Pierna; 17. Pie.

Antiguamente, las estructuras del organismo recibían diversas denominaciones, según los criterios de los especialistas de cada país, dando como resultado una gran cantidad de términos sinónimos que provocaban confusión. Por este motivo, fue necesario aunar criterios de los morfológicos de varios países para llegar a un acuerdo internacional en este aspecto y elaborar la nomenclatura morfológica, que requiere un continuo perfeccionamiento, teniendo en cuenta los avances de la ciencia y la experiencia adquirida en el transcurso de los años.

La terminología morfológica da origen a una parte de los términos usados en las ciencias médicas, por lo que su conocimiento es indispensable para facilitar la comprensión e interrelación de la literatura médica universal. Además, comprende una serie de términos de orientación que permiten precisar la posición de los distintos órganos y partes del cuerpo.

Regiones del cuerpo humano

Para facilitar el estudio del cuerpo humano y poder precisar su descripción, este se divide, imaginariamente, en diferentes regiones (Figs. 6.1 y 6.2). Las grandes regiones o partes del cuerpo humano son: cabeza, cuello, tronco, miembros superiores y miembros inferiores.

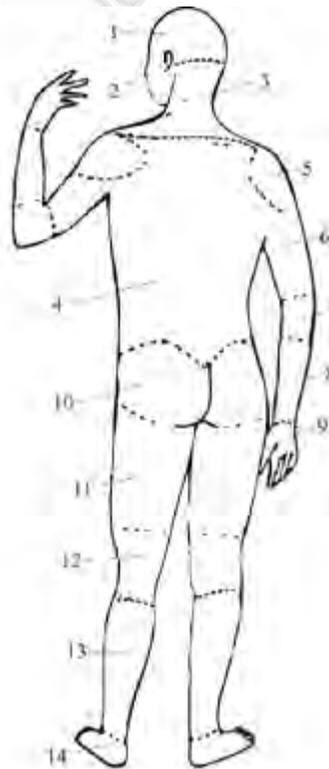


Fig. 6.2. Regiones del cuerpo humano. Vista posterior: 1. Cráneo; 2. Cara; 3. Cervical posterior; 4. Dorso del tronco; 5. Deltoidea; 6. Brazo; 7. Codo; 8. Antebrazo; 9. Mano; 10. Glúteo; 11. Muslo; 12. Rodilla; 13. Pierna; 14. Pie.

Cada una de estas partes o regiones del cuerpo se subdividen en otras cada vez más pequeñas, que corresponden a la superficie externa de este, siendo las más importantes las siguientes:

- La cabeza se divide en dos regiones: cráneo y cara.
- En el cuello se observan las regiones: anterior, esternocleidomastoidea, laterales y posterior.
- En el tronco se distinguen las regiones: dorsal, pectoral, abdominal y perineal.
- Los miembros superiores cuentan con cinco regiones en cada lado que se nombran: deltoidea o del hombro, brazo, codo, antebrazo y mano. En esta última se distinguen el dorso y la palma. Además, se subdivide en tres porciones: carpo, metacarpo y dedos, los cuales se denominan: pulgar, índice, medio, anular y meñique.
- Los miembros inferiores tienen también cinco regiones en cada lado denominadas: cadera, muslo, rodilla, pierna y pie. En el pie se destacan el dorso y la planta y se subdivide en tres porciones: tarso, metatarso y dedos, que se nombran por orden numérico a partir del dedo grueso (primero, segundo, tercero, cuarto y quinto).

En el cuerpo humano existen cavidades donde se alojan órganos de importancia. En la cabeza se encuentra la cavidad craneal que protege al encéfalo, y en el tronco se localizan las cavidades torácica, abdominal y pelviana. En la cavidad torácica se destacan el corazón y los pulmones. En la cavidad abdominal se distinguen órganos del aparato digestivo como el estómago e intestino y las glándulas anexas a este aparato, o sea, el hígado y el páncreas. También se localizan en esta cavidad los órganos urinarios (riñones y uréter) y el bazo. En la cavidad pelviana se encuentran órganos correspondientes a los aparatos digestivo (recto) y urogenital (útero, tubas uterinas y ovarios en la hembra, próstata, vesículas seminales y parte de las vías espermáticas en el varón y vejiga urinaria en ambos).

Tipos constitucionales del cuerpo humano

Al hacer un estudio detallado de los individuos se descubren diferencias entre ellos. Estas diferencias aportan la base para el estudio de la constitución del cuerpo humano, que puede definirse como el conjunto de cualidades morfológicas, fisiológicas e incluso psicológicas que caracterizan a cada individuo, las cuales están determinadas por factores internos (genéticos) y externos (ambientales). Estos conocimientos son de gran importancia en las ciencias médicas, ya que pueden servir de base en el diagnóstico y pronóstico de las enfermedades.

Las clasificaciones de los tipos constitucionales (biotipo) son numerosas. Una forma sencilla de clasificarlos es desde el punto de vista morfológico, considerando los tres tipos de la clasificación de Pendes:

1. Longilíneos, de crecimiento predominante en longitud, con el aspecto general delgado y alargado.

2. Brevilíneos, de crecimiento preponderante en anchura, con el aspecto general grueso y corto.
3. Mesolíneos, ocupan una posición intermedia entre los dos tipos anteriores.

Entre las cualidades morfológicas del cuerpo humano se distingue su aspecto general, que comprende el conjunto de detalles visibles en la superficie de este, como son la forma, tamaño, proporciones, color de la piel, etc., las cuales varían con la edad, el sexo y la raza y dependen, en gran medida, de la relación existente entre el peso y la talla.

Con relación a la edad hay que destacar que el cuerpo humano crece progresivamente, alcanzando la altura definitiva en la primera década del período adulto (20 a 30 años).

Respecto al sexo se observa, por lo general, que en la mujer las dimensiones son menores que en el hombre (por término medio: 10 cm de talla y 10 kg de peso).

Referente a la raza hay que aclarar que estas son variedades de una misma especie, surgidas en el proceso de una larga y compleja evolución. En el humano la raza es una categoría histórico-social que se caracteriza por el conjunto de rasgos morfológicos transmitidos por herencia, que son comunes a un grupo de personas que viven en un territorio determinado y en el surgimiento de estas desempeñaron una importante función las condiciones de vida de la sociedad, sin llegar a constituir una categoría social, como es la nación o pueblo.

Sin embargo, se sabe que la diferencia de nivel en el desarrollo social y cultural de los pueblos existentes en la actualidad, se explica por factores sociales y no por factores biológicos, lo que demuestra la falsedad y el carácter anticientífico de algunas teorías racistas. Actualmente, con el desarrollo de la humanidad, la liberación de ideas prejuiciadas, que marginan a unas personas por determinadas características biológicas, como el color de la piel, son obsoletas; con el entendimiento de las variaciones, las diferencias se borran, prueba de ello es el amplio mestizaje de la población a nivel mundial.

En todo examen médico se debe tener en cuenta el aspecto general del cuerpo, así como el crecimiento y desarrollo de este, relacionando las mediciones hechas al individuo, con patrones basados en la normalidad.

Posición anatómica

El examen físico de una persona puede hacerse en distintas posiciones, aunque generalmente el individuo se encuentra acostado sobre la cama (posición de decúbito), pero siempre, para designar cualquier parte del cuerpo, se presupone a la persona en posición anatómica.

En la posición anatómica se considera al cuerpo humano en posición vertical o de pie, frente a nosotros, con la mirada fija en el horizonte; los miembros inferiores juntos con los pies paralelos, mientras que los miembros superiores cuelgan a ambos lados del cuerpo con las palmas de las manos orientadas hacia delante (Fig. 6.3).

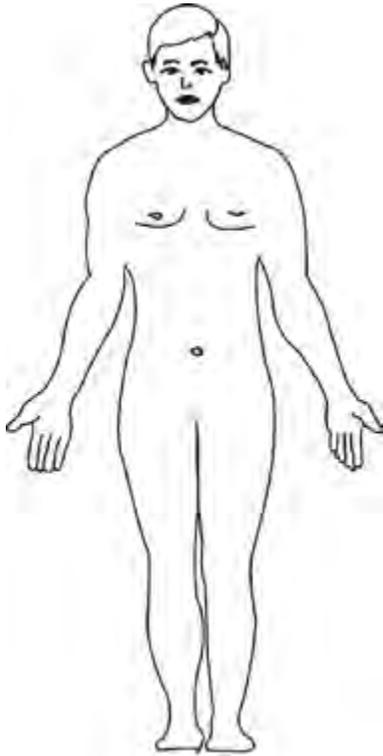


Fig. 6.3. Posición anatómica.

Ejes y planos del cuerpo humano

Los ejes del cuerpo son líneas imaginarias que atraviesan el cuerpo, los cuales se emplean para estudiar la mecánica articular, al suponer que un cuerpo gira alrededor de un eje.

En general, se utilizan los términos longitudinal y transversal, cuando los ejes son paralelos y perpendiculares a la longitud del cuerpo o parte de este (cualquier estructura u órgano) respectivamente.

Los ejes fundamentales del cuerpo humano son 3, caracterizándose porque son perpendiculares entre sí y reciben nombres relacionados con alguna estructura (Fig. 6.4):

1. El eje sagital es paralelo al suelo y a la sutura sagital del cráneo.
2. El eje coronal o frontal es paralelo al suelo y a la sutura coronal del cráneo.
3. El eje vertical es perpendicular al suelo y paralelo a la longitud del cuerpo.

Además, existen ejes oblicuos que presentan direcciones variables, intermedias a la de los ejes fundamentales.

Los planos del cuerpo son superficies imaginarias que cortan el cuerpo en un sentido determinado y se utilizan para estudiar las estructuras situadas en un mismo nivel. Por tanto, cuando se practican varios cortes en diferentes niveles de un órgano, se observan distintas impresiones en su estructura, como ocurre en la tomografía.

En general y de forma semejante que en los ejes, también se emplean los términos longitudinal y trans-

versal cuando los planos son paralelos y perpendiculares a la longitud del cuerpo o parte del mismo (cualquier estructura u órgano), respectivamente (Fig. 6.5).

Los planos fundamentales del cuerpo humano son 3 y se caracterizan, al igual que los ejes, porque son perpendiculares entre sí y adoptan nombres relacionados con determinadas estructuras, pero tienen la particularidad que cada uno de ellos divide al cuerpo en 2 partes (Fig. 6.4):

1. El plano sagital es perpendicular al suelo y paralelo a la sutura sagital del cráneo, dividiendo el cuerpo humano en 2 partes: derecha e izquierda. Si este plano pasa por el medio del cuerpo y lo divide en 2 mitades simétricas, se denomina plano medio.
2. El plano coronal o frontal es perpendicular al suelo y paralelo a la sutura coronal del cráneo, dividiendo el cuerpo humano en 2 partes: anterior y posterior.
3. El plano horizontal es paralelo al suelo o al horizonte y divide el cuerpo en 2 partes: superior e inferior.

También existen otros planos denominados oblicuos, que se disponen entre los planos fundamentales.

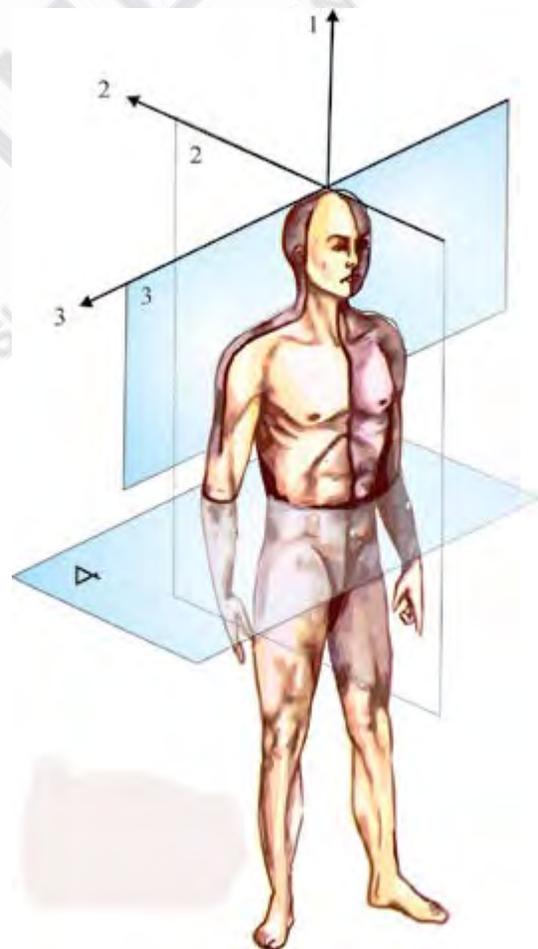


Fig. 6.4. Ejes y planos fundamentales del cuerpo humano: 1. Eje vertical; 2. Eje y plano sagital; 3. Eje y plano coronal o frontal; 4. Plano horizontal.

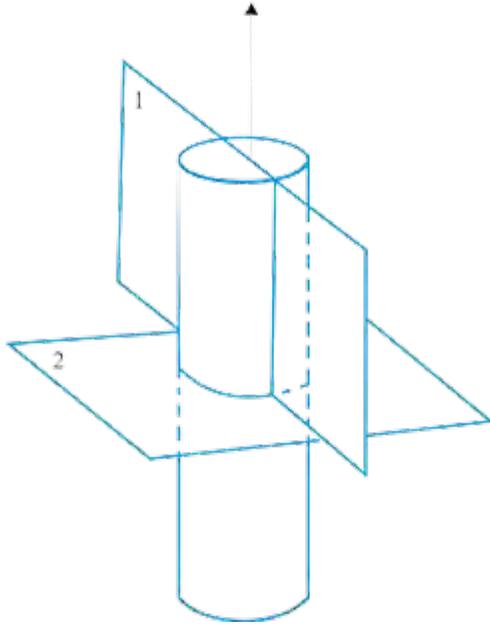


Fig. 6.5. Planos relativos al eje longitudinal: 1. Plano longitudinal; 2. Plano transversal.

Términos generales

Los términos generales indican la situación y dirección de las distintas partes del cuerpo humano y son necesarios para determinar la orientación en el estudio morfológico. Estos términos se usan en un sentido relativo, teniendo en cuenta los ejes y planos fundamentales del cuerpo. Por ejemplo; el ombligo es superior con relación a la rodilla, pero es inferior con relación a la nariz.

Los términos generales del cuerpo humano más importantes son los siguientes:

- a. Términos relacionados con el plano horizontal:
 - Superior (craneal): cuando esté cercano al extremo superior del cuerpo.
 - Inferior (caudal): cercano al extremo inferior.
- b. Términos relacionados con el plano coronal o frontal:
 - Anterior (ventral): cuando esta cercano a la superficie anterior del cuerpo.
 - Posterior (dorsal): cercano a la superficie posterior.
- c. Términos relacionados con el plano sagital:
 - Derecho
 - Izquierdo
- d. Términos relacionados con el plano medio (Fig. 6.6):
 - Medio o mediano: coincide con el plano medio.
 - Medial: cercano al plano medio.
 - Lateral: alejado del plano medio.
 - Intermedio: entre los puntos medial y lateral.

Los términos superficial y profundo (Fig. 6.7 A) se refieren a la estructura que está más cercana o alejada de la superficie del cuerpo u órgano, se emplean para indicar con precisión las estructuras situadas en el espesor de los órganos macizos.

Los términos externo e interno (Fig. 6.7 B) se usan con preferencia para determinar las estructuras situadas en las paredes de las cavidades corporales o de los órganos tubulares (huecos).

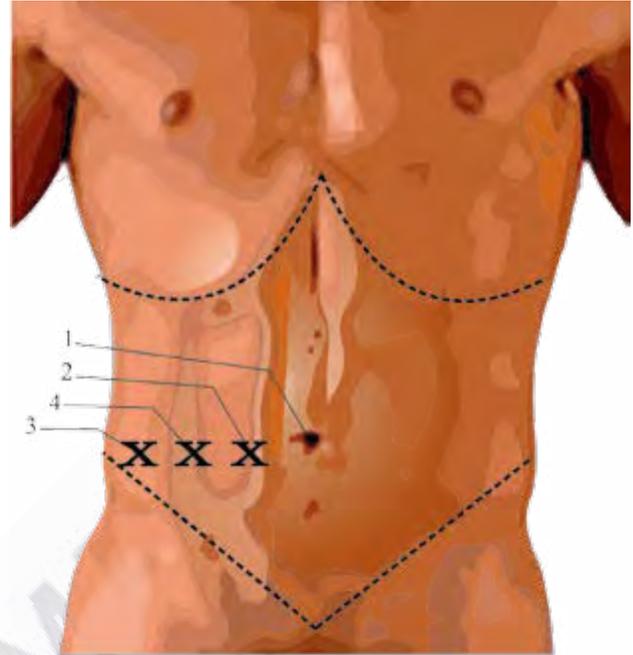


Fig. 6.6. Términos relacionados con el plano medio: 1. Medio; 2. Medial; 3. Lateral; 4. Intermedio.

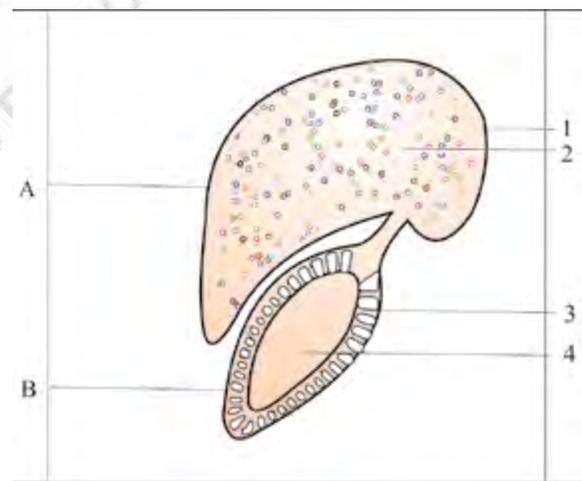


Fig. 6.7. Términos relativos a los órganos macizos y tubulares; A. Órgano macizo (hígado): 1. Superficial; 2. Profundo. B. Órgano tubular (estómago): 3. Externo; 4. Interno.

Términos relacionados con los miembros

Los términos relacionados con los miembros que más se utilizan son los siguientes (Fig. 6.8):

- a. Términos relacionados con el punto de fijación de los miembros con el tronco:
 - Proximal y distal: se emplean para designar la menor o mayor distancia al punto de unión del miembro con el tronco.

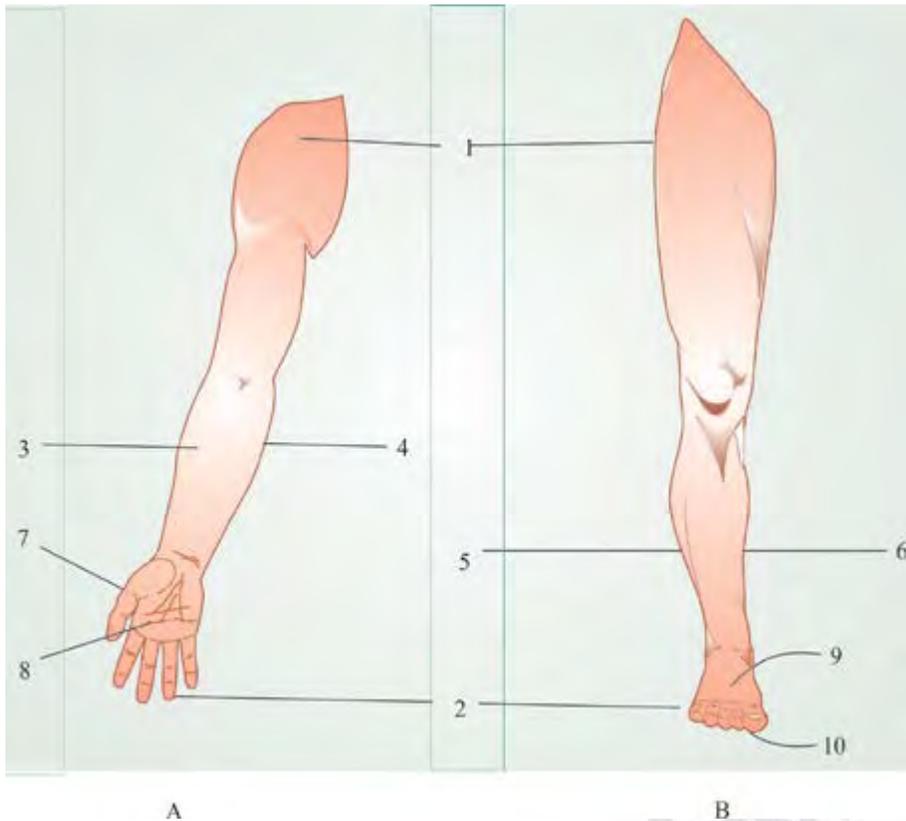


Fig. 6.8. Términos relacionados con los miembros: 1. Proximal; 2. Distal. A. Miembro superior derecho: 3. Radial; 4. Lunar; 7. Dorso de la mano; 8. Palma de la mano. B. Miembro inferior derecho: 5. Fibular; 6. Tibial; 9. Dorso del pie; 10. Planta del pie.

- b. Términos relacionados con los huesos del antebrazo:
 — Ulnar (medial) y radial (lateral).
- c. Términos relacionados con los huesos de la pierna:
 — Tibial (medial) y fibular (lateral).
- d. Términos relacionados con la mano:
 — Palmar (anterior) y dorsal (posterior).
- e. Términos relacionados con el pie:
 — Plantar (inferior) y dorsal (superior).

Anatomía de superficie

Cuando se observa la superficie externa del cuerpo humano se distinguen en las distintas regiones de este, numerosas estructuras anatómicas principalmente del aparato locomotor o sistema osteomioarticular (SOMA), que forman elevaciones y depresiones en la piel, las cuales pueden ser observadas a simple vista o palpadas con facilidad.

El conocimiento de los detalles anatómicos que sirven de referencia en la superficie externa del cuerpo humano le facilita al médico la realización del examen físico del individuo, objeto de la investigación clínica ya que le permite la orientación en las distintas regiones del cuerpo y constituyen puntos de referencia para localizar otras estructuras tanto externas como internas. También le permite la aplicación de los métodos diagnósticos y terapéuticos que sean necesarios, siendo de gran utilidad en la ubicación exacta de los puntos de acupuntura.

A medida que se avanza en el estudio de esta asignatura se irán precisando las estructuras anatómicas más sobresalientes en la superficie externa de cada región.

Principios de la anatomía radiológica

Aunque la radiología será motivo de estudio en años superiores de la especialidad de medicina, es necesario que el alumno comience a relacionarse con el método de investigación radiológica. Esto le permite aplicar sus conocimientos anatómicos e interpretar las imágenes radiográficas de las estructuras normales del cuerpo humano.

Los rayos X fueron descubiertos por el físico alemán Guillermo Roentgen (1845-1923) en el año 1895, quien los llama así porque desconocía su naturaleza, siendo posteriormente denominada en su honor con el nombre de rayos Roentgen.

Los rayos X o Roentgen son una forma de energía radiante electromagnética, que se caracterizan por tener una longitud de onda muy corta, por lo cual son invisibles. Además presentan otras propiedades que tienen gran aplicación en la medicina, entre las que se destacan las de tipo físicas (de penetración y fluorescencia) química (fotoquímica) y biológica:

- La propiedad de penetración es la facultad de atravesar los objetos, perdiendo parte de su energía, que es absorbida por estos. Esta propiedad es la fundamental de los rayos X, mediante la cual es posible su utilización en la técnica radiológica y su estudio permite comprender otras propiedades de estos.
- La propiedad fluorescente produce fulgor u ondas luminosas, visibles cuando los rayos X se proyectan sobre ciertas sales metálicas constituyendo la base de la fluoroscopia (examen directo y dinámico con imágenes en positivo).

- La propiedad fotoquímica provoca la impresión de imágenes en las placas o películas radiográficas, por alteración de las sales de plata que se hallan en esta (examen indirecto y estático con imágenes en negativo).
- La propiedad biológica se debe a las modificaciones que provoca en las células, por lo que es empleada en la radioterapia y por su peligrosidad ha obligado a establecer medidas de protección al utilizarla.

Orientaciones generales del examen radiográfico

Para realizar una radiografía hay que tener en cuenta tres aspectos:

1. La región que se explora: por ejemplo, la radiografía de la mano derecha, frontal y en proyección dorso palmar (Fig. 6.9).
2. La posición radiológica: posición de la región del cuerpo, en relación con el plano de la placa. Se coloca la parte que se desea explorar lo más cerca posible de la placa, en el momento de realizar la radiografía, para reducir al mínimo la deformidad radiológica (Fig. 6.10).
3. La dirección de proyección del rayo central.



Fig. 6.9. Radiografía: mano derecha frontal (dorso-palmar).

Para identificar una radiografía es necesario marcarla con el nombre de la institución donde se realiza, la fecha del examen y el número de la historia clínica de la persona. Además, es importante señalar el lado de la región examinada (derecha e izquierda).

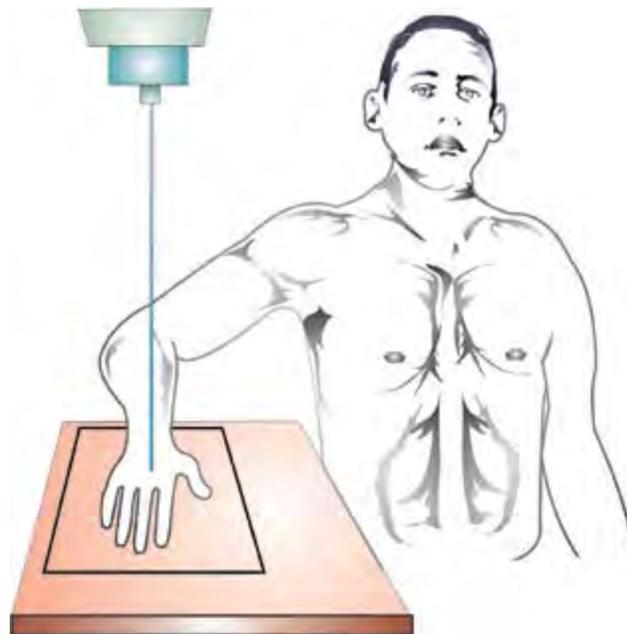


Fig. 6.10. Posición radiológica: mano derecha, frontal, en proyección posterior o anterior o dorso-palmar.

Para facilitar la observación de una radiografía es conveniente colocar la placa en un negatoscopio, suponiendo al individuo situado frente a nosotros teniendo en cuenta la posición anatómica y radiológica.

En las radiografías simples de cualquier región del cuerpo se observan imágenes con distintas tonalidades (negro, gris y blanco), que indican el grado de absorción de los rayos X por los tejidos. En el lenguaje radiológico se denomina:

- Radiotransparencia: las áreas de tonalidad negra correspondientes a elementos que absorben poco los rayos X, como el aire y el tejido adiposo.
- Radiopacidad: presenta la tonalidad blanca, característica de las estructuras que tienen mayor densidad y por tanto, mayor absorción de los rayos X, como los huesos.
- Grado intermedio: se expresa en tonos grises, propio de los músculos y cartílagos.

En ocasiones es conveniente resaltar la diferencia de tonalidades de una imagen radiográfica para facilitar la observación de determinadas estructuras, para lo que se utilizan exámenes contrastados, empleando sustancias radiotransparentes como el aire y radiopacas como el bario y los compuestos yodados.

Morfología aplicada

En los próximos capítulos se explican las características generales de los órganos que componen el aparato locomotor, es decir, los huesos, articulaciones y músculos.

Por la posición que ocupan estos órganos en el cuerpo humano están expuestos a frecuentes traumatismos

que pueden limitar sus funciones. Estos se relacionan a continuación:

- En los huesos se pueden producir roturas o fracturas de estos.
- En las articulaciones pueden ocurrir luxaciones o dislocaciones de los huesos que forran una articulación y esguinces, que consisten en la torcedura o distensión de una articulación sin llegar a la luxación y que puede provocar la ruptura de la cápsula articular y ligamentos.
- En los músculos se pueden presentar rupturas musculares o tendinosas y en ocasiones se lesionan los nervios que inervan a determinados grupos musculares, dando lugar a la parálisis de estos.

Los órganos del aparato locomotor también pueden sufrir numerosas enfermedades. Por ejemplo:

- Las deformaciones óseas que producen desviación en distintas partes del esqueleto, como la escoliosis de la columna vertebral, que en algunos casos pueden ser congénitas y en otros adquiridas, siendo estas últimas, en ocasiones, causadas por malos hábitos de postura.
- La osteomielitis es la infección microbiana de los huesos, en la cual se desarrolla el proceso de destrucción y reconstrucción del tejido óseo. Este proceso puede ser de causa no microbiana, derivado generalmente de una obliteración vascular, por lo que se le conoce entonces con el nombre de osteonecrosis aséptica.
- En las articulaciones se pueden producir las artritis que es un proceso inflamatorio exudativo, localizado en las partes blandas, o sea, en la cápsula articular y los ligamentos de refuerzo, siendo muy dolorosa desde el comienzo, lo cual limita sus movimientos. Por el contrario, la artrosis es un proceso degenerativo que se localiza en las partes duras, es decir, en los huesos y el cartílago articular que los recubre.

Es probable que el nombre de estas lesiones y enfermedades ya sea conocido por ustedes. Ahora, con el estudio de los órganos del aparato locomotor, podrán comprender algunas cuestiones relacionadas con ellas, pero hay que resaltar que la función más importante del médico no es curar las enfermedades, sino prevenirlas.

Concepto de sistema osteomioarticular

El sistema osteomioarticular (SOMA) —también conocido como aparato locomotor— es el conjunto de órganos que realiza la función de locomoción, o mejor dicho, de mecánica animal.

La locomoción es considerada como una función de relación que distingue a los animales de los vegetales, mediante la cual realizan los movimientos que les permiten trasladarse de un lugar a otro. Este tipo de movimiento mecánico en combinación con el equilibrio del cuerpo, constituye la denominada mecánica animal (dinámica y estática del cuerpo).

Unidad del sistema osteomioarticular

El aparato locomotor forma una unidad bien definida desde al punto de vista de su origen, estructura y función.

La unidad de origen se explica porque los órganos que lo componen se originan de la hoja embrionaria media o mesodermo.

La unidad estructural se comprende porque está constituido por un conjunto de estructuras similares (huesos articulados y músculos) que forman la arquitectura del cuerpo.

La unidad funcional del aparato locomotor está basada en la función mecánica común que realizan todos sus órganos proporcionándole al cuerpo humano su forma, sostén y protección, así como el movimiento y equilibrio de este.

Partes del sistema osteomioarticular

De acuerdo con la función mecánica que realiza, el sistema osteomioarticular se divide en dos partes: pasiva y activa.

La parte pasiva está constituida por el esqueleto, que es el conjunto de huesos y cartílagos unidos por las articulaciones.

La parte activa esta compuesta por los músculos, que están regidos por el sistema nervioso y al contraerse actúan sobre el esqueleto provocando los movimientos y el equilibrio del cuerpo.

Factores que influyen en el desarrollo del sistema osteomioarticular

El aparato locomotor, al igual que otros aparatos y sistemas del organismo, se encuentra sometido a la influencia de múltiples factores, internos y externos, los cuales pueden provocar modificaciones considerables en los órganos que lo componen. Entre los factores internos se destacan las funciones reguladoras del sistema nervioso y glándulas endocrinas, y entre los factores externos o sociales se distinguen la nutrición y el trabajo mecánico:

- El sistema nervioso regula todos los procesos del organismo y específicamente sobre el SOMA interviene en la regulación de la actividad muscular, así como en la función trófica o de nutrición de los órganos de este aparato mediante mecanismos nerviosos reflejos.
- Las glándulas endocrinas regulan principalmente los procesos metabólicos del organismo y en particular sobre el SOMA actúan regulando el metabolismo de los minerales que se depositan en los huesos (fosfato de calcio), mediante la acción de determinadas hormonas, como la hormona del crecimiento o somatotrópica producida por la hipófisis y la hormona paratiroidea producida por las glándulas del mismo nombre, influyendo en el crecimiento y desarrollo del esqueleto.
- Otros factores internos son: la presencia de los vasos sanguíneos que forman conductos y surcos en los

huesos ya que estos se originan y desarrollan alrededor de los vasos; las variaciones de la irrigación sanguínea en las distintas etapas del desarrollo del cuerpo humano y la correspondencia entre las vísceras y sus recipientes óseos.

- La nutrición es un factor externo importante, especialmente algunos componentes de la dieta como los minerales (calcio y fósforo) y las vitaminas (A, D y C).
- El trabajo mecánico que implica el ejercicio físico realizado en las actividades laborales y deportivas influye considerablemente sobre el organismo humano en conjunto y especialmente en el SOMA. Está demostrado que la inactividad mecánica del aparato locomotor conduce a la atrofia de los órganos que lo componen. Por el contrario, la hiperactividad mecánica provoca la hipertrofia de estos. También se ha observado que determinados trabajos especializados y deportes específicos pueden producir alteraciones en algunos órganos de este aparato, ya sea por la adopción de posiciones viciosas o por actividad intensificada en determinadas regiones del cuerpo. Por este motivo, la higiene del trabajo y el deporte recomiendan la práctica de la gimnasia general que favorece el desarrollo armónico de todo el cuerpo.

Concepto de esqueleto

El esqueleto (Fig. 6.11) es la armazón dura del cuerpo de los animales, que en el humano está formado por el conjunto de huesos y cartílagos unidos por las articulaciones, constituyendo la parte pasiva del SOMA o aparato locomotor.

De forma general, el esqueleto se desarrolla a partir del mesoderma paraxil, la lámina somática del mesoderma lateral y las crestas neurales.

Funciones generales del esqueleto

Las funciones fundamentales que realiza el esqueleto en conjunto son de tipo mecánica:

- Le proporciona al cuerpo la base de su forma, constituyendo una armazón arquitectónica situada en medio de las partes blandas.
- Sostiene a las partes blandas del cuerpo.
- Protege órganos de importancia que se alojan en las cavidades óseas.
- Interviene en la mecánica animal, o sea, en el movimiento y equilibrio del cuerpo. Los huesos, unidos a las articulaciones, actúan como palancas al contraerse las masas musculares que se insertan en su superficie.

División regional del esqueleto

Para facilitar el estudio, el esqueleto humano se puede dividir de acuerdo con las regiones del cuerpo en donde se encuentre, en esqueleto axial y esqueleto apendicular.

El esqueleto axial o del eje del cuerpo, comprende el esqueleto de la cabeza, cuello y tronco.

El esqueleto apendicular está compuesto por el esqueleto de los miembros superiores e inferiores.

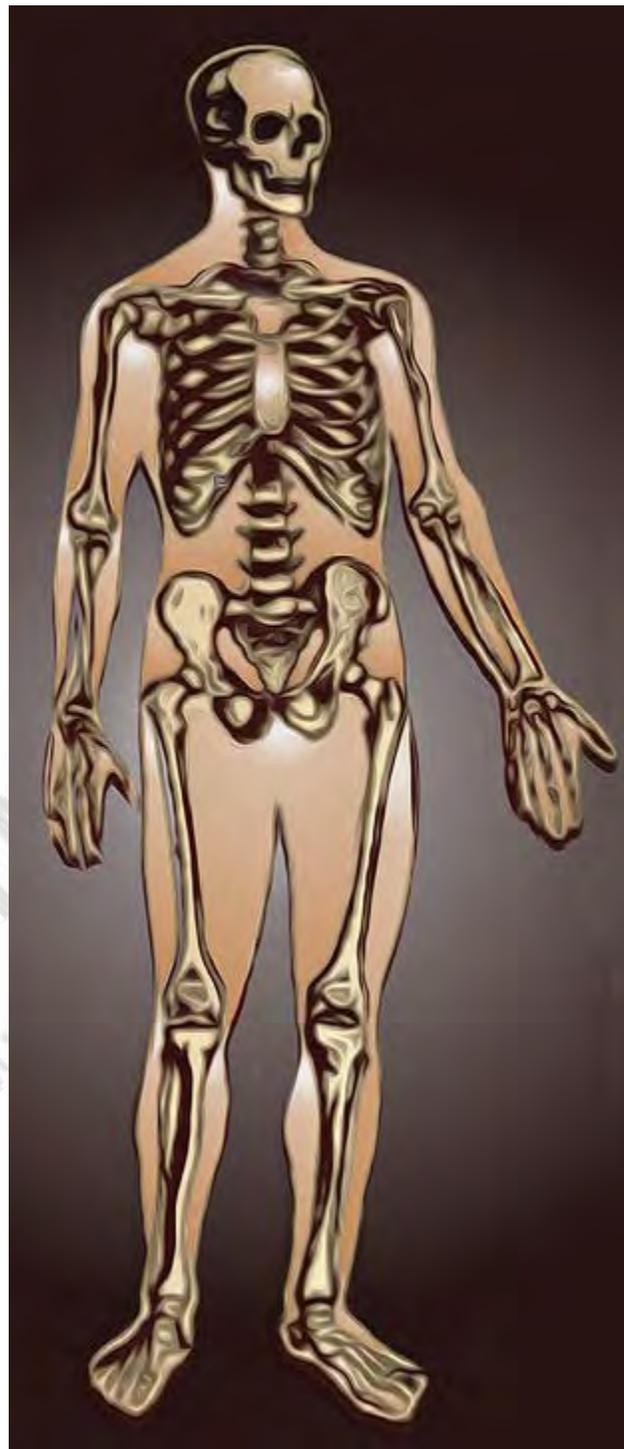


Fig. 6.11. Esqueleto humano del adulto. Vista anterior.

Osteología

La osteología estudia los huesos. Los huesos son órganos duros y resistentes de color blanquecino, que al unirse entre sí mediante las articulaciones forman el esqueleto, el cual constituye la parte pasiva del SOMA o aparato locomotor.

Funciones de los huesos

Los huesos contribuyen a realizar las funciones generales de tipo mecánicas correspondientes al esqueleto, que ya fueron explicadas con anterioridad. Además, tienen funciones específicas de tipo biológicas propias del sistema óseo, entre las que se distinguen las siguientes:

- Participan en los procesos metabólicos del organismo especialmente el mineral, constituyendo los huesos un depósito de sales minerales, principalmente de calcio y fosfatos.
- Intervienen en la hemopoyesis o formación de células sanguíneas por medio de la médula ósea.
- También el desarrollo óseo tiene gran importancia en el crecimiento corporal.

Cantidad de huesos en el cuerpo humano

El esqueleto de una persona adulta consta de 200 huesos aproximadamente. En el anciano esta cantidad disminuye debido a la soldadura de algunos huesos que se encuentran próximos. Por el contrario, en el joven la cantidad es mayor, porque determinados huesos están primitivamente constituidos por distintas piezas separadas.

Importancia de las dimensiones de los huesos

En el individuo normal el crecimiento total del cuerpo es proporcional al crecimiento de los huesos, por tanto, las mediciones óseas se utilizan para calcular la talla de un sujeto a partir de la longitud de algún hueso de los miembros y para valorar el desarrollo proporcional de las distintas partes del cuerpo.

Clasificación de los huesos

Los huesos se pueden clasificar de diversas maneras teniendo en cuenta diferentes criterios como la situación, estructura, función, forma y el origen de estos (Tabla 6.1).

Por su forma, los huesos se clasifican sobre la base de las relaciones que existen entre las 3 dimensiones fundamentales de los cuerpos, o sea, el largo, ancho y grosor (Tabla 6.2). Esta clasificación es clásica, ya que fue establecida en la época de Galeno (130-200 n.e.) y aún perdura con algunas modificaciones. Actualmente la clasificación de los huesos aceptada internacionalmente está basada en su forma, lo que facilita el estudio de sus porciones. En esta clasificación se distinguen cinco tipos de huesos: cortos, planos, largos, neumáticos e irregulares.

Huesos cortos

Los huesos cortos (Fig. 6.12) se caracterizan porque las tres dimensiones son aproximadamente iguales, presentando una forma más o menos cúbica y por lo general son pequeños. Están situados en regiones que tienen movimientos muy variados y poco extensos como el carpo de las manos y el tarso de los pies. Una variedad de este grupo son los huesos sesamoideos que reciben su nombre al compararlos por su tamaño con

el grano de la planta de sésamos conocido en nuestro país por ajonjolí, los cuales se localizan cerca de las articulaciones de las manos y de los pies, incluidos en tendones, donde actúan como dispositivos auxiliares de los músculos.

La estructura de los huesos cortos se compone de una masa central de sustancia ósea esponjosa rodeada de una delgada capa de sustancia ósea compacta.

Tabla 6.1. Clasificación de los huesos

Factores	Huesos
Por su situación en las regiones del cuerpo	Del esqueleto axial Del esqueleto apendicular
Por su origen y desarrollo (osteogénesis)	De osteogénesis membranosa De osteogénesis cartilaginosa
Por su estructura microscópica (de acuerdo con las diferentes proporciones de los compuestos articulares)	Fibroso Laminar
Por su estructura macroscópica (dependiendo del tipo de sustancia ósea que predomine en ellos)	Esponjoso Compacto
Por su función (teniendo en cuenta la principal acción mecánica que realizan)	De protección De sostén De movimiento
Por su forma (teniendo en cuenta las 3 dimensiones fundamentales de los cuerpos)	Corto Plano Largo Neumático Irregular
Por varios factores en conjunto (M. Prives)	Tubulares Largos Cortos
	Esponjosos Largos Cortos Sesamoideos
	Planos Del cráneo De la cintura
	Mixtos

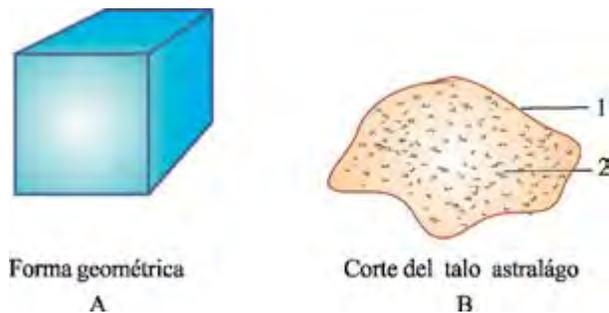


Fig. 6.12. Hueso corto: 1. Sustancia ósea compacta; 2. Sustancia ósea esponjosa con médula ósea roja.

Tabla 6.2. Clasificación internacional de los huesos (por su forma)

Forma	Porciones	Localización
Cortos	Caras	Mano (carpo) Pie (tarso)
Planos	Dos caras Bordes variables	Cabeza Tórax Cinturón de miembros
Largos	Dos epífisis Diáfisis	Parte libre de miembros
Neumáticos	VARIABLES según el hueso	Cerca de cavidades nasales
Irregulares	VARIABLES según el hueso	Cabeza Columna vertebral

Huesos planos

Los huesos planos (Fig. 6.13) se destacan porque dos de las dimensiones, el largo y el ancho, predominan sobre el grosor, presentando dos caras y un número variable de bordes, según la forma geométrica del hueso. En general son incurvados, algunos son alargados y de acuerdo con su tamaño pueden ser grandes y pequeños. Están situados en regiones destinadas a la protección y sostén de otros órganos como en la cabeza, tórax y cinturón de los miembros.

La estructura de los huesos planos está compuesta esencialmente por dos láminas de sustancia ósea compacta que forman las dos caras opuestas del hueso y que encierran entre sí a una capa más o menos gruesa de sustancia ósea esponjosa.

En los huesos de la calavera o bóveda del cráneo, las dos capas de sustancia ósea compacta toman el nombre de lámina externa o interna, mientras que la sustancia ósea esponjosa comprendida entre las dos láminas se llama diploe (doble).

Huesos largos

Los huesos largos (Fig. 6.14) se caracterizan porque una de las dimensiones, el largo, predomina sobre las

otras dos, presentando una forma tubular en la que se distinguen tres porciones, la diáfisis y dos epífisis. La diáfisis o cuerpo del hueso, es la porción alargada en forma de cilindro. Las epífisis o extremidades del hueso generalmente son voluminosas, donde se encuentran superficies lisas articulares y eminencias rugosas en las que se insertan los ligamentos y tendones. Además, se describe la metáfisis, zona correspondiente a los extremos de la diáfisis que en la etapa de crecimiento están separadas de las epífisis por los llamados cartílagos epifisarios (cartílago de conjunción) que le proporciona a los huesos largos el aumento en longitud. Estos huesos por su tamaño pueden ser grandes y pequeños. Están situados en regiones de gran movilidad, actuando como brazos de palancas, en la parte libre de los miembros.

La estructura de los huesos largos está formada en las epífisis casi exclusivamente por sustancia ósea esponjosa recubierta por una delgada capa de tejido óseo compacto, mientras que la diáfisis está constituida fundamentalmente por sustancia ósea compacta, formando la periferia tubular que limita una cavidad longitudinal llamada cavidad medular, donde se aloja la médula ósea amarilla.

Huesos neumáticos

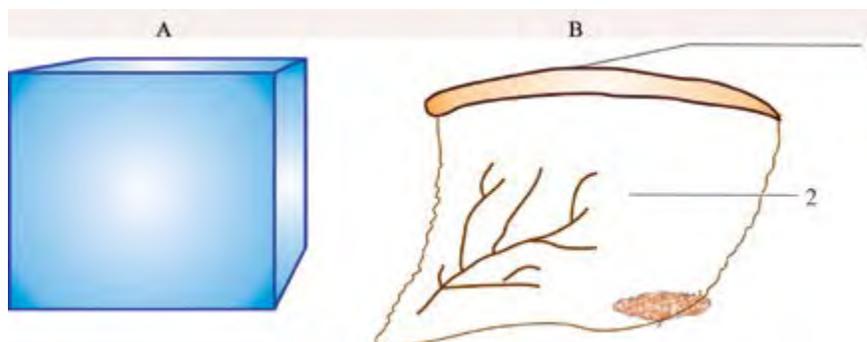
Los huesos neumáticos (Fig. 6.15) se distinguen por presentar cavidades en su interior que contienen aire. Tienen formas diversas constituidas por varias caras; generalmente son pequeños. Están situados en regiones próximas a la cavidad nasal, protegiendo a otros órganos. Las cavidades neumáticas de los huesos se denominan senos, cuyas paredes están revestidas de mucosa, la cual puede inflamarse provocando las sinusitis.

La estructura de los huesos neumáticos está compuesta por láminas de sustancia ósea compacta que limitan o forman las paredes de las cavidades que se encuentran en su interior, siendo por tanto muy ligeros.

Huesos irregulares

Por lo general, la forma de los huesos es muy irregular y por tanto, muy difícil de precisar, presentando formas diferentes que son propias para cada uno, dependiendo de la función que realizan. Por este motivo, en algunos huesos se pueden considerar formas mixtas de los tipos antes mencionados o simplemente denominados irregulares (Fig. 6.16). Estos huesos se localizan en el esqueleto axial, o sea, en la cabeza (temporal) y en la columna vertebral (vértebras).

Fig. 6.13. Hueso plano: A. Forma geométrica; B. Corte del parietal: 1. sustancia ósea compacta; 2. Sustancia ósea esponjosa con médula ósea roja.



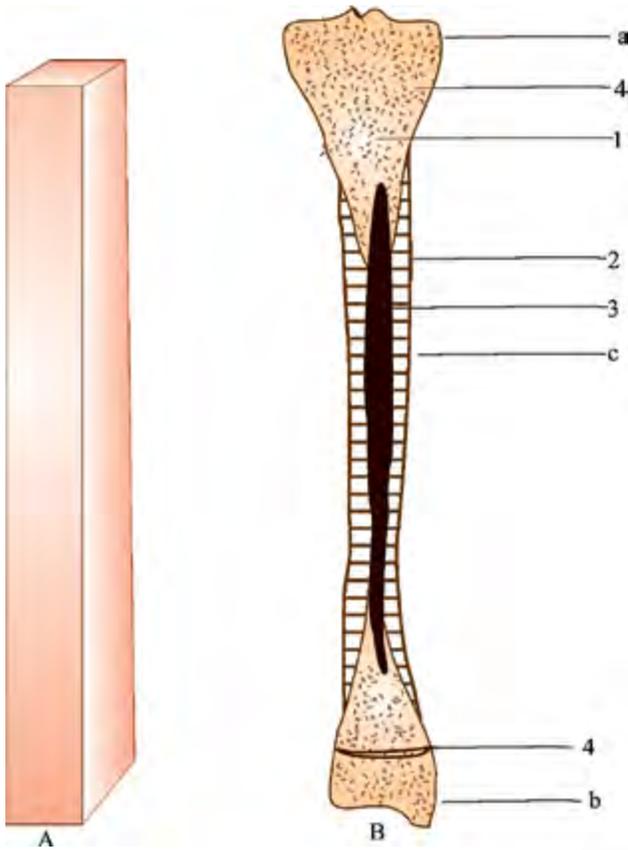


Fig. 6.14. Hueso largo: A. Forma geométrica; B. Corte longitudinal de la tibia: a. Epífisis proximal; b. Epífisis distal; c. Diáfisis; 1. Sustancia ósea esponjosa con médula ósea roja; 2. Sustancia ósea compacta; 3. Cavidad medular con médula ósea amarilla; 4. Cartílago epifisario.

Características de la superficie de los huesos

En la superficie de los huesos se pueden precisar porciones o partes que son comunes a todos aquellos huesos que tienen una forma semejante:

- Como se mencionó antes, en los huesos largos se distinguen el cuerpo o diáfisis, y las extremidades o epífisis (proximal y distal). En la diáfisis de estos huesos también se aprecian caras y bordes.

- En los huesos planos siempre se destacan dos caras, siendo variable el número de bordes y ángulos, de acuerdo con la figura geométrica que presenta su forma, ya sea triangular o cuadrilátera.
- En los huesos cortos se distinguen las caras que están determinadas por la forma general del hueso.

En la superficie de las distintas porciones de los huesos se observan además distintos tipos de impresiones o irregularidades que le proporcionan al hueso sus detalles anatómicos. Estas superficies irregulares o detalles anatómicos de los huesos pueden clasificarse en articulares y no articulares:

- Las superficies articulares, como su nombre indica, forman parte de las articulaciones y se caracterizan porque son lisas y tienen formas variables de acuerdo con su función. Estas superficies adoptan nombres

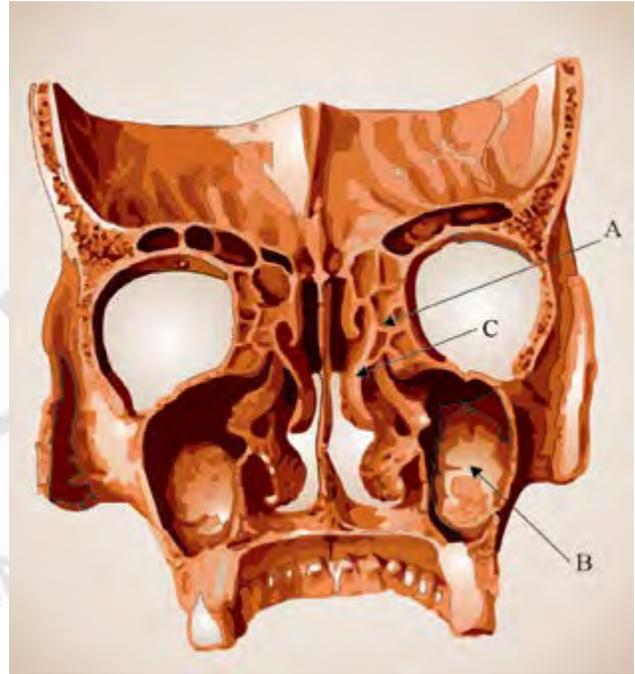


Fig. 6.15. Corte frontal del viscerocráneo. Vista posterior. Huesos neumáticos: A. Celdas etmoidales; B. Seno maxilar. C. Hueso etmoides.



Fig. 6.16. Huesos irregulares: A. Vértebra (vista superior); B. Temporal.

diversos y van a ser estudiadas en el acápite de artrología.

- Las superficies no articulares pueden ser de 3 tipos: elevaciones, depresiones y orificios (Tabla 6.3):
 - Las elevaciones generalmente son rugosas y representan puntos de inserción de ligamentos y tendones.
 - Las depresiones son también áreas de inserción de ligamentos y músculos, actuando en determinadas zonas como receptáculos de órganos, tendones y elementos vasculonerviosos.
 - Los orificios son las entradas o accesos de alguna cavidad o canal óseo, por donde pueden pasar elementos vasculonerviosos.

Tabla 6.3. Superficies irregulares o detalles anatómicos no articulares

Elevaciones	Características
Eminencia	Poco pronunciada
Protuberancia	Poco pronunciada
Tubérculo	Pequeño y redondeado
Tuberosidad	Grande y rugosa
Trocánter	Grande y redondeada (en el fémur)
Proceso	Largo y rugoso
Espina	Larga y delgada
Cresta	De forma lineal como un borde prominente y rugoso
Línea	Parecida a la cresta pero menos prominente
Depresiones	Características
Fosita	Pequeña y poco profunda
Fosa	Grande y más profunda
Incisura (escotadura)	Localizada en el borde de un hueso
Surco	De forma lineal como un tubo abierto
Canal	De forma semejante al surco (aunque se usa como sinónimo de conducto, pero que no tiene paredes propias)
Meato	Canal
Conducto	En forma de tubo y que tiene paredes propias
Cavidad	Espacio o lugar hueco dentro de un cuerpo u órgano
Antro y seno	Cavidad de un órgano
Celda y célula	Cavidad pequeña
Orificios (foramen, abertura, hiato, adito)	Características
Poros	Pequeño
Fisura	Estrecha y alargada

Las superficies irregulares o detalles anatómicos reciben distintas denominaciones de acuerdo con su forma y extensión, las cuales se irán precisando en el estudio particular de cada hueso. Algunas de estas irregularidades tienen gran importancia en el estudio de la anatomía de superficie y radiológica, como puntos de referencia u orientación.

Anatomía radiológica de los huesos

La radiografía es utilizada frecuentemente como medio diagnóstico en las afecciones del esqueleto y para determinar el desarrollo óseo del individuo, especialmente en los niños.

En las radiografías los huesos se observan con marcada claridad, destacándose su forma, tamaño y estructura macroscópica (sustancia ósea compacta y esponjosa). La periferia o cortical de los huesos, formada por sustancia ósea compacta, tiene el aspecto de una banda homogénea blanquecina (radiopacidad intensa), la cual está muy engrosada en la diáfisis de los huesos largos. El interior de los huesos cortos, planos y epífisis de los huesos largos, formada por sustancia ósea esponjosa, presenta el aspecto reticular con radiopacidad menos intensa. Las cavidades óseas que se encuentran en el interior de los huesos se observan más oscuras (radiotransparente).

La imagen radiográfica de los huesos se puede apreciar desde el período prenatal, cuando comienzan a originarse los centros de osificación que van apareciendo de forma progresiva y con una cronología determinada, lo que permite valorar el grado del desarrollo óseo y calcular la edad aproximada del individuo, especialmente en los niños, siendo utilizada con este objetivo la radiografía del carpo de la mano. En el recién nacido ya se observa la mayoría de los huesos, aunque de forma incompleta. En el niño se osifican los huesos del carpo y la mayoría del tarso y de las epífisis de los huesos largos, que se hallan unidos a la diáfisis por los cartílagos epifisarios o de conjunción (sincondrosis), cuyo conocimiento tiene gran importancia práctica porque pueden ser motivo de confusión con las fracturas. En la adolescencia aparecen algunos centros de osificación secundarios en determinados huesos y se produce la fusión de los centros de osificación existentes en cada hueso. Al inicio de la adultez (20 años) algunos huesos completan su fusión y al final de este período (45 años) algunos huesos se fusionan con los vecinos. En el período de envejecimiento se pueden apreciar en las radiografías de los huesos, algunas transformaciones como la atrofia ósea senil (osteoporosis) y la neoformación de tejido óseo con aposiciones periósticas circunscritas en las proximidades de focos inflamatorios crónicos (osteofitos).

Orientaciones para el estudio de los huesos

Para facilitar el estudio de los huesos es conveniente seguir un orden lógico, con un enfoque sistémico precisando inicialmente las características regionales más destacadas que predominan en la región donde se

encuentran y luego especificar las características particulares de cada hueso motivo de estudio:

- a. Características regionales de los huesos:
 - Situación y división del esqueleto de la región correspondiente.
 - Funciones generales o mecánicas fundamentales del esqueleto de la región.
 - Tipo de hueso que predomina por su forma.
 - Origen de los huesos (localización mesodérmica) y osificación (membranosa y cartilaginosa) que predomina en la región.
 - Nombre y situación de los huesos que componen la región esquelética.
- b. Características particulares de los huesos:
 - Nombre del hueso derivado del latín cuyo significado indica el parecido del mismo con algún objeto.
 - Identificación del hueso comparándolo con alguna figura u objeto conocido.
 - Posición anatómica en huesos aislados, teniendo en cuenta que todo objeto en el espacio presenta tres direcciones fundamentales, es decir: anterior-posterior, superior-inferior y lateral-medial. Esta última dirección es innecesaria en los huesos impares situados en la parte media del cuerpo, ya que tienen simetría bilateral.
 - Situación del hueso en el cuerpo humano, refiriéndose a la parte de la región donde se encuentra.
 - Clasificación del hueso por su forma (corto, plano, largo, neumático e irregular).
 - Porciones y partes más importantes que dependen generalmente de la forma que tiene el hueso. Los huesos largos tienen tres porciones, dos epífisis y una diáfisis y en esta última se aprecian caras y bordes. Los huesos planos tienen dos caras y un número variable de bordes y ángulos de acuerdo con la figura geométrica que presenta su forma. En los huesos cortos se distinguen las caras que están determinadas por la forma general del hueso, la cual generalmente es cuboidea.
 - Detalles óseos más destacados que pueden ser elevaciones y depresiones (articulares y no articulares), así como los agujeros por donde pasan elementos vasculonerviosos importantes.

El estudio de los huesos de forma independiente favorece la comprensión del esqueleto en conjunto, pues de esta manera se pueden observar con mayor facilidad la forma, porciones y detalles anatómicos que tienen. Sin embargo, su estudio debe completarse con el hueso colocado en su posición normal que es como se observa en la realidad, ya sea en una pieza anatómica normal (esqueleto articulado), en la imagen radiográfica o en la persona viva.

Lo primero que hay que conocer de un hueso es su nombre (para saber a quién se hace referencia), identificación (es la forma que tiene cada cual de reconocerlo en un grupo de huesos), lo que se puede realizar al compararlo con alguna figura u objeto ya conocido.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta al estudiar los huesos aislados, es saber colocarlos en posición anatómica (para ello se debe buscar en el hueso par, un detalle que sea proximal o distal, otro medial o lateral y otro anterior o posterior y si es impar, solo anterior o posterior y superior o inferior) para determinar la situación correcta que tienen en el cuerpo humano, y sobre la base de su clasificación, poder examinar sus distintas porciones y detalles anatómicos más destacados sin cometer errores.

Artrología

La artrología estudia las articulaciones. Las articulaciones o junturas son el conjunto de estructuras que unen dos o más componentes rígidos del esqueleto, ya sean huesos o cartílagos.

Funciones de las articulaciones

Las articulaciones son muy variadas; sin embargo poseen ciertas características funcionales generales comunes:

- Constituyen lugares o puntos de unión del esqueleto.
- En muchas de ellas se realizan los movimientos mecánicos del esqueleto, proporcionándole elasticidad y plasticidad.
- Son lugares de crecimiento de los huesos.

Tipos de articulaciones. Filogenia

En el proceso de la filogenia se desarrollan dos clases de articulaciones: una primitiva, típica de los vertebrados inferiores de vida acuática, que se caracteriza porque los huesos están unidos de forma continua por medio de tejido conectivo fibroso o cartilaginoso, lo cual limita su capacidad de movimientos.

La otra es más avanzada, propia de los vertebrados superiores de vida terrestre, en la cual los huesos están unidos de forma discontinua, es decir, que presentan hendiduras o cavidades entre ellos, como consecuencia de la reabsorción del tejido intermedio situado entre los huesos, lo que le permite realizar movimientos más amplios.

Desarrollo de las articulaciones en el humano

El desarrollo de las articulaciones en el humano refleja el proceso filogenético de adaptación de los animales al medio que les rodea, al pasar por dos estadios que representan los dos tipos de articulaciones antes mencionados, o sea, las de forma continua y discontinua. Por lo general, las articulaciones se desarrollan a partir del mismo tipo de tejido que se desarrollaron los huesos.

Por tanto, los huesos que se desarrollan por osificación u osteogénesis membranosa quedan unidos por tejido conectivo fibroso, y los que se desarrollan por osificación u osteogénesis cartilaginosa o endocondral se unen mediante tejido cartilaginoso. En estos tipos de

articulaciones los huesos se unen de forma continua y pueden llegar tardíamente a calcificarse hasta transformarse en uniones más sólidas llamadas sinostosis que limitan aun más su movilidad.

En otras articulaciones, la zona intermedia que une los huesos en formación experimenta grandes cambios, apareciendo varias vacuolas que al reunirse forman una hendidura llamada cavidad articular y parte de la zona intermedia se transforma en tejido cartilaginoso, generalmente de tipo hialino, que cubre las superficies articulares de los huesos, constituyendo el cartílago articular.

En determinadas regiones articulares, parte del tejido intermedio primitivo se convierte en cartílago fibroso, dando lugar a los fibrocartílagos intraarticulares, que facilitan la adaptación de las superficies óseas incongruentes.

La parte periférica de la zona intermedia se conserva, formando un manguito fibroso llamado cápsula articular, que mantiene la unión de ambas extremidades óseas.

De esta manera, la articulación así formada presenta una cavidad, por lo cual es considerada de tipo discontinua, que se caracteriza por tener movimientos.

Clasificación de las articulaciones

A través del tiempo las articulaciones se han clasificado de diversas formas. La más sobresaliente de las clasificaciones antiguas fue la propuesta por Galeo (130-200 n.e.) que se basaba en la función de las articulaciones de acuerdo con su grado de movilidad, llamándoles diartrosis a las que tenían gran movilidad y sinartrosis a las que carecían de movimientos. Más tarde, J. B. Winslow (1669-1760) agregó a estas dos grandes clases de articulaciones, una tercera: la anfiartrosis, considerada como intermedia por presentar movimientos limitados. Posteriormente, J. Bichat (1771-1802) denominó a estas articulaciones con los nombres de móviles, inmóviles y semimóviles. Estas clasificaciones son clásicas y aun se siguen utilizando por algunos autores. Sin embargo, en la actualidad la clasificación aceptada internacionalmente (Nómina anatómica) se basa en las características estructurales de su unión, distinguiéndose tres tipos de articulaciones: fibrosas, cartilaginosas y sinoviales, las cuales tienen un origen determinado y presentan características funcionales específicas en relación a su grado de movilidad.

Articulaciones fibrosas

Las articulaciones fibrosas se caracterizan porque los huesos que participan en ellas se mantienen unidos de forma continua por medio de tejido conectivo fibroso, se desarrollan directamente del tejido conectivo embrionario por osteogénesis membranosa y carecen de movimientos (Fig. 6.17).

En las articulaciones fibrosas se pueden distinguir las variedades: sindesmosis, suturas, gónfosis y esquinodilexis (Tabla 6.4).

Las sindesmosis están formadas por membranas y ligamentos.

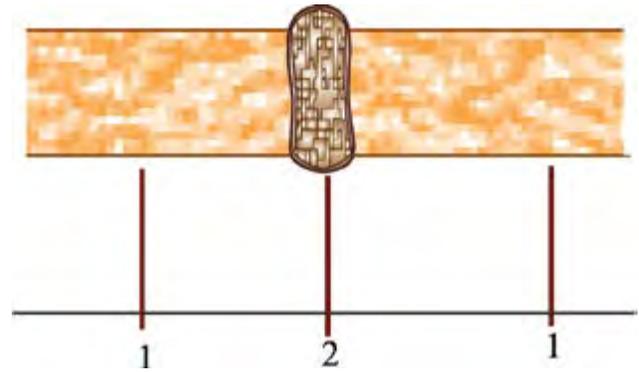


Fig. 6.17. Articulación fibrosa: 1. Hueso; 2. Tejido fibroso de unión

Tabla 6.4. Variedades de articulaciones fibrosas

Variedades		Ejemplos
Sindesmosis	Por membranas	Membrana interósea del antebrazo Membrana interósea de la pierna
	Por ligamentos	Tibiofibular distal
Suturas	Serrata	Entre huesos de la calvaria
	Escamosa	Entre huesos temporal y parietal
	Plana	Entre huesos nasales
Gónfosis		Dientes en alvéolos dentales
Esquinodilexis		Entre vómer y esfenoides

Como ejemplo de membrana interósea se destaca la unión entre los huesos del antebrazo y de la pierna (Fig. 6.18), y como ejemplo de ligamento interóseo se observa en la unión de las extremidades distales de los huesos de la pierna (Fig. 6.18), y entre los arcos vertebrales.

Las suturas están constituidas por una delgada capa de tejido fibroso y solo se encuentran entre los huesos de la cabeza que se desarrollan por osteogénesis membranosa, o sea, en la calvaria y parte de la cara. Los bordes de los huesos que componen las suturas presentan formas variadas, llamándose sutura serrata la que se parece al borde dentado de una sierra, como en los huesos de la calvaria; escamosa cuando sus bordes están cortados a bisel, por ejemplo: la unión del temporal con el parietal; y plana la que tiene sus bordes lisos como se observa entre los huesos nasales (Fig. 6.19).

La gónfosis es una variedad especial de articulación fibrosa, la cual está constituida por una superficie ósea saliente que penetra en la superficie hueca de otro hueso. Por ejemplo: la implantación de los dientes en los alvéolos dentales (Fig. 6.20).

La esquindilesis es una variedad parecida a la gónfosis, con la diferencia que la unión de los huesos tiene distinta forma, en la cual, la cresta de un hueso se encaja en el surco de otro hueso. Por ejemplo: la unión entre el vómer y el esfenoides.

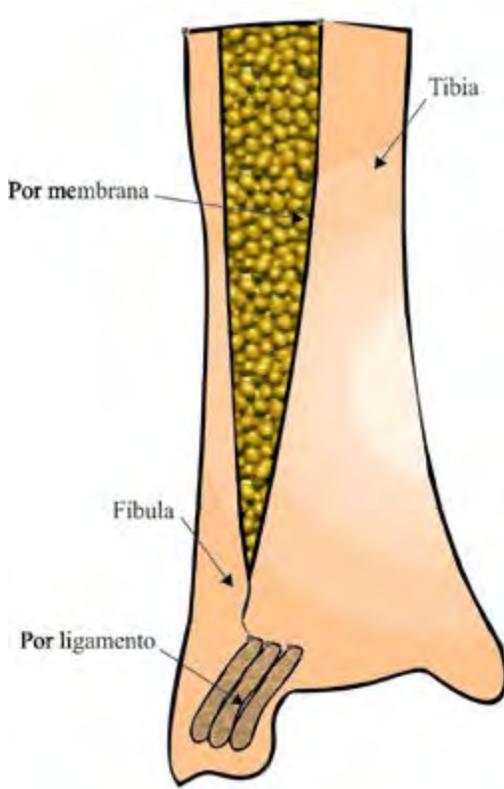


Fig. 6.18. Sindesmosis.

Articulaciones cartilagosas

Las articulaciones cartilagosas se caracterizan porque los huesos se encuentran unidos de forma continua por tejido cartilaginoso, los cuales se han desarrollado mediante la osteogénesis cartilaginosa y carecen o tienen poca movilidad.

De acuerdo con la estructura del tejido cartilaginoso (hialino o fibroso), se distinguen dos variedades de articulaciones cartilagosas: las sincondrosis y las sínfisis, que difieren también en su desarrollo y función (Fig. 6.21 y Tabla 6.5).

En las sincondrosis (articulación cartilaginosa primaria), la unión de los huesos se realiza por cartílago hialino, el cual constituye una parte persistente del esqueleto cartilaginoso embrionario que actúa generalmente como

una unión temporal, siendo una zona de crecimiento de los huesos hasta que es sustituida por la sinostosis. Las sincondrosis carecen de movimientos y se observan en la etapa de crecimiento, como la unión de las tres piezas óseas primitivas del coxal y la unión de las epífisis con las diáfisis de los huesos largos (cartílago epifisario). En el adulto se encuentra entre los huesos de la base del cráneo y la primera articulación esternocostal.

En las sínfisis (articulación cartilaginosa secundaria) la unión entre los huesos se produce por cartílago fibroso o fibrocartílago, que se halla separado de los huesos por finas capas de cartílago hialino. Este tipo de articulación es considerada como una unión permanente, ya que persiste durante toda la vida y actúan de amortiguadores entre los huesos donde se encuentran, presentando algún movimiento, por ejemplo: en la sínfisis púbica de los coxales y en los discos intervertebrales.

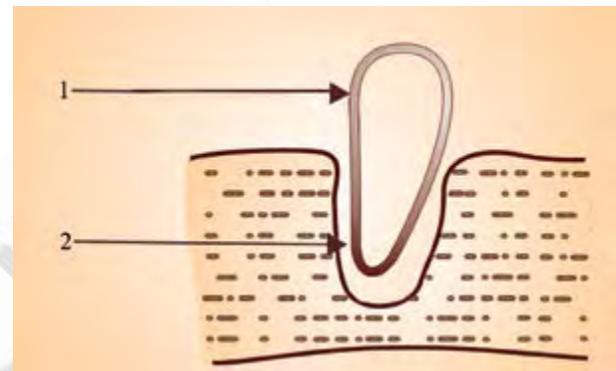


Fig. 6.20. Gónfosis: 1. Diente; 2. Alveolo dental.

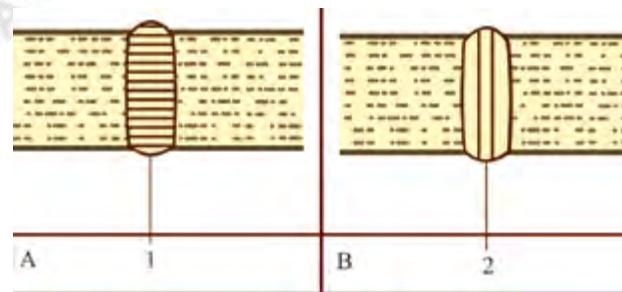


Fig. 6.21. Articulaciones cartilagosas: A. Sincondrosis: 1. Cartílago hialino. B. Sínfisis: 2. Cartílago fibroso o fibrocartílago.

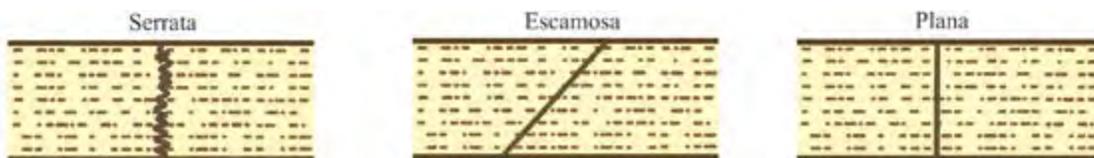


Fig. 6.19. Variedades de suturas.

Tabla 6.5. Articulaciones cartilaginosas

Variación	Ejemplos
Sincondrosis (por cartílago hialino)	En etapa de crecimiento del esqueleto: en el coxal y huesos largos
	En esqueleto del adulto: entre los huesos de la base del cráneo
Sífnisis (por cartílago fibroso)	Entre los pubis del hueso coxal
	Entre los cuerpos vertebrales

Articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales se caracterizan, en general, porque la unión de los huesos es discontinua al presentar una cavidad entre ellos, lo que le proporciona movilidad, estando los huesos realmente unidos por una cápsula articular reforzada por ligamentos. La cápsula articular está tapizada internamente por la membrana sinovial, de donde recibe su nombre este tipo de articulación (Fig. 6.22).

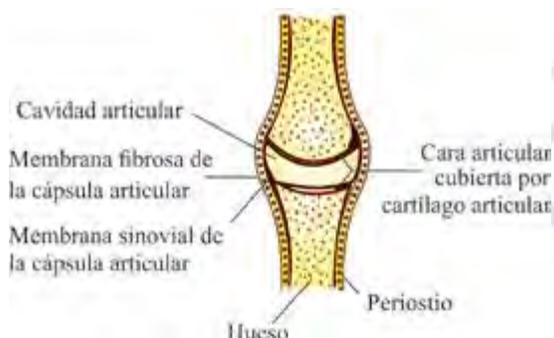


Fig. 6.22. Articulación sinovial.

La cavidad articular es un espacio pequeño, herméticamente cerrado, que está limitado por la membrana sinovial y las superficies articulares de los huesos llamadas caras articulares, que se encuentran recubiertas de cartílago articular (generalmente cartílago hialino) que facilita el deslizamiento de estas.

Algunas articulaciones sinoviales presentan dentro de la cavidad articular los denominados fibrocartílagos intrarticulares, que favorecen la adaptación de las caras articulares. Estos fibrocartílagos intrarticulares adoptan distintas formas de acuerdo con la función que realizan (Fig. 6.23): de disco, de medialuna o menisco y de anillo, rodete o labro. Todos los fibrocartílagos intrarticulares se adhieren a la cápsula articular, pero el labro se fija además, al contorno de la cara articular que tiene forma cóncava, aumentando su profundidad al elevar sus bordes. Los discos y meniscos se disponen entre las dos caras articulares de los huesos, actuando como un tabique que divide a la cavidad articular, con la particularidad de que el disco lo hace completamente y el menisco parcialmente (Fig. 6.23 A y B).

La cápsula articular es el medio de unión fundamental de la articulación que se dispone en forma de manguito extendido de un hueso a otro, fijándose al contorno o vecindad de las caras articulares y está compuesta por dos capas: una externa o membrana fibrosa que se continúa con la capa fibrosa del periostio, y otra interna o membrana sinovial que reviste las paredes de la cavidad articular, excepto los cartílagos articulares y los fibrocartílagos intrarticulares.

La membrana sinovial segrega un líquido ligeramente amarillo llamado sinovia, que actúa como lubricante de la articulación y contribuye a la nutrición del cartílago articular. Esta membrana puede presentar gran número de pequeñas prolongaciones que reciben el nombre de vellosidades sinoviales y en zonas aisladas forman prolongaciones más grandes nombradas pliegues sinoviales, que a veces contienen gran cantidad de tejido adiposo y que actúan como relleno de los espacios libres entre las superficies articulares. En algunas zonas débiles de la cápsula articular se observan evaginaciones de la membrana sinovial en forma de saco, por lo cual se denominan bolsas sinoviales que se sitúan alrededor de los tendones y músculos cercanos a la articulación favoreciendo sus movimientos.

Los ligamentos son otros medios de unión de las articulaciones que refuerzan la cápsula articular y que están constituidos por tejido conectivo denso regular. De acuerdo a su localización los ligamentos se pueden clasificar en intracapsulares, capsulares y extracapsulares.

Clasificación de las articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales se pueden clasificar de diferentes maneras, teniendo en cuenta distintos factores:

- a. El número de caras articulares. Según el número de las caras articulares de los huesos que forman las articulaciones, estas se pueden clasificar en simples y compuestas (Tabla 6.6):
 - La articulación simple es la que tiene solamente dos caras articulares. Por ejemplo: las articulaciones interfalángicas.
 - La articulación compuesta es la que tiene más de dos caras articulares. Por ejemplo: la articulación del codo.
- b. La presencia o no de fibrocartílagos. Se habla de articulación compleja cuando la cavidad articular se encuentra dividida total o parcialmente por un fibrocartílago intrarticular, ya sea en forma de disco o menisco. Por ejemplo: la articulación temporomandibular (con disco) y la articulación de la rodilla (con menisco). Debe tenerse en cuenta que el labro es un fibrocartílago intrarticular que no hace compleja la articulación, no divide la cavidad articular.

Tabla 6.6. Clasificación de las articulaciones sinoviales según el número de caras articulares y otros criterios

Variación	Características
Simple	Dos caras articulares
Compuestas	Más de dos caras articulares
Complejas	Con discos o meniscos
Combinadas	Separadas, pero con función conjunta

- c. Si son o no anatómicamente independientes y funcionalmente únicas. Se conoce por articulación combinada la que está constituida por dos articulaciones separadas una de otra, pero que realizan una función conjunta y en la que por lo menos, uno de los huesos que las componen es común a ambas articulaciones. Por ejemplo: las articulaciones temporomandibulares y las articulaciones radioulnares proximal y distal.
- d. La forma de las caras articulares. Estos factores se relacionan entre sí, ya que la forma de las caras articulares determina la función y viceversa, lo cual representa un ejemplo de la categoría dialéctica de la unidad entre la forma y la función. También existe una correspondencia entre el número de ejes de movimientos y la forma de las caras articulares.
- e. La función, que está determinada por el número de ejes de movimiento. La clasificación de las articulaciones sinoviales según su función está determinada por el número de ejes, alrededor de los cuales se ejecutan los movimientos, distinguiéndose tres variedades de articulaciones: monoaxil, biaxil y triaxil o poliaxil. Ya se explicó que existen tres ejes fundamentales en el cuerpo humano que son perpendiculares entre sí y que se denominan: sagital, coronal o frontal y vertical.

Forma de las caras articulares

Según la forma de las caras articulares, las articulaciones se pueden clasificar en distintas variedades, comparables a segmentos de cuerpos geométricos que se mueven alrededor de los ejes correspondientes a su forma (Fig. 6.24 y Tabla 6.7).

Las articulaciones monoaxiales tienen la forma de cilindro (trocoideas) y polea (gínglimo o troclear) (Fig. 6.24 A y B).

Las articulaciones biaxiales son: elipsoidea, condilar y en silla de montar (en silla o de encaje recíproco) (Fig. 6.24 C, D, E); y las poliaxiales: esferoidea y plana (Fig. 6.24 F y G).

Tabla 6.7. Clasificación de las articulaciones sinoviales según el número de ejes y la forma de las caras articulares

Número de ejes	Forma	Características
Monoaxil	Trocoidea	Segmento de cilindro o rueda
	Gínglimo	Tróclea o polea
Biaxil	Elipsoidea	Elipse
	Condilar	Doble elipse
	En silla	En silla de montar
Poliaxil	Esferoidal	Esfera
	Plana	Plana

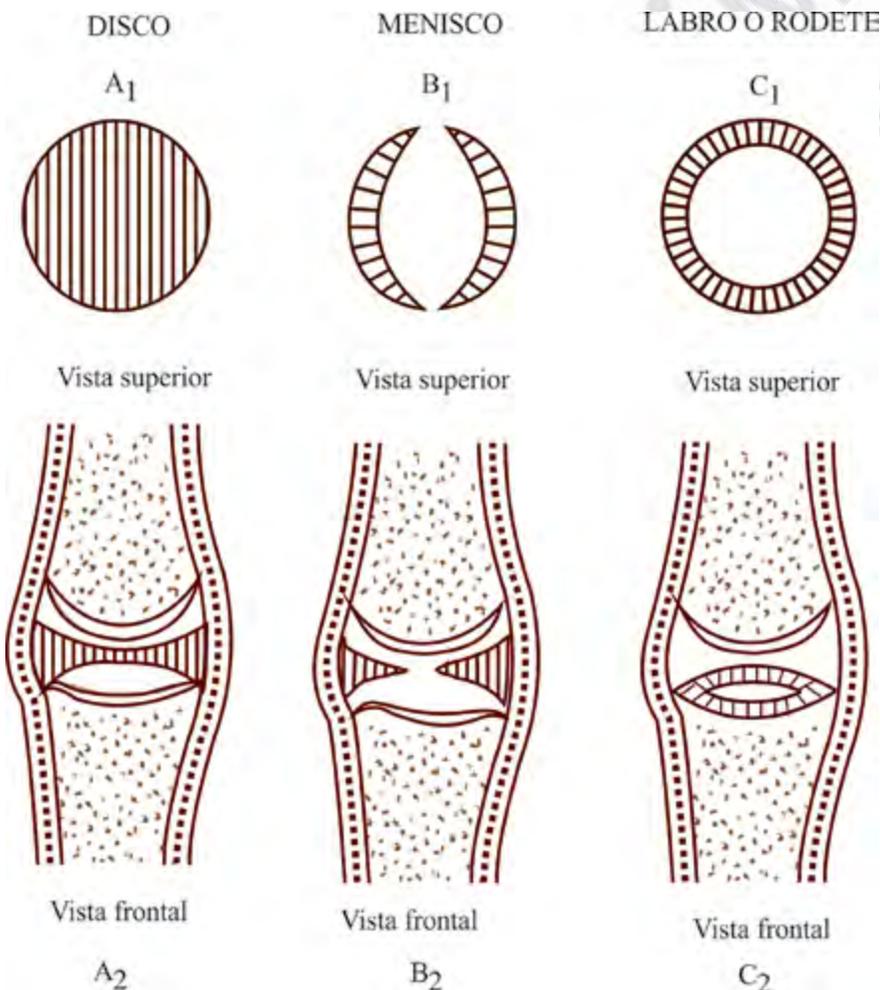


Fig. 6.23. Fibrocartílagos intrarticulares.

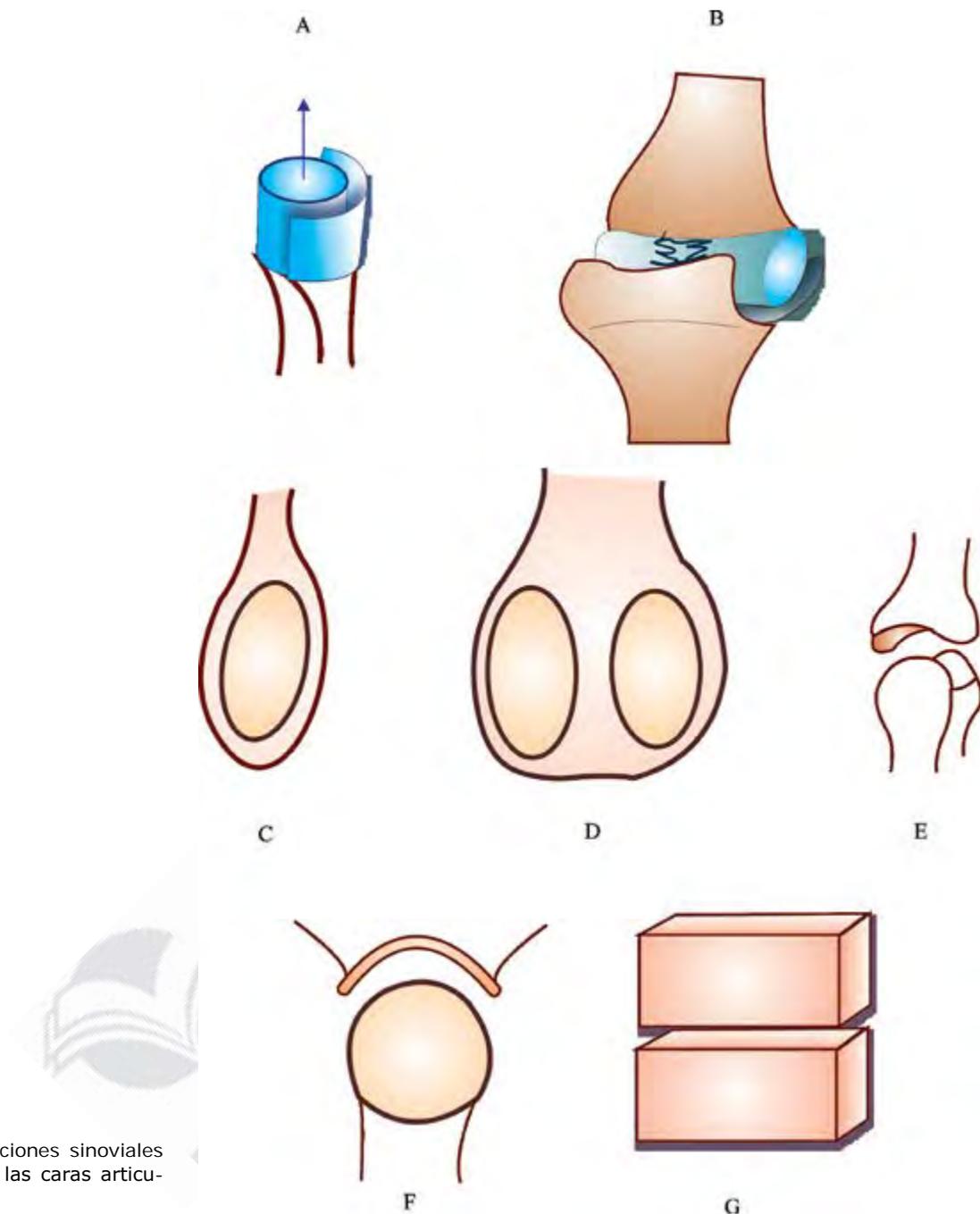


Fig. 6.24. Articulaciones sinoviales según la forma de las caras articulares.

Articulación trocoidea o cilíndrica

En la articulación trocoidea las caras articulares tienen la forma de segmentos de cilindros, presentando una parte el aspecto de rueda o de anillo osteofibroso, uno cóncavo y otro convexo que se adaptan uno a otro. Son articulaciones monoaxiales, cuyo eje sigue la dirección longitudinal del hueso, alrededor del cual se producen los movimientos de rotación. Los ejemplos más típicos de estas articulaciones son: la articulación atlantoaxial mediana y las articulaciones radioulnares proximal y distal.

Articulación troclear o gínglimo

El gínglimo es una articulación que tiene las caras articulares en forma de tróclea o puela (rueda de canto

acanalado por donde corre una cuerda); está constituida de un lado por una depresión alargada semejante a un surco, a la cual se adapta la otra cara articular en forma de saliente alargado parecido a una cresta. Son articulaciones monoaxiales, ya que los huesos que las componen se mueven alrededor de un solo eje de movimiento que generalmente es el eje frontal. Las articulaciones que se distinguen con esta forma son: la articulación humeroulnar, articulación talocrural y las articulaciones interfalángicas de la mano y del pie.

Articulación elipsoidea

En la articulación elipsoidea las caras articulares representan segmentos de elipses, con una de las partes

convexa y la otra cóncava. Son articulaciones biaxiales, es decir, que presentan dos ejes (ejes frontal y sagital) que permiten dos clases de movimientos. Esta variedad se puede observar en las articulaciones: radiocarpiana, mediocarpiana, metacarpofalángica y metatarsofalángica.

Articulación condilar

La articulación condilar constituye una forma de transición entre el gínglimo y la articulación elipsoidea. Se diferencia del gínglimo por el número de ejes, ya que es una articulación biaxial, debido a que sus caras articulares presentan gran diferencia de forma y dimensión. De la articulación elipsoidea se diferencia porque sus caras articulares son dobles, están formadas por una doble elipse, o sea, que uno de los huesos presenta dos salientes muy pronunciados en forma de elipse llamados cóndilos que se corresponden con las dos caras articulares cóncavas del otro hueso. Estos cóndilos pueden encontrarse dentro de una sola cápsula articular, como en la articulación de la rodilla, que se mueven alrededor de los ejes frontal y vertical; pero cuando están muy separados se hallan en cápsulas articulares aisladas, como en la articulación atlantooccipital, cuyos ejes de movimientos son el frontal y sagital.

Articulación en silla

Las articulaciones en silla se caracterizan por tener cada una de las caras doble curvatura, que son cóncavas en un sentido y convexas en el otro, correspondiéndose las caras articulares de los dos huesos de forma semejante a la posición que adopta un jinete sobre la silla de montar en caballo.

Son articulaciones biaxiales por presentar dos ejes de movimientos, realizando por tanto, dos clases de movimientos siendo los ejemplos de esta variedad las articulaciones carpometacarpiana del pulgar, calcáneo cuboidea y esternoclavicular.

Articulación esferoidea

En las articulaciones esferoides las caras articulares tienen la forma de segmentos de esferas que se corresponden entre sí, estando representado en un hueso por una cabeza y en el otro por una cavidad, que en ocasiones se encuentra agrandada por un fibrocartílago intrarticular en forma de anillo o rodete (labro articular).

Son articulaciones triaxiales o poliaxiales que realizan todos los movimientos alrededor de los tres ejes fundamentales, aunque teóricamente se comprende que los movimientos pueden realizarse alrededor de múltiples ejes. Los ejemplos más destacados de esta variedad son la articulación humeral y la articulación coxal, observándose también en la articulación húmero-radial y la articulación talocalcáneo-navicular.

Articulación plana

En las articulaciones planas las caras articulares son casi planas, siendo consideradas como segmentos de una esfera de gran tamaño, con todos sus ejes y movimientos, por lo cual se clasifican como poliaxiales; pero

en la práctica los movimientos son bastante limitados, realizándose solo un discreto deslizamiento. Esto es debido a la poca diferencia de las dimensiones entre las dos caras articulares. Los ejemplos de esta variedad son las más abundantes, los cuales se irán señalando en el estudio particular de cada articulación.

Anatomía radiológica de las articulaciones

En las radiografías las articulaciones continuas (fibrosas y cartilaginosas) se observan con una tonalidad oscura (radiotransparentes), debido a que el tejido que une los huesos tiene poca densidad. Las suturas del cráneo se pueden observar como líneas radiotransparentes y las sindesmosis como las membranas interóseas de los huesos del antebrazo y la pierna, presentan una zona radiotransparente de mayor extensión. Las sínfisis intervertebrales y del pubis también presentan zonas radiotransparentes entre los huesos y las sincondrosis de los huesos largos en formación (en los niños), presentan radiotransparencias entre las epífisis y la diáfisis, que dan la impresión de huesos separados o aislados, cuando en realidad están unidos por el cartílago epifisario (de conjunción o de crecimiento).

En las radiografías de las articulaciones sinoviales se observa la cavidad articular como una hendidura estrecha, radiotransparente, de 2 a 5 mm en el adulto (Fig. 6.25), ocupada casi totalmente por los cartílagos articulares, pero en los niños pequeños la hendidura es más amplia, debido a que las epífisis de los huesos largos no están totalmente osificadas.



Fig. 6.25. Radiografía de la rodilla derecha frontal (anteroposterior).

Orientaciones para el estudio de las articulaciones

Para facilitar el estudio de las articulaciones es recomendable seguir un orden lógico, con un enfoque sistémico explicando primero las características regionales más destacadas que predominan en la región donde se hallan y posteriormente precisar las características particulares de cada articulación objeto de estudio, y las características específicas de las articulaciones sinoviales de mayor movilidad:

- a. Características regionales de las articulaciones:
 - Tipo de articulación que existe o predomina en la región esquelética, de acuerdo con la clasificación por la estructura de su unión (fibrosa, cartilaginosa o sinovial).
 - Nombre y situación de las articulaciones más destacadas de la región.
- b. Características particulares de las articulaciones:
 - Nombre de la articulación que generalmente se corresponde con el nombre de los huesos que la forman.
 - Clasificación de las articulaciones por su estructura (fibrosa, cartilaginosa o sinovial) y determinar la variedad correspondiente.
- c. Características específicas de las articulaciones sinoviales:
 - Cavidad articular que está presente en todas estas articulaciones.
 - Caras articulares de los huesos que la componen, las cuales están cubiertas de cartílago articular.
 - Fibrocartílagos intrarticulares que existen en algunas de estas articulaciones, ya sea en forma de disco, menisco o labro articular.
 - Medio de unión fundamental constituido por la cápsula articular, compuesta por la membrana externa o fibrosa y la membrana interna o sinovial, que está reforzada por los ligamentos articulares que pueden ser extracapsulares, capsulares o intracapsulares.
 - Movimientos que realizan y ejes de movimientos de la articulación.

Biomecánica

En el movimiento físico se distingue el movimiento mecánico, que consiste en el cambio de la posición de un cuerpo con respecto a otros cuerpos. Este tipo de movimiento se observa en el cuerpo animal formando parte de la mecánica animal o biomecánica.

Concepción filosófica del movimiento

El materialismo dialéctico explica que el mundo existente es único, material, eterno e infinito, que está en perpetuo movimiento, conforme a leyes.

En su aspecto más general el movimiento significa cambio y es concebido como un atributo inherente a la materia. Por lo tanto, no puede haber materia sin movimiento, como no hay movimiento sin materia. El principio

de conservación de la materia ha demostrado científicamente la indestructibilidad e increabilidad de la materia y de su movimiento, considerando la energía como una propiedad de la materia, que representa la medida cuantitativa del movimiento y expresa la capacidad de trabajar.

La teoría de la relatividad reafirma que el movimiento de la materia se produce en el espacio y el tiempo. Esto significa que la materia en movimiento puede estar en un punto del espacio, pero no en dos a la vez, siendo el tiempo la sucesión entre una fase y otra del movimiento. Actualmente se conocen diversas formas de movimientos, entre las cuales existe estrecha interrelación. Las formas de movimiento que más se destacan son: las físicas, químicas, biológicas y sociales. Esta última es la forma superior de movimiento que contiene a las otras formas de movimientos, siendo el hombre portador de todas ellas.

Movimientos mecánicos en el humano

En el humano se observan las 3 clases de movimientos mecánicos que se perciben en los animales, lo cual constituye una prueba más del proceso filogenético. Estos movimientos son: ameboideo, vibrátil y muscular:

1. El movimiento ameboideo que presenta la emisión de pseudópodos se produce en los leucocitos.
2. El movimiento vibrátil, como el realizado por los flagelos de los infusorios, se observa en el epitelio ciliado.
3. El movimiento muscular se realiza mediante la contracción de los músculos. Este movimiento se observa en el aparato locomotor al actuar los músculos sobre el esqueleto.

Sistema de palancas del cuerpo humano

Desde el punto de vista mecánico se puede comparar al hombre con una máquina compleja, ya que en las funciones de movimiento y equilibrio del cuerpo humano realizadas por el aparato locomotor, interviene un sistema de palancas.

La palanca es una máquina simple, la cual está constituida por una barra que apoyada en un punto, vence una resistencia. Toda palanca consta de las partes siguientes:

- Una barra o brazo, que en el organismo está representado por los huesos.
- Un punto de apoyo de la barra, que en el organismo corresponde a la unión de los huesos, o sea, a la articulación.
- Un punto de fuerza, que en el organismo es ejercida por los músculos.
- Un punto de resistencia donde se encuentra el peso a mover.

Este sistema de palancas se comprenderá mejor con el estudio de los músculos.

Factores que influyen en los movimientos articulares

Los factores que influyen en los movimientos articulares son variados, distinguiéndose los siguientes:

- La presencia de cavidad articular permite el movimiento en la articulación. Por tanto, las articulaciones

discontinuas o sinoviales son las que pueden tener gran movilidad.

- La forma de las caras articulares determina la función mecánica del movimiento en los huesos que conforman una articulación y viceversa (clasificación de las articulaciones por su forma).
- La disposición de las caras articulares determina la dirección del movimiento de los huesos articulados (articulaciones de cada región del cuerpo).
- El aumento del número de caras articulares contiguas incrementa el grado de movimiento (articulaciones del carpo y tarso).
- La diferencia en las dimensiones de las caras articulares determina el grado de movimiento de los huesos en las articulaciones, de tal manera, que el movimiento está aumentado cuando es mayor la diferencia de extensión de las caras articulares (articulaciones esferoidales) y está disminuido cuando esta diferencia es menor (articulaciones planas).
- La presencia de fibrocartílagos intrarticulares favorece la amplitud de los movimientos, llegando a aumentar el número de movimientos (articulación témporomandibular).
- Los movimientos articulares se encuentran limitados por distintos factores, como son: los medios de unión (cápsula y ligamentos articulares), músculos y estructuras óseas.
- La movilidad es muy variada en los distintos individuos, dependiendo del tipo de trabajo o deporte que realizan, siendo menor en los pesistas y mayor en los gimnastas, llegando a ser de grandes proporciones en los acróbatas y contorsionistas.

Clases de movimientos articulares

Los movimientos que realizan en las articulaciones pueden ser activos y pasivos. Los llamados movimientos activos son aquellos que se ejecutan por el propio individuo mediante la contracción de sus músculos. Al contrario, los movimientos pasivos son provocados en el cuerpo sin que intervenga su contracción muscular. Se producen por la acción de la gravedad o mediante la exploración ejercida por otra persona, como la realizada por el personal de salud durante el examen físico con el objetivo de diagnosticar los trastornos articulares y neuromusculares o en la fisioterapia.

Para comprender los movimientos articulares es necesario conocer previamente los ejes y planos fundamentales del cuerpo humano, ya que es de suponer que todo cuerpo gira alrededor de un eje que pasa por su centro y a su vez, se desplaza paralelo a un plano.

En general, y tomando como base los tres ejes fundamentales del cuerpo humano, se distinguen cuatro clases de movimientos articulares llamados: deslizamiento, rotación, angulares y circunducción.

Movimientos de deslizamientos

El deslizamiento se produce al moverse las caras articulares una sobre otra, sin abandonarse. Este movimiento está presente en todas las articulaciones

sinoviales, siendo típico de las articulaciones de forma plana (poliaxil), en las cuales es bastante limitado, pero al actuar en conjunto varias de estas articulaciones provocan mayor movilidad, como ocurre en el carpo, tarso y columna vertebral.

Movimientos de rotación

El movimiento de rotación se realiza cuando el hueso da vueltas alrededor de su eje mayor o longitudinal y se caracteriza porque no produce cambio de lugar en el hueso, sino cambio de orientación (Fig. 6.26). Este movimiento es típico de las articulaciones de forma trocoidea o cilíndricas (monoaxil), aunque también puede realizarse en otras clases de articulaciones, como en las esferoidales (poliaxil).

En el esqueleto axil (cabeza y columna vertebral) la rotación se efectúa hacia la derecha y hacia la izquierda. En el esqueleto apendicular (parte libre de los miembros), la rotación se realiza hacia las partes lateral y medial. En el antebrazo la rotación lateral también se denomina supinación y la rotación medial, pronación.

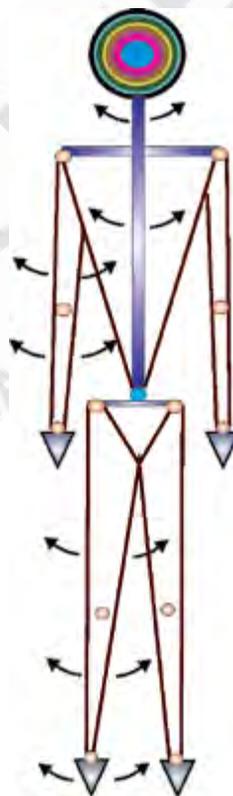


Fig. 6.26. Movimiento de rotación: derecha e izquierda en el esqueleto axil; lateral-medial, en el esqueleto apendicular.

Movimientos angulares

Los movimientos angulares son los cambios de situación de los huesos que componen una articulación, formando ángulos variables entre sus ejes longitudinales. Este movimiento está constituido por dos pares de movimientos que se denominan: separación-aproximación y flexión-extensión.

Los movimientos de separación-aproximación (abducción-aducción) se efectúan alrededor de un eje sagital en la parte libre de los miembros (brazo, mano, muslo, pie y dedos), provocando la separación y aproximación de estos en relación con el plano medio del cuerpo (Fig. 6.27); pero en los dedos de la mano la separación y aproximación se realiza en relación con el eje que pase por el tercer dedo o dedo medio, y en el pie el eje que pasa por el segundo dedo.

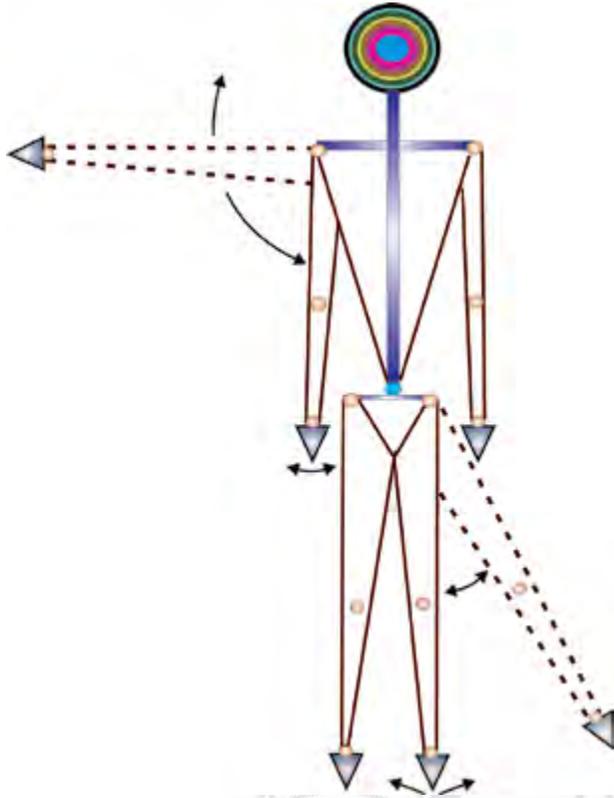


Fig. 6.27. Movimientos de los miembros: de separación (abducción) y aproximación (aducción).

Los movimientos de flexión-extensión se ejecutan alrededor de un eje frontal, llamándose flexión cuando disminuye el ángulo formado por los huesos articulados acercándolos uno al otro y extensión cuando aumenta dicho ángulo, apartándose los huesos hasta disponerse en línea recta. Estos movimientos se observan en el esqueleto apendicular (parte libre de los miembros) (Fig. 6.28) y en el esqueleto axial (cabeza y columna vertebral).

Generalmente, los movimientos de flexión se realizan hacia delante y los de extensión hacia atrás, excepto en la región de la pierna al actuar en la articulación de la rodilla. Por este motivo, en la raíz de los miembros (articulación humeral y articulación coxal) la flexión también es conocida por flexión anterior y la extensión por flexión posterior.



Fig. 6.28. Movimientos de los miembros: de extensión y flexión.

Algo parecido ocurre en el pie (articulación talocrural), donde la flexión es llamada flexión dorsal y la extensión flexión plantar, mientras que en los dedos, la flexión se realiza hacia la palma de las manos y planta de los pies.

También es conveniente aclarar que los movimientos de separación y flexión del brazo llegan hasta el nivel del hombro y cuando sobrepasan este lugar se les denomina elevación. Además, en las regiones del esqueleto axial, los movimientos que se realizan alrededor del eje sagital reciben el nombre de flexión lateral derecha e izquierda.

Movimientos de circunducción

El movimiento de circunducción es el resultado de la sumatoria de los cuatro movimientos angulares antes mencionados, caracterizándose porque es un movimiento de onda, en el cual el hueso movable describe un cono cuyo vértice corresponde a la extremidad articular y la base a la extremidad opuesta (Fig. 6.29).

Otras clases de movimientos articulares

En el cuerpo humano se observan, además, otras clases de movimientos articulares que reciben distintas denominaciones. Estos movimientos se producen en determinadas articulaciones que presentan características particulares.

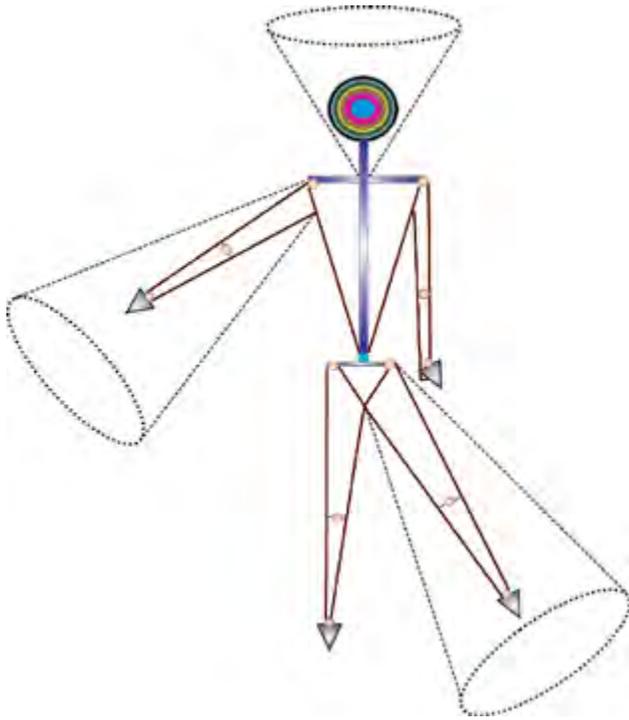


Fig. 6.29. Movimientos de circunducción.

Los ejemplos más destacados de estos movimientos especiales se relacionan a continuación.

- Los huesos situados en un plano horizontal, como las costillas, clavículas y mandíbula, se caracterizan porque efectúan movimientos de ascenso y descenso.
- En la mandíbula también se ejecutan movimientos hacia delante y hacia atrás que se denominan propulsión y retropulsión. Además, se efectúan movimientos laterales o de diducción.
- En el pie los movimientos no se verifican de manera aislada ya que en el tarso existen varias articulaciones que actúan en conjunto provocando movimientos combinados que se nombran inversión y eversión.

La inversión significa desviación del pie hacia dentro, dirigiendo la planta del pie hacia la parte medial, en ella intervienen la flexión plantar, aproximación y rotación lateral, mientras que en la eversión ocurre todo lo contrario.

- Si se observa la mano en posición de reposo se nota que el primer dedo o pulgar está colocado en una posición distinta a los otros dedos. Por tanto, los movimientos del pulgar presentan características particulares, de manera que en la extensión se coloca lateralmente, en la flexión se sitúa medialmente sobre la palma, en la separación se dirige hacia delante, en la aproximación se acerca al dedo índice y en la oposición se opone a los otros dedos, siendo este último movimiento, típico del humano.

Bibliografía

- CD del Proyecto Policlínico Universitario, 2004.
- Diccionario terminológico de ciencias médicas (1984), 11na. Ed. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
- Folletos, guías de prácticas y manuales: elaborados en los departamentos de anatomía para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje: 2002.
- Moore, K., A. Dalley, A. M. R. Agur (2010): *Clinically Oriented Anatomy*. Sixth Edition. Estados Unidos: Editorial Lippincott Williams & Wilkins; pp. 230-38.
- O'Rahilly, R. (1989): *Anatomía de Gardner*. 5ta. Ed. México: Edit Interamericana.
- Orts Llorca, F. (1986): *Anatomía Humana*. 6ta. Ed. Barcelona: Científico-Médica.
- Prives, M., N. Lisenkov, V. Bushkovich (1984): *Anatomía Humana*. 5ta. Ed. Moscú: MIR.
- Rosell Puig, W. y C. Dovale Borjas (1992): *Consideraciones generales de la Anatomía y del Aparato Locomotor*. 4ta. Ed. La Habana: ISCM.
- Rosell Puig, W., C. Dovale Borjas e I. Álvarez Torres (2002): *Morfología Humana I*. La Habana.
- Rouviere, H. y A. Delmas (1999): *Anatomía Humana*. 10ma. Ed. París: Masson.
- Sinelnikov, R. D. (1981): *Atlas de Anatomía Humana*. 3ra. Ed. Editorial MIR, Moscú.
- Williams, P. L. and R. Warwick (1986): *Gray's anatomy*. 36a. Ed. Barcelona: Salvat.

Esqueleto

Clara Silvia Loynaz Fernández, María Esperanza Lopategui Cabezas, Yoanka Otero Baña, Yainet Cruz Álvarez

La división del esqueleto en esqueleto axial y esqueleto apendicular no es una conveniencia meramente arbitraria, puesto que las estructuras axiales —el cráneo y la columna vertebral y sus elementos asociados, las costillas y el esternón— constituyen el esqueleto primario, mientras que los elementos esqueléticos apendiculares representan incorporaciones posteriores que adquieren importancia progresiva en los hábitos locomotores de los vertebrados.

Esqueleto axial

El esqueleto axial del cuerpo es el esqueleto correspondiente a las regiones de la cabeza, cuello y tronco.

Esqueleto de la cabeza

Durante la práctica médica, en los servicios de urgencia de politraumas, llegan personas que han sufrido traumas craneales en el curso de accidentes automovilísticos, riñas u otros acontecimientos violentos. En esos casos es frecuente que se produzcan fracturas de los huesos de la cabeza que presentan síntomas y signos característicos que orientan al especialista en la localización de estas en las diversas regiones del cráneo, como por ejemplo, la salida de líquido serosanguinolento por las fosas nasales en el caso de la fractura de la lámina cribosa del hueso etmoides o sangre por el poro acústico externo al fracturarse el hueso temporal en su porción petrosa.

En otros casos, tras un trauma muy intenso en la región superolateral de la cabeza, el paciente sufre un hematoma intracraneal que se produce al seccionarse los vasos que por estas zonas transitan durante la fractura del hueso parietal, acontecimiento que se explica debido a la íntima relación existente entre este hueso y los vasos meníngeos.

Todos estos hechos ponen en evidencia la importancia de profundizar en el conocimiento de los aspectos

básicos correspondientes a la morfología y la fisiología del esqueleto de la cabeza, que a continuación se explican en este capítulo.

Características regionales del esqueleto de la cabeza

El cráneo de los vertebrados es la región más altamente modificable del esqueleto axial. Es necesario recordar el cráneo de los ancestros del ser humano y cómo este se ha ido modificando a lo largo de su evolución. Esta modificación ha tenido lugar durante millones de años y ha llevado, en definitiva, a la salida del hombre como un producto de la evolución.

El cráneo de los predecesores del ser humano no siempre fue igual al actual, pues presentaban importantes diferencias uno con respecto al otro: por ejemplo, en el caso de los predecesores su frente era más vertical y tenían una barbilla o mentón prominente, con una arquitectura facial en general muy robusta, con huesos frontales muy fuertes; mientras que el humano actual tiene los huesos frontales ligeramente desarrollados, por lo que el cráneo resulta mucho más grácil y delicado.

El desarrollo del cráneo en el ser humano está en dependencia, fundamentalmente, del desarrollo del encéfalo y del aparato masticatorio, e incluso, el desarrollo del encéfalo ha condicionado el desarrollo de la calvaria o bóveda craneana, de forma tal, que la calvaria adquiere dos o tres veces más tamaño que el resto de los componentes craneales en el hombre.

El esqueleto de la cabeza se desarrolla del mesodermo que rodea la porción craneal del tubo neural, con la particularidad de que en la región de la cara se desarrolla del mesodermo de los arcos branquiales.

El cráneo humano sufre diferencias individuales importantes en relación al sexo, a la edad y al biotipo. En el caso de la mujer es más corto, más delgado y más pequeño, y si se observa bien se ve que las crestas

musculares están mucho menos desarrolladas y la bóveda es más aplanada.

Para citar algunas diferencias relacionadas con la edad, en el recién nacido se puede constatar el poco desarrollo del aparato masticatorio, así como de la mandíbula y el gran desarrollo del neurocráneo vinculado al desarrollo del sistema nervioso, incluyendo la existencia de las fontanelas.

La cabeza ósea constituye la porción superior del esqueleto axial del cuerpo, integrada por un número importante de elementos, los cuales se encuentran adaptados para desarrollar funciones de protección, de dar forma, así como de sostener el encéfalo, siendo estas funciones mecánicas similares a las funciones que desarrolla el resto del esqueleto en el hombre.

Además, el cráneo interviene en la dinámica de estas regiones del cuerpo, que tienen características particulares en el humano a través de su única articulación móvil, la de la mandíbula, cuyos movimientos permiten efectuar la masticación y apoyar el lenguaje articulado.

Sin embargo, considerar el cráneo solo con una función de protección sería relegar su misión al mínimo. ¿Por qué? Porque la existencia del continente rígido que establece el cráneo favorece la circulación sanguínea intracerebral continua y su control, lo que es tan importante para preservar la función ininterrumpida del cerebro. Además, favorece el proceso de amortiguamiento de las meninges (de la duramadre) y de su contenido líquido (líquido cerebroespinal).

El cráneo óseo se divide para su estudio en neurocráneo y viscerocráneo (Fig. 7.1)

El neurocráneo, o cráneo propiamente dicho, es la porción posterosuperior de la cabeza ósea, donde se aloja el encéfalo, de ahí su nombre y en el que se distinguen dos porciones: una superior nombrada bóveda

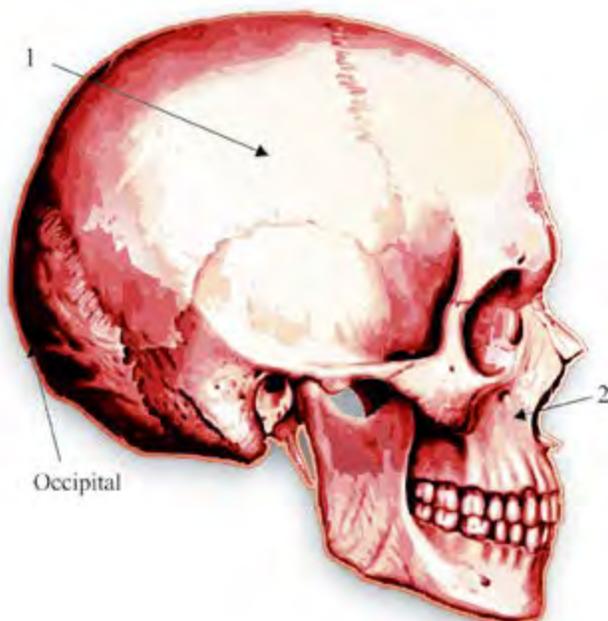


Fig. 7.1. Cráneo de un adulto. Vista lateral derecha: 1. Neurocráneo; 2. Viscerocráneo.

craneana o calvaria y una inferior denominada base del cráneo. Se desarrolla del mesodermo que rodea la porción craneal del tubo neural.

El viscerocráneo es conocido también con el nombre de cráneo facial, el que constituye la porción antero inferior del cráneo y contribuye a formar las cavidades orbitarias, la cavidad nasal y la cavidad oral. Se desarrolla del mesodermo de los arcos branquiales.

Tanto el neurocráneo como el viscerocráneo presentan huesos que se forman por los dos tipos de osificación existentes: la membranosa y la cartilaginosa o endocondral.

Los huesos de la calvaria se osifican por osteogénesis membranosa (intramembranosa) y los de la base por osteogénesis cartilaginosa (endocondral). Sin embargo, existen huesos que se forman por unión de varias porciones óseas que tiene diferentes tipos de osificación, por ejemplo, el occipital y el temporal.

Huesos del neurocráneo

El neurocráneo está constituido por 8 huesos, de ellos 2 son pares y 4 impares:

— Huesos pares:

- Temporal.
- Parietal.

— Huesos impares:

- Occipital.
- Frontal.
- Etmoides.
- Esfenoides.

Ahora bien, el estudio de los huesos independientes es muy importante para comprender las características generales del cráneo en conjunto, que es la forma habitual de encontrarlo.

Los huesos del cráneo, al igual que el resto de los huesos, se estudian siguiendo el orden lógico del estudio de los huesos:

- Situación.
- Clasificación.
- Porciones.
- Detalles anatómicos.

Hueso occipital

Es un hueso irregular que ocupa la porción postero inferior del cráneo, formando parte de la bóveda y de la base del cráneo (Fig. 7.1).

Aislado por su cara exocraneal, o sea, por fuera, (exo significa fuera), se observa el agujero magno, muy importante, el cual comunica la cavidad craneana con el canal vertebral (Fig. 7.2).

En el occipital del adulto se distinguen cuatro porciones situadas alrededor del agujero magno (Fig. 7.3): una anteroinferior, que es la porción basilar, dos porciones laterales a ambos lados del agujero magno, denominadas porciones laterales, y una porción posterosuperior que es la escama.

Los detalles anatómicos de este hueso deben ser estudiados primero por su cara exocraneal y después por su cara endocraneal.

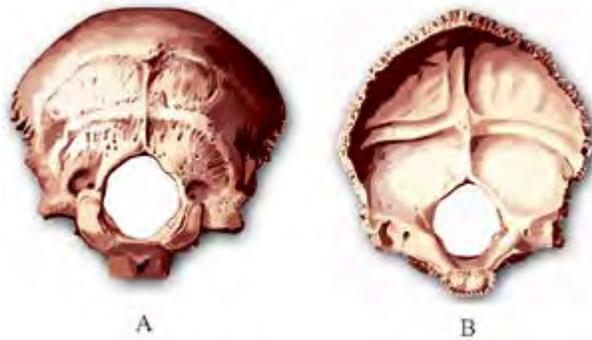


Fig. 7.2. Hueso occipital: A. Cara externa o exocraneal; B. Cara interna o endocraneal.

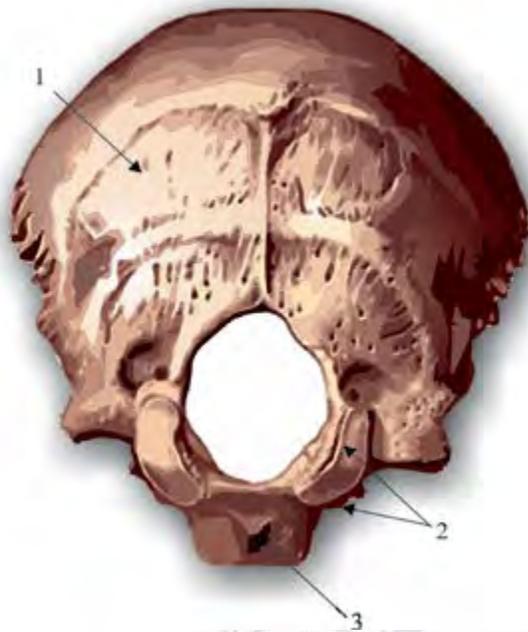


Fig. 7.3. Hueso occipital. Cara exocraneal: 1. Escama; 2. Porciones laterales; 3. Porción basilar.

Por la cara exocraneal del hueso occipital, en la porción basilar, está el tubérculo faríngeo; por detrás, en las porciones laterales se tienen los cóndilos del occipital que llaman fácilmente la atención y que son las superficies articulares que aporta el occipital para la articulación atlantoccipital que se estudiará posteriormente. Detrás de esta articulación se encuentra la fosa condilar con el agujero condilar y en la región del borde lateral la incisura yugular junto al proceso yugular. La escama tiene forma de lámina redondeada irregularmente convexa por fuera y cóncava por dentro. Su relieve exterior está condicionado por la inserción de músculos y ligamentos. En esta región llama la atención la protuberancia occipital externa, la cresta occipital externa y las líneas nucales superior e inferior, que parten a ambos lados de la protuberancia occipital externa las primeras y del punto medio de la cresta occipital externa las segundas, detalles muy importantes.

En la cara endocraneal del hueso occipital se observa que la porción basilar es lisa y declive, formando el clivus, donde descansa la médula oblongada y el puente. En las porciones laterales se destacan las eminencias yugulares y el canal del nervio hipogloso que se sitúa atravesando la base del cóndilo; en la escama, la protuberancia occipital interna, la eminencia cruciforme integrada por el surco del seno sagital superior, el seno transversal y la cresta occipital interna, los dos primeros huellas de los senos venosos homónimos.

Esta eminencia cruciforme divide a la cara interna cóncava de la escama en 4 fosas: 2 superiores cerebrales y 2 inferiores cerebelosas.

Huesos parietales

Se encuentran por delante del hueso occipital, situados en las porciones superolaterales del cráneo, a ambos lados de la línea media. Son huesos típicos planos de protección que forman la bóveda craneana, unidos entre sí en la línea media por una amplia sutura: la sutura sagital (Fig. 7.4).

Estos huesos presentan forma de láminas cuadrangulares, donde se describen en cada uno de ellos las porciones siguientes:

- Dos caras: una externa convexa y una interna cóncava.
- Cuatro bordes: anterior o frontal, posterior u occipital, superior o sagital, inferior o escamoso, que sirven para la unión con los huesos vecinos.
- Cuatro ángulos: anterosuperior o frontal, posterosuperior u occipital, anteroinferior o esfenoidal, y posteroinferior o mastoideo.

Cada hueso parietal, aislado por su cara exocraneal, no tiene detalles anatómicos importantes, solo la eminencia parietal que es poco relevante; presenta, además, los cuatro bordes y los cuatro ángulos ya señalados.

En la cara endocraneal o interna de este hueso se observan los denominados surcos arteriales, que son las impresiones de la arteria meníngea media y sus ramas, que en esta zona están próximos al hueso y que se pueden lesionar en el curso de las fracturas craneales de esta región, produciéndose un hematoma intracraneal. Así mismo, en la superficie interna de esta cara se observan eminencias, nombradas protuberancias cerebrales, y depresiones, que son las denominadas impresiones digitiformes.



Fig. 7.4. Hueso parietal derecho: A. Cara externa o exocraneal; B. Cara interna o endocraneal.

Hueso frontal

Se encuentra por delante de los huesos parietales; es un hueso impar que se sitúa en la porción anterosuperior del cráneo, anterior del neurocráneo y superior del macizo facial (Fig. 7.5). Este se clasifica como un hueso neumático, pues tiene un seno —el seno frontal—, que suele infectarse frecuentemente, lo que produce una enfermedad nombrada sinusitis frontal, caracterizada por fiebre y secreción nasal entre otros síntomas.

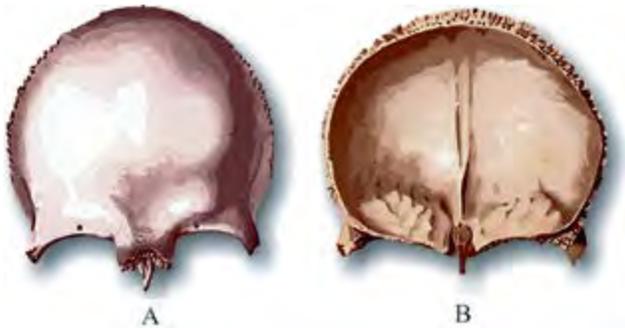


Fig. 7.5. Hueso frontal: A. Cara exocraneal; B. Cara endocraneal.

El hueso frontal contribuye a formar la bóveda craneana o calvaria, la base del cráneo y el techo de las órbitas. Consta de 4 porciones: la escama del frontal, dirigida hacia delante; 2 porciones orbitales, cóncavas, que forman el techo de las orbitas; y la porción nasal, más pequeña. Entre sus detalles anatómicos se tiene que en una vista anterior del cráneo, llama la atención que este hueso, al pasar de la escama a las porciones orbitales y nasal, cambia de dirección y forma un saliente muy marcado, denominado borde supraorbitario, detalle significativo de este hueso que se palpa fácilmente por debajo de la piel; por encima de este y en la línea media se encuentra una depresión nombrada la glabella y a ambos lados sobresaliendo los arcos superciliares. Un tanto más arriba es posible palpar con facilidad las eminencias frontales, que se encuentran a ambos lados por encima de los arcos superciliares. Este borde supraorbitario se continúa lateralmente con el proceso zigomático que se articula con el hueso zigomático del viscerocráneo. Por detrás de este se encuentra la fosa temporal ocupada por el músculo temporal.

El hueso frontal forma por su cara endocraneal la base del cráneo y el techo de las órbitas y la porción anterior de la calvaria.

En la porción interna de la escama se describe el surco del seno sagital superior que se continúa con la cresta frontal interna, la que termina en el agujero ciego. En la zona correspondiente a la base del cráneo se describen elevaciones que son las protuberancias cerebrales y depresiones que son las nombradas impresiones digitiformes.

Hueso etmoides

Está ubicado detrás del hueso frontal; es un hueso impar clasificado como neumático, que se encuentra si-

tuado en la parte media, inferior y anterior del cráneo; para visualizarlo mejor se utiliza un corte coronal en una vista posteroanterior (Cap. 6, Fig. 6.15). Este hueso contribuye a formar las paredes de la cavidad nasal y orbitaria, conformando la pared lateral de las fosas nasales, el techo de esta y el septum nasal o pared medial, así como la pared medial de la órbita. Además, forma parte también de la base del cráneo visualizándose una de sus porciones, la lámina cribosa del etmoides en la fosa craneal anterior.

Para su estudio, este hueso presenta 4 porciones: una lámina vertical o perpendicular, la lámina horizontal o cribosa y los dos laberintos etmoidales. La lámina vertical está dividida por la lámina horizontal en 2 porciones: una superior, la crista galli, y otra inferior; la lámina perpendicular del etmoides que contribuye a formar el septum nasal.

En una imagen del etmoides aislado en una vista superior (Fig. 7.6), a ambos lados se localizan los laberintos y en la zona media la lámina cribosa, denominada así por los múltiples orificios a través de los cuales pasan los filetes de los nervios olfatorios.



Fig. 7.6. Etmoides: vista superior.

Los laberintos etmoidales están formados por numerosas celdas —nombradas celdas etmoidales— que tienen en su porción lateral la lámina orbital, la cual contribuye a formar la pared medial de la órbita.

Estos laberintos etmoidales presentan en su parte medial las conchas nasales superiores y medias.

Hueso esfenoides

Está situado detrás del etmoides; también es un hueso neumático, que tiene un seno, y que se sitúa,

fundamentalmente, en la base del cráneo, formando parte de esta y de la bóveda craneana. Participa también en la formación de la cavidad nasal y de las paredes de las órbitas (Fig. 7.7).



Fig. 7.7. Esfenoides: A. Vista superior; B. Vista anterior.

En la vista superior se pueden observar las partes de la cara superior del cuerpo, muy importantes, pues entre estas se encuentran los detalles de la silla turca: la fosa hipofisial, el dorso de la silla, el surco quiasmático, el tubérculo de la silla y a ambos lados, los surcos carotídeos, por donde viajan las arterias carótidas internas y los senos cavernosos, entre otras estructuras. Además, es posible ver a nivel del ala mayor del esfenoides, tres orificios importantísimos: el agujero redondo, el agujero oval y el agujero espinoso. A nivel de la unión del ala mayor con el ala menor se tiene la fisura orbitaria superior, así como el canal óptico, que se haya en la base del ala menor, a través de los cuales pasan importantes estructuras.

En la vista anterior del esfenoides aislado se describen las porciones siguientes: un cuerpo, que presenta 6 caras; sus alas mayores, que son grandes, hacia fuera; sus alas menores, pequeñas y hacia afuera también; y sus procesos pterigoideos dirigidos hacia abajo.

Huesos temporales

Son huesos irregulares, pares, que ocupan la porción lateroinferior del cráneo; entran en la composición de la bóveda craneana y de la base del cráneo. Son muy importantes, pues contienen en su interior el órgano vestibulo coclear (Fig. 7.8).

Al estudiar cada hueso temporal por separado se describe en cada uno de ellos 3 porciones: la escama hacia arriba, la porción timpánica hacia abajo y delante, y la porción petrosa hacia adentro y delante.

En la cara exocraneal llama la atención la escama; a nivel de esta se destaca, desprendiéndose de ella, el proceso zigomático, y la fosa mandibular, superficie articular que aporta el temporal a la articulación temporo-mandibular y por delante de esta superficie se haya el tubérculo articular. Hacia arriba, abajo y delante, la porción timpánica relacionada con el poro acústico externo que es el orificio que comunica con el conducto auditivo externo.

En la cara endocraneal se puede distinguir la porción petrosa en forma de pirámide, proyectada hacia delante y medialmente.

La prolongación latero posterior de la porción petrosa es la porción mastoidea, donde sobresale el proceso mastoideo fácilmente palpable bajo la piel.

Huesos del viscerocráneo

El viscerocráneo también está integrado por huesos pares e impares:

— Huesos pares:

- Lagrimal.
- Nasal.
- Cigomático.
- Maxilar.
- Concha nasal inferior.
- Palatino.

— Huesos impares:

- Vómer.
- Hioides.
- Mandíbula.

En general, los huesos del viscerocráneo son más pequeños y ligeros. En la figura 7.9 se observan los que se relacionan a continuación.

Huesos nasales

Son huesos planos situados en el dorso de la nariz a ambos lados de la línea media; cada hueso es una lámina ósea cuadrilátera aplanada anteroposteriormente.

Huesos lagrimales

Son huesos planos también, que constituyen láminas óseas cuadriláteras aplanadas lateralmente, que se sitúan en la pared medial de la órbita; son los más frágiles y pequeños de los huesos craneales.

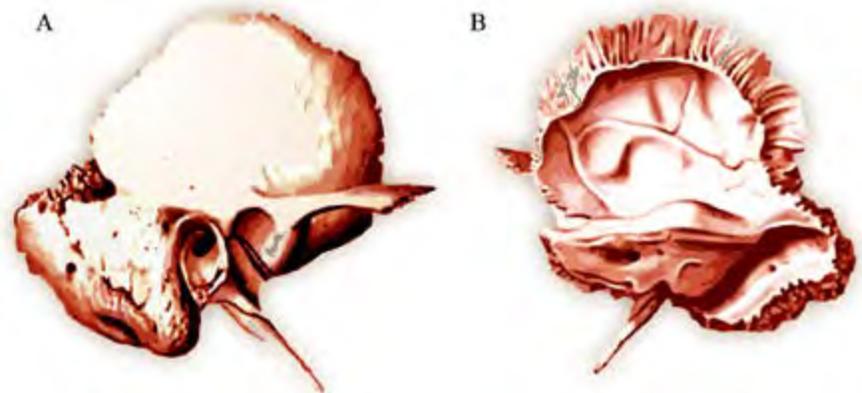


Fig. 7.8. Hueso temporal derecho: A. Cara exocraneal; B. Cara endocraneal.

Huesos cigomáticos

Son huesos irregulares situados en la región superolateral del esqueleto facial, lateral al hueso maxilar; es cuadrilátero.

Concha nasal inferior

Son láminas curvas situadas en la pared lateral de las fosas nasales clasificadas como huesos planos.

Hueso maxilar

Situado en la parte superior de la cavidad bucal, inferior de la cavidad orbital y lateral de la cavidad nasal. Participa en la composición de las paredes de estas tres cavidades. El hueso maxilar es voluminoso, y sin embargo ligero. Entre los huesos del esqueleto de la cara, es uno de los más importantes; es un hueso neumático, que contiene un importante seno, el seno maxilar, que al inflamarse su mucosa produce una enfermedad caracterizada por fiebre y secreción nasal denominada sinusitis maxilar.

El hueso maxilar consta de un cuerpo que entra en la composición de las paredes faciales, de las órbitas, de la cavidad nasal y de la fosa pterigopalatina e infratemporal. La cara facial o anterior se separa de la

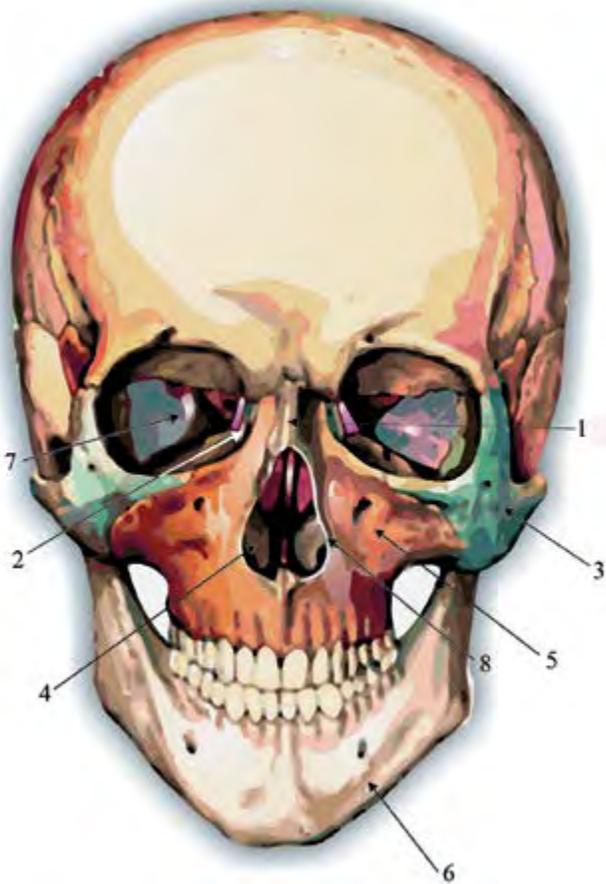


Fig. 7.9. Cráneo del adulto. Vista anterior: 1. Hueso nasal; 2. Hueso lagrimal; 3. Hueso cigomático; 4. Concha nasal inferior; 5. Maxilar; 6. Mandíbula; 7. Órbita; 8. Apertura piriforme.

superior u orbital por el borde infraorbitario debajo del cual se encuentra el agujero infraorbitario, por donde emergen importantes nervios. La cara superior forma la pared inferior de las órbitas, la cara medial entra en la composición de la pared lateral de la cavidad nasal y en ella se halla el orificio de entrada del seno maxilar, mientras que la cara posterior entra en la composición de las fosas pterigopalatina e infratemporal y en ella se describe la tuberosidad maxilar. Además del cuerpo, el maxilar presenta 4 procesos: el frontal, el cigomático, el alveolar, donde se encuentran los dientes superiores, y el palatino, que forma el piso de la cavidad nasal y el techo de la boca.

Hueso mandíbula

Se encuentra entre los huesos impares; es irregular; este y el maxilar constituyen los huesos más importantes del viscerocráneo.

La mandíbula se sitúa en la parte inferior de la cara y en ella se describen un cuerpo y dos ramas que se alzan en los extremos posteriores del cuerpo. En la parte superior de su rama hay un detalle anatómico muy importante que es el cóndilo de la mandíbula (cabeza de la mandíbula, Fig. 7.10 A); este constituye la superficie articular que aporta este hueso para la articulación temporomandibular, única articulación móvil de la cabeza. Además, en la rama de la mandíbula se encuentra el proceso coronoideo (Fig. 7.10 A), donde se inserta el músculo temporal, y la incisura de la mandíbula. En su cara interna, la rama presenta el agujero mandibular. En la zona donde el cuerpo se continúa con la rama se forma un ángulo que es el ángulo de la mandíbula y en el que se describen por su superficie externa, la tuberosidad masetérica (Fig. 7.10 A) y por su superficie interna, la tuberosidad pterigoidea (Fig. 7.10 B), huellas de inserción de dos de los músculos de la masticación.

El cuerpo de la mandíbula está incurvado en forma de herradura, presentando una cara anterior convexa y una cara posterior cóncava, un borde alveolar o superior que contiene los alvéolos dentarios y un borde inferior libre denominado base de la mandíbula. En el cuerpo se observa en la región anterior de la cara externa, la tuberosidad mentoniana, los tubérculos mentonianos y los agujeros del mismo nombre. En la cara interna se

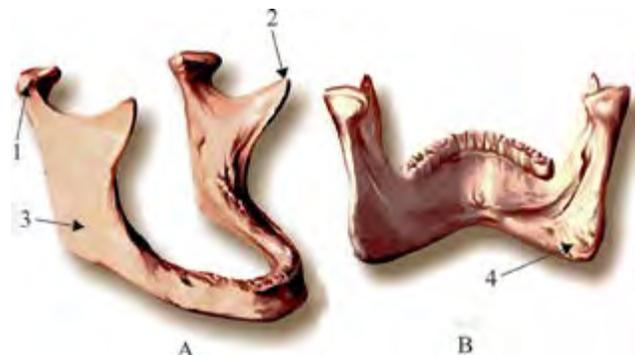


Fig. 7.10. Mandíbula: A. Cara externa; B. Cara interna: 1. Cóndilo o cabeza de la mandíbula; 2. Proceso coronoideo; 3. Ángulo de la mandíbula (tuberosidad masetérica); 4. Ángulo de la mandíbula (tuberosidad pterigoidea).

encuentran las espinas mentonianas, situadas a ambos lados de la línea media de donde nacen a cada lado, así como la línea milohioidea, que divide la cara posterior del cuerpo en dos partes: la fosita sublingual y la submaxilar, donde se alojan las glándulas homónimas. El borde inferior de la mandíbula presenta una depresión llamada fosita digástrica, relacionada con el músculo de igual nombre.

Huesos palatinos

Son huesos irregulares situados en la porción posterior de la cavidad nasal; forman la pared lateral de esta y su piso, así como el techo de la cavidad bucal. Se componen de dos láminas: una horizontal y otra vertical que se unen en ángulo recto. Por su forma se pueden comparar con un ángulo diedro (Fig. 7.11).

Hueso vómer

Está entre los huesos impares (Fig. 7.11); es un hueso plano cuadrilátero, que se sitúa en la parte posterior e inferior de la cavidad nasal, formando el septum nasal. Este constituye una lámina ósea vertical media y delgada.

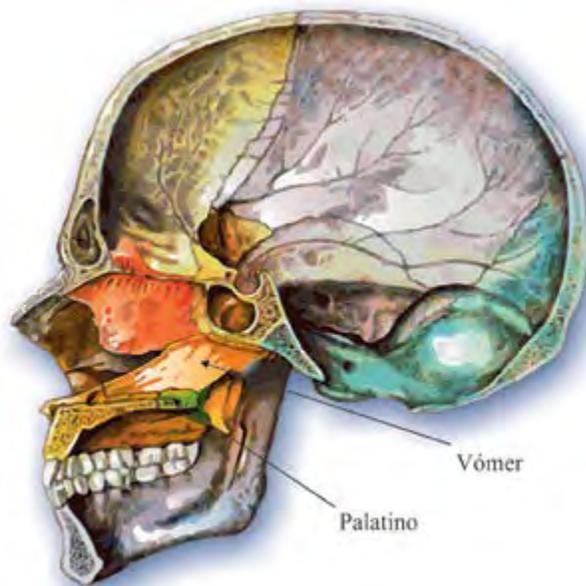


Fig. 7.11. Corte sagital del cráneo. Vista medial.

Hueso hioides

Es un hueso impar e irregular que se sitúa en la base de la lengua.

Articulaciones de la cabeza

Los huesos de la cabeza —excepto la mandíbula (articulación temporomandibular) y el hioides— están unidos entre sí, en su mayoría, mediante articulaciones continuas de tipo cartilaginosa en la base del cráneo y

de tipo fibrosa en la calvaria y la cara, que no permiten movimientos y le proporcionan a la cabeza ósea en conjunto, la solidez necesaria para desarrollar la función de protección de los órganos contenidos en ella.

En el esqueleto de la cabeza ósea, la única articulación de tipo sinovial que existe es la articulación temporomandibular, donde se realizan los movimientos de la mandíbula, tan importantes para el acto de la masticación y el lenguaje articulado.

A nivel de la base del cráneo las articulaciones predominantes cartilaginosas son las de la variedad sincondrosis, pues el medio de unión entre los huesos está constituido por cartílago hialino. Estas articulaciones reciben el nombre de los huesos que unen, por ejemplo, esfeno-occipital, esfeno-etmoidal, esfeno-petrosa, petro-occipital (Fig. 7.12).

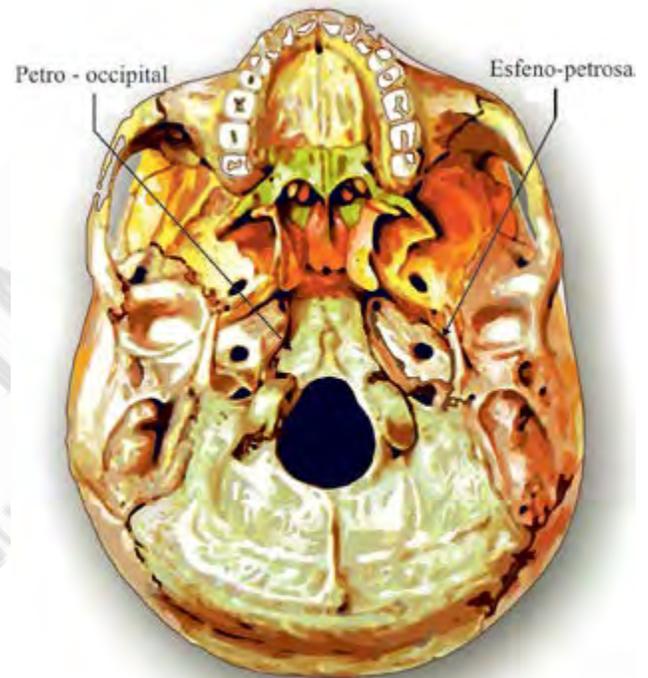


Fig. 7.12. Articulaciones predominantes a nivel de la base del cráneo.

En la región de la calvaria los huesos se unen mediante articulaciones fibrosas de la variedad conocida como sutura, la que se caracteriza porque el medio de unión es una delgada capa de tejido conectivo fibroso y reciben nombres especiales (Fig. 7.13): sutura sagital (interparietal), sutura coronal, sutura lambdaidea (parietooccipital) y sutura escamosa (temporoparietal).

En la región de la cara, al igual que en la calvaria, los huesos se unen también mediante articulaciones fibrosas, principalmente tipo suturas planas y reciben el nombre de los huesos que unen, por ejemplo, sutura internasales.

En esta región se describen, además, otras variedades de articulaciones fibrosas: la gónfosis en la unión alveolo dentaria (articulación dentoalveolar) y la esquindilesis (articulación esfenovomeriana).

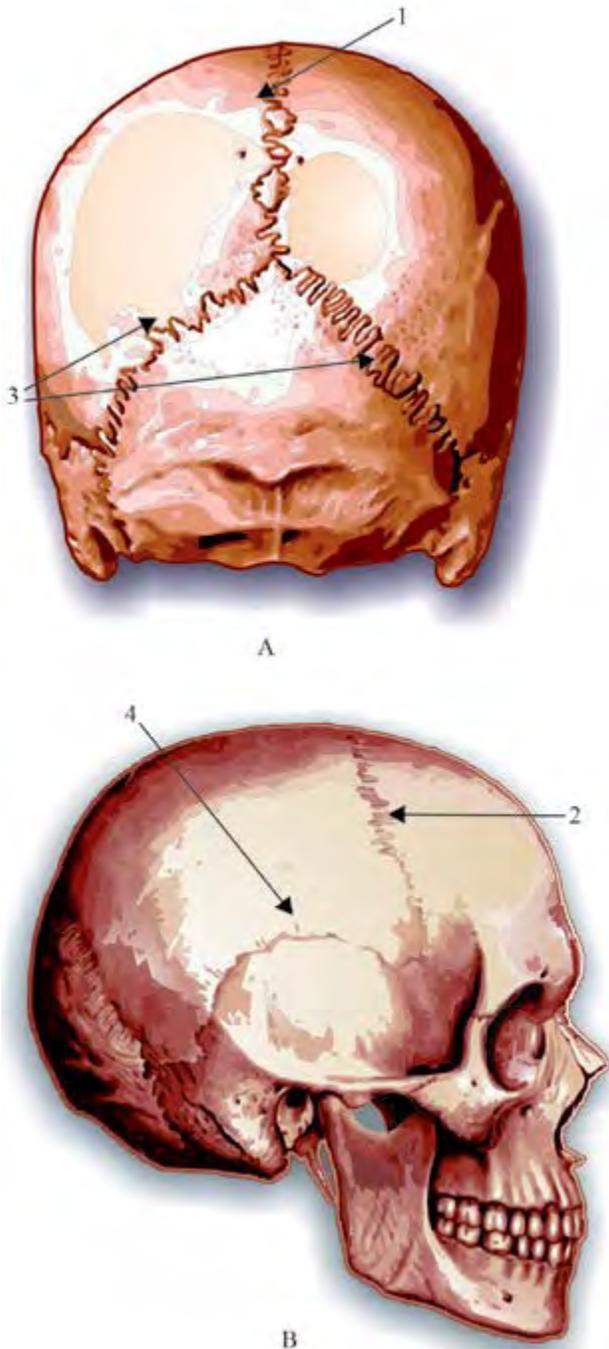


Fig. 7.13. Cráneo del adulto: A. Vista posterior; B. Vista lateral derecha: 1. Sutura sagital; 2. Sutura coronal; 3. Sutura lambdaidea; 4. Sutura escamosa.

Al estudiar las articulaciones en el feto y el niño recién nacido se observa en la calvaria otra variedad de articulación fibrosa, la sindesmosis por membrana, denominadas fontanelas (Fig. 7.14), que representan áreas no osificadas del cráneo membranoso, situadas generalmente en los puntos de unión de las suturas.

En el cráneo del recién nacido pueden distinguirse varias fontanelas: la fontanela anterior, situada entre los huesos parietales y el frontal; la fontanela posterior,

entre los parietales y el occipital; así como las fontanelas esfenoidal y mastoidea, situadas en la región lateral. La fontanela se cierra poco tiempo después del nacimiento. Las funciones de estas están dadas para favorecer el proceso del parto, ya que permite el cabalgamiento de los huesos, unos sobre otros, facilitando el paso de la cabeza fetal por el canal del parto, además benefician el crecimiento del cráneo.

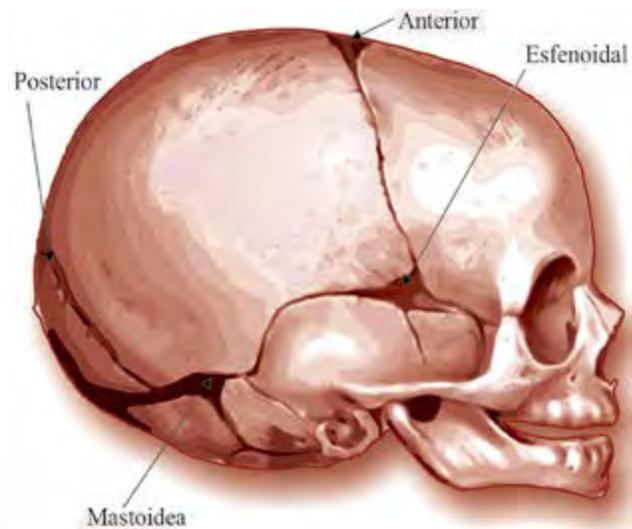


Fig. 7.14. Cráneo del recién nacido. Vista lateral.

La fontanela anterior es la más importante, se cierra completamente entre los 9 y los 18 meses. Se puede palpar en el recién nacido y brinda importante información sobre el estado de hidratación de este, el crecimiento del cráneo, así como la presión intracraneal (Fig. 7.15).

Durante el envejecimiento, las articulaciones continuas de la cabeza, tanto las fibrosas como las cartilaginosas, pueden osificarse y transformarse en sinostosis.

La articulación temporomandibular es la única articulación móvil de la cabeza (Fig. 7.16). Esta es la articulación que une el cóndilo de la mandíbula con la fosa mandibular del temporal. Constituye una articulación sinovial clasificada como simple, compleja pues tiene un disco, combinada ya que actúan al unísono y condilar por su forma.

La cara articular de la mandíbula está formada por el cóndilo o cabeza de la mandíbula y la del hueso temporal se divide en dos partes: la fosa mandibular y el tubérculo articular, entre las caras articulares de los dos huesos se halla un fibrocartílago intrarticular de tipo disco: el disco articular. El medio de unión fundamental es la cápsula, reforzada por el ligamento lateral, el estilomandibular y el esfenomandibular.

Aunque por su forma condilar esta articulación es de tipo biaxial, la existencia del disco le confiere una mayor libertad de movimientos, por lo que se comporta como una articulación poliaxial. Los movimientos que en ella se pueden realizar son de ascenso y descenso, como los ejecutados al abrir o cerrar la boca alrededor

del eje frontal, movimiento de diducción o lateralidad hacia la derecha y la izquierda, alrededor del eje vertical; y propulsión y retropropulsión que consiste en un movimiento de deslizamiento de la mandíbula junto al disco en dirección antero posterior.

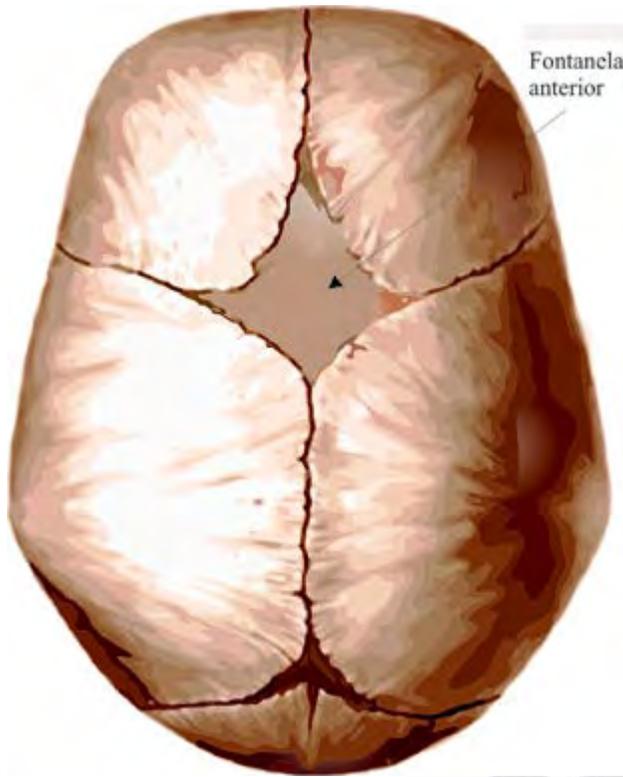


Fig. 7.15. Cráneo del recién nacido. Vista superior.

Cráneo en conjunto

El cráneo en conjunto se va a estudiar por medio de las vistas del cráneo. Las vistas del cráneo reciben el nombre de normas. Así, en el cráneo se tienen las

normas: frontal, lateral, superior, posterior y basal. Se debe señalar que la base del cráneo no solo se estudia por su vista externa, sino también por su vista interna.

Para estudiar una norma se debe seguir siempre el orden lógico siguiente:

- Los huesos que la constituyen.
- Las articulaciones que presenta.
- Los detalles anatómicos que se visualizan.
- Las fosas o cavidades que se observan.

Norma frontal

Al observar el cráneo por su norma frontal es posible visualizar los huesos que la constituyen (Fig. 7.9): el hueso frontal (la porción de la escama), los huesos cigomáticos, los huesos nasales, los huesos maxilares con el proceso alveolar que contiene los dientes superiores y por último, la mandíbula, donde se observan, en su borde superior, los dientes inferiores. Sin embargo, en esta norma llama poderosamente la atención, la presencia de dos cavidades situadas a ambos lados de la línea media: las órbitas.

Las órbitas son dos cavidades destinadas a alojar los órganos de la visión, es decir, el bulbo del ojo y sus anexos. Presentan la forma de una pirámide cuadrangular, algo redondeada, donde se describe una base, que corresponde a la entrada o adito de la órbita y un vértice, dirigido hacia atrás y medialmente.

Estas cavidades presentan 4 paredes: superior, inferior, lateral y medial, constituidas por porciones de huesos que integran el neurocráneo y el viscerocráneo (Fig. 7.17). La pared superior de las órbitas está formada por el hueso frontal y el ala menor del esfenoides, mientras que su pared inferior lo está por el maxilar, el zigomático y el palatino. Su pared medial, que es la más compleja, está formada de delante a atrás, por el frontal, lagrimal, etmoides y esfenoides, y su pared lateral por el zigomático y el ala mayor del esfenoides. Es de vital importancia conocer las comunicaciones de esta estructura.

Hacia el vértice se encuentran dos importantes orificios: uno medial y de forma redondeada, el canal óptico, y otro lateral y de grandes dimensiones, la fisura

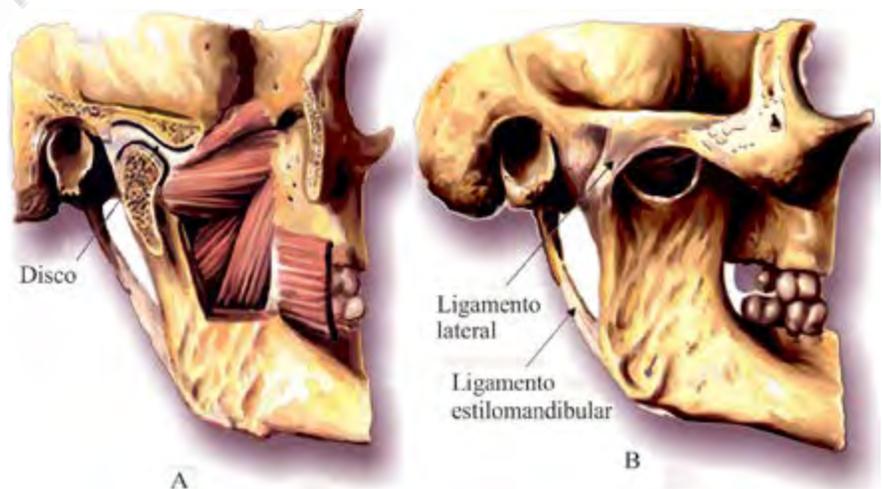


Fig. 7.16. Articulación temporomandibular derecha. Vista lateral: A. Abierta (corte frontal); B. Cerrada.

orbitaria superior. Ambos comunican a la órbita con la cavidad craneana. Situada lateralmente y hacia abajo se encuentra la fisura orbitaria inferior que comunica esta cavidad con la fosa pterigopalatina y la fosa infratemporal. Hacia la zona anterior y medial está la fosa del saco lagrimal que conduce al canal nasolagrimal que comunica con las fosas nasales. Y por último, en la pared medial existen dos agujeros: los agujeros etmoidales anteriores y posteriores, que comunican con la cavidad craneana el anterior y con las fosas nasales el posterior. A través de estos orificios pasan importantes vasos y nervios.

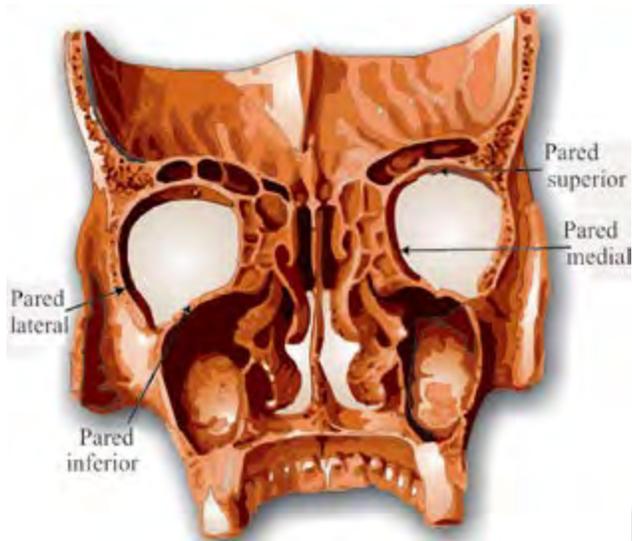


Fig. 7.17. Corte frontal del viscerocráneo. Vista posterior.

Por debajo de las órbitas y situada medialmente se observa otro detalle importante de la norma frontal: la apertura piriforme (Fig. 7.18). Esta apertura da acceso en el cráneo a la cavidad nasal, que es el segmento inicial de las vías respiratorias. Esta cavidad solo se visualiza en un corte sagital del cráneo y está dividida en dos mitades no del todo simétricas por el septum nasal. Cada mitad tiene cuatro paredes, de las cuales la más compleja es la pared lateral, compuesta por porciones de los huesos nasal, maxilar, etmoides, concha nasal inferior, palatinos y esfenoides. En ella es donde se observan como detalles, las tres conchas nasales: superior, media e inferior, las dos primeras del etmoides y la tercera es un hueso par del viscerocráneo. El espacio localizado entre cada concha y la pared lateral recibe el nombre de meato y es el sitio donde desembocan los senos perinasales; de estos meatos el más importante es el meato nasal medio, pues es la zona donde desembocan un mayor número de senos como son: las celdas etmoidales anteriores y medias, el seno frontal y el seno maxilar; en el meato nasal superior solo desembocan las celdas etmoidales posteriores y superiores, y el seno esfenoidal no drena en ningún meato, lo hace en el receso esfeno etmoidal. En el meato nasal inferior drena el conducto nasolagrimal, que por supuesto no es ningún seno, sino una comunicación de la cavidad nasal con la órbita.

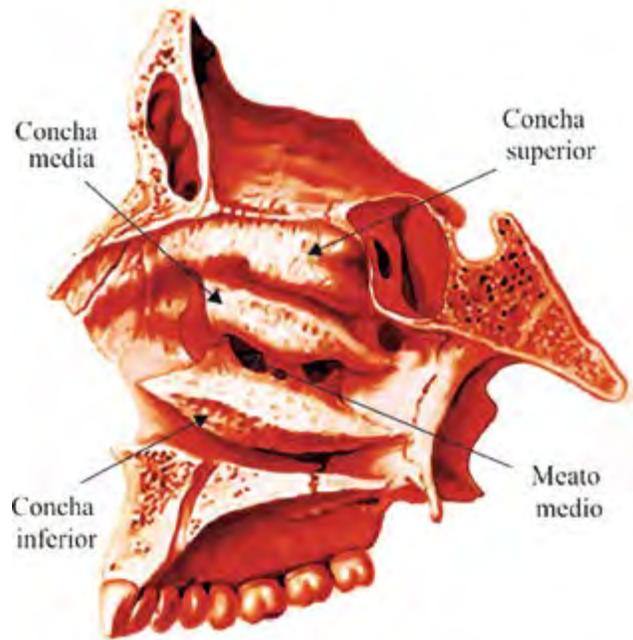


Fig. 7.18. Corte sagital de la cavidad nasal.

La pared medial de la cavidad nasal está formada por el vómer, la lámina perpendicular del etmoides y el cartílago nasal, fundamentalmente; y la pared superior, por el frontal, la lámina cribosa del etmoides y el esfenoides; mientras que la pared inferior la constituyen el proceso palatino del maxilar y la lámina horizontal del palatino.

La cavidad nasal presenta un orificio de entrada, la apertura piriforme, que ya se describió, y se comunica por detrás con la faringe por las coanas, que son sus orificios de comunicación posterior.

Norma lateral o vista lateral del cráneo

En esta norma se puede observar el hueso parietal, el temporal con su escama y la porción mastoidea, así como los huesos esfenoides, frontal y occipital. Sin embargo, en esta se distinguen tres fosas de extraordinaria importancia (Fig. 7.19): la fosa temporal, que contiene el músculo temporal; la fosa infratemporal, que es una prolongación directa por debajo de la fosa temporal; y la fosa pterigopalatina, situada entre el maxilar, el proceso pterigoideo del esfenoides y la lámina vertical del palatino.

La fosa infratemporal se comunica con la órbita por la fisura orbitaria inferior y a través de la fisura pterigopalatina con la fosa pterigopalatina.

Las comunicaciones de la fosa pterigopalatina son muy numerosas:

- Con la cavidad nasal a través del agujero esfeno palatino.
- Con la fosa craneal media a través del agujero redondo.
- Con la cavidad bucal por el canal del palatino mayor.
- Con la cavidad craneana a través del canal pterigoideo.
- Con la órbita a través de la fisura orbital inferior.

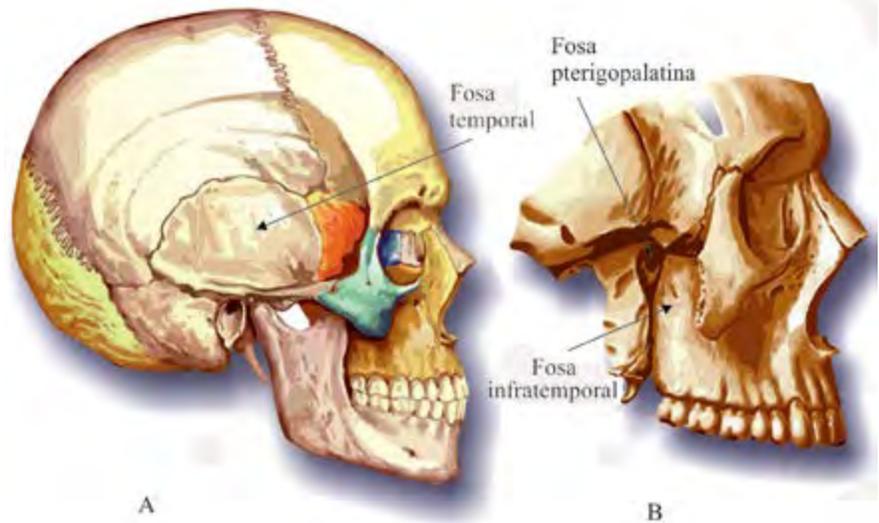


Fig. 7.19. Cráneo del adulto: A. Vista lateral. B. Vista lateral donde se ha retirada la mandíbula y el arco cigomático.

Norma superior o vertical

En esta norma se aprecian las suturas y los huesos articulados. La sutura sagital, entre los parietales, la sutura coronal entre el frontal y los parietales y una parte de la sutura lambdoidea entre los parietales y el occipital.

Norma posterior

En ella también se aprecian las suturas y los huesos articulados, fundamentalmente los huesos occipital y parietal en la sutura lambdoidea.

Norma basal

Estudiar la norma basal es importante por la frecuente aparición de las fracturas en esta región en el curso de traumas craneales.

Vista externa de la base del cráneo

La vista externa de la base del cráneo está compuesta por la cara inferior del cráneo, tanto cerebral como facial, esta última sin la mandíbula, y se extiende desde los incisivos por delante hasta la línea nuczal superior por detrás. Se divide en tres regiones o zonas (Fig. 7.20) por dos líneas paralelas: la primera, que pasa por el borde posterior del paladar óseo y la segunda, que lo hace por la porción anterior del agujero magno.

La porción anterior o zona anterior se compone del paladar óseo y del arco alveolar del maxilar observándose en la región anterior el agujero incisivo y en la parte posterior, el canal del palatino mayor y menor.

En la segunda porción o zona media se pueden distinguir, entre otros detalles, las coanas, que son los orificios de comunicación posterior de las fosas nasales.

La tercera porción o zona posterior presenta importantes detalles, como el agujero magno, el proceso mastoideo, los cóndilos del occipital y el agujero yugular donde pasan importantes vasos y nervios, entre otros.

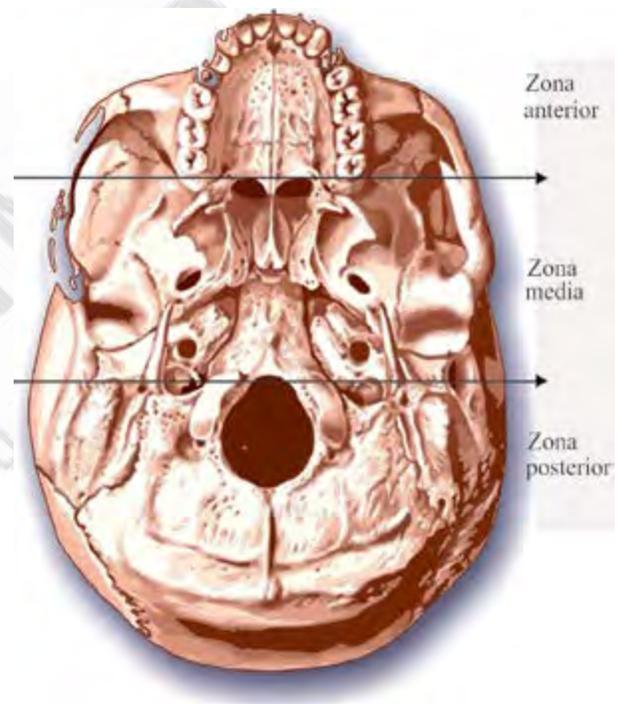


Fig. 7.20. Vista externa o inferior de la base del cráneo.

Vista interna de la base del cráneo

La vista interna de la base del cráneo se puede examinar después de practicarle un corte horizontal al cráneo. Se divide por 2 líneas en 3 fosas (Fig. 7.21): la fosa craneal anterior, la fosa craneal media y la fosa craneal posterior.

Fosa craneal anterior

La fosa craneal anterior se limita posteriormente de la fosa craneal media por los bordes posteriores de las alas menores del esfenoides. Conocer esta fosa es muy

importante, pues la fractura en su porción media interesa la lámina cribosa del etmoides, que como se sabe constituye el techo de las fosas nasales y en este caso el paciente presentará salida de líquido serosanguinolento, es decir, líquido cerebroespinal por la nariz.

Esta fosa está formada por las porciones orbitales del frontal, la lámina cribosa del etmoides y el ala menor del esfenoides.

Fosa craneal media

La fosa craneal media se extiende desde el límite mencionado anteriormente, hasta el borde superior de la porción petrosa del temporal. En esta región es muy importante señalar la fosa hipofisial, donde descansa la hipófisis, y los agujeros redondos, ovales y espinosos del esfenoides, el canal óptico y la fisura orbitaria superior. Entran en su composición las alas mayores del hueso esfenoides y las porciones petrosas del temporal.

Fosa craneal posterior

Por último se tiene la fosa craneal posterior, donde se observan importantes orificios: el agujero magno, el canal del hipogloso y el agujero yugular, entre otros. La componen la porción petrosa del temporal, el hueso occipital, el cuerpo del esfenoides y ángulo inferior del parietal.

Se debe señalar que al fracturarse la porción petrosa del temporal puede salir sangre por el poro acústico externo.

Métodos de exploración del cráneo óseo

El cráneo óseo puede ser explorado mediante diferentes métodos, donde ocupan una posición determinante los métodos imagenológicos, tales como: tomografía axial computarizada (TAC), resonancia magnética nuclear (RMN) (Fig. 7.22), radiografía simple de cráneo (Rx) y ultrasonido (US) transfontanelar, que brindan importantes detalles de la anatomía la cabeza ósea.

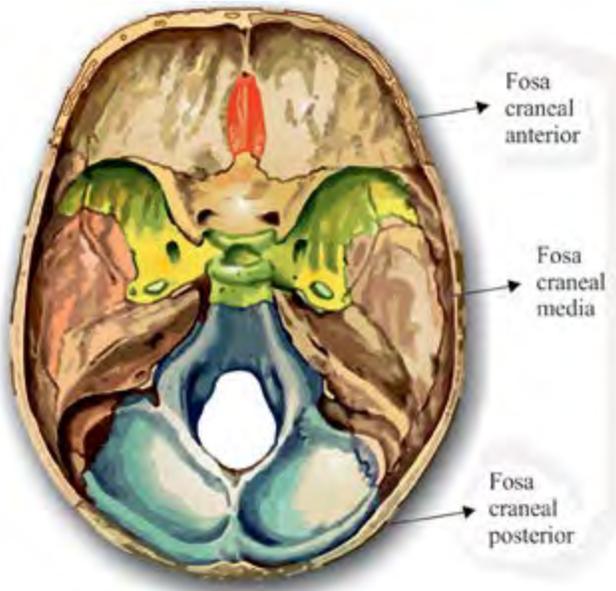


Fig. 7.21. Vista interna de la base del cráneo.

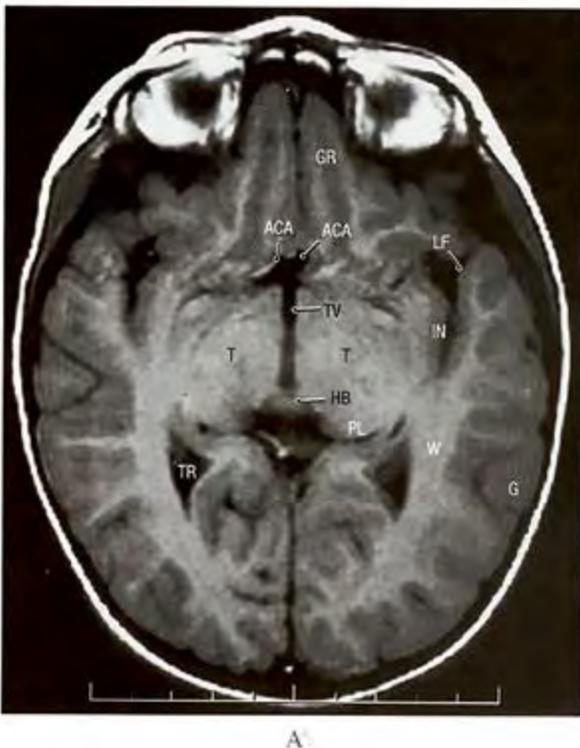


Fig. 7.22. RMN: A. Corte horizontal o axial; B. Corte frontal o coronal.

Esqueleto de cuello y tronco

El esqueleto del cuello está constituido por la porción cervical de la columna vertebral, mientras que el esqueleto del tronco está formado por la porción torácica, lumbar, sacra y coccígea de la columna vertebral, el esternón y las costillas.

Columna vertebral

La columna vertebral se origina de los esclerotomas, porción de los somitas que se forman en el mesodermo paraxial.

La columna vertebral está situada en la parte posterior y media del cuello y del tronco. Desempeña una función vital en el mantenimiento de la posición bípeda del hombre y tiene funciones importantísimas:

1. De protección: en el interior del canal vertebral se sitúa la médula espinal, a la cual le sirve este canal de estuche óseo de protección.

2. La columna vertebral forma parte del esqueleto del tórax, por lo que también protege a los órganos que están dentro de la cavidad torácica.
3. De sostén: las funciones de sostén son muy importantes porque la columna sostiene el peso de la cabeza, de los miembros superiores y del tórax, así como ejerce función de sostén de las partes blandas, porque muchos músculos importantes se insertan en ella.
4. De movimiento: la columna vertebral también tiene un papel muy importante en el movimiento del cuerpo, pues participa en los movimientos de la cabeza, del cuello y del tronco, y por su articulación con las costillas también participa en los movimientos del tórax durante el acto de la respiración.

La columna vertebral es un tallo óseo flexible; regularmente no cilíndrico; está constituida, en general, por 33 a 34 vértebras, número que puede variar. Estas vértebras se encuentran situadas en diferentes regiones: cervical, torácica, lumbar, sacra y coccígea (Fig. 7.23).



Fig. 7.23. Columna vertebral: A. Vista lateral derecha. B. Vista anterior. C. Vista posterior.

Existen 7 vértebras cervicales, 12 vértebras torácicas, 5 vértebras lumbares, 5 vértebras sacras y de 3 a 4 vértebras coccígeas.

En la columna aumenta el diámetro de los cuerpos vertebrales de arriba hacia abajo, relacionado con el mayor peso que los mismos deben soportar, precisamente porque las regiones sacra y coccígea tiene que soportar mayor peso que la región cervical, el sacro y el cóccix está constituido por vértebras fusionadas entre sí.

Características comunes de las vértebras

Todas las vértebras, independientemente de la región en que se encuentren, presentan características comunes, o sea, las mismas que tienen casi todas las vértebras.

Para describir estas características comunes se utiliza una vértebra tipo. La vértebra tipo está situada en la porción intermedia de la región torácica de la columna vertebral (vértebras torácicas TVI, TVII, TVIII). Estas características se relacionan a continuación:

- Tienen un cuerpo vertebral (Fig. 7.24), que es una de las porciones del hueso; la forma generalmente es cilíndrica y su función fundamental es la de sostén. Este cuerpo tiene 6 caras: superior, inferior, laterales, anterior y posterior; esta última es aplanada y presenta múltiples agujeros para el paso de vasos nutricios del hueso.
- Tienen, además, un agujero vertebral que al superponerse uno encima de otro, forman el canal vertebral, donde se aloja la médula espinal. Ese agujero está delimitado por delante por la cara posterior del cuerpo vertebral y por detrás y por los lados, por la presencia de un arco: el arco vertebral, que es otra de las porciones de la vértebra; este arco está constituido por las láminas posteriormente y por los pedículos del arco anterolateralmente (Fig. 7.24); estos últimos se desprenden de los ángulos posterosuperiores del cuerpo vertebral; cada pedículo tiene una incisura vertebral superior y otra inferior, que al superponerse la incisura vertebral superior de una vértebra con la inferior de la vértebra que tiene por encima, ambas forman el agujero intervertebral por donde emergen los nervios espinales; estas áreas son frecuentemente zonas de asientos de enfermedades que comprimen esos nervios y producen dolores.
- Del arco emergen siete procesos que también son porciones de las vértebras y reciben diferentes nombres (Fig. 7.24): el proceso espinoso, los procesos transversos y los procesos articulares, que son superiores e inferiores. Los procesos transversos son pares, uno a cada lado, y en las diferentes regiones de la columna adquieren especial interés. El proceso espinoso generalmente está dirigido hacia atrás y hacia abajo, y es impar, es palpable por debajo de la piel. Los procesos articulares superiores son pares, al igual que los procesos articulares inferiores y tienen diferentes orientaciones en los diferentes segmentos de la columna. En total son 7 procesos los que tienen funciones importantes en el movimiento, porque en ellos se inserta una serie de músculos que ponen en movimiento la columna vertebral.



Fig. 7.24. Vértebra torácica (TIII). Vista lateral derecha.

Para colocar una vértebra en posición anatómica se debe recordar que el cuerpo de la vértebra, que es la porción cilíndrica, está situado hacia delante y que el proceso espinoso está situado hacia atrás y hacia abajo.

Características regionales de las vértebras

Vértebras cervicales

En una vértebra de esta región (Fig. 7.25) se puede observar que su agujero vertebral es grande y triangular. Hay una característica esencial que aparece en estas vértebras y es la presencia del agujero del proceso transverso y es esencial porque toda vértebra que tenga agujero en el proceso transverso se puede asegurar que es una vértebra cervical. Estos agujeros cuando se superponen en todas las vértebras cervicales constituyen un canal muy importante porque por ahí viajan las arterias y venas vertebrales, vasos vitales para la irrigación del cerebro.

Los agujeros transversarios están originados por la fusión de los procesos transversos con el rudimento de las costillas.



Fig. 7.25. Vértebra cervical (VI). Vista inferior.

La existencia de esta fusión ha determinado que en los extremos del proceso transversario se presenten dos

eminencias: el tubérculo anterior y el posterior, y entre ambos un surco cóncavo hacia arriba, el surco del nervio espinal. El tubérculo anterior de la VI cervical está muy desarrollado y se le denomina tubérculo carotídeo por su relación con la arteria carótida.

El proceso espinoso de las vértebras cervicales está bifurcado, es decir, dividido en dos; esta es una característica que la tienen la mayoría de las vértebras cervicales, pero no todas.

El cuerpo de las vértebras cervicales es pequeño, con un diámetro mayor transversal, y es lógico porque estas soportan menos peso que las de otras regiones de la columna vertebral, ya que están ubicadas en el segmento inicial de la columna.

Los procesos articulares son breves y se disponen en un plano oblicuo.

Vértebras torácicas

Una vértebra torácica (Fig. 7.26) tiene como característica fundamental la presencia de fositas costales, tanto en el cuerpo como en el proceso transversal. Las fositas que están en el borde superior e inferior del cuerpo son semifositas, o sea, es la mitad de una fosita porque recuerden que las vértebras se superponen unas sobre las otras y la semifosita superior de una vértebra

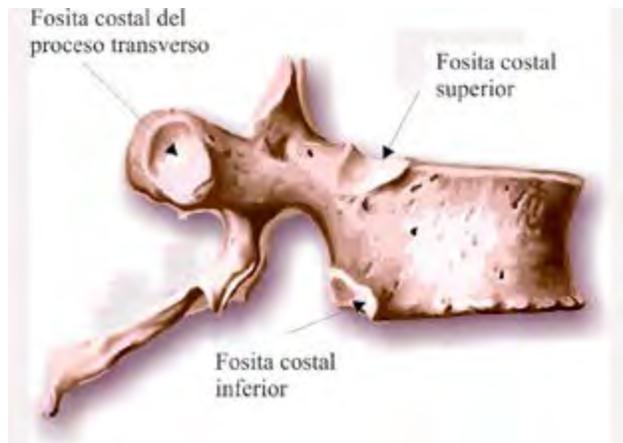


Fig. 7.26. Vértebra torácica (TIII). Vista lateral derecha: fositas costales.

con la semifosita inferior del cuerpo de la vértebra que está por encima forma una fosa completa para articularse con la cabeza de las costillas.

El proceso espinoso de las vértebras torácicas se dirige hacia abajo y hacia atrás. Es un proceso largo y cuando se superponen todas las vértebras torácicas se disponen como las tejas de un tejado. Esto es típico de las vértebras torácicas. Los procesos articulares con sus caras articulares están situados en un plano frontal. Esto también es característico de las vértebras torácicas.

Los procesos transversos son divergentes y presentan en su cara anterior una cara articular, la fosita costal transversa destinada al tubérculo de la costilla.

Vértebras lumbares

Las vértebras lumbares (Fig. 7.27) tienen los procesos articulares colocados en un plano sagital; las caras articulares de esos procesos están situadas en un mismo plano y son generalmente trocoideas o cilíndricas.

Las dimensiones del cuerpo son muy grandes porque estas vértebras soportan gran carga, ya que la parte superior de la columna está situada por encima de ellas. El proceso espinoso es cuadrangular y dirigido hacia atrás y es un proceso corto y grueso. Los procesos costiformes hacen la función de procesos transversos, son alargados pues no son los verdaderos procesos transversos, sino los rudimentos de las costillas lumbares, ya que estos están conservados en la cara posterior de los procesos costiformes en forma de pequeños procesos accesorios.

Hueso sacro

El hueso sacro (Fig. 7.28) es un hueso que se forma por la unión de las 5 vértebras sacras, fusionadas, al principio, por tejido cartilaginoso y después por tejido óseo; tiene funciones importantes en el mantenimiento del peso; forma parte de la pelvis ósea y presenta diferencias en ambos sexos.

Es un hueso que se forma al unirse las vértebras, que son huesos irregulares, formando un hueso que es plano, triangular y tiene una serie de porciones. Tiene dos caras, una anterior o pelviana y una posterior o dorsal; dos bordes, derecho e izquierdo; una base y un ápice.

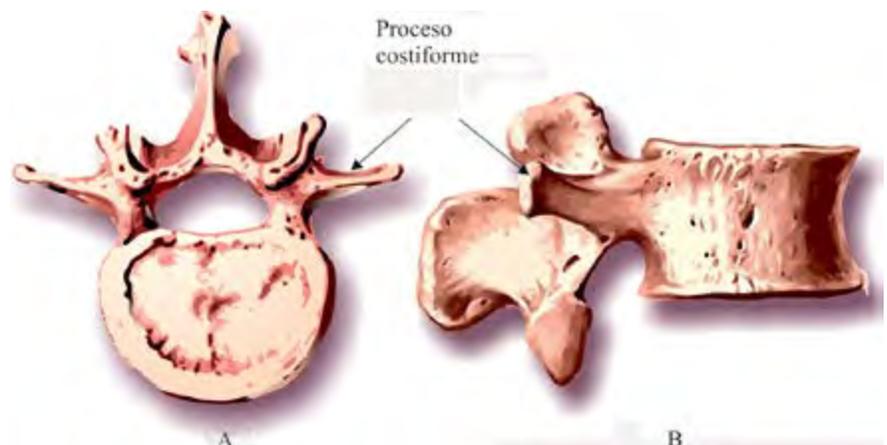


Fig. 7.27. Vértebra lumbar (LIII): A. Vista superior; B. Vista lateral derecha.

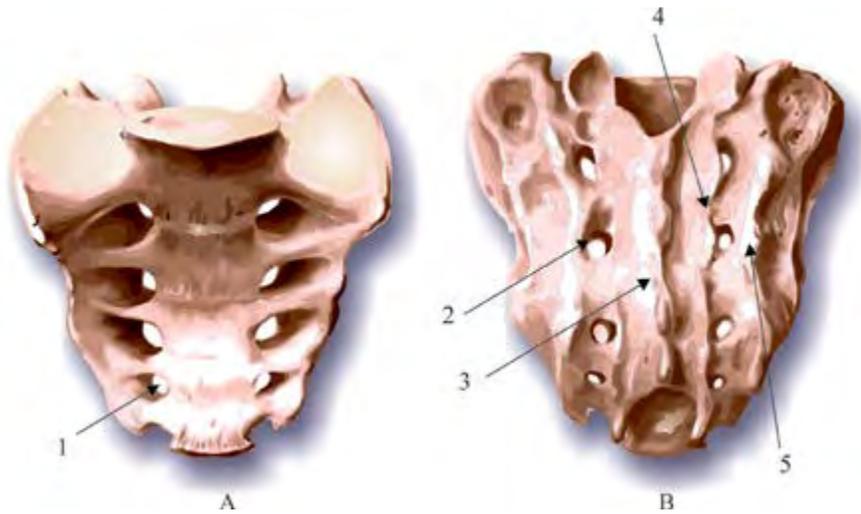


Fig. 7.28. Hueso sacro: A. Vista anterior (cara pelviana); B. Vista posterior: 1. Agujero sacro pelviano; 2. Agujero sacro dorsal; 3. Cresta sacra mediana; 4. Cresta sacra intermedia; 5. Cresta sacra lateral.

El borde anterior de la base del sacro forma junto con el cuerpo de la L5 Quinta lumbar un saliente llamado promontorio.

En la cara pelviana se puede apreciar una serie de detalles importantes: las líneas transversas, que resultan de la fusión de las distintas vértebras que formaron el hueso, y que son alrededor de cuatro; y los agujeros sacros pelvianos, por donde emergen las raíces anteriores de los nervios sacros.

En la cara dorsal del sacro se observa la entrada al canal sacro que se forma por la fusión de los distintos agujeros vertebrales de las vértebras sacras. Se perciben, también, los agujeros sacros dorsales que por delante se relacionan con los agujeros sacros pelvianos y por ellos emergen las raíces posteriores de los nervios sacros. Sin embargo, los detalles anatómicos más importantes que se visualizan en esta cara son una serie de crestas que se forman por la fusión de los distintos procesos. Los procesos espinosos al fusionarse forman la cresta sacra mediana, los procesos articulares constituyen las crestas sacras intermedias y los procesos transversos al fusionarse forman la cresta sacra lateral. Los agujeros sacros dorsales se localizan laterales a la cresta sacra intermedia.

Si se visualiza el sacro en una vista lateral, se puede observar una superficie articular nombrada cara auricular, destinada para articularse el sacro con el coxal en la articulación sacro-ilíaca; en esta misma zona y por detrás se puede observar la tuberosidad sacra, zona de inserción de importantes ligamentos.

Hueso cóccix

El cóccix (Fig. 7.29) también es un hueso que se forma por la fusión, generalmente, de 4 vértebras cóccigeas, pero a veces este número puede variar de 1 a 5.

Como se dijo anteriormente, las vértebras son huesos irregulares, pero estos huesos al fusionarse, tanto en el sacro como en el cóccix, forman huesos que, por su clasificación, se denominan huesos planos.

El cóccix se parece al hueso sacro porque también es un hueso plano, triangular; tiene dos caras, dos bordes, una base dirigida hacia arriba y un ápice dirigido hacia abajo.

Características particulares de las vértebras

Además de las características regionales, hay vértebras que tienen características particulares, que gene-



Fig. 7.29. Hueso cóccix: A. Vista anterior; B. Vista posterior.

Las articulaciones de la columna vertebral pueden dividirse en: articulaciones propias (entre las vértebras) y articulaciones de la columna con los huesos vecinos o con otras regiones. Todas las articulaciones con otras regiones del esqueleto son articulaciones sinoviales.

Con los huesos vecinos, la columna vertebral se articula con:

- La cabeza (hueso occipital) por medio de la articulación atlantoccipital, y de las articulaciones condilares y biaxiales.
- Con el tórax por medio de 2 articulaciones: las articulaciones costovertebrales formadas por las articulaciones de la cabeza costal con las fositas costales del cuerpo vertebral y las articulaciones costotransversarias constituidas por el proceso transversario de la vértebra con el tubérculo costal de la costilla.
- Con el cinturón del miembro inferior, específicamente con los huesos coxales, mediante las articulaciones sacroilíacas.

Las articulaciones propias de la columna vertebral, o sea, las que tienen lugar entre las vértebras, que difieren unas de otras de acuerdo con la región de la columna en que se encuentren, pueden ser articulaciones entre los cuerpos o articulaciones entre los arcos y procesos.

Articulaciones entre los cuerpos

Las articulaciones entre los cuerpos se realizan a través de una articulación cartilaginosa (disco) y dos sindesmosis (ligamento longitudinal anterior y posterior). El disco intervertebral (Fig. 7.32) es una articulación cartilaginosa de tipo sínfisis, que está situada entre los cuerpos vertebrales; presenta en la periferia una sólida porción que nombrada anillo fibroso y en el centro está situado el núcleo pulposo que es una zona blanda, gelatinosa, que tiene una gran importancia porque funciona a manera de un muelle que amortigua los golpes entre las vértebras.

La articulación entre los cuerpos vertebrales está reforzada por el ligamento longitudinal anterior, que es una articulación fibrosa variedad sindesmosis (Fig. 7.33 B); este es un ligamento largo de la columna vertebral que se sitúa por la cara anterior y lateral de las vértebras, uniendo entre sí tanto los cuerpos vertebrales como los discos intervertebrales, o sea, pasando por delante de ellos, y que se extiende desde el atlas hasta el sacro. Este ligamento es muy importante porque es el único que limita la extensión o flexión dorsal de la columna vertebral.

El otro ligamento que refuerza la articulación entre los cuerpos vertebrales es el ligamento longitudinal posterior (Fig. 7.33 A), que también es una sindesmosis, siendo un ligamento largo que la refuerza por detrás y se sitúa dentro del canal vertebral por detrás de los cuerpos y los discos intervertebrales. Es un ligamento importante que limita la flexión o flexión ventral de la columna vertebral.

Articulaciones entre los arcos y procesos

Articulaciones cigapofisiales

Estas son articulaciones sinoviales, cuyas caras articulares son las de los procesos articulares superiores de la vértebra que está situada debajo, con los procesos articulares inferiores de la vértebra situada arriba.

Son simples, combinadas, la clasificación según su forma y orientación varía en relación con la región de la columna, siendo trocoideas en la región lumbar y planas en la región torácica y cervical.

Ligamentos amarillos

Son articulaciones fibrosas variedad sindesmosis; como todos los ligamentos están situados entre las láminas de los arcos vertebrales y limitan la flexión o flexión ventral (Fig. 7.34 A).

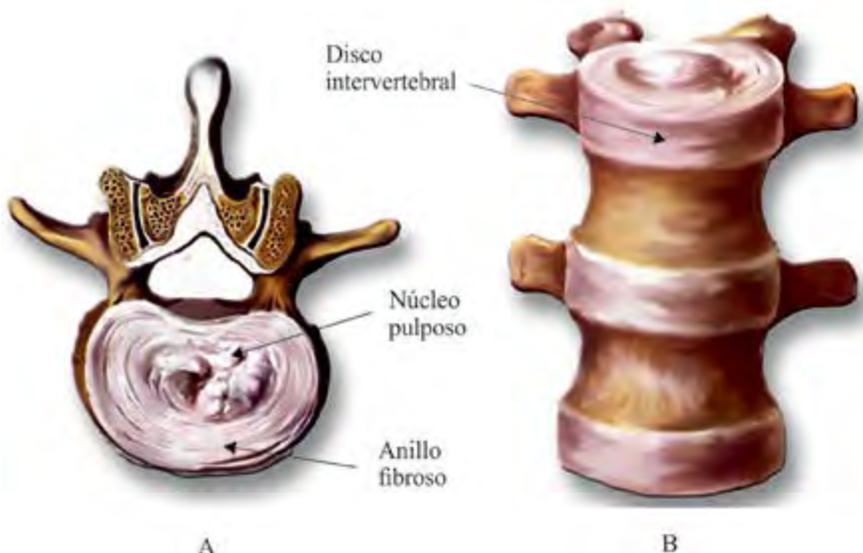


Fig. 7.32. Disco intervertebral: A. Vértebra lumbar (III) con disco intervertebral, vista superior; B. Región lumbar de la columna vertebral, vista anterior.

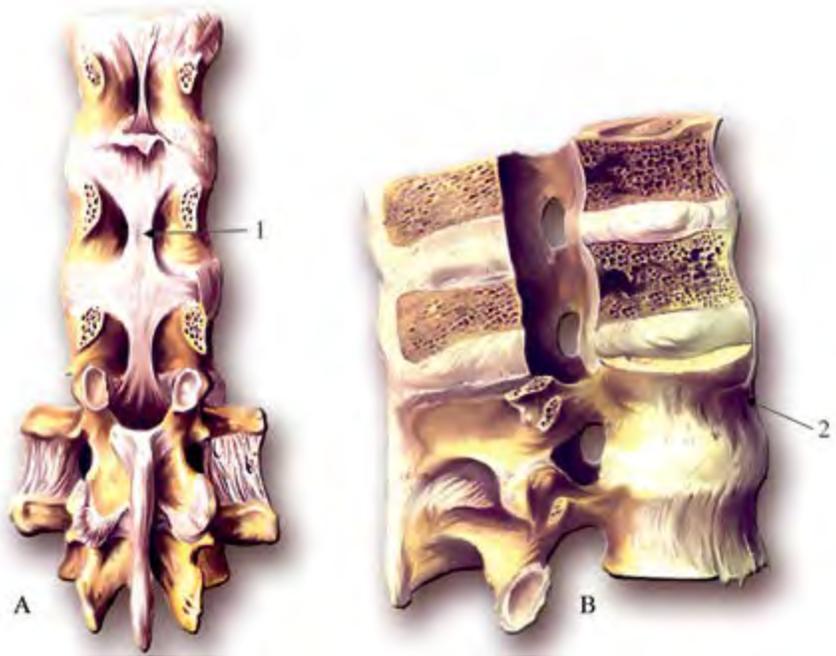


Fig. 7.33. Región lumbar de la columna vertebral: A. Vista posterior (corte frontal de las vértebras XII torácica, I y II lumbar a nivel de los arcos vertebrales); B. Vista lateral (canal vertebral abierto parcialmente, corte sagital): 1. Ligamento longitudinal posterior; 2. Ligamento longitudinal anterior.

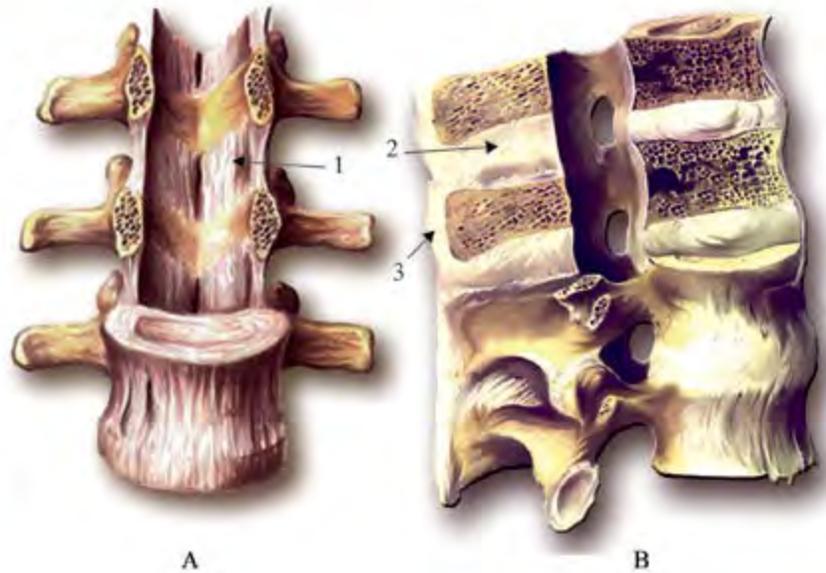


Fig. 7.34. Región lumbar de la columna vertebral: A. Vista anterior (corte frontal, están seccionados los cuerpos vertebrales de la I y II vértebra lumbar); B. Vista lateral (canal vertebral abierto parcialmente, corte sagital): 1. Ligamento amarillo; 2. Ligamento interespinal; 3. Ligamento supraespal.

Ligamentos interespinales

Unen entre sí dos procesos espinosos que están contiguos. Estos ligamentos son cortos, limitan también la flexión (Fig. 7.34 B).

Ligamento supraespal

Está situado de vértice a vértice de los procesos espinosos. Este ligamento se extiende desde la séptima vértebra cervical hasta el sacro. Es un ligamento corto

y en la región cervical se continúa y se amplía tomando la forma de lámina triangular de borde posterior libre, donde cambia de nombre y se denomina ligamento nuchal. Todos estos ligamentos limitan la flexión o flexión ventral (Fig. 7.34 B).

Ligamentos intertransversarios

Situados entre los procesos transversos, también son ligamentos cortos y limitan la flexión lateral de la columna vertebral.

Columna vertebral como un todo

La columna vertebral en una vista frontal no es totalmente rectilínea, sino presenta curvaturas en el plano frontal nombradas escoliosis; sin embargo, cuando se observa en una vista lateral se ve que presenta una serie de curvaturas marcadas, denominadas lordosis cuando la curvatura es convexa hacia delante y cifosis cuando es convexa hacia atrás.

A nivel cervical la columna vertebral tiene una lordosis cervical, esta es una curvatura convexa hacia delante. A nivel torácico se encuentra una cifosis torácica que es convexa hacia atrás o también cóncava hacia delante. A nivel lumbar hay una lordosis lumbar, o sea, es una curvatura convexa hacia delante y a nivel sacrococcígea, una cifosis, o sea, una curvatura cóncava hacia delante o convexa hacia atrás, que es lo mismo (Fig. 7.23).

Estas curvaturas se intensifican a medida que el niño va adoptando distintas posiciones en su desarrollo. El niño recién nacido presenta una cifosis discreta y total en su columna vertebral, pero cuando sostiene la cabeza se forma la lordosis cervical (3 meses), cuando se sienta se acentúa la cifosis torácica (6 meses) y cuando camina surge la lordosis lumbar y se intensifica la cifosis sacra.

La columna vertebral también tiene movimientos importantes, ya que a pesar de que entre una vértebra y otra los movimientos son muy pequeños, al superponerse las vértebras una encima de otra, los movimientos se suman y llegan a ser importantes y amplios.

Los movimientos de la columna como un todo son de flexión (160°) y extensión (145°) (flexión ventral y flexión dorsal), que son movimientos amplios que se realizan alrededor del eje frontal. Otro movimiento es el de flexión lateral derecha y flexión lateral izquierda (165°) alrededor del eje sagital; con la combinación de estos dos ejes —el eje frontal y el eje sagital— se realizan movimientos de circunducción, que es la sumatoria de los movimientos angulares. Y en el eje vertical se realizan movimientos de rotación hacia la derecha y hacia la izquierda (120°). Debe observarse que son movimientos grandes, resultado de la sumatoria de los movimientos de todas las articulaciones intervertebrales.

Huesos del tórax

El tórax óseo está constituido por el esternón, los 12 pares de costillas y las 12 vértebras torácicas.

En la región del tórax se desarrollan las costillas y el esternón en el espesor de la hoja somática del mesodermo lateral.

En la vista anterior del tórax se puede observar el esternón, los cartílagos costales y las costillas. En la vista posterior del tórax se aprecia la columna vertebral en su segmento torácico; observándose los procesos espinosos de las vértebras torácicas y las costillas.

Esternón

Es un hueso situado en la parte anterior y media del tórax. Es plano y como todo hueso plano tiene caras y bordes, siendo sus porciones el mango o manubrio, el cuerpo y el proceso xifoideo. Por su forma se parece a la espada de un gladiador, por lo que es posible iden-

tificarlo con facilidad dentro de un grupo de huesos. Para colocarlo en su posición anatómica, su porción más ancha se dirige hacia arriba y su porción más estrecha, hacia abajo, y es convexo anteriormente (Fig. 7.35).

El manubrio es la porción más ancha; está situada hacia arriba donde se puede observar la incisura yugular y las incisuras claviculares, además, presenta las incisuras costales para articularse con los cartílagos costales de la primera y segunda costillas. El cuerpo es alargado y presenta también incisuras costales para la articulación con los cartílagos costales. La unión cartilaginosa del borde superior del cuerpo con el borde inferior del mango o manubrio del esternón forma un ángulo obtuso abierto hacia atrás que corresponde a la altura de la articulación de la segunda costilla con el esternón y se denomina ángulo esternal o ángulo del esternón. El proceso xifoideo es de forma y magnitud variable, y constituye la porción más corta de este hueso.



Fig. 7.35. Esternón. Vista anterior.

Costillas

Toda costilla está constituida por una porción posterior ósea que es el hueso costal y una porción anterior cartilaginosa constituida por el cartílago costal. A su vez, el hueso costal tiene 3 porciones: cabeza costal, cuello costal y cuerpo costal (Fig. 7.36).

La cabeza costal está situada en el extremo vertebral de la costilla; en aquella se observa una cresta —la cresta de la cabeza costal—, que divide la superficie articular en dos caras. La mayor parte de las costillas tiene dos caras articulares en la cabeza, pero algunas —como la primera, la once y la doce— tienen una sola cara y no tienen cresta.

El cuerpo costal tiene dos caras —externa e interna—, y dos bordes —superior e inferior—; la cara interna es cóncava y la cara externa es convexa. El caso de la primera costilla tiene sus particularidades, ya que es más ancha y más corta, y las caras y los bordes son

diferentes, tiene cara superior e inferior y borde interno y externo. La cara superior de esta costilla tiene impresiones de las estructuras que se ponen en contacto con ella; así, de delante a atrás se describen el surco de la vena subclavia, el tubérculo del escaleno anterior, el surco de la arteria subclavia por donde pasa dicha arteria y el tubérculo del escaleno medio, huella de inserción de este músculo.

El hueso costal de toda costilla tiene también otros detalles anatómicos importantes; por ejemplo, en la cara externa de este se puede apreciar el tubérculo costal, que tiene una superficie articular para articularse con la cara articular del proceso transversal de las vértebras torácicas. El cuerpo presenta también el ángulo costal que es el punto en que la costilla cambia de dirección y la curvatura se hace más brusca, en las costillas superiores está más cerca del tubérculo costal pero se va separando de este gradualmente, al descender en el tórax. En la cara interna se observa en el borde inferior la presencia del surco costal. Este surco es importante porque por ahí viajan los nervios intercostales, las venas y las arterias intercostales, y es esencial que el médico lo conozca para cuando se realice una punción torácica, ya que debe hacerla por encima del borde superior de la costilla para no dañar estas estructuras vasculares y nerviosas.

Las costillas, de acuerdo con la forma en que se une su cartílago con el esternón, se pueden clasificar en: costillas verdaderas, cuando su cartílago se une directamente al esternón; costillas falsas, cuando su cartílago se une al cartílago de la costilla que está superior; y costillas flotantes, cuando su cartílago está situado en el espesor de los músculos del abdomen y no se une a nada. Las costillas verdaderas son las 7 primeras; las falsas son la VIII, IX, X; y las flotantes son la XI y la XII.

Articulaciones del tórax

A continuación se estudiará cómo se articulan los huesos del tórax entre sí, o sea, cuáles son las articulaciones del tórax.

Articulaciones costovertebrales

Estas son las articulaciones de las costillas con las vértebras, formadas, como ya se dijo, por dos articulaciones: la articulación de la cabeza costal y la articulación costotransversaria (Fig. 7.37).

La articulación de la cabeza costal se efectúa entre las caras articulares que se describieron en la cabeza costal y las fosis o semifosis costales que se vieron en los cuerpos de las vértebras torácicas. Esta es una articulación sinovial, reforzada por los ligamentos radiados de la cabeza costal y el ligamento intrarticular de la cabeza costal que aparece de la segunda a la décima costilla y divide la cavidad en dos.

La articulación costotransversaria —que es la que se efectúa entre la cara articular del proceso transversal de las vértebras torácicas (fosa costotransversaria) y la cara articular del tubérculo costal— también es sinovial y en las dos últimas costillas no existe (XI y XII).

Estas dos articulaciones (la de la cabeza costal y la costotransversaria) a cada lado, funcionan unidas, por lo que son articulaciones combinadas, cilíndricas, que rotan alrededor del eje del cuello de la costilla, lo que provoca que cuando se mueva una se mueva la otra; esta unión es importante para los movimientos del tórax durante la respiración.

Articulaciones esternocostales

La primera articulación esternocostal es una articulación cartilaginosa variedad sincondrosis. El resto, o sea, de la segunda a la séptima costilla, también son articulaciones esternocostales, pero son sinoviales, presentando una cápsula de pericondrio reforzada por los ligamentos esternocostales radiados, los cuales constituyen en la cara anterior del esternón junto con su periostio, la membrana esternal (Fig. 7.38).

Articulaciones intercondrales

Aquí se puede apreciar las articulaciones intercondrales que se producen entre los cartílagos de las costillas falsas. En estas costillas el cartílago se une al cartílago de la costilla que está por encima. Estas articulaciones



Fig. 7.36. Hueso costal derecho (VIII): A. Cara interna; B. Cara externa.

son sinoviales. Las últimas dos costillas no se articulan con nadie, sino que se queda su cartílago libremente en el espesor de los músculos del abdomen (Fig. 7.38).

Movimientos del tórax

El tórax tiene movimientos importantes que participan en la función respiratoria; en este se realizan la inspiración y la espiración.

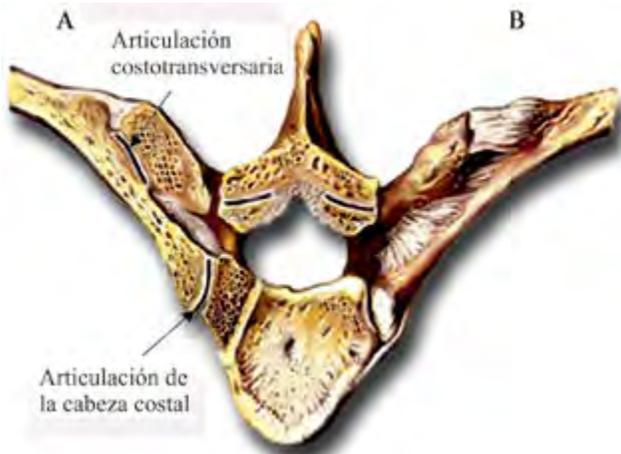


Fig. 7.37. Articulación costovertebral (VIII vértebra torácica y VIII costilla). Corte horizontal (vista superior): A. Articulaciones derechas (abiertas); B. Articulaciones izquierdas (cerradas).

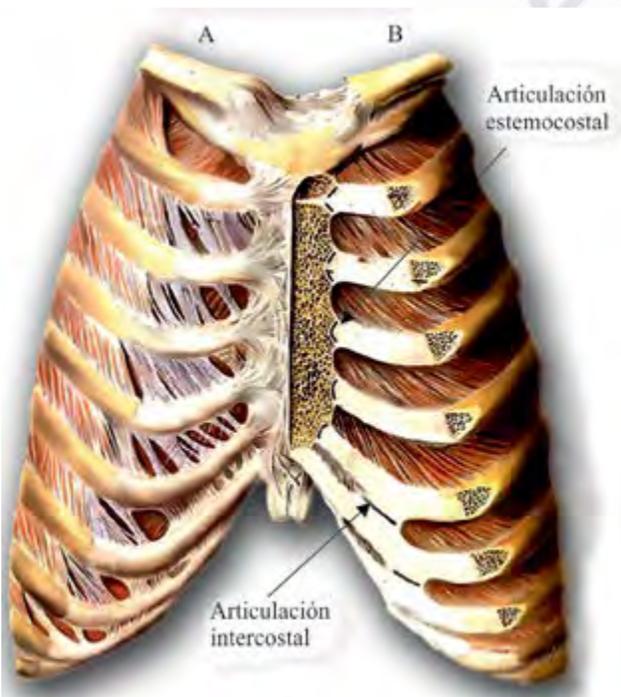


Fig. 7.38. Vista anterior del tórax: A. Lado derecho (articulaciones cerradas). B. Lado izquierdo (articulaciones abiertas).

Durante la inspiración, las costillas se elevan, las costillas rotan alrededor de un eje que pasa por el cuello costal y al rotar, su extremo anterior se eleva y junto con el se eleva el esternón y aumenta el diámetro anteroposterior del tórax. Por la forma arqueada que tienen las costillas al rotar, las partes laterales del cuerpo se separan entre sí y se alejan del plano medio y entonces también aumenta el diámetro transversal del tórax. Y como, además, durante la inspiración el músculo diafragma —que está situado en la apertura inferior del tórax— se aplana, aumenta también el diámetro vertical del tórax. Como resultado, durante la inspiración, producto del movimiento de elevación de las costillas y de rotación alrededor del eje que pasa por el cuello costal, aumentan todos los diámetros del tórax.

Tórax en conjunto

El tórax óseo en su conjunto, tiene forma ovoidea o forma de cono truncado, donde se describe una extremidad superior más estrecha que es el ápice y una extremidad inferior más ancha que es la base. También se observan 4 paredes: una pared anterior constituida por el esternón y los cartílagos costales, 2 paredes laterales formadas por los cuerpos costales a cada lado, desde la unión con el cartílago hasta el ángulo, y tiene una pared posterior constituida por las vértebras torácicas, la cabeza costal, el cuello costal y el cuerpo costal hasta el ángulo (Fig. 7.39)

En la extremidad superior se encuentra la apertura superior del tórax, que es más estrecha que la inferior y que está cortada en un plano oblicuo hacia delante y abajo. Esta apertura superior está constituida por el cuerpo de la primera vértebra torácica, el borde interno de la primera costilla y el borde superior del manubrio esternal.

La apertura inferior está cortada en un plano oblicuo hacia delante y hacia arriba, y está delimitada por el cuerpo de la última vértebra torácica, el borde inferior de la XII costilla, el arco costal que está formado por los cartílagos de las costillas falsas que forman el arco costal al unirse entre sí y el proceso xifoideo del esternón.

El tórax está algo aplanado de delante hacia atrás y sus porciones laterales están más redondeadas. En el tórax, en su conjunto, se pueden apreciar algunos detalles importantes, como por ejemplo: los espacios intercostales, que son los espacios entre las costillas, tanto entre los huesos costales como entre los cartílagos costales; el reborde costal, que está formado por los cartílagos de las costillas falsas que se unen entre sí; y también el ángulo infraesternal delimitado entre los dos arcos costales y el proceso xifoideo del esternón. Este ángulo también se le puede denominar ángulo subesternal.

La columna vertebral forma un saliente mediano hacia la cavidad torácica, y a ambos lados de esta, entre la columna y las costillas se forman los surcos pulmonares, en los que se asientan los bordes posteriores de los pulmones.

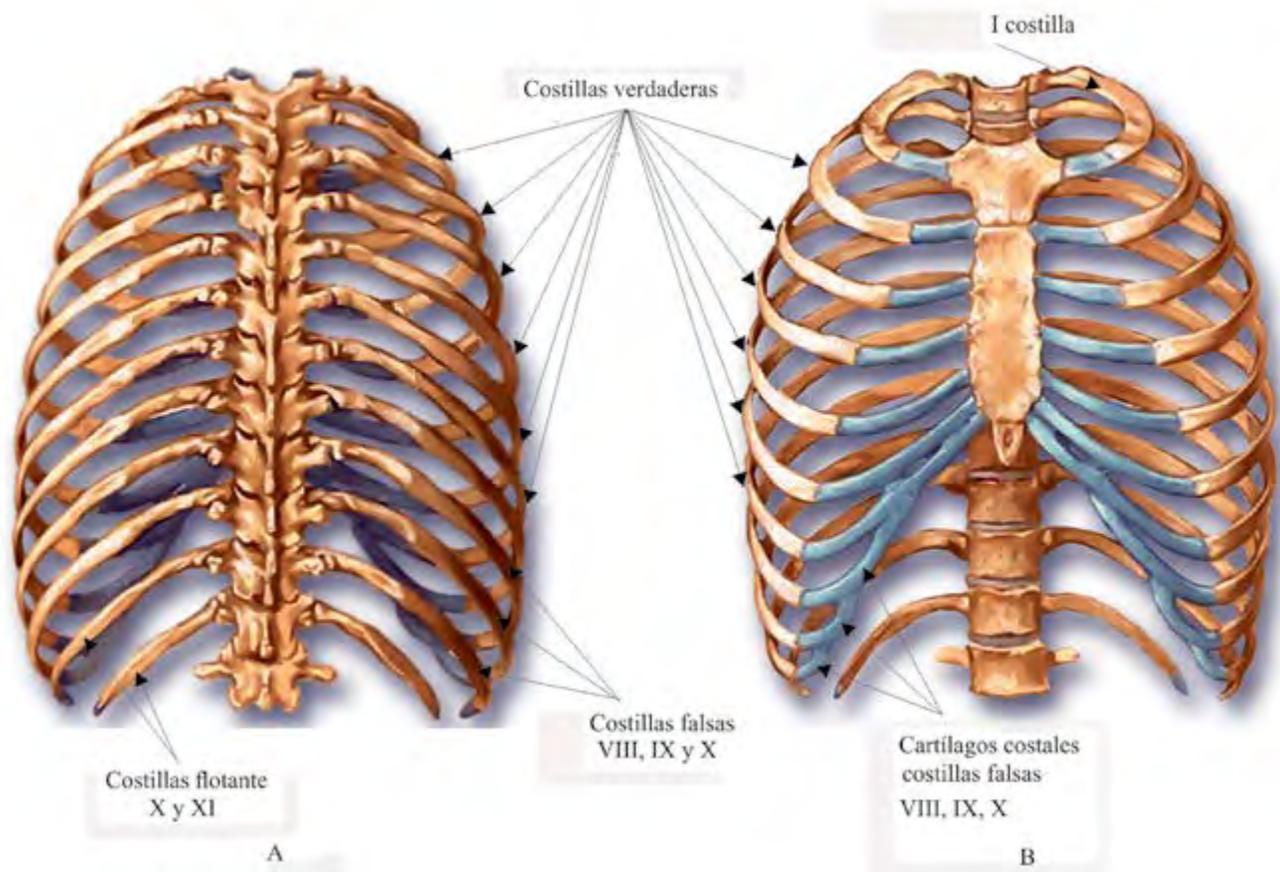


Fig. 7.39. Tórax óseo en conjunto: A: Vista anterior. B: Vista posterior.

Anatomía de superficie del esqueleto de cuello y tronco

Algunos huesos, porciones o detalles de los huesos y articulaciones que se han estudiado hasta ahora no solamente se pueden observar a simple vista, sino que también es posible palparlos y son puntos de referencia importantes que utiliza el médico para hacer determinados procedimientos.

Por ejemplo, en la espalda, o sea, la cara posterior del tronco de se puede palpar el proceso espinoso de la séptima vértebra cervical, que se denomina vértebra prominente, y también los procesos espinosos de algunas de las vértebras torácicas.

En la pared anterior del tronco es posible palpar, en la parte superior, la incisura yugular del manubrio esternal. En la línea media se puede palpar el esternón porque es muy superficial. Otro detalle que se puede palpar en el tórax son las costillas.

El ángulo esternal es fácilmente palpable en la superficie de la piel; es un detalle muy importante de la anatomía de superficie porque coincide con la unión del segundo cartílago costal y a partir de ahí se pueden contar las costillas; guiándose por el ángulo esternal, se sigue lateralmente y se sabe que es la segunda costilla y a partir de ahí se pueden contar tanto las costillas como los espacios intercostales.

Este conocimiento es muy importante para el médico cuando tiene que hacer una punción en determinado espacio intercostal. Puede utilizar este punto como referencia.

Anatomía radiológica del esqueleto de cuello y tronco

Aunque la anatomía radiológica de estas regiones se estudiará con más detalle en las clases talleres y prácticas, aquí se mostrarán algunas imágenes que servirán de orientación para estudios posteriores. En estas imágenes están invertidos los colores. Lo radiopaco en la radiografía se ve blanco y aquí está negro. Lo radiotransparente en la radiografía se ve negro y aquí está blanco.

En la radiografía lateral de la región cervical de la columna vertebral (Fig. 7.40) se puede apreciar el cuerpo de las vértebras. Aquí se advierte el proceso espinoso de una vértebra cervical (observar el disco intervertebral).

En una vista frontal de la región lumbar de la columna vertebral (Fig. 7.41) se ve, en la parte superior, la última costilla articulada con la última vértebra torácica.

También se observa la primera vértebra lumbar, el cuerpo, el proceso transverso, que no se ve muy nítido, y el proceso espinoso, que está superpuesto en la imagen porque esta es una vista anteroposterior. Los procesos articulares igualmente se pueden apreciar en esta radiografía, aunque con menos nitidez que el proceso espinoso.



Fig. 7.40. Radiografía: vista lateral de la región cervical de la columna vertebral.



Fig. 7.41. Radiografía: vista frontal de la región lumbar de la columna vertebral.

En una radiografía de tórax en una vista anterior (Fig. 7.42) se pueden apreciar las costillas, que son radiopacas, y los espacios intercostales, que son radiotransparentes porque en el interior de la cavidad torácica están los pulmones que están llenos de aire y esas estructuras son radiotransparentes; en la línea media es posible observar las estructuras que corresponden al mediastino.

Esqueleto apendicular

El movimiento de locomoción de la mayoría de los vertebrados está relacionado, en primer lugar, con los miembros, los cuales alcanzan su pleno desarrollo en las formas terrestres que levantan su cuerpo sobre la tierra, con eso los miembros adoptan una posición vertical.

El esqueleto apendicular incluye los huesos y articulaciones de los miembros superiores e inferiores y consta de dos partes: el esqueleto de la parte libre y de la parte fija, o los denominados cinturones de los miembros superior e inferior.

El esqueleto de los miembros se origina del mesénquima local, que se desarrolla en la base de los esbozos de los miembros y que deriva de la hoja somática del mesodermo lateral.

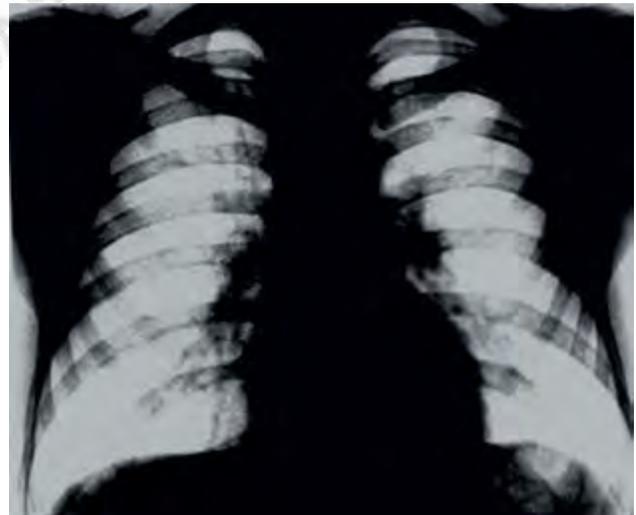


Fig. 7.42. Radiografía de tórax: vista anterior.

Esqueleto de los miembros superiores

Los huesos del cinturón escapular son la clavícula y la escápula, y los de la porción libre, el húmero, hueso

del brazo, el radio y la ulna, huesos del antebrazo, y los huesos de la mano, que incluyen los huesos del carpo, los metacarpios y las falanges.

Las grandes articulaciones que existen en el miembro superior son la articulación humeral o articulación del hombro, la articulación del codo y la articulación radiocarpiana, pero también aparecen otras articulaciones no menos importantes, como la esternoclavicular, la acromioclavicular, la articulación radioulnar distal, la membrana interósea del antebrazo y las articulaciones entre los huesos de la mano (Fig. 7.43).

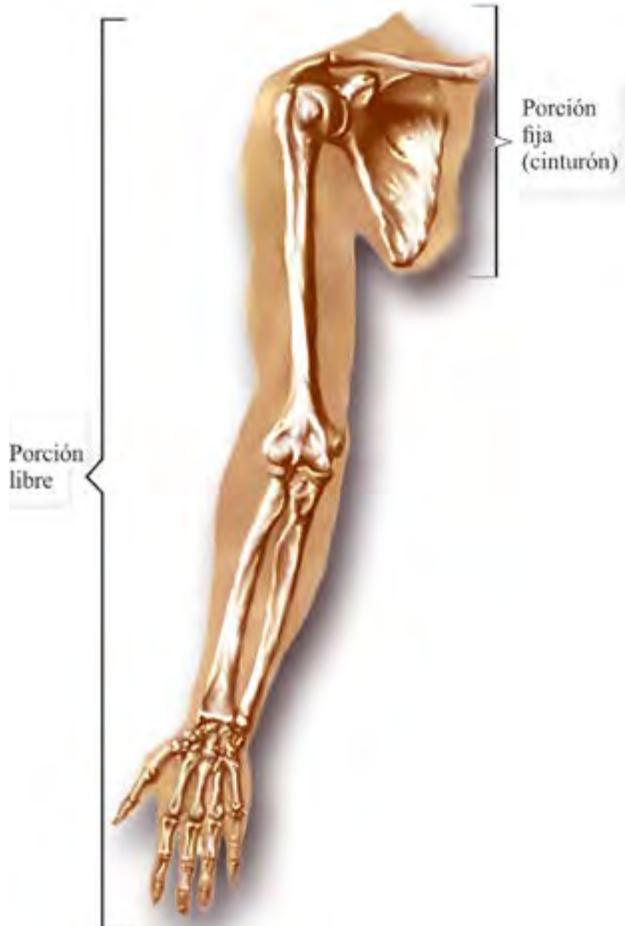


Fig. 7.43. Esqueleto del miembro superior derecho: vista anterior.

Esqueleto de la porción fija o cinturón del miembro superior

Los huesos que se encuentran en el nombrado cinturón del miembro superior se relacionan a continuación.

Clavícula

Está situada en la parte anterior y superior del tronco, articulándose con el esternón y con la escápula (Fig. 7.44). Este hueso se clasifica como un hueso largo. Sus porciones son: el cuerpo, la extremidad esternal (medial) y la extremidad acromial (lateral); presenta dos detalles articulares importantes: la cara articular ester-

nal y la cara articular acromial. La extremidad esternal de la clavícula es más redondeada y su cara articular tiene forma en silla de montar, la cual se articula con el esternón, y la extremidad acromial es más aplanada y presenta la cara articular plana, lugar de articulación con el acromion de la escápula.

El cuerpo de la clavícula está encorvado en forma tal, que su porción medial es convexa hacia delante y la parte lateral lo es hacia atrás. Este hueso se palpa y se observa incluso al examen físico. Como está ubicado superficialmente se fractura con frecuencia; de acuerdo con la posición que lleva el paciente y lo que refiere, mediante la inspección y la palpación es posible realizar el diagnóstico de esta fractura.



Fig. 7.44. Clavícula derecha: A. Vista superior. B. Vista inferior: 1. Cara articular esternal; 2. Cara articular acromial.

Escápula

Está situada en la parte posterior y superior del tronco, por detrás de la parrilla costal, entre la segunda y la séptima costilla. Es un hueso plano, por lo que presenta dos caras: una anterior o costal y otra posterior (Fig. 7.45).

En la vista anterior de la escápula, en posición anatómica, se puede observar en su configuración un borde superior, un borde medial que es palpable y un borde lateral. Además, presenta un ángulo superior, el ángulo inferior que es palpable y el ángulo lateral.

En una vista anterior se puede apreciar que la cara costal está excavada profundamente, lo que constituye la fosa subescapular, donde se inserta el músculo de igual nombre. Además, en esta vista se observan otros detalles anatómicos, tales como: el proceso coracoideo, el acromion (presenta una cara articular plana que se articula con la clavícula), detalles palpables al examen físico y la cavidad glenoidea de la escápula que constituye una superficie poco profunda que se articula al hueso del brazo, el húmero.

El borde de la cavidad glenoidea está separado del resto del escápula por un estrechamiento o cuello, sobre el borde superior de la cavidad glenoidea hay una pequeña eminencia, el tubérculo supraglenoideo, lugar de inserción de la cabeza larga del músculo bíceps braquial y en el borde inferior se encuentra el tubérculo infraglenoideo, eminencia donde se inicia la porción larga del tríceps braquial.

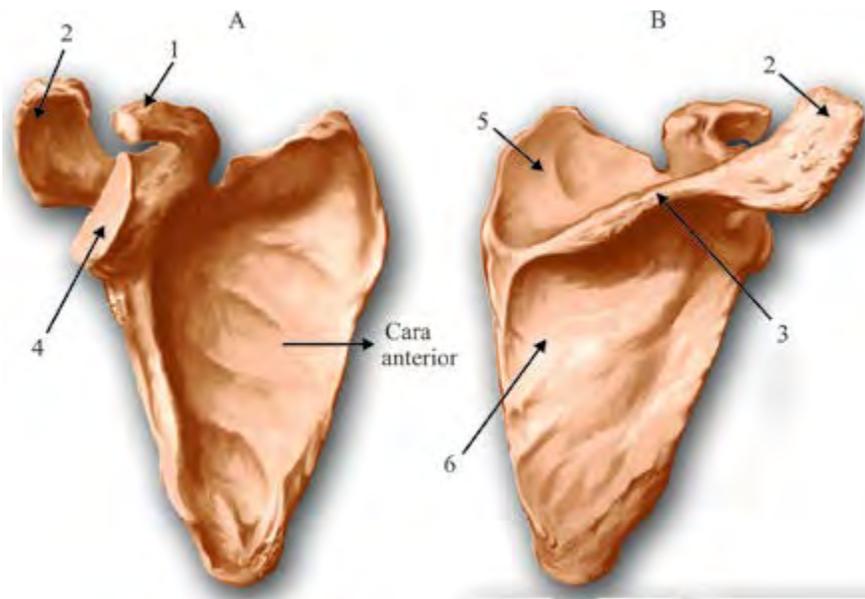


Fig. 7.45. Escápula derecha: A. Vista anterior. B. Vista posterior: 1. Proceso coracoides; 2. Acromion; 3. Espina de la escápula; 4. Cavidad glenoidea; 5. Fosa supraespinosa; 6. Fosa infraespinosa.

En una vista posterior de la escápula aparece otro detalle palpable e incluso se puede ver a la inspección en el examen físico, que es la espina de la escápula, encontrándose superiormente a ella la fosa supraespinosa y la que está por debajo de la espina, la fosa infraespinosa.

Articulaciones del cinturón escapular

Articulación esternoclavicular

Tiene una cavidad articular, por tanto, es una articulación sinovial que tiene como superficies articulares la cara articular esterna de la clavícula y la incisura clavicular del esternón (Fig. 7.46). Entre estas caras articulares aparece un fibrocartílago articular, específicamente un disco articular.

Atendiendo al número de caras articulares es simple. Por la presencia del disco es una articulación compleja.

Por la forma de las caras articulares, es una articulación en silla y las articulaciones en silla son articulaciones

biaxiales, pero debido a la presencia del fibrocartílago intrarticular antes mencionado, esta articulación realiza movimientos de ascenso y descenso de la clavícula alrededor de un eje sagital, el movimiento hacia delante y hacia detrás de la clavícula alrededor de un eje vertical y un tercer movimiento que sería de rotación de la clavícula a lo largo de su eje longitudinal, por lo que se clasifica de acuerdo con el número de ejes de movimientos como una articulación poliaxil.

La cápsula está reforzada por delante y por detrás por los ligamentos esternoclaviculares anterior y posterior; por debajo, por el ligamento costoclavicular (insertado en el cartílago de la primera costilla), y por arriba, por el ligamento interclavicular (entre ambas clavículas, sobre la incisura yugular y el manubrio del esternón).

En esta articulación, al moverse la clavícula conjuntamente también se mueve la escápula, poniéndose en movimiento todo el cinturón del miembro superior en el lado correspondiente. Los movimientos de la escápula se realizan hacia arriba y abajo, adelante y atrás, y además puede tener un movimiento giratorio alrededor de su eje anteroposterior, donde el ángulo inferior se desplaza lateralmente, como ocurre al levantar el brazo por encima del nivel horizontal.

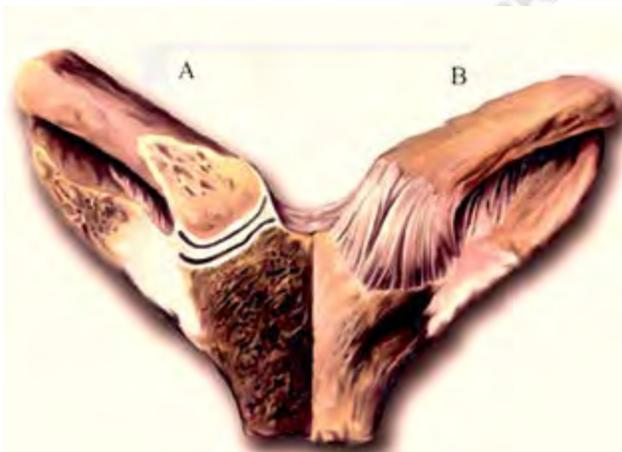


Fig. 7.46. Articulación esternoclavicular. Vista anterior: A. Derecha (abierta, corte frontal); B. Izquierda (cerrada).

Articulación acromioclavicular

Es una articulación sinovial, por lo que presenta su cápsula articular con ligamentos de refuerzo (Fig. 7.47).

Tiene como superficies articulares la cara articular acromial de la clavícula y la cara articular del acromion de la escápula, por lo que es simple por el número de caras articulares.

Por la forma de las caras articulares es una articulación que es plana y las articulaciones planas son articulaciones poliaxiales, pero que por la poca diferencia entre las superficies articulares es una articulación que permite solamente movimientos de deslizamiento, o sea, movimientos muy limitados.

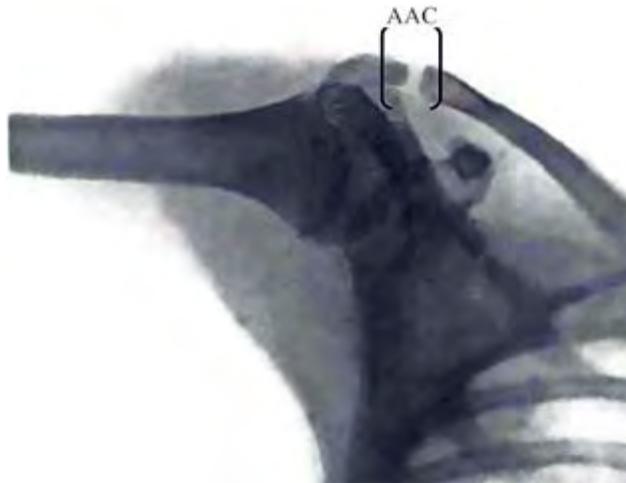


Fig. 7.47. Radiografía frontal del cinturón del miembro superior: articulación acromioclavicular (AAC) derecha.

La cápsula articular está reforzada por el ligamento acromioclavicular y toda la articulación por el potente ligamento coracoclavicular, que se extiende entre la cara inferior del cuerpo de la clavícula y el proceso coracoideo de la escápula. Sobre este ligamento recae todo el peso del miembro superior y de la escápula, suspendidos de la clavícula, gracias a lo cual la propia articulación evita dicha carga, lo que explica la rareza de las luxaciones de esta.

Esqueleto de la porción libre del miembro superior

Los huesos que se encuentran en la porción libre del miembro superior se relacionan a continuación.

Húmero

El húmero es el hueso del brazo; por su forma se clasifica como largo, por lo que presenta una epífisis proximal, una epífisis distal y la diáfisis (Fig. 7.48).

En la epífisis proximal se observan, como detalles anatómicos importantes, la cabeza humeral, que en la articulación del hombro o humeral constituye una superficie articular que se articula con la cavidad glenoidea de la escápula. La cabeza queda aislada del resto del hueso por un estrecho surco denominado cuello anatómico. Después se advierten dos tuberosidades, que constituyen sitios de inserción muscular: el tubérculo mayor, que está situado en el lateral; y el tubérculo menor, situado hacia adelante y medialmente con respecto al anterior. De ambos tubérculos parten hacia abajo dos crestas rugosas para la inserción de músculos, denominadas cresta del tubérculo mayor y cresta del tubérculo menor, entre las cuales se encuentra el surco intertubercular, que aloja el tendón de la cabeza larga del músculo bíceps braquial. En la zona inmediata inferior a ambos tubérculos, en el límite con el cuerpo o diáfisis del hueso se encuentra el cuello quirúrgico, lugar de fracturas más frecuentes.

En la extremidad distal, ancha y algo encorvada de atrás adelante, está la cabecita humeral y la tróclea humeral en la vista anterior, los cuales constituyen detalles anatómicos articulares y en la vista posterior la fosa

olecraneana que es un detalle anatómico no articular, y dos detalles muy importantes en el examen físico, que son los epicóndilos medial y lateral del húmero, detalles palpables en la superficie del cuerpo y que sirven para la inserción de músculos y ligamentos. El epicóndilo medial tiene mayor relieve que el lateral y en su lado posterior presenta un surco para el nervio ulnar, denominado surco del nervio ulnar.

El cuerpo del húmero tiene en su parte superior, un contorno cilíndrico y en su mitad inferior, una forma de prisma triangular, donde se distinguen tres caras: posterior, anterolateral y anteromedial; estas dos últimas separadas de la posterior por los bordes lateral y medial. Casi en la mitad del cuerpo del hueso y en su cara anterolateral está la tuberosidad deltoidea, detalle para la inserción del músculo deltoides. En la cara posterior se observa un surco oblicuo hacia abajo y lateralmente, el surco del nervio radial, en el que se aloja el nervio de igual nombre.



Fig. 7.48. Húmero derecho: A. Vista anterior. B. Vista posterior: 1. Cabeza del húmero; 2. Cabecita humeral; 3. Tróclea humeral; 4. Fosa olecraneana; 5. Epicóndilo medial; 6. Epicóndilo lateral.

Articulación humeral o del hombro

La articulación humeral une la porción libre con el cinturón del miembro superior, en particular con la escápula (Fig. 7.49).

Es una articulación sinovial, pues el medio principal de unión es la cápsula articular, la cual es delgada y no densa; está insertada en el reborde óseo de la cavidad glenoidea, abarca la cabeza del húmero y termina en el cuello anatómico. Como ligamento de refuerzo tiene un fascículo fibroso que se extiende desde la base del proceso coracoideo de la escápula hasta el tubérculo mayor del húmero, denominado ligamento coracohumeral. En conjunto, la articulación carece de ligamentos verdaderos; está reforzada por los músculos del cinturón del miembro superior, lo cual en parte es positivo, pues permite una mayor amplitud de movimientos, indispensables para las funciones del miembro como órgano de trabajo, sin embargo, por otro lado, la débil fijación de la articulación constituye un elemento negativo, siendo causa de frecuentes luxaciones.

Tiene como superficies articulares la cara articular de la cabeza humeral y la cara articular de la cavidad glenoidea de la escápula. Tiene un fibrocartílago intrarticular que en este caso es un labro que profundiza en alguna medida la cavidad glenoidea de la escápula y hace que las superficies articulares sean congruentes.

Los movimientos que realiza esta articulación son: el movimiento de flexión y extensión del brazo alrededor de un eje frontal, la abducción y aducción alrededor de un eje sagital y los movimientos de rotación medial y rotación lateral del brazo alrededor de un eje longitudinal o eje vertical y la combinación de los movimientos angulares, o sea, flexión y extensión, abducción y aducción, que es la cicunducción.

La flexión del brazo y su abducción es posible solo hasta el nivel del hombro, ya que el movimiento ulterior está frenado por la tensión de la cápsula articular y por el apoyo de la extremidad proximal del húmero en el arco formado por el acromion de la escápula y el ligamento coracoacromial. Si se continúa con el movimiento del

brazo por encima de la horizontal, este no se realiza ya en la articulación humeral, sino que todo el miembro se mueve junto con el cinturón y la escápula hace un movimiento giratorio que desplaza su ángulo inferior hacia delante y lateralmente.

En resumen, esta articulación se clasifica por la estructura en articulación sinovial. Por el número de caras articulares es una articulación simple, y por la forma de las caras articulares es esferoidea; es poliaxial porque se mueve alrededor de los ejes frontal, sagital y vertical.

Huesos del antebrazo

Los huesos del antebrazo son dos: el radio y la ulna, que se ubican lateral y medial respectivamente y por su forma se clasifican como huesos largos, por lo que presentan tres porciones: el cuerpo o diáfisis, la extremidad proximal y la extremidad distal o epífisis. El cuerpo de ambos huesos tiene la forma de un prisma triangular con tres caras y tres bordes. Una de las caras es posterior, otra anterior y la tercera es lateral para el radio y medial para la ulna. De los tres bordes uno es cortante y separa la cara anterior de la posterior y está dirigido hacia el hueso vecino, limitando el espacio interóseo; se denomina borde interóseo y constituye sitio de inserción de una de las articulaciones que une ambos huesos del antebrazo, la membrana interósea del antebrazo. Además de esos rasgos comunes para ambos huesos, cada uno de ellos presenta una serie de diferentes particularidades.

Radio

La extremidad distal es más engrosada que la proximal (Fig. 7.50).

Dentro de los detalles anatómicos del radio que observamos en su epífisis proximal se señala la cabeza, donde se encuentra la fosa articular, así como la circunferencia articular, detalles anatómicos que participan en la articulación cubital o del codo.

La cabeza del radio está separada del resto del hueso por un estrechamiento, el cuello del radio; inme-

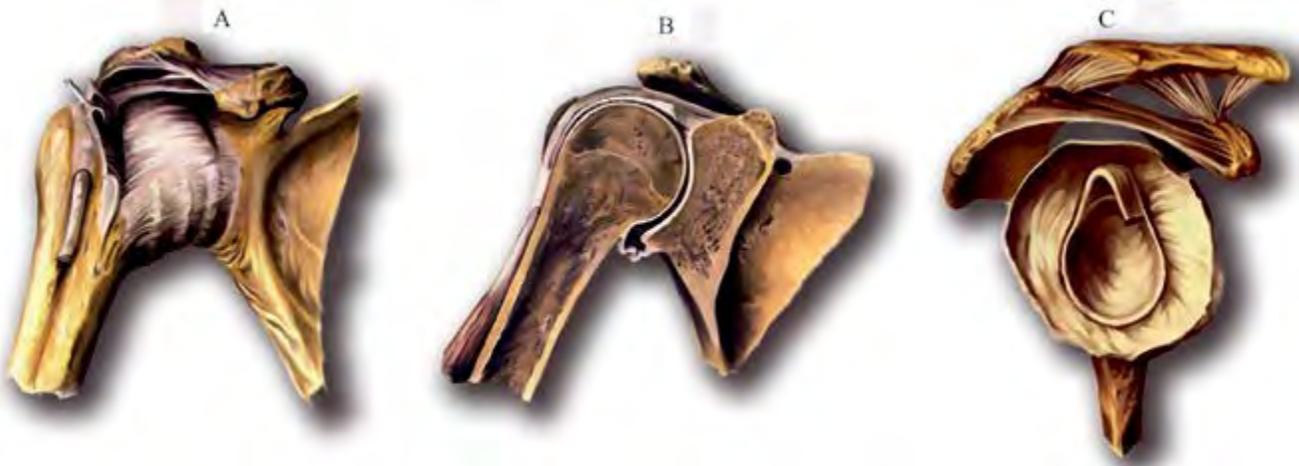


Fig. 7.49. Articulación humeral derecha: A. Vista anterior (cerrada). B. Vista anterior (corte frontal). C. Vista lateral (abierta, se ha quitado el húmero).

diatamente por debajo de este, en el lado anteromedial, se destaca una rugosidad, la tuberosidad del radio, lugar de inserción de terminación del músculo bíceps braquial.

La cabeza del radio está separada del resto del hueso por un estrechamiento, el cuello del radio; inmediatamente por debajo de este, en el lado anteromedial se destaca una rugosidad, la tuberosidad del radio lugar de inserción de terminación del músculo bíceps braquial.

En la extremidad distal del radio se observa la cara articular carpiana de este, que constituye una superficie articular de la articulación radiocarpiana o de la muñeca y el proceso estiloides, detalle anatómico palpable al examen físico. En la cara medial de la epífisis distal se encuentra una pequeña incisura, la incisura ulnar del radio, lugar de unión con la circunferencia articular de la ulna, lo que forma la articulación radioulnar distal.



Fig. 7.50. Radio derecho: A. Vista anterior. B. Vista posterior. C. Vista medial: 1. Cabeza del radio (circunferencia articular); 2. Proceso estiloides; 3. Incisura ulnar del radio; 4. Borde interóseo.

Ulna

Tiene la extremidad proximal muy voluminosa, dividida en dos procesos: uno posterior muy grueso, el olécranon, y otro anterior más pequeño, el proceso coronoideo (Fig. 7.51). Entre ambos se encuentra la incisura troclear, que se retomará en la articulación del codo. La incisura radial de la ulna, que es también una superficie articular de la articulación del codo, se encuentra ubicada en el lado radial del proceso coronoideo

y por debajo de este se extiende una rugosidad —la tuberosidad de la ulna— punto de inserción terminal del músculo braquial.

En la extremidad distal se observa que el borde lateral de esta se continúa con el proceso estiloides de la ulna, detalle también palpable en la superficie del cuerpo. Además, se describe en esta extremidad, la cabeza de la ulna, la cual presenta un detalle anatómico denominado circunferencia articular, lugar de articulación con el hueso radio.



Fig. 7.51. Ulna derecha: A. Vista anterior. B. Vista posterior. C. Vista lateral: 1. Incisura troclear; 2. Incisura radial de la ulna; 3. Olécranon; 4. Proceso estiloides.

Articulación del codo o cubital

Está constituida por 3 huesos: la extremidad distal del húmero y las extremidades o epífisis proximales de la ulna y el radio. La unión de estos huesos forman 3 articulaciones incluidas en una misma cápsula: articulación húmero radial, articulación húmero ulnar y articulación radio ulnar proximal (Fig. 7.52).

La articulación húmero ulnar tiene como superficies articulares la tróclea humeral y la incisura troclear de la ulna, por lo que es una articulación troclear por la forma de las caras articulares.

La articulación húmero radial está constituida por la cabecita humeral y la fosa articular de la cabeza del radio, formando una articulación esferoidea por su forma.



Fig. 7.52. Articulación del codo. Vista anterior: A. Cerrada. B. Abierta, se ve también membrana interósea y articulación radioulnar distal.

La articulación radio ulnar proximal está compuesta por la circunferencia articular del radio y la incisura radial de la ulna y es una articulación cilíndrica por la forma de las caras articulares.

La articulación del codo es una articulación sinovial; por las características estructurales de la unión; una articulación compuesta tiene más de 2 caras articulares (tiene 6 caras articulares), pero para clasificarla por la forma se debe tener en cuenta que esta articulación tiene 3 articulaciones dentro de la misma cápsula articular y por la forma no son iguales, como ya se mencionó, hay una esferoidea, una troclear y otra trocoidea. De acuerdo con los movimientos, esta articulación es una articulación biaxial, ya que realiza movimientos de flexión y extensión del antebrazo, movimientos de pronación y supinación del antebrazo, la flexión y extensión del antebrazo alrededor de un eje frontal, y la pronación y la supinación alrededor de un eje vertical.

La cápsula articular está reforzada por ligamentos muy importantes. Por los lados tiene los ligamentos colateral ulnar en el lado medial y colateral radial en el lado lateral, dispuestos ambos perpendiculares al eje frontal. El primero se extiende desde el epicóndilo

medial del húmero, en forma de abanico, insertándose en el borde medial de la incisura troclear de la ulna. El segundo se inicia en el epicóndilo lateral del húmero, forma dos fascículos que abarcan por delante y por detrás la cabeza del radio y van a insertarse en los bordes anterior y posterior de la incisura radial de la ulna. El espacio comprendido entre ambos fascículos se encuentra relleno de tejido fibroso, cuyas fibras rodean en forma de arco el cuello y la cabeza del radio, sin insertarse en estas zonas; a estas fibras se les denomina ligamento anular del radio.

Articulaciones entre los huesos del antebrazo

El radio y la ulna están unidos entre sí por ambas extremidades o epífisis, mediante articulaciones sinoviales, móviles: las articulaciones radioulnares proximal y distal. En el resto de su extensión están unidos por una membrana interósea. La articulación radioulnar proximal está incluida dentro de la cápsula de la articulación del codo, formando parte de esta, y ya fue descrita con anterioridad (Fig. 7.52).

La articulación radioulnar distal tiene como superficies articulares la circunferencia articular de la cabeza de la ulna y la incisura ulnar del radio. Esta articulación pertenece, por su forma, a las articulaciones cilíndricas, por lo que se llevan a cabo movimientos de rotación medial y lateral (supinación y pronación) alrededor del eje vertical y es combinada con su homóloga proximal.

La membrana interósea del antebrazo está constituida por una lámina fibrosa consistente, que se extiende entre los bordes interóseos de ambos huesos, sirviendo de base para la inserción de músculos del antebrazo. Constituye una articulación fibrosa de la variedad de sindesmosis por membrana.

Huesos de la mano

Los huesos del carpo son 8; se encuentran ubicados en dos filas: primera o proximal y segunda o distal (Fig. 7.53). En la primera fila se ubican el escafoides, semilunar, triquetro y pisiforme; y en la segunda fila, el trapecio, trapecoide, hueso grande y ganchoso. Todos son huesos cortos por su forma. En la superficie de cada hueso existen caras articulares para la unión con los huesos vecinos. En la cara palmar de algunos huesos del carpo sobresalen pequeños tubérculos para la inserción de músculos y ligamentos, como son el tubérculo del trapecio, el tubérculo del escafoides y el gancho del hueso ganchoso. Los huesos del carpo en su conjunto, forman una especie de bóveda, convexa por su lado dorsal y cóncava acanalada por el lado palmar.

Los huesos metacarpianos son cinco y por su orden de posición se designan del I al V a partir del metacarpiano correspondiente al dedo pulgar. Por su forma son huesos largos, por lo que tienen una extremidad proximal o base, un cuerpo o diáfisis y una cabeza redondeada como extremidad distal. Las bases desde el II hasta el V metacarpianos, están provistas de caras articulares para la unión con los huesos de la segunda fila del carpo y por los lados para su articulación entre sí. La base del

primer metacarpiano posee una cara articular en forma de silla de montar, por la que se articula con el trapecio.

Las cabezas de los metacarpianos presentan caras articulares convexas para su articulación con las falanges proximales de los dedos. Por sus lados presentan fosas rugosas donde se insertan ligamentos.

El más corto y grueso de los metacarpianos es el I, o sea, el correspondiente al pulgar. El más largo de los metacarpianos es el II, siguiéndole en orden el III, IV y V.

Los huesos de los dedos se denominan falanges. Cada dedo contiene 3 falanges: proximal, media y distal, excepto en el dedo pulgar que solo están presentes las falanges proximal y distal. Son huesos largos por su forma.

La base de la falange proximal tiene una fosa articular única, para la articulación con la cabeza redondeada del metacarpiano correspondiente, y la de las falanges media y distal presentan dos fosas aplanadas, separadas por una cresta. Estas se articulan correspondientemente, con las cabezas de las falanges proximal y media que tiene forma de polea o tróclea. La extremidad distal de la tercera falange presenta forma aplastada y rugosa, constituyendo la tuberosidad de la falange distal. En las articulaciones metacarpofalángicas y las interfalángicas de la mano existen huesos sesamoideos, que se encuentran en el espesor de los tendones de los músculos; estos son constantes en el dedo pulgar e inconstante en los demás dedos.

Articulación radiocarpiana o de la muñeca

Esta articulación une el antebrazo con la mano (Fig. 7.54). Tiene como caras articulares de la primera fila del carpo, el escafoides, el semilunar y el triquetro o hueso piramidal y la cara articular carpiana del radio. Se describe la presencia de un cartílago articular, realmente no es un cartílago articular, sino es

un ligamento triangular. Este ligamento triangular se interpone entre los huesos de la primera fila del carpo y la ulna, por lo que este último hueso no participa en esta articulación.

Es una articulación sinovial, compuesta por presentar más de dos caras articulares. Por la forma es elipsoidea y como toda articulación elipsoidea es una articulación biaxial. Realiza movimientos de flexión palmar y flexión dorsal, y movimientos de abducción y aducción de la mano. Y la combinación de los movimientos angulares, la cicunducción. Se mueve alrededor del eje frontal y del eje sagital, o sea, la flexión y extensión alrededor del eje frontal y la abducción y aducción alrededor del eje sagital.

La cápsula articular está reforzada por ligamentos que se extienden por su lado radial y ulnar: el ligamento colateral radiocarpiano, que va desde el proceso estiloides del radio hasta el hueso escafoides, y el ligamento colateral ulnocarpiano, que se extiende desde el proceso estiloides de la ulna hasta los huesos triquetro y pisiforme. En la cara palmar, la articulación está reforzada por el ligamento radiocarpiano palmar y por su cara dorsal, por el ligamento radiocarpiano dorsal.

Articulaciones entre los huesos de la mano

La articulación mediocarpiana se encuentra entre la primera y la segunda fila de los huesos del carpo, con exclusión del pisiforme que es un hueso sesamoideo. Las superficies articulares están representadas por la cara distal de la primera fila de los huesos del carpo y la cara proximal de los huesos de la segunda fila del carpo clasificándose de acuerdo a su forma como una articulación elipsoidea.

La cápsula articular se inserta en los bordes de las caras articulares y abarca las cuatro últimas articulaciones carpometacarpianas, que se comunican entre sí.

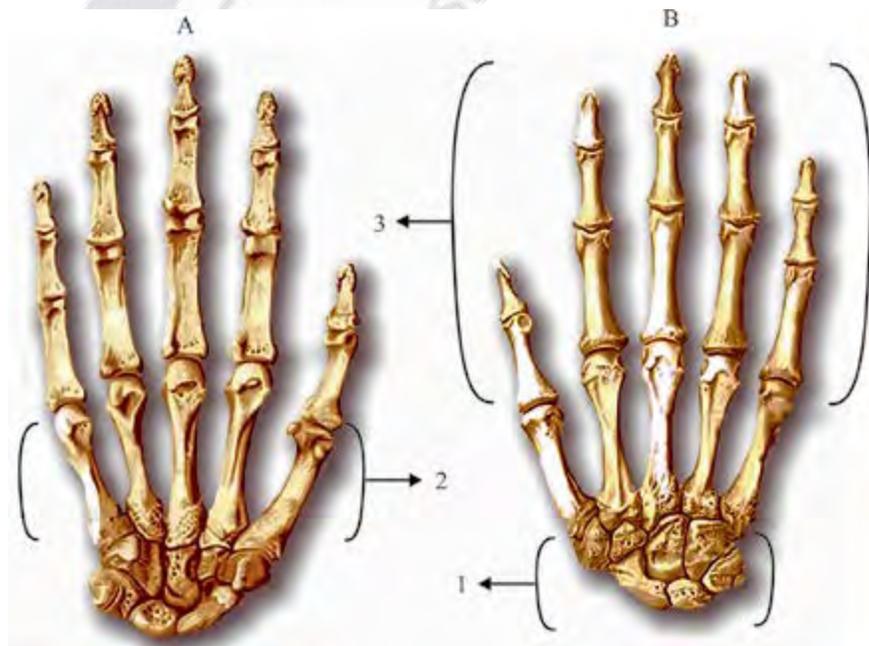


Fig. 7.53. Huesos de la mano derecha: A. Vista anterior (palma). B. Vista posterior (dorso): 1. Huesos del carpo; 2. Huesos metacarpianos; 3. Falanges.



Fig. 7.54. Articulación radiocarpiana de la mano derecha: A. Vista anterior (palma). B. Vista posterior (dorso). C. Las cavidades de las articulaciones están abiertas por un corte paralelo a la cara de la mano.

Los huesos del carpo están unidos entre sí por ligamentos interóseos denominados ligamentos intercarpiarios y en algunos lugares se articulan entre sí por caras articulares, formando las articulaciones intercarpiarias, las cuales están reforzadas por una serie de ligamentos cortos en su mayoría dispuestos en dirección transversal, desde un hueso a otro, tanto por la cara dorsal (ligamentos intercarpiarios dorsales) como por su cara palmar (ligamentos intercarpiarios palmares).

Las articulaciones carpometacarpianas están formadas por los huesos de la segunda fila del carpo y las bases de los metacarpianos. Exceptuando la articulación carpometacarpiana del pulgar, todas estas articulaciones son planas y están reforzadas —tanto por el dorso como por la palma— por ligamentos muy tirantes: los ligamentos carpometacarpianos dorsales y palmares.

Las articulaciones intermetacarpianas están constituidas por las bases de los 4 últimos metacarpianos, articuladas unas con las otras.

La articulación carpometacarpiana del pulgar está totalmente aislada de las otras, diferenciándose tanto por su estructura como por su movilidad. Está formada por la cara articular del trapecio y la base del primer metacarpiano, articuladas entre sí y envueltas por una amplia cápsula articular. Por su forma es una articulación en silla.

Las articulaciones metacarpofalángicas se crean entre las cabezas convexas de los metacarpianos y las

caras articulares de las bases de las falanges proximales; por su carácter se acercan a las articulaciones elipsoidales. El aparato ligamentoso está constituido por una amplia cápsula articular y dos ligamentos accesorios: los ligamentos colaterales. Por el lado palmar existe un engrosamiento de la cápsula que contiene un cartílago fibroso: el ligamento palmar; además, entre las cabezas de los II-V metacarpianos se extienden transversalmente los ligamentos metacarpianos transversos profundos. Realiza movimientos de flexión y extensión de la falange proximal y de separación-aproximación de los dedos alrededor de un eje que pasa por el dedo del medio de la mano.

Las articulaciones interfalángicas se encuentran entre la cabeza y la base de las falanges contiguas; constituyen articulaciones trocleares típicas, que permiten realizar la flexión y extensión alrededor del eje frontal. Los ligamentos accesorios, denominados ligamentos colaterales, se extienden por los lados de la articulación

Esqueleto de los miembros inferiores

Los huesos de los miembros inferiores también se dividen, para su estudio, en porción fija o cinturón del miembro inferior, que es el hueso coxal, y porción libre: el fémur (hueso del muslo), la patela, la fíbula y la tibia (huesos de la pierna), y los huesos del tarso (agrupados en dos filas), los metatarsianos y las falanges en el pie (Fig. 7.55).



Fig. 7.55. Esqueleto del miembro inferior derecho: vista anterior.

Las grandes articulaciones sinoviales del miembro inferior son: la articulación coxal, la articulación de la rodilla y la articulación talocrural o del tobillo. Existen varias articulaciones entre los huesos del tarso y, además, las articulaciones metatarsofalángicas y las interfalángicas.

En el miembro inferior también existen otras articulaciones, como la sacroilíaca que es sinovial, la sínfisis púbica que es una articulación cartilaginosa y otras que se describen en la pelvis ósea en conjunto.

Esqueleto de la porción fija o cinturón del miembro inferior

Coxal

Es un hueso par que se articula con el hueso sacro y forma un anillo óseo que constituye la pelvis (Fig. 7.56), por lo que cumple funciones de movimiento, de defensa y de apoyo o sostén. Es un hueso plano y presenta tres porciones: isquion, ilion y pubis, representadas por estos tres huesos aislados que en su formación después se fusionan y forman el hueso único. Estas tres piezas se reúnen en la región donde la carga es mayor, o sea, en el centro de la cavidad acetabular, o acetábulo, que es una fosa articular, y participa en la articulación coxal o coxofemoral, la cual une el cinturón con la porción libre del miembro inferior.

El ilion está dispuesto por encima del acetábulo, el pubis por delante y por debajo y el isquion por abajo y atrás.

Hasta los 16 años estos huesos están unidos por tejido cartilaginoso; hasta esa edad representa una articulación cartilaginosa de la variedad sincondrosis; después ese tejido se sustituye por tejido óseo y se sinostosa, lo que da lugar a la formación de un hueso único.

Al ser un hueso plano por su forma, en él se describen una cara externa y otra interna. En la cara externa se ve el acetábulo; tiene la forma de una fosa esférica, delimitado en su circunferencia por un reborde elevado que presenta una escotadura en su lado medial: la incisura acetabular; la cara semilunar del acetábulo es una superficie articular y el centro de la cavidad —la fosa acetabular— es rugosa. En esta cara externa, en la región que corresponde al ilion, se ve la parte inferior corta y engrosada, denominada cuerpo del ilion,

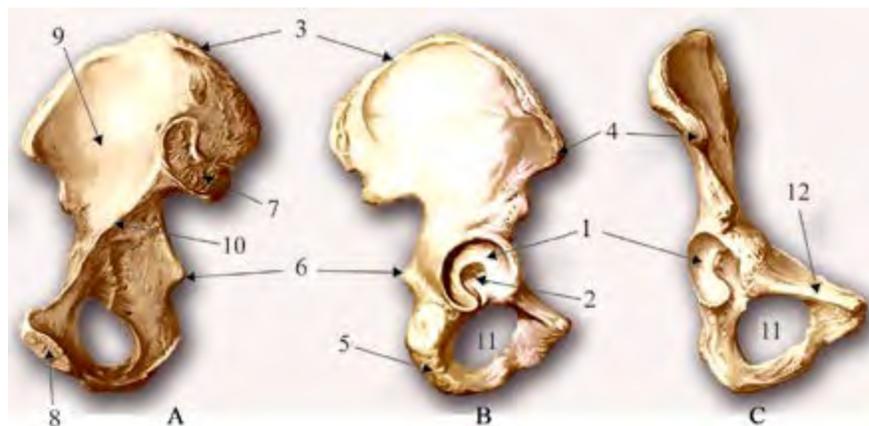


Fig. 7.56. Hueso coxal derecho: A. Vista medial (cara interna). B. Vista lateral (cara externa). C: Vista anterior (posición anatómica): 1. Cara semilunar del acetábulo; 2. Fosa acetabular; 3. Cresta ilíaca; 4. Espina ilíaca anterosuperior; 5. Tuberosidad isquiática; 6. Espina isquiática; 7. Cara auricular; 8. Cara sinfisial; 9. Fosa ilíaca; 10. Línea arqueada; 11. Agujero obturador; 12. Cresta pectínea.

dirigida hacia la región del acetábulo, su parte superior es ancha y más o menos delgada, la cual constituye el ala de ilion, en cuya superficie se observan líneas rugosas, huellas de inserción de los músculos glúteos, cuyo borde superior, engrosado y encorvado como una cresta en S itálica, se denomina cresta ilíaca. Esta cresta termina por delante en la espina ilíaca anterosuperior y por detrás en la espina iliaca posterosuperior, por debajo en los bordes anterior y posterior del ala se encuentran las espinas ilíacas anteroinferior y posteroinferior. Por debajo de esta última se encuentra una escotadura profunda, la incisura isquiática mayor que termina más abajo, en la espina isquiática, situada en la porción del isquion.

La cara interna del ala del ilion es lisa, ligeramente cóncava; constituye la fosa ilíaca, cuya formación se debe al sostenimiento de las vísceras, relacionado con la posición vertical del cuerpo. Por detrás y por debajo de la fosa ilíaca se encuentra la cara auricular, lugar de articulación con la cara homónima del sacro y más arriba de la cara auricular hay una superficie rugosa, la tuberosidad ilíaca. La fosa ilíaca está separada de la cara interna del cuerpo del ilion por un reborde obtuso, oblicuo hacia delante y abajo, conocido como línea arqueada.

En la región que corresponde al pubis se observa que existe un corto engrosamiento, el cuerpo del pubis contiguo al acetábulo y dos ramas, una superior, la horizontal y otra inferior, la rama descendente, dispuestas en ángulo. En el vértice de ese ángulo, dirigido hacia la línea media, se encuentra una superficie oval, la cara sínfisis, lugar de articulación con el pubis del lado opuesto, y a 2 cm aproximadamente, en dirección lateral, hay una pequeña prominencia, el tubérculo púbico, a partir del cual se extiende a lo largo de la rama superior del pubis, la cresta pectínea.

En la región del isquion se observa, igualmente, la presencia del cuerpo del isquion cercano a la cavidad acetabular y una rama (rama del isquion) que forma un ángulo con un vértice muy engrosado, la tuberosidad isquiática.

Por el borde superior del cuerpo, hay una pequeña escotadura, la incisura isquiática menor. La rama del isquion se fusiona con la rama inferior del pubis, creando el agujero obturador situado por debajo y medialmente al acetábulo.

Pelvis en conjunto

Los dos huesos coxales —el cóccix y el sacro— articulándose entre sí, forman un anillo óseo, la pelvis,

destinada a la unión del tronco con las partes libres de los miembros inferiores y, además, forman una cavidad o receptáculo para las vísceras.

La pelvis ósea se divide, para su estudio, en pelvis mayor y menor. La pelvis mayor solo está limitada por los bordes de los huesos ilíacos, las crestas ilíacas; por delante no tiene paredes óseas y por detrás su limitación la constituyen las vértebras lumbares. El límite entre ambas porciones, lo constituye la línea terminal formada por el ángulo sacrovertebral o promontorio, la línea arqueada de los huesos coxales, las crestas pectíneas y la espina del pubis. Limitado de este modo, el orificio superior se denomina apertura superior de la pelvis. Por debajo se encuentra la cavidad de la pelvis menor, cuya pared anterior está constituida por los huesos púbicos y la sínfisis púbica, la pared posterior está constituida por los huesos sacro y cóccix, y sus paredes laterales están formadas por los segmentos de los huesos coxales correspondientes a la cara posterior del acetábulo, además, los huesos isquion y los ligamentos que se extienden desde ellos hacia el sacro (ligamentos sacrotuberal y sacrospinal).

La apertura inferior de la pelvis está limitada por las ramas isquiopúbicas, las tuberosidades isquiáticas y los ligamentos que van del sacro hacia el isquion y el cóccix.

La forma y dimensiones de la pelvis reflejan su función. En el hombre, con el paso a la estación bípeda, la pelvis se hizo más corta y más ancha, de tal manera que en los hombres las dos dimensiones, anteroposterior y transversal, son casi iguales y en la mujer —en la que la pelvis posee una función especial relacionada con el soporte del feto y con el acto del parto—, el diámetro transversal supera el anteroposterior. Con el inicio de la maduración sexual comienza la manifestación brusca de las distinciones sexuales: los huesos de la pelvis femenina son, por lo general, más delgados y lisos que en los hombres; las alas de los huesos iliacos están más desplegadas en la mujer; el estrecho superior de la pelvis femenina es oval transversal, mientras que en el hombre es más bien oval longitudinal, entre otras diferencias (Fig. 7.57).

Articulaciones de los huesos de la pelvis

En la pelvis se observan todos los tipos de articulaciones que reflejan los estadios consecutivos del desarrollo del esqueleto: fibrosas, cartilaginosas y sinovial.

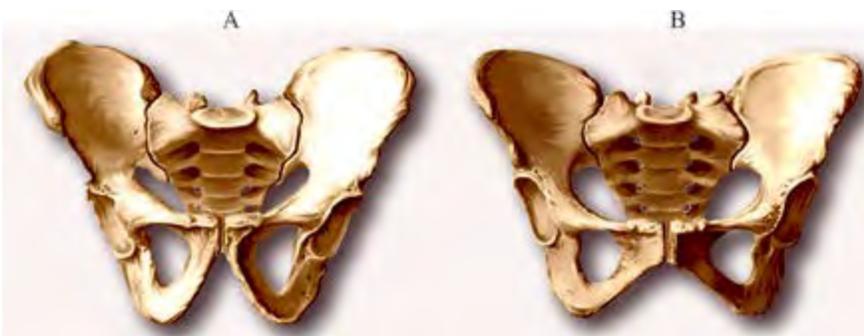


Fig. 7.57. Pelvis. Vista anterior: A. Pelvis masculina. B. Pelvis femenina.

Articulación sacroilíaca

Es una articulación sinovial constituida por las caras articulares auriculares del sacro y el coxal. Es plana por la forma de las caras articulares y por lo tanto poliaxil de acuerdo con el número de ejes de movimientos, pero el movimiento es muy limitado y en ella se realizan movimientos de deslizamiento. Los ligamentos que refuerzan la cápsula articular son los ligamentos sacroilíacos interóseos dispuestos en forma de fascículos cortos entre la tuberosidad ilíaca y el sacro, además de los ligamentos sacroilíacos dorsales, ventrales y el ligamento iliolumbar.

Sínfisis del pubis

Situada en la línea media, une a los dos huesos pubis entre sí. Es una articulación cartilaginosa de la variedad sínfisis. Está reforzada además en el borde superior por el ligamento púbico superior y en el borde inferior por el ligamento púbico arqueado.

Ligamentos sacrotuberal y sacroespinal

Son dos láminas fibrosas interóseas que unen en ambos lados el hueso coxal y el sacro, por lo que son articulaciones fibrosas de la variedad sindesmosis por ligamentos. Estos dos ligamentos completan el armazón óseo de la pelvis en su parte posteroinferior y convierten las incisuras isquiáticas mayor y menor en los agujeros homónimos: agujeros isquiáticos mayor y menor.

Membrana obturadora

Es una membrana fibrosa que cierra el agujero obturador de los coxales exceptuando su ángulo superolateral. Insertándose en los bordes del surco obturador transforma dicho surco en el canal obturador condicionado por el paso del nervio y los vasos obturadores. Se comporta como una articulación fibrosa variedad sindesmosis por membrana.

Esqueleto de la porción libre del miembro inferior

Fémur

El fémur es el hueso de más desarrollo del cuerpo humano; está situado en el muslo y es un hueso largo, por lo que presenta 3 porciones: la epífisis proximal, la epífisis distal y el cuerpo o diáfisis (Fig. 7.58).

En la epífisis proximal se encuentra un detalle anatómico articular muy importante: la cabeza del fémur, la cual se une al resto del hueso a través de un cuello situado en ángulo obtuso con respecto al eje femoral. En el lugar de paso del cuello a la diáfisis se encuentran 2 tuberosidades óseas denominadas trocánteres: el trocánter mayor, que presenta por su lado medial una depresión profunda llamada fosa trocántérica; y el trocánter menor, que se encuentra medial y algo por detrás con respecto al anterior. Ambos trocánteres se unen entre sí por el



Fig. 7.58. Fémur derecho: A. Vista anterior. B. Vista posterior. C. Vista medial: 1. Cabeza del fémur; 2. Cara patelar; 3. Cóndilos medial y lateral; 4. Cuello del fémur; 5. Fosa de la cabeza femoral; 6. Trocánter mayor; 7. Trocánter menor.

lado posterior mediante la cresta intertrocanterica y por el lado anterior por la línea intertrocanterica. Todas estas formaciones —trocanteres, crestas, línea y fosa— están condicionadas por la inserción de músculos.

El cuerpo del fémur está algo encorvado hacia delante y tiene la forma de un prisma triangular con aristas redondeadas, en su cara posterior se encuentra el borde posterior del fémur, se denomina línea áspera y comprende dos labios, uno lateral y otro medial, que constituyen sitios de inserción de músculos del muslo, en su parte proximal ambos labios, presentan huellas de inserción de músculos, en el labio lateral, la tuberosidad glútea y en labio medial la línea pectínea. Por debajo la línea áspera se divide en 2 ramas divergentes, limitando en la cara posterior del fémur un espacio triangular liso, la cara poplítea.

En la epífisis distal se encuentran los cóndilos del fémur, dos superficies redondeadas (cóndilo medial y cóndilo lateral) de los cuales el medial sobresale más hacia abajo que el lateral. Por su cara anterior las caras articulares de los cóndilos se continúan una con la otra formando una pequeña concavidad en dirección sagital, la cara patelar. En la cara lateral de ambos cóndilos, por encima de su cara articular se encuentra una tuberosidad rugosa, el epicóndilo medial y el epicóndilo lateral, respectivamente.

Articulación coxal

Las superficies articulares son la cara articular de la cabeza del fémur con la cara semilunar del acetábulo (Fig. 7.59). Presenta un labro o rodete que hace congruentes las superficies articulares y además presenta el ligamento de la cabeza femoral, muy importante en las fracturas si se lesiona este ligamento, pues se produce una necrosis de la cabeza femoral.

Es una articulación sinovial. Por el número de caras articulares es simple; por la forma, esferoidea y como toda esferoidea es una articulación poliaxial y realiza movimientos de flexión y extensión del muslo alrededor de un eje frontal, la abducción y aducción del muslo alrededor

de un eje sagital, la rotación medial y lateral alrededor de un eje longitudinal o vertical y la circunducción que constituye la sumatoria de los movimientos angulares de flexión-extensión, abducción y aducción. Como medio principal de unión presenta una potente cápsula articular con varios ligamentos de refuerzo, como son los ligamentos iliofemoral, pubofemoral e isquiofemoral.

Patela

La patela es un hueso sesamoideo grande, incluido en el espesor del tendón del músculo cuádriceps femoral, situado por delante de la articulación de la rodilla. Es un hueso corto por su forma (Fig. 7.60). En el se distingue un extremo superior amplio, denominado base y una extremidad inferior aguda, el ápice. La cara anterior es rugosa y la posterior es lisa, a través de la cual la patela se articula con la cara patelar del fémur.

Tibia

La tibia está emplazada medialmente (Fig. 7.61); es el hueso de mayor desarrollo en esta región y se clasifica como largo; este hueso está ubicado en la superficie, por lo que es frecuente su fractura en los accidentes de tránsito.

En la epífisis proximal se observan los cóndilos de la tibia medial y lateral, en la cara superior de los cóndilos, dirigidas al fémur, hay dos caras ligeramente cóncavas, las caras articulares de los cóndilos de la tibia que son superficies de la articulación de la rodilla. Las dos caras articulares están separadas por la eminencia intercondilar por delante y por detrás de esta se encuentran dos pequeñas depresiones: las áreas intercondilares anterior y posterior (todas estas formaciones están condicionadas por la inserción de ligamentos intrarticulares).

Por debajo de los cóndilos de la tibia, ya en la cara anterior de esta, se encuentra una prominencia rugosa, la tuberosidad de la tibia, lugar de inserción del ligamento patelar. En la región posterolateral del cóndilo lateral hay una pequeña cara articular plana, la cara articular fibular para la articulación con la cabeza de la fibula.

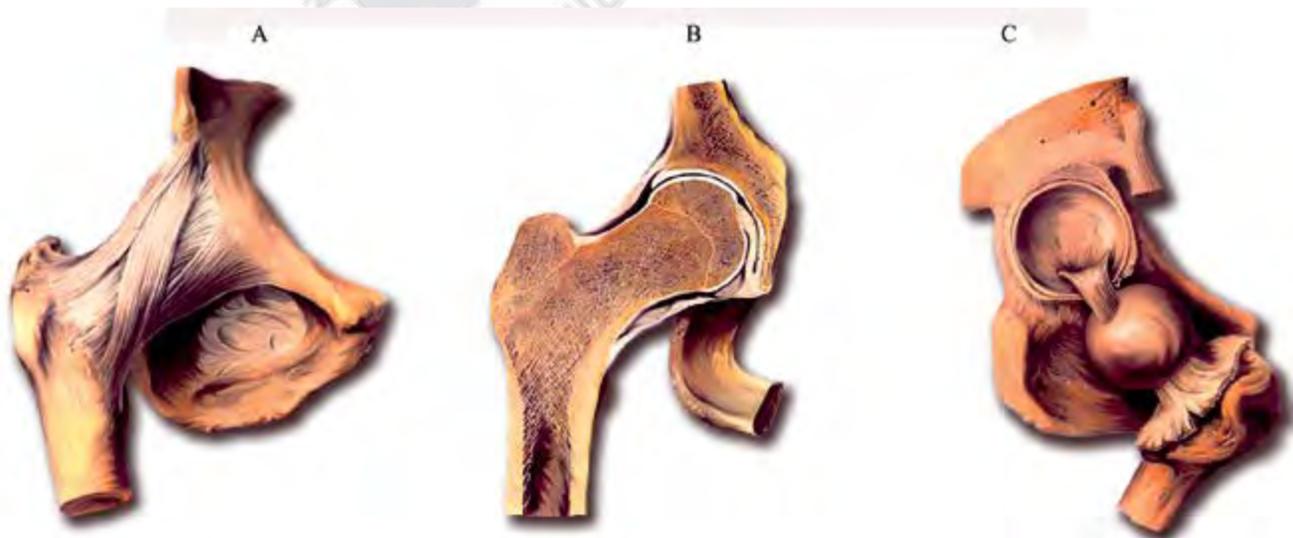


Fig. 7.59. Articulación coxal derecha: A. Vista anterior (cerrada). B. Vista anterior (corte frontal). C. Vista lateral (la cabeza del fémur ha sido sacada del acetábulo).

El cuerpo de la tibia es prismático triangular, en el que se distinguen 3 bordes: anterior, medial y lateral o interóseo; y 3 caras: posterior, medial y lateral.

La extremidad distal se continúa en su lado medial en un proceso voluminoso, el maleolo medial. En la cara posterior del maleolo se ve una depresión aplanada, el surco maleolar, huella de paso de tendones.

La extremidad de la tibia además tiene como detalles anatómicos importantes, la cara articular inferior, la cara

articular maleolar y la incisura fibular para la articulación con la fíbula.

Fíbula

La fíbula es el otro hueso de la pierna; queda ubicado en situación lateral y es un hueso largo por su forma (Fig. 7.62). La epífisis superior o cabeza de la fíbula presenta por dentro una cara articular plana, la cara articular de la cabeza de la fíbula para la articulación

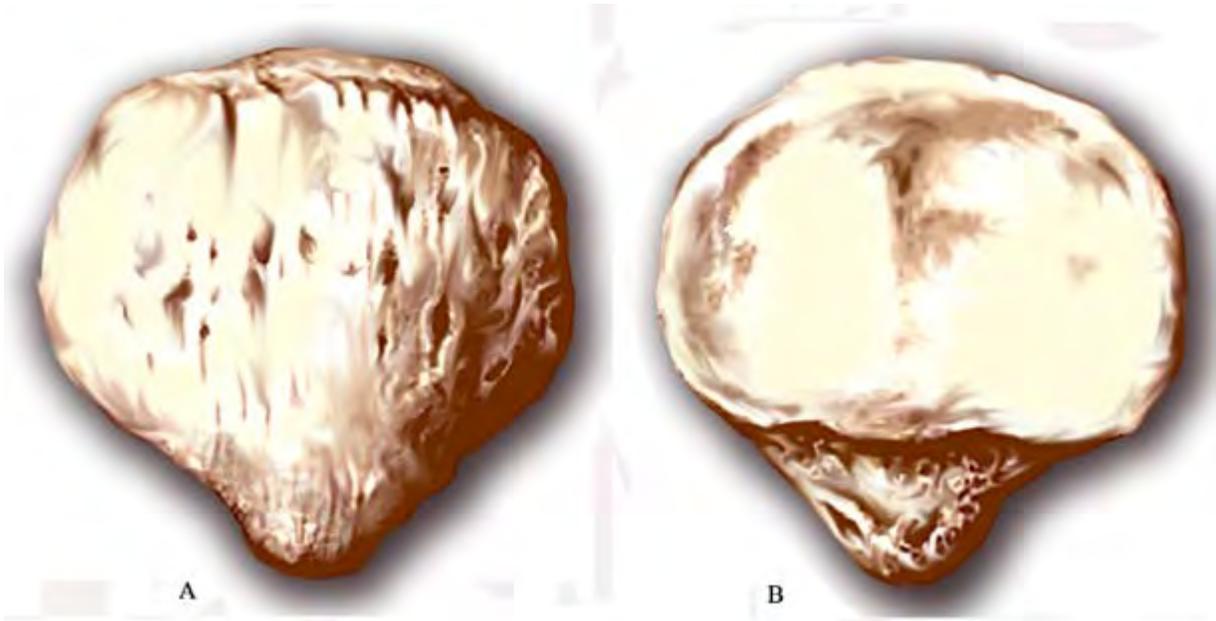


Fig. 7.60. Patela derecha: A. Vista anterior. B. Vista posterior.

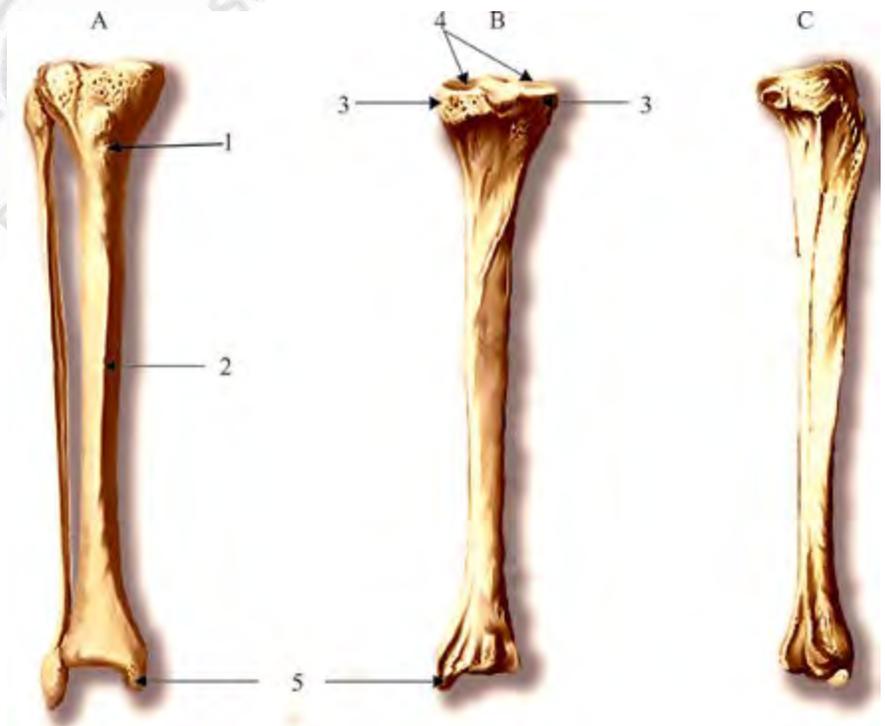


Fig. 7.61. Tibia derecha: A. Vista anterior (con la fíbula). B. Vista posterior. C. Vista lateral: 1. Tuberosidad de la tibia; 2. Borde anterior; 3. Cóndilos de la tibia; 4. Cara articular superior de los cóndilos; 5. Maléolo medial.

con el cóndilo de la tibia. Por detrás y lateralmente a esta cara se levanta una eminencia, el ápice de la cabeza de la fíbula.

El cuerpo de la fíbula es prismático triangular y se encuentra algo retorcido por su eje longitudinal; tiene tres bordes: anterior, posterior e interóseo o medial. Además presenta tres caras algo cóncavas, limitadas por los bordes.

La epífisis distal, engrosándose, forma el maleolo lateral que presenta una cara articular lisa, la cara articular maleolar. En la parte posterior de este maléolo se distingue una fosita plana, la fosa maleolar lateral, huella de paso de los músculos fibulares o peroneos.

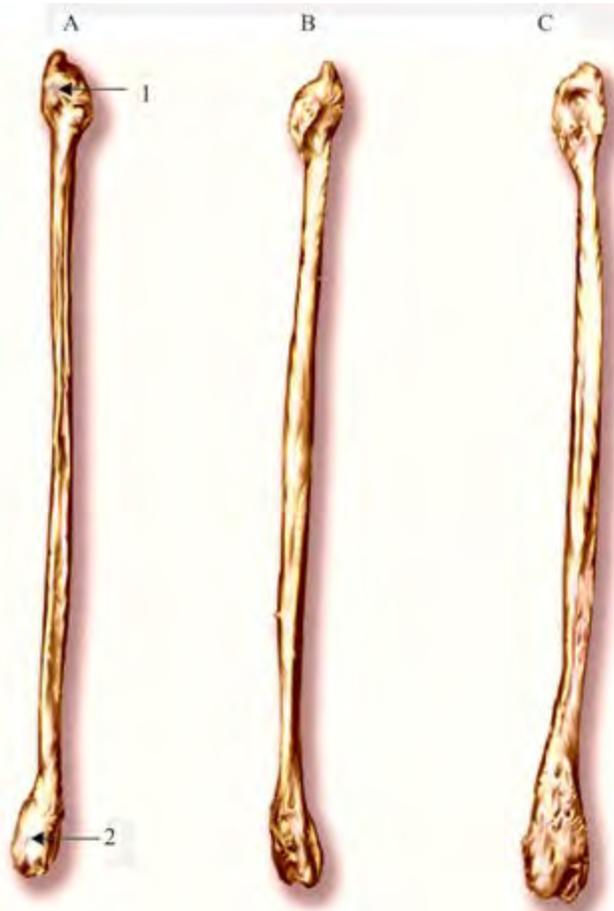


Fig. 7.62. Fíbula derecha: A. Vista anteriore. B. Vista posterior. C. Vista medial: 1. Cabeza de la fíbula; 2. Maléolo lateral.

Articulación de la rodilla

Tiene como superficies articulares la cara articular patelar del fémur, los cóndilos del fémur, las caras articulares de los cóndilos de la tibia y la cara articular de la patela (Fig. 7.63).

Presenta dos meniscos (medial y lateral), fibrocartílagos intrarticulares situados entre los cóndilos del fémur y las caras articulares superiores de la tibia que se afecta con bastante frecuencia, sobre todo en los deportistas. Por delante, entre ambos meniscos,

se extiende un fascículo fibroso denominado ligamento transverso de la rodilla.

Presenta una potente cápsula articular con varios ligamentos de refuerzo, atendiendo a las dos palancas que se articulan aquí, el fémur y la tibia. Es importante tener en cuenta que la fíbula no forma parte de esta articulación. Por los lados está reforzada la cápsula por los ligamentos colaterales, que se extienden perpendicularmente al eje frontal, por la parte medial, el ligamento colateral tibial y por la parte lateral el ligamento colateral fibular.

En la parte posterior se encuentran dos ligamentos entrelazados con la pared posterior de la cápsula: el ligamento poplíteo arqueado y el ligamento poplíteo oblicuo. En la parte anterior de la articulación se sitúa el tendón del músculo cuádriceps femoral que se continúa luego en un ligamento ancho y sólido, el ligamento patelar. A ambos lados de la patela las expansiones laterales del tendón del cuádriceps femoral forman los retináculos patelares lateral y medial, estos mantiene la patela en su posición durante los movimientos.

Además de estos ligamentos extrarticulares descritos, la articulación tiene 2 ligamentos intrarticulares, denominados ligamentos cruzados de la rodilla: el ligamento cruzado anterior y el ligamento cruzado posterior.

En la vecindad de la articulación se extienden una serie de bolsas sinoviales, algunas de las cuales comunican con la articulación, como son la bolsa subcutánea prepatelar, la bolsa prepatelar subfascial y la bolsa subtendinosa prepatelar, entre otras.

Es una articulación sinovial. Es una articulación condilar, por la forma. Por el número de caras articulares es una articulación compuesta y compleja por la presencia de los meniscos. Por el número de ejes de movimientos es una articulación biaxial. Los movimientos de esta articulación son: la flexión y extensión de la pierna alrededor de un eje frontal y después de una semiflexión de la pierna un ligero movimiento de rotación (medial y lateral) alrededor de un eje vertical.

Articulaciones entre los huesos de la pierna

Ambos huesos de la pierna están unidos tanto en sus extremos proximal y distal, como a lo largo de sus cuerpos.

Articulación tibiofibular proximal. Se produce entre las caras articulares planas de la cabeza de la fíbula y del cóndilo lateral de la tibia. Es sinovial, simple, plana y poliaxial. La cápsula articular, insertada en los bordes de las superficies articulares está reforzada por los ligamentos anterior y posterior de la cabeza de la fíbula.

La membrana interósea de la pierna está extendida entre los bordes interóseos de ambos huesos. Presenta en su parte superior un orificio para el paso de vasos y nervio. Es una articulación fibrosa de la variedad sindesmosis por membranas.

Articulación tibiofibular distal o sindesmosis tibiofibular. Se produce entre las extremidades inferiores de la tibia y la fíbula, a través de dos ligamentos, los ligamentos tibiofibulares anterior y posterior, por lo que es una articulación fibrosa de la variedad sindesmosis por ligamentos.



Fig.7.63. Articulación de la rodilla derecha: A. Vista anterior (cerrada). B. Vista posterior (cerrada). C. Vista lateral (corte sagital). D. Vista anterior (sin cápsula articular, el tendón del músculo cuádriceps con la patela está estirado en dirección distal). E. Vista posterior (sin cápsula articular). F. Vista superior (cara distal de la articulación, los ligamentos cruzados están seccionados).

Huesos del pie

Los huesos del tarso están compuestos por el talo y el calcáneo en una primera fila y en una segunda fila por el navicular, el cuboides y los 3 cuneiformes: medial, intermedio y lateral. Son huesos cortos por su forma (Fig. 7.64).

El metatarso consta de 5 huesos metatarsianos largos; en ellos se distingue una extremidad proximal o base, una porción media o cuerpo y una extremidad distal o cabeza. Están situados en fila, separados unos de otros por los espacios interóseos. Se cuentan a partir del borde medial del pie. Por sus bases se articulan con los huesos de la fila

distal del tarso. Las cabezas están aplanadas lateralmente y tienen fosillas o depresiones para la inserción de ligamentos. El primer metatarsiano es el más corto y grueso, mientras que el segundo es el más largo.

Los huesos de los dedos de los pies son las falanges y son 3 falanges, excepto el dedo grueso que solamente tiene falange proximal y distal, son huesos largos. En las falanges distales se observa un engrosamiento en su extremidad distal, la tuberosidad de la falange distal, que constituye su principal rasgo distintivo. Los huesos sesamoideos están situados en las articulaciones metatarsofalángicas y en la interfalángica del primer dedo.

Articulación talocrural o del tobillo

Presenta como superficies articulares la cara articular correspondiente a la tróclea del talo, cara articular inferior de la tibia y las caras articulares maleolares de la tibia y la fíbula (Fig. 7.65).

Es una articulación sinovial. Por el número de caras articulares es compuesta, pues presenta más de dos caras articulares. Por la forma es troclear y como toda articulación troclear, monoaxial. Los movimientos que realiza son la flexión dorsal del pie y la flexión plantar. Estos movimientos alrededor de un eje frontal.

La cápsula de la articulación está reforzada por ligamentos accesorios que se disponen a ambos lados de la articulación extendiéndose desde los maleolos hasta los huesos vecinos del tarso, son el ligamento medial y el ligamento lateral que consta de tres fascículos: ligamento talofibular anterior, ligamento calcaneonavicular y el ligamento talofibular posterior.

Entre los huesos del tarso existen un grupo de articulaciones muy variadas, que ofrecen la posibilidad de variados y amplios movimientos del pie y existen también las articulaciones tarsometatarsianas, las articulaciones metatarsofalángicas y las interfalángicas. Esto posibilita amplitud de movimientos y combinación de movimientos del pie como la inversión y la eversión.

Pie óseo en conjunto

El pie está constituido y funciona como una bóveda elástica y movable (Fig. 7.66).

Los huesos del pie, enlazados por articulaciones tensas, constituyen la base firme de este. Existen ligamentos que refuerzan la bóveda del pie, entre los que tiene un papel decisivo el ligamento plantar largo.

En la estructura abovedada del pie se observa una curvatura en la parte inferior; esto es una característica

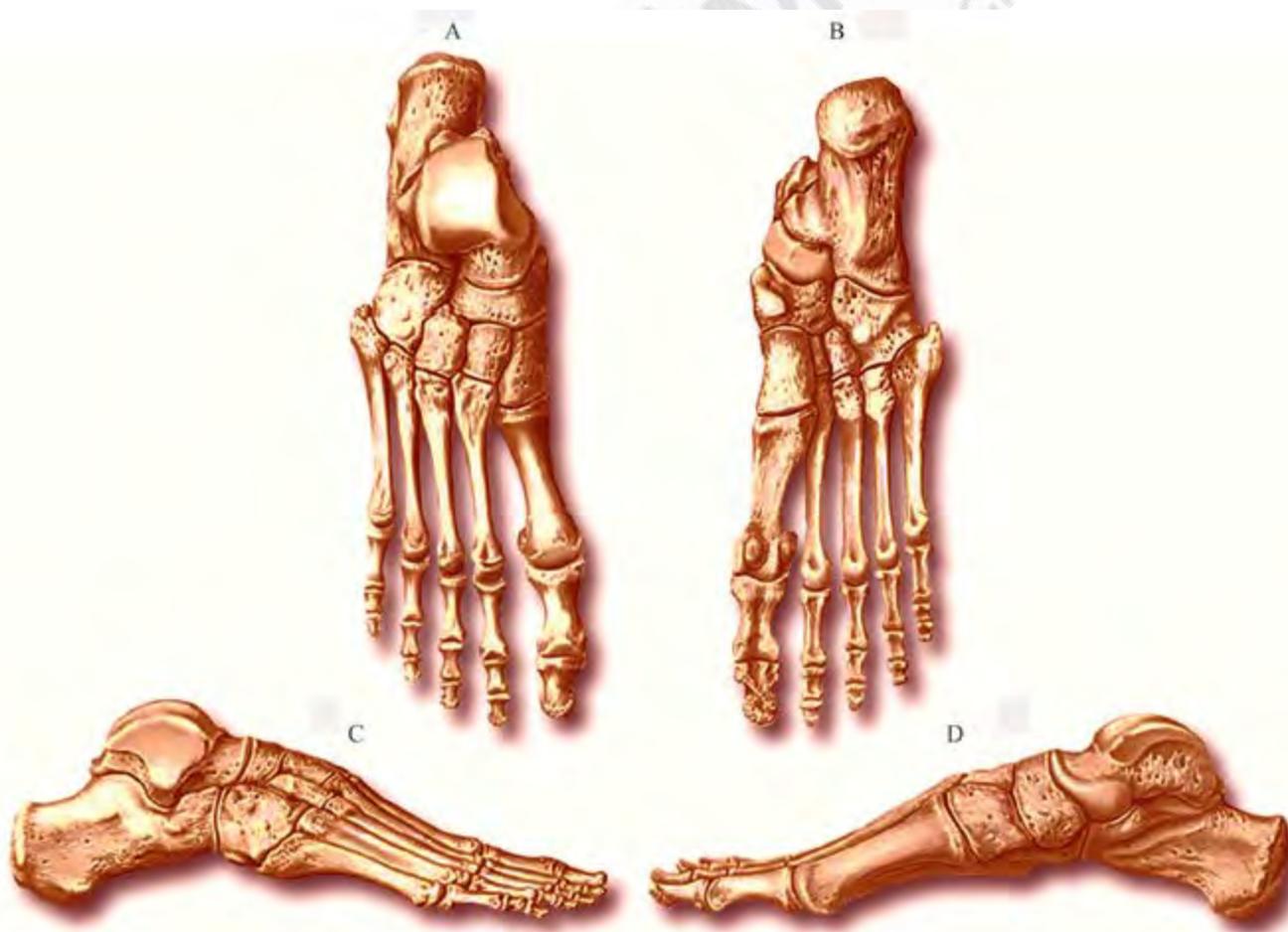


Fig. 7.64. Huesos del pie derecho: A. Vista superior (dorso). B. Vista inferior (planta). C. Vista lateral. D. Vista medial.

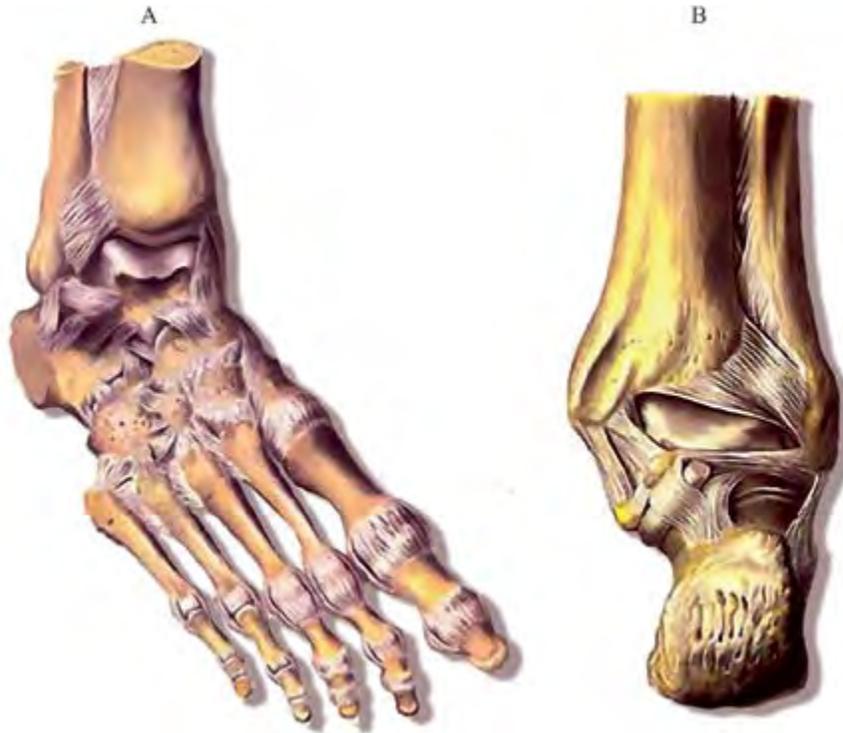


Fig. 7.65. Articulación talocrural derecha: A. Cara dorsal. B. Vista posterior.

del pie del hombre que tiene desarrollados varios arcos plantales: cinco longitudinales y un arco transversal con diferentes puntos de apoyo.

Los arcos longitudinales se inician en un punto del calcáneo (tuberosidad calcánea), extendiéndose radialmente hacia delante, con la convexidad dirigida hacia arriba, en correspondencia con los cinco radios del pie; por eso en la composición de cada arco longitudinal entra un solo metatarsiano y las partes correspondientes de los huesos del tarso. El más largo y alto de estos arcos es el segundo; al unirse todos en sus segmentos anteriores en forma de parábola, componen el arco transversal del pie.

Los arcos óseos se mantienen con la forma de los huesos, músculos y fascias que lo constituyen.

Los músculos dispuestos longitudinalmente acortan el pie, y los oblicuos y transversos lo estrechan. Al debilitarse este aparato de refuerzo, la bóveda descende, el pie se aplana y puede adquirir una forma viciosa patológica, denominada pie plano.

Generalidades del desarrollo del sistema esquelético

El tejido esquelético está presente en casi todas las regiones del cuerpo y entre cada hueso formado existen notables diferencias en cuanto a su morfología y su arquitectura. Pero desde el punto de vista embriológico hay características comunes.

El sistema esquelético se desarrolla, de forma general, a partir del mesodermo paraxil, la lámina somática del mesodermo lateral y las crestas neurales. Es bueno señalar que el mesodermo paraxil forma bloques y tejidos dispuestos en series a cada lado del tubo neural, denominados somitómeras en la región cefálica y somitas desde la región occipital hacia el extremo caudal.

Los somitas se diferencian en una porción ventromedial, el esclerotoma, y una parte dorsolateral, el dermatotoma (Figs. 7.67 A y B).

Al finalizar la cuarta semana del desarrollo, las células del esclerotoma se tornan polimorfas y constituyen un tejido laxo, el mesénquima o tejido conectivo embrionario. Las células mesenquimatosas tienen la capacidad de diferenciarse en fibroblastos, condroblastos y osteoblastos. La capacidad de formar hueso que tiene el mesénquima no está limitada a las células del



Fig. 7.66. Corte sagital del pie derecho.

esclerotoma; también tienen lugar en la hoja somática del mesodermo de la pared corporal; que aporta células mesodérmicas para formar la cintura escapular y pelviana y los huesos largos de los miembros. También se ha demostrado que las células de la cresta neural migran hacia los arcos faríngeos y se diferencian en mesénquima y participan en la formación de los huesos de la cara y del cráneo.

El tejido esquelético se origina de células de morfología mesenquimatosas, pero el origen del mesénquima varía en dependencia de la región del cuerpo de que se

trate. De esta forma se tiene que en la región del tronco se origina el esqueleto axial segmentario (columna vertebral, costillas y esternón) con la diferenciación del mesénquima de la porción esclerotómica de los somitas; el esqueleto de los miembros se derivan del mesénquima del mesodermo de la lámina lateral (hoja somato pleural). En el caso del esqueleto cefálico es un poco más complejo; los huesos del neurocráneo, tanto los de la bóveda como los de la base son de origen mesodérmico con participación del mesénquima derivado de las crestas neurales; y en el caso del viscerocráneo formado por los huesos de la

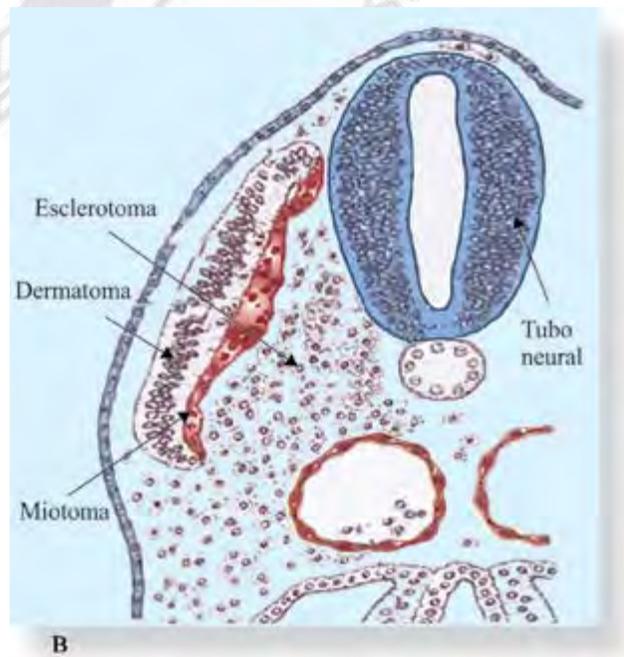
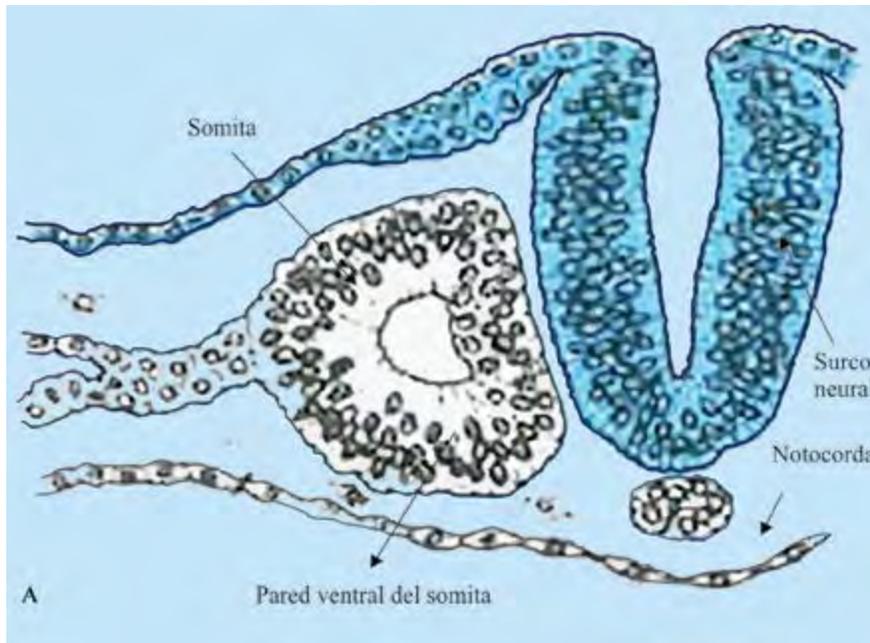


Fig. 7.67. A y B. Diferentes estadios en el desarrollo del somita.

cara se origina del mesodermo de los dos primeros arcos faríngeos también con participación del mesénquima derivado de las crestas neurales.

Un elemento común en las células mesenquimatosas precursoras de los elementos esqueléticos es su migración o su desplazamiento relativo desde su lugar de origen hasta el área donde se formará el hueso. El desplazamiento puede ser relativamente menor como en la acumulación de células del esclerotoma del somita que se dispone alrededor de la notocorda para formar el cuerpo vertebral (centro), o puede implicar migraciones extensas de células de la cresta neural craneal hasta sus destinos para formar los huesos membranosos de la cara.

Para diferenciarse en elementos esqueléticos determinados, las células mesenquimatosas precursoras a menudo tienen que interactuar con elementos de su ambiente inmediato, por lo general, el epitelio con su lámina basal asociada o componentes de la matriz extracelular vecina. Por ejemplo, en la especificación del esqueleto del miembro está implicada una interacción continua entre la cresta apical ectodérmica y el mesodermo suprayacente de la yema del miembro. Una interacción inductiva entre el esclerotoma y la notocorda o el tubo neural inicia la histogénesis de la columna vertebral. En la cabeza las células presqueléticas de la cresta neural pueden recibir información de niveles que van desde el tubo neural mismo, de lugares situados a lo largo de su trayecto migratorio y hasta de la región de su destino final. Las interacciones inductivas entre regiones del cerebro y el mesénquima suprayacente inducen la formación de los huesos membranosos de la bóveda craneal.

Cualquiera que sea la fuente y el tipo de información ambiental que usan las células precursoras mesenquimatosas, una vez que llegan a su destino casi siempre experimentan una condensación local antes que se produzcan los primeros signos de su diferenciación. Es característico que la fase de condensación en la formación del hueso se acompaña de un aumento de la regulación de N-CAM, una de las moléculas que median la adhesión de las células formadoras de hueso y favorece el establecimiento de la condensación previa al hueso.

Las proteínas morfogenéticas óseas (BMP) en especial BMP 2, BMP 4 y BMP 7, están implicadas en la formación del hueso embrionario. Las BMP actúan en varias etapas de la formación del hueso, pero algunos datos sugieren que su función inicial es estimular la expresión del Cbfa 1 (factor 1 de fijación del núcleo) que es un factor de transcripción que controla la diferenciación de células mesenquimatosas en osteoblastos. La morfogénesis individual de los elementos esqueléticos suele estar bajo grupos complejos de control que van desde patrones de expresión de genes HOX en la etapa de somita hasta interacciones inductivas entre los epitelios y las células mesenquimatosas precursoras y hasta influencias mecánicas que pueden actuar en cualquier momento desde las primeras etapas de la morfogénesis hasta las más avanzadas de la vida postnatal.

Histogénesis del hueso

Comienza con condensación de células mesenquimáticas lo que está asociado con la expresión de una

variedad de proteína morfogenética ósea (BMP5) (familia de los factores de crecimiento transformador beta β) en el mesénquima. La diferenciación del hueso ocurre por producción de abundante matriz extracelular, de fibras colágenas especializadas y sustancia fundamental amorfa, la cual tiene una fuerte tendencia a calcificarse. Las condensaciones mesenquimatosas que inicialmente forman al hueso constituyen moldes o modelos óseos. Algunos huesos se desarrollan en el mesénquima mediante osificación membranosa, y en otros casos, los modelos óseos mesenquimatosos se transforman en modelos cartilaginosos que se calcifican por osificación endocondral.

Osificación membranosa

El hueso se forma directamente del mesénquima sin intervención del cartílago. El mesénquima se condensa y se vuelve altamente vascularizado; algunas células se diferencian en osteoblastos (células formadoras de huesos) que comienzan a secretar un eje de colágeno I junto a otras moléculas de mucopolisacáridos de la matriz. Los osteoblastos se alinean y continúan secretando matriz hasta que se rodean de ella, a continuación se deposita fosfato de calcio a medida que se convierte en hueso. Los osteoblastos están incluidos en la matriz y se transforman en osteocitos, se forman espículas óseas que se agrupan en láminas formando capas que se disponen alrededor de los vasos sanguíneos (sistemas Haversianos). Algunos osteoblastos permanecen en la periferia del hueso y continúan depositando capas entre las cuales se encuentran los osteoclastos que reabsorben hueso (participan en la remoción del hueso). En los intersticios del hueso el mesénquima se diferencia en médula ósea. En la vida fetal y postnatal la remodelación ósea continúa por la acción simultánea de osteoblastos y osteoclastos. La osificación se inicia al final del período embrionario y por tanto impone demandas a la provisión materna de calcio y fósforo. Un ejemplo lo tenemos en algunos huesos planos de la bóveda del cráneo.

Osificación endocondral

Este tipo de formación ósea se lleva a cabo en modelos cartilaginosos preexistentes. Por ejemplo, en un hueso largo el centro de osificación primaria aparece en la diáfisis (porción intermedia de un hueso largo), en este sitio, las células cartilaginosas aumentan sus dimensiones, se hipertrofian, la matriz se calcifica y las células mueren. Simultáneamente se deposita una capa ósea por debajo del pericondrio que rodea a la diáfisis; de este modo, el pericondrio se transforma en periostio. La invasión de tejido conectivo vascularizado a partir del periostio dispersa al cartílago. Algunas de estas células invasoras se diferencian en células hematopoyéticas de la médula ósea y otras se transforman en osteoblastos que depositan matriz ósea en las espículas de cartílago calcificado. Este proceso continúa hacia las epífisis. Las espículas óseas son remodeladas por la acción de los osteoclastos y osteoblastos.

El alargamiento de los huesos se efectúa en la unión diafisoepifisaria, en esta región las células cartilaginosas proliferan mediante mitosis.

La osificación se difunde en todas direcciones y solo el cartílago articular y una placa transversa de cartílago, el disco de cartílago epifisario, permanece en forma cartilaginosa. Al terminar el crecimiento, esta placa es reemplazada por hueso esponjoso; se unen las epífisis y diáfisis y se detiene el alargamiento o crecimiento del hueso.

El desarrollo de los huesos con forma irregular es semejante al de las epífisis de huesos largos. La osificación se inicia en el centro y se difunde en todas direcciones.

Histogénesis del cartílago

El cartílago se diferencia a partir del mesénquima y aparece inicialmente en embriones de 5 semanas. En los sitios de desarrollo del cartílago, el mesénquima se condensa, aparecen centros de condricación y las células proliferan y se redondean formando los condroblastos que segregan fibras colágenas y la sustancia basal de la matriz, seguidamente fibras colágenas, elásticas o ambas, son depositadas en la sustancia intercelular o matriz.

Según el tipo de matriz en formación se distinguen 3 tipos de cartilagos:

1. Cartílago hialino, que es el que está distribuido más ampliamente (ejemplo, en las articulaciones sinoviales).
2. Fibrocartílago (en los discos intervertebrales).
3. Cartílago elástico (en la oreja).

Desarrollo del esqueleto axil

El desarrollo del esqueleto axil comprende el estudio del esqueleto cefálico y el esqueleto de cuello y tronco.

Esqueleto cefálico

El cráneo se forma en el mesodermo situado en los alrededores de las vesículas encefálicas. Tanto el neurocráneo como el viscerocráneo, tienen huesos que se forman por los 2 tipos de osificaciones ya estudiadas.

Neurocráneo

Como se señaló, se divide para su estudio en 2 partes: los huesos que forman la bóveda craneana o calvaria y los huesos que forman la base del cráneo.

Bóveda del cráneo o calvaria

Los huesos y las porciones de los huesos que la constituyen se originan por osificación membranosa a partir del mesodermo que envuelve a las vesículas encefálicas, parte del cual corresponde a la prominencia frontonasal, y también del mesénquima derivado de las células de las crestas neurales; de estos tejidos se forman los huesos frontales, parietales, la porción escamosa del occipital se origina de los esclerotomas occipitales y las porciones escamosas de los temporales derivan del proceso maxilar de los primeros arcos faríngeos. Por lo tanto, el origen de la bóveda craneana está dado por el mesodermo paraxil y las células de la cresta neural.

Base del cráneo

Los huesos de la base del cráneo se originan del mesodermo que se encuentra entre las vesículas encefálicas y la faringe, que provienen del mesodermo faríngeo, en esta zona este tejido mesodérmico no se divide y no forma arcos faríngeos solamente un pared mesodérmica delgada, la cual junto a los esclerotomas occipitales y el extremo cefálico de la notocorda, generan de manera combinada modelos cartilaginosos que originan a los huesos por osificación endocondral.

La notocorda tiene un efecto inductor sobre los cartilagos de la porción más caudal de la base del cráneo. Uno de los modelos cartilaginosos que se originan en la base son los cartilagos paracordales que se forman a ambos lados del extremo cefálico de la notocorda. Los cartilagos occipitales que se forman de los esclerotomas occipitales segundo, tercero y cuarto se unen con los cartilagos paracordales y con el extremo cefálico de la notocorda; esto origina la denominada lámina basal que es la estructura precursora de la mayor parte del hueso occipital; esta crece hacia atrás, rodea al tubo neural y forma al agujero magno que es el orificio del occipital por donde pasa la médula espinal y se continúa en el encéfalo.

Los cartilagos hipofisarios son los antecesores del cuerpo del hueso esfenoides. Se asocian con las alas temporales y con las cápsulas orbitales, las que se convierten en las alas mayores y menores del esfenoides, respectivamente. Las trabéculas craneales o cartilagos precordales que derivan del mesénquima de las crestas neurales y se localizan por delante de los cartilagos hipofisarios, se asocian con las cápsulas nasales y forman al etmoides. La cápsula periótica u auditiva que se localizan por fuera de los cartilagos paracordales originan las porciones petrosas y mastoideas de los temporales.

Todos los huesos del neurocráneo son el producto de una influencia inductiva de una estructura epitelial sobre el mesénquima vecino. Estas interacciones suelen estar mediadas por factores de crecimiento y matriz extracelular. Los estudios inmunocitoquímicos han demostrado la aparición transitoria de colágeno de tipo II (el principal tipo de colágeno del cartílago) en los lugares y en los momentos durante los cuales se presentan intracciones que conducen a la formación del condrocráneo. Además del colágeno de tipo II, se acumula un proteoglicano específico del cartílago, en las áreas de inducción de los elementos condrocraneales. Hay pruebas de que elementos epiteliales de la cabeza no sólo inducen el esqueleto, sino que también controlan su morfogénesis. Eso contrasta con el control morfogenético del esqueleto apendicular que está determinado por el mesodermo y no por el ectodermo de la yema del miembro.

Es importante señalar aquí un aspecto con relación al cráneo del recién nacido, en el momento del nacimiento, los huesos planos del cráneo están separados entre sí por betas angostas de tejido conectivo, las suturas que también tienen dos orígenes. Las células de la cresta neural (sutura sagital) y el mesodermo paraxil (sutura coronal). En los sitios donde se encuentran más de dos huesos las suturas son anchas y se denominan fontanelas. La más

notable de todas es la fontanela anterior o frontal, que se encuentra donde se unen los dos huesos parietales y los dos huesos frontales. Las suturas y las fontanelas permiten que los huesos del cráneo se superpongan entre sí durante el parto (proceso denominado modelado). Poco después del nacimiento los huesos membranosos vuelven a su posición original y confieren al cráneo su apariencia voluminosa y redondeada. Diversas suturas y fontanelas mantienen su carácter membranoso bastante tiempo después del nacimiento. El crecimiento de los huesos de la bóveda craneana continúa después del nacimiento y se debe sobre todo al desarrollo craneano, algunas suturas permanecen abiertas hasta la edad adulta. En los primeros años de vida la palpación de la fontanela anterior proporciona datos valiosos acerca de la normalidad del proceso de osificación del cráneo y de la presión intracraneal.

Viscerocráneo

Los huesos de esta región derivan del mesodermo de los arcos faríngeos y de la prominencia frontonasal y participan además, igual que en el neurocráneo, el mesénquima derivado de las crestas neurales y la osificación es membranosa aunque hay algunos elementos cartilagosos.

Es bueno recordar que la característica más típica del desarrollo de la cabeza y el cuello es la formación de los arcos branquiales o faríngeos, los cuales aparecen en la cuarta y quinta semana del desarrollo y contribuyen en gran medida al aspecto externo característico del embrión. Estos arcos están constituidos por un núcleo central mesenquimatoso separados externamente por profundos surcos ectodérmicos que son las hendiduras branquiales o faríngeas e internamente por evaginaciones de tejido endodérmico que son las bolsas faríngeas a lo largo de las paredes laterales del intestino faríngeo, la porción más craneal del intestino anterior. El tejido mesenquimatoso central del arco deriva del mesodermo paraxial y de la lámina lateral y recibe un aporte significativo de las células de la cresta neural que emigran hacia ellos para constituir los elementos esqueléticos de la cara, mientras que el mesodermo original de los arcos forma los músculos de la cara y el cuello. Por lo tanto cada arco presenta un componente muscular, uno nervioso y otro arterial.

La diferenciación de estructuras derivadas de los arcos, bolsas, hendiduras y prominencias depende de interacciones epitelio mesénquima. En algunos casos, las señales para esas interacciones son similares a las involucradas en el desarrollo de los miembros, como factores de crecimiento fibroblástico (FGF) para la evaginación y sonic hedgehog (SHH y WNT) para el establecimiento de patrones.

Se debe señalar que los arcos faríngeos no solo contribuyen a la formación del cuello, sino que desempeñan un importante papel en la formación de la cara como veremos más adelante.

El cartílago del primer arco faríngeo origina dos ramas, el proceso maxilar y el mandibular. De una pequeña porción del extremo dorsal del proceso maxilar se

origina el yunque, del mandibular que forma el llamado cartílago de Meckel en el extremo dorsal de este forma a otro huesecillo del oído, el martillo.

El cartílago del segundo arco faríngeo —nombrado cartílago de Reichert— origina en su extremo dorsal al proceso estiloideo y a otro huesecillo del oído, el estribo. Su extremo ventral forma el cuerno menor y la parte cefálica del cuerpo del hueso hioides, la parte central del cartílago se convierte en ligamento estilohioides que conecta el cuerno menor del hioides con el proceso estiloideo.

El cartílago del tercer arco faríngeo se osifica en su extremo ventral y forma el cuerno mayor y la parte caudal del cuerpo del hueso hioides.

Todos estos huesos de los 3 primeros arcos faríngeos se originan por osificación endocondral.

Las partes ventrales de los cartílagos de los cuartos, quintos y sextos arcos faríngeos originan a los cartílagos de la laringe, tiroides y cricoides.

Específicamente los huesos del viscerocráneo que forman la cara se originan por osificación membranosa del mesodermo de la prominencia frontonasal y por el tejido conectivo que reemplaza al cartílago (en las zonas en que éste desaparece) en los procesos maxilar y mandibular. La prominencia frontonasal origina en esta zona a los huesos propios de la nariz, al vómer, a los huesos lacrimales y al componente maxilar del segmento intermaxilar. El proceso maxilar forma a los huesos palatinos, cigomático y maxilar, con excepción del componente maxilar del segmento intermaxilar. Y el proceso mandibular forma a la mandíbula.

Junto con el desarrollo de los huesos de la región cefálica se desarrolla en el extremo cefálico la cara ósea que se origina del proceso frontonasal y fundamentalmente del primer arco faríngeo, aunque se plantea la participación del segundo arco aunque en menor proporción, el primer arco se divide en dos procesos, ya mencionados: el proceso maxilar y el proceso mandibular. Todas estas estructuras van a dar origen a la cara.

Alrededor de la cuarta semana del desarrollo, el centro de las estructuras faciales es el estomodeo, cefálicamente se encuentra el proceso frontonasal y caudalmente el proceso mandibular, y a ambos lados se encuentran los procesos maxilares que en un inicio son tan incipientes que casi no se observan; ya a mediados de esta semana se observan estos procesos perfectamente y en el fondo se observa la membrana bucofaríngea, que en estos momentos está en fase de desaparecer. El desarrollo de la cara se ve complementado en una etapa ulterior, con la formación de los procesos nasales (Fig. 7.68).

En la quinta semana del desarrollo, en el proceso frontonasal aparecen 2 nuevos procesos alrededor de las placodas olfatorias que ya aparecieron en la cuarta semana, pero en esta semana se observan un poco mejor, aunque ya no son placodas porque se han profundizado y han formado unas fositas olfatorias primitivas, y se encuentran alrededor de estas pequeñas fositas que corresponden con los procesos nasales, los que se encuen-

tran en la zona media y reciben el nombre de procesos nasales mediales y los que se encuentran a los lados se denominan procesos nasales laterales (Fig. 7.69)

En el curso de las 2 semanas siguientes, los procesos maxilares continúan aumentando de volumen y simultáneamente crecen en dirección media y acompañan a los procesos nasales mediales hacia la línea media y el maxilar queda cubierto y ambos procesos se fusionan. En consecuencia, el labio superior se forma por la fusión de los dos procesos nasales mediales y los dos maxilares; los procesos nasales laterales no participan en la formación del labio superior. El labio inferior y la mandíbula se forman a partir de los procesos mandibulares que se fusionan en la línea media.

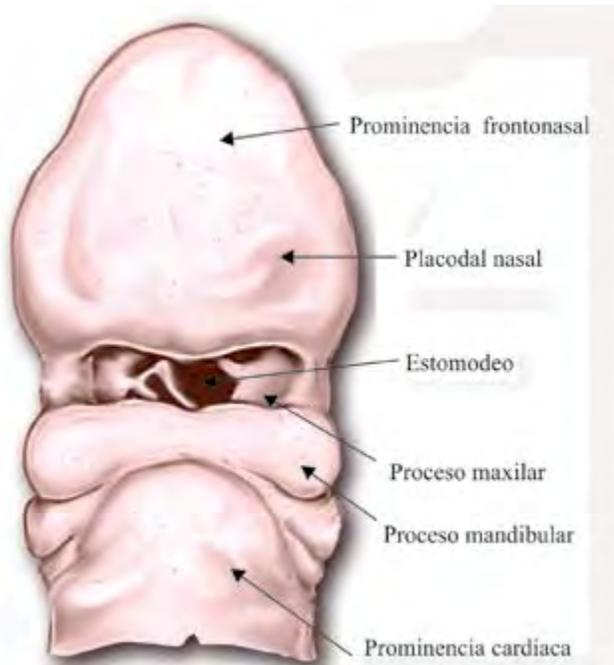


Fig. 7.68. Vista frontal de un embrión de 4 semanas.

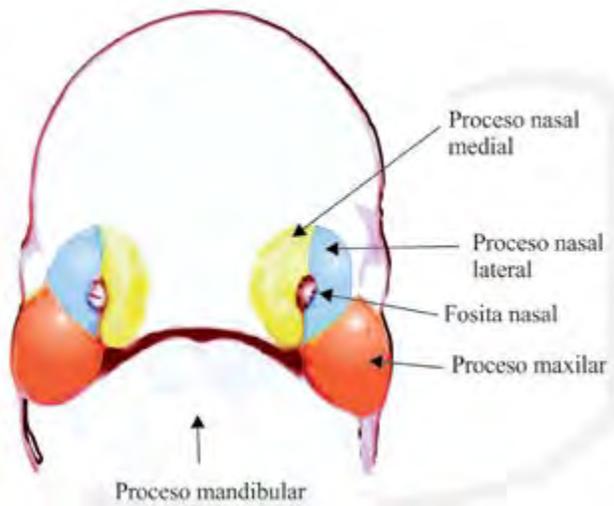


Fig. 7.69. Vista frontal de un embrión de 5 semanas.

Al inicio los proceso maxilares y nasales laterales están separados por un surco profundo: el surco nasolagrimal. El ectodermo del suelo de este surco forma un cordón epitelial macizo, el cual se desprende del ectodermo subyacente. Cuando se canaliza el cordón forma el conducto nasolagrimal, su extremo superior se ensancha y forma el saco lagrimal. Después del desprendimiento del cordón, los procesos maxilares y nasal lateral se unen y el conducto nasolagrimal se extiende desde el ángulo medial del ojo hasta el meato inferior de la cavidad nasal. Los procesos maxilares se ensanchan y forman los carrillos y maxilares (Fig. 7.70).

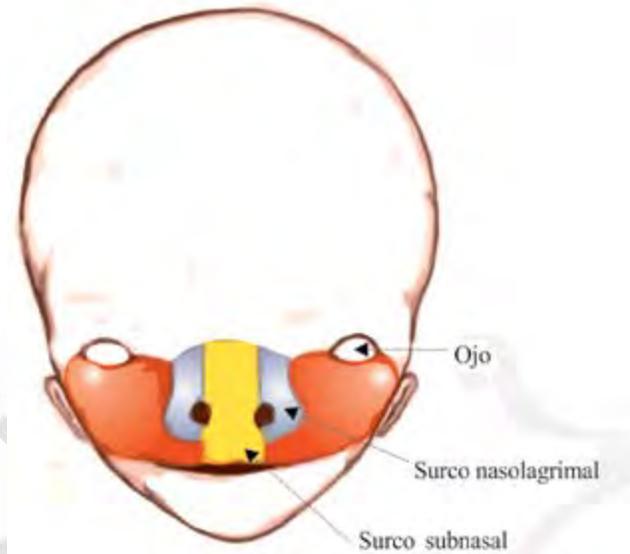


Fig. 7.70. Vista frontal de un embrión de 10 semanas.

La nariz se forma a partir de 5 prominencias faciales. La prominencia frontonasal origina al puente de la nariz, los procesos nasales mediales fusionados forman la cresta y la punta, y los procesos nasales laterales forman los lados (alas) de la nariz.

En la tabla 7.1 se resumen las estructuras que contribuyen a la formación de la cara.

Un detalle importante de estudio en el desarrollo de la cara es el desarrollo del segmento intermaxilar; este se origina de los procesos nasales mediales, los cuales crecen y se fusionan en la línea media, no solo en la superficie, sino también a un nivel más profundo, originando el mencionado segmento, el cual tiene 3 componentes: el componente labial, que formará la porción media del labio superior; el componente maxilar, que formará la porción donde se encuentra los 4 incisivos; y el componente palatino, que tiene forma triangular y formará el paladar primario (Fig. 7.71).

Al mismo tiempo que se forma el segmento intermaxilar, se separa la cavidad bucal de las cavidades nasales, ya que el paladar definitivo no solo constituye el techo de la cavidad bucal, sino que también separa la cavidad bucal de las fosas nasales y se desarrolla por el concurso de 2 estructuras de distinto origen: el paladar primario y el paladar secundario.

Tabla 7.1

Prominencia o proceso	Estructuras que forman
Frontonasal	Fronte, puente de la nariz, procesos nasales mediales y laterales
Maxilar	Carrillos, porción lateral del labio superior
Nasal medial	Surco subnasal del labio superior (filtro, cresta y punta de la nariz)
Nasal lateral	Alas de la nariz
Mandibular	Labio inferior

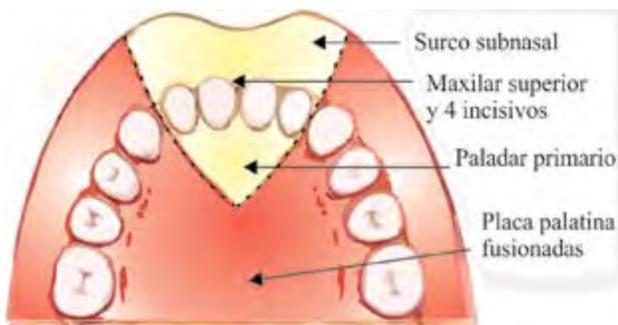


Fig. 7.71. Segmento intermaxilar.

El paladar primario es una pequeña lámina de forma triangular que da origen a la parte anteromedial del paladar definitivo. Al principio integra el segmento intermaxilar, estructura embrionaria que se genera cuando se unen entre sí los procesos nasomedianos.

Los esbozos del paladar secundario aparecen más tarde y se denominan crestas palatinas, que se forman de la cara interna de los procesos maxilares a partir de la sexta semana del desarrollo y están dirigidas oblicuamente y hacia abajo en cada lado de la lengua; luego ascienden durante la séptima semana hasta una posición horizontal por encima de la lengua, crecen y se fusionan para formar el paladar secundario. Los bordes libres de las crestas palatinas se unen con el borde posterior del paladar primario, luego se fusionan y forman el paladar definitivo. Donde se une el vértice del paladar primario con los 2 procesos palatinos persiste una pequeña depresión nombrada agujero incisivo.

El paladar definitivo posee una parte dura y una parte blanda. El paladar duro se forma por osificación del paladar primario y de la parte anterior del paladar secundario, mientras que el paladar blando deriva de la parte posterior del paladar secundario que no se osifica.

Muchas de las estructuras faciales derivan de células de la cresta neural que migran hacia los arcos faríngeos desde los bordes de los pliegues neurales craneales. En el cerebro posterior (rombencéfalo), las células de la cresta

se organizan en regiones segmentadas, denominadas rombómeras. En el cerebro posterior se encuentran 8 de estos segmentos (R1-R8). Las células de las crestas que se organizan en segmentos específicos van a poblar arcos específicos.

El patrón de los arcos faríngeos (con excepción del primer arco) es regulado por los genes HOX llevados por las células de la cresta neural que migran hacia estas regiones.

No se conoce cómo se traduce el código para controlar la diferenciación de los arcos faríngeos, pero deben estar involucrados un sinnúmero de genes corrientes arriba y abajo. El gen *Sonic hedgehog* puede ser uno de los reguladores corriente arriba, dado que se expresa en los arcos y se ha demostrado que regula la expresión de los genes HOX. Los retinoides (ácido retinoico) pueden también regular la expresión de los genes HOX de una manera dependiente de su concentración y los genes del extremo 3' responden más que los que están en el extremo 5', la regulación se produce por medio de elementos de respuesta al ácido retinoico (RARE), los cuales son sitios de unión para el ácido retinoico en las regiones promotoras de los genes HOX.

Las deficiencias y los excesos de los retinoides interfieren en la migración y la identidad axial de las células de la cresta del cerebro posterior lo cual acarrea graves defectos craneofaciales.

Esqueleto de cuello y tronco

La columna vertebral es el eje óseo que sustituye al eje primitivo representado por la notocorda, además de proteger a la medula espinal. Su desarrollo tiene una interdependencia con el de la notocorda y la médula espinal, ya que actúan como inductores.

La columna vertebral en formación se divide en varias regiones:

- Región occipital, que se incorpora a la estructura ósea de la base del cráneo.
- Región cervical, que incluye el atlas y el axis, vértebras muy especializadas que unen la columna vertebral con el cráneo.
- Región torácica, en la cual se originan las costillas verdaderas.
- Región lumbar.
- Región sacra, en la cual las vértebras se fusionan en un solo hueso sacro.
- Región más caudal, que representa la cola en la mayoría de los mamíferos y el rudimentario cóccix en los seres humanos.

La formación del esqueleto del tronco es más compleja que la simple subdivisión del mesodermo paraxil en somitas y el desplazamiento en dirección medial de las células del esclerotoma para formar los primordios vertebrales.

Durante la tercera semana del desarrollo aparece el mesodermo paraxil, el cual se separa en segmentos o somitómeras, primero en la región cefálica del embrión y continuando en sentido cefalocaudal.

Las somitómeras son células mesodérmicas dispuestas en remolinos concéntricos, los primeros 7 pares se mantienen como somitómeras y a partir de la región occipital en dirección caudal estas somitómeras se organizan en somitas.

Los somitas son masas de tejido paraxial en forma de ladrillos y aparecen solo cuando hay unas 20 somitómeras (aproximadamente de 42 a 44 pares) que se originan en progresión craneocaudal cerca del día 30 del desarrollo, los cuales rodean la notocorda desde la región occipital hasta la región más caudal, al final desaparecen los más caudales, quedando aproximadamente 37 pares de somitas.

Diferenciación del somita

La notocorda y la pared ventral del tubo neural que expresa el gen *Sonic hedgehog* inducen la diferenciación de la pared ventromedial del somita que se diferencia en esclerotoma, estas células expresan el gen Pax 1 y Pax 9. Estas células diferenciadas expresan el Pax 1 y Pax 6 aumentan su índice de proliferación mitótica y las células pierden su organización compacta, se tornan polimorfas y ocurre una pérdida de las moléculas de adhesión (n-cadherinas) diferenciándose en células mesenquimáticas las cuales migran a la línea media alrededor de la notocorda y forman una estructura que se organiza de forma segmentaria que constituyen el esclerotoma que dará origen al cuerpo vertebral.

Sin embargo, la zona dorsal del tubo neural que expresa el gen *Wnt* induce la diferenciación de la pared dorsolateral del somita y se diferencia en el dermatomiotoma, estas células expresan el gen PAX 3 y PAX 7. El dermatomiotoma se organiza en dos regiones; las dos porciones laterales constituyen el miotoma que proporciona los músculos para el segmento que le corresponde y una región central más dorsal llamada dermatoma, las células del dermatoma pierden las características epiteliales y se extienden por debajo del ectodermo suprayacente donde forman dermis y tejido celular subcutáneo (TCS).

Cada vértebra tiene una morfología compleja que le es única y especificada por controles que actúan a varios niveles y en diferentes períodos del desarrollo. Las características regionales fundamentales de las vértebras se determinan de acuerdo con las acciones de combinaciones puntuales de genes homeobox.

Una vértebra típica surge por osificación cartilaginosa a partir de varios primordios cartilaginosos. El cuerpo de la vértebra que se deriva de las porciones ventromediales del esclerotoma de los pares de somitas (dos pares de somitas), que rodea a la notocorda y sirve de suelo óseo para la médula espinal, los arcos neurales que se originan de las células esclerotómicas que se ubican lateralmente al tubo neural, que se fusionan a ambos lados con el cuerpo y dorsalmente entre sí formando los procesos espinosos; todos los arcos neurales forman un techo protector de la médula espinal, y los procesos costales que forman a las costillas a la altura de las vértebras torácicas.

El desarrollo de cada vértebra ocurre en varias etapas:

1. Precartilaginosa:

- a. Las células mesenquimáticas que provienen del esclerotoma se encuentran en tres áreas princi-

pales (alrededor de la notocorda, rodeando al TN y en la pared corporal).

- b. El desarrollo de cada vértebra se inicia con la inducción mediada por la notocorda a través del Shh realizada sobre el somita inicial para formar el esclerotoma, la influencia continuada del Shh hace que la porción ventromedial del somita forme el cuerpo de la vértebra.
 - c. La formación de la pared dorsal de la vértebra (arco vertebral) lo determina el Pax 9 y Msx 2 expresados inicialmente por la placa del techo del TN y guían a las células del esclerotoma para formar el arco vertebral.
 - d. Cada esclerotoma consiste en células dispuestas de manera laxa en sentido craneal y densa en dirección caudal, de esta forma la mitad caudal densa se fusiona con la mitad craneal laxa del esclerotoma inmediato caudal formando el centro mesenquimatoso, que es el primordio del cuerpo de una vértebra (cuerpo vertebral precartilaginosa), por lo tanto, cada centro se desarrolla a partir de 2 pares de esclerotomas adyacentes constituyendo una estructura intersegmentaria.
 - e. Las células mesenquimáticas situadas entre las porciones cefálicas y caudal del segmento de esclerotoma original no proliferan y ocupan el espacio entre 2 cuerpos vertebrales formando el disco intervertebral. La notocorda degenera y desaparece, expandiéndose entre las vértebras formando el centro gelatinoso del disco IV que es el núcleo pulposo. El disco intervertebral consta de capas de fibrocartilago que se diferencian de las células mesodérmicas derivadas del esclerotoma. El Pax 1 se expresa de forma continua durante el desarrollo de los discos intervertebrales. Al parecer la expresión del Pax 1 y la formación posterior de los discos intervertebrales son mecanismos importantes para mantener el carácter segmentario individual de la columna vertebral.
 - f. Las células mesenquimáticas que rodean al tubo neural forman el arco vertebral.
 - g. Las células mesenquimáticas en la pared del cuerpo forman los procesos costales que constituyen las costillas en la región torácica.
2. Etapa cartilaginosa (sexta semana):
 - a. Aparecen los centros de condricación en cada vértebra mesenquimática.
 - b. La condricación se disemina hasta que se forma una columna vertebral cartilaginosa.
 3. Etapa ósea:
 - a. La osificación de una vértebra típica comienza durante el periodo embrionario y suele terminar hacia los 25 años de edad:
 - En la formación del cuerpo vertebral participan (Fig. 7.72):
 - Cuatro esclerotomas, dos porciones condensadas y dos porciones laxas.
 - Mesénquima intersegmentario.
 - En la formación del disco intervertebral participan (Fig. 7.72):
 - Mesénquima de las porciones laxa y condensada que se separan.
 - Notocorda que aumenta de tamaño.

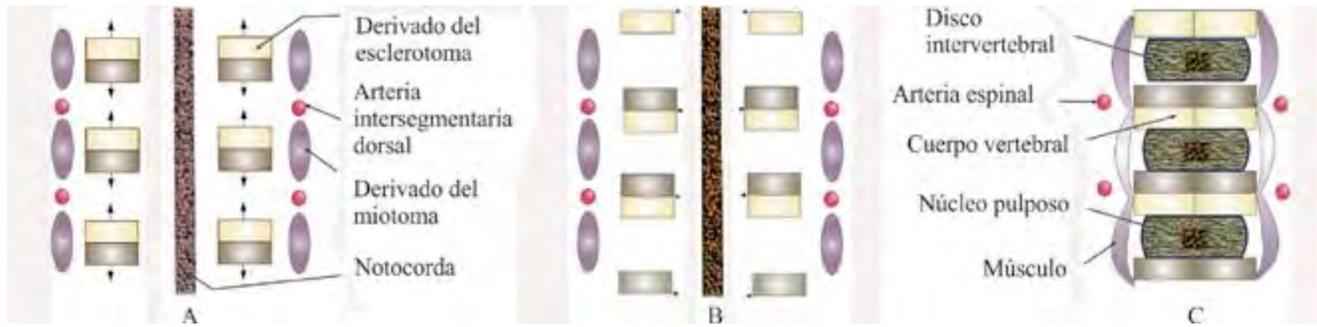


Fig. 7.72. Formación del cuerpo vertebral y del disco intervertebral.

El reordenamiento de los esclerotomas en vértebras definitivas hace que los miotomas se dispongan a manera de puente sobre los discos y esta modificación brinda la posibilidad de mover la columna vertebral; por el mismo motivo las arterias intersegmentarias situadas en un comienzo entre los esclerotomas pasan entonces a mitad de distancia sobre los cuerpos vertebrales; sin embargo, los nervios espinales se sitúan cerca de los discos intervertebrales y salen de la columna a través de los agujeros intervertebrales.

Las costillas se forman a partir de las prolongaciones costales de las vértebras torácicas y por eso derivan de la porción esclerotómica del mesodermo paraxil. En cambio el esternón se desarrolla de manera independiente en el mesodermo somático de la pared corporal ventral. A cada lado de la línea media aparecen dos bandas esternales que después se fusionan y forman los modelos cartilagineos del manubrio, el cuerpo y el apéndice xifoides.

Desarrollo del esqueleto apendicular

Los miembros son estructuras cuyo propósito casi exclusivo son las funciones mecánicas: movimiento y fuerza.

Su formación comienza en una época relativamente tardía del desarrollo embrionario (finales de la cuarta semana) con la activación de un grupo de células mesenquimáticas en el mesodermo somático de la placa lateral bajo la acción del FGF8, el cual se inicia cerca del

mesodermo paraxil o nódulo de Hensen, dependiendo también de la acción local del ácido retinoico; se han realizado experimentos inhibiendo la síntesis de ácido retinoico y su acción local y los miembros no se han formado, además si en otra zona de mesodermo se implanta una pequeña cápsula que contenga FGF-8 allí se desarrolla un miembro adicional.

En la etapa inicial del desarrollo de los miembros, el mesodermo del miembro es el principal motor del desarrollo; este influye sobre el ectodermo suprayacente (repliegue ectodérmico apical) para que se convierta en una parte funcional del primordio del miembro que se puede considerar como un primordio interactivo mesodérmico-ectodérmico que cuenta con la información suficiente para que se forme un miembro; esto ocurre aún si el miembro se separa o aísla del resto del cuerpo (sistema de autodiferenciación). La importancia del mesodermo como factor impulsor primario en el desarrollo de los miembros se demostró, pues si se quita el mesodermo primario del miembro este no se forma, y si se coloca ese mismo mesodermo en otra zona del embrión allí crece un miembro supernumerario; por otro lado, si se retira el repliegue ectodérmico apical que cubre al mesodermo del miembro y se injerta en otra zona del mesodermo, allí entonces no se forma un miembro. Con esto se ha demostrado que en la etapa inicial del desarrollo de los miembros el mesodermo es el estímulo primario y el ectodermo siempre es el participante secundario del sistema (Fig. 7.73).

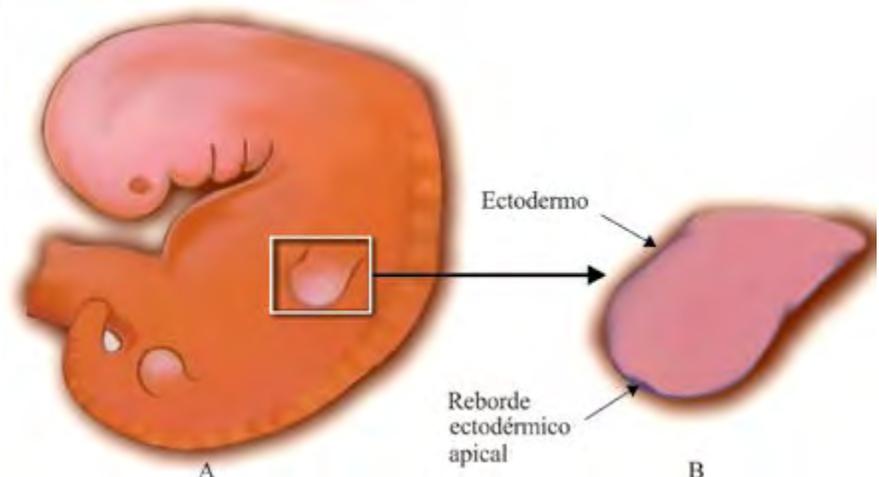


Fig. 7.73. Embrión de 28 días que muestra la aparición de los miembros.

Estos primordios mesodérmicos se forman en zonas bien definidas, situadas por debajo de una banda ancha de ectodermo engrosado que ocupa la cara ventrolateral del embrión:

- Miembro superior: aparecen dorsal al abultamiento cardíaco entre el cuarto somita cervical y el primer torácico.
- Miembro inferior: aparecen algo más tarde (2 días después) y se disponen más cerca de la línea media a nivel de los somitas lumbares y sacro superiores.

La organización de un miembro está dada sobre la base de 3 ejes lineales asentados en el sistema de coordenadas cartesianas, ya que una célula de la yema del miembro debe responder apropiadamente a su posición relativa con respecto a los 3 ejes:

- Eje AP o craneocaudal: desde el primer dedo hasta el quinto dedo.
- Eje DV: define la región dorsal de mano y pie, y la región de la palma o planta, o lo que es lo mismo, los compartimientos extensores o flexores.
- Eje PD: define la secuencia de aparición de los segmentos del miembro, es decir, que se extiende desde la base del miembro hasta la punta de los dedos.

En el desarrollo de los miembros participan 3 elementos esenciales:

1. La cresta ectodérmica apical (CEA).
2. Zona de progreso (ZP).
3. Zona de actividad de polarización (ZAP).

La CEA es una formación epitelial de múltiples capas caracterizadas por la presencia de uniones comunicantes, a través de las cuales las células se interconectan; se forma en el punto de unión del ectodermo dorsal y el ventral. A su vez, la CEA produce factores como FCF2 y FCF4 e interacciona con el mesénquima subyacente, induciendo su crecimiento al aumentar el número de mitosis. Corre a lo largo del margen anteroposterior del esbozo y comienza a formarse poco después que el esbozo se proyecta desde la superficie; alcanza su mayor grado de desarrollo cuando el miembro tiene forma de paleta, y cuando los dígitos comienzan a diferenciarse el repliegue regresa.

La ZP es la zona de mesénquima subyacente a la CEA, justo donde las células se dividen activamente y no están determinadas desde el punto de vista morfogenético. A medida que crece la yema las células de la ZP se liberan de la influencia de esta y quedan determinadas en su destino morfogenético. Las que abandonan primero esta zona formarán los elementos esqueléticos proximales y las que lo hacen más tarde forman elementos esqueléticos distales. Se plantea que el factor que especifica cuál segmento de miembro será formado por zona de mesénquima depende de la cantidad de tiempo que el mesénquima ha pasado bajo la acción de la CEA y este tiempo se mide por el número de divisiones celulares que han experimentado bajo la influencia de la CEA.

LA ZAP se localiza cerca de la zona de unión del miembro con la pared del cuerpo. El establecimiento

de esta zona y la secreción de proteínas de Shh activan el centro de emisión de señales que organiza el desarrollo de los miembros a lo largo del eje AP, o sea en la orientación de la formación de los dedos. El Shh funciona como un morfógeno que difunde formando un gradiente a través de la yema y determina cual dedo debe inducirse en cada posición. Este induce la expresión del BMP2 en el mesodermo dorsal y actúa manteniendo la estructura y función de la CEA, en su ausencia CEA involuciona.

La regulación molecular del establecimiento del patrón y crecimiento del miembro está dada de la manera siguiente: la evaginación del miembro es iniciada por FGF 10 secretado por la lámina lateral del mesodermo en las regiones formadoras del miembro. Una vez que el crecimiento ha comenzado, la CEA (cresta ectodérmica apical) es inducida por BMP y restringida en su localización por el gen *Radical fringe* expresado en el ectodermo de la región dorsal a su vez su expresión induce la de *SER2* en células que van a formar la CEA. Tras el establecimiento de la cresta esta expresa FGF 4 y FGF 8 para mantener la zona de progreso que está formada por células mesenquimáticas en rápida proliferación que se encuentran junto a la cresta. El patrón anteroposterior del miembro es controlado por células de ZAP en el borde posterior. Estas células producen ácido retinoico (vitamina A) que provoca la expresión de *Sonic hedgehog*, la cual regula el establecimiento del patrón. El eje dorsoventral del miembro es dirigido por WNT 7, que es expresado en el ectodermo dorsal. Este gen induce la expresión del factor de transcripción *LMX 1* en el mesénquima dorsal y especifica así a estas células como dorsales. La forma y el tipo de hueso son regulados por los genes *HOX* cuya expresión es determinada por la expresión combinada de *SHH*, *FGF* y *WNT 7*. Los complejos *HOX A* y *HOXD* son los determinantes primarios de la morfología del hueso.

El desarrollo del miembro en su aspecto externo ocurre en sentido proximal; primero se forma el esbozo de la mano y el pie, luego aparecen los pliegues de muñeca y tobillo y más tarde codo y rodilla. Internamente el esbozo del miembro difiere, ya que los primeros huesos en formarse son los proximales y progresa en dirección distal.

La formación de los futuros dedos depende de la continua evaginación que se produce por influencia de los 5 segmentos del ectodermo de la CEA, la condensación del mesénquima para formar los rayos digitales cartilaginosos y la desaparición del tejido intercalado entre los rayos por apoptosis. La morfología de los dedos depende de un grupo de células que se encuentran en la base de los miembros sobre el borde posterior de la ZAP los cuales establecen un gradiente morfógeno en el que interviene el ácido retinoico y genes *homeobox* para que los dedos se formen en una secuencia normal.

Mientras se establece la configuración externa, el mesénquima de los esbozos comienza a condensarse y

en la sexta semana se identifican los primeros modelos cartilagosos que anuncian los huesos del miembro, su osificación endocondral comienza hacia el final del periodo embrionario y en la 12 semana ya están todos los centros de osificación primarios en los huesos de los miembros.

A partir del centro primario que está en la diáfisis o cuerpo del hueso la osificación endocondral se extiende gradualmente hacia los extremos del modelo cartilaginoso. En el momento del nacimiento, la diáfisis está completamente osificada, pero la epífisis, o sea, ambos extremos, todavía son cartilagosos; posteriormente aparecen los centros de osificación epifisarios y entre ellos y los centros diafisarios; hay una lámina epifisaria que tiene un papel importante en el crecimiento longitudinal del hueso.

Cuando el hueso ha alcanzado su longitud completa desaparecen las láminas epifisarias y la epífisis consolida con la diáfisis del hueso.

En la sexta semana del desarrollo, la porción terminal de los esbozos se aplanan y forma la placa de las manos y de los pies, apareciendo la constricción de la muñeca/tobillo, la del codo/rodilla aparece más tardíamente.

En la séptima semana los miembros efectúan un movimiento de rotación en direcciones contrarias. Los miembros superiores giran 90 grados lateralmente, de modo que los músculos extensores se encuentren en la superficie lateroposterior y pulgares lateralmente, mientras que los miembros inferiores experimentan rotación medial de 90 grados, lo que hace que los músculos extensores se sitúen sobre la superficie anterior y dedo gordo del pie en posición medial. En la octava semana ya pueden distinguirse los dedos en ambos miembros.

El desarrollo de los miembros superiores e inferiores es similar, salvo el hecho de que los superiores aparecen dos días antes.

Maduración del sistema esquelético

Numerosas hormonas influyen en el crecimiento y específicamente durante la vida prenatal actúan las hormonas fetales. Estas hormonas estimulan el crecimiento y el metabolismo del hueso, cartílago y músculo.

El desarrollo esquelético incluye aumento en talla (crecimiento), madurez y edad. Las modificaciones del desarrollo del esqueleto cartilaginoso y membranoso en un esqueleto óseo se denominan maduración esquelética.

El crecimiento y desarrollo óseo puede evaluarse por medio del examen radiográfico de una parte limitada del organismo, por ejemplo, las manos, debido a que el proceso ocurre normalmente de forma proporcional y armónica en todo el cuerpo. Los centros de osificación permiten esta evaluación.

Por medio de la ecografía es posible realizar el diagnóstico intrauterino de la osteogénesis imperfecta. Existe una relación entre la longitud de los huesos largos y el

diámetro biparietal (DBP) fetal que puede ser tomada como referencia. Cuando la longitud de los miembros es menor a dos desviaciones estándar por debajo de lo que se podría esperar para una cierta edad fetal, se debe sospechar una anomalía por defecto en el crecimiento de los miembros.

La maduración esquelética va ocurriendo de forma paulatina en el transcurso de las diferentes etapas de la vida de un individuo, de esta manera se pueden distinguir 4 etapas o períodos en la maduración ósea.

Etapa embrionaria

Hacia la sexta semana del desarrollo pueden identificarse los primeros modelos de cartilago hialino que anuncian la formación de los huesos; la osificación endocondral comienza hacia el final del período embrionario. Comienza la osificación de la clavícula, mandíbula, maxilar, húmero, radio, ulna, fémur y tibia.

Etapa fetal

Hacia la duodécima semana del desarrollo se encuentran en todos los huesos largos de los miembros centros de osificación primario en la diáfisis, de ahí la osificación endocondral avanza hacia los extremos de forma gradual. Antes de la mitad del desarrollo prenatal, aproximadamente a los 4 meses y medio, se osifican la mayoría de los huesos craneales y las diáfisis metacarpianas y falángicas y la mayoría de los arcos neurales y centro de las vértebras. Además comienza la escápula, ílion, fibula, falanges de las manos y ciertos huesos craneales. Poco antes del nacimiento se osifica el cráneo, el extremo distal del fémur y el proximal de la tibia, la cabeza del húmero, hueso grande del carpo y el ganchoso. En conclusión, en el momento del nacimiento las diáfisis de los huesos se encuentran casi completamente osificadas, pero las epífisis todavía son cartilagosas; poco después del nacimiento aparecen centros de osificación en estos sitios. Recordar que entre los centros de osificación de la diáfisis y las epífisis se mantiene la lámina epifisaria cartilaginosa, que desempeña un papel importante en el crecimiento longitudinal del hueso. Esta lámina epifisaria en los huesos largos se encuentra en los extremos, en los huesos pequeños como las falanges solo hay en un extremo, y en los huesos irregulares como las vértebras se encuentran uno o más centros primarios y secundarios de osificación.

Niñez

La mayoría de las epífisis en los miembros —el carpo, tarso, sesamoideos— comienzan a osificarse. La maduración ósea en las niñas aparece uno o dos años antes que en los niños.

Adolescencia

La mayoría de los centros secundarios de osificación en las vértebras, costillas, clavículas, escápulas y coxal

comienzan a osificarse. Las fusiones entre los centros epifisarios y las diáfisis ocurren usualmente durante dos décadas y uno o dos años antes en hembras que en varones.

Participación de los mecanismos morfológicos básicos en el desarrollo del aparato locomotor y de la cara

Un aspecto común de las células mesenquimatosas precursoras de las células del esqueleto, es su migración o su desplazamiento relativo desde su lugar de origen hasta el área donde se formará el hueso; este desplazamiento puede ser menor, como es el caso de las células esclerotómicas de los somitas al disponerse alrededor de la notocorda, o puede ser mayor, como lo hacen las células de las crestas neurales hasta su destino para formar huesos.

En el desarrollo de la columna vertebral, durante la cuarta semana, las células mesenquimatosas de los esclerotomas de los somitas migran y rodean a la notocorda y al tubo neural. Aunque algunos autores plantean que el cambio de posición de las células esclerotómicas se debe a un crecimiento diferencial de las estructuras circundantes y no por migración activa de las células esclerotómicas. Algunos experimentos realizados han establecido que la diferenciación del esclerotoma responde a la acción de sustancias inductoras específicas que estimulan la síntesis por las células esclerotómicas de elevados niveles de condroitín sulfato y de colágeno tipo II en su matriz extracelular. Los cuerpos vertebrales son formados en respuestas a sustancias producidas por la notocorda y la placa del piso del tubo neural; experimentalmente se ha comprobado que esta acción inductora se debe a la expresión del gen *Sonic hedgehog* (Shh) (que es una molécula mediadora de varias interacciones tisulares en el embrión), en células de la notocorda y de la placa del piso del tubo neural, mientras la inducción de los arcos vertebrales requiere, además, de la interacción con el ectodermo superficial.

La resorción del cartílago en la osificación cartilaginosa ocurre por la participación de la apoptosis.

En el esbozo de los miembros, la hoja parietal del mesodermo lateral en las regiones cervical y lumbar presenta un crecimiento diferencial o crece con diferente velocidad; esto permite la aparición del esbozo de los miembros por proliferación celular; se ha planteado que esto está inducido por la notocorda, los somitas y el mesodermo intermedio a través de la acción de factor de crecimiento similar a la insulina.

El desarrollo de los miembros se produce como resultado de las continuas interacciones entre los componentes mesodérmico y ectodérmico de la yema. El ectodermo estimula el crecimiento de la yema del miembro promoviendo la mitosis en la zona de progreso al secretar factor de crecimiento fibroblástico 2 y 4. Aunque el repliegue apical promueve el crecimiento, su propia existencia está a su vez controlada por el mesodermo

(zona de progreso) donde se expresan proteínas morfogenéticas óseas (BMP 2 y 7) en respuesta a señales inductoras desde el repliegue. Si se traslada el tejido ectodérmico apical de un miembro en desarrollo al mesodermo de una yema inicial, el miembro experimenta crecimiento normal. Sin embargo, si un mesodermo viejo de un miembro en desarrollo se cubre con el ectodermo apical de una yema joven, el desarrollo del miembro se detiene en el momento apropiado a la edad del mesodermo y no a la del ectodermo.

La muerte celular programada genéticamente, o apoptosis, es importante para el desarrollo de diferentes partes del cuerpo. En el miembro superior se hace muy evidente en la futura región axilar, en la del codo y en los espacios interdigitales. Los experimentos en embriones de aves han demostrado que hasta cierta etapa las células mesodérmicas programadas para morir pueden no hacerlo si se las trasplanta a áreas en las cuales la muerte celular no suele suceder. No obstante, después de cierto momento (ejemplo de determinación) ya no es posible detener el proceso y recuperar dichas células. A medida que ocurre el desarrollo del miembro aparecen cambios en el repliegue ectodérmico apical, este comienza a fragmentarse, quedando segmentos de epitelio engrosado del ectodermo apical en las zonas que cubren los radios digitales. Entre los dedos el ectodermo apical regresa, a medida que los primordios de los dedos continúan creciendo hacia afuera, la muerte celular ocurre en los espacios interdigitales. En las células mesodérmicas interdigitales se expresan numerosas moléculas importantes para el desarrollo, incluidas las proteínas morfogenéticas óseas (BMP-2, BMP-4 y BMP-7), el gen portador del homeobox (*Msx-1*) y un receptor del ácido retinoico. Aún no se conoce el mecanismo exacto de la muerte celular del tejido interdigital, pero algo se ha aclarado, el adelgazamiento del ectodermo apical que cubre las áreas interdigitales parece reducir la cantidad de factor de crecimiento fibroblástico (FGF) transmitido al mesénquima interdigital y actúa como un primer paso en el proceso de la apoptosis. Algunos investigadores afirman que la BMP, en especial la BMP-4, también forma parte de la señal que conduce a la muerte celular, no solo en la región interdigital, sino en otras partes del cuerpo.

Como sucede con las yemas de los miembros el crecimiento de los procesos faciales depende de la interacción ectodermo mesénquima, aunque el punto de la interacción no está marcado por un engrosamiento ectodérmico apical. El *Sonic hedgehog* (Shh) y el factor de crecimiento fibroblástico, que también se han identificado en el ectodermo del vértice de los procesos frontonasal y maxilar, actúan como organizador morfogenético y como estímulo, respectivamente, para el crecimiento del mesénquima de los procesos faciales. El gen *Msx-1* se expresa en el mesénquima muy proliferativo del vértice de los procesos faciales. El ácido retinoico también participa en el desarrollo inicial de la cara, tanto su deficiencia como su exceso son responsables de anomalías faciales. Por ejemplo, se sabe

que su exceso inhibe el crecimiento de los procesos frontonasales y nasomediales. Hay pruebas importantes de que los elementos ectodérmicos o epiteliales de la cabeza no solo inducen la formación del esqueleto, sino también controlan su morfogénesis; esto también contrasta con el control morfogenético del esqueleto de los miembros, que está determinado por la acción inicial del mesodermo como elemento primario y no por el ectodermo de la yema de los miembros.

Debido al crecimiento diferencial de los procesos maxilares a ambos lados del estomodeo se forman las crestas palatinas y su rápido crecimiento está en relación con el ácido hialurónico de la matriz extracelular que se hidrata.

Por su importancia, la fusión de los procesos o crestas palatinas ha sido objeto de muchas investigaciones. La desaparición de la sutura epitelial de la línea media después de la fusión de las crestas implica varios procesos, algunas de las células epiteliales situadas en la zona de fusión experimentan apoptosis y desaparecen, otras experimentan transformaciones morfológicas en células mesenquimatosas por la acción de factores de crecimiento, como el factor beta de transformación del crecimiento. Otras pueden migrar fuera del plano de fusión y terminar localizándose en el epitelio que tapiza la cavidad oral. Los experimentos de cultivos *in vitro* en varias especies, de un solo proceso palatino han demostrado que todos los aspectos de la diferenciación epitelial (muerte celular en la línea media, y vías de diferenciación diversas en las superficies oral y nasal) pueden tener lugar en ausencia de contacto con el proceso palatino del lado opuesto. Las distintas vías de diferenciación no son intrínsecas del epitelio regional sino que son mediadas por el mesénquima subyacente derivado de las crestas neurales. Los mecanismos que explican esta especificación regional del epitelio aún no se han determinado. Se piensa que el mesénquima subyacente produce factores de crecimiento que influyen sobre la producción y distribución regional de las moléculas de la matriz extracelular, por ejemplo, el colágeno tipo IX, no se sabe de qué forma las células epiteliales reciben e interpretan estas señales.

Alteraciones del desarrollo

Raquitismo

El raquitismo es una enfermedad que ocurre en niños con carencia de vitamina D. Está deteriorada la absorción intestinal de calcio, que origina alteraciones de la osificación de las placas de cartílago epifisario (es decir, no están mineralizados de manera adecuada), y hay desorientación de células en la metafisis. Los miembros están acortados y deformados.

Cordoma

Pueden persistir remanentes del notocordio y ello da lugar a un cordoma. Alrededor de un tercio de estos tumores malignos de crecimiento lento ocurre en la base del cráneo, se extiende hacia la nasofaringe, infiltra

hueso y es difícil de extirpar. Pocos pacientes viven más de 5 años. Los cordomas también se desarrollan en la región lumbosacra.

Variación en el número de vértebras

Alrededor de 95 % de las personas tiene 7 vértebras cervicales, 12 torácicas, 5 lumbares y 5 sacras; cerca de 3 % tienen una o dos vértebras más. Para determinar el número de vértebras se debe examinar la totalidad de la columna vertebral porque una vértebra extra (o ausente) en un segmento de la columna puede compensarse por la ausencia (o adición) de una vértebra en el segmento vecino; por ejemplo 11 vértebras torácicas con 6 vértebras lumbar.

Espina bífida

La falta de fusión de las mitades del arco vertebral da por resultado un defecto mayor: la espina bífida. La incidencia de este defecto vertebral varía de 0,04 a 0,15 % y ocurre con mayor frecuencia en mujeres. Casi todos los casos de espina bífida (80 %) son abiertos y se recubren por una membrana delgada; mientras que la espina bífida oculta se recubre por una membrana gruesa o piel. Este defecto es una consecuencia de falta de fusión de las mitades del arco vertebral.

La espina bífida oculta suele observarse en radiografías de las regiones cervical, lumbar y sacra. Con frecuencia solo está afectada una vértebra. La espina bífida oculta es una anomalía insignificante, relativamente menor, de la columna vertebral que no suele causar síntomas clínicos. Puede diagnosticarse en la vida prenatal mediante ultrasonografía. La espina bífida oculta de la primera vértebra sacra se observa en casi 20 % de exámenes radiográficos de columnas vertebrales. La médula espinal y los nervios espinales suelen ser normales y por lo general no hay síntomas neurológicos. La piel que recubre la espina bífida se encuentra intacta y quizás no haya datos externos del defecto vertebral. En ocasiones la anomalía se indica por un hoyuelo o un mechón de pelo. En casi 3 % de los adultos normales hay espina bífida oculta del atlas. En otros niveles cervicales este trastorno es raro y cuando existe puede acompañarse de otras anomalías del raquis cervical.

La espina bífida quística es un tipo muy importante de espina bífida que incluye médula espinal y meninges. En estos casos suele haber síntomas neurológicos.

Costillas accesorias

Las costillas accesorias, por lo general rudimentarias, resultan del desarrollo de procesos costales en las vértebras cervicales o lumbares. Estos procesos forman las costillas en la región torácica. El tipo más común de costilla accesoria es una costilla lumbar que no suele causar problemas. Las costillas cervicales ocurren en 0,5 a 1 % de las personas. Una costilla cervical se une con la séptima vértebra cervical y puede ser unilateral o bilateral. Con frecuencia la presión de una costilla cervical produce síntomas relacionados con el plexo braquial o la arteria subclavia.

Costillas fusionadas

En ocasiones las costillas se fusionan en la parte posterior cuando dos o más surgen de una misma vértebra. Las costillas fusionadas suelen acompañarse de una hemivértebra.

Hemivértebra

Los cuerpos vertebrales en desarrollo tienen dos centros de condricificación que se unen pronto. La hemivértebra se debe a ausencia de uno de los centros de condricificación y falta de formación subsecuente de la mitad de la vértebra. Esta vértebra defectuosa produce escoliosis (curvatura lateral) de la columna vertebral. Hay otras causas de escoliosis (escoliosis miopática, que se debe a debilidad de los músculos intervertebrales).

Raquíspquis

El término raquíspquis (columna vertebral hendida) se refiere a las anomalías vertebrales en un grupo complejo de anomalías (trastornos disráficos axiales) que afectan sobre todo las estructuras axiales. En estos niños los pliegues neurales no se fusionan por falta de inducción del notocordio subyacente o por la acción de agentes teratógenos en las células neuroepiteliales de los pliegues neurales. Los defectos neurales y vertebrales pueden ser extensos o restringirse a un área pequeña.

Esternón hendido

Son comunes las hendiduras esternales menores (escotadura o agujero en el apéndice xifoides) y carecen de importancia clínica. En ocasiones ocurre un agujero esternal de tamaño y forma variables en la unión de la tercera y cuarta barras esternales. Este agujero insignificante resulta de fusión incompleta de las barras esternales cartilaginosas durante el periodo embrionario.

Acrania

En este trastorno no hay bóveda craneal y con frecuencia se presentan defectos extensos de la columna vertebral. La acrania con meroanencefalia o anencefalia (ausencia parcial del encéfalo) ocurre en alrededor de 1 en 1 000 nacimientos y es incompatible con la vida. La meroanencefalia es consecuencia de fallo en el cierre del extremo craneal del tubo neural durante la cuarta semana. Esta anomalía causa falla subsecuente de formación de la bóveda craneal.

Craneosinostosis

El cierre prematuro de las suturas del cráneo origina varias deformaciones de este. Las anomalías más graves se observan en el cierre prenatal. Se desconoce la causa de la craneosinostosis, pero al parecer son importantes los factores genéticos. Estas anomalías son mucho más comunes en varones y se acompañan de otras anomalías esqueléticas. El tipo de deformación craneal depende de las suturas que se cierran en forma prematura. Si se cierra temprano la sutura sagital, el

cráneo se torna largo, estrecho y en forma de cuña, escafocefalia. Este tipo constituye casi la mitad de los casos de craneosinostosis. Otro 30 % incluye el cierre prematuro de la sutura coronal, que origina un cráneo alto, en forma de torre, oxicefalia o turricefalia. Si la sutura coronal o lambdoidea se cierra de manera prematura en un solo lado, el cráneo se tuerce y es asimétrico, plagiocefalia.

Microcefalia

Los niños con este trastorno nacen con una bóveda craneal de tamaño normal o un poco más pequeña. Las fontanelas se cierran durante la infancia temprana y las suturas en el primer año de edad. Esta anomalía no se debe a cierre prematuro de las suturas. La microcefalia resulta de desarrollo anormal del sistema nervioso central (SNC) en el cual no crece el encéfalo y en consecuencia tampoco el cráneo. Por lo general, los microcéfalos tienen retraso mental grave.

Anomalías en la unión craneovertebral

Las anomalías congénitas en la unión cráneo vertebral se encuentran en alrededor de 1 % de los recién nacidos, pero pueden permanecer asintomáticas hasta la vida adulta. Los ejemplos de estas malformaciones son los siguientes: invaginación basilar (desplazamiento superior de los huesos alrededor del agujero occipital), asimilación del atlas (falta de segmentación en la unión del atlas y hueso occipital), luxación atlantoaxial, malformación de Arnold-Chiari y separación de la apófisis odontoides (falta de fusión de los centros en la odontoides con el cuerpo del axis).

Labio leporino (hendido)

Las hendiduras de labio superior y paladar son comunes. Los defectos suelen clasificarse según los criterios del desarrollo, al tomar como marca anatómica de referencia la fosa incisiva. Estos defectos son en especial notables, porque originan un aspecto facial anormal y defectos en el habla. Hay dos grupos mayores de labio y paladar hendidos:

1. Hendiduras que afectan el labio superior y la parte anterior de los maxilares, con afección de las porciones restantes de las regiones dura y blanda del paladar o sin ella.
2. Hendiduras que incluyen las regiones dura y blanda del paladar.

Las anomalías de hendidura anterior incluyen labio hendido, con hendidura de la parte alveolar de la maxila o sin ella. Una anomalía por hendidura anterior completa es aquella en que la hendidura se extiende a través del labio y parte alveolar de la maxila hasta la fosa incisiva, límite entre las partes anterior y posterior del paladar. Las anomalías por hendidura anterior resultan de deficiencia del mesénquima en prominencias maxilares y segmento intermaxilar.

Las anomalías de hendidura posterior incluyen hendiduras del paladar secundario o posterior, que se extiende a través del paladar blando y paladar duro hasta la fosa incisiva, lo que separa las partes anterior y posterior del paladar. Las anomalías por hendidura posterior dependen de un desarrollo defectuoso del paladar secundario y resultan de deformaciones de crecimiento de los procesos palatinos laterales que impiden su migración y fusión medial.

Las hendiduras que afectan el labio superior, con hendidura palatina o sin ella, ocurren en 1 de 1 000 nacidos vivos; sin embargo, su frecuencia varía mucho, conforme los grupos étnicos, 60 a 80 % de los lactantes afectados son varones. Las hendiduras varían desde escotaduras pequeñas del borde bermellón del labio hasta hendiduras grandes, que se extienden al piso de las narinas y a través de la parte alveolar de las maxilas. El labio hendido puede ser unilateral o bilateral.

El labio hendido unilateral resulta de falta de fusión de la prominencia maxilar en el lado afectado con las prominencias nasales mediales en fusión. Es consecuencia de falta de fusión de las masas mesenquimatosas y del mesénquima para proliferar y alisar el epitelio suprayacente. Ello origina un surco labial persistente. Además, el epitelio del surco labial se estira y los tejidos del piso del surco persistente se rompen. Como resultado, el labio se divide en porciones medial y lateral. En ocasiones, un puente de tejido, que se llama banda de Simonart, une las partes del labio hendido incompleto.

El labio hendido bilateral resulta de falta de acercamiento y fusión de masas mesenquimatosas de las prominencias maxilares con las prominencias nasales mediales. El epitelio, en ambos el surco labial, se estira y rompe. En hendiduras bilaterales los defectos pueden ser diferentes, con grado variables del defecto en cada lado. Cuando hay una hendidura bilateral completa del labio y la parte alveolar de la maxila, el segmento intermaxilar cuelga de manera libre y se proyecta hacia delante. De manera especial, estos defectos son deformantes por la pérdida de continuidad del músculo orbicular de los labios, que cierra boca y frunce labios, como al silbar.

La hendidura media del labio superior, un defecto raro de manera extrema, se debe a deficiencia mesenquimatosas que causa deficiencia parcial o total de las prominencias nasales medial para fusionarse y formar el segmento intermaxilar. La hendidura labial es una característica distintiva del síndrome de Mohr, que se transmite con carácter autosómico recesivo, la hendidura media del labio inferior es muy rara y es causada por falta de fusión completa de masas mesenquimatosas en las prominencias mandibulares y alisamiento de la hendidura embrionaria entre ellas.

Un paladar hendido completo indica el grado máximo de hendidura en cualquier tipo particular, por ejemplo, una hendidura completa del paladar posterior es una anomalía en la cual la hendidura se extiende a través del paladar blando y hacia delante hasta la fosa incisiva. La característica esencial para distinguir las anomalías de hendidura anterior de la posterior es la fosa incisiva. Las anomalías de hendidura anterior y posterior son embriológicamente distintas.

El paladar hendido, con labio hendido o sin el, ocurre en 1 de 2 500 nacimientos y es más común en mujeres. La hendidura puede afectar solo la úvula, lo que le da aspecto de cola de pescado, o extenderse a través de las regiones palatinas blanda y dura. En casos graves, en que se acompaña de labio hendido, el paladar hendido se extiende a través de la parte alveolar de las maxilas y labios en ambos lados.

La base embriológica del paladar hendido es una falta de acercamiento y fusión entre sí de las masas mesenquimatosas de los procesos palatinos laterales (con el tabique nasal, con el borde posterior del proceso palatino medial o con ambos). Las hendiduras unilaterales y bilaterales se clasifican en 3 grupos:

1. Las hendiduras del paladar anterior (primario) (es decir, hendiduras anteriores a la fosa incisiva) resultan de la falta de encuentro y fusión de las masas mesenquimatosas de los procesos palatinos laterales (entrepaños palatinos) con el mesénquima del paladar primario.
2. Las hendiduras del paladar posterior (secundarias) (es decir, hendiduras posteriores a la fosa incisiva) resultan de la falta de encuentro y fusión de las masas mesenquimatosas de los procesos palatinos laterales entre sí y con el tabique nasal.
3. Las hendiduras de las partes anterior y posterior del paladar (es decir, hendiduras de los paladares primario y secundario) resultan de la falta de encuentro y fusión de las masas mesenquimatosas de los procesos palatinos laterales con el mesénquima del paladar primario, entre sí y con tabique nasal.

Casi todos los casos de labio y paladar hendidos resultan de múltiples factores (herencia multifactorial), genéticos y no genéticos, que causan alteración menor del desarrollo. No se sabe cómo inducen los factores teratógenos la hendidura labial y palatina. Estudios experimentales proporcionaron cierta información sobre las bases celulares y moleculares de estos defectos. Con base en datos experimentales y experiencia clínica limitada, se sugirió que el complejo de vitamina B, que de manera profiláctica se administra en mujeres embarazadas con riesgo de descendencia con labio y paladar hendidos, disminuye la ocurrencia de hendiduras faciales.

Algunas hendiduras labiales, palatinas o ambas se presentan como parte de síndromes que son determinados por genes mutantes únicos. Otras hendiduras son parte de síndromes cromosómicos, en especial trisomía 13. Unos pocos casos de labio, paladar, o ambos, hendidos, al parecer se deben a agentes teratógenos (por ejemplo, fármacos anticonvulsivos). Estudios de gemelos indican que los factores genéticos son más importantes en el labio hendido, con o sin paladar hendido, que en el paladar hendido únicamente. El hermano de un niño con paladar hendido tiene un riesgo alto de paladar hendido, pero no un riesgo mayor de labio hendido. Las hendiduras labiales y de los procesos alveolares de las maxilas que se continúan a través del paladar suelen transmitirse por un gen masculino ligado al sexo. Cuando ninguno de los padres está afectado, el

riesgo de recurrencia en la descendencia subsecuente (hermanos o hermanas) es de 4 %. Para un comentario más amplio del riesgo de recurrencia. El hecho de que los procesos palatinos se fusionan alrededor de una semana después en mujeres explica por qué son más comunes los paladares hendidos aislados en este sexo.

Síndrome del primer arco

El desarrollo defectuoso de los componentes del primer arco branquial o faríngeo origina diversas anomalías congénitas de ojos, oídos, mandíbula y paladar, que en conjunto constituyen el síndrome del primer arco. Se piensa que este grupo de síntomas resulta de la migración insuficiente de células de la cresta neural hacia el primer arco durante la cuarta semana. El síndrome del primer arco se manifiesta en dos formas principales:

1. En el síndrome de Treacher Collins (disostosis mandibulofacial), que causa un gen autosómico dominante, hay hipoplasia malar (disminución del desarrollo del hueso cigomático de la cara), con hendiduras palpebrales que se inclinan hacia abajo y defectos de párpados inferiores, oídos externos deformados y en ocasiones anomalías de los oídos medio e interno.
2. En el síndrome de Pierre Robin, se encuentra hipoplasia mandibular, paladar hendido y defectos de ojos y oídos. Muchas cosas de estos síndromes son esporádicos, sin embargo, algunos al parecer tienen una base genética. En el complejo morfogenético de Robin el defecto inicial es una mandíbula pequeña (micrognatia) que origina desplazamiento posterior

de lengua y obstrucción al cierre total de los procesos palatinos y paladar hendido bilateral.

Bibliografía

- CD del Proyecto Policlínico Universitario, 2004.
Diccionario terminológico de ciencias médicas (1984), 11na. Ed. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
Folletos, guías de prácticas y manuales: elaborados en los departamentos de anatomía para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje: 2002.
Langman. Embriología médica. 8va ed. Editorial Médica Panamericana, México; 2001.
Moore, K., A. Dalley, A. M. R. Agur (2010): Clinically Oriented Anatomy. Sixth Edition. Estados Unidos: Editorial Lippincott Williams & Wilkins; pp. 230-38.
O'Rahilly, R. (1989): Anatomía de Gardner. 5ta. Ed. México: Edit Interamericana.
Orts Llorca, F. (1986): Anatomía Humana. 6ta. Ed. Barcelona: Científico-Médica.
Prives, M., N. Lisenkov, V. Bushkovich (1984): Anatomía Humana. 5ta. Ed. Moscú: MIR.
Rosell Puig, W. y C. Dovale Borjas (1992): Consideraciones generales de la Anatomía y del Aparato Locomotor. 4ta. Ed. La Habana: ISCM.
Rosell Puig, W., C. Dovale Borjas e I. Álvarez Torres (2002): Morfología Humana I. La Habana.
Rouviere, H. y A. Delmas (1999): Anatomía Humana. 10ma. Ed. París: Masson.
Sinelnikov, R. D. (1981): Atlas de Anatomía Humana. 3ra. Ed. Editorial MIR, Moscú.
Williams, P. L. and R. Warwick (1986): Gray's anatomy. 36a. Ed. Barcelona: Salvat.

Miología

Nelson Rubal Lorenzo, Yaignia Valdés Martínez, Mercedes Gámez Fonseca, Zulema Adorna Carménate, Laimi Alonso

La miología es la ciencia que estudia los músculos. La parte activa del aparato locomotor está constituida por los músculos. Estos son órganos carnosos, blandos, de color rojo pardo, que tienen la propiedad de contraerse, provocando el trabajo mecánico del cuerpo y, por tanto, actúan en el movimiento y equilibrio de este. En el cuerpo humano existen aproximadamente 400 músculos.

Fisiología de la contracción muscular esquelética

Los huesos proporcionan el efecto de apalancamiento y constituyen el marco estructural del organismo, sin embargo, no pueden mover las partes corporales por sí solos. Los movimientos son el resultado de la contracción y relajación alternas de los músculos, que convierten la energía química en mecánica, la cual genera energía para realizar trabajo y producir movimientos.

No hay forma de la vida animal que no se relacione con el movimiento y este se desarrolla gracias a la función contráctil de los músculos. Además, el tejido muscular estabiliza la posición del cuerpo, regula el volumen de los órganos, genera calor e impulsa líquidos y alimentos a través de los diversos aparatos corporales.

Tejido muscular

Hay 3 tipos de tejido muscular: estriado voluntario esquelético, cardíaco (estriado involuntario) y liso. Aunque comparten algunas propiedades, difieren en su anatomía microscópica, localización y forma en que son regulados por los sistemas nervioso y endocrino.

Tejido de los músculos esqueléticos

Recibe este nombre porque cubre y se inserta sobre estructuras óseas y su función consiste en mover los

huesos que forman estas estructuras del cuerpo (varios se insertan en otros tipos de tejidos). Se denomina estriado en virtud de que hay bandas oscuras y claras alternadas (estrías transversales), visibles al examen con el microscopio (Fig. 8.1).

El tejido de los músculos esqueléticos funciona, principalmente, de manera voluntaria, dado que es posible regular de forma consciente su actividad por medio de neuronas (células nerviosas) que forman parte del sistema nervioso somático (voluntario).

La mayoría de los músculos también están sujetos, en cierto grado, a regulación involuntaria. Por ejemplo, lo común es que una persona no tenga conciencia de la contracción y relajación alternadas de su diafragma, que constituye el principal músculo participante en la respiración; de la contracción continua de los músculos posturales, que ayuda a estabilizar la postura del cuerpo, o de los reflejos de estiramiento que participan en el ajuste del tono muscular.

El tejido muscular esquelético se destaca porque sus fibras musculares son muy largas, cuentan con múltiples núcleos dispuestos en la periferia y tienen estriaciones transversales. Están inervados por los nervios espinales y algunos craneales, dependiendo sus contracciones de la voluntad, aunque en realidad estas acciones tienen en su base mecanismos reflejos. Por lo general, estos músculos se encuentran unidos al esqueleto y forman órganos bien delimitados denominados músculos esqueléticos, que son motivo de estudio en el aparato locomotor.

Tejido del músculo cardíaco (miocardio)

Solo se encuentra en el corazón y forma gran parte de su pared. El miocardio también tiene estrías, si bien su movimiento es involuntario; dicho en otras palabras, una persona no puede hacer de modo consciente que se contraiga y relaje de manera alternada. El corazón late porque existe un nódulo sinoauricular que inicia

la excitación que precede a la contracción: este ritmo intrínseco se denomina autorritmicidad. Diversos neurotransmisores y hormonas ajustan la frecuencia cardíaca al acelerar o desacelerar el nódulo sinoauricular. El tejido muscular estriado cardíaco se distingue porque sus fibras musculares están dispuestas en forma de red que le dan el aspecto de un sincitio, tienen numerosos núcleos situados en el centro y presentan estriaciones transversales. Están inervados por el sistema nervioso autónomo, por lo tanto su acción es involuntaria, se localizan solamente en el corazón y constituyen el miocardio.

Tejido muscular liso

Forma parte de las paredes de órganos internos huecos (tubulares), como los vasos sanguíneos, vías respiratorias y muchas vísceras de la cavidad abdominopélvica; también existe en la piel ligado a los folículos pilosos. Se caracteriza porque las fibras musculares son

fusiformes, están provistas de un solo núcleo y carecen de estriaciones. Están inervadas por el sistema nervioso autónomo, por lo cual sus contracciones son independientes de la voluntad, o sea, son involuntarias, y se localizan generalmente en las vísceras, formando capas continuas. Al observarlos con el microscopio no se ven estrías, sino que se ve liso. Casi siempre la acción de este músculo suele ser involuntaria, además de que en algunas partes del cuerpo posee autorritmicidad. Tanto el miocardio como el músculo liso están regulados por neuronas que son parte del sistema nervioso autónomo (involuntario), y por las hormonas que liberan las glándulas endocrinas.

Clasificación del tejido muscular

El tejido muscular se puede clasificar de acuerdo con su estructura, función y localización, de la manera que se muestra en la tabla 8.1; en la figura 8.2 se observan los tipos de tejido muscular.

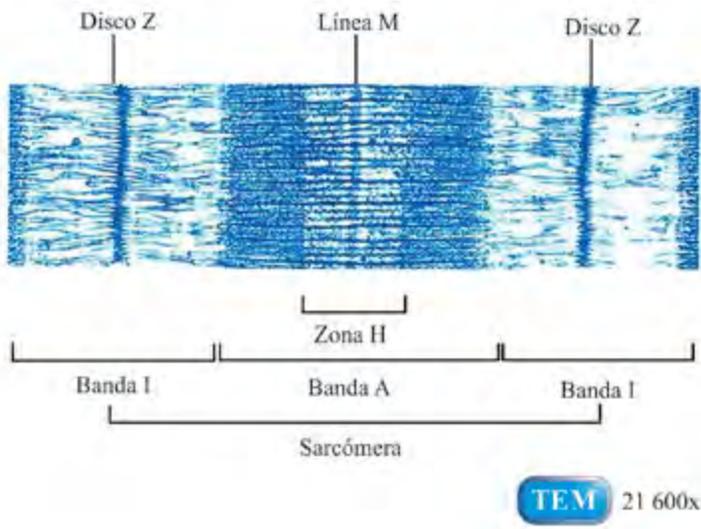


Fig. 8.1. Bandas transversales de músculo estriado esquelético.

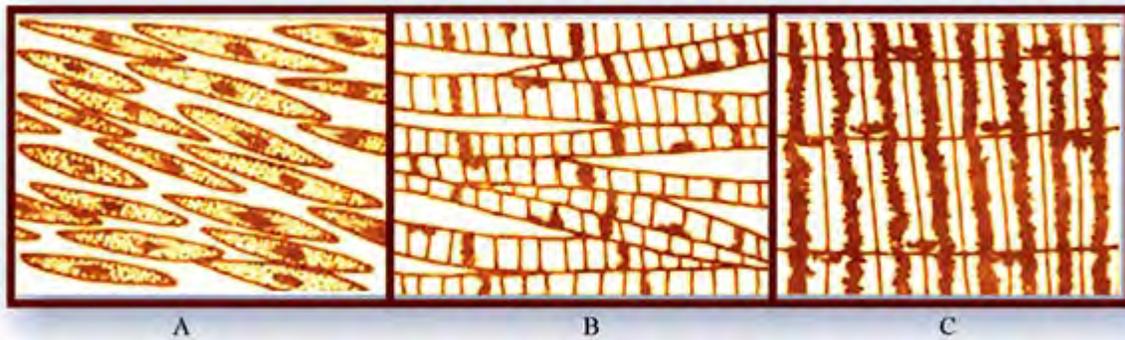


Fig. 8.2. Tipos de tejido muscular: A. Liso. B. Estriado cardíaco. C. Estriado esquelético.

Tabla 8.1. Clasificación del tejido muscular

Estructura	Función	Localización
Liso	Involuntario	Visceral
Estriado cardíaco	Involuntario	Corazón
Estriado esquelético	Voluntario	Esquelético

Desarrollo del sistema muscular

En este breve análisis del desarrollo del sistema muscular humano, la atención se centra en los músculos estriados. Todos los músculos del cuerpo se derivan del mesodermo, salvo los músculos del iris en los ojos y los músculos erectores del pelo. Al desarrollarse el mesodermo, una porción se dispone en columnas densas a ambos lados del sistema nervioso en desarrollo. Estas columnas mesodérmicas se segmentan en un conjunto de bloques de células, llamados somitas; el primer par de estos aparece el vigésimo día de desarrollo embrionario y hacia el trigésimo día ya estará formado el total de los 44 pares somitas.

Con la salvedad de los músculos de la cabeza y de los miembros, los músculos estriados se derivan del mesodermo de las somitas. Existen muy pocos somitas en la región del embrión correspondiente a la cabeza, de modo que gran parte de los músculos de esta zona proviene del mesodermo general de la región cefálica. Los músculos de los miembros se desarrollan a partir de masas de mesodermo general alrededor de los huesos en desarrollo de los primordios embrionarios (origen de los futuros miembros) de los miembros.

Las células de un somita se diferencian en 3 regiones:

1. Miotoma: que forma una parte de los músculos estriados.
2. Dermatoma: que forma los tejidos conectivos, entre ellos la dermis.
3. Esclerotoma: que da origen a las vértebras.

El músculo cardíaco se deriva de las células mesodérmicas que migran y envuelven al corazón en desarrollo mientras todavía tiene la forma de los tubos cardíacos primitivos.

El músculo liso se desarrolla a partir de las células mesodérmicas que migran y envuelven al tubo digestivo y otras vísceras en desarrollo.

Funciones del tejido muscular

La contracción sostenida o alterna con la relajación hace posible que el tejido muscular desempeñe 5 funciones claves: producción de movimientos corporales, estabilización postural, regulación del volumen de los órganos, movimiento de sustancias en el cuerpo y producción del calor:

1. Producción de movimientos corporales: la actividad de todo el cuerpo, como caminar o correr y otros movimientos localizados, como sujetar un lápiz o asentir

con la cabeza, depende de la función integrada de huesos, articulaciones y músculos.

2. Estabilización de la postura: las contracciones de los músculos estabiliza las articulaciones y ayudan a mantener la postura (por ejemplo, al sentarse o estar de pie). Los músculos posturales se contraen de manera continua cuando la persona está despierta (por ejemplo, las contracciones sostenidas de los músculos del cuello para mantener la cabeza erguida).
3. Regulación del volumen de órganos: la contracción sostenida de bandas anulares de músculo liso, denominadas esfínteres, evita que el contenido de vísceras huecas salga de ellos. El almacenamiento temporal de alimentos en el estómago o el de orina en la vejiga son posibles porque existen esfínteres que cierran el orificio de salida de estos dos órganos.
4. Movimiento de sustancias en el cuerpo: las contracciones del músculo cardíaco bombean sangre a través de los vasos sanguíneos. La contracción y relajación del músculo liso en las paredes de dichos vasos sirven para ajustar su diámetro y, de tal suerte, regular la velocidad del flujo de sangre. Además, las contracciones del músculo liso mueven los alimentos y sustancias como la bilis y enzimas por el tubo digestivo, impulsan los gametos (espermatozoides y ovocitos) a través del aparato reproductivo y desplazan la orina por el aparato urinario. Las contracciones de los músculos esqueléticos impulsan el flujo de la linfa y facilitan el retorno de la sangre al corazón.
5. Producción de calor: al contraerse el tejido muscular, también genera calor, que en gran medida se usa para mantener la temperatura corporal normal. Las contracciones involuntarias de los músculos esqueléticos, conocidas como estremecimientos, pueden aumentar varias veces el ritmo de producción de calor.

Propiedades funcionales de los músculos

El tejido muscular posee 4 propiedades especiales, que le permiten desempeñar sus funciones y contribuir a la homeostasis:

1. Excitabilidad eléctrica: propiedades de las fibras (células) musculares y las neuronas que les permite responder a ciertos estímulos mediante la producción de impulsos eléctricos, por ejemplo, los potenciales de acción se propagan (viajan) por la membrana plasmática de las células gracias a los canales iónicos específicos. En las fibras musculares el estímulo que activa los potenciales de acción puede consistir en señales eléctricas autorritmicas, las cuales surgen en el propio músculo, como ocurre en el nódulo sinoauricular del corazón, o estímulos químicos, por ejemplo, los neurotransmisores liberados por las neuronas, las hormonas que circulan la sangre o incluso cambios locales del pH. La excitabilidad es la propiedad de alcanzar un estado de excitación como respuesta a determinados estímulos. La excitabilidad puede ser directa cuando el estímulo se produce directamente

sobre el músculo, e indirecta cuando el estímulo procede del nervio que llega a él.

2. **Contractilidad:** es la propiedad que tienen los músculos para encogerse con fuerza cuando los estimula un potencial de acción. Cuando se contraen generan tensión (fuerza de la contracción) conforme el músculo tira de sus puntos de inserción. La contractilidad es la propiedad fundamental del músculo, que se produce como resultado de la excitación. La contracción muscular es la facultad que tiene el músculo de acortarse disminuyendo su longitud, o de desarrollar una tensión en ese sentido. Es decir, son los cambios de forma y tensión que se producen en el músculo. Otro aspecto de gran importancia en la contractilidad es la fuerza y el trabajo muscular.

La fuerza de los músculos depende de la sección transversal de estos, la cual está determinada por el número de fibras musculares y su grosor. Por lo tanto, la fuerza total de un músculo es la suma de las fuerzas ejercidas por sus fibras.

El trabajo muscular depende de la magnitud de acortamiento del músculo y del peso que él levanta. La contracción prolongada e intensa puede originar la fatiga, o sea, la disminución de la capacidad de trabajo del músculo. Por este motivo la fatiga representa un obstáculo fisiológico para aumentar la productividad del trabajo y es una de las causas básicas de enfermedades en el hombre. Sin embargo, la teoría evolucionista afirma que precisamente el trabajo creó y desarrolló al hombre. Además, está demostrado que la inactividad del organismo lleva al debilitamiento de sus fuerzas, o sea, a la atrofia muscular, por lo cual no es el trabajo mismo el que hace daño al organismo, sino la incorrecta organización del trabajo.

3. **Extensibilidad:** este término alude a la propiedad de los músculos para estirarse sin sufrir daño, es la facultad que tienen los músculos de distenderse, o sea, de estirarse cuando experimentan una tensión violenta. Gracias a esta capacidad el músculo se contrae con fuerza, incluso si ya está extendido. En condiciones normales, el músculo liso se halla sujeto a estiramiento. Por ejemplo, cada vez que el estómago se llena con alimentos, se expande el músculo liso de su pared. El músculo cardíaco también se estira con cada latido, al llenarse el corazón de sangre. Durante las actividades normales, el estiramiento de los músculos esqueléticos es relativamente constante.
4. **Elasticidad:** es la capacidad del tejido muscular para recuperar su longitud y forma original después de la contracción o extensión, o sea, la capacidad de recuperar su forma inicial al cesar la acción de la fuerza que ha provocado su deformación

Músculo esquelético

Cada músculo es un órgano independiente que consta de cientos a millares de células, llamadas fibras por su forma alargada. Tanto las fibras musculares como los músculos enteros están rodeados por capas de tejido conectivo, además de que los vasos sanguíneos y los

nervios penetran en los músculos (Fig. 8.3). A fin de comprender la manera en que la contracción muscular genera tensión, primero es necesario conocer su anatomía macroscópica y microscópica.

Estructura de los músculos

Los músculos están constituidos por tejido muscular mezclado con tejido conectivo.

En el tejido muscular las células son alargadas, por lo cual se denominan fibras musculares. Esta forma está adaptada a la función que realizan, logrando de esta manera mayor eficacia en sus contracciones.

Componentes de tejido conectivo

Diversas capas de tejido conectivo envuelven y protegen al muscular. Las aponeurosis o fascias son láminas o bandas anchas de tejido conectivo fibroso que se encuentran debajo de la piel y que envuelven los músculos y otros órganos. La aponeurosis superficial (capa subcutánea) separa los músculos de la piel, está formada por los tejidos conectivo areolar y adiposo, asimismo constituye la ruta por la cual los nervios sanguíneos entran y salen de los músculos. El tejido adiposo de la aponeurosis superficial almacena la mayor parte de los triglicéridos del cuerpo, sirve como placa aislante que reduce la pérdida de calor y protege los músculos contra los traumatismos físicos. La aponeurosis profunda está formada por tejido conectivo denso irregular que recubre la pared corporal interna y los miembros y envuelven juntos los músculos con funciones similares. También esta aponeurosis hace posible que los músculos tengan libertad de movimientos, aloja nervios, vasos sanguíneos y linfáticos y llena los espacios que existen entre los músculos.

Las fibras musculares están agrupadas en haces o fascículos y estos se reúnen con otros fascículos cada vez más grandes hasta formar el músculo.

Tres capas de tejido conectivo se prolongan desde la aponeurosis profunda para conferirles protección y fortaleza adicional a los músculos esqueléticos (Fig. 8.3). La más externa, que envuelve músculos completos, es el epimisio. El perimisio rodea grupos de 10 a 100, o más fibras musculares, separándolos en haces o fascículos. Muchos de estos son suficientemente grandes y es posible observarlos a simple vista; ellos le dan al corte de carne aspecto característico, además de que cuando ésta se corta tiende a separarse a lo largo de los fascículos. Tanto el epimisio como el perimisio constan de tejido conectivo denso irregular. La capa que penetra dentro de cada fascículo y separa las fibras musculares una de otra es el endomisio, vaina delgada de tejido conectivo areolar.

La aponeurosis profunda, el epimisio y el endomisio tienen continuidad con el tejido conectivo que une los músculos con otras estructuras, como los huesos u otros músculos, además de conformar dicho tejido con las fibras de colágena. Las tres capas de tejido suelen extenderse más allá de las fibras musculares y formar un tendón, es decir un cordón de tejido conectivo denso regular por medio del cual el músculo se inserta en el periostio.

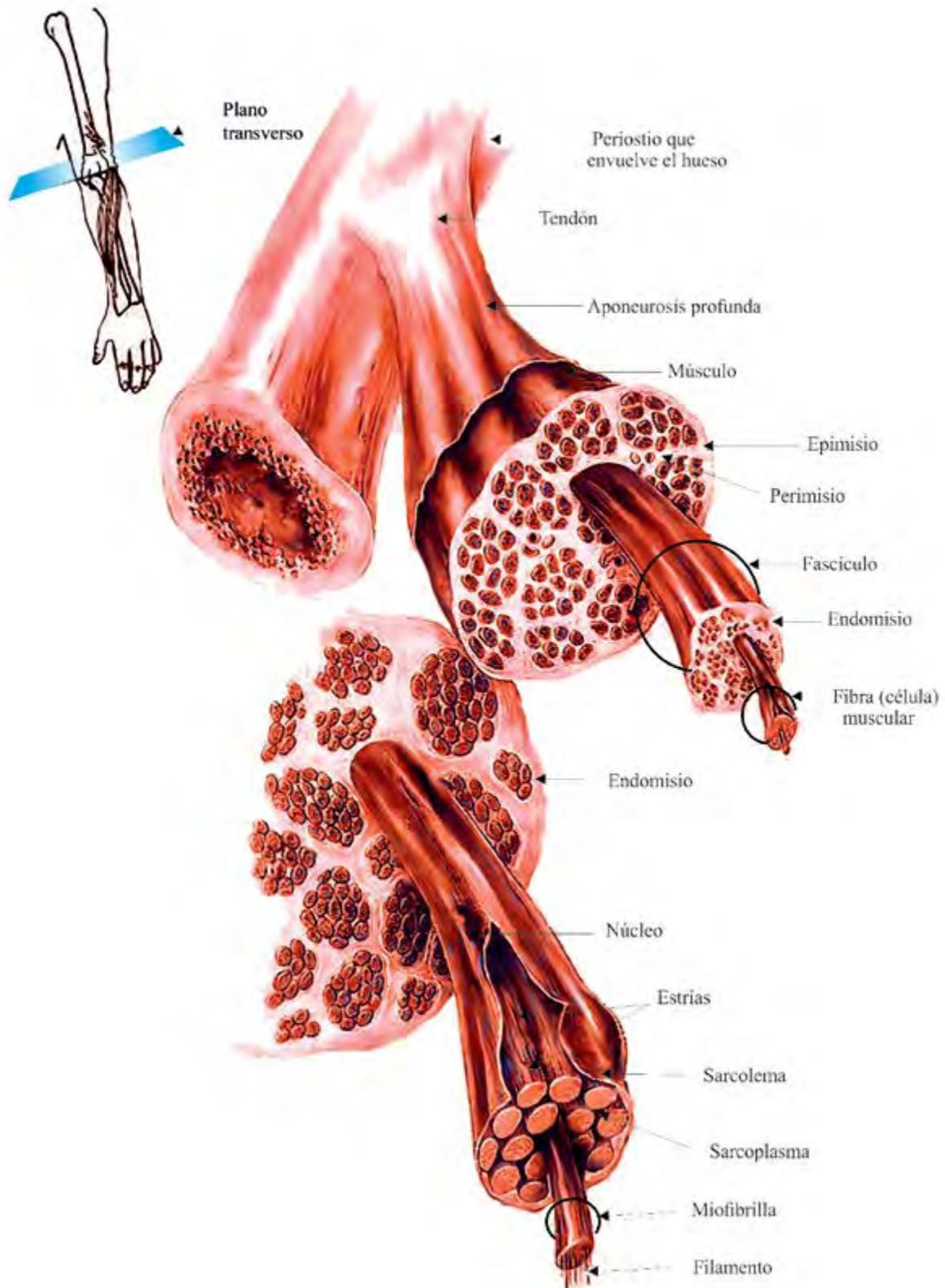


Fig. 8.3. Disposición del tejido conectivo en relación con el tejido muscular estriado esquelético.

Un ejemplo lo constituye el tendón calcáneo (tendón de Aquiles) del músculo tríceps sural (músculos gemelos y sóleo). En la zona donde los elementos de tejido conectivo se prolongan a la manera de la capa plana y ancha, el tendón se denomina aponeurosis. Un ejemplo de aponeurosis es la galea aponeurótica, que recubre el cráneo.

Inervación e irrigación sanguínea

Los músculos poseen nervios y vasos sanguíneos abundantes. En general, cada nervio penetra el músculo esquelético acompañado de una arteria y una o dos venas (Fig. 8.4). Se denomina motoneuronas somáticas a las que estimulan la contracción de los músculos. Cada una de dichas neuronas posee un axón filiforme que va desde el encéfalo o médula espinal hasta un grupo de fibras musculares (Fig. 8.4). El axón se halla envuelto por una vaina de mielina, que producen las células de Schwann cercanas. Por lo general las ramas del axón de una motoneurona se extienden en varias fibras musculares. En el punto de contacto entre la motoneurona y la fibra muscular, llamado unión neuromuscular, las terminales axónicas se expanden en un conjunto de bulbos terminales sinápticos.

En el tejido muscular hay abundantes vasos sanguíneos microscópicos, denominados capilares; cada fibra muscular tiene contacto estrecho con uno o más de ellos (Fig. 8.4). Los capilares aportan oxígeno y nutrientes, además de eliminar el calor y los productos de desechos del metabolismo muscular. Las fibras musculares sintetizan y usan cantidades significativas de adenosintrifosfato (ATP), en particular durante las contracciones; las reacciones químicas correspondientes precisan oxígeno, glucosa, ácidos grasos y otras sustancias que aporta la sangre.

Porciones de los músculos

En general, las porciones fundamentales de los músculos esqueléticos son el vientre y los extremos (Fig. 8.5).

El vientre o cuerpo muscular es la parte carnosa que se contrae activamente. Los extremos corresponden a

la parte fija o de inserción de los músculos. Al extremo proximal (en relación con el plano medio del cuerpo) se le denomina cabeza o inserción de origen, y al extremo distal se le llama cola o inserción terminal.

Generalmente los extremos están constituidos por los tendones, que son estructuras formadas de tejido conectivo, de color blanco brillante, mediante los cuales los músculos se insertan a las estructuras correspondientes.

La mayoría de los músculos esqueléticos se insertan en los huesos, pero también lo hacen en los cartílagos (laríngeos), piel (cutáneos), mucosa (linguales) y tejido fibroso (oculares).

Los tendones anchos y delgados reciben el nombre de aponeurosis y algunos tendones no se encuentran en los extremos, sino dividiendo la parte carnosa en dos o tres vientres, por lo que se les conocen como intersecciones musculares.

Cuando un músculo se contrae uno de sus extremos permanece fijo y el otro se mueve. Habitualmente las cabezas de los músculos son los puntos fijos y las colas los puntos móviles, aunque a veces ocurre lo contrario, por lo tanto el punto móvil de un músculo puede ser uno u otro extremo alternativamente.

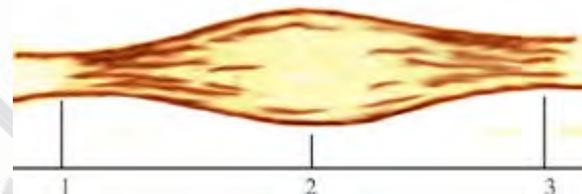


Fig. 8.5. Porciones de un músculo esquelético: 1 y 3. Extremos o tendones; 2. Vientre muscular.

Elementos auxiliares de los músculos

Entre los elementos auxiliares de los músculos se destacan los siguientes:

- Las fascias: son membranas de tejido conectivo fibroso compacto que envuelven a los músculos.



Fig. 8.4. Vasos sanguíneos y nervios del tejido muscular estriado esquelético.

- Las vainas fibrosas de los tendones: son condensaciones de las fascias por donde pasan los tendones de los músculos.
- Las vainas sinoviales: tapizan internamente a las vainas fibrosas, facilitando el deslizamiento de los tendones.
- Las bolsas sinoviales: son prolongaciones de la membrana sinovial en forma de saco, situadas cerca de las articulaciones, que también favorecen el deslizamiento de los tendones.
- Los huesos sesamoideos son huesos cortos, generalmente de pequeño tamaño, que están incluidos en el espesor de los tendones cerca de sus inserciones, reforzando de esta manera la acción muscular y aumentando su fuerza.

Leyes de distribución de los músculos

Las leyes de distribución de los músculos en el cuerpo más destacadas son las siguientes:

- Los músculos son pares o tienen dos mitades simétricas, de acuerdo con la simetría bilateral del cuerpo.
- Algunos músculos del tronco son segmentarios, en correspondencia con la estructura segmentaria de esta región.
- Los músculos se extienden en línea recta, que es la distancia mínima entre los dos puntos de inserción.
- Los músculos se disponen perpendicularmente al eje de movimiento de la articulación sobre la cual actúan.

Acción muscular

La acción muscular es un tipo particular de movimiento provocado por un músculo al contraerse y tirar de la estructura donde se encuentra insertado.

En el organismo estos movimientos de los huesos se realizan en las articulaciones y son provocados por músculos aislados o grupos musculares que se disponen convenientemente entre los huesos que componen la articulación.

De acuerdo con su acción, los músculos pueden ser:

- Agonistas: provocan la acción deseada.
- Antagonistas: realizan un efecto opuesto sobre el hueso y tienen que relajarse para permitir que se efectúe el movimiento deseado.
- Sinergistas: son los que cooperan en la acción de otro músculo, fijando la articulación para proporcionar la base estable a partir de la cual se efectúa el movimiento o para eliminar los movimientos indeseados.

Según el tipo de movimiento que realizan los huesos alrededor de los ejes fundamentales del cuerpo provocados por la acción muscular, se pueden distinguir distintos tipos de músculos que actúan como antagonistas entre sí:

- Flexores-extensores: disminuyen o aumentan el ángulo entre los dos huesos que se mueven.
- Abductores-aductores (separadores-aproximadores): separan o aproximan los huesos del plano medio del cuerpo o de una región determinada.
- Elevadores-depresores: realizan los movimientos de ascenso (hacia arriba) y descenso (hacia abajo).

- Rotadores (mediales-laterales o hacia la derecha-hacia la izquierda): giran el hueso alrededor de su eje longitudinal. Los primeros provocan los movimientos en el esqueleto apendicular y los otros en el esqueleto axial.
- Supinadores-pronadores: son rotadores que giran la palma de la mano hacia delante o hacia atrás.

Clasificación y nomenclatura de los músculos

Los músculos esqueléticos se pueden clasificar de diversas maneras (Fig. 8.6), teniendo en cuenta distintos factores, por lo cual los nombres que reciben son muy variados:

- Por su forma, sobre la base de las 3 dimensiones fundamentales que todo cuerpo tiene en el espacio: largo, ancho y corto.
- Por el parecido de su forma con alguna figura geométrica u objeto conocido: triangular: cuadrado, romboide, trapecio, piramidal, redondo, serrato, etcétera.
- Por el número de cabezas o inserciones de origen: bíceps, tríceps y cuadríceps.
- Por el número de colas o inserciones terminales: bicaudal, tricaudal y policaudal.
- Por el número de vientres: digástrico y poligástrico.
- Por el número de articulaciones que sobrepasa: monoarticular, biarticular y poliarticular.
- Por la dirección de sus fibras en relación con el cuerpo: recto, oblicuo, transverso y orbicular (circular).
- Por la disposición de sus fibras con sus tendones, que recuerdan la forma de una pluma: peniforme, semipeniforme.
- Por su localización: superficial-profundo, lateral-medial, externo-interno.
- Por la acción muscular que realizan: agonistas, antagonistas y sinérgicos.
- Por el tipo de movimiento que provocan en los huesos y que se realizan alrededor de los ejes fundamentales de las articulaciones: flexores-extensores, abductores-aductores, rotadores, etcétera.
- Por las regiones del cuerpo donde se encuentran. Esta es la clasificación que se utiliza generalmente para estudiar los distintos grupos musculares que existen en el cuerpo humano:
 - En el esqueleto axial: cabeza, cuello y tronco (dorso, tórax, abdomen y periné).
 - En los miembros superiores: cinturón, brazo, antebrazo y mano.
 - En los miembros inferiores: cinturón, muslo, pierna y pie.

Exploración muscular

Para estudiar la acción de un músculo se utilizan diversos métodos de exploración, siendo los más importantes los siguientes:

- Método anatómico o de disección: es de gran ayuda en el estudio de los músculos situados profundamente, teniendo en cuenta sus inserciones y tirando directamente del mismo para determinar su acción.
- Método de inspección y palpación: se emplea frecuentemente por el médico, al realizar el examen físico de los pacientes para estudiar los músculos superficiales.

- Método clínico: en el estudio que se realiza en los enfermos que padecen de parálisis muscular, ya sea por trastornos del sistema nervioso central o por lesiones nerviosas periféricas.
- Métodos especiales de laboratorio: con la utilización de equipos diseñados especialmente para estudiar determinadas propiedades de los músculos. Por ejemplo: el electromiógrafo, que registra en una gráfica las corrientes eléctricas producidas por la contracción muscular, el ergógrafo y el dinamómetro, que estudian el trabajo muscular.

Al estudiar los músculos individualmente es de gran ayuda seguir un orden lógico, para facilitar la comprensión de los aspectos más importantes de estos órganos:

- El nombre: es muy variado y por lo general está relacionado con la característica más destacada del músculo.

- La situación en el cuerpo: para determinar en que región se localiza.
- La extensión: permite distinguir entre qué huesos se encuentra o aún mejor, entre qué porciones óseas se extiende, aclarando por qué lado de la articulación pasa, lo cual es de gran importancia para comprender su acción.
- La inserción de origen y la inserción terminal: para precisar en qué detalles anatómicos se fijan sus extremos. Esto ayuda a comprender con más exactitud el movimiento que provoca en el hueso. La acción es el tipo particular de movimiento que se realiza cuando el músculo tira de la inserción, moviendo los huesos alrededor de los ejes que pasan por la articulación.
- La inervación: es un aspecto de gran importancia debido a la estrecha relación que existe entre los músculos y el sistema nervioso central, siendo este último el sistema orgánico que rige la actividad muscular.

Anatomía microscópica de una fibra muscular

Durante el desarrollo embrionario, cada fibra muscular es resultado de la fusión de 100 o más células mesodérmicas pequeñas, los mioblastos (Fig. 8.7 A). Por lo tanto, la fibra muscular madura posee un centenar de núcleos o más; una vez producida la fusión pierde su capacidad para la división celular. De esta manera, el número de fibras musculares queda establecido antes del nacimiento y la mayoría de ellas duran toda la vida. El notable crecimiento muscular posterior al nacimiento se logra principalmente por engrandecimiento de las fibras existentes. Unos cuantos mioblastos persisten en los músculos maduros como células satélite (mio-sateliocito), que conservan la capacidad de fusionarse entre sí o con las fibras musculares dañadas para regenerarlas. Las fibras musculares maduras se encuentran en disposición paralela una respecto de la otra y su diámetro es de 10 a 100 μm . Aunque comúnmente su longitud es de 100 mm, algunas tienen hasta 30 cm de longitud.

Sarcolema, túbulos T y sarcoplasma

Los múltiples núcleos de una fibra muscular se localizan justo bajo el sarcolema, que es la membrana plasmática de la fibra (Fig. 8.7 B). Miles de pequeñas invaginaciones del sarcolema, los túbulos transversos (túbulos T) excavan túneles desde la superficie hasta el centro de cada fibra muscular (Fig. 8.7 C). Los túbulos están abiertos al exterior de la fibra y se llenan de líquido extracelular. Los potenciales de acción muscular se propagan por el sarcolema y los túbulos T, con lo que se diseminan rápidamente en la fibra muscular. Esta estructura garantiza que el potencial de acción excite todas las partes de la fibra casi simultáneamente.

El sarcolema limita el sarcoplasma, que es el citoplasma de la fibra muscular. El sarcoplasma incluye cantidades considerables de glucógeno, que se pueden degradar en glucosa para su uso en la síntesis de ATP. Además, el sarcoplasma contiene mioglobina, proteína

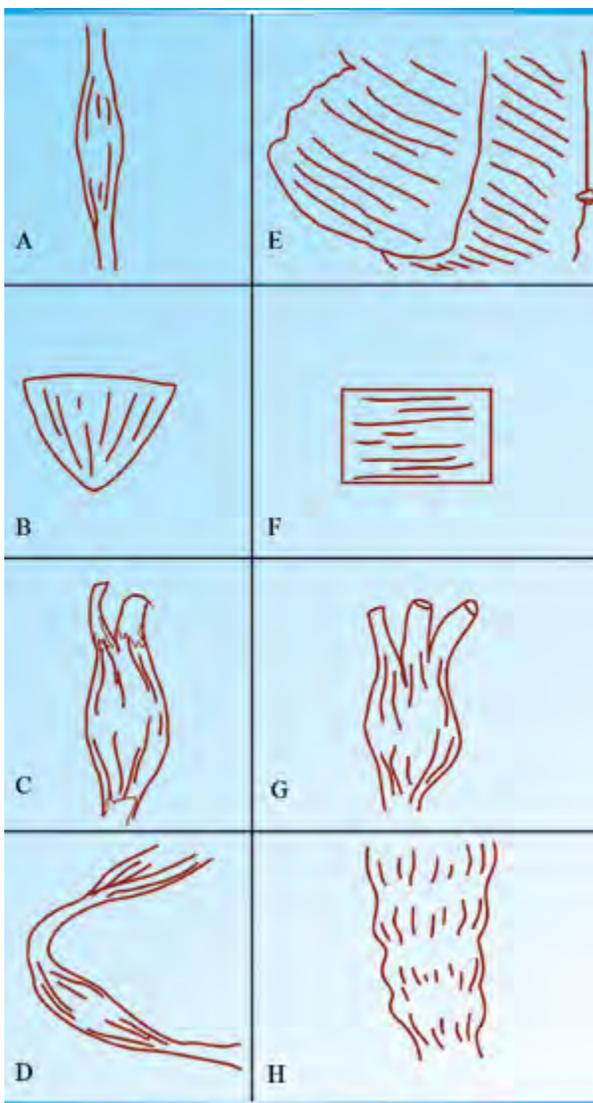


Fig. 8.6. Tipos de músculos esqueléticos: A. Largo. B. Ancho. C. Triangular. D. Cuadrado. E. Bíceps. F. Tríceps; G. Digástrico. H. Poligástrico.

de color rojo fijadora de oxígeno que se encuentra sólo en las fibras musculares y se une a las moléculas de oxígeno, necesaria para la producción de ATP en las mitocondrias. Estas se distribuyen en filas a través de fibra muscular, de tal manera que se hallan estratégicamente cercanas a las proteínas musculares que usan ATP durante la contracción.

Miofibrillas y retículo sarcoplásmico

Cuando se observa con ampliación considerable el sarcoplasma, parece que estuviera lleno de estructuras filamentosas. Estas estructuras diminutas son las partes contráctiles de los músculos: las miofibrillas (Fig. 8.7 B). Tienen casi 2 μm de diámetro y se extienden a todo lo largo de la fibra muscular. Sus estrías prominentes confieren a la fibra muscular su aspecto acanalado.

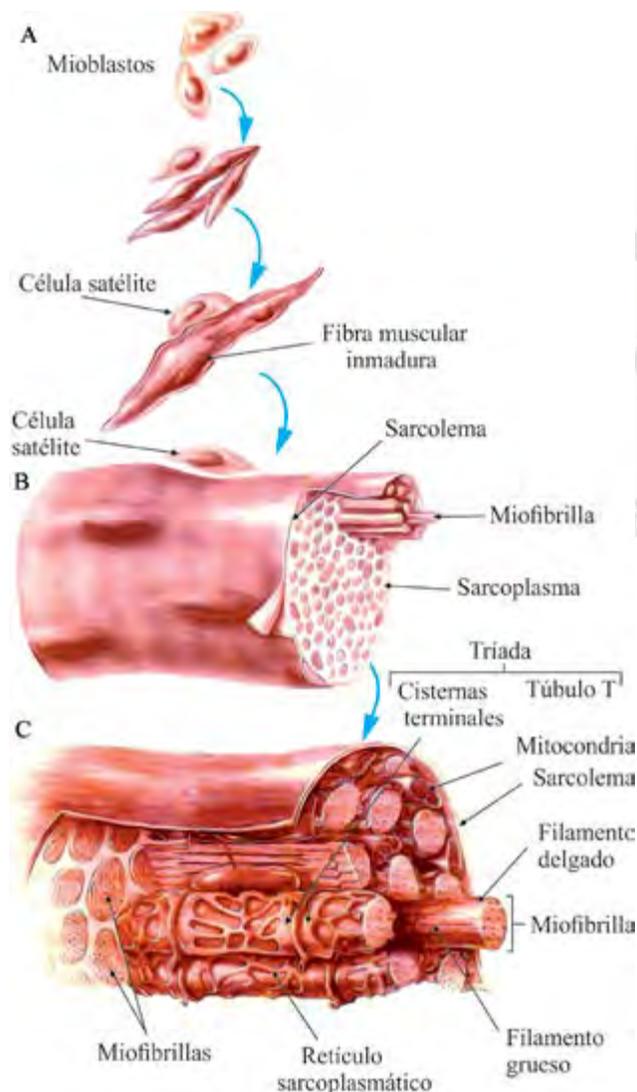


Fig. 8.7. Anatomía microscópica de una fibra muscular: A. Fusión de mioblastos en la fibra muscular; B. Fibra muscular; C. Varias miofibrillas.

Un sistema de numerosos sacos llenos de líquido —el retículo sarcoplásmico (RS)—, envuelve cada miofibrilla (Fig. 8.7 C). Este complejo sistema de sacos es similar al retículo endoplásmico liso de las células no musculares. Los sacos dilatados de los extremos del retículo se denominan cisternas terminales y están en contacto con los túbulos T en ambos lados. Un túbulo transverso y las dos cisternas terminales adyacentes forman una tríada. En la fibra muscular relajada, el retículo sarcoplásmico almacena iones calcio (Ca^{2+}), que al ser liberados de las cisternas terminales del retículo sarcoplásmico desencadenan la contracción muscular.

Filamentos y sarcómera

Dentro de las miofibrillas hay 2 tipos de estructuras más pequeñas: los filamentos, de apenas 1 a 2 μm de longitud (Fig. 8.7 C). El diámetro de los filamentos delgados es de apenas 8 nm y el de los filamentos gruesos de unos 16 nm; ninguno de los dos se extiende a lo largo de toda la fibra muscular, sino que están dispuestos en compartimientos que reciben el nombre de sarcómeras, que son las unidades funcionales básicas de las miofibrillas (Fig. 8.8 A). Estas se encuentran separadas, unas de otras, en regiones angostas de material denso, a manera de placas, por los discos Z.

Los filamentos gruesos y delgados se superponen en mayor o menor medida, según el estado del músculo: en contracción, relajado o estirado. El aspecto de su superposición, que conforma diversas zonas y bandas (Fig. 8.8 B) da origen a las estrías que se observan en el nivel de las miofibrillas y de las fibras musculares. La porción intermedia más oscura de la sarcómera es la banda A, que se extiende a todo lo largo de los filamentos gruesos (Fig. 8.8 B). Hacia el extremo de cada banda A, está la zona de traslape, donde los filamentos gruesos y delgados se superponen uno con otro. En esta zona, 6 filamentos finos rodean a cada filamento grueso y 3 de estos, a cada filamento delgado. En general existen 2 filamentos delgados por cada grueso. La banda I constituye un área menos densa y de color más claro que contiene el resto de de los filamentos finos, sin incluir gruesos (Fig. 8.8 B). Un disco Z pasa por el centro de cada banda I. Una angosta zona H situada en el centro de cada banda A posee filamentos gruesos, pero no delgados. En medio de cada zona H, proteínas de sostén mantienen unidos a los filamentos gruesos en la llamada línea M, cuyo nombre se debe a que se encuentra en la parte media o central de la sarcómera. En la figura 8.1 se muestra una microfotografía electrónica de transmisión que ilustra las relaciones entre las zonas, bandas y líneas.

Proteínas musculares

Las miofibrillas están formadas por 3 tipos de proteínas:

1. Las contráctiles, que generan la fuerza durante las contracciones.
2. Las reguladoras, que ayudan a activar y desactivar el proceso de contracción.

3. Las proteínas estructurales, que mantienen los filamentos gruesos y delgados en alineación correcta, confieren elasticidad y extensibilidad a las miofibrillas y conectan estas con el sarcolema y la matriz extracelular.

Las dos proteínas contráctiles de los músculos son la miosina y actina, o sea, los componentes principales de los filamentos gruesos y delgados respectivamente. La miosina funge como proteína motora en los 3 tipos de tejido muscular. Las proteínas motoras tiran o empujan otras estructuras para generar los movimientos mediante la conversión de la energía química del ATP en energía cinética (de movimiento) o producción de fuerza. Cada filamento grueso consta de 300 moléculas de miosina, conformadas a la manera de dos palos de golf enrollados entre sí (Fig. 8.9 A). La cola de miosina (que correspondería al mango del palo de golf) apunta hacia la línea M del centro de la sarcómera. Las colas de las moléculas de miosina adyacentes están dispuestas en paralelo y forman el cuerpo del filamento grueso. Las dos proyecciones de cada molécula de miosina (la paleta del palo de golf) se denominan cabezas de miosina o puentes cruzados. Las cabezas se proyectan hacia fuera de su eje, en forma espiral, cada una extendida hacia uno de los seis filamentos delgados que rodean al filamento grueso.

Los filamentos delgados se extienden desde los puntos de anclaje en los discos Z (Fig. 8.8 B). Su componente principal es la proteína actina, cuyas moléculas se unen para formar un filamento, retorcido a manera de hélice (Fig. 8.9 B). En cada una de estas

moléculas hay un sitio de unión de miosina donde puede insertarse una cabeza de esta proteína. Cantidades menores de dos proteínas reguladoras —tropomiosina y troponina—, también forman parte del filamento fino. En los músculos relajados la miosina no puede unirse a la actina, porque la tropomiosina bloquea el sitio de inserción. A su vez, el filamento de tropomiosina se mantiene en su sitio gracias a la troponina.

Además de proteínas contráctiles y reguladoras, los músculos poseen más de una docena de proteínas estructurales, que contribuyen a la alineación, estabilidad, elasticidad y extensibilidad de las miofibrillas. Algunas proteínas claves son: la titina, miomesina, nebulina y distrofina. La titina es la tercera proteína más abundante en los músculos esqueléticos (Fig. 8.8 B)

Contracción y relajación de las fibras musculares

Al examinar las primeras microfotografías electrónicas de fibras musculares realizadas en la década de 1950, sorprendió ver que la longitud de los filamentos gruesos y delgados era la misma en los músculos relajados y contraídos. Se pensaba que la contracción muscular era un proceso de estructuras plegables, muy semejantes al funcionamiento de un acordeón. Sin embargo, se descubrió que los músculos se acortan durante la contracción debido a que los filamentos gruesos y delgados se deslizan unos respecto de otros. El modelo que describe la contracción muscular se conoce como mecanismo de deslizamiento de filamentos.

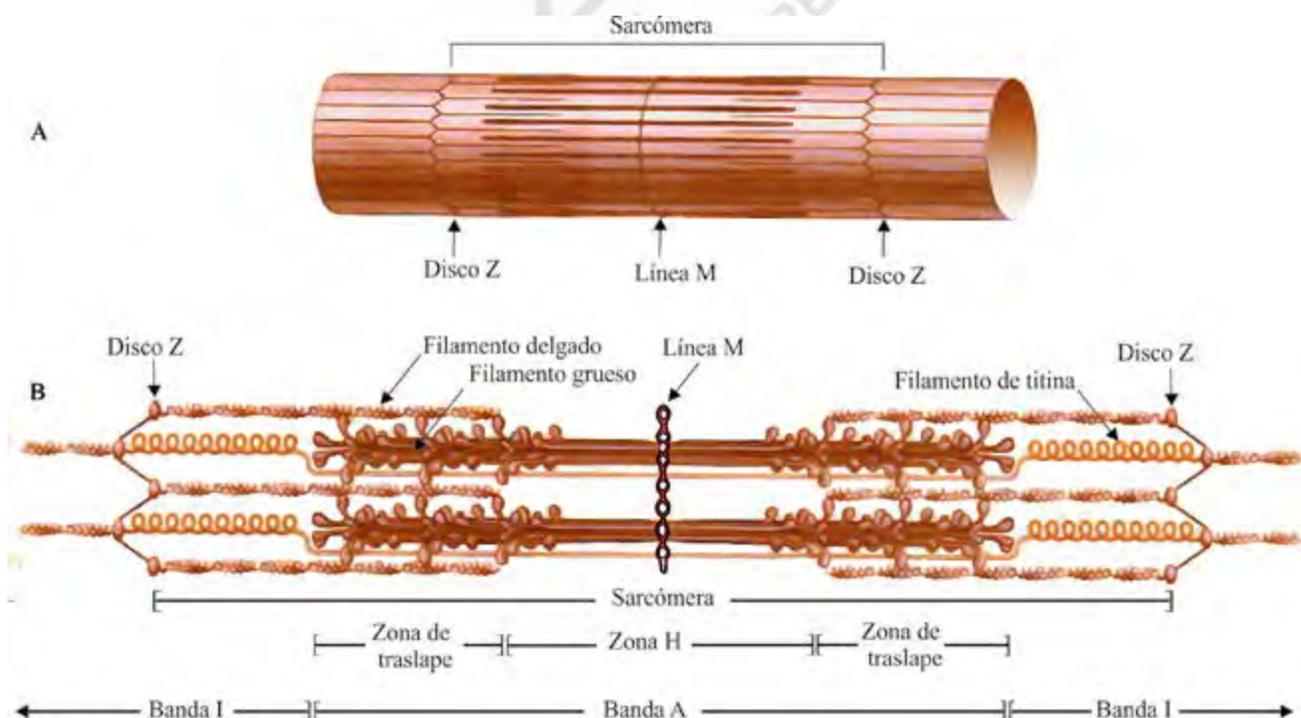


Fig. 8.8. Disposición de los filamentos en una sarcómera. Esta se extiende de un disco Z al siguiente: A. Miofibrilla; B. Filamentos.

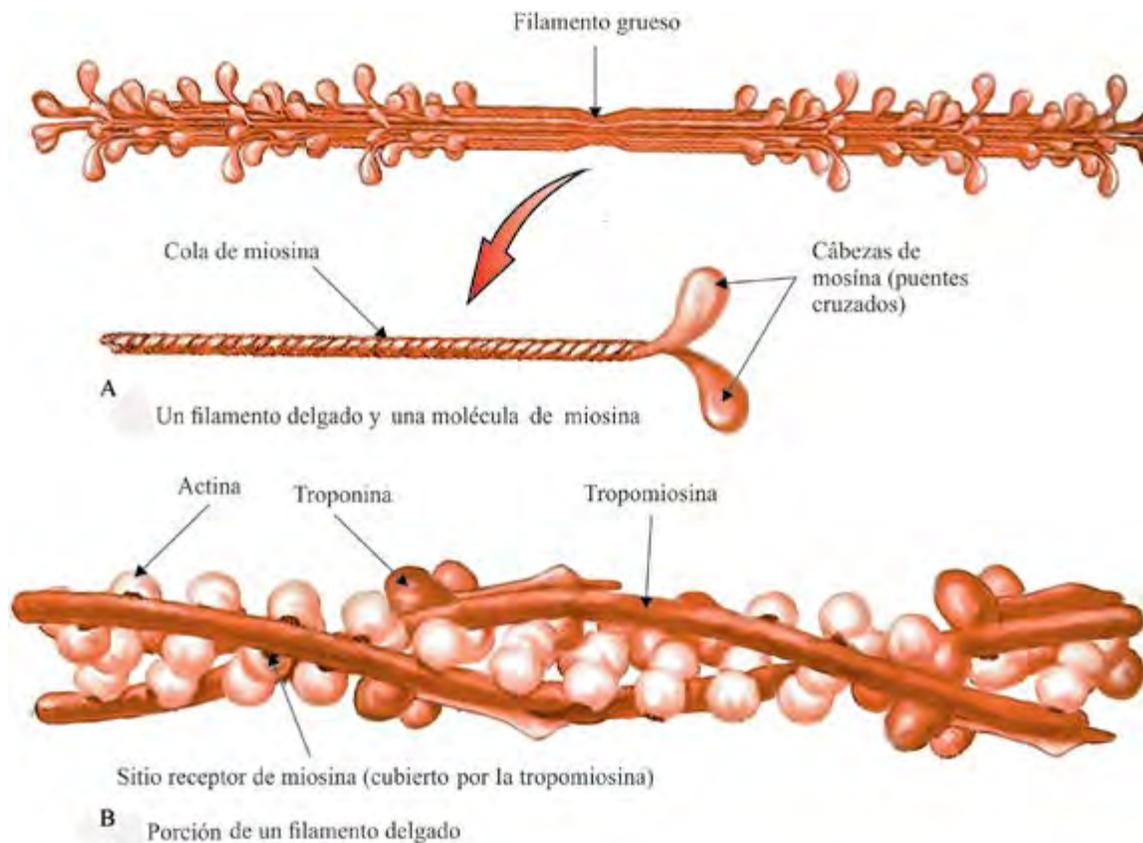


Fig. 8.9. Proteínas moleculares.

Mecanismo de deslizamiento de filamentos

La contracción muscular ocurre porque las cabezas de miosina se insertan en los filamentos delgados de ambos extremos de la sarcómera y caminan sobre ellos, tirando progresivamente de los filamentos delgados hacia la línea M. Como resultado de ello, los filamentos delgados se deslizan hacia adentro hasta juntarse en el centro de la sarcómera. Su movimiento puede llegar a tal punto, que incluso se superponen a extremos en el centro (Fig. 8.10). Al ocurrir este deslizamiento, los discos Z se acercan y la sarcómera se acorta. Sin embargo la longitud de los filamentos delgados individuales permanece sin cambio. El acortamiento de las sarcómeras produce el de la fibra muscular y en última instancia, del músculo en su totalidad.

Ciclo de contracción

Cuando se inicia la contracción, el retículo sarcoplásmico libera iones calcio (Ca^{2+}) los cuales se enlazan a la troponina y hacen que los complejos troponina-tropomiosina se alejen de los sitios donde la miosina se une a la actina. Una vez libres estos sitios, se inicia el ciclo de contracción, o sea, la secuencia repetida de fenómenos que da lugar al deslizamiento de los filamentos. El ciclo de contracción consta de 4 pasos (Fig. 8.11):

1. Hidrólisis del ATP: la cabeza de miosina contiene una bolsa de unión con el ATP y una adenosintrifosfatasa (ATPasa), enzima que hidroliza el ATP en ADP y un

grupo fosfato. Esta relación de hidrólisis le confiere energía a la cabeza de miosina. Nótese que los productos de la hidrólisis del ATP-ADP y un grupo fosfato todavía se hallan unidos a la cabeza de miosina.

2. Fijación de la miosina en la actina para formar puentes cruzados: la cabeza de miosina energizada se enlaza a sus sitios de unión en la actina y luego libera el grupo de fosfato previamente hidrolizado.
3. Fase de deslizamiento: la liberación del grupo fosfato desencadena la fase de deslizamiento de la contracción. Durante ella, se abre la bolsa de la cabeza de miosina que todavía contiene el ADP y la hace girar y libera el adenosindifosfato. Al girar la cabeza de miosina genera fuerza hacia el centro de la sarcómera, con lo cual se desliza el filamento delgado sobre el grueso hacia la línea M.
4. Desacoplamiento de la miosina y la actina: al término de la fase de deslizamiento, la cabeza de miosina permanece firmemente unida a la actina, hasta que se enlaza con otra molécula de ATP, la cual se adhiere a la bolsa de unión con el ATP de la cabeza de miosina, así esta se separa de la actina.

El ciclo de contracción se repite cuando la ATPasa de la miosina hidroliza de nuevo al ATP. Esta reacción reorienta la cabeza de miosina y transfiere energía del ATP a dicha cabeza, que de nuevo está lista para combinarse con otro sitio receptor de miosina en un punto más distal del filamento delgado. El ciclo de contracción se repite una y otra vez, siempre y cuando haya ATP

disponible y los valores de Ca^{2+} cerca del filamento delgado sean suficientemente altos. Las cabezas de miosina continúan girando hacia atrás y hacia delante con cada fase de deslizamiento y tiran de los filamentos delgados en sentido de la línea M. Cada una de las 600 cabezas de miosina de un solo filamento grueso se une y separa, aproximadamente, cinco veces por segundo. En un momento dado, algunas cabezas están unidas a la actina y generan fuerza, mientras que otras se han separado y están disponibles para unirse de nuevo. La contracción es semejante a la carrera sobre una banda sin fin no motorizada: un pie (la cabeza de miosina) hace contacto con la banda (filamento delgado) y la empuja hacia atrás (en dirección a la línea M); luego el otro pie baja y le da un segundo empujón a la banda; esta (filamento delgado) se mueve de manera uniforme mientras el corredor (filamento grueso) permanece en el mismo sitio. Cada cabeza de miosina "camina" progresivamente sobre el filamento delgado, acercándose al disco Z con cada "paso", mientras el filamento delgado se mueve hacia la línea M. A semejanza de las piernas de un corredor, las cabezas de miosina necesitan el aporte constante de energía, una molécula de ATP por cada ciclo de contracción.

Este movimiento continuo de las cabezas de miosina aplica la fuerza que acerca entre sí a los discos Z, con lo que se acorta la sarcómera. De esta manera se contraen las miofibrillas y se acorta la fibra muscular. Durante la contracción muscular máxima, la distancia entre los discos Z puede disminuir hasta casi la mitad de la que hay en reposo. Si embargo, la fase de deslizamiento no siempre produce acortamiento de todas las fibras de un músculo. En las contracciones isométricas, las cabezas de miosina giran y generan tensión, si bien los filamentos delgados no se deslizan porque la tensión producida no basta para vencer la resistencia.

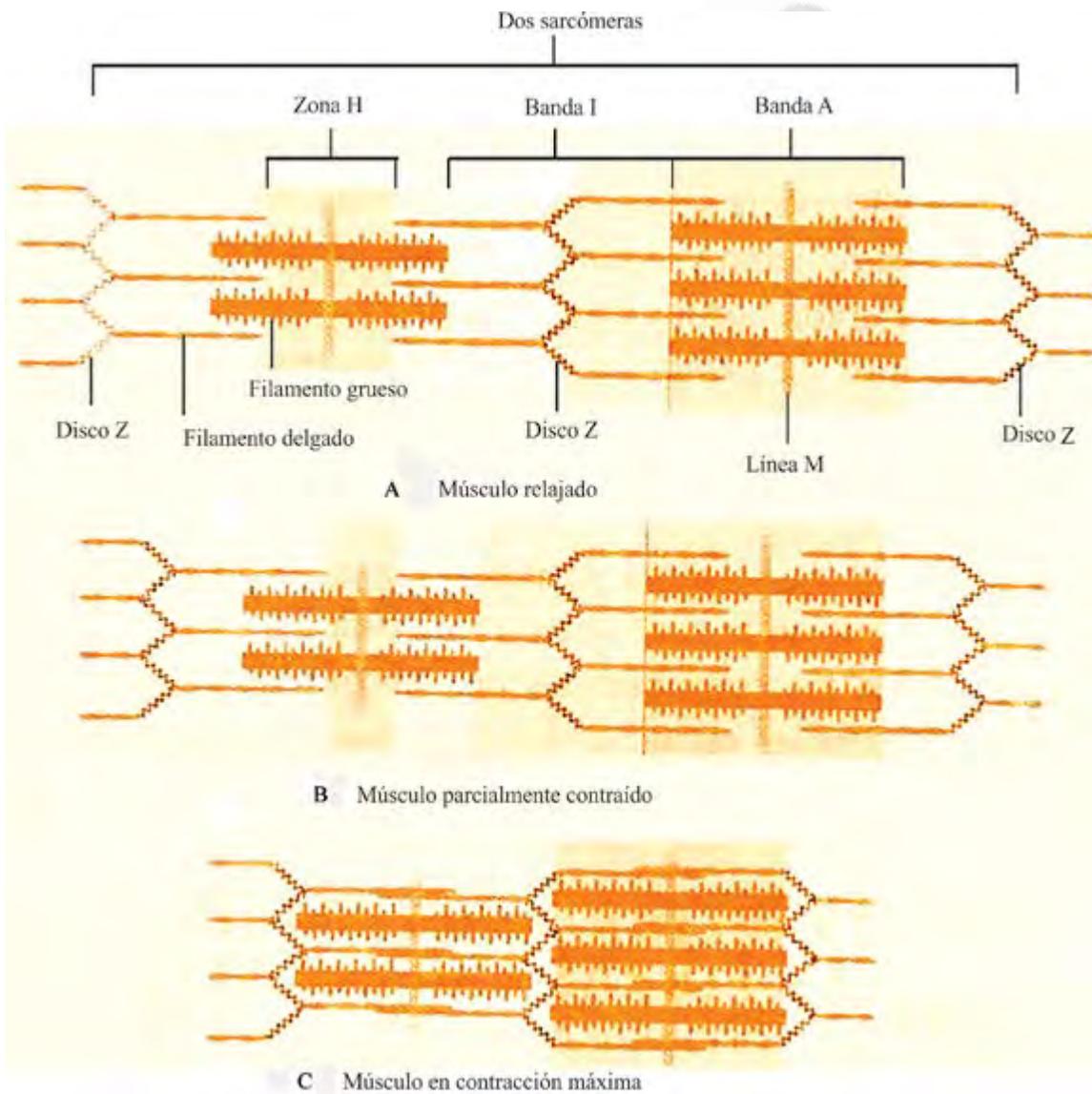


Fig. 8.10. Mecanismo de deslizamiento de los filamentos.

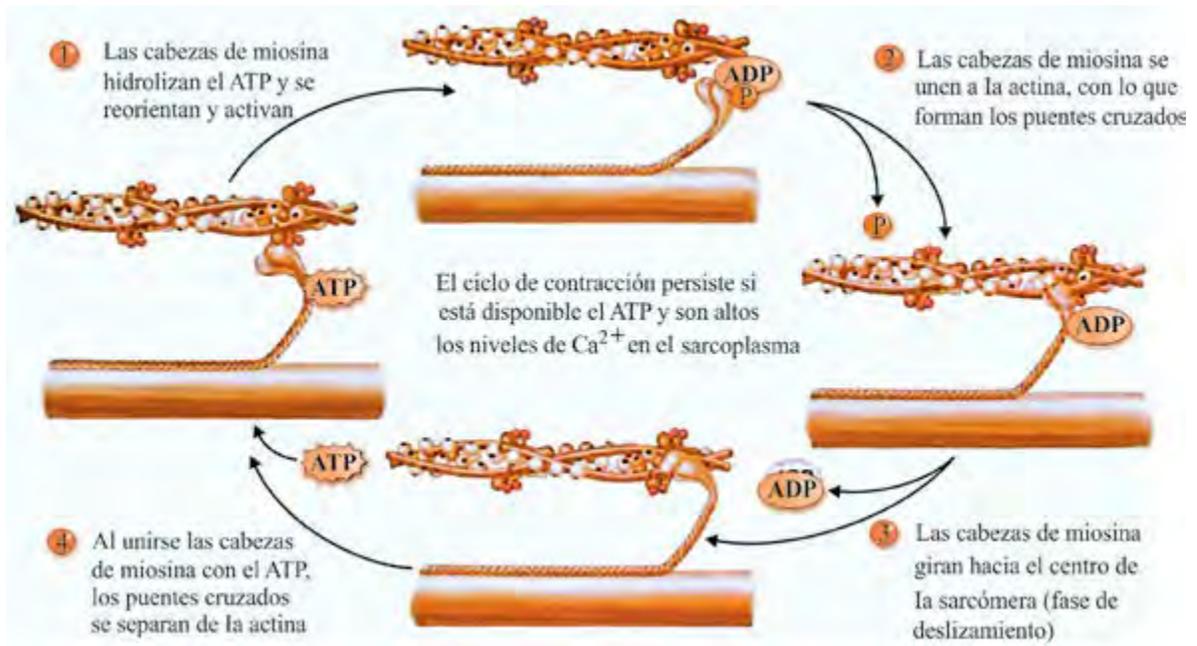


Fig. 8.11. Ciclo de contracción.

Acoplamiento de excitación-contracción

El aumento de la concentración de Ca^{2+} en el citosol inicia la contracción muscular, mientras que su disminución la interrumpe. Cuando las fibras musculares están relajadas, la concentración de Ca^{2+} en citosol es muy

baja, apenas 0,1mmol/L. Sin embargo, se almacenan enormes cantidades de iones calcio en el retículo sarcoplásmico (Fig. 8.12 A). Al propagarse el potencial de acción muscular a través del sarcolema a los túbulos T, se abren los canales de liberación de Ca^{2+} en la membrana del retículo sarcoplásmico (Fig. 8.12 B), y permite

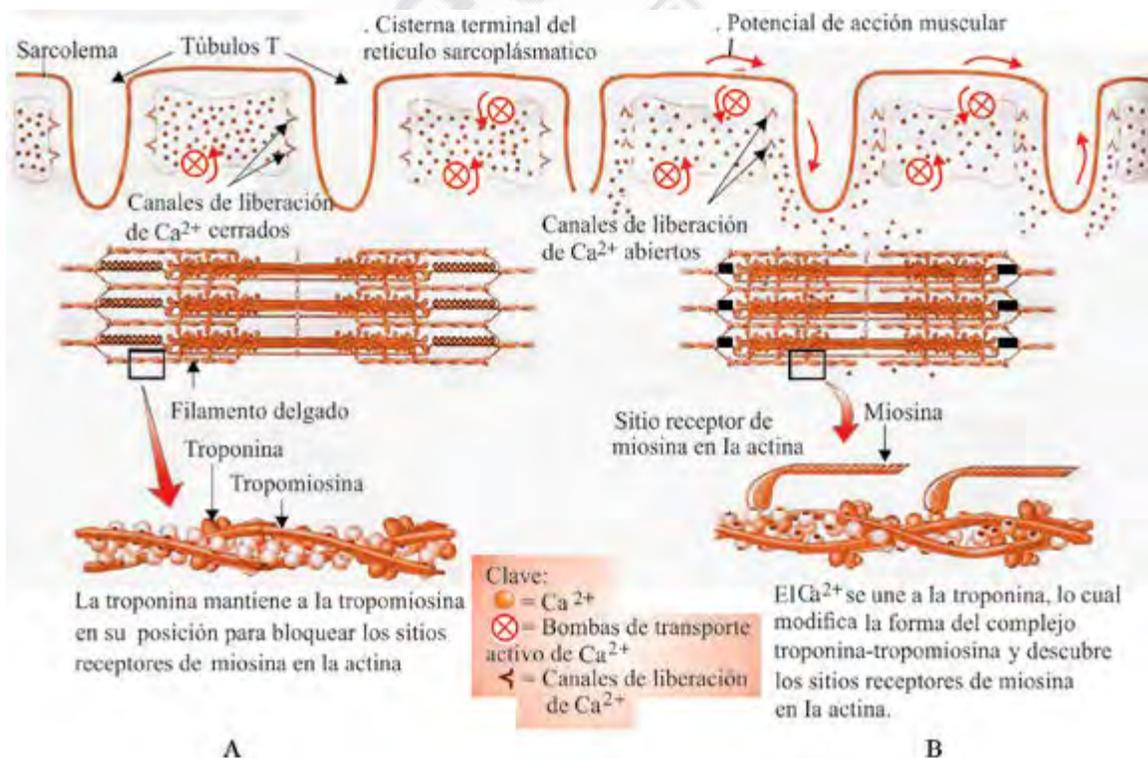


Fig. 8.12. Acoplamiento de excitación-contracción: A. Relajación; B. Contracción.

que los iones se difundan a través de dicha membrana. Como resultado, los Ca^{2+} salen del retículo al citosol, alrededor de los filamentos gruesos y delgados y la concentración de Ca^{2+} en el citosol aumenta 10 veces o más. Los iones calcio liberados se combinan con la troponina y hacen que modifique su forma. Este cambio de conformación ocasiona que el complejo troponina-tropomiosina se aleje de los sitios de unión de miosina en la actina. Una vez que se quedan libres estos sitios, la cabeza de miosina se une a ellos, con lo cual dan inicio al ciclo de contracción. Los fenómenos descritos en líneas precedentes constituyen lo que se denomina acoplamiento de excitación-contracción, es decir, los pasos que se relacionan: la excitación (manera en que se propaga el potencial de acción muscular por los túbulos T) con la contracción de las fibras musculares.

La membrana del retículo sarcoplásmico también contiene bombas de transporte activo de Ca^{2+} que hidrolizan el ATP al desplazar en forma continua los iones calcio del citosol al retículo sarcoplásmico (Fig. 8.12 B). Mientras se mantiene la propagación de los potenciales de acción muscular por los túbulos T, los canales de liberación de Ca^{2+} permanecen abiertos y los iones se difunden hacia el citosol con mayor rapidez que si fueran transportados de regreso por las bombas. Después de que se propaga el último potencial de acción por los túbulos T, se cierran los canales de liberación de Ca^{2+} . Conforme las bombas transportan los iones calcio al retículo sarcoplásmico, disminuye rápidamente su concentración en el citosol. Dentro del retículo hay moléculas de una proteína fijadora de calcio, la calsecuestrina, que se une a los Ca^{2+} , con lo cual se incrementa la cantidad de estos iones que puede regresar al retículo sarcoplásmico. Como resultado de todo ello, la concentración de Ca^{2+} en el retículo de una fibra muscular relajada es 10 000 veces mayor que la citosólica. Al disminuir la concentración de Ca^{2+} , los complejos de troponina-tropomiosina se deslizan de nuevo a sus lugares originales y cubren los sitios de unión de miosina, y de esta manera la fibra muscular se relaja.

Relación entre longitud y tensión

En la figura 8.13 se muestra el efecto de la longitud del sarcómero y de la superposición de los filamentos de miosina-actina sobre la tensión activa desarrollada por una fibra muscular en contracción. A la derecha se muestran diferentes grados de superposición de los filamentos de actina y de miosina para diferentes longitudes del sarcómero. En el punto D del diagrama, el filamento de actina se ha distanciado todo lo posible del extremo del filamento de miosina, sin superposición. En este punto, la tensión desarrollada por el músculo activado es cero. Después, según se va acortando el sarcómero y el filamento de actina comienza a superponerse al filamento de miosina, la tensión aumenta progresivamente hasta que la longitud del sarcómero se reduce a unos 2,2 μm . En este punto, el filamento de actina se ha superpuesto a todos los puentes del filamento de miosina, pero todavía no ha alcanzado el centro de este. Al proseguir el acortamiento, el sarcómero mantiene toda la tensión hasta el punto B, con

una longitud de sarcómero de unos 2,0 μm . En este punto, los extremos de los dos filamentos de actina comienzan a superponerse entre sí, además de superponerse a los filamentos de miosina. Cuando la longitud del sarcómero disminuye desde 2 hasta 1,65 μm , en el punto A, la fuerza de la contracción disminuye. En este punto, los dos discos Z del sarcómero se apoyan en los extremos de los filamentos de miosina. Entonces, mientras la contracción procede a acortar todavía más la longitud del sarcómero, los extremos de los filamentos de miosina se pliegan y, tal como se muestra en la figura, la fuerza de la contracción disminuye rápidamente.

En este diagrama se muestra que la contracción máxima se produce cuando existe la máxima superposición entre los filamentos de actina y los puentes de los filamentos de miosina, y apoya la idea de que, cuanto mayor sea el número de puentes que traccionen de los filamentos de actina, mayor será la fuerza de contracción.

En condiciones normales, la longitud de las fibras musculares en reposo se aproxima mucho al valor óptimo, gracias a la inserción firme de los músculos en los huesos (por medio de los tendones) y a otros tejidos inelásticos, de modo que no ocurra estiramiento excesivo.

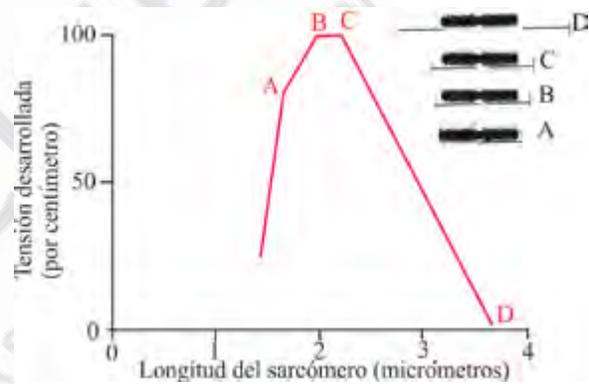


Fig. 8.13. Relación longitud-tensión para una sola sarcómera.

Efecto de la longitud del músculo sobre la fuerza de contracción en el músculo intacto

La curva superior de la figura 8.14 es similar a la de la figura 8.13, pero aquí está representada la totalidad del músculo intacto y no una sola fibra muscular. El músculo completo posee una gran cantidad de tejido conectivo; además, los sarcómeros de las diferentes partes del músculo no se contraen necesariamente al unísono. Por tanto, la curva presenta unas dimensiones algo diferentes de las mostradas para la fibra muscular individual, aunque tiene la misma forma.

Algunos componentes estructurales de los músculos son elásticos y se estiran levemente antes de transferir la tensión que genera el deslizamiento de los filamentos.

Obsérvese en la figura 8.14 que cuando el músculo está en su longitud de reposo normal, lo que corresponde a una longitud de sarcómero de unos 2 μm , se

contrae con la máxima fuerza de contracción. Si el músculo está estirado y adquiere una longitud mucho mayor de lo normal antes de la contracción, se desarrolla una gran cantidad de tensión de reposo o pasiva en este, incluso antes de que se produzca la contracción.

Esta tensión es consecuencia de las fuerzas elásticas. Entre los componentes elásticos, están las moléculas de titina, el tejido conectivo que circunda a las fibras musculares (endomio, perimio y epimio) y los tendones que insertan los músculos en los huesos. Dentro de ciertos límites, cuando más se estiren los componentes elásticos del músculo, tanto mayor será la tensión pasiva. Sin embargo, el aumento de tensión durante la contracción (tensión activa, generada por los componentes contráctiles, es decir, filamentos delgados y gruesos), disminuye cuando el músculo está estirado mucho más allá de su longitud normal, es decir, con una longitud del sarcómero mayor de unos $2,2 \mu\text{m}$. Esto se demuestra por la disminución de la longitud de la flecha en la figura cuando la longitud es mayor de la normal.

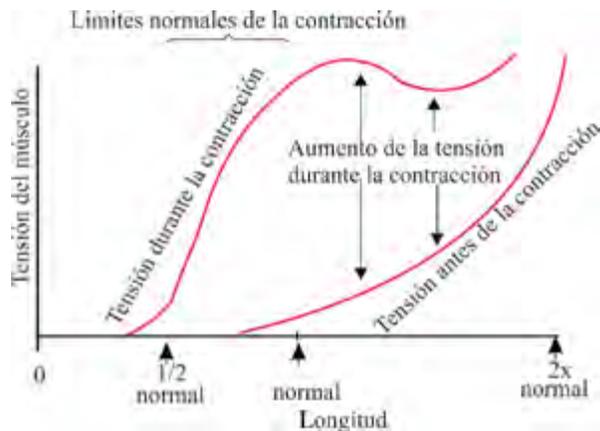


Fig. 8.14. Relación longitud-tensión en el músculo. Relación entre velocidad de contracción y de carga.

Un músculo se contrae con extrema rapidez cuando lo hace en ausencia de carga, hasta un estado de contracción total en 0,1 s aproximadamente para el músculo promedio. Cuando se aplican cargas, la velocidad de contracción se hace progresivamente menor al aumentar aquellas, tal como se muestra en la figura 8.15.

Cuando la carga aumenta hasta igualar la fuerza máxima que el músculo es capaz de ejercer, la velocidad de contracción se iguala a cero y no se produce contracción, a pesar de la activación de la fibra muscular.

Esta disminución de la velocidad con la carga se debe al hecho de que una carga aplicada sobre un músculo contráctil es una fuerza inversa que se opone a la fuerza contráctil producida por la contracción muscular. Por tanto, la fuerza neta disponible para producir la velocidad de movimiento está reducida proporcionalmente.

Contracciones isotónicas e isométricas

A las contracciones que provocan cambios de forma y tensión en el músculo se les denomina contracciones isotónicas y contracciones isométricas, respectivamente (Fig. 8.16).

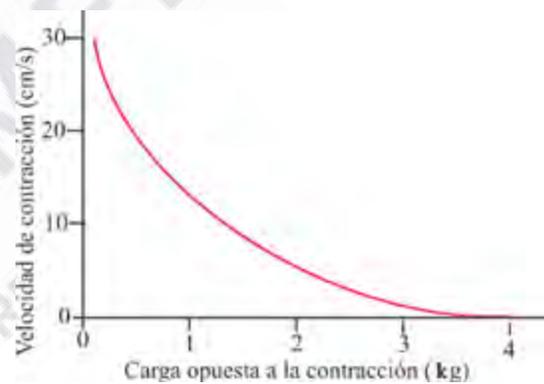


Fig. 8.15. Relación entre carga y velocidad de contracción en un músculo esquelético de 8 cm de longitud.

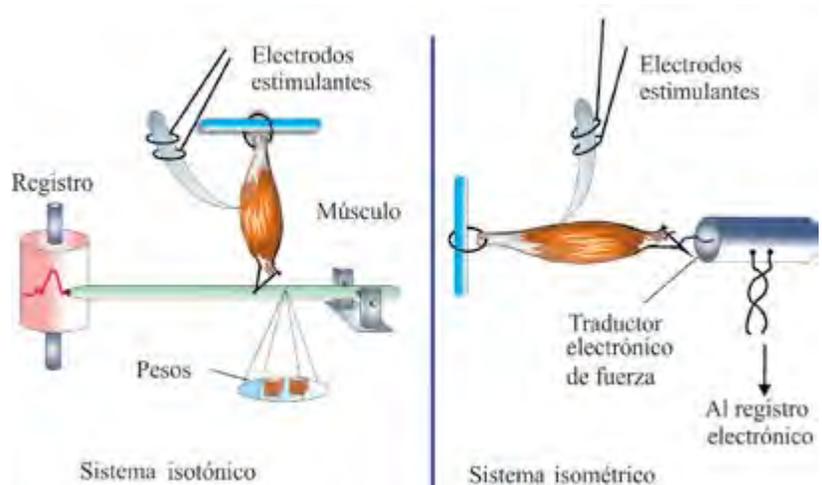


Fig. 8.16. Sistemas de registro isotónico e isométrico.

Si la tensión que se genera es suficiente para superar la resistencia del objeto que se intenta cargar, el músculo se acorta y ocurre el movimiento.

En una contracción isotónica (misma tensión) la tensión que ejerce el músculo permanece casi constante mientras se encoge. Las contracciones isotónicas se usan para los movimientos corporales y para mover objetos. Son de 2 tipos: concéntricas y excéntricas. En una contracción isotónica concéntrica, un músculo se acorta y tira de otra estructura como un tendón, para producir movimiento y reducir el ángulo en una articulación. Tomar un libro del escritorio implica contracciones isotónicas concéntricas del músculo bíceps braquial, en el brazo. Al poner el libro de nuevo sobre el escritorio, el bíceps previamente acortado se alarga poco a poco, mientras continúa en contracción. Cuando aumenta la longitud de un músculo durante una contracción, esta se denomina contracción isotónica excéntrica. Por razones no dilucidadas del todo, las contracciones isotónicas excéntricas repetidas producen más daño muscular de comienzo tardío que las contracciones isotónicas concéntricas.

Las contracciones isométricas (misma medida o longitud) son importantes porque estabilizan ciertas articulaciones al mover las otras. Son importantes para mantener la postura y sostener objetos en una posición fija. Aunque estas contracciones no producen movimientos corporales, sí gastan energía. En las contracciones isométricas se genera tensión considerable sin acortamiento del músculo. Por ejemplo, al sostener inmóvil un libro con el brazo en extensión, el libro tira del brazo hacia abajo, con lo que ejerce tracción en los músculos del hombro y brazo. Las contracciones isométricas de esos músculos contrarrestan el estiramiento, aplicadas en direcciones opuestas, crean la tensión. Muchas actividades incluyen las contracciones isotónicas e isométricas.

Cuando un músculo se contrae contra una carga, realiza un trabajo. Esto significa que se transfiere energía desde el músculo hasta la carga externa, por ejemplo, para levantar un objeto a una altura mayor o para vencer la resistencia al movimiento.

En términos matemáticos, el trabajo está definido por la ecuación:

$$T = C \times D$$

donde T es el trabajo realizado, C es la carga y D es la distancia recorrida contra la carga. La energía requerida para realizar el trabajo deriva de las reacciones químicas que tienen lugar en las células musculares durante la contracción.

Obsérvese que las contracciones isotónicas realizan trabajo, en tanto las contracciones isométricas no lo hacen.

Tipos de fibras musculares

Todo músculo del organismo está compuesto por una mezcla de las denominadas fibras musculares rápidas y lentas, junto con otras fibras graduadas entre estos 2 extremos. Los músculos que reaccionan rápidamente están compuestos, principalmente, por fibras rápidas, con solo un pequeño número de la variedad lenta. Y a la inversa, los músculos que responden con lentitud, pero

con contracción prolongada están compuestos, sobre todo, por fibras lentas. Las diferencias entre estos 2 tipos de fibras son las siguientes:

- Fibras rápidas:
 - Fibras mucho más grandes para una gran fuerza de contracción.
 - Extenso retículo sarcoplásmico para la liberación rápida de iones calcio para iniciar la contracción.
 - Grandes cantidades de enzimas glucolíticas para la liberación rápida de energía mediante el proceso glucolítico.
 - Menor aporte de sangre porque el metabolismo oxidativo tiene menos importancia.
 - Menor número de mitocondrias, también porque el metabolismo oxidativo es secundario.
- Fibras lentas:
 - Fibras más pequeñas.
 - También inervadas por fibras nerviosas más pequeñas.
 - Sistema más amplio de vasos sanguíneos y capilares para proporcionar cantidades extra de oxígeno.
 - Número muy aumentado de mitocondrias, también para soportar niveles elevados de metabolismo oxidativo.
 - Las fibras contienen grandes cantidades de mioglobina, una proteína con hierro similar a la hemoglobina de los eritrocitos. La mioglobina se combina con el oxígeno y lo almacena hasta que es necesario; también acelera mucho el transporte de oxígeno hasta la mitocondria. La mioglobina proporciona al músculo lento un aspecto rojizo y el nombre de músculo rojo, mientras que el déficit de mioglobina roja en el músculo rápido hace que reciba el nombre de músculo blanco.

A partir de estas descripciones se puede observar que las fibras rápidas están adaptadas para contracciones musculares rápidas y poderosas, tales como el salto y la carrera rápida a cortas distancias. Las fibras lentas están adaptadas para la actividad muscular prolongada y continua, tal como el soporte del cuerpo contra la gravedad y las competiciones deportivas prolongadas; por ejemplo, las carreras de maratón.

Fuentes de energía para la contracción muscular

La contracción muscular depende de la energía proporcionada por el ATP. La concentración de este presente en la fibra muscular, es de solo 4 milimolar, aproximadamente, lo que resulta suficiente para mantener una contracción completa durante 1 a 2 s como máximo. Una vez que el ATP se ha desdoblado en ADP, este último es refosforilado para formar nuevo ATP en una fracción de segundo. Para esta refosforilación existen varias fuentes de energía.

La primera fuente de energía utilizada para reconstituir el ATP es la fosfocreatina, portadora de un enlace fosfato de alta energía similar a los de ATP. Sin embargo, la cantidad total de fosfocreatina es también muy pequeña, tan solo unas 5 veces mayor que la de ATP. Por tanto, la energía combinada del ATP almacenado y de la

fosfocreatina del músculo solo es capaz de producir una contracción muscular máxima durante 5 a 8 s.

La siguiente fuente importante de energía —utilizada para reconstituir tanto el ATP como la fosfocreatina— es el glucógeno previamente almacenado en las células musculares. En condiciones anaeróbicas, el glucógeno se degrada a ácido pirúvico y este se reduce a ácido láctico. En condiciones aerobias el ácido pirúvico ingresa al ciclo del ácido cítrico y se metaboliza hasta CO₂ y agua.

La fuente final de energía es el metabolismo oxidativo, es decir, la combinación de oxígeno con los productos de degradación de carbohidratos, grasas y proteínas, que libera ATP.

Para períodos de 2 a 4 h de actividad muscular, hasta la mitad de la energía puede proceder del glucógeno almacenado antes de que se agoten sus reservas. En caso de actividad muscular extremadamente prolongada, durante un periodo de muchas horas, la mayor proporción de energía procede de las grasas.

Consumo de oxígeno después del ejercicio

Durante períodos prolongados de contracción muscular, el aumento del esfuerzo respiratorio y el flujo sanguíneo mejoran el aporte de oxígeno al tejido muscular. Después de que se interrumpen las contracciones, continúa la respiración acelerada durante un lapso y el consumo de oxígeno sigue siendo mayor que el nivel de reposo. De acuerdo con la intensidad del ejercicio, el periodo de recuperación puede ser de unos 4 min o de varias horas. En 1922, A. V. Hill acuñó el término “deuda de oxígeno” para referirse al oxígeno adicional inhalado después del ejercicio en comparación con el inhalado en reposo. Él propuso que este oxígeno adicional se usaba para “pagar deuda”, restaurar las condiciones metabólicas en reposo de 3 maneras:

1. Conversión en el hígado de ácido láctico en glucógeno.
2. Nueva síntesis de creatinfosfato y ATP.
3. Reposición del oxígeno extraído de la mioglobina.

No obstante lo anterior, los cambios metabólicos ocurridos durante el ejercicio explican solo una parte del oxígeno adicional que se consume después del ejercicio. Únicamente una pequeña porción de resíntesis de glucógeno se realiza a partir del ácido láctico. Las reservas de glucógeno se reponen, en especial, con los carbohidratos de los alimentos. Gran parte del ácido láctico que persiste tras el ejercicio se convierte en ácido pirúvico y se utiliza en la producción de ATP por respiración celular aeróbica en el corazón, hígado, riñones y músculos. El consumo de oxígeno luego del ejercicio también aumenta por ciertos cambios en proceso. En primer término el incremento de la temperatura corporal con el ejercicio intenso acelera el ritmo de las reacciones químicas que ocurren en todo el cuerpo. Las reacciones más rápidas consumen ATP con mayor rapidez y se necesita más oxígeno para producir adenosintrifosfato. En segundo lugar el corazón y los músculos que participan en la respiración continúan trabajando más en reposo, con lo que también es mayor su consumo de ATP. En tercer lugar, los procesos de reparación de tejidos se aceleran

por igual. Por todas estas razones, el término captación de oxígeno para recuperación sería más adecuado que deuda de oxígeno para referirse al elevado consumo de oxígeno tras el ejercicio.

Fatiga muscular

Se denomina fatiga muscular a la incapacidad de los músculos para contraerse con fuerza después de su actividad prolongada. La fatiga resulta, principalmente, de cambios en las fibras musculares. Incluso antes de que esta ocurra, la persona puede tener sensación de cansancio y el deseo de interrumpir las actividades que está realizando. Esta respuesta, llamada fatiga central, es un mecanismo protector que induce la interrupción de la actividad física antes de que el daño muscular sea excesivo. Como se comenta más adelante, ciertos tipos de fibras musculares se fatigan con más rapidez que otros. Pese a que no se han dilucidado los mecanismos precisos que causan la fatiga muscular, se piensa que varios factores contribuyen a ella. Uno de importancia es la liberación inadecuada de iones calcio en el retículo sarcoplásmico, lo que produce la caída de las concentraciones de Ca²⁺ en el sarcoplasma. La disminución de las reservas de creatinfosfato también se acompaña de fatiga. Sin embargo, resulta sorprendente que los valores de ATP en los músculos fatigados no suelen ser mucho menores que en los músculos en reposo. Otros que contribuyen al surgimiento de este trastorno son el oxígeno insuficiente, reducción de las reservas de glucógeno y de otros nutrientes, acumulación de ácido láctico y ADP, y que los potenciales de acción en las motoneuronas no liberen acetilcolina suficiente.

Entrenamiento de resistencia y de fuerza

Actividades que se repiten con regularidad, como el trote o los ejercicios aeróbicos, aumentan el aporte de sangre oxigenada a los músculos para la respiración celular aeróbica. En contraste, ejercicios como el levantamiento de pesas se basan más en la producción anaeróbica de ATP mediante glucólisis. Los ejercicios aeróbicos estimulan la síntesis de proteínas musculares y, en consecuencia, con el paso del tiempo, se acompañan de aumento del tamaño muscular (hipertrofia muscular). En consecuencia, el entrenamiento aeróbico aumenta la resistencia para actividades prolongadas, mientras que el anaeróbico incrementa la fuerza muscular para actividades breves. El entrenamiento de intervalos es un régimen de ejercicio que incorpora ambos tipos de entrenamiento, por ejemplo, al alternar la carrera veloz con el trote.

Unión neuromuscular

La contracción de una fibra muscular ocurre en respuesta a uno o más potenciales de acción que se propagan por el sarcolema y el sistema de túbulos T. Los potenciales de acción muscular surgen en la unión neuromuscular (UNM), o sea, la sinapsis o conexión entre una motoneurona somática y una fibra muscular (Fig. 8.17).

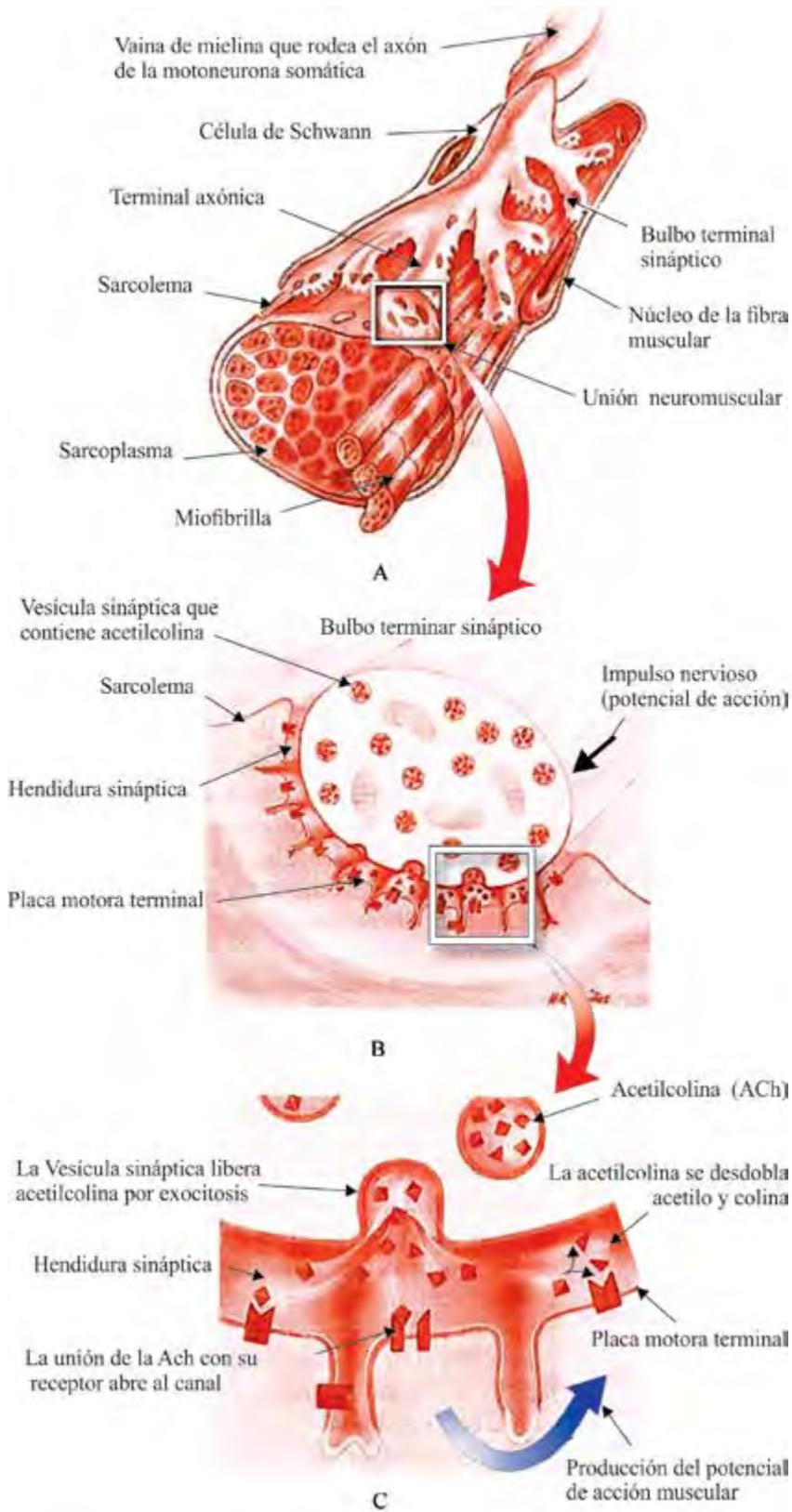


Fig. 8.17. Unión neuromuscular: A. Unión neuromuscular; B. Ampliación de la unión neuromuscular; C. Unión de la acetilcolina con los receptores de ACh en la placa motora terminal.

Una sinapsis es una región donde se comunican dos neuronas o una neurona y una célula blanco, por ejemplo, una motoneurona y una fibra muscular. En la mayoría de las sinapsis hay un pequeño hueco nombrado hendidura sináptica, que separa las dos células.

Dado que no existe contacto físico entre ellas, es imposible que el potencial de acción de una célula "brinque la zanja" para excitar directamente la célula adyacente. En vez de ello, la primera célula se comunica indirectamente con la segunda mediante la liberación de un compuesto llamado neurotransmisor.

En la unión neuromuscular el axón de la motoneurona se divide en un cúmulo de bulbos terminales. Dentro del citosol de cada bulbo se encuentran suspendidos cientos de bolsas membranosas, las vesículas sinápticas.

Cada una de ellas contiene miles de moléculas de acetilcolina (ACh), neurotransmisor que se libera en la unión neuromuscular. La región del sarcolema adyacente a los bulbos sinápticos terminales se denomina placa motora terminal, y contiene 30 a 40 millones de receptores de acetilcolina, los cuales son proteínas transmembranas integrales que se unen específicamente con la ACh. Como se expone más adelante, los receptores de ACh son canales iónicos de compuerta. Por ende, la unión neuromuscular comprende en un lado de la hendidura sináptica los bulbos terminales y en el otro la placa motora terminal de la fibra muscular.

Un impulso nervioso desencadena un potencial de acción muscular de la manera siguiente:

1. Liberación de ACh: la llegada de un potencial de acción a los bulbos terminales, provoca la apertura de canales de Ca^{2+} regulados por voltaje, lo que permite la difusión de Ca^{2+} al interior de la terminal presináptica. La elevación de la concentración de calcio intracelular lleva a que las vesículas que contienen ACh, se fusionen con la membrana presináptica y liberen el neurotransmisor en la hendidura sináptica, proceso conocido como exocitosis.
2. Activación de los receptores de ACh: La ACh liberada difunde a través de la hendidura sináptica y se une a receptores específicos en la membrana postsináptica. En la unión neuromuscular los receptores de ACh son de tipo nicotínico y cada uno está constituido por un complejo proteico que atraviesa todo el espesor de la membrana y forma un canal. La unión de la ACh con su receptor en el sarcolema provoca un cambio conformacional que abre el canal, lo que permite el paso de cationes a través de la membrana.
3. Generación del potencial de placa motora: El efecto principal de la apertura de los canales regulados por ACh, es la entrada de gran cantidad de iones sodio (Na^+) al interior de la fibra muscular. Esto modifica el potencial de membrana, provocando una despolarización que genera un potencial local denominado potencial de placa motora (PPM).
4. Producción del potencial de acción muscular: La despolarización durante el PPM, abre los canales de Na^+ regulados por voltaje en la membrana muscular adyacente y genera el potencial de acción muscular, que a continuación se propaga por el sarcolema y el

sistema de túbulos T. Habitualmente la despolarización tiene una magnitud que permite abrir un número de canales de Na^+ suficiente como para exceder el umbral para la iniciación del potencial de acción. Es por esto que se dice que la unión neuromuscular normal tiene un elevado factor de seguridad.

5. Terminación de la actividad de la acetilcolina: el efecto de la unión de la acetilcolina con los receptores dura muy poco, dado que el neurotransmisor es desdoblado rápidamente por la acción de una enzima, la acetilcolinesterasa (AChE), que se une a las fibras de colágeno de la lámina basal en la hendidura sináptica. La AChE cataliza la degradación de ACh en acetato y colina. Si se interrumpe la propagación del potencial de acción en la motoneurona, también se suspende la liberación del neurotransmisor y la AChE rápidamente desdobla la acetilcolina que está en la hendidura sináptica. Ello da fin a la generación de potenciales de acción muscular y como resultado se cierran los canales de la membrana del retículo sarcoplásmico que liberan el calcio.

Debido a que las fibras del esqueleto muscular suelen ser células muy largas, la unión neuromuscular generalmente se localiza cerca de su punto medio. Los potenciales de acción muscular surgen en esa unión y luego se propagan hacia ambos extremos de la fibra. Este mecanismo permite la activación (y la contracción) casi simultánea de todas partes de la fibra.

Regulación de la tensión muscular

Un solo pulso nervioso de la motoneurona produce únicamente un potencial de acción muscular en todas las fibras musculares con la que forma sinapsis. En contraste con los potenciales de acción, que siempre son de la misma magnitud en una neurona o fibra muscular dadas, la contracción que resulta de un solo potencial de acción muscular tiene una fuerza significativamente menor que la máxima que la fibra es capaz de producir. La tensión total que puede generar una sola fibra depende, sobre todo, de la velocidad con que lleguen los impulsos nerviosos a la unión neuromuscular. Se denomina frecuencia de estimulación al número de impulsos por segundos. Además, como se ilustra en las figuras 8.13 y 8.14, la magnitud del estiramiento antes de la contracción determina la tensión máxima posible durante esta. Por último, factores como la disponibilidad de oxígeno y nutrientes es posible que influyan en la tensión que una fibra puede generar. Cuando se considera la contracción de un músculo completo, la tensión total que puede producir depende del número de fibras que se contrae al unísono.

Unidades motoras

Aunque cada fibra muscular posee una sola unión neuromuscular, el axón de una motoneurona se ramifica y forma ese tipo de unión con muchas fibras musculares diferentes. Se denomina unidad motora al conjunto de una motoneurona somática y las fibras

musculares que ella inerva. Todas las fibras musculares de una unidad motora se contraen simultáneamente. Es común que las fibras musculares de una unidad motora se hallen dispersas en todo el músculo, en lugar de estar juntas.

Los músculos que regulan los movimientos precisos constan de numerosas unidades motoras pequeñas. Por ejemplo, los músculos de la laringe (glotis), que regulan la emisión de voz, tienen apenas 2 o 3 fibras musculares por unidad motora, y los que controlan los movimientos oculares, 10 a 20 fibras por unidad. En contraste, ciertas unidades motoras de músculos que participan en movimientos potentes y de gran magnitud, como el bíceps braquial (brazo) y los gemelos (pierna), puede tener de 2 000 a 3 000 fibras musculares cada una. Debe recordarse que esas fibras se contraen y relajan simultáneamente. En concordancia, la fuerza total de la contracción depende, en parte, de cuán grande sea la unidad motora y de cuántas unidades motoras se activen al mismo tiempo.

Sumación temporal

Si se aplica el segundo de dos estímulos después de que termina el período refractario, el músculo responde a ambos estímulos. De hecho, cuando el segundo tiene lugar después de dicho período y antes de que se relaje la fibra muscular, la segunda contracción es más fuerte que la primera (Fig. 8.18 a y b). Este fenómeno, en el cual los estímulos que llegan en diferentes momentos producen contracciones más intensas, se denomina sumación temporal. También se conoce como sumación de ondas o sumación de frecuencia.

Cuando se estimula un músculo esquelético a una velocidad de 20 a 30 veces por segundo, solo se relaja parcialmente entre estímulos. El resultado es una contracción sostenida a la vez que oscilante, llamada tétanos no fusionado o tétanos incompleto (Fig. 8.18 c). La estimulación a una velocidad mayor de 80 a 100 estímulos por segundo produce el tétanos fusionado o tétanos completo,

contracción sostenida en que no se puede discernir las contracciones individuales (Fig. 8.18 d). A la frecuencia a partir de la cual aparece el tétanos completo se le llama frecuencia crítica. La sumación de ondas y ambos tipos de tétanos resulta de la adición de Ca^{2+} que libera el retículo sarcoplásmico cada segundo y de manera subsiguiente, la estimulación para que se libere el Ca^{2+} que todavía se encuentra en el retículo sarcoplásmico por el primer estímulo. Dado que se acumulan los valores de iones calcio, la tensión máxima que se genera durante el tétanos fusionado es 5 a 10 veces mayor que la producida con una sola contracción. No obstante, las contracciones musculares voluntarias, sostenidas y uniforme se logran, principalmente, con el tétanos no fusionado asincrónico en diferentes unidades motoras.

El estiramiento de los elementos elásticos también se relaciona con la sumación de ondas. Durante esta, los elementos elásticos no cuentan con mucho tiempo para relajarse entre las contracciones, por lo que permanecen tensos. En ese estado, no se requiere estiramiento considerable de los elementos elásticos antes del inicio de la siguiente contracción muscular. La combinación de la tensión de estos elementos y el estado parcialmente contraído de los filamentos permite que la fuerza de otra contracción se sume con más rapidez a la que se precede.

Sumación espacial

A medida que aumenta la intensidad de un estímulo aplicado a un nervio, aumenta el número de unidades motoras activas, y la intensidad de la contracción muscular es mayor. Este fenómeno se denomina sumación espacial. También es conocido como sumación de unidades motoras o sumación de múltiples fibras.

Las diversas motoneuronas de un músculo generan impulsos en forma asincrónica, es decir, que mientras algunas unidades motoras están activas y en contracción, otras se hallan inactivas y relajadas. Esta característica de la actividad de las unidades motoras demora la fatiga

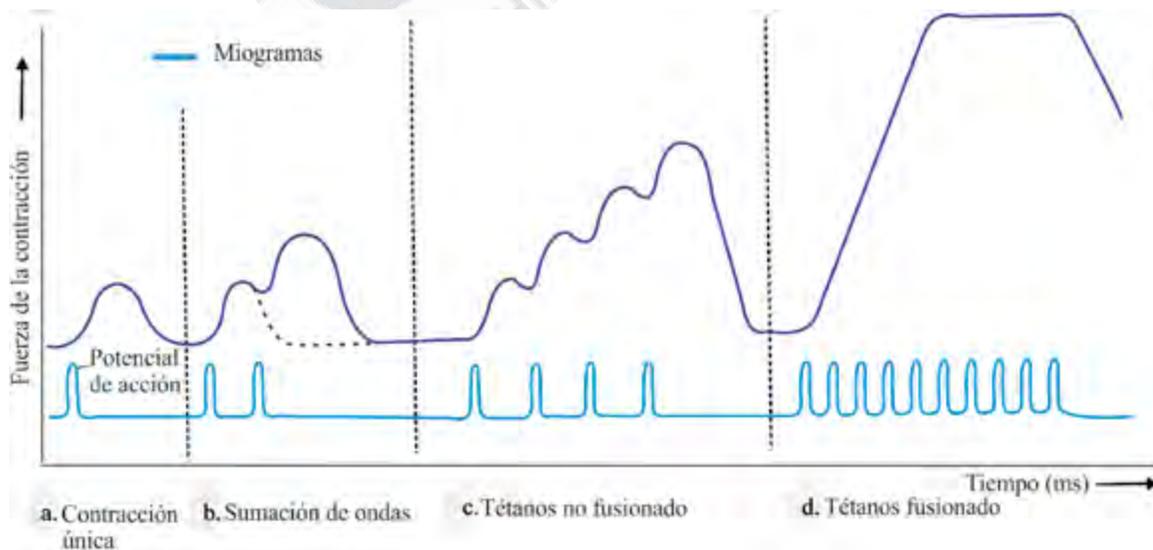


Fig. 8.18. Sumación temporal o de ondas.

muscular, al permitir que las unidades se releven unas a otras, de suerte que se pueda sostener la contracción durante largos períodos. Con estímulos débiles se activan las unidades motoras más pequeñas. Al ir aumentando la intensidad del estímulo, se agregan unidades motoras cada vez mayores.

La sumación espacial es uno de los factores gracias a los cuales se pueden efectuar movimientos uniformes, en vez de una serie de sacudidas. Como se señaló, varía mucho el número de fibras musculares que inerva una motoneurona. Los movimientos precisos se originan con pequeños cambios en las contracciones musculares. Así, los músculos que producen este tipo de movimientos se componen de unidades motoras pequeñas. Cuando se activa o desactiva una unidad motora, ocurren cambios apenas leves en la tensión muscular. Por otra parte, las unidades motoras grandes están activas donde se requiere mayor fuerza y la precisión es menos importante.

En un modelo experimental, mediante una preparación ciático-gastrocnemio, se puede demostrar la existencia de fatiga de transmisión y fatiga de contracción. La primera ocurre por agotamiento del neurotransmisor tras estimulaciones mantenidas al músculo a través del nervio. Si en estas condiciones, se estimula directamente al músculo se comprueba que la fatiga es de transmisión y no de contracción, al registrarse nuevamente contracción muscular. La fatiga de contracción ocurre por agotamiento de las fuentes energéticas del músculo.

Fisiológicamente no ocurre fatiga de transmisión porque siempre existen vesículas de reserva que contienen acetilcolina en la terminal presináptica.

Tono muscular

En los músculos esqueléticos un reducido número de unidades motoras se activa en forma involuntaria para producir la contracción sostenida de sus fibras musculares, al mismo tiempo que la mayor parte de las unidades motoras están inactivas, y sus fibras musculares, relajadas. Este proceso genera el tono muscular.

Para mantener ese tono, pequeños grupos de unidades motoras se activan e inactivan de manera alterna y constante. El tono muscular mantiene firmes los músculos, si bien no produce contracciones de fuerza suficiente para generar movimientos. Por ejemplo, cuando los músculos de la nuca están en contracción tónica normal, mantienen erguida la cabeza e impiden que se flexione hacia el tronco, si bien no genera fuerza para llevar la cabeza hacia atrás, a la hiperextensión.

El tono muscular también reviste importancia en los músculos lisos, como el que se encuentra en el tubo digestivo, donde la pared de los órganos mantiene una presión constante sobre su contenido. De igual modo, el tono del músculo liso en la pared de los vasos sanguíneos desempeña una función clave en la regulación de la presión sanguínea.

Regeneración del tejido muscular

Las fibras maduras de los músculos estriados no se pueden dividir, de modo que el crecimiento de los

músculos después del nacimiento se basa, principalmente, en la hipertrofia o agrandamiento de las células existentes, no en la hiperplasia, que es el aumento del número. Las células satélites se dividen lentamente y se fusionan con las fibras existentes para participar en el crecimiento y reparación muscular. En respuesta a lesiones musculares o a una enfermedad que cause degeneración muscular, otras células derivadas de la médula ósea roja migran hacia el músculo y participan en la regeneración de las fibras dañadas. Sin embargo, las fibras de músculo esquelético formadas de esta manera no bastan para compensar daños o degeneración importantes de los músculos. En tales casos, el tejido muscular experimenta fibrosis, o sea, la sustitución de las fibras musculares por tejido fibroso cicatrizal. Es por ello que el tejido de los músculos estriados no solo tiene capacidad de regeneración limitada.

Envejecimiento y tejido muscular

Aproximadamente a partir de los 30 años de edad, en los seres humanos se inicia la pérdida progresiva de la masa de los músculos estriados, que se sustituye, en especial, por tejido conectivo fibroso adiposo. En parte, ello se debe a la inactividad creciente. La pérdida de masa muscular se acompaña de disminución de la fuerza máxima y desaceleración de los reflejos musculares. En algunos músculos ocurre pérdida selectiva de fibras musculares de un tipo dado. Con el envejecimiento, al parecer aumenta el número relativo de fibras oxidativas lentas. Ello podría deberse a atrofia de los otros tipos de fibras o su conversión en fibras oxidativas lentas. Todavía queda por resolver si es un efecto del envejecimiento mismo o si refleja la actividad física más limitada de los ancianos. Sin embargo, los programas de entrenamiento de resistencia y fuerza son eficaces en ancianos y pueden desacelerar o incluso revertir la disminución del rendimiento muscular que guarda relación con el envejecimiento.

Alteraciones de la contracción muscular esquelética y de la transmisión neuromuscular

Miastenia grave

La miastenia grave es una enfermedad autoinmunitaria que provoca daño crónico y progresivo de la unión neuromuscular. Afecta a una de cada 20 000 personas y es más común en mujeres. En personas con este trastorno, se producen anticuerpos contra los receptores de acetilcolina, a los que se unen y bloquean. Con ello disminuye el número de receptores funcionales de ACh en la placa motora terminal de los músculos. Conforme avanza la enfermedad, aumenta el número de receptores de ACh afectados, con la subsiguiente generación de un PPM débil, que no logra desencadenar el potencial de acción en la fibra muscular. Puede ocurrir parálisis, debido a esta incapacidad de la unión neuromuscular para transmitir señales de las fibras nerviosas a las fibras musculares.

En la miastenia grave los músculos de la cara y el cuello son los más afectados, y puede ocasionar la muerte por parálisis de los músculos que participan en la respiración.

Los agentes anticolinesterásicos —como la neostigmina o piridostigmina— son los fármacos preferidos para el tratamiento de la miastenia grave. Son agentes que inhiben a la acetilcolinesterasa, por lo que impiden la hidrólisis de la ACh. Así, aumentan la concentración de ACh disponible para la unión con los receptores todavía funcionales.

Atrofia e hipertrofia muscular

Se denomina atrofia muscular a la disminución de la masa total de un músculo. Las fibras musculares disminuyen de tamaño como resultado de la pérdida progresiva de miofibrillas. La atrofia por desuso ocurre cuando no se ejercitan los músculos. Las personas recluidas en el lecho o inmobilizadas por vendajes enyesados padecen este tipo de atrofia porque se reduce considerablemente el flujo de impulsos nerviosos a los músculos inactivos. Cuando se dañan o cortan las fibras nerviosas que se distribuyen en un músculo, este sufre atrofia por desnervación. En un lapso de 6 meses a 2 años, el músculo pierde tres cuartas partes de su tamaño original y el tejido conectivo fibroso sustituye a las fibras musculares. Una vez que se termina esta sustitución es imposible revertirla.

La hipertrofia muscular consiste en el aumento de la masa total del músculo. Hay aumento del diámetro de las fibras musculares como consecuencia del aumento en el número de filamentos de actina y miosina en las miofibrillas. A su vez, las propias miofibrillas se dividen y forman nuevas miofibrillas.

Además de este incremento en el número de miofibrillas, aumenta la producción de mitocondrias, retículo sarcoplásmico, y otros organelos.

El incremento resulta de la actividad muscular repetida que implica gran esfuerzo, como en los ejercicios con pesas.

Daño muscular inducido por el ejercicio

La comparación de micrografías electrónicas del tejido muscular de deportistas antes y después de someterse a entrenamiento intenso, revela considerable daño muscular inducido por el ejercicio, lo que incluye desgarramiento del sarcolema en algunas fibras musculares, lesiones de miofibrillas y alteraciones de discos Z. El daño muscular microscópico tras el ejercicio también se ve reflejado en el aumento de los valores sanguíneos de proteínas, como la mioglobina y la enzima creatinquinasa, que normalmente solo se encuentra en las fibras musculares. De 12 a 48 h después de haber realizado ejercicio extenuante, los músculos suelen estar adoloridos. Este dolor muscular de inicio tardío se acompaña de rigidez, sensibilidad al contacto e hinchazón. Aunque no se conocen del todo sus causas, al parecer el daño muscular microscópico es un factor importante.

Rigor mortis

Después de la muerte, aumenta la permeabilidad de las membranas celulares. Los iones calcio salen del

retículo sarcoplásmico hacia el citosol, lo cual permite que las cabezas de miosina se unan a la actina. Sin embargo, se ha interrumpido la síntesis de ATP, de modo que los puentes cruzados no pueden separarse de la actina. La situación resultante, en la cual los músculos se tornan rígidos (no se pueden contraer ni estirar), se denomina rigor mortis (rigidez de muerte). Se inicia de 3 a 4 h después del fallecimiento y dura casi 24 h, para luego desaparecer cuando las enzimas proteolíticas de los lisosomas digieren los puentes cruzados.

Farmacología de la unión neuromuscular

Diversos productos de origen vegetal y drogas bloquean de manera selectiva ciertos fenómenos específicos en la unión neuromuscular. Por ejemplo, la toxina botulínica, que es producida por la bacteria *Clostridium botulinum*, bloquea la exocitosis de las vesículas sinápticas en la unión neuromuscular. Por ello no se libera ACh ni ocurre la contracción muscular. Esta bacteria prolifera en alimentos enlatados de manera inadecuada y su toxina constituye uno de los compuestos químicos más letales que se conocen, pues incluso en cantidades pequeñas causa la muerte por parálisis del diafragma. Sin embargo, también es la primera toxina bacteriana que se ha utilizado como medicamento. Las inyecciones del fármaco a base de estos microorganismos en los músculos afectados sirven para tratar el estrabismo y el blefaroespasma (parpadeo incontrolable).

El curare, veneno de origen vegetal que usan los indios sudamericanos en flechas y dardos de cerbatanas, causa parálisis muscular al unirse con los receptores de ACh y bloquearlos, con lo cual no se abren los canales iónicos. Los medicamentos del tipo del curare, conocidos como curariformes, se usan frecuentemente durante operaciones como relajantes musculares. Estas sustancias pueden evitar el paso de impulsos desde la placa motora al músculo. Así, la D-tubocurarina afecta a la membrana compitiendo con la acetilcolina por los lugares de unión de los receptores de acetilcolina, de forma que la acetilcolina generada por la placa motora no puede aumentar la permeabilidad de los canales de acetilcolina de la membrana muscular lo suficiente como para iniciar un potencial de acción.

Los agentes despolarizantes, como succinilcolina y decametronio, actúan por un mecanismo diferente. Su acción inicial consiste en despolarizar la membrana al abrir los canales de la misma manera que lo hace la acetilcolina. Sin embargo, como persisten durante mayor tiempo a nivel de la unión neuromuscular, sobre todo por su resistencia a la acetilcolinesterasa, la despolarización es de larga duración y da por resultado un periodo breve de excitación repetida, que puede desencadenar fasciculaciones musculares transitorias. La etapa inicial va seguida de bloqueo de la transmisión neuromuscular y parálisis flácida. Eso se debe a que durante la despolarización prolongada, las células musculares pueden perder cantidades importantes de potasio y ganar sodio, cloro y calcio. Esto no permite que se generen potenciales de acción en la fibra muscular.

Una familia de compuestos químicos, denominados agentes anticolinesterásicos, tiene la propiedad de inhibir

la actividad enzimática de la acetilcolinesterasa y, con ello, la reabsorción de la ACh de la hendidura sináptica. De esta forma, la colinesterasa, normalmente presente en las sinapsis, no hidroliza la acetilcolina liberada en la placa motora. Como consecuencia, la cantidad de acetilcolina aumenta con los sucesivos impulsos nerviosos, de forma que se pueden acumular grandes cantidades de acetilcolina que estimulan repetidamente la fibra muscular. Esto causa espasmo muscular incluso cuando llegan unos pocos impulsos nerviosos al músculo; puede causar la muerte por espasmo laríngeo, que asfixia a la persona. En dosis bajas, estos agentes pueden intensificar las contracciones musculares débiles. Ejemplos de estas drogas son la neostigmina, la fisostigmina y el diisopropil fluorofosfato.

La neostigmina y la fisostigmina se combinan con la acetilcolinesterasa para inactivarla durante varias horas, transcurridas las cuales son desplazadas de la acetilcolinesterasa de forma que vuelve a ser activa. Por otra parte, el diisopropil fluorofosfato, que tiene un potencial militar como gas nervioso, inactiva la acetilcolinesterasa durante semanas, lo que lo convierte en un veneno especialmente letal.

Existen fármacos que estimulan la fibra muscular por acción análoga a la de la acetilcolina. Muchos compuestos, como la metacolina, el carbacol y la nicotina, tienen el mismo efecto sobre la fibra muscular que la acetilcolina. La diferencia entre estos fármacos y la acetilcolina es que no son destruidos por la colinesterasa, o lo son lentamente, de forma que, una vez aplicados a la fibra muscular, la acción persiste entre muchos minutos y varias horas. Estos fármacos actúan causando zonas localizadas de despolarización en la placa motora terminal, donde están situados los receptores de acetilcolina. Después, cada vez que la fibra muscular se repolariza en otras localizaciones, estas zonas despolarizadas, por el efecto de su permeabilidad a los iones, causan nuevos potenciales de acción, provocando así un estado de espasmo.

Músculos que se relacionan con el esqueleto axial

Los músculos que se relacionan con el esqueleto axial son los correspondientes a las regiones de la cabeza, el cuello y tronco. Por lo que se estudiarán en ese orden: músculos de la cabeza, músculos del cuello y músculos del tronco ubicados en el dorso, en el tórax y en el abdomen.

Músculos de la cabeza

En la cabeza no solo se encuentra la musculatura mímica, de la cual se estudiarán las características; existe también la musculatura masticatoria y los músculos relacionados con los órganos de la vocalización y la deglución, que se estudiarán más adelante.

Por lo tanto, en la cabeza se estudiarán 2 grupos musculares: músculos de la mímica y músculos de la masticación. Estos dos grupos musculares de la cabeza se originan del mesodermo de los arcos branquiales.

Músculos de la mímica

Los músculos de la mímica tienen las características generales siguientes:

- Están inervados por el séptimo nervio craneal, el nervio facial.
- Derivan del segundo arco visceral o branquial.
- No poseen fascias.
- Son muy numerosos.
- En su mayoría son delgados y pequeños.
- Están íntimamente adheridos a la piel o a la mucosa, por lo que al contraerse provocan los movimientos de la piel de la cara dando lugar a la expresión facial o mímica del rostro, la cual está vinculada a los diferentes estados de ánimo de la persona, o sea, sensaciones, sentimientos, etc. Esto es importante puesto que por la elasticidad de la piel, cuando dejan de hacer acción, ella recupera su lugar y eso hace que carezcan de antagonistas o el poder de los antagonistas sea pobre.
- También se sitúan alrededor de los orificios naturales. Pueden hacerlo en forma circular de esfínter y cerrarlos o en forma radiada o dilatadores y abrirlos.
- Son músculos superficiales o cutáneos, situados inmediatamente por debajo de la piel.
- Por lo menos una de sus inserciones es en la piel, es decir, no tienen doble inserción ósea.

Los músculos de la mímica se agrupan, de acuerdo con su situación, en cuatro grupos de músculos (Fig. 8.19) denominados:

1. Músculos de la calvaria.
2. Músculos periorbitales (extraorbitarios).
3. Músculos perinasales.
4. Músculos periorales.

En cada uno de los diferentes grupos se mencionarán los músculos que los integran, pero solo se describirá un músculo representativo del grupo.

Músculos de la calvaria

En este grupo se encuentran el músculo occipitofrontal o epicráneo, y los músculos auriculares anterior, superior y posterior. Algunos prefieren incluir estos tres últimos músculos en un grupo aparte denominado periauricular.

Músculo occipitofrontal o epicráneo

- Se trata de un músculo delgado, pero ancho y aplanado, que cubre casi toda la calvaria y se extiende desde las cejas por delante, hasta la línea nugal superior por detrás (Fig. 8.20).
- Presenta una extensa parte tendinosa denominada aponeurosis epicránea o galea aponeurótica y una parte muscular representada por dos vientres musculares pares: el vientre frontal y el occipital. El libro de texto Prives le agrega un tercer vientre lateral formado por los músculos auriculares, pero en realidad de acuerdo con la nomenclatura anatómica se trata de músculos independientes y como tal deben ser estudiados.
- El vientre frontal tiene forma rectangular. Su inserción de origen se encuentra en la piel de las cejas

y la de terminación en la parte anterior de la galea aponeurótica, mientras que el vientre occipital tiene su inserción de origen en la línea nugal superior y la de terminación en la parte posterior de la galea aponeurótica.

- La galea aponeurótica o aponeurosis epicránea cubre la parte superior del cráneo; se encuentra firmemente adherida a la piel y solo unida a la calvaria por un tejido celular muy laxo, lo que permite el libre desplazamiento del cuero cabelludo (del cual forma parte),

sobre los huesos del cráneo con los que se relaciona.

- Funciones: los vientres occipitales tiran hacia atrás del cuero cabelludo, mientras que los frontales elevan las cejas y la piel de la raíz nasal si toman como punto fijo su inserción superior, como en la expresión de atención, en el caso contrario tiran del cuero cabelludo hacia delante, formando arrugas transversales en la frente. Actuando alternativamente, los vientres occipitales y frontales mueven todo el cuero cabelludo hacia delante y atrás.

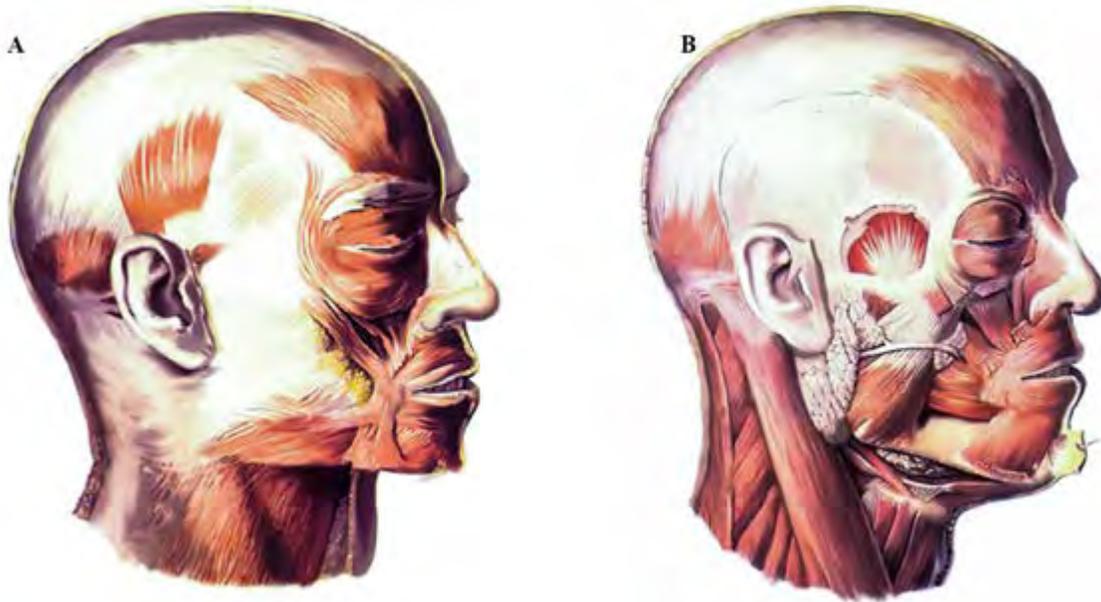


Fig. 8.19. Músculos de la cabeza. Vista lateral derecha: A. Músculos de la mímica. B. Músculos de la mímica y masticatorios.

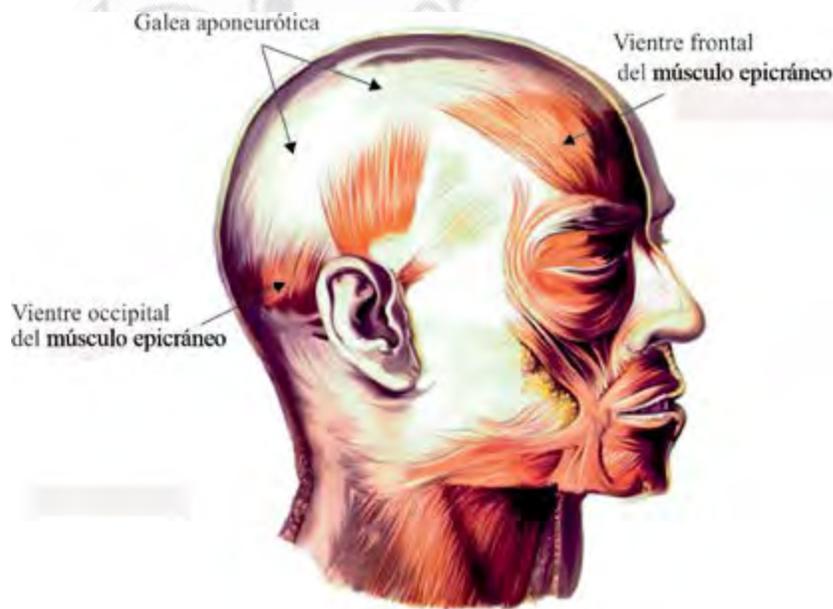


Fig. 8.20. Músculos de la cabeza. Vista lateral derecha: músculos de la calvaria.

Músculos periorbitales

En este grupo se encuentran el músculo orbicular del ojo, prócer y corrugador de las cejas o superciliar (Fig. 8.21).

El músculo orbicular del ojo se encuentra situado de forma elíptica alrededor del adito de la órbita. Se describen en este músculo tres porciones, denominadas: porción orbital, palpebral y lagrimal:

- La porción orbital es la más gruesa, periférica y de color rojizo, se sitúa formando un anillo muscular en todo el borde óseo que limita el adito de la órbita.
- La porción palpebral está situada debajo de la piel de los párpados.
- La porción lagrimal se inicia en la cresta lagrimal posterior, y se divide en dos partes, que por delante y por detrás abarcan el saco lagrimal.

Cada porción tiene una función determinada:

- La porción orbital por su contracción intensa hace entornar los ojos junto con abultamiento y protusión de las cejas, disminuyendo la entrada de luz en el ojo. Las fibras superiores de esta porción por medio de su contracción aislada provocan el descenso de la piel de la frente, junto con las cejas, dando una disposición rectilínea a estas últimas y borrando los pliegues transversales de la frente, siendo antagonista en esta función del vientre frontal del músculo occipitofrontal.
- La porción palpebral realiza la oclusión de los párpados, es decir, desciende el superior y asciende el inferior. Esta función puede ser resultado tanto de una acción refleja como voluntaria.
- La porción lagrimal dilata el saco lagrimal e influye en la aspiración de las lágrimas por los canalículos lagrimales.

Músculos perinasales

En este grupo se encuentra solamente un músculo, denominado músculo nasal, en el que a su vez se describen tres porciones, tal como lo aborda el libro de texto Prives, por donde puede ser revisado. Sin embargo, es relevante señalar que una de las porciones (músculo depresor del septo nasal) es propuesta por la nomenclatura anatómica como un músculo independiente y como tal se expone por otros autores (Fig. 8.22).

Músculos periorales

Se trata del grupo con mayor número de músculos —un total de 12—; están situados alrededor de la hendidura bucal: orbicular de la boca, risorio, cigomático mayor, cigomático menor, elevador del labio superior, elevador del labio superior y del ala de la nariz, elevador del ángulo de la boca, buccinador, depresor del labio inferior, depresor del ángulo de la boca, mentoniano y transversal del mentón (inconstante) (Fig. 8.23)

Músculo buccinador

- Es un músculo de forma cuadrilátera, potente.
- Contribuye a formar la pared lateral de la cavidad oral; se encuentra en contacto directo con la mucosa de la boca.
- Su inserción de origen se sitúa en el proceso alveolar del maxilar a nivel del primer molar y continúa hacia atrás hasta el proceso pterigoideo, desciende su inserción por el rafe pterigomandibular (ligamento entre el gancho pterigoideo y la cresta buccinadora de la mandíbula) y su inserción se continúa por la cresta buccinatoria y por la pared lateral de los alvéolos de los molares inferiores hasta las comisuras labiales (Fig. 8.23 B y 8.24).

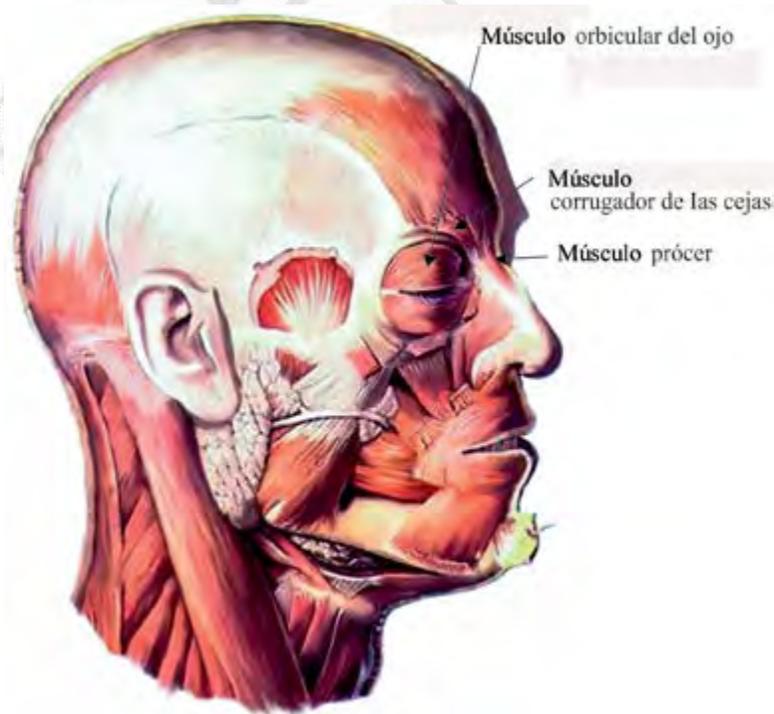


Fig. 8.21. Músculos de la cabeza. Vista lateral derecha. Músculos periorbitales.

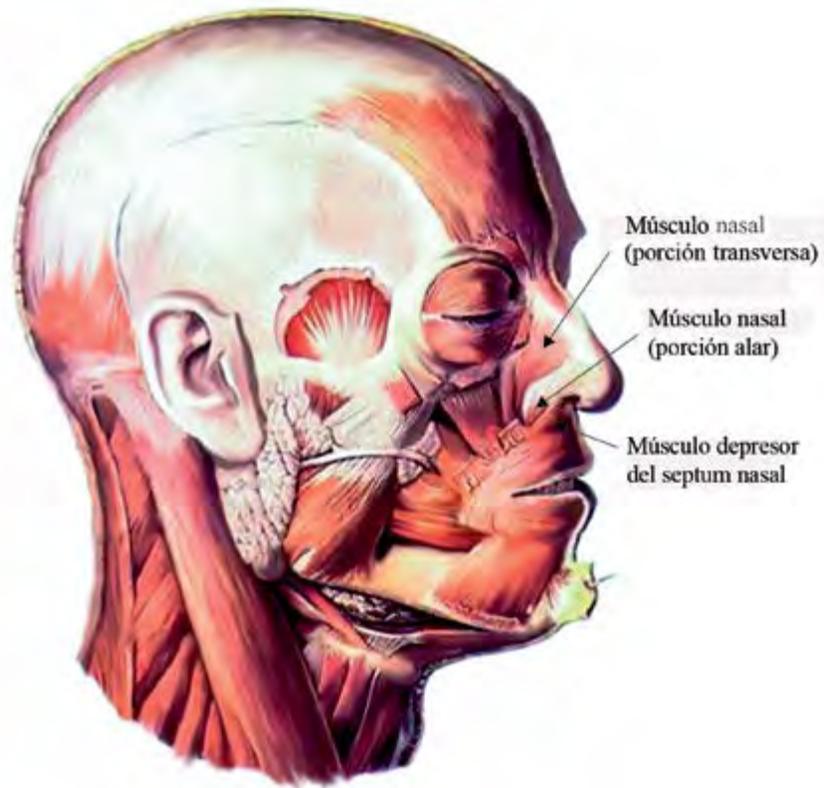


Fig. 8.22. Músculos de la cabeza. Vista lateral derecha. Músculos perinasales.

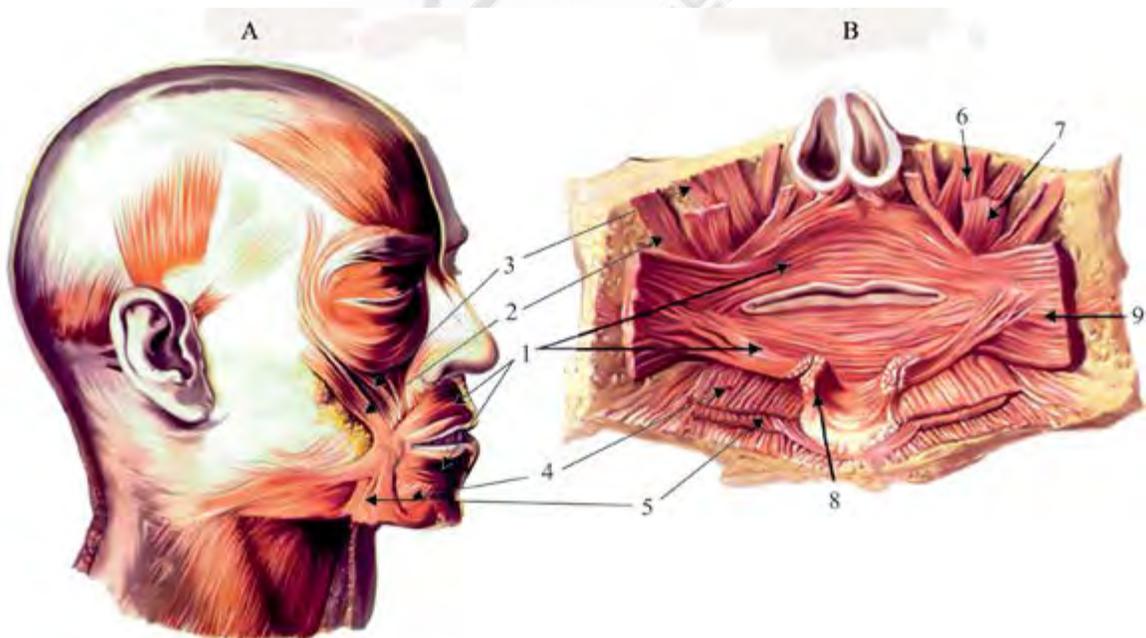


Fig. 8.23. Músculos periorales: A. Vista lateral derecha. B. Vista anterior (la piel con los músculos que rodean la boca está separada de los huesos del cráneo facial; la mucosa de la mejilla y de los labios está quitada): 1. Orbicular de la boca; 2. Cigomático mayor; 3. Cigomático menor; 4. Depresor del labio inferior; 5. Depresor del ángulo de la boca; 6. Elevador del labio superior; 7. Elevador del ángulo de la boca; 8. Mentoniano; 9. Buccinador.

- A nivel del segundo molar superior este músculo es atravesado por el conducto excretor de la glándula parótida (conducto parotídeo).
- Su cara externa está cubierta por la fascia bucofaríngea, a la cual se aplica el cuerpo adiposo de la mejilla (de Bichat).
- Función: da tonicidad a las mejillas y ayuda a expeler el contenido de la cavidad oral (aire). Está muy desarrollado en los trompetistas. También interviene en el proceso de la masticación, dado que los músculos buccinadores comprimen las mejillas contra los dientes, pasando el alimento entre ellos.

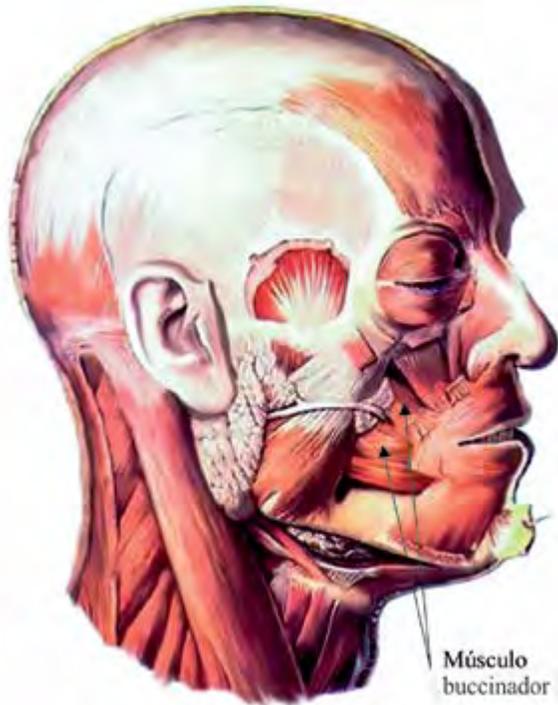


Fig. 8.24. Músculos de la cabeza. Vista lateral derecha. Músculo buccinador.

Músculos de la masticación

Los músculos de la masticación derivan del primer arco branquial o visceral (arco mandibular) (Fig. 8.25).

Se insertan en la mandíbula, a la que mueven específicamente por medio de la articulación temporomandibular y están inervados por el quinto nervio craneal: el nervio trigémino.

Los músculos de la masticación son 4: temporal, masetero, pterigoideo medial y pterigoideo lateral.

Músculo masetero

- Es un músculo grueso, de forma cuadrilátera.
- Tiene su inserción de origen en el borde inferior del arco cigomático y del hueso cigomático, y sus fibras se dirigen hacia abajo, tiene su inserción de terminación a nivel de la cara externa del ángulo de

la mandíbula en la tuberosidad masetérica, y en la cara externa de la rama de la mandíbula por encima de este detalle anatómico (Fig. 8.25 A).

Músculo temporal

- Se halla situado en la parte lateral de la cabeza.
- Tiene una amplia inserción de origen que ocupa toda la fosa temporal hasta la línea temporal inferior por encima, y en la resistente fascia temporal que lo recubre. Sus fascículos musculares se disponen de forma radiada, de abanico y convergen en un fuerte tendón que pasa por el espacio situado entre el arco cigomático y la pared lateral del cráneo para tener su inserción de terminación en el proceso coronoideo de la mandíbula (Fig. 8.25 B).

Músculo pterigoideo medial

- También es un músculo grueso, de forma cuadrilátera.
- Tiene su inserción de origen en la fosa pterigoidea del proceso pterigoideo del hueso esfenoides, las fibras musculares se dirigen hacia atrás, abajo y lateralmente y se insertan en la cara interna del ángulo de la mandíbula en la tuberosidad pterigoidea, así como en la cara interna de la rama de la mandíbula por encima de este detalle (Fig. 8.25 C).

Músculo pterigoideo lateral

- Es un músculo corto, grueso, de forma cónica.
- Se extiende en forma horizontal desde la fosa infratemporal hasta el proceso condilar de la mandíbula.
- Tiene su inserción de origen en la porción horizontal de la cara temporal (cara infratemporal) del ala mayor del esfenoides y en la cara externa de la lámina lateral del proceso pterigoideo, sus fibras se dirigen horizontalmente en una dirección posterior y lateral siendo su inserción de terminación en la cápsula y el disco articular de la articulación temporomandibular y en el cuello del cóndilo de la mandíbula (Fig. 8.25 C).

Es de extrema importancia observar con cuidado la dirección de las fibras en cada uno de los músculos de la masticación para comprender la función de estos. Al analizar las funciones de los músculos de la masticación en conjunto se tiene que:

- El músculo temporal, masetero y pterigoideo medial participan cuando la boca está abierta en el ascenso de la mandíbula o cierre de la boca.
- La contracción bilateral de los músculos pterigoideos laterales produce la propulsión de la mandíbula.
- La contracción bilateral de las fibras posteriores (horizontales) del temporal producen la retropropulsión de la mandíbula.
- Por último, la diducción o lateralidad de la mandíbula se lleva a cabo por la contracción unilateral del músculo pterigoideo lateral, contralateral a la dirección del movimiento y la contracción unilateral de las fibras posteriores del músculo temporal del propio lado hacia donde se realiza el desplazamiento de la mandíbula.

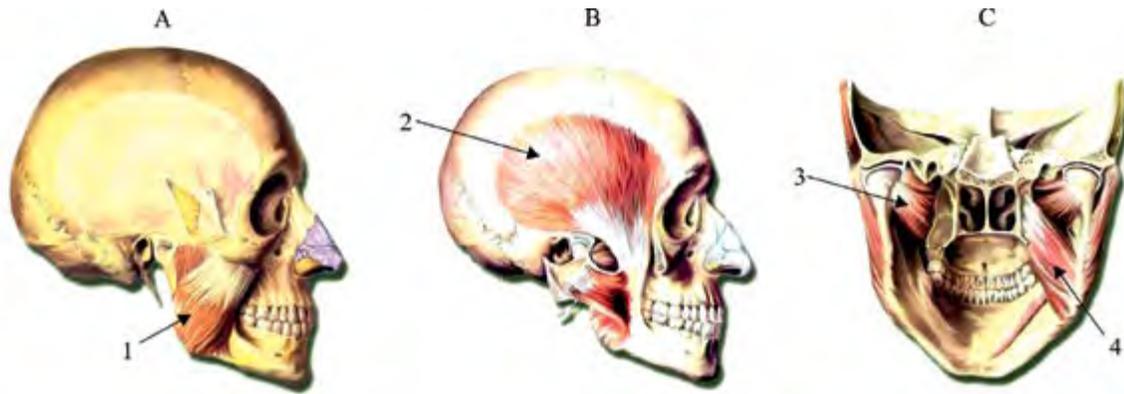


Fig. 8.25. Músculos masticatorios: A. Vista lateral derecha (la lámina superficial de la fascia temporal está seccionada parcialmente y separada): 1. Masetero. B. Vista lateral derecha (el arco cigomático está cortado y separado junto con el músculo masetero): 2. Temporal. C. Vista posterior: 3. Pterigoideo lateral; 4. Pterigoideo medial.

Músculos del cuello

Son derivados del mesodermo de los arcos branquiales y de los somitas cervicales. Están inervados por nervios craneales y espinales, dividiéndose topográficamente en 3 grandes grupos:

1. Superficiales: músculo platisma y esternocleidomastoideo.
2. Anteriores o del hueso hioides: suprahioides (músculo digástrico, estilohioideo, milohioideo y genihioideo) e infrahioides (músculo esternohioideo, esternotiroideo, tirohioideo y omohioideo).
3. Profundos: laterales (músculos escalenos anterior, medio y posterior) y prevertebrales (músculos largo del cuello, largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza y recto lateral de la cabeza).

Estos músculos participan en los movimientos de cabeza, hioides, piel y laringe.

Músculos superficiales

Músculo platisma

- Se encuentra situado debajo de la piel, sobre la lámina superficial del cuello en forma de una capa delgada.
- Tiene su inserción de origen en las fascias pectoral y deltoidea a nivel de la II costilla. Sus fibras se dirigen hacia arriba, pasan por encima de la clavícula y cubren las caras anterolaterales del cuello, pero dejan en la línea media del cuello un espacio triangular que no está cubierto por el músculo. La inserción de terminación la tiene en el borde inferior del cuerpo de la mandíbula, así como en las fascias parotídea y masetérica, confundiendo muchas de sus fibras con los músculos del ángulo de la boca y de su parte inferior (Fig. 8.26 A).
- Funciones: realiza la tracción de la piel del cuello, por lo que el músculo preserva del aplastamiento las venas superficiales del cuello. Su porción anterior, que es la más gruesa, puede descender el ángulo de la boca y el labio inferior (como en la expresión de horror o de sorpresa).

Músculo esternocleidomastoideo

- Se encuentra situado en la región esternocleidomastoidea del cuello y su relieve es muy potente, sobre todo cuando se encuentra contraído.
- Su inserción de origen tiene lugar por 2 cabezas: una cabeza esternal, que parte del manubrio esternal (parte superior de su cara anterior); y una cabeza clavicular, que se inicia en la clavícula (cara superior del tercio medial de la clavícula); ambas cabezas están separadas en sus inserciones por un espacio triangular denominado fosa supraclavicular menor. Más arriba ambas cabezas se unen en un solo vientre, que se dirige hacia arriba, atrás y lateralmente para realizar su inserción de terminación en el proceso mastoideo del temporal y en la mitad lateral de la línea nugal superior (Fig. 8.26 A y B).
- Funciones:
 - Si la contracción es unilateral produce la flexión de la cabeza y la región cervical de la columna vertebral hacia el lado de la contracción, así como la rotación de la cabeza hacia el lado contrario.
 - Por su contracción bilateral estos músculos mantienen la cabeza en posición vertical (sostenedores de la cabeza).
 - Cuando el paciente está en decúbito supino, la contracción bilateral del músculo permite levantar la cabeza. No obstante, la contracción bilateral del músculo permite realizar tanto la flexión como la extensión de la cabeza y la región cervical de la columna vertebral, en dependencia de donde se encuentre situado el centro de gravedad de la cabeza.
 - Si se toman como punto fijo sus inserciones en la cabeza, el músculo puede elevar el tórax, por lo que se puede considerar un importante músculo auxiliar de la inspiración.

Músculos anteriores

Músculos suprahioides

En general están situados entre la mandíbula y el hioides (Fig. 8.26 C).

Músculo digástrico

Está situado en la parte lateral y superior del cuello. Tiene dos vientres musculares: el posterior, que se inicia en el proceso mastoideo del temporal (incisura mastoidea) y el anterior, que lo hace en la fosa digástrica de la mandíbula; ambos vientres se unen por un tendón intermedio, el cual se inserta en el hioides mediante un asa fascial.

Músculo estilohioideo

Se extiende oblicuamente desde el proceso estiloides del temporal hasta el hioides, en el cual termina en forma de dos fascículos (ojal del digástrico) entre los cuales pasa el tendón intermedio del digástrico.

Músculo milohioideo

Es un músculo plano, de fibras paralelas. Se inicia en la línea milohioidea de la mandíbula y ambos músculos terminan uniéndose a un rafe tendinoso que se extiende desde la mandíbula al hioides entre los 2 músculos. Ambos músculos cierran por debajo la cavidad oral como si fuera un diafragma, formando la pared inferior de esta: el denominado diafragma oral.

Músculo genihioideo

Está situado en la cara superior del músculo milohioideo, en su parte media, o sea, por encima del rafe ubicado entre ambos músculos milohioideos, reforzando el diafragma en esa zona, extendiéndose desde las espinas mentonianas hasta el hioides.

Funciones de los músculos suprahioideos

Todos, al contraerse, ascienden el hioides si toman como punto fijo la inserción no situada en el hioides.

Los que están insertados en la mandíbula (vientre anterior del digástrico, milohioideo y genihioideo) al contraerse, tomando como punto fijo su inserción en el hioides, descienden la mandíbula.

Los 3 músculos que hacen descender la mandíbula y en especial el milohioideo, al contraerse durante la deglución elevan la lengua y la presionan contra el paladar, empujando el alimento a la faringe.

Todos desempeñan una función importante en el lenguaje articulado.

Músculos infrahioideos

De forma general se localizan entre el hioides y el esternón y por delante de la laringe, la tráquea y la glándula tiroidea (Fig. 8.26).

Músculo esternohioideo

Se extiende desde el manubrio del esternón (cara posterior) y el extremo esternal de la clavícula hasta el hioides. Ambos músculos se unen por su parte media por una fascia, formando lo que se denomina línea alba cervical.

Músculo esternotiroideo

Se sitúa profundamente al anterior, pero es más ancho. Se extiende desde el manubrio del esternón

(cara posterior) y cartílago de la primera costilla hasta el cartílago tiroideo (línea oblicua).

Músculo tirohioideo

Puede considerarse como la continuación del músculo anterior, del cual está separado por una intersección tendinosa. Se extiende desde la línea oblicua del cartílago tiroideo hasta el hioides.

Músculo omohioideo

Es el más largo y delgado de este grupo. Tiene dos vientres, uno superior y otro inferior, unidos por un tendón intermedio el cual está por detrás del esternocleidomastoideo. La inserción de origen se encuentra en el borde superior de la escápula (medialmente a la incisura escapular) y la de terminación en el hueso hioides.

Funciones de los infrahioideos

- La contracción de todos descienden el hioides.
- El músculo esternotiroideo desciende la laringe.
- El tirohioideo asciende la laringe, pero cuando está fijo el hioides.
- El músculo omohioideo, como se sitúa en la fascia cervical, al contraerse la tensa, cooperando a la dilatación de los troncos venosos importantes situados profundamente a esta.
- Estos músculos fijan el hioides, por lo cual son sinérgicos de los suprahioideos en la función de descenso de la mandíbula, ya que cuando fijan el hioides, los suprahioideos lo toman como punto fijo para realizar el descenso de la mandíbula.

Músculos profundos del cuello (laterales y prevertebrales)

Músculos profundos laterales

Están constituidos por los músculos escalenos (anterior, medio y posterior); de forma general se extienden desde las vértebras cervicales hasta las 2 primeras costillas y en forma de los escalones de una escalera, pero de delante hacia atrás y en la parte lateral del cuello profundamente al esternocleidomastoideo (Fig. 8.26).

Músculo escaleno anterior

Se extiende desde los tubérculos anteriores de los procesos transversos de la tercera a la sexta vértebra cervical, hasta la primera costilla en el tubérculo del músculo escaleno anterior. Este tubérculo está situado entre los surcos de la arteria subclavia por detrás y de la vena subclavia por delante; todos estos detalles anatómicos están presentes en la cara superior de la primera costilla.

Músculo escaleno medio

Es el de mayor tamaño. Se inicia desde los tubérculos anteriores de los procesos transversos de todas las vértebras cervicales y termina en la primera costilla, por detrás del surco de la arteria subclavia.

Entre estos 2 músculos escalenos pasa la importante arteria subclavia y los inicios de los plexos cervical y braquial (de este último los troncos primarios).

Músculo escaleno posterior

Se inicia en los tubérculos posteriores de las tres últimas vértebras cervicales (quinta a la séptima) y termina en la cara externa de la segunda costilla.

Funciones de los escalenos

La contracción unilateral (si las costillas están fijas) de estos músculos provoca la flexión lateral de la región

cervical de la columna vertebral hacia el lado de los músculos contraídos y por esa acción la cabeza gira hacia el lado contrario, por las características de los ejes de la articulación atlantoccipital que se mueve al moverse las vértebras cervicales, pero no por acción directa sobre la cabeza, ya que ninguno de ellos se inserta en esta.

En la contracción bilateral de estos músculos se flexiona la región cervical de la columna vertebral. Además,

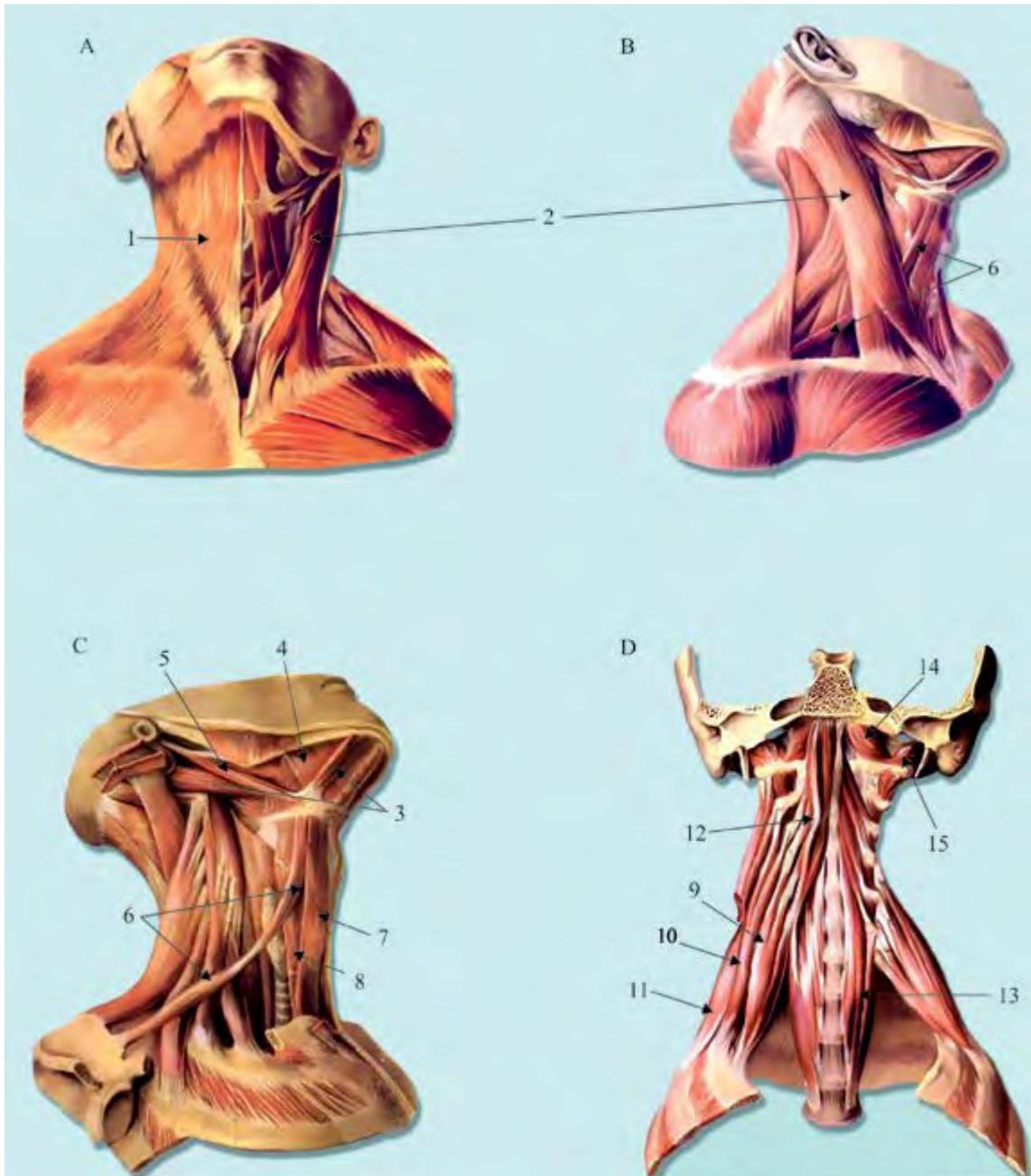


Fig. 8.26. Músculos del cuello: A. Vista anterior. Grupo superficial y anterior; B. Vista lateral derecha. Grupo superficial, anterior y profundo (laterales); C. Vista lateral derecha. Grupo superficial, anterior y profundo; D. Vista anterior. Grupo de músculos profundos: 1. Platisma; 2. Esternocleidomastoideo; 3. Digástrico; 4. Milohioideo; 5. Estilohioideo; 6. Omohioideo; 7. Esternalioideo; 8. Esternotiroideo; 9, 10, 11. Escalenos anterior, medio y posterior; 12. Largo de la cabeza; 13. Largo del cuello; 14. Recto anterior de la cabeza; 15. Recto lateral de la cabeza.

elevan las 2 primeras costillas, por lo que actúan como auxiliares de la inspiración.

Músculos profundos prevertebrales

Se sitúan en la parte anterior de las primeras vértebras de la columna vertebral (desde la tercera torácica hacia arriba, hasta el occipital) y son 4 pares de músculos (Fig. 8.26 D). En estos músculos, a nivel del estudiante, no es necesario saber sus inicios y terminaciones, pero sí los nombres: músculo largo del cuello, largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza y recto lateral de la cabeza, y la situación y las funciones (estas últimas pueden encontrarlas en el libro de texto Prives).

Los músculos del cuello se encuentran inervados por varios nervios, tales como: el nervio trigémino, que inerva el milohioideo y el vientre anterior del digástrico; el nervio facial, que inerva platisma, estilohioideo y el vientre posterior del digástrico; el nervio accesorio; los nervios cervicales, que inervan el esternocleidomastoideo.

Músculos del tronco

En esta región se tienen los músculos del dorso, del tórax y del abdomen. Se debe añadir que en la región perineal existe también un conjunto de músculos y fascias (perineo) que se estudiarán más adelante, junto con el sistema reproductor.

Estos músculos se originan de los somitas que se forman en el mesodermo paraxial, específicamente del miotoma, con la particularidad de que los músculos del dorso derivan de la parte dorsal de estos, y los músculos anterolaterales derivan de la parte ventral. Con posterioridad continúan su desarrollo en el espesor de la hoja somática del mesodermo lateral.

Músculos del dorso

Son músculos muy numerosos. La mayor parte constituye una musculatura propia, originada de los miotomas del tronco, sobre la cual se superponen los músculos que se trasladaron al dorso desde la cabeza (viscerales) y el miembro superior, debido a lo cual estos músculos se sitúan en capas, teniendo su inervación en dependencia del lugar de origen del músculo (Fig. 8.27).

Estos músculos se dividen en un grupo superficial y otro profundo:

— Los músculos del grupo superficial se sitúan en tres capas: las dos primeras capas están inervadas por ramos del plexo braquial, excepto el trapecio que se trasladó de la cabeza y está inervado por el 11 nervio craneal. Todos estos músculos se insertan por uno de sus extremos en huesos del miembro superior y actúan en los movimientos de este; la tercera capa está inervada por los nervios intercostales y sus costillas se insertan por uno de sus extremos en las costillas, actuando en los movimientos de estas. Debido a lo anterior, los músculos superficiales del dorso se pueden dividir también en: músculos insertados en huesos del miembro superior y músculos insertados en las costillas.

— Los músculos profundos se dividen en 2 grupos según su origen: en un grupo autóctono dispuesto en 2 tractos (lateral y medial) e inervados por los ramos posteriores de los nervios espinales, y en un grupo de origen ventral inervado por los ramos anteriores de los nervios espinales.

Músculos superficiales del dorso

1. Primera capa: músculos trapecio y dorsal ancho:

a. Músculo trapecio (Fig. 8.27 A):

- Está situado superficialmente en el dorso, en la parte superior y posterior del tronco y el cuello, y en el occipucio.
- Tiene forma triangular y los dos músculos juntos la forma de un trapecio de donde recibió su nombre.
- Se inicia en los procesos espinosos de todas las vértebras torácicas, ligamento nucal y línea nucal superior, y sus fibras musculares por su situación se dividen en superiores, medias e inferiores y todas van a terminar en la extremidad acromial de la clavícula, el acromion y la espina de la escápula.
- En la región del proceso espinoso de la séptima vértebra cervical y las dos primeras torácicas se forma una expansión tendinosa en forma de rombo, denominada espejo tendinoso.
- Funciones: aproxima la escápula a la columna vertebral y lleva el hombro hacia atrás. Sus fibras superiores elevan la escápula y las inferiores la descenden. Si el cinturón del miembro superior se mantiene fijo, la contracción de ambos músculos (bilateral) provoca la extensión de la cabeza y la contracción unilateral flexiona la cabeza hacia el lado del músculo contraído.
- Este músculo, al igual que el esternocleidomastoideo, tiene doble inervación (11 par y plexo cervical).

b. Músculo dorsal ancho (Fig. 8.27 A):

- Está situado superficialmente en la parte inferior del dorso, excepto su parte superior que está cubierta por la parte inferior del trapecio.
- Se inicia en los procesos espinosos de la cuarta o sexta últimas vértebras torácicas, en los procesos espinosos de las vértebras lumbares, en el sacro, en la fascia toracolumbar y en las últimas 4 costillas, y desde este amplio inicio sus fibras se unen para terminar en la cresta del tubérculo menor del húmero.
- Los dos músculos están unidos en la región lumbar por abundante tejido conjuntivo que forma la fascia toracolumbar.
- Funciones: la acción principal es la extensión, aproximación y rotación medial del brazo, igual al movimiento que se hace al sacar el pañuelo del bolsillo posterior del pantalón. Cuando el brazo está fijo eleva el tronco, como en la acción de trepar (muy desarrollado en el mono), y eleva 4 costillas, siendo auxiliar en la inspiración.

2. Segunda capa: músculos romboides (mayor y menor) y elevador de la escápula:

a. Músculos romboides (Fig. 8.27 B):

- Están situados profundamente al músculo trapecio, el menor en posición superior y el mayor inferiormente.
- El menor se inicia en los procesos espinosos de las sexta y séptima vértebras cervicales, y el mayor en los procesos espinosos de las 4 primeras vértebras torácicas; ambos terminan en el borde medial de la escápula por debajo de la espina.
- Función: consiste en acercar o aproximar la escápula a la columna vertebral y elevarla un poco, ya que sus fibras están dispuestas diagonalmente de arriba a abajo. Son antagonistas del músculo serrato anterior.

b. Músculo elevador de la escápula (Fig. 8.27 B):

- Dispuesto oblicuamente desde los procesos transversos de las primeras 4 vértebras cervicales hasta el ángulo superior de la escápula.
- Es el único de los superficiales que no se inicia en los procesos espinosos de las vértebras.
- Función: eleva la escápula.

3. Tercera capa: músculos serratos posterosuperior y posteroinferior (Fig. 8.27 C). Se extienden en general de la columna vertebral a las costillas; el superior está situado profundamente a los romboides y el inferior profundamente al dorsal ancho:

a. Músculo serrato posterosuperior:

- Se inicia en los procesos espinosos de las 2 últimas vértebras cervicales y de las 2 primeras torácicas, dirigiéndose oblicuamente hacia abajo para terminar por 4 digitaciones en la cara posterior de las costillas de la segunda a la quinta lateralmente a sus ángulos.

b. Músculo serrato posteroinferior:

- Tiene también sus fibras dispuestas oblicuamente, pero en dirección inversa al anterior, o sea, de abajo hacia arriba.
- Se inicia en los procesos espinosos de las 2 últimas vértebras torácicas y 2 primeras lumbares y termina por 4 digitaciones en la cara posterior de las últimas 4 costillas (9 a la 12) lateralmente a sus ángulos.
- Funciones: actúan como auxiliares de la respiración; el superior asciende las costillas participando en la inspiración (el punto fijo del músculo está más arriba, o sea, en las vértebras, de ahí que al contraerse asciendan las costillas) y el inferior desciende las costillas participando en la espiración (el punto fijo del músculo está abajo, o sea, en las vértebras, de ahí que al contraerse descieran las costillas situadas más arriba).

Músculos profundos del dorso de origen dorsal y ventral

Músculos de origen dorsal o autóctonos

Están situados en el espacio comprendido entre los procesos espinosos de las vértebras y los ángulos de las costillas, extendiéndose desde el sacro al occipucio y se

dividen en 2 tractos musculares: tracto lateral y tracto medial. Ambos tractos tienen continuación en sus partes superiores, por lo que uno y otro alcanzan el occipital.

— Tracto lateral (Fig. 8.27 C y D):

- Está constituido por músculos más largos y situados superficialmente.
- Abarcan el espacio antes mencionado.
- En conjunto forman el importante músculo erector espinal formado por tres porciones: iliocostal, longísimo y espinal.
- El iliocostal está situado más lateralmente y tiene 3 porciones: la lumbar (que termina en los procesos transversos de las vértebras lumbares superiores y en los ángulos de las costillas inferiores), la torácica (termina en los ángulos de las costillas superiores) y la cervical (termina en los procesos transversos de las vértebras cervicales inferiores). El longísimo o porción media del erector, tiene 4 porciones (lumbar, torácica, cervical y cefálica) llegando hasta el proceso mastoideo. La espinal es la más medial de las tres porciones y se extiende entre los procesos espinosos de las vértebras.
- La continuación de este tracto lateral en la parte superior son los músculos esplenios de la cabeza y el cuello, ellos se inician en los procesos espinosos de las cinco últimas vértebras cervicales y 6 primeras vértebras torácicas y se dirigen lateralmente y hacia arriba, y la parte cefálica o esplenio de la cabeza termina en la línea nucal superior y en el proceso mastoideo, y la cervical o esplenio del cuello termina en los procesos transversos de la segunda y tercera vértebras cervicales. Los esplenios en contracción unilateral flexionan la cabeza y el cuello hacia el lado de los músculos contraídos y en la bilateral extienden la cabeza y el cuello.
- Funciones del músculo erector espinal: Mantiene erguido el tronco, con la contracción unilateral flexiona lateralmente el tronco y con la contracción bilateral lo extiende.

— Tracto medial (Fig. 8.27 E y F):

Está constituido por músculos más cortos.

- Están situados más profundamente, o sea cubiertos por el tracto lateral.
- Solo abarcan de ancho el espacio entre los procesos espinosos y transversos de las vértebras aunque de largo es igual al tracto lateral.
- Este tracto está constituido por músculos que se extienden desde los procesos transversos de las vértebras situadas por debajo hasta los procesos espinosos de las vértebras situadas por encima, por lo cual recibieron la denominación de músculos transversos-espinosos. Se extienden desde el sacro al occipital, situados en tres capas, diferenciándose por la profundidad de su localización y por el número de vértebras que abarcan. Cuanto más superficial es el músculo, más largo es el trayecto de sus fibras y tanto mayor es el número de vértebras a través de las cuales se extiende. El músculo semiespinoso es el más superficial, se extiende o sobrepasa entre cinco o seis vértebras, los músculos multifidos (capa media) extendidos entre tres o cuatro vértebras y los músculos rota-

dores (capa profunda) extendidos entre vértebras alternas o contiguas. Al tracto medial también pertenecen músculos situados entre los procesos espinosos de vértebras vecinas (músculos interespinales) manifiestos solamente en las regiones de mayor movilidad de la columna vertebral (cervical y lumbar).

- La continuación del tracto medial en la parte superior son los músculos oblicuos (superior e inferior) y los

rectos posteriores (mayor y menor). Estos 4 músculos actúan en las articulaciones atlantooccipitales y atlantoaxiales y en su contracción unilateral participan en los movimientos rotatorios de la cabeza y en la contracción bilateral en la extensión de la cabeza.

- Función: el tracto medial participa también en mantener erguido el tronco, pero más importante es su acción en la rotación de este (multífidos y rotatorios).

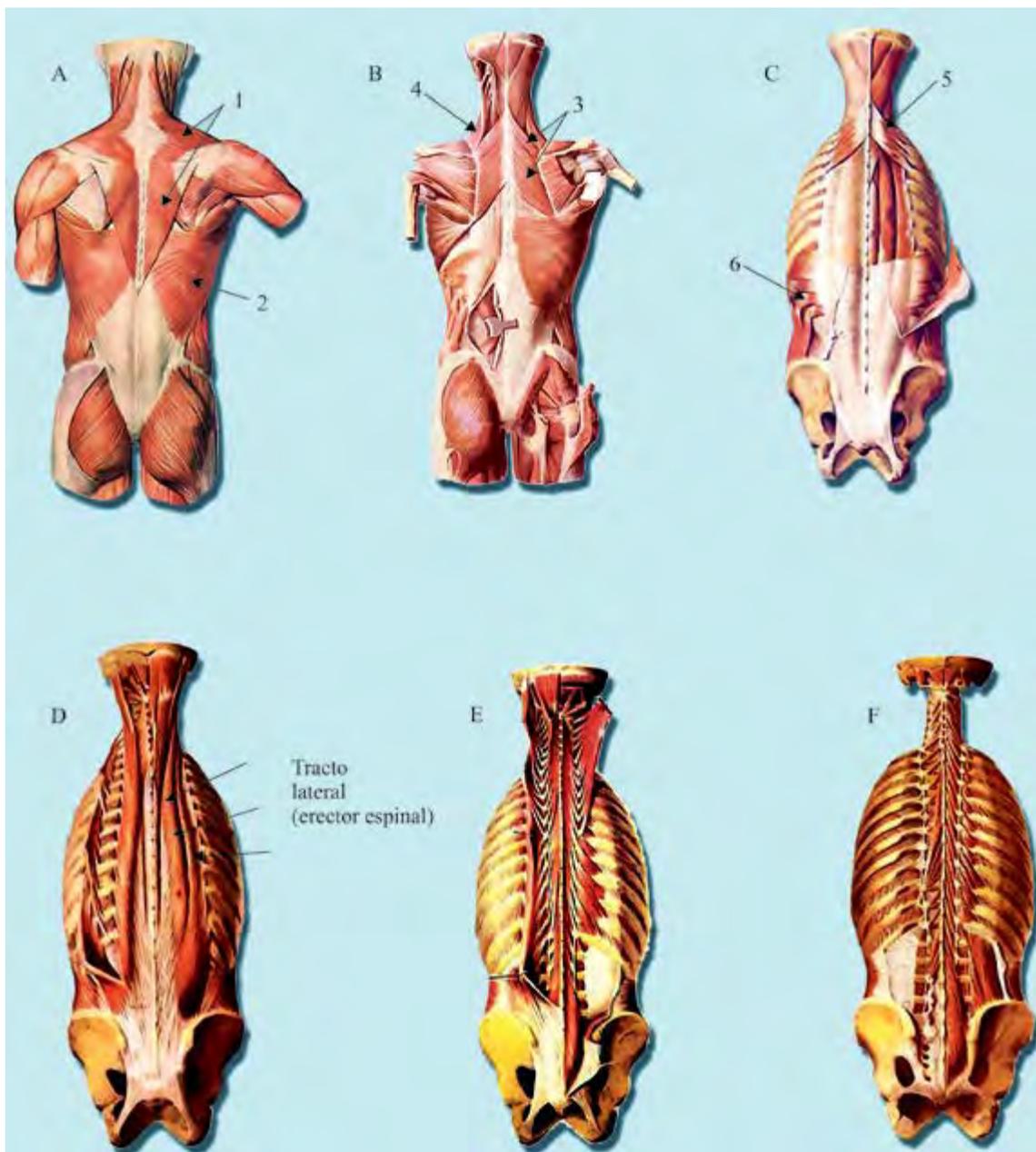


Fig. 8.27. Músculos del dorso. A. Músculos superficiales (primera capa): 1. Trapecio; 2. Dorsal ancho. B. Músculos superficiales (las 3 capas): 3. Romboides menor y mayor; 4. Elevador de la escápula. C. Músculos superficiales (tercera capa) y músculos profundos autóctonos (tracto lateral): 5. Serrato posterosuperior; 6. Serrato posteroinferior. D. Músculos profundos autóctonos (tracto lateral y parte del tracto medial). E. Músculos profundos autóctonos (tracto medial y parte del tracto lateral) y músculos profundos de origen ventral (elevadores de las costillas). F. Músculos profundos (tracto medial) y músculos profundos de origen ventral (elevadores de las costillas).

En los músculos que son continuaciones de los tractos medial y lateral no es necesario saber los inicios y terminaciones pero sí sus nombres, situación y funciones. De los tractos hay que dominar bien sus características particulares.

Músculos profundos del dorso de origen ventral

Están representados por los músculos intercostales que se desplazaron hacia la columna vertebral, por lo cual están inervados por los ramos anteriores de los nervios espinales. Entre ellos están los músculos elevadores de las costillas y los músculos intertransversarios cervicales y lumbares:

1. Músculos elevadores de las costillas:
 - a. Solo existen en la región torácica por su parte dorsal.
 - b. Cada fascículo parte del proceso transversario de la vértebra situada más arriba hacia la costilla inmediata inferior, empezando desde la séptima vértebra cervical hasta la XI vértebra torácica y terminando de la primera a la XII costilla.
 - c. Función: su función principal no es la elevación de las costillas, sino la flexión lateral de la columna vertebral.
2. Músculos intertransversarios cervicales: se extienden entre los tubérculos anteriores de las vértebras cervicales, que son los rudimentos de las costillas.
3. Músculos intertransversarios lumbares: situados entre los procesos costiformes, que también son rudimentos de las costillas.

Músculos del tórax

Los músculos del tórax (Fig. 8.28) derivan de los somitas cervicales y torácicos y están inervados por los nervios intercostales y ramos cortos del plexo braquial. De forma general participan en los movimientos del miembro superior y los movimientos respiratorios. Para su estudio se dividen en músculos relacionados con el miembro superior, también denominados superficiales (músculo pectoral mayor, menor, serrato anterior y subclavio), y los músculos propios o autóctonos, también denominados profundos (músculos intercostales externos, internos, íntimos, subcostales y transversos del tórax).

Músculos relacionados con el miembro superior

Músculo pectoral mayor (Fig. 8.28 A):

- Es un músculo grueso y triangular, de base medial y vértice lateral.
- Según su inserción de origen se describen 3 porciones: una porción clavicular, cuyas fibras se originan en el borde anterior de la mitad medial de la clavícula; una porción esternocostal, que se origina en la cara anterior de la mitad del esternón del lado correspondiente y en la cara externa del II-VII cartílagos costales; y una porción abdominal, que es inconstante y se origina de la hoja anterior de la vaina del músculo recto abdominal. Las fibras de las diferentes porciones se agrupan en un tendón que se inserta en la cresta del tubérculo mayor del húmero.
- El borde lateral del músculo está aplicado al borde anterior del deltoides, separado de este por el surco

deltoideopectoral; este surco se ensancha hacia arriba y por debajo de la clavícula, donde condiciona la formación de una pequeña fosa: la fosa infraclavicular.

- Funciones: flexión, aducción y rotación medial del brazo; es también un músculo auxiliar en la inspiración.

Músculo pectoral menor (Fig. 8.28 D):

- Es un músculo delgado y triangular de base medial y vértice lateral.
- Está situado profundamente al pectoral mayor.
- Su inserción de origen está dada por digitaciones en la cara externa de los II-V cartílagos costales, estas convergen y se dirigen hacia afuera y hacia arriba, continuándose con un tendón que tiene su inserción de terminación en el vértice del proceso coracoideo de la escápula.
- Su función consiste en llevar la escápula hacia abajo y delante, y si toma como punto fijo su inserción en el cinturón del miembro superior puede actuar como un músculo auxiliar de la inspiración.

Músculo subclavio (Fig. 8.28 D):

- Es un músculo pequeño, fusiforme.
- Está ubicado entre la clavícula y la primera costilla.
- Tiene su inserción de origen en la cara superior del cartílago costal y parte vecina del cuerpo costal de la primera costilla, justo lateralmente al ligamento costoclavicular, el vientre muscular se sitúa entre la clavícula y la primera costilla y tiene su inserción de terminación en la cara inferior de la clavícula en el surco del músculo subclavio.
- Su función consiste en acercar la clavícula hacia la primera costilla, y contribuye con su acción a aplicar fuertemente la clavícula contra el esternón, obrando como un ligamento activo en la articulación esternoclavicular y oponiéndose a luxaciones.

Músculo serrato anterior (Fig. 8.28 B y C):

- Es un músculo extenso, ubicado profundamente y situado sobre el tórax en su pared lateral. Está cubierto por delante por los músculos pectorales.
- Adquiere su nombre de serrato por la disposición que adquieren las fibras inferiores de este músculo en forma de dientes de una sierra.
- Su inserción de origen está dada por digitaciones musculares que parten de la cara externa de las 9 primeras costillas, así como de los bordes superiores de esta. Algunos autores describen en el músculo 3 porciones (superior, intermedia e inferior), diferentes tanto en función como en dirección y disposición. Debido a la inserción de origen del serrato anterior a nivel de la cara superoexterna de la II costilla se forma un detalle anatómico denominado tuberosidad del serrato anterior. La inserción de terminación de este músculo se ubica a todo lo largo del borde medial de la escápula, medialmente al músculo subescapular.
- Funciones: el serrato anterior, junto con los romboides, forman una lámina muscular única en la que está incluida el borde medial de la escápula; ambos músculos contribuyen a mantener en contacto la escápula con la superficie del tórax.

Las fibras inferiores son antagonistas de los romboides, produciendo la rotación de la escápula, girando el ángulo inferior hacia delante y lateralmente con ascenso de la cavidad glenoidea y separación consiguiente del brazo.

Las fibras intermedias y superiores producen traslación hacia delante y hacia fuera de la escápula sin rotación de la misma, como consecuencia de ello, la cavidad glenoidea se orientará hacia delante.

La acción en conjunto de este músculo produce traslación hacia delante y la rotación de la escápula con ascenso de la cavidad glenoidea.

Si la escápula se encuentra fijada por la acción de otros músculos, el serrato anterior puede tomar en ella su punto fijo, elevar las costillas y actuar como un músculo auxiliar de la inspiración.

Músculos propios o autóctonos del tórax

En este grupo se encuentran músculos que conectan costillas vecinas (intercostales externos, internos e íntimos), que saltan varias costillas entre sus inserciones (subcostales), y que unen costillas al esternón (transverso del tórax) (Fig. 8.29).

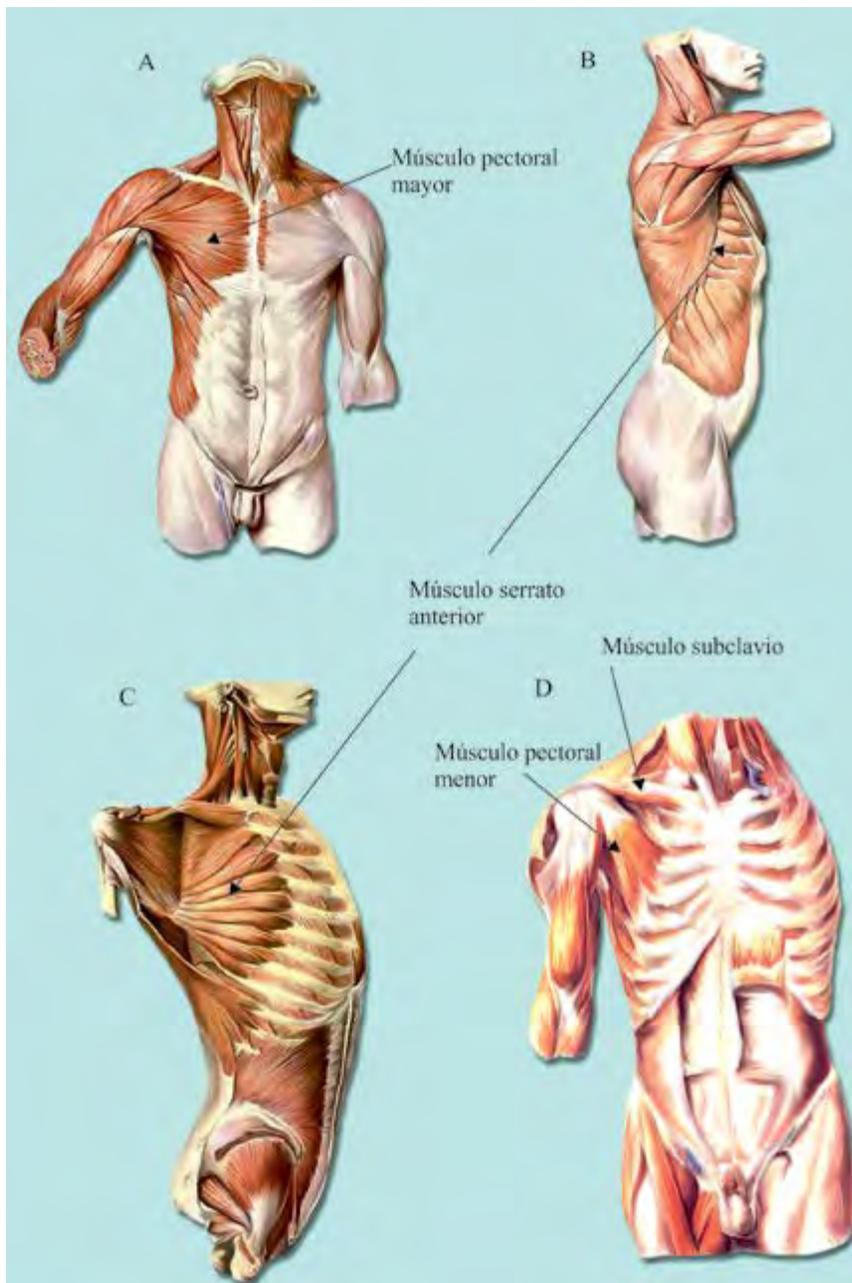


Fig. 8.28. Músculos del cuello, del tronco y de los miembros superiores: A. Vista anterior (músculos superficiales del cuello, tórax y abdomen); B. Vista lateral derecha (músculos superficiales del cuello, tórax, dorso y abdomen); C. Vista lateral derecha (la escápula está tirada hacia atrás, los músculos pectorales mayor y menor y oblicuo externo del abdomen están quitados); D. Vista anterior (están resecaados varios músculos del tórax y abdomen).

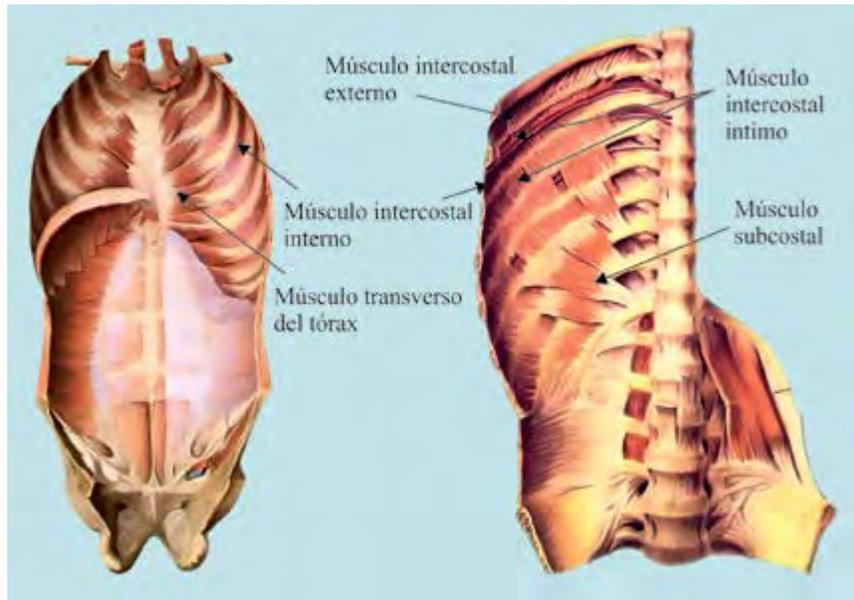


Fig. 8.29. Músculos del tronco: A. Pared anterior del tórax y del abdomen. Vista interna (posterior); B. Pared posterior del tórax y del abdomen. Vista interna (anterior).

Músculos intercostales

Los músculos intercostales son delgadas capas superpuestas de fibras musculares que ocupan los espacios intercostales y se denominan según sus relaciones espaciales en: intercostales externos, internos e íntimos.

Músculos intercostales externos

Se encuentran en número de 11 a cada lado. Se extienden desde la columna vertebral (por detrás) hasta el cartílago costal por delante, donde a su vez son sustituidos por la membrana intercostal externa, la cual se continúa hasta el esternón. Cada músculo va del borde inferior de una costilla hasta el borde superior de la costilla subyacente.

Las fibras se dirigen oblicuamente hacia abajo y hacia afuera en la pared posterior del tórax y hacia abajo y adelante en la pared anterior del tórax.

Músculos intercostales internos

Se encuentran ubicados profundamente a los músculos intercostales externos. Son igualmente 11 a cada lado. Sus inserciones van del esternón por delante hasta los ángulos costales por detrás, donde cada músculo es remplazado por la membrana intercostal interna.

La dirección de las fibras es hacia arriba y hacia afuera en la pared posterior del tórax y hacia arriba y adelante en la pared anterior del tórax; las fibras tienen una dirección oblicua y son casi perpendiculares a las del músculo intercostal externo.

Músculos intercostales íntimos

Se encuentran ubicados profundamente a los músculos intercostales internos. Tienen la misma dirección de las fibras que los intercostales internos. Se insertan en la cara interna de las costillas adyacentes, por dentro de los músculos intercostales internos.

Se trata de músculos insignificantes, que a veces faltan en los niveles más altos, pero van haciéndose ma-

yores de manera progresiva, a medida que descienden, extendiéndose aproximadamente por los 2/4 centrales de los espacios intercostales inferiores.

Se encuentran separados de los músculos intercostales externos por el paquete vasculonervioso intercostal.

Músculos subcostales

Están situados en la parte posterior de los espacios intercostales en la cara interna de las costillas inferiores a nivel de los ángulos costales. Usualmente solo están presentes en la parte inferior del tórax (últimos espacios intercostales).

Sus fibras tienen la misma dirección que la de los intercostales internos y cada uno de ellos asciende desde la superficie interna de una costilla, entre las proximidades de su ángulo costal a la superficie interna de la segunda o tercera costilla situada por encima.

Músculo transverso del tórax

Está situado en la cara interna de la pared anterior del tórax. Es plano, delgado, y en forma de abanico. Algunos lo describen irregularmente triangular. Tiene su inserción de origen en el tercio inferior de la superficie posterior del cuerpo esternal, cerca de sus bordes, y del proceso xifoideo y de la superficie posterior de los cartílagos costales del IV o V hasta la VII costilla, muy cerca de sus extremos esternales.

Sus fibras divergen a medida que discurren hacia arriba y hacia afuera para tener su inserción de terminación en las costillas de la II-VI.

La dirección de sus fibras difiere, siendo las inferiores horizontales, las intermedias oblicuas y las superiores casi verticales.

Funciones de los músculos propios del tórax

Para comprender las funciones de los músculos propios del tórax es importante tener en cuenta las inserciones de estos. Así, se tiene que los músculos intercostales

externos son inspiradores, mientras que los músculos intercostales internos, íntimos, subcostales y transverso del tórax son espiradores. No obstante, se debe señalar que el descenso del tórax durante la espiración, transcurre, principalmente, por la fuerza de elasticidad de los pulmones y del propio tórax.

Diafragma

El diafragma es una lámina músculofibrosa en forma de bóveda, que se fija al borde inferior del tórax y que separa la cavidad torácica de la abdominal. La cara convexa de esta bóveda es superior y la cóncava es inferior.

Este músculo constituye el piso de la cavidad torácica y el techo de la cavidad abdominal. Se encuentra cubierto por encima y por debajo, por fascias y membranas serosas; está inervado por el nervio frénico.

En este músculo se describen dos grandes porciones: una tendinosa, que está situada centralmente y se denomina centro tendinoso, y la muscular, que es periférica (Fig. 8.30).

Por el lugar de origen de las fibras en la porción muscular del diafragma se distinguen 3 porciones: esternal, costal y lumbar. Estas fibras musculares que se originan en el perímetro inferior del tórax se dirigen hacia arriba, continuándose en el centro tendinoso.

Porción muscular

Porción lumbar

Es la más sólida de las porciones. Se origina por dos arcos tendinosos: el ligamento arqueado medial y lateral, así como de las vértebras lumbares por medio de dos pilares derecho e izquierdo.

Ligamento arqueado medial: es un arco tendinoso que se produce a partir de la fascia que cubre la parte superior del músculo psoas mayor. Este ligamento se continúa medialmente con el borde tendinoso lateral del pilar correspondiente, insertándose en la cara lateral del cuerpo de la vértebra lumbar I o II y lateralmente se inserta en la parte anterior del proceso costal de la vértebra lumbar I.

Ligamento arqueado lateral: es una banda engrosada de la fascia que cubre al músculo cuadrado lumbar,

y que se arquea cruzando la parte superior de este músculo, se inserta medialmente en la parte anterior del proceso costiforme de la vértebra lumbar I y lateralmente se inserta en el extremo anterior de la costilla XII.

Los pilares del diafragma son estructuras tendinosas en sus inserciones y suelen confundirse con el ligamento longitudinal anterior de la columna vertebral. Se trata de dos pilares, uno derecho y otro izquierdo:

- Pilar derecho: es más amplio y de mayor longitud que el pilar izquierdo. Se origina de las caras anterolaterales de los cuerpos vertebrales y discos intervertebrales de las 4 vértebras lumbares superiores.
- Pilar izquierdo: se origina de las porciones correspondientes de las vértebras lumbares superiores y discos intervertebrales, no suele alcanzar la IV vértebra lumbar. El pilar izquierdo está algo más arriba que el pilar derecho.

Los bordes tendinosos mediales de ambos pilares, se unen en el plano medio en forma de arco. Este arco cruza la cara anterior de la arteria aorta y constituye el ligamento arqueado mediano, esto ocurre a nivel de la cara anterior de la XII vértebra torácica.

Por detrás del ligamento arqueado mediano y por delante de la columna vertebral y delimitado por fuera por los pilares queda constituido un orificio osteotendinoso denominado hiato aórtico, ocasionalmente fibras tendinosas de la parte medial de los pilares pasan por detrás de la aorta, por lo que el orificio queda convertido en un anillo fibroso. A través del hiato aórtico pasa la arteria aorta y el conducto torácico.

Las fibras de los pilares se separan a medida que ascienden, dirigiéndose las más laterales hacia arriba y hacia afuera; por encima del hiato aórtico, ya en este punto los pilares se encuentran constituidos por fibras musculares que están coincidiendo, y hacia arriba y la izquierda del hiato aórtico divergen y se unen de nuevo limitando de esta manera un orificio muscular denominado hiato esofágico.

El hiato esofágico se encuentra a nivel de la XI vértebra torácica y por el mismo pasan el esófago y los nervios vagos.

Por encima del hiato esofágico, las fibras musculares terminan en el borde posterior del centro tendinoso, dado la forma abovedada de este músculo el hiato esofágico es superior y anterior con relación al hiato aórtico.

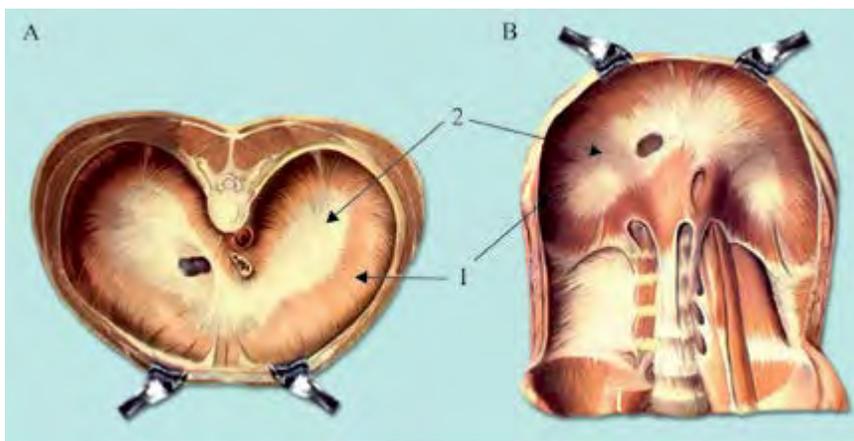


Fig. 8.30. Diafragma: A. Vista superior. B. Vista interna con m. del grupo posterior del abdomen y del cinturón de miembros inferiores en el lado izquierdo. 1. Porción muscular; 2. Porción tendinosa (centro tendinoso).

Entre los fascículos musculares de los pilares en la porción lumbar del diafragma se notan 2 fisuras pares: la fisura a través de la cual pasa a la derecha la vena ácigos y los nervios esplácnicos mayor y menor y a la izquierda la vena hemiacigos y los mismos nervios y la fisura a través de la cual pasan los troncos simpáticos.

Porción costal

Tiene un origen muy extenso, se realiza por digitaciones en la cara interna de las 6 últimas costillas (cartílago y hueso costal), entremezclándose con las fibras del músculo transversal del abdomen. Las fibras musculares originadas de aquí forman un todo único que se dirigen hacia arriba para insertarse en las porciones anterolaterales del centro tendinoso.

Entre el origen de la porción costal de la XII costilla y la parte más lateral de la porción lumbar, existe un espacio triangular de vértice superior desprovisto de fibras musculares y reforzado por tejido conectivo, denominado triángulo lumbocostal (por donde no transita ninguna estructura), cerrado por arriba y por abajo por pleura y peritoneo. A este nivel suelen ocurrir las hernias diafragmáticas.

Entre la porción costal y esternal también existe una doble fisura triangular de vértice superior, que es el triángulo esternocostal, por donde pasa la arteria epigástrica superior rama de la arteria torácica interna.

Porción esternal

Es la más reducida de todas e incluso en ocasiones falta, se origina en la cara posterior del proceso xifoideo del esternón y en una pequeña parte vecina de la hoja posterior de la vaina del músculo recto abdominal. Las fibras musculares se van a dirigir hacia arriba y hacia atrás para terminar en la parte anterior del centro tendinoso.

Centro tendinoso

Es la porción tendinosa que ocupa la parte central del músculo, de color blanco nacarado. Tiene forma de hoja de trébol muy irregular con 3 folíolos u hojillas. Un folíolo anterior que es más ancho, uno derecho y otro izquierdo, siendo el derecho mayor que el izquierdo. Entre el folíolo anterior y derecho en su porción posterior presenta el centro tendinoso un gran orificio rectangular: el orificio de la vena cava, que da paso a la vena cava inferior.

El área central del tendón consta de 4 bandas longitudinales bien marcadas, que irradian de un punto grueso central y se esparcen en forma de abanico; el punto central de decusación es un nódulo grueso de fibras tendinosas comprimidas, situado por delante del orificio esofágico y a la izquierda del orificio de la vena cava.

Relaciones del diafragma

La cúpula no es regularmente convexa hacia el tórax, sino que en un plano frontal se ve que la altura de las cúpulas no es idéntica en ambos lados, la parte derecha tiene un abombamiento más pronunciado que la izquierda debido a que está presionada por debajo por el hígado, la porción central (centro tendinoso), se haya a una altura ligeramente menor que las cimas de las porciones laterales (cúpulas).

La superficie superior del diafragma está en relación con 3 membranas serosas; a cada lado sobre los folíolos derecho e izquierdo se relaciona con la pleura que lo separa de la base pulmonar correspondiente, mientras que el folíolo anterior se relaciona con el pericardio que separa el diafragma del corazón.

La mayor parte de la superficie inferior está cubierta por peritoneo, por el lado derecho está amoldado a la superficie convexa del lóbulo derecho del hígado, el riñón derecho, glándula suprarrenal derecha; y por el lado izquierdo sobre el lóbulo izquierdo del hígado, el estómago (fórnix), bazo, riñón izquierdo y glándula suprarrenal izquierda.

Los pilares están en relación con el páncreas y el duodeno.

La parte periférica de la cara convexa del diafragma no está en relación con las bases pulmonares, sino con la pared torácica, con la que forma un ángulo agudo denominado seno costodiafragmático.

La cúpula en el vivo varía de posición según la fase respiratoria en que se encuentre el individuo, pudiendo trasladarse hasta 4 cm o algo menos en dirección superior o inferior, durante la inspiración forzada se obtiene la posición más baja de este músculo y durante la espiración forzada se obtiene lo contrario. En esta espiración forzada la cúpula derecha puede alcanzar el quinto cartílago costal y la izquierda el sexto.

Acciones del diafragma

- Músculo principal de la inspiración: durante la inspiración el centro tendinoso es desplazado hacia abajo y hacia delante por la contracción de las fibras musculares provenientes de los pilares y las insertadas en las costillas inferiores; con el descenso del centro tendinoso el mismo empuja y desciende las vísceras abdominales, en esa posición el centro tendinoso se transforma en un punto fijo para la acción del diafragma, cuyo efecto es la elevación de las costillas inferiores por medio de las cuales se empuja hacia delante el cuerpo del esternón y las costillas superiores. De esta forma el diafragma aumenta los 3 diámetros del tórax: vertical al descender el centro tendinoso, anteroposterior (AP) y transversal, haciendo rotar las costillas por un eje longitudinal que pasa por el cuello de la misma, al elevarse se dirigen hacia afuera y se proyectan hacia delante.
- Prensa abdominal: el diafragma, además de su importancia en la función respiratoria interviene también en la circulación. Con el descenso del diafragma la presión intrabdominal aumenta, y disminuye la presión intratorácica, el diafragma presiona y tiende a exprimir la sangre del hígado, y como el orificio de la vena cava está siempre abierto, todo ello favorece el retorno de la circulación venosa hacia la cavidad torácica.
- Retorno linfático: se plantea que las fibras de los pilares ejercen una acción de esfínter sobre el extremo inferior del esófago (contrayéndose y relajándose) para favorecer el paso del contenido del esófago al estómago; no obstante, ello ha sido puesto en duda dado que en los 2 cm inferiores del esófago existen fibras intrínsecas de este que tienen una acción esfínteriana efectiva.

Músculos del abdomen

Los músculos abdominales son pares y ocupan el espacio comprendido entre la apertura inferior del tórax y el borde superior de la pelvis. Estos envuelven la cavidad abdominal, formando sus paredes (Fig. 8.31).

Se agrupan en 3 grupos teniendo en cuenta su ubicación topográfica:

1. Grupo anterior: músculo recto del abdomen; músculo piramidal.
2. Grupo lateral: músculo oblicuo externo del abdomen; músculo oblicuo interno del abdomen; músculo transverso del abdomen.
3. Grupo posterior: músculo cuadrado lumbar.

Los músculos abdominales pertenecen exclusivamente a la musculatura propia ventral de esa región y están inervados por los nervios intercostales (5-12) y por los ramos superiores del plexo lumbar (iliohipogástrico e iliolumbar).

Grupo anterior

Los músculos de este grupo están situados a los lados de la línea media (línea alba) formando parte de la pared anterior del abdomen y rodeados por la vaina de los rectos.

Músculo recto del abdomen

Se extiende desde la parte anteroinferior del tórax hasta el pubis. Está compuesto de fascículos musculares longitudinales dirigidos en sentido vertical, que se estrechan en sentido superoinferior. Tiene su inserción de origen en la cara anterior de los cartílagos costales del V al VII y del proceso xifoideo del esternón. Sus fibras musculares se dirigen verticalmente hacia abajo estrechándose paulatinamente y se inserta por un tendón sólido en el pubis (entre sínfisis y el tubérculo púbico). Está interrumpido en su trayecto por tres o cuatro intersecciones tendinosas (adheridas a la pared anterior de la vaina del recto y son vestigios del desarrollo segmentario) por lo que el recto tiene cuatro o cinco vientres musculares (es un músculo poligástrico) y en algunas personas entrenadas los vientres musculares pueden contraerse separadamente (Fig. 8.31 C).

Músculo piramidal

Es un músculo pequeño, triangular, inconstante. Está situado por delante del recto e incluido en su vaina. Tiene su inserción de origen en el pubis (entre la sínfisis púbica y el tubérculo púbico) y su inserción de terminación está en la línea alba. Su función consiste en tensar la línea alba (Fig. 8.31 C).

Vaina del músculo recto del abdomen

Cada uno de los músculos rectos del abdomen se encuentra envuelto por una vaina, formada por las expansiones aponeuróticas de los tres músculos anchos del abdomen. Pero esta no presenta la misma constitución en todo su trayecto. Se le divide en tres tercios para su descripción; en sus dos tercios superiores presenta una disposición diferente a la del primer tercio inferior, que no coincide exactamente con el ombligo, sino unos 4 a 5 cm

por debajo de este, sin embargo, muchos textos, como el Prives, utilizan el ombligo como punto de demarcación, y la dividen en una parte supraumbilical e infraumbilical (Figs. 8.31):

- Parte superior de la vaina (dos tercios superiores): esta vaina en su parte superior, está constituida de tal modo que la aponeurosis del músculo oblicuo externo del abdomen pasa por delante del músculo recto abdominal, y la aponeurosis del músculo transverso del abdomen pasa por detrás, mientras que la del músculo oblicuo interno del abdomen, al llegar al borde lateral del recto abdominal, se desdobra en dos hojas que abarcan a dicho músculo por delante y por detrás, adhiriéndose respectivamente a las aponeurosis del oblicuo externo y del transverso del abdomen, constituyendo junto con ellas las paredes anterior y posterior de la vaina.
- Parte inferior de la vaina (primer tercio inferior): en la parte inferior, a 4 o 5 cm por debajo del ombligo, la estructura de la vaina es distinta; aquí las aponeurosis de los tres músculos anchos del abdomen pasan por delante del músculo recto, formando la pared anterior de su vaina, mientras que por su cara posterior el recto carece de vaina, viéndose esta sustituida por la fascia transversal que tapiza por dentro la cavidad abdominal. La pared aponeurótica posterior de la vaina termina en ese lugar en una especie de arco fibroso de concavidad inferior, denominado línea arqueada (arco de Douglas).

Línea alba

Las aponeurosis de los músculos anchos del abdomen, coincidiendo y uniéndose unas con otras en la línea media del abdomen, constituyen una cintilla tendinosa entre los dos músculos rectos del abdomen denominada línea alba, que se extiende desde el proceso xifoideo del esternón hasta la parte superior de la sínfisis púbica. En su parte superior es bastante ancha, pero en su parte inferior se estrecha y a su vez se engruesa en sentido anteroposterior. Casi en el punto medio de la línea alba está el anillo umbilical lleno de tejido cicatrizal, adherido a la piel del ombligo, lugar donde se pueden producir las hernias umbilicales. El color blanco de la línea alba se debe al entrecruzamiento de las aponeurosis en dos planos (sagital y frontal) y la pobreza de vasos sanguíneos, lo que es utilizado por los cirujanos en intervenciones amplias del abdomen.

Grupo lateral

Los músculos de este grupo se encuentran situados en la parte anterolateral del abdomen y son los denominados músculos anchos del abdomen; se disponen en tres capas superpuestas de la superficie a la profundidad, las cuales forman parte de las paredes laterales del abdomen; sus tendones son muy anchos y se denominan aponeurosis, las que constituyen la vaina del músculo recto del abdomen y la línea alba.

Músculo oblicuo externo del abdomen

De los tres músculos del abdomen, es el más superficial y el de mayor tamaño (Figs. 8.31 A, B y D). Tiene

su inserción de origen (IO) en las 8 costillas inferiores (V-XII), por ocho digitaciones que se insertan en la cara externa del cuerpo costal muy cerca de los cartílagos costales, las cinco superiores entrecruzándose con las inserciones del origen del músculo serrato anterior y las tres inferiores con las del músculo dorsal ancho. Por lo que cubre una gran parte de la pared lateral del tórax, pues superiormente llega hasta la V costilla.

Las fibras se dirigen desde su IO hacia abajo y medialmente, teniendo una oblicuidad variable en dependencia de su situación. Las superiores son casi horizontales, las medias oblicuas y las inferiores casi verticales. Los fascículos posteriores del músculo terminan en la cresta ilíaca y los anteriores se continúan en una aponeurosis que, pasando por delante del recto, termina en la línea alba (desde el proceso xifoideo al pubis),

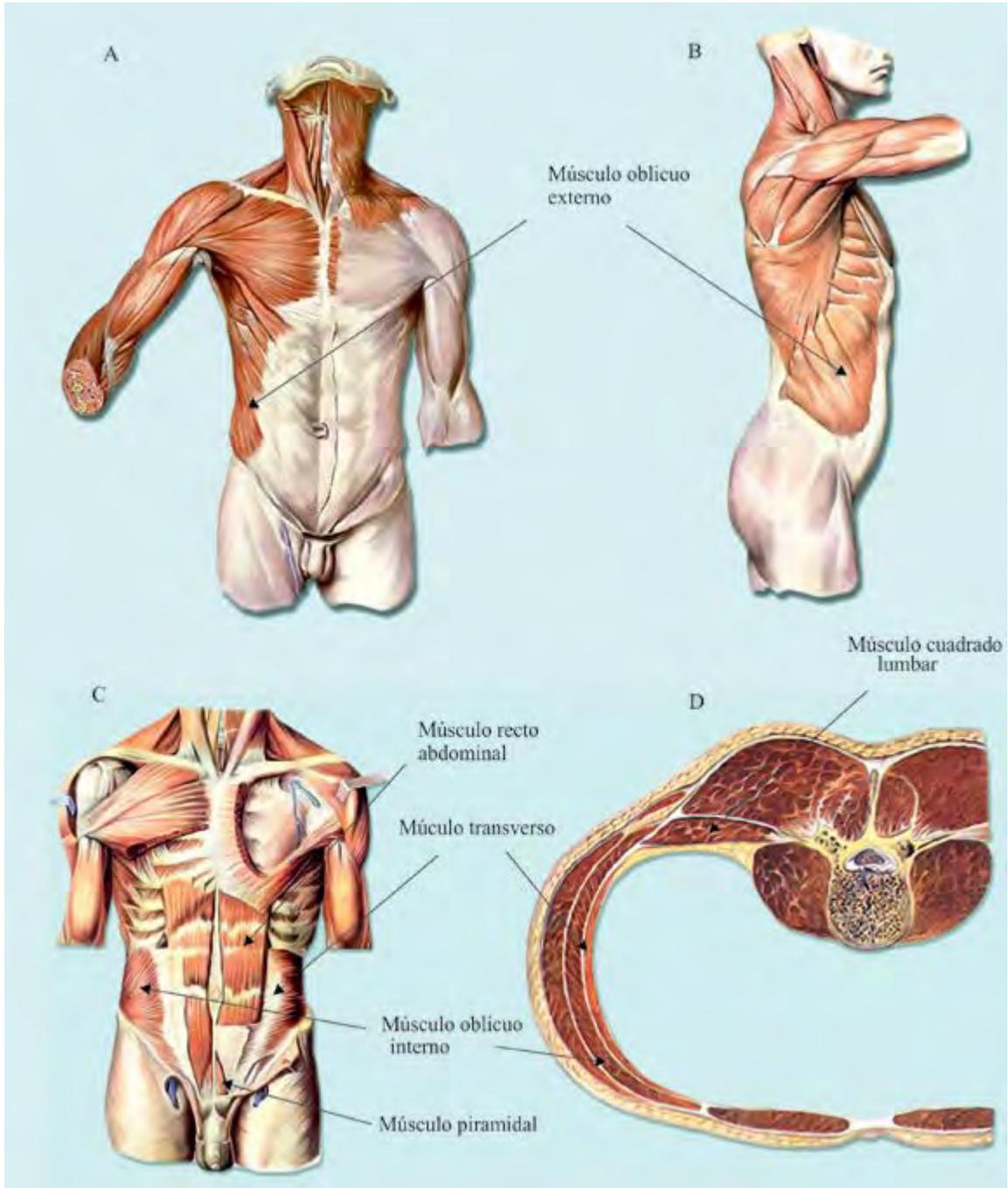


Fig. 8.31. Músculos del tronco: A. Vista anterior (músculos superficiales de cuello, tórax y abdomen); B. Vista lateral derecha (músculos superficiales de cuello, tórax, dorso y abdomen); C. Músculos del tórax (pectoral mayor resecao parcialmente) y del abdomen (a la derecha está resecao el músculo oblicuo externo y a la izquierda el externo y el interno); D. Músculos del dorso y del abdomen (corte horizontal a nivel de la II vértebra lumbar).

entremezclándose con las aponeurosis del lado opuesto. El borde inferior, libre, de la aponeurosis del oblicuo externo se extiende entre la espina ilíaca anterosuperior y el tubérculo del pubis, encorvándose hacia dentro en forma de canal. A este cordón fibroso se le denomina ligamento inguinal (ligamento de Poupart o Falopio). En el lugar de inserción medial del ligamento, sus elementos fibrosos giran hacia abajo, detrás y lateralmente sobre la cresta pectínea, constituyendo el denominado ligamento lacunar (ligamento de Gimbernat). Entre el borde posterior del oblicuo externo, el inicio del dorsal ancho y la cresta ilíaca se forma un espacio triangular cuyo fondo es el oblicuo interno. Este espacio es el triángulo lumbar, lugar donde se pueden formar hernias.

Músculo oblicuo interno del abdomen

Se encuentra situado profundamente al músculo oblicuo externo del abdomen (Figs. 8.31 C y D). Tiene su IO situada en la fascia toracolumbar, en la cresta ilíaca y en los 2/3 laterales del ligamento inguinal.

La dirección de sus fibras es opuesta a la del músculo precedente, pues en general las fibras se dirigen hacia arriba y medialmente, aunque dibujan un abanico y difieren en su dirección en dependencia de la IO. Las fibras posteriores se dirigen de forma vertical hacia arriba y terminan en el borde inferior de las 3 últimas costillas (IX-XII), y a medida que su origen es más anterior, la dirección se va haciendo oblicua y finalmente casi horizontal. Los fascículos anteriores se continúan en una aponeurosis que en el borde lateral del recto y en la parte superior de la vaina se divide en dos hojas: una pasa por delante del músculo recto del abdomen y la otra por detrás. En la parte inferior de la vaina la aponeurosis pasa solo por delante. Y en ambos casos termina a nivel de la línea alba. Las fibras que provienen del ligamento inguinal tienen la misma disposición que las del músculo transverso del abdomen, con las que se fusionan, formando el tendón conjunto que se inserta en el pubis. Algunas de las fibras musculares de este origen, junto a fibras del músculo transverso del abdomen, contribuyen a la formación del músculo cremáster.

Músculo transverso del abdomen

Es el más profundo de los 3 músculos anchos del abdomen (Figs. 8.31 C y D). Recibe su nombre por la dirección transversal de sus fibras con relación al eje perpendicular del cuerpo. Tiene su IO en la cara interna de las 6 últimas costillas (VII-XII), entremezclándose con la IO de la porción costal del diafragma, en la fascia toracolumbar, en la cresta iliaca y en los 2/3 laterales del ligamento inguinal. Desde esos puntos de origen, las fibras del músculo se dirigen transversalmente hacia delante y hacia la línea media, continuándose en una amplia aponeurosis que se dirige hacia la línea alba, en su porción superior por detrás del recto del abdomen, y en su porción inferior por delante de ese músculo.

Por su cara interna, dirigida a la cavidad abdominal, el transverso del abdomen está cubierto por la fascia del transverso (fascia transversalis), que no es más que una parte de la fascia común subperitoneal. Esta última tapiza toda la cara interna de las paredes abdominales, cambiando en determinados lugares de denominación,

de acuerdo con la región donde está situada: fascia transversa, fascia ilíaca, fascia pelviana, etcétera.

Las fibras que provienen del ligamento inguinal tienen la misma disposición que las del músculo oblicuo interno del abdomen, con las que se fusionan, formando el tendón conjunto que se inserta en el pubis. Algunas de las fibras musculares de este origen, junto a fibras del músculo oblicuo interno del abdomen, contribuyen a la formación del músculo cremáster, como se mencionó anteriormente.

Grupo posterior

Músculo cuadrado lumbar

Es un músculo aplanado y cuadrilátero. Está situado por delante del músculo erector espinal (está separado de este último por la hoja profunda de la fascia toracolumbar), a los lados de la columna vertebral, en la pared posterior del abdomen y lateral al psoas mayor (Fig. 8.31 D).

Su inserción de origen se sitúa en la cresta ilíaca y en el ligamento iliolumbar, se dirige hacia la XII costilla y los procesos costales de las 4 vértebras lumbares superiores (LI-LIV).

Tiene 4 funciones:

1. En su contracción unilateral conjunta con los demás músculos abdominales y el músculo erector espinal realiza la flexión lateral del tronco.
2. En su contracción bilateral permite la extensión del tronco.
3. En su contracción tónica bilateral, junto con los músculos citados, mantiene la columna en posición vertical.
4. Tracciona hacia abajo la XII costilla por lo que puede actuar también como músculo espirador.

Funciones de los músculos del abdomen

Los músculos abdominales (no se incluye el piramidal, cuya función ya fue explicada) tienen funciones afines en las que intervienen varios de ellos, por lo que se explicarán en conjunto:

- Estos músculos participan en la prensa abdominal, ya que al contraerse estrechan la cavidad abdominal y hacen presión sobre las vísceras huecas contenidas en la cavidad abdominal, lo que facilitan la expulsión de su contenido, como por ejemplo, en el vómito, micción, defecación y en el parto. El diafragma también participa en esta función junto con los músculos abdominales.
- Debido al tono muscular de la prensa abdominal, las vísceras son sostenidas en su posición.
- Por su contracción tónica bilateral, junto con los otros músculos citados, mantiene la columna en posición vertical.
- Por medio de su contracción bilateral permiten la flexión del tronco (en esta función participan el músculo recto del abdomen y los oblicuos externo e interno del abdomen).
- En la contracción unilateral flexionan el tronco hacia el lado de los músculos contraídos (intervienen el recto del abdomen, todos los músculos laterales y el cuadrado lumbar).

- Los músculos oblicuos participan en la rotación del tronco, con la particularidad de que el oblicuo interno, al contraerse, lo rota hacia el lado del músculo contraído y el externo, hacia el lado contrario.
- Son músculos auxiliares de la espiración.

Canal inguinal

El canal inguinal consiste en una hendidura situada en la pared abdominal anterior, que se corresponde con las regiones inguinales derecha e izquierda (fosas ilíacas), es decir, se sitúa en la parte inferior del abdomen a ambos lados de la línea media. Tiene un trayecto oblicuo que se dirige de arriba a abajo y de lateral a medial. Mide aproximadamente 4 cm. Se extiende desde el anillo inguinal profundo hasta el anillo inguinal superficial y su trayecto es paralelo al ligamento inguinal, un poco por encima de este. En su constitución se describen 4 paredes: anterior, posterior, inferior y superior; así como 2 anillos inguinales: superficial y profundo (Figs. 8.32, 8.33 y 8.34).

Paredes del canal inguinal

- Pared anterior: está formada por la aponeurosis del músculo oblicuo externo.
- Pared inferior: la forma el ligamento inguinal.
- Pared posterior: constituida por la fascia transversal.
- Pared superior: formada por el borde inferior libre de los músculos oblicuo interno y transverso del abdomen.

Anillos inguinales y contenido del canal inguinal

En la pared anterior, la aponeurosis del músculo oblicuo externo en su porción inferomedial se hace divergente y constituye 2 pilares denominados medial y lateral, que delimitan una hendidura oblicua triangular

que constituye el anillo inguinal superficial. El pilar medial se inserta en la sínfisis púbica, mientras que el lateral lo hace en el tubérculo púbico. También se describe un tercer pilar que se denomina pilar posterior o ligamento reflejo (de Colles), que cierra profundamente el anillo inguinal superficial y se forma por fibras de la aponeurosis del músculo oblicuo externo del lado contrario. La parte superolateral de este orificio se encuentra reforzada por fibras tendinosas arqueadas, denominadas fibras intercrurales.

En la pared posterior, la fascia transversal delimita un orificio de forma oval que constituye el anillo inguinal profundo; está situado en el punto medio de una línea que une la espina ilíaca anterosuperior y la sínfisis del pubis a 1,25 cm por encima del canal inguinal. Por medio de este orificio se incorpora al canal inguinal su contenido, que es diferente en ambos sexos: en el hombre se encuentra el funículo espermático, mientras que en la mujer está presente el ligamento redondo del útero.

En la pared posterior del canal inguinal se encuentran diferentes estructuras que la refuerzan, por ser un sitio por donde frecuentemente se producen hernias inguinales. Una de ellas es la hoz inguinal (falx inguinal), conjunto de fibras tendinosas del tendón conjunto (tendón de inserción en la sínfisis del pubis de los músculos oblicuo interno y transverso del abdomen) que se desvían lateralmente para insertarse en la cresta pectínea y de este modo refuerzan la fascia transversal; otro ligamento es el ligamento interfoveolar (ligamento de Hesselbach), que refuerza el borde medial del anillo inguinal profundo.

Si se observa internamente la pared abdominal (Fig. 8.34) se ve cómo el peritoneo que cubre la región infraumbilical de los rectos abdominales a nivel de la

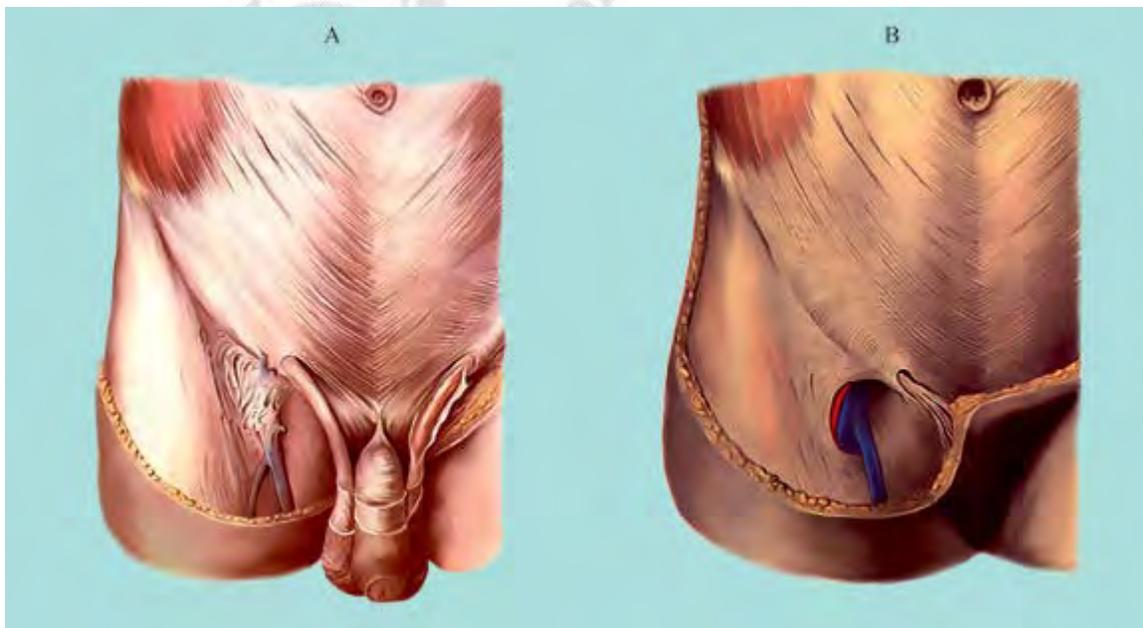


Fig. 8.32. Canal inguinal. Vista anterior: A. Sexo masculino; B. Sexo femenino.

pared posterior del canal inguinal pasa por encima de restos embrionarios, arterias y nervios; esto hace que se eleve formando pliegues y entre estos pliegues se forman depresiones. Se describen 5 pliegues y 6 fosas:

- Pliegues: pliegue umbilical mediano y los pliegues umbilicales mediales derechos e izquierdos y los pliegues umbilicales laterales derechos e izquierdos.
- Fosas: fosas supravesicales, fosas inguinales mediales derechas e izquierdas y fosas inguinales laterales derechas e izquierdas.
- Más abajo del ombligo, siguiendo la línea media, se encuentra el pliegue umbilical mediano, que se extiende del ombligo al ápice de la vejiga urinaria y

contiene el ligamento umbilical mediano, que representa el uraco obliterado.

- Desde el ombligo y hasta las partes laterales de la vejiga urinaria se extienden los pliegues umbilicales mediales que contienen los ligamentos umbilicales mediales, restos fibrosos de las porciones anteriores de las arterias umbilicales.
- Lateralmente se encuentran los pliegues umbilicales laterales que se extienden de la pared posterior del canal inguinal hacia arriba y medialmente, hasta la pared posterior de los músculos rectos abdominales, en su interior los pliegues umbilicales laterales incluyen los vasos epigástricos inferiores.

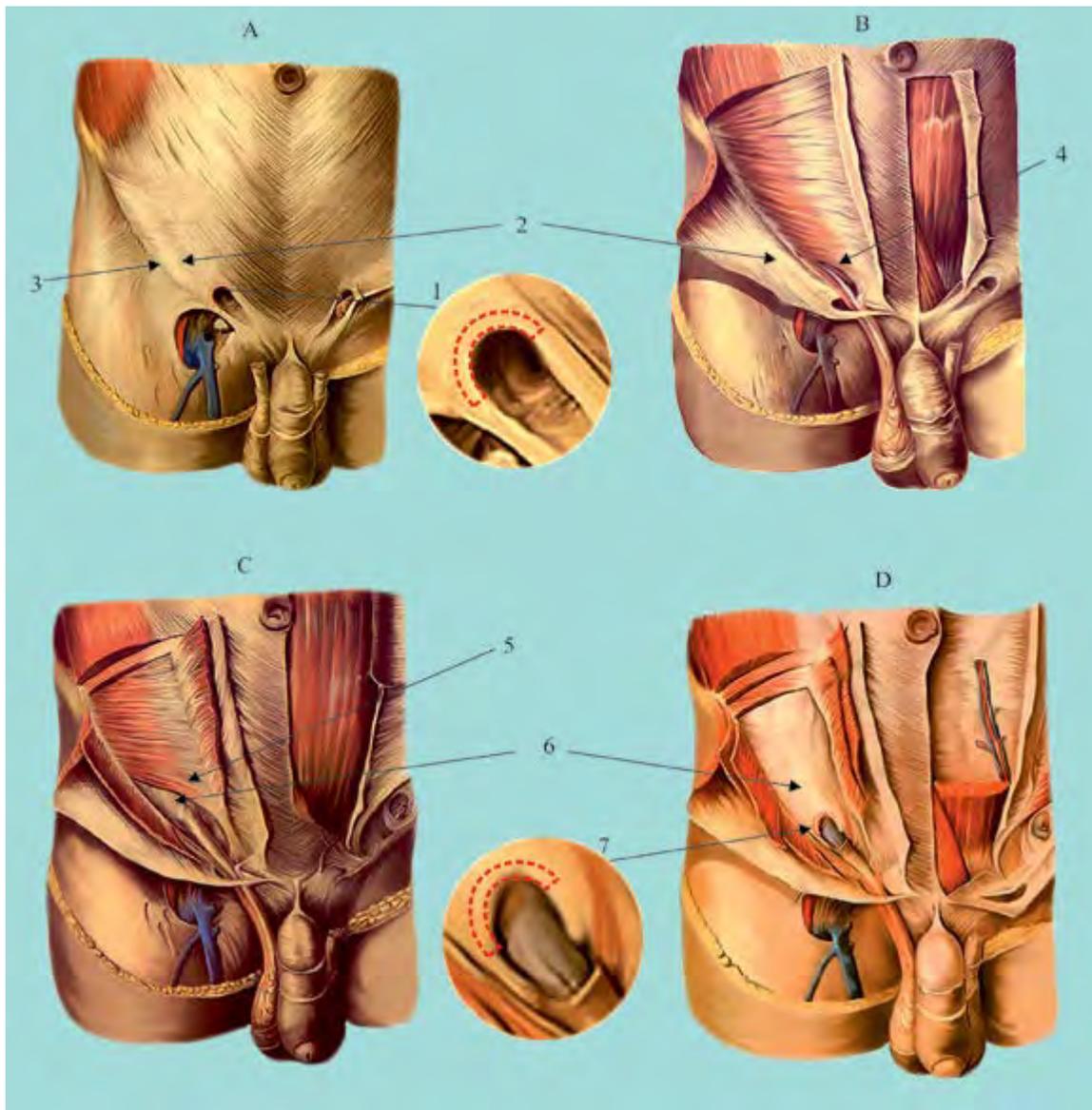


Fig. 8.33. Canal inguinal. Vista anterior: A. Anillo inguinal superficial (1) y paredes anterior (2) e inferior (3). B. Pared superior: músculo oblicuo interno (4). La pared anterior está seccionada y levantada. C. Pared superior: músculo transverso (5) y posterior (6). La pared anterior y parte de la pared superior (músculo oblicuo interno) del canal inguinal están seccionadas y separadas. D. Anillo inguinal profundo (7) y pared posterior (6).

— Estos pliegues elevan el peritoneo y forman depresiones a nivel de sus extremos inferiores. A ambos lados del pliegue umbilical mediano, justo entre este y el pliegue umbilical medial y por encima del borde superior de la vejiga urinaria se encuentran las fosas supravesicales que se relacionan con la cara posterior de los músculos rectos del abdomen, es decir no tienen ninguna relación directa con el canal inguinal. Entre los pliegues umbilicales mediales y laterales se hallan las fosas inguinales mediales y laterales que se relacionan con la pared posterior del canal inguinal, justamente con la porción débil de esta, sitio por donde frecuentemente ocurren las hernias inguinales directas, y finalmente lateralmente a los pliegues umbilicales laterales se encuentran las fosas inguinales laterales, que están a la altura del anillo inguinal profundo, lugar por donde se desarrollan las hernias inguinales indirectas.

Todo lo explicado es importante puesto que la hernia se produce cuando el contenido de la cavidad abdominal trata de salir por un orificio normal o patológico de la pared. Cuando están debilitados si sale por la fosa inguinal lateral se forma la hernia indirecta que atraviesa el anillo inguinal profundo, canal inguinal y anillo inguinal superficial. Si empuja la fosa inguinal medial va a entrar por la pared posterior del canal inguinal hacia el anillo inguinal superficial y constituye una hernia inguinal directa.

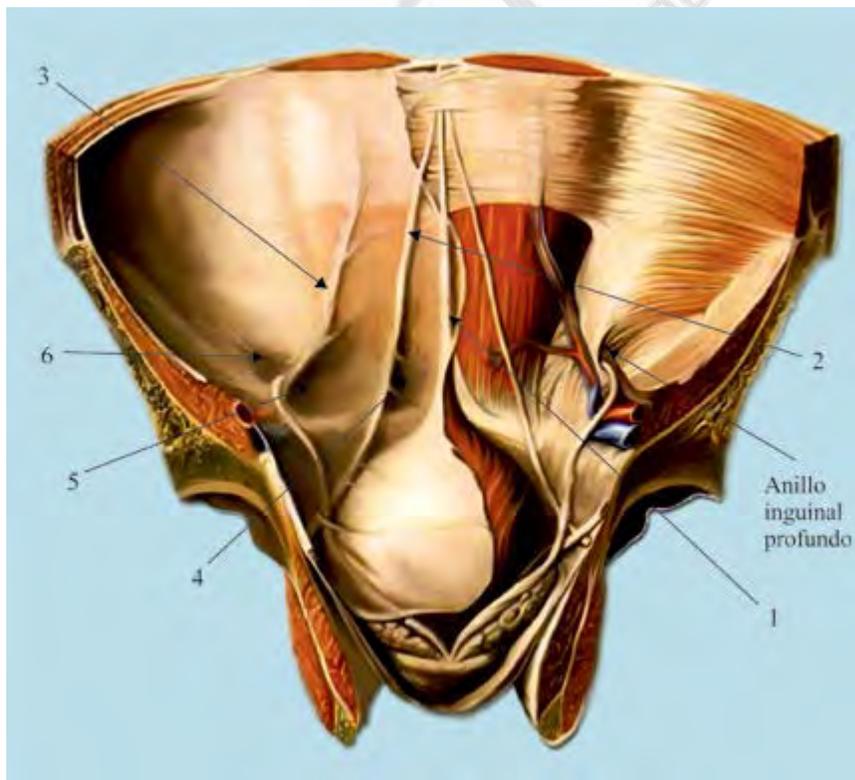
Músculos que se relacionan con el esqueleto apendicular

Los músculos relacionados con el esqueleto apendicular participan en los movimientos de los miembros superiores e inferiores y tienen una gran importancia desde el punto de vista biológico y social, debido a que permiten, en el caso del miembro superior, los movimientos de este y, por ende, de la mano como órgano de trabajo y en el caso del miembro inferior en acción conjunta con músculos relacionados con el esqueleto axil, permiten la realización de la mecánica animal, o sea, la estática, que implica el hecho de la posición bípeda y la dinámica, que permite la locomoción. Esto provoca que desde el punto de vista médico requiera de gran atención.

Existe un grupo de enfermedades que cursan con trastornos de estos músculos; estas pueden ser de causas locales o sistémicas, limitando los movimientos de las articulaciones de los miembros.

Características generales de los músculos relacionados con el esqueleto apendicular

Los músculos relacionados con el esqueleto apendicular presentan una serie de características generales



8.34. Pared anterior del abdomen y de la pelvis. Vista interna posterior: a la derecha el peritoneo y la fascia transversa están quitados, y se ve el anillo inguinal profundo; a la izquierda se ven las fosas y pliegues de la cara interna de la pared del abdomen: 1. Pliegue umbilical mediano; 2. Pliegue umbilical medial; 3. Pliegue umbilical lateral; 4. Fosa supravesical; 5. Fosa inguinal medial; 6. Fosa inguinal lateral.

que es necesario conocer antes de estudiar los grupos musculares y cada músculo en particular. Estas son las siguientes:

- Se originan del mesodermo (de las células dorso laterales de los somitas).
- Se sitúan en las regiones anatómicas pertenecientes a los miembros superiores e inferiores y se insertan en los huesos de la porción fija o de la porción libre, o de ambas, de esas regiones anatómicas.
- Se disponen alrededor de las articulaciones de los miembros provocando con su contracción el movimiento de estas regiones; sobrepasando algunos más de una interlínea articular, por lo que son poliarticulares.
- Actúan, fundamentalmente, sobre las articulaciones situadas distalmente al grupo en cuestión.
- En general, los músculos de estas regiones toman como punto fijo su inserción en la región proximal y como punto móvil su inserción en la región situada distalmente, por lo que ponen en movimiento esta última.
- Los músculos están cubiertos por fascias que generalmente tienen el nombre del músculo o del grupo muscular, y algunos tienen inserciones en estas fascias.
- Tanto los músculos de los miembros superiores como los de los miembros inferiores se dividen, para su mejor estudio, en cuatro grupos musculares que se corresponden con su situación en las regiones de los miembros.

Los músculos de los miembros superiores son más numerosos que los de los miembros inferiores, aunque estos últimos son más robustos. En el miembro superior se destacan los movimientos variados, finos y precisos de la mano como órgano de trabajo y en el caso de los músculos del miembro inferior constituyen los instrumentos de locomoción.

Músculos del miembro superior

Estos músculos se sitúan en las regiones de los miembros superiores y están inervados por el plexo braquial. Los grupos musculares del miembro superior son los siguientes (Fig. 8.35):

- Músculos de la región deltoidea.
- Músculos de la región del brazo.
- Músculos de la región del antebrazo.
- Músculos de la mano.

Músculos de la región deltoidea

Este grupo muscular se extiende entre los huesos del cinturón (escápula y clavícula) y el húmero. Los músculos rodean la articulación humeral, por lo que participan en todos los movimientos que esta realiza, en correspondencia con la forma esférica de la articulación, por lo tanto, ponen en movimiento la región del brazo; además, constituyen un refuerzo de la articulación del hombro.

Para su estudio, los músculos de la región deltoidea se dividen en dos subgrupos musculares: grupo anterior (ventral) y grupo posterior (dorsal):

- Grupo anterior: contiene el músculo subescapular.

- Grupo posterior: en este se incluyen los músculos deltoideos, supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y redondo mayor.

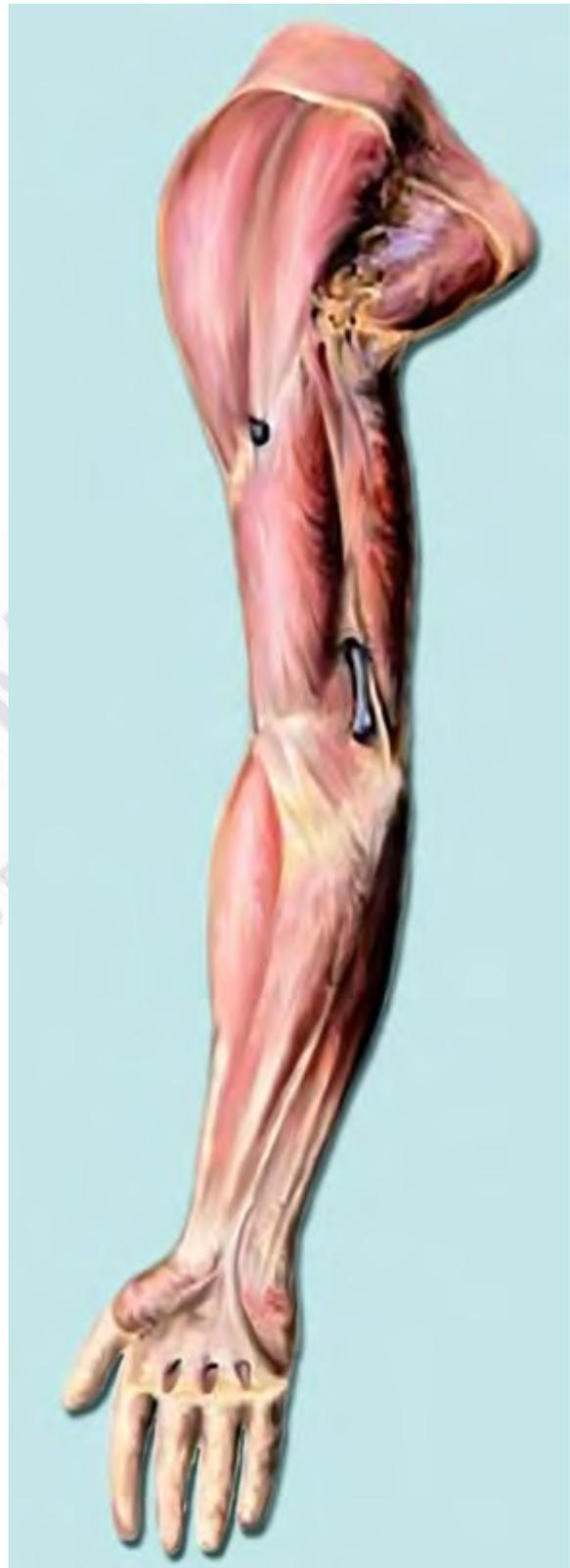


Fig. 8.35. Grupos musculares del miembro superior derecho. Vista anterior.

Estos 6 músculos están muy unidos a la articulación humeral. Entre ellos y la cápsula articular se forman bolsas sinoviales.

Grupo anterior

Este grupo cruza la articulación humeral por delante. El músculo subescapular es el único de este grupo de la región deltoidea (Fig. 8.36) y sus características son:

- Es un músculo plano y triangular.
- Situación, extensión e inserciones: ocupa toda la cara costal o fosa subescapular de la escápula, donde tiene su inserción de origen, dirigiéndose lateralmente pasa a un amplio tendón que se fusiona a la cara anterior

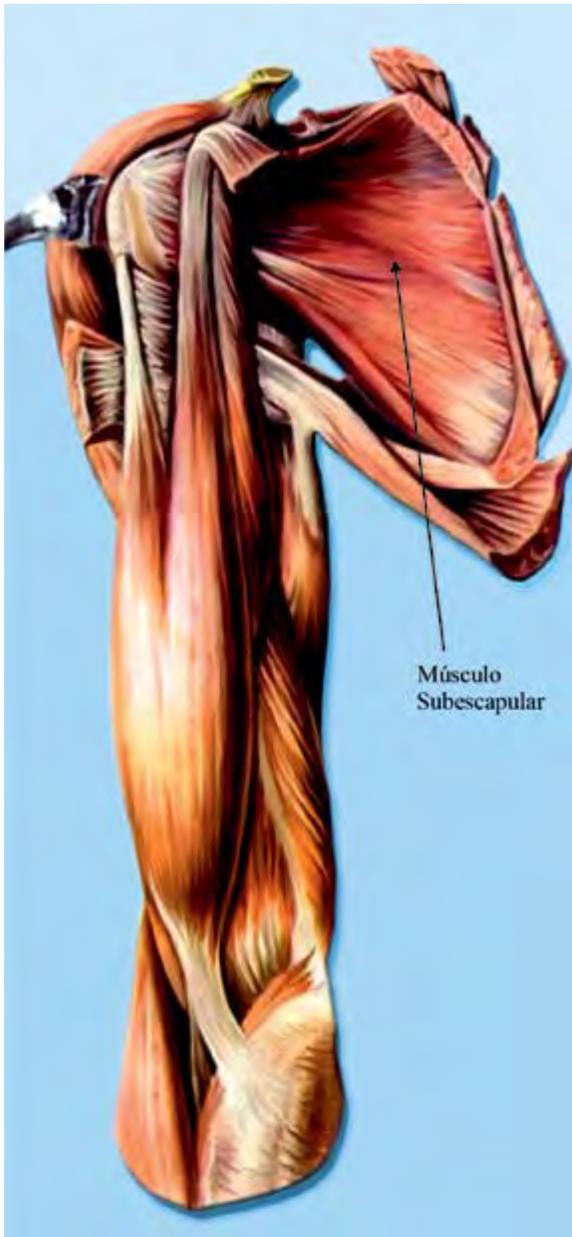


Fig. 8.36. Músculos del cinturón del miembro superior y del brazo derecho. Vista anterior.

de la articulación humeral y se inserta en el tubérculo menor del húmero.

- Funciones: rotación medial del brazo.

Algunos autores incluyen en este grupo el músculo pectoral mayor y el músculo coracobraquial. Estos músculos no pertenecen a este grupo, se estudian en el grupo superficial del tórax (pectoral mayor) y en el grupo anterior del brazo (coracobraquial). Sin embargo, se debe recordar en el caso del pectoral mayor que ya se estudió, que una de sus inserciones de origen es en la mitad medial de la clavícula (porción clavicular) y la inserción de terminación del músculo es en la cresta del tubérculo mayor del húmero, por lo que mueve la región del brazo (flexión, aducción y rotación medial del brazo). En el caso del coracobraquial debe analizar que actúa sobre la articulación humeral moviendo el brazo (flexión y aducción del brazo), ya que su inserción de terminación es en el húmero, al igual que los músculos de la región deltoidea, por lo tanto no actúa sobre la articulación del codo, a diferencia de los otros músculos de la región braquial o del brazo.

Grupo posterior

Este grupo cruza la articulación humeral por arriba y por detrás.

Músculo deltoideos

El músculo deltoideos es el más destacado de la región deltoidea, debido a que es un músculo grueso que forma un relieve típico en la zona, lo cual lo caracteriza, proporcionándole al hombro su forma redondeada (Fig. 8.37):

- Tiene forma triangular con la base dirigida superiormente y el vértice inferior.
- Situación: es un músculo superficial que cubre en gran medida a la articulación humeral, lateral y posteriormente. Por su espesa masa muscular y fácil acceso es sitio de elección para la vía intramuscular, con la cual se administran medicamentos mediante inyecciones.
- Extensión: se extiende desde la clavícula y la escápula hasta el húmero.
- Inserciones: toma origen en el tercio lateral de la clavícula, acromion y espina de la escápula en toda su extensión lo que forma la base del triángulo. Por tanto, tiene tres fascículos en dependencia de su origen: un fascículo anterior o clavicular, un fascículo medio o acromial y un fascículo posterior o escapular. Todas sus fibras, es decir, las de los 3 fascículos, convergen a manera de abanico en un tendón que forma el vértice del triángulo y termina insertándose en la tuberosidad deltoidea del húmero, situada en la parte media de la cara anterolateral del hueso.
- Funciones: las funciones en que participa el músculo deltoideos se dividirán por fascículos:
 - Fascículo anterior: produce la flexión y la rotación medial del brazo.
 - Fascículo posterior: produce la extensión y rotación lateral del brazo.
 - Fascículo medio o la contracción de todo el músculo produce la abducción o separación del brazo.

Todos estos movimientos tienen lugar en la articulación humeral. Cuando como resultado del apoyo del húmero en la bóveda articular el movimiento es frenado, la elevación ulterior del brazo por encima del nivel horizontal se efectúa con la cooperación de los músculos de la región deltoidea, superficiales del dorso y del tórax insertados en la escápula.

El resto de los músculos del grupo posterior están cubiertos parcialmente por otros músculos, sobre todo en su inserción de terminación por el músculo deltoides.

Músculo supraespinoso

El músculo supraespinoso tiene la misma dirección que el fascículo medio del músculo deltoides y los dos cruzan por arriba la articulación humeral (Fig. 8.38). Tiene forma triangular. Ocupa la fosa supraespinosa de la escápula donde se inicia, se dirige lateralmente pasando por debajo del ligamento coracoacromial y del acromion, insertándose en la parte superior del tubérculo mayor del húmero. Realiza la misma función que el fascículo medio del músculo deltoides: la abducción o separación del brazo.

Músculo infraespinoso y redondo menor

El músculo infraespinoso ocupa la fosa infraespinosa de la escápula donde se inicia (dejando libres el borde lateral y el ángulo inferior de la escápula); colinda estrechamente por su borde inferior con el músculo

redondo menor, iniciándose este en el borde lateral de la escápula, cubiertos ambos músculos por la misma fascia y sus fibras tienen la misma dirección, cruzando ambos por detrás la articulación humeral (Fig. 8.38) para insertarse en la parte media e inferior respectivamente del tubérculo mayor del húmero, por lo tanto realizan la misma función: rotación lateral del brazo.

Los músculos que tienen su inserción terminal en el tubérculo menor del húmero (subescapular) y en el tubérculo mayor del húmero (supraespinoso, infraespinoso y redondo menor) se adhieren a la cápsula articular de la articulación del hombro antes de su inserción en los tubérculos, por lo que ponen en tensión la cápsula, preservándola de estrangulaciones; de ahí su función de refuerzo en la articulación humeral, que además solo presenta un ligamento (coracohumeral) que se conoció al estudiar esta articulación.

Músculo redondo mayor

El músculo redondo mayor (Fig. 8.38) se inicia en el ángulo inferior de la escápula por su cara posterior, se dirige a lo largo del borde lateral de la escápula, cruza por detrás la articulación humeral y tiene la misma inserción terminal que el dorsal ancho (cresta del tubérculo menor del húmero), por lo que realizan las mismas funciones al actuar sobre la articulación humeral: extensión, aducción y rotación medial del brazo.

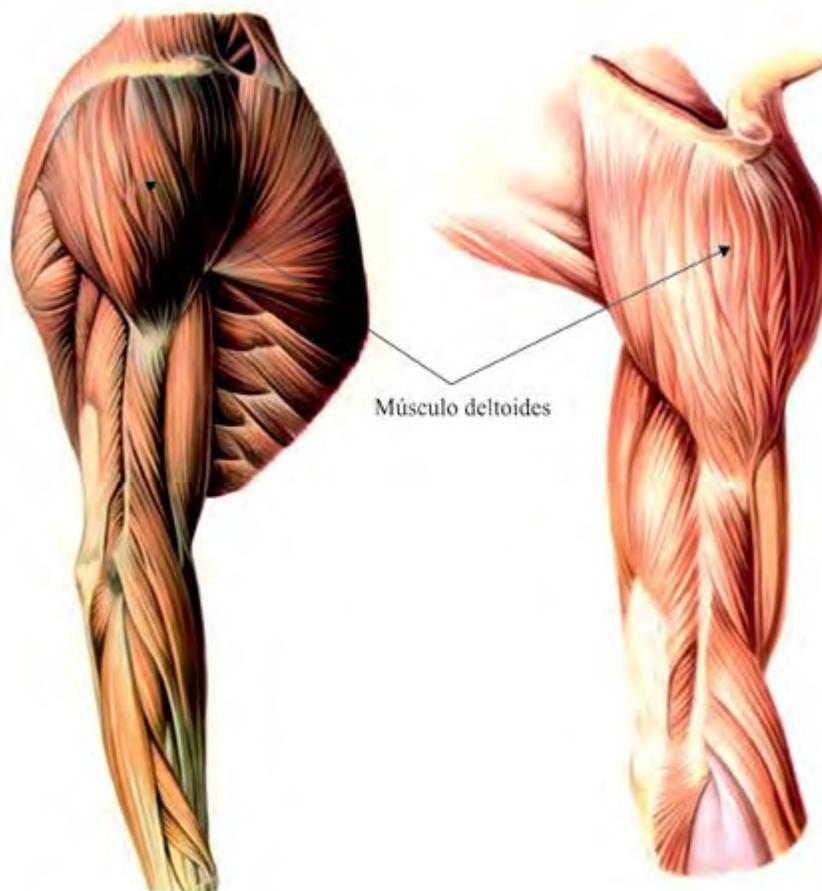


Fig. 8.37. Músculos del miembro superior derecho. Vista lateral.

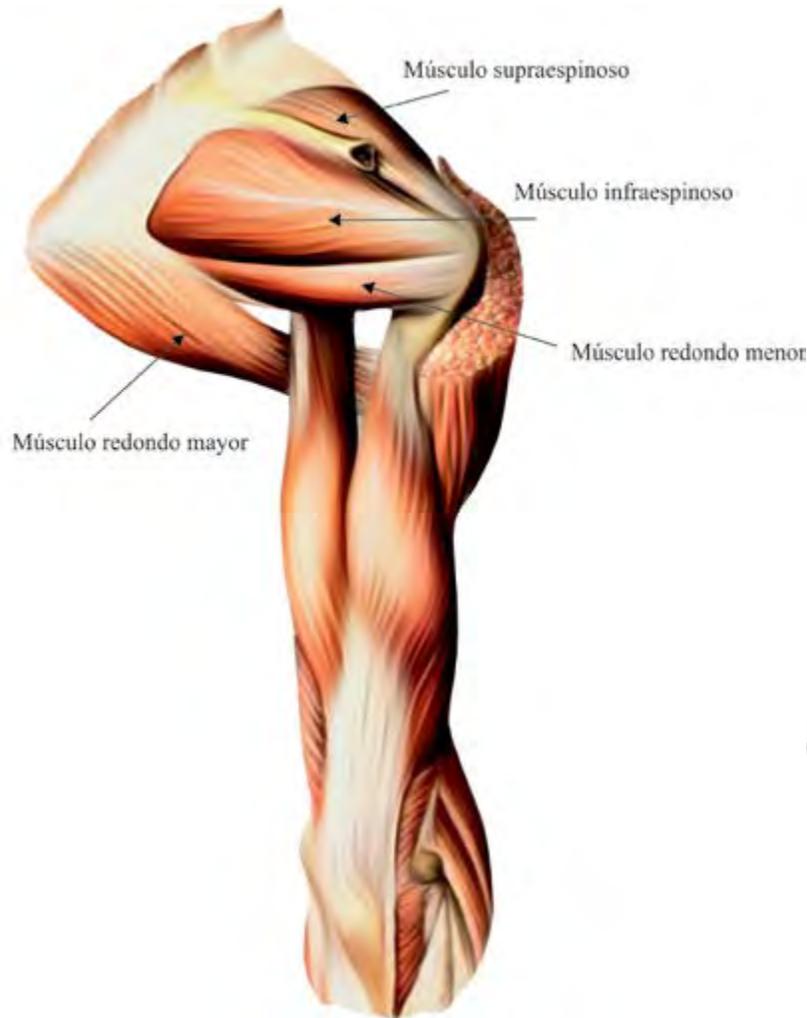


Fig. 8.38. Músculos del cinturón del miembro superior y del brazo derecho. Vista posterior (el músculo deltoides está resecado parcialmente).

Se debe tener en cuenta el músculo dorsal ancho al analizar los movimientos del brazo.

Es necesario ser muy cuidadoso al mencionar los movimientos, ya que se debe utilizar la terminología anatómica. Lo correcto es:

- Flexión del brazo o anteflexión del brazo, y no utilizar como sinónimo elevar el brazo hacia delante, porque se puede confundir con el término de elevación del brazo, que es cuando el movimiento de flexión y abducción de este es por encima del nivel horizontal.
- Extensión del brazo o retroflexión del brazo, y no tracción del brazo hacia atrás.

Músculos de la región del brazo

De manera general, se extienden desde la escápula y el húmero hasta los huesos del antebrazo. Actúan, fundamentalmente, sobre la articulación del codo, aunque algunos son biarticulares, ya que cruzan también la articulación humeral, por lo que ponen en movimiento el antebrazo y el brazo, respectivamente, realizando movimientos alrededor de un eje frontal, por lo que están dispuestos en la región anterior y posterior del brazo.

Para su estudio, los músculos de la región del brazo se dividen en: grupo anterior y grupo posterior. Ambos se encuentran aislados uno del otro por dos tabiques de tejido conectivo: los septos intermusculares del brazo, que proceden de la fascia común del miembro que envuelve a todos los músculos del brazo y se dirigen a los bordes medial y lateral del húmero, los septos están expresados más intensamente en la región de los epicóndilos.

El grupo anterior y el grupo posterior son antagonistas entre sí: el grupo posterior realiza la extensión y el grupo anterior la flexión del antebrazo en la articulación del codo, ya que tienen la misma dirección de las fibras (perpendicular al eje frontal), pero el grupo anterior de manera general cruza la articulación del codo por delante y el grupo posterior por detrás.

- Grupo anterior: músculos bíceps braquial, braquial y coracobraquial.
- Grupo posterior: músculos tríceps braquial y ancóneo.

Grupo anterior

Músculo bíceps braquial

Es un músculo voluminoso cuya contracción se ve claramente por debajo de la piel, gracias a lo cual es

conocido por todas las personas, aún sin haber estudiado el cuerpo humano (Fig. 8.39 A). Está compuesto en su parte proximal por dos cabezas, como lo indica su nombre (bíceps): una cabeza larga (lateral) y una cabeza breve (medial) que se unen distalmente para continuarse en un vientre alargado:

- Situación y extensión: es el músculo más superficial de la región anterior del brazo extendido a lo largo de toda esta región desde la escápula hasta el radio, cubre al músculo braquial y de forma parcial al músculo coracobraquial. Cruza anteriormente la articulación humeral y la cubital (músculo biarticular).
- Inserciones: la cabeza larga del músculo se inicia en el tubérculo supraglenoideo de la escápula por un tendón largo, que después de atravesar la articulación humeral, se asienta en el surco intertubercular del húmero rodeado de una vaina sinovial. La cabeza breve se inicia en el proceso coracoideo de la escápula (junto al coracobraquial y el pectoral menor). El vientre del músculo distalmente llega a la fosa cubital, se estrecha y termina en un tendón potente que se inserta en la tuberosidad del radio. Del extremo proximal del tendón del bíceps parte en dirección medial un fascículo tendinoso denso, la aponeurosis del bíceps braquial, que se continúa con la fascia del antebrazo.
- Funciones:
 - Flexión del antebrazo.
 - Supinación (debido a su inserción en el radio) si se ha ejecutado previamente la pronación.
 - Flexión del brazo (solo si el antebrazo se encuentra en extensión).
 - Aducción del brazo.

Músculo braquial

- Situación y extensión: se encuentra en un plano más profundo que el músculo bíceps braquial y está cubierto por este en su mayor parte. Se extiende

desde el húmero hasta la ulna y cruza solamente la articulación cubital (Fig. 8.39 A y B).

- Inserciones: se inicia en la cara anterolateral del húmero, desde la impresión deltoidea hasta la cápsula de la articulación del codo, así como en los 2 septos intermusculares braquiales, desciende por delante de la articulación del codo para dirigirse a la tuberosidad de la ulna donde tiene su inserción terminal.
- Funciones: flexor puro del antebrazo.

Músculo coracobraquial

Algunos autores lo describen en el grupo anterior de la región deltoidea, ya que en realidad actúa solamente sobre la articulación humeral, pasando por delante de esta como el músculo subescapular, pero su mayor extensión es en la región anterior del brazo, razón por la cual se describe en el grupo anterior del brazo, aclarando que no cruza la articulación del codo.

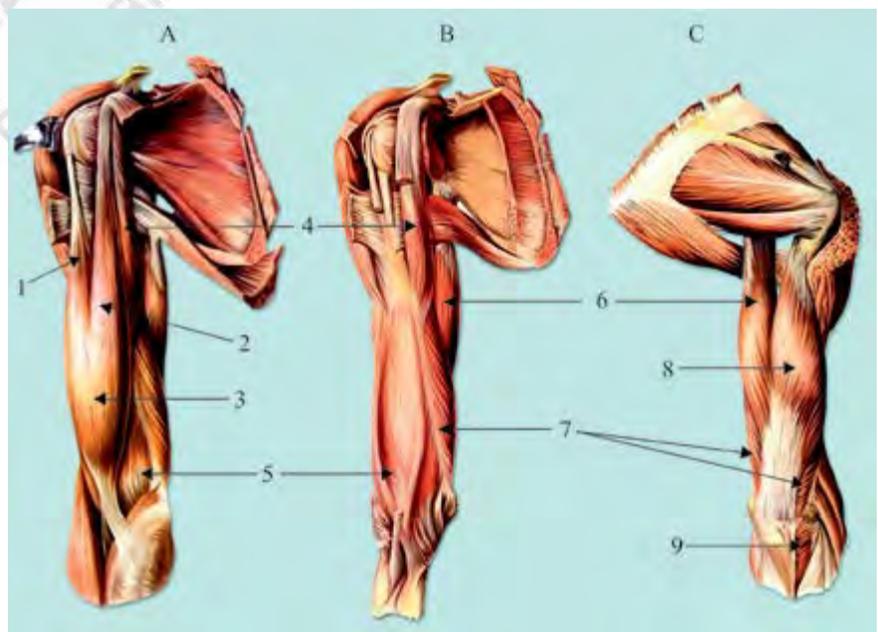
- Situación y extensión: se sitúa en la parte proximal y medial de la región anterior del brazo, tiene lateralmente a la cabeza breve del bíceps, que lo cubre de forma parcial, y comparte con este su inserción de inicio. Se extiende desde la escápula hasta el húmero y pasa por delante la articulación humeral.
- Inserciones: se inicia en el proceso coracoideo de la escápula y tiene su inserción terminal en la cara anteromedial del húmero, en la zona distal de la cresta del tubérculo menor del húmero.
- Funciones: flexión y aducción del brazo.

Grupo posterior

Músculo tríceps braquial

Está compuesto por tres cabezas, como lo indica su nombre (tríceps): cabeza larga, cabeza lateral y cabeza medial que convergen distalmente en un tendón común y proximalmente están cubiertas por el músculo deltoideo (Figs. 8.39 B y C).

Fig. 8.39. Músculos del cinturón del miembro superior y del brazo derecho. A. Vista anterior: 1. Cabeza larga del músculo bíceps braquial; 2. Cabeza breve del músculo bíceps braquial; 3. Músculo bíceps braquial (vientre). B. Vista anterior (el músculo bíceps braquial está extirpado parcialmente): 4. Músculo coracobraquial; 5. Músculo braquial. C. Vista posterior: 6. Cabeza larga del músculo tríceps braquial; 7. Cabeza medial del músculo tríceps braquial; 8. Cabeza lateral del músculo tríceps braquial; 9. Músculo ancóneo.



- Situación y extensión: ocupa toda la región posterior del brazo extendiéndose desde la escápula y el húmero hasta la ulna, por lo que cruza posteriormente la articulación humeral y cubital (músculo biarticular).
- Inserciones: la cabeza larga del músculo se inicia en el tubérculo infraglenoideo de la escápula y se dirige distalmente pasando entre los músculos redondos menor y mayor, y se aloja medialmente a la cabeza lateral. Las cabezas lateral y medial se inician en la cara posterior del húmero, específicamente en la parte proximal (cabeza lateral) y distal (cabeza medial) del surco del nervio radial, y se inician además en los septos intermusculares braquiales. La cabeza medial está cubierta por la cabeza lateral y parcialmente por la cabeza larga. Las tres cabezas —uniéndose en un amplio tendón común— se insertan en el olécranon.
- Funciones: extensión del antebrazo y extensión del brazo (solo si el antebrazo se encuentra en flexión).

Músculo ancóneo

Es un pequeño músculo de forma triangular que contacta por su extremidad proximal con el músculo tríceps braquial, siendo como la continuación de la cabeza medial de este (Fig. 8.39 C).

- Inserciones: se inicia en el epicóndilo lateral del húmero y en el ligamento colateral radial de la articulación del codo y tiene su inserción terminal en una amplia base en la cara posterior de la ulna en su cuarto proximal.
- Funciones: extensión del antebrazo (idéntica a la del músculo tríceps braquial).

Los músculos bíceps braquial y tríceps braquial son los únicos músculos biarticulares de este grupo, es decir, actúan fundamentalmente en la articulación del codo, pero atraviesan también la articulación humeral (al menos una de sus cabezas), por lo que realizan la flexión del brazo (bíceps) y la extensión del brazo (tríceps) solo si el codo se encuentra fijo por la contracción del grupo antagonista en cada caso.

Músculos del antebrazo

De los músculos del antebrazo —a diferencia de los músculos de la región del brazo y de la región deltoidea—, solo se darán a conocer sus características generales, los grupos en que aparecen divididos para su estudio y las funciones en que participan.

Características generales

Son músculos muy numerosos, o sea, en cuanto al número de músculos son abundantes. La mayoría son músculos largos. Los vientres de estos músculos están situados proximalmente y los tendones distalmente en el antebrazo, lo que le da a este un aspecto cónico, típico de la región.

Estos músculos ponen en movimiento el antebrazo en la articulación del codo, la radioulnar proximal y distal; así como la mano en la articulación radiocarpiana y los dedos en articulaciones situadas más distalmente.

Para estudiar estos músculos, se dividen en un grupo anterior y otro grupo posterior y a su vez, en

ambos grupos se describe una capa superficial y otra capa profunda.

Por sus funciones, los músculos pertenecientes al grupo anterior del antebrazo son pronadores del antebrazo y flexores de la mano y los dedos, mientras que los músculos del grupo posterior son supinadores del antebrazo y extensores de la mano y de los dedos.

Los pronadores y supinadores tienen su inserción terminal en el radio para poder realizar su movimiento (recuerde que para producirse el movimiento de pronación y supinación, el radio debe desplazarse en su movimiento por delante de la ulna).

Las capas superficiales tienen su inserción de origen, fundamentalmente, en los epicóndilos del húmero. En el epicóndilo medial se inician los músculos superficiales del grupo anterior y en el epicóndilo lateral los del grupo posterior. Esta es una característica muy importante a tener en cuenta, ya que la epicondilitis es una afección en la que se produce una inflamación del extremo del músculo que se inserta en los epicóndilos. Es frecuente en los atletas de alto rendimiento, se describe el “codo de pitcher” y el “codo de tenistas” donde la lesión es en el epicóndilo medial y lateral respectivamente.

La capa profunda de ambos grupos se inicia en los huesos del antebrazo y en la membrana interósea del antebrazo; se debe recordar que la membrana interósea es una articulación de tipo fibrosa que se extiende entre los huesos radio y ulna.

Los músculos flexores y extensores de la mano terminan insertándose en la base de los metacarpianos para poder realizar su función, o sea, para poder tomar como punto móvil las inserciones en estos detalles. Los músculos flexores y extensores de los dedos se insertan en las falanges. Estos músculos están inervados por ramos largos del plexo braquial.

El estudiante debe familiarizarse con los nombres de todos los músculos del antebrazo, pero el grupo que debe identificar bien y conocer de manera general la situación de sus músculos es la capa superficial del grupo anterior.

Grupo anterior

1. Músculos superficiales del grupo anterior:
 - a. Primera capa (Fig. 8.40 A):
 - Músculo pronador redondo.
 - Músculo flexor radial del carpo.
 - Músculo palmar largo.
 - Músculo flexor ulnar del carpo.
 - b. Segunda capa (Fig. 8.40 B):
 - Músculo flexor superficial de los dedos.
2. Músculos profundos del grupo anterior:
 - Músculo flexor largo del pulgar.
 - Músculo flexor profundo de los dedos.
 - Músculo pronador cuadrado.

Grupo posterior

1. Músculos superficiales del grupo posterior:
 - a. Grupo radial:
 - Músculo braquiorradial.
 - Músculo extensor radial largo del carpo.
 - Músculo extensor radial breve del carpo.

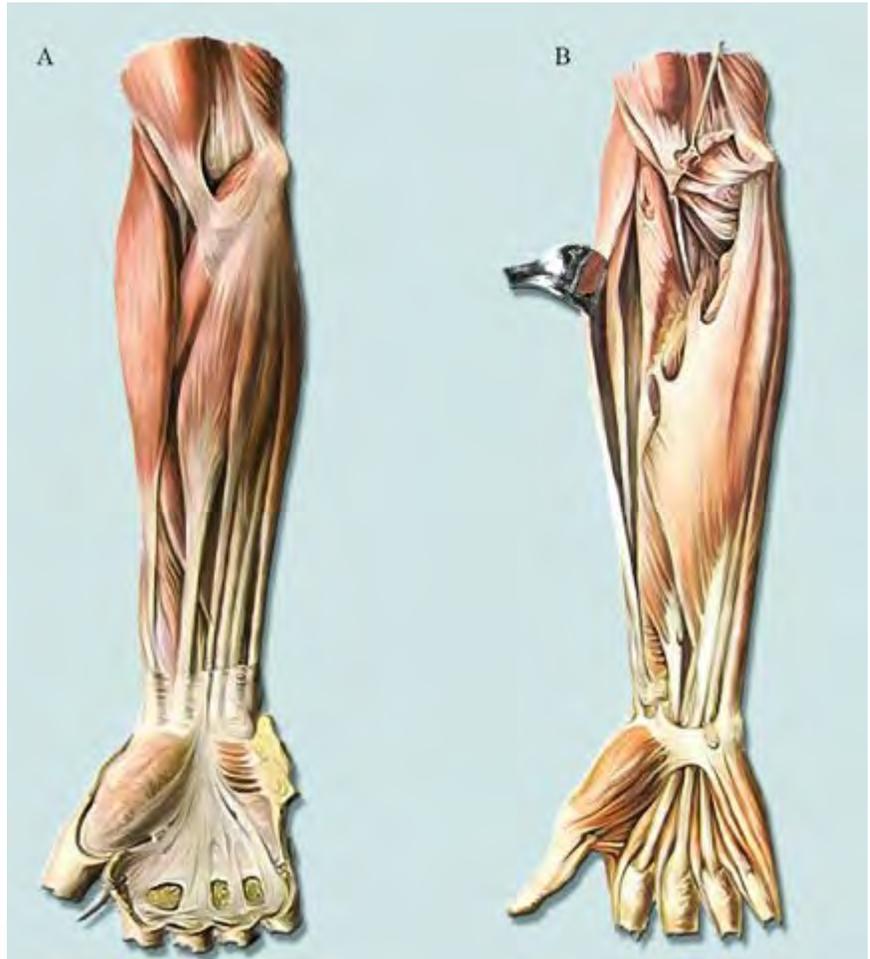


Fig. 8.40. Músculos del antebrazo derecho. Vista anterior. Grupo anterior (superficial): A. Primera capa; B. Segunda capa.

b. Grupo ulnar:

- Músculo extensor común de los dedos.
- Músculo extensor del meñique.
- Músculo extensor ulnar del carpo.

2. Músculos profundos del grupo posterior:

- Músculo supinador.
- Músculo abductor largo del pulgar.
- Músculo extensor breve del pulgar.
- Músculo extensor largo del pulgar.
- Músculo extensor del índice.

Músculos de la mano

Están situados en la región de la palma de la mano; en el dorso de la mano no se describen músculos (Fig. 8.41).

Junto a los músculos de la mano se sitúan los tendones de los músculos del antebrazo insertados en la cara palmar y dorsal de esta.

Estos músculos son músculos cortos. Tienen su inserción de origen y de terminación en los huesos de la mano. Se extienden desde el carpo hasta los dedos y por supuesto permiten los movimientos de los dedos y de la mano de manera general. Son músculos que han alcanzado gran perfección debido al uso de la mano como instrumento de trabajo en el humano, siendo los músculos del dedo pulgar los que han alcanzado mayor desarrollo.

Los músculos de la mano se dividen en 3 grupos: un grupo situado en el borde radial de la palma de la mano que forma la eminencia tenar, otro situado en el borde ulnar, que forma la eminencia hipotenar y el tercer grupo medio o hueco de la mano se localiza en la depresión palmar de la mano.

De los músculos de la mano se debe conocer: los grupos, los nombres de los músculos que pertenecen a cada grupo y las funciones de estos, que generalmente está implícita en el nombre del músculo (excepto los del grupo medio). No es necesario que se conozca las inserciones de cada uno. Se debe recordar que la mano es el órgano de trabajo del humano y, por tanto, tiene importancia desde el punto de vista médico.

— Grupo tenar:

- Músculo flexor breve del pulgar.
- Músculo abductor breve del pulgar.
- Músculo aductor del pulgar.
- Músculo oponente del pulgar.

— Grupo hipotenar:

- Músculo flexor breve del meñique.
- Músculo abductor del meñique.
- Músculo oponente del meñique.
- Músculo palmar breve (función: tracciona la aponeurosis palmar).

- Grupo medio o del hueso de la mano:
 - Músculos lumbricales (son cuatro delgados fascículos musculares).
 - Músculos interóseos (son tres interóseos palmares y cuatro interóseos dorsales).

Las funciones de los músculos del grupo medio de la mano son:

- Los músculos lumbricales flexionan la falange proximal y provocan la extensión de las falanges media y distal en los dedos segundo, tercero, cuarto y quinto.
- Los músculos interóseos realizan, fundamentalmente, la abducción y aducción de los dedos con respecto a la línea media agrupándose alrededor del dedo medio. Los interóseos palmares son aductores y los interóseos dorsales son abductores. También pueden realizar la función de los músculos lumbricales.

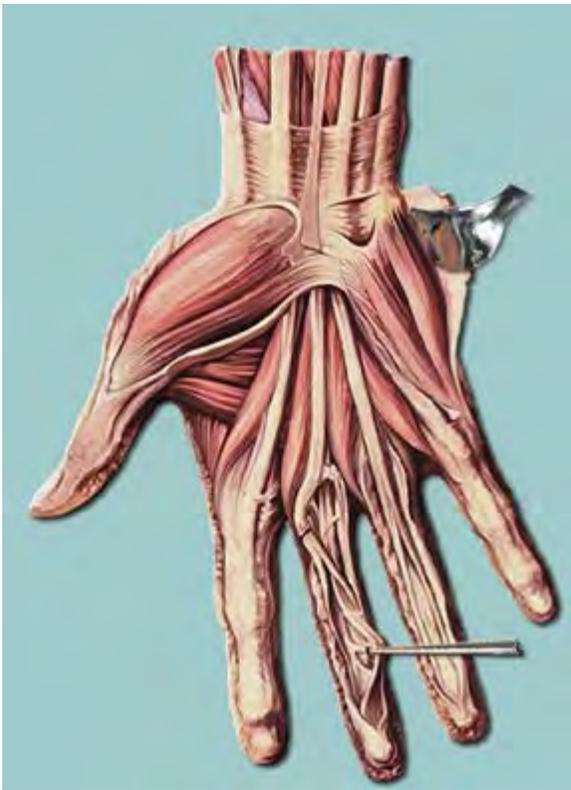


Fig. 8.41. Músculos de la mano (palma de la mano).

Músculos del miembro inferior

Estos músculos se sitúan en las regiones de los miembros inferiores y están inervados por el plexo lumbosacro. Los grupos musculares del miembro inferior son:

- Músculos de la región glútea.
- Músculos de la región del muslo.
- Músculos de la región de la pierna.
- Músculos del pie.

Músculos de la región glútea

De manera general se extienden desde el cinturón del miembro inferior (coxal) hasta el fémur. Rodean la articulación coxal, por lo que participan en todos los movimientos que esta realiza, en correspondencia con la forma esferoidal de la articulación, por lo tanto, ponen en movimiento la región del muslo.

Para su estudio, los músculos de la región glútea se dividen en dos subgrupos musculares: grupo anterior y grupo posterior.

Algunos autores describen el grupo medial del muslo como grupo medial de la región glútea, ya que actúa sobre la articulación coxal, pero se describe en el grupo medial de la región del muslo, porque abarcan gran parte de esta región.

Grupo anterior

En este grupo solo hay dos músculos: el iliopsoas y el psoas menor. Se extienden desde la porción lumbar de la columna vertebral y la pelvis hasta el trocánter menor del fémur; sus fibras pasan por delante de la articulación coxal; son flexores del muslo. De ellos se debe describir el iliopsoas, ya que el psoas menor es un músculo inconstante y delgado; de este solo se debe conocer que está adosado a la cara anterior del psoas mayor (Fig. 8.42).

Músculo iliopsoas

Este músculo está compuesto por dos cabezas que se describen como dos músculos aislados: psoas mayor e ilíaco (Fig. 8.42 A y B).

— Músculo psoas mayor:

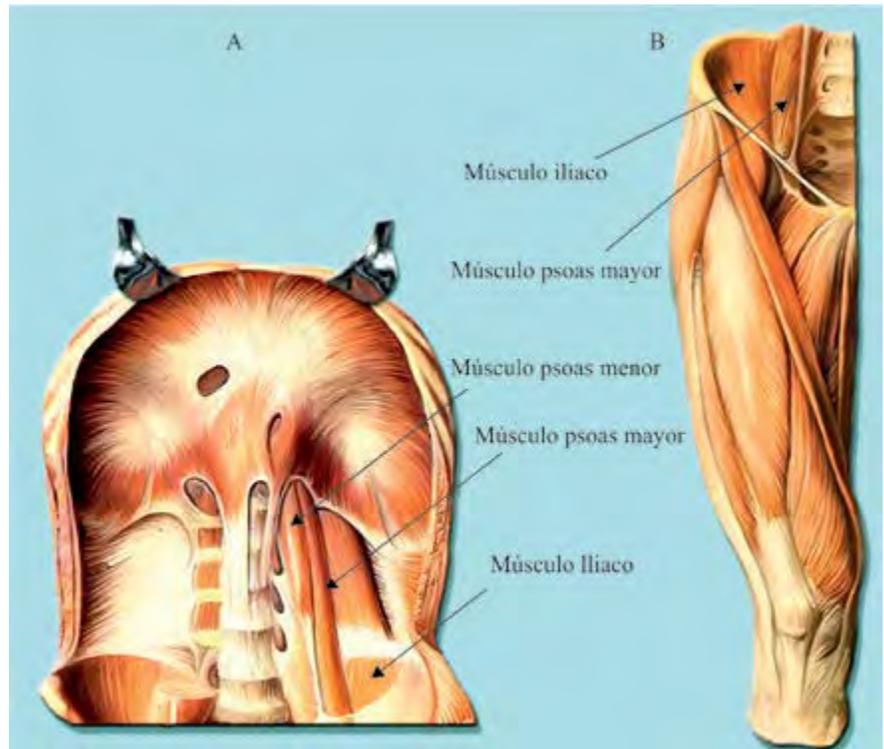
- Es un músculo largo.
- Situación y extensión: se sitúa en la pared posterior de la cavidad abdominal, lateralmente a la región lumbar de la columna vertebral y medialmente al músculo cuadrado lumbar. Se dirige hacia abajo y algo lateralmente hacia la cavidad pelviana estrechándose un poco y confundándose con el músculo ilíaco al que se une para formar el músculo iliopsoas.
- Inserción de inicio: se inicia en la cara lateral de los cuerpos y discos intervertebrales de la XII vértebra torácica y las cuatro primeras vértebras lumbares, los fascículos musculares más profundos tienen su origen en los procesos transversos de todas las vértebras lumbares.

— Músculo ilíaco:

- Es un músculo ancho con forma triangular de vértice inferior.
- Situación y extensión: ocupa toda la fosa ilíaca, por su lado medial está en parte cubierto por el psoas mayor, con la particularidad de que forma con el borde del mismo un surco profundo por el que se extiende el nervio femoral. Las fibras del músculo convergiendo distalmente se continúan en el tendón del músculo psoas mayor, constituyendo el músculo iliopsoas.
- Inserción de inicio: se inicia en la fosa ilíaca y en las espinas ilíacas anterosuperior y anteroinferior.

— Músculo iliopsoas:

Fig. 8.42. Músculos del grupo anterior del cinturón del miembro inferior derecho. A. Se observa además el músculo diafragma y los músculos del grupo posterior del abdomen (lado izquierdo). A la derecha los músculos psoas mayor y menor están extirpados parcialmente. B. Además, se observa los músculos del grupo anterior del muslo derecho. Los músculos psoas mayor y menor están extirpados parcialmente.



- Se forma como resultado de la unión de los fascículos musculares distales del psoas mayor y el ilíaco.
- Situación y extensión: el músculo emerge de la cavidad pelviana por detrás del ligamento inguinal a través de la laguna muscular y va hacia abajo, pasando por la cara anterior de la articulación coxal.
- Inserción de terminación: se inserta por medio de un tendón breve y delgado en el trocánter menor del fémur.
- Funciones: es el flexor del muslo por excelencia, ya que hay otros músculos que realizan esta acción, pero no con la misma potencia del iliopsoas. desarrolla, además, una rotación lateral ligera del muslo, y flexión del tronco cuando cambia el punto fijo al miembro inferior (fémur).

Grupo posterior

Está formado por un grupo numeroso de músculos que se extienden desde el coxal y el sacro hasta el trocánter mayor del fémur o sus proximidades. Sus fibras pasan por detrás de la articulación coxal. De manera general son extensores, rotadores y abductores del muslo (Fig. 8.43):

- Músculo glúteo máximo.
- Músculo glúteo medio.
- Músculo glúteo mínimo.
- Músculo tensor de la fascia lata.
- Músculo piriforme.
- Músculo obturador externo.
- Músculo obturador interno.
- Músculos gemelos (superior e inferior).
- Músculo cuadrado femoral.

Músculo glúteo máximo

El músculo glúteo máximo (Figs. 8.43 A y B) es un músculo muy importante utilizado para el proceder de enfermería de la inyección intramuscular, sitio de elección para realizar este acto. Es un músculo plano, que por su forma se aproxima a un rombo. Se presenta como una capa muscular masiva que consta de fibras gruesas y potentes, y alcanza un espesor de 2 a 3 cm.

Es el músculo más superficial de la región posterior del cinturón del miembro inferior, extendiéndose entre el ilion y la epífisis proximal del fémur.

Se inicia en la parte posterior de la cara externa del ilion (por detrás de la línea glútea posterior), en el borde lateral del sacro y del cóccix y en el ligamento sacrotuberal. Se dirige oblicuamente hacia abajo y lateralmente en forma de fascículos musculares paralelos, aislados entre sí por delgados septos de tejido conectivo que parten de la fascia que cubre el músculo. Los fascículos superiores y anteriores continuándose en un amplio tendón pasa en torno del trocánter mayor del fémur y se continúan con la fascia lata (que se continúa con el tracto iliotibial) y los fascículos inferiores y posteriores se insertan en la tuberosidad glútea del fémur.

Sus funciones son:

- Extensión del muslo (antagonista del iliopsoas).
- Rotación lateral del muslo.
- Extensión del tronco (con el miembro inferior fijo).
- Mantiene el equilibrio de la pelvis con el tronco.

Músculo glúteo medio

El músculo glúteo medio (Figs. 8.43 B, C y E) es triangular, grueso y sus fascículos están dispuestos en 2 capas: superficial y profunda.

Se extiende entre el ilion y el trocánter mayor del fémur, cubierto en su parte posterior por el glúteo máximo mientras que en su parte anterior está situado superficialmente.

Se inicia con una parte ancha en la cara externa del ilion (limitado anteriormente por la línea glútea anterior, superiormente por la cresta ilíaca e inferiormente por la línea glútea posterior). Distalmente todos sus fascículos convergen en un tendón aplanado que se inserta en el vértice y en la cara lateral del trocánter mayor del fémur.

Músculo glúteo mínimo

El músculo glúteo mínimo (Figs. 8.43 D y E) es triangular, parecido al glúteo medio, pero es mucho más delgado.

Se extiende entre el ilion y el trocánter mayor del fémur, cubierto por el glúteo medio.

Se inicia en la cara externa del ilion (entre la línea glútea anterior y la inferior). Distalmente sus fascículos musculares convergen y pasan a un tendón aplanado que se inserta en la cara anterior del trocánter mayor del fémur.

Las funciones de los músculos glúteo medio y mínimo son:

- En conjunto: abducción del muslo.
- Fascículos anteriores: rotación medial del muslo.
- Fascículos posteriores: rotación lateral del muslo.
- Extensión del tronco (con el miembro inferior fijo).

Músculo tensor de la fascia lata

Embriológicamente representa una expansión del músculo glúteo medio. Es plano y un poco alargado (Fig. 8.43 B).

Está situado inmediatamente por delante del glúteo medio, en el lado lateral del muslo, entrecruzándose distalmente con la fascia lata del muslo.

Se inicia en la cresta ilíaca cerca de la espina ilíaca anterosuperior y en la propia espina, adhiriéndose a la porción inicial del glúteo medio. Sus fascículos musculares se dirigen distalmente pasando al tracto ilirotibial de la fascia lata (engrosamiento de la fascia lata) que se inserta en el cóndilo lateral de la tibia.

Sus funciones son:

- Tensa el tracto ilirotibial que es una condensación o engrosamiento de la fascia lata (lámina de tejido conectivo que rodea los músculos del muslo).
- Flexión del muslo.
- Flexión y rotación lateral de la pierna (debido a que tiene su inserción terminal en el cóndilo lateral de la tibia).

Músculo piriforme

El músculo piriforme no ocupa en su totalidad el agujero isquiático mayor dejando hendiduras por los bordes superior e inferior de dicho orificio para el paso de vasos y nervios, denominadas agujeros suprapiriforme e infrapiriforme, por este último emerge uno de los nervios más importantes que inerva el miembro inferior: el nervio isquiático, que se estudiará más adelante (Figs. 8.43 C y E).

Está situado en la región posterior del cinturón por debajo del glúteo mínimo y cubierto por los glúteos medio y máximo.

Se inicia en la cara anterior o pelviana del sacro, lateralmente a los agujeros sacros anteriores (entre el segundo y el cuarto), sus fascículos se dirigen lateralmente, emergen de la cavidad pelviana (pelvis menor) por el agujero isquiático mayor, se extiende transversalmente por detrás de la articulación coxal pasando a un tendón estrecho y breve que se inserta en el trocánter mayor del fémur.

Sus funciones son: rotación lateral y abducción del muslo.

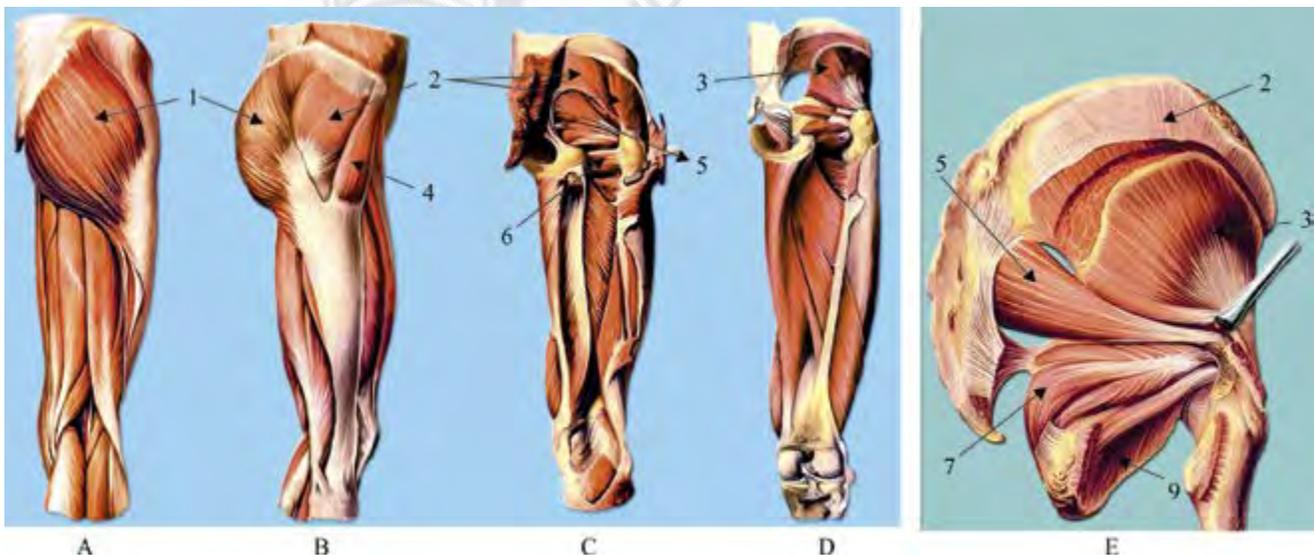


Fig. 8.43. Grupo posterior de la región glútea y del muslo derecho (A, C, D, E); B. Vista lateral: 1. Músculo glúteo máximo; 2. Músculo glúteo medio; 3. Músculo glúteo mínimo; 4. Músculo tensor de la fascia lata; 5. Músculo piriforme; 6. Músculo cuadrado femoral; 7. Músculo obturador interno; 8. Músculos gemelos superior e inferior; 9. Músculo obturador externo.

Músculos obturador externo e interno

Se inician en la cara externa (obturador externo) e interna del coxal (obturador interno), específicamente en la región de la membrana obturadora y alrededor del agujero obturado y terminan en la fosa trocantérica del fémur (Fig. 8.43 E).

Músculos gemelos superior e inferior

Se adhieren a los bordes superior e inferior del tendón del músculo obturador interno (que se extiende por fuera de la cavidad pelviana) respectivamente, son dos fascículos musculares estrechos y aplanados. El superior se inicia en la espina isquiática y el inferior en la tuberosidad isquiática insertándose terminalmente al igual que el obturador interno en la fosa trocantérica del fémur (Fig. 8.43 E).

Músculo cuadrado femoral

Situado por debajo del gemelo inferior. Se inicia en la tuberosidad isquiática y termina en la cresta intertrocantérica del fémur (Figs. 8.43 C y E).

Funciones en conjunto: los músculos obturadores, gemelos y cuadrado femoral realizan la rotación lateral del muslo.

Músculos de la región del muslo

Los músculos de esta región son músculos largos. Se adhieren entre sí, por lo que constituyen potentes masas provistos de un tendón conjunto. Participan en la marcha bípeda y en el mantenimiento del cuerpo en posición vertical. Se dividen para su estudio en tres grupos: anterior, posterior y medial.

El grupo medial se ubica en este grupo desde el punto de vista topográfico, pero actúa sobre la articulación coxal, como los músculos de la región glútea.

Los grupos anterior y posterior se extienden desde el coxal y/o el fémur hasta los huesos de la pierna (tibia y fíbula), mientras que el grupo medial se extiende desde el coxal hasta el fémur.

Los grupos anterior y posterior actúan fundamentalmente sobre la articulación de la rodilla y mueven la pierna, mientras que el grupo medial actúa sobre la articulación coxal realizando la aducción del muslo.

La mayoría de los músculos de los grupos anterior y posterior son biarticulares, ya que cruzan también la articulación coxal.

Grupo anterior

Está constituido por los músculos cuádriceps femoral y sartorio, que se extienden desde el hueso coxal (ilion) y el fémur hasta la tibia. Son biarticulares, ya que actúan sobre la articulación de la rodilla y también sobre la articulación coxal (Fig. 8.44).

Músculo cuádriceps femoral

El músculo cuádriceps femoral lleva este nombre porque tiene 4 cabezas (recto femoral y vastos lateral, intermedio y medial) que se unen distalmente en un tendón común (Fig. 8.44). Ocupa toda la región anterior y lateral del muslo.

Extensión e inserciones de inicio de las cabezas:

- Recto femoral:
 - Situado superficialmente, ocupa la región anterior del muslo.
 - Se inicia por un tendón delgado en la espina ilíaca anteroinferior y en el borde superior del labro o rodete acetabular, cubierto en su porción proximal por los músculos sartorio y tensor de la fascia lata.
- Vasto medial:
 - Ocupa la región anteromedial de la mitad inferior del muslo. Por delante está cubierto parcialmente por el recto femoral.
 - Se inicia en el labio medial de la línea áspera del fémur.
- Vasto lateral:
 - Ocupa casi toda la región anterolateral del muslo. Proximalmente está cubierto por el músculo tensor de la fascia lata y por delante por el músculo recto femoral.
 - Se inicia en la cara lateral del trocánter mayor, en la línea intertrocantérica y en el labio lateral de la línea áspera.
- Vasto intermedio:
 - Situado en la región anterior del muslo, directamente sobre la cara anterior del fémur, entre los músculos vastos medial y lateral, cubierto en parte por este último y completamente por el recto femoral.
 - Se inicia en la cara anterior del fémur, llegando proximalmente hasta la línea intertrocantérica.

Inserción de terminación

El recto femoral, dirigiéndose hacia abajo, pasa a un tendón estrecho que se une a la base y a la cara anterior de la patela. Las otras cabezas también se dirigen distalmente pasando a un tendón ancho que se une al tendón del recto femoral; en el caso de los vastos medial y lateral también se insertan en el borde medial y lateral de la patela formando los retináculos patelar medial y lateral respectivamente. El tendón común cruza por delante la articulación de la rodilla y se continúa en el ligamento patelar que se inserta en la tuberosidad de la tibia.

Funciones: consisten en que solo una de las cabezas (recto femoral) se inicia en el coxal, es la única que cruza la articulación coxal, por lo tanto es la única biarticular provocando con su contracción la flexión del muslo. El cuádriceps femoral es el único músculo extensor de la pierna. La combinación de los dos movimientos que realiza este músculo se hace imprescindible al realizar la marcha bípeda.

Músculo sartorio

El músculo sartorio tiene forma de una cinta estrecha y es el más largo del cuerpo humano (Fig. 8.44):

- Situación y extensión: se sitúa en la región anterior del muslo; se dirige en forma de espiral hacia abajo y medialmente, llegando inferiormente a la región medial del muslo; rodea por detrás el epicóndilo medial y pasa a la región anteromedial de la pierna. Se extiende entre el ilion y la tibia.
- Inserciones: se inicia en la espina ilíaca anterosuperior y termina por un tendón plano en la tuberosidad de

la tibia y algunos de sus fascículos en la fascia de la pierna (fascia crural).

- Funciones: no cruza por delante la articulación de la rodilla, por lo tanto, no puede realizar la extensión de la pierna, sino precisamente el movimiento contrario, es decir, flexiona la pierna; es antagonista del cuádriceps femoral y está en su mismo grupo. También realiza el movimiento de rotación medial de la pierna junto con otros músculos cuando esta se encuentra flexionada y participa en la flexión del muslo con la rotación lateral de este, ayudando al músculo iliopsoas y con la cooperación de otros músculos que intervienen en la flexión. En resumen, este músculo en la articulación coxal produce rotación lateral, mientras que en la articulación de la rodilla produce rotación medial y en ambas articulaciones produce el movimiento de flexión.

Grupo posterior

Este grupo está constituido por los músculos: semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral y poplíteo. La mayoría de estos músculos se extiende desde el coxal (tuberosidad isquiática) hasta la parte proximal de los huesos de la pierna. Casi todos son biarticulares, ya que actúan sobre la articulación de la rodilla y también sobre la articulación coxal, cruzándolas posteriormente, por lo que participan en la extensión del muslo y la flexión de la pierna (Fig. 8.45).

Músculo semitendinoso

Así llamado por su extenso tendón que ocupa casi toda su mitad distal:

- Situación: se sitúa en la parte medial de la región posterior del muslo, limitando lateralmente con el músculo bíceps femoral y medialmente con el semimembranoso al cual cubre parcialmente.

- Inserciones: se inicia en la tuberosidad isquiática y dirigiéndose hacia abajo pasa a un tendón largo que contornea el epicóndilo medial del fémur y se inserta en la tuberosidad de la tibia, una parte de sus fascículos se inserta en la fascia crural.

El tendón del semitendinoso con los tendones del grácil y el sartorio constituyen una expansión tendinosa triangular que se une con la fascia crural, el nombrado pie anserino superficial.

Músculo semimembranoso

- Se sitúa en la parte medial de la región posterior del muslo. Su borde lateral está cubierto por el semitendinoso que deja aquí su huella en forma de un surco ancho y longitudinal. Su borde medial está libre.
- Inserción: se inicia por un tendón potente y aplanado en la tuberosidad isquiática, dirigiéndose hacia abajo pasa a otro tendón plano que después se estrecha y redondea, rodea el epicóndilo medial del fémur y se divide en tres fascículos que constituyen el pie anserino profundo. El fascículo medial se inserta en el cóndilo medial de la tibia, el medio también llega hasta el cóndilo medial pero se inserta en la fascia que cubre el músculo poplíteo y el lateral llega a la cara posterior de la articulación de la rodilla pasando al ligamento poplíteo oblicuo.

Músculo bíceps femoral

Se distinguen dos cabezas: larga y breve, que se unen en un vientre común.

- Situación: se sitúa en la parte lateral de la cara posterior del muslo.
- Inserciones: la cabeza larga se inicia en la tuberosidad isquiática y la cabeza breve en el tercio medio del labio lateral de la línea áspera del fémur. Ambas

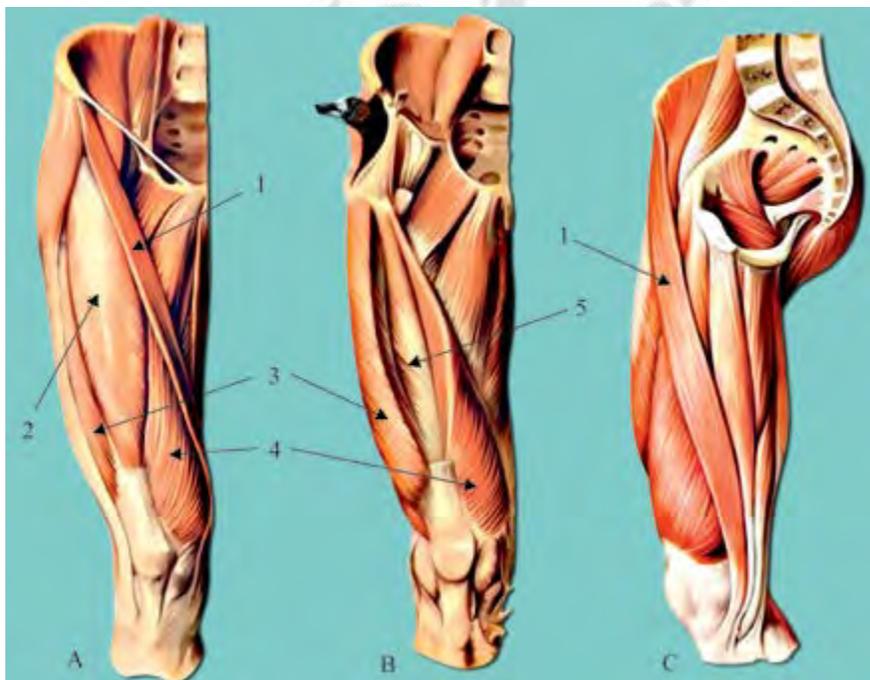


Fig. 8.44. Grupo anterior del muslo y del cinturón del miembro inferior derecho: Vista anterior (A y B, en B, los músculos recto femoral y sartorio están extirpados); C. Vista medial (se observa además el grupo medial del muslo): 1. Músculo sartorio; 2. Músculo recto femoral; 3. Músculo vasto lateral; 4. Músculo vasto medial; 5. Músculo vasto intermedio.

cabezas se unen en un vientre potente que se continúa distalmente en un tendón estrecho y largo que pasa por detrás del epicóndilo lateral y se inserta en la cabeza de la fíbula.

— Funciones en conjunto:

- Extensión del muslo.
- Flexión de la pierna.
- Rotación de la pierna: la lateral la realiza el bíceps femoral y la medial el semitendinoso y el semimembranoso.

El músculo poplíteo no cumple las generalidades de este grupo, ya que se inicia en la parte distal del fémur y no en el coxal como los demás y por lo tanto solo cruza la articulación de la rodilla, limitándose su situación a la cara posterior de esta articulación. Sus funciones son: flexión y rotación medial de la pierna; también al contraerse tira de la cápsula de la articulación.

Grupo medial

Este grupo está constituido por los músculos: pectíneo, aductor largo, aductor breve, aductor magno y grácil. También se les denomina músculos aductores, ya que todos realizan como función principal la aducción del muslo (Fig. 8.46).

Se extienden desde el coxal (pubis) hasta el fémur (línea áspera). La mayoría de estos músculos cruzan solamente la articulación coxal realizando la aducción del muslo.

El músculo grácil es largo y el más medial de todo este grupo. Los músculos aductores largo y breve están situados en la región anteromedial, siendo el largo el más superficial de los dos. El pectíneo por su lado medial colinda con el aductor largo y por el lateral con el iliopsoas. El aductor magno es ancho y grueso siendo el más grande de la musculatura de este grupo, situado profundamente a los aductores largo y breve, y por fuera del grácil.

— Insecciones de inicio: el pectíneo, los aductores largo y breve y el grácil se inician en el pubis y el aductor magno en la rama isquiopúbica y en la tuberosidad isquiática.

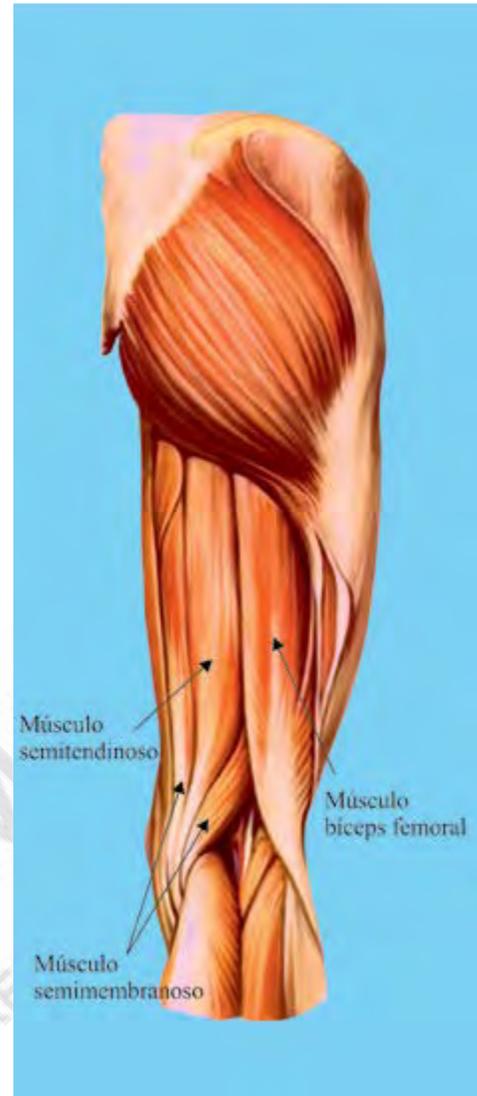


Fig. 8.45. Grupo posterior del muslo derecho y de la región glútea (en esta figura no se observa el músculo poplíteo).

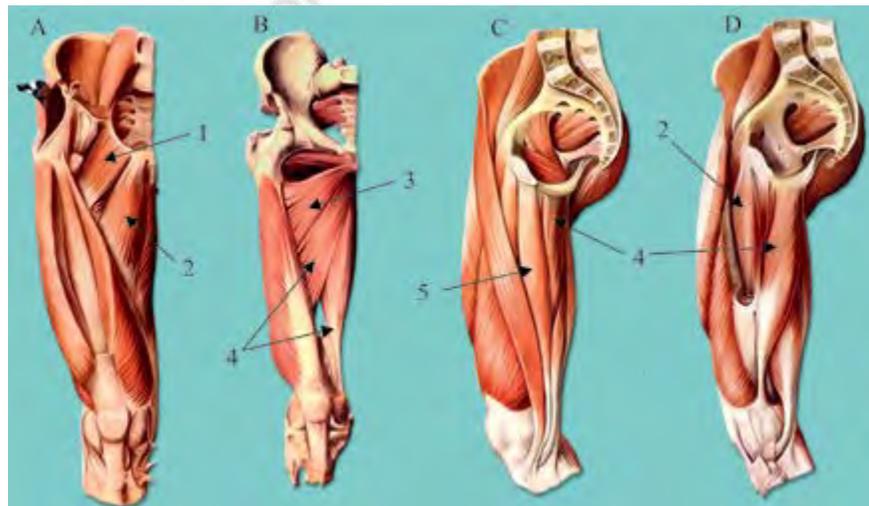


Fig. 8.46. Grupo medial del muslo derecho y de la región glútea: A y B. Vista anterior; C y D. Vista medial: 1. Pectíneo; 2. Aductor largo; 3. Aductor breve; 4. Aductor magno; 5. Grácil.

- Inserciones de terminación: el pectíneo termina en la línea pectínea y los tres aductores en el labio medial de la línea áspera del fémur, el grácil termina en la tuberosidad de la tibia y en la fascia crural.
- Funciones:
 - Los anatomistas y médicos de la antigüedad los describían como los músculos de la virginidad, precisamente por su función: la aducción del muslo. Son músculos muy potentes, tanto es así que si una persona une ambas rodillas y usted intenta realizarle fuerza para separarlas, o sea, producir el movimiento contrario, pues muy difícilmente podrá lograrlo, incluso tratándose de un niño.
 - Ligera rotación lateral del muslo.
 - Los más próximos a la cara anterior del muslo realizan la flexión del muslo (pectíneo y aductor largo y breve).
 - El músculo grácil es el único biarticular, ya que cruza también la articulación de la rodilla, mueve la pierna y realiza la rotación medial y la flexión de esta.

Músculos de la región de la pierna

Al igual que los músculos del muslo son largos y se adhieren entre sí, por lo que constituyen potentes masas;

asociando de ese modo su potencia para la realización de movimientos amplios e intensos, indispensables para la marcha bípeda y el mantenimiento del cuerpo en posición vertical durante esta.

Al igual que en el antebrazo, la pierna tiene forma cónica, ya que la porción carnosa (vientre) de los músculos está situada proximalmente, mientras que los tendones se sitúan distalmente.

La mayoría de los músculos están situados en la cara anterior y posterior de la pierna, de acuerdo con los movimientos realizados alrededor del eje frontal en la articulación talocrural y en las articulaciones de los dedos. Existen solo 2 músculos situados lateralmente.

Se extienden, en general, desde los huesos de la pierna hasta los huesos de la región del pie. Rodean la articulación talocrural, por lo que ponen en movimiento el pie y cuando este se encuentra fijo, pueden mover la pierna (como ocurre en los movimientos de la cucullilla). Algunos músculos refuerzan la bóveda del pie.

Para estudiar estos músculos, se dividen en tres grupos: anterior, posterior y lateral. El grupo anterior realiza la flexión dorsal del pie y es antagonista de los grupos posterior y lateral, que realizan la flexión plantar.

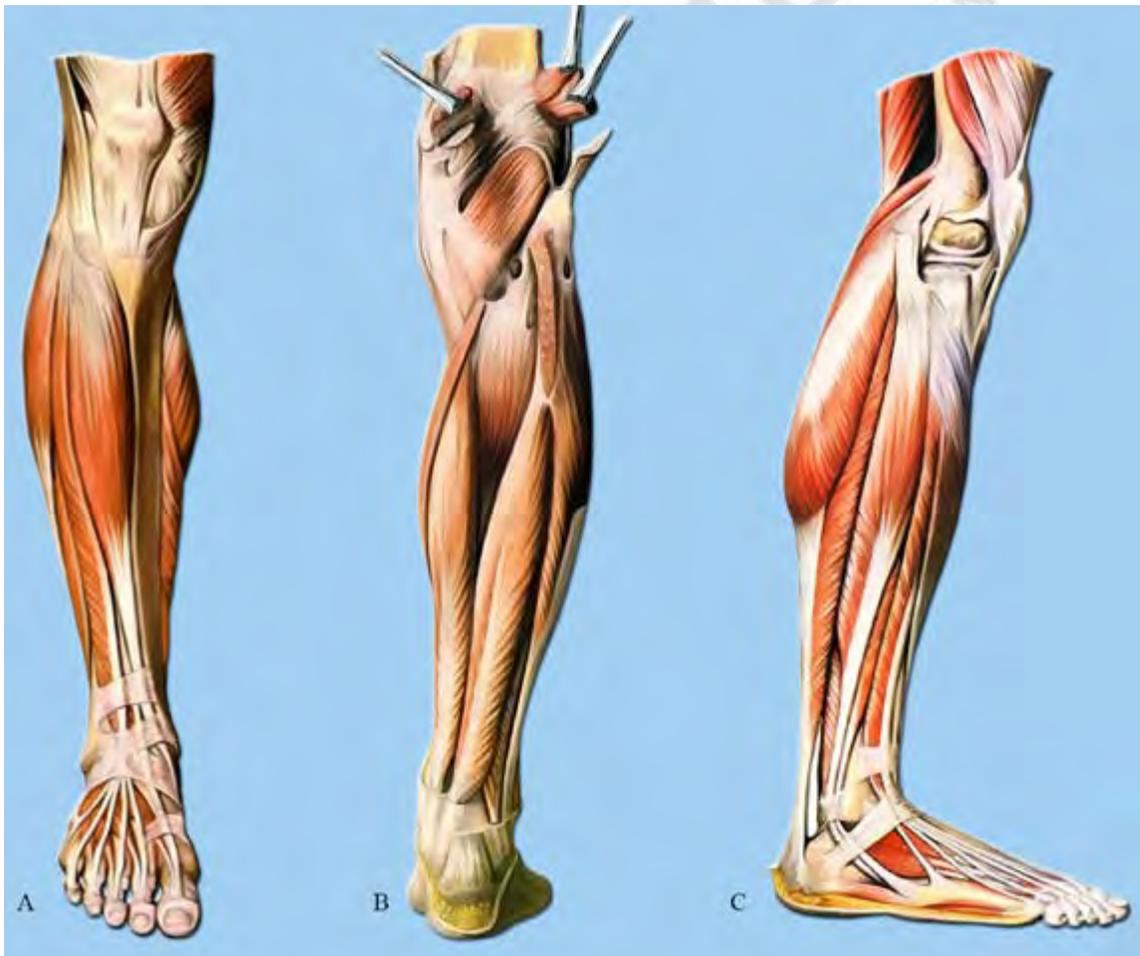


Fig. 8.47. Músculos de la pierna derecha. A. Vista anterior: se observa grupo anterior de la pierna; B. Vista posterior: grupo posterior profundo de la pierna; C. Vista lateral: se observa grupo lateral de la pierna, parte del grupo anterior, parte de la capa superficial del grupo posterior y músculo del dorso del pie derecho.

1. Grupo anterior (Fig. 8.47 A):
 - a. Músculo tibial anterior.
 - b. Músculo extensor largo de los dedos.
 - c. Músculo extensor largo del dedo grueso.
2. Grupo posterior.
 - a. Capa superficial (Figs. 8.47 C):
 - Músculo tríceps sural.
 - Músculo plantar.
 - b. Capa profunda (Fig. 8.47 B):
 - Músculo tibial posterior.
 - Músculo flexor largo de los dedos.
 - Músculo flexor largo del dedo grueso.
3. Grupo lateral (Fig. 8.47 C)
 - a. Músculo fibular (peroneo) largo.
 - b. Músculo fibular (peroneo) breve.

De los músculos de la pierna se debe conocer los nombres de los músculos de cada grupo e identificarlos, así como su situación y las funciones en que participa cada uno.

Tríceps sural

El único músculo que se debe describir completamente es el tríceps sural (Fig. 8.48) que constituye la masa principal del relieve de la pierna. Se denomina así porque tiene 3 cabezas formadas por el músculo sóleo (Fig. 8.48 B) situado profundamente y el gastrocnemio (Fig. 8.48 A) que es el más superficial, formado por las cabezas medial y lateral (gemelos).

Gastrocnemio

Se inicia en la cara poplítea del fémur, cerca de sus cóndilos lateral y medial (cabeza lateral y medial) a diferencia del resto de los músculos de la pierna que se inician en los huesos de esta región; los tendones iniciales de las dos cabezas se unen a la cápsula de la articulación de la rodilla. Las dos cabezas descienden y se unen en la parte media pasando a un tendón común.

Sóleo

Cubierto por el gastrocnemio. Su línea de inicio pasa por la cabeza de la fíbula, tercio superior de la cara posterior de la fíbula y desciende por la tibia a lo largo de la línea del músculo sóleo. En el lugar donde el músculo se extiende de la fíbula a la tibia se forma un arco tendinoso por el que pasan vasos y nervios (arco tendinoso del músculo sóleo). Las fibras musculares descienden y terminan en una amplia expansión tendinosa que se unen con el tendón del gastrocnemio y forman un tendón común (tendón calcáneo o de Aquiles) que se inserta en la tuberosidad calcánea.

Las funciones del tríceps sural son las siguientes:

- El gastrocnemio es el único músculo de la región de la pierna que es biarticular, ya que también cruza la articulación de la rodilla, realizando la flexión de la pierna cuando está fija al pie.
- Flexión plantar.
- Cuando el cuerpo está en posición vertical impide la caída hacia delante.

Se debe recordar que en el pie los movimientos no se verifican de manera aislada, puesto que en el tarso

existen varias articulaciones que actúan en conjunto, lo que provoca movimientos combinados que se nombran inversión y eversión. En la inversión interviene la flexión plantar, aproximación y rotación medial, mientras que la eversión es todo lo contrario, o sea, que está compuesto por la flexión dorsal, separación y rotación lateral.



Fig. 8.48. Músculos de la pierna derecha. Grupo posterior superficial de la pierna (tríceps sural): A. Gastrocnemios; B. Sóleo.

Músculos del pie

Los músculos del pie se sitúan en el dorso y en la planta del pie; esta es una característica que distingue al pie de la mano, donde solamente existen músculos en la región de la palma. Junto a ellos se sitúan los tendones de los músculos de la pierna insertados en la cara plantar y dorsal del pie.

Estos son músculos cortos. Tienen su inserción de origen y de terminación en los huesos del pie. Se extienden desde el tarso hasta los dedos y por supuesto permiten los movimientos de los dedos y del pie de manera general. Se dividen en dos grupos: uno en el dorso y otro en la planta; este último se divide en tres subgrupos: medial (músculos del dedo grueso o primer dedo), lateral (músculos del dedo pequeño o quinto dedo) y medio (situado en la parte media de la planta del pie).

El tono de los músculos del pie contribuye a reforzar las articulaciones del pie, favoreciendo también la formación de los arcos plantares.

Los músculos del pie son:

1. Músculos dorsales o de la cara dorsal (Fig. 8.49):
 - Músculo extensor breve de los dedos.
 - Músculo extensor breve del dedo grueso.
2. Músculos plantares o de la cara plantar:
 - a. Grupo medial:
 - Músculo flexor breve del dedo grueso.
 - Músculo abductor del dedo grueso.
 - Músculo aductor del dedo grueso.
 - b. Grupo lateral:
 - Músculo flexor breve del dedo pequeño.
 - Músculo abductor del dedo pequeño.
 - Músculo oponente del dedo pequeño.
 - c. Grupo medio:
 - Músculo flexor breve de los dedos.
 - Músculos lumbricales.
 - Músculos interóseos.

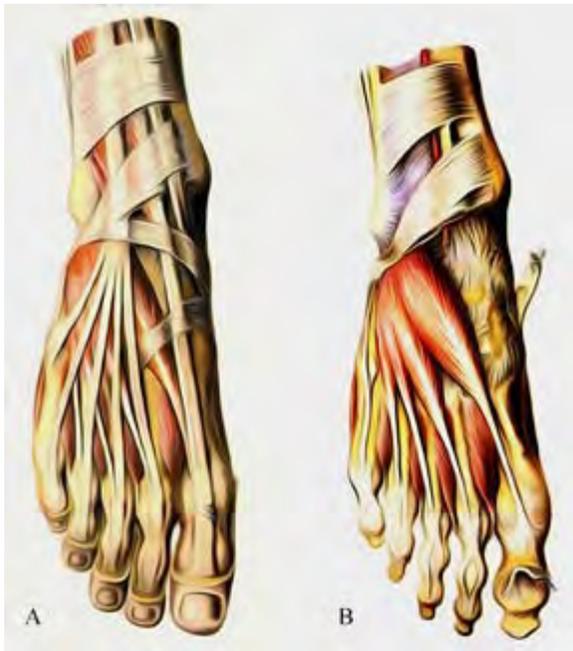


Fig. 8.49. Músculos del pie derecho (dorso del pie).

Desarrollo embrionario del sistema muscular

Durante el desarrollo embrionario se forman 3 tipos de músculos: esquelético, liso y cardíaco.

Prácticamente toda la musculatura esquelética se deriva de las somitómeras o de los somitas; los de la región cefálica, además, se derivan del mesodermo de los arcos faríngeos con la participación del mesénquima proveniente de las células de las crestas neurales.

El mesodermo espláncico da origen a la musculatura del corazón y a los músculos lisos del sistema

digestivo y respiratorio. Otros músculos lisos —como los de los vasos sanguíneos y los piloerectores— se derivan del mesodermo local por diferenciación *in situ*. Una excepción con relación al origen mesodérmico de este sistema la constituyen los músculos del iris y ciliar del ojo que se forman a partir del ectodermo de las crestas neurales.

Histogénesis del músculo

Alrededor de 45 % de la masa del cuerpo está hecha de músculo esquelético, cardíaco y liso. Cada tipo tiene un modelo único de embriogénesis, adaptado a sus funciones estructurales y funcionales en el cuerpo.

Músculo esquelético

El músculo esquelético se deriva del mesodermo somático. Hay evidencias de que ciertas células amnióticas de la capa epiblastica están determinadas a ser células miogénicas mientras se están invaginando o abandonando la línea primitiva durante la gastrulación. Después de este proceso la gran mayoría de las células miogénicas toman posición temporal en el mesodermo paraxial. Este es el precursor de los somitas en el tronco y de las somitómeras en la cabeza.

Algunos elementos moleculares —como el factor 1 de determinación miogénica (Myo D1), la miogenina y el factor de crecimiento similar a la insulina— determinan que una célula pase a formar célula muscular esquelética.

Las células mesenquimáticas, después de algunas divisiones celulares, se convierten en mioblastos, que se fusionan y forman miotubos sincitiales que son extremadamente activos en la síntesis de actina y miosina (la principal proteína contráctil del músculo). Finalmente se forma la fibra muscular con el músculo hacia la periferia y el depósito de grandes cantidades de proteínas contráctiles.

La diferenciación culmina cuando por la interacción con un nervio motor ocurre la diferenciación enzimática y funcional. La información suministrada por el nervio causa cambios en la mitocondria y las proteínas contráctiles, originando una fibra muscular rápida o lenta, fatigable o resistente a la fatiga. Esto ocurre después del nacimiento y a lo largo de la vida.

Algunos mioblastos permanecen como células mononucleadas no especializadas, en una posición entre la fibra muscular y la lámina basal circundante (células satélites).

Recientemente se han identificado los genes que regulan el desarrollo del músculo BMP 4 y probablemente FGF de la lámina lateral del mesodermo junto con las proteínas WNT del ectodermo adyacente, generan en las células dorsolaterales del somita la expresión del gen específico del músculo MYO-D. El ectodermo suprayacente secreta BMP 4 que induce la producción de proteínas WNT por la región dorsal del tubo neural que hacen que las células dorsomediales del somita activen el MYF5, otro

gen específico de músculo. Ambos genes son miembros de la familia MYO-D, un grupo de genes específicos del músculo que también incluyen a los genes de la miogenina y MRF 4. Las proteínas MYO-D y MYF 5 activan los genes de la miogenina y MRF 5 que a su vez promueven la formación de miotúbulos y miofibras. Todos los miembros de la familia MYO-D tienen sitios de unión al DNA y actúan como factores de transcripción que regulan genes corriente abajo en la vía de diferenciación del músculo.

Patrones del músculo

Los patrones de formación del músculo son controlados por los tejidos conectivos hacia los cuales han migrado los mioblastos. En la región cefálica estos tejidos derivan de las células de la cresta neural, en las regiones cervical y occipital provienen del mesodermo somítico y en la pared corporal y miembros se originan en el mesodermo somático.

Desarrollo de los músculos que se relacionan con el esqueleto axial

Músculos de la cabeza

Los músculos de esta región son músculos voluntarios y derivan del mesodermo paraxial, de los somitas y somitómeros. Es bueno recordar que las somitómeras son somitas que no tienen una diferenciación en la región cefálica incluidos los músculos de la lengua, el ojo y los asociados con los arcos faríngeos (Tabla 8.2).

Tabla 8.2. Principales grupos musculares de la región cefálica

Músculo o grupo muscular	Origen embriológico
Músculos extrínsecos del ojo (músculos preóticos)	Mesodermo que rodea lámina precordial
Músculos de la lengua	Somitas occipitales
Músculos de la mímica	2do. A.F.-(VII N.C o facial)
Músculos de la masticación	1er. A.F.-(V N.C o trigémino)
Músculos de la deglución	3ro.-4to.-6to. A.F X N.C o vago IX N.C o glossofaríngeo XI N.C o accesorio

Principales grupos musculares de la región cefálica

Músculos de cuello y tronco

Hacia el final de la quinta semana, las futuras células musculares están agrupadas en 2 posiciones: una pequeña porción dorsal, el epímero, formado a partir de las células dorsomediales del somita que se han reorganizado como miotomas (músculos extensores); y una porción ventral más grande, el hipómero, formado por la migración de las células dorsolaterales del somita (músculos flexores) (Fig. 8.50).

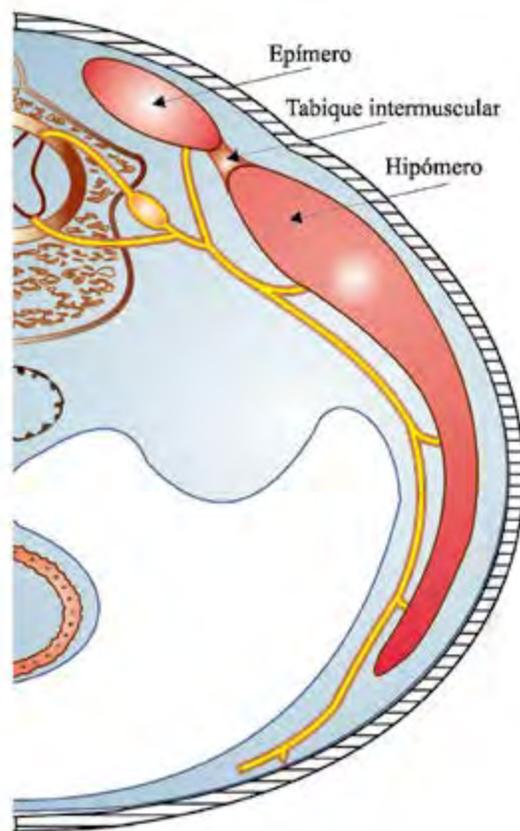


Fig. 8.50. Corte transversal a nivel de la región torácica de un embrión de 5 semanas.

Los nervios que inervan a los músculos segmentarios también se dividen en un ramo primario dorsal para el epímero y un ramo primario ventral para el hipómero y permanecen con su segmento muscular original a lo largo de todas sus migraciones.

Los mioblastos de los epímeros forman los músculos extensores de la columna vertebral en tanto que los mioblastos de los hipómeros dan lugar a los músculos de los miembros y de la pared corporal. Los mioblastos de los hipómeros cervicales forman los músculos escalenos, geniohioideo y prevertebrales. Los de los segmentos torácicos se separan en tres hojas representados en el torác por los músculos intercostales externos, intercostales internos y transverso del torác. En la pared abdominal estas tres hojas musculares forman los músculos oblicuo externo, oblicuo interno y transverso del abdomen. Los músculos de la pared del torác conservan su carácter segmentario debido a las costillas, mientras que en la pared abdominal los músculos de los diversos segmentos se fusionan y forman grandes hojas de tejido muscular. Los mioblastos del hipómero de los segmentos lumbares forman el músculo cuadrado lumbar en tanto que el de las regiones sacra y coccígea forman el diafragma pelviano y los músculos estriados del ano.

Además de las tres capas musculares ventrolaterales mencionadas en el extremo ventral de los hipómeros aparece una columna longitudinal ventral. En la región

del abdomen esta columna corresponde al músculo recto del abdomen y en la región cervical a los músculos infrahiodeos. En el toráx los músculos longitudinales normalmente desaparecen, aunque a veces están representados por el músculo esternal.

Desarrollo de los músculos que se relacionan con el esqueleto apendicular

Los primeros indicios de la formación de los músculos de los miembros aparecen en la séptima semana del desarrollo en forma de condensaciones del mesénquima que se encuentra próximo a la base de los esbozos. El mesénquima deriva de las células dorsolaterales de los somitas que emigran hacia el esbozo del miembro para formar los músculos, al igual que en otras regiones el tejido conectivo es el que gobierna el patrón de formación del músculo y este tejido que deriva del mesodermo somático da origen también a los huesos del miembro.

Al alargarse los esbozos de los miembros el tejido muscular se desdobra en sus componentes flexor y extensor. En un principio los músculos de los miembros tienen carácter segmentario, pero con el tiempo se fusionan y entonces se componen de tejido que derivan de varios segmentos.

Inmediatamente después que los nervios han entrado en los esbozos de los miembros se ponen en íntimo contacto con las condensaciones mesodérmicas en diferenciación, y este contacto temprano entre el nervio y las células musculares es el requisito previo para su completa diferenciación funcional (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Diferencias entre los precursores celulares de los músculos que se relacionan con el esqueleto axil y apendicular

Músculos axiales	Músculos de los miembros
Están localizados en la mitad medial del somita	Están localizados en la mitad lateral del somita
La mayor parte se diferencia <i>in situ</i>	Migran hacia las yemas de los miembros antes de diferenciarse
Se diferencian inicialmente como miocitos mononucleados	Se diferencian inicialmente como miocitos multinucleados
Los factores de determinación miogénica (myf5 y MyoD) se expresan antes de la formación del miotoma o al comienzo	La expresión de los factores de determinación miogénica (myf5 y MyoD) se retrasa hasta que las masas musculares de los miembros comienzan a fusionarse
El tubo neural y la notocorda parecen ejercer una fuerte influencia en la diferenciación	La migración y la diferenciación reciben pocas influencias de las estructuras axiales

Bibliografía

- CD del Proyecto Policlínico Universitario, 2004.
- Diccionario terminológico de ciencias médicas (1984), 11na. Ed. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
- Folleto, guías de prácticas y manuales: elaborados en los departamentos de anatomía para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje: 2002.
- Ganong, W. F. (1999): Fisiología médica. Editorial El Manual Moderno, México, 17ª Ed., cap 3 y 4, pp. 71-128.
- Gartner, L. P. y J. L. Hiatt (2002): Histología texto y atlas. 2da. Ed. McGraw-Hill. Interamericana, México D. F.
- Guyton, A. C. y J. E. Hall (1999): Tratado de fisiología médica, Edición Revolución, La Habana, 9ª. Ed. (traducido).
- Guyton, A. C. y J. E. Hall (1998): Tratado de fisiología médica. Ed. Interamericana McGraw-Hill, Nueva York; caps. 6, 7, 8; pp. 79-112.
- Junqueira, L. C. y J. Carneiro (1996): Histología básica, texto y atlas. 4ta. Ed. Masson S.A. Barcelona.
- Langman (2001): Embriología médica. 8va ed. Editorial Médica Panamericana, México.
- Moore, K., A. Dalley, A. M. R. Agur (2010): Clinically Oriented Anatomy. Sixth Edition. Estados Unidos: Editorial Lippincott Williams & Wilkins; pp. 230-38.
- O´Rahilly, R. (1989): Anatomía de Gardner. 5ta. Ed. México: Edit. Interamericana.
- Orts Llorca, F. (1986): Anatomía Humana. 6ta. Ed. Barcelona: Científico-Médica.
- Prives, M., N. Lisenkov y V. Bushkovich (1984): Anatomía Humana. 5ta. Ed. Moscú: MIR.
- Rosell Puig, W. y C. Dovale Borjas (1992): Consideraciones generales de la Anatomía y del Aparato Locomotor. 4ta. Ed. La Habana: ISCM.
- Rosell Puig, W., C. Dovale Borjas e I. Álvarez Torres (2002): Morfología Humana I. La Habana.
- Rouviere, H. y A. Delmas (1999): Anatomía Humana. 10ma. Ed. París: Masson.
- Sinelnikov, R.D. (1981): Atlas de Anatomía Humana. 3ª. Ed. Editorial MIR, Moscú.
- Tortora Grabowski (1999): Principios de anatomía y fisiología del músculo. Tejido muscular. México, cap 10, pp. 273-293.
- Tresguerres, J. A. (1999): Fisiología humana. McGraw-Hill, Madrid, 2da. Ed., cap.1, pp. 3-16.
- Williams PL, Warwick R. Gray´s anatomy. 36a. Ed. Barcelona: Salvat; 1986.

Sistema tegumentario

Andres Dovaes Borjes

El sistema tegumentario está formado por la piel y los anexos o faneras. Las faneras incluyen los pelos, las glándulas sudoríparas y sebáceas, y las uñas. La piel es el órgano de mayor extensión del organismo; en un individuo que pese 150 lb cubre 1,7 m² y pesa unas 9 lb (4 kg). Consiste en una envoltura resistente y flexible que cubre la superficie exterior del cuerpo y se continúa con las mucosas que revisten los sistemas respiratorio, digestivo y genitourinario a nivel de sus orificios externos.

Las principales funciones que desempeña este sistema son:

1. Protege contra los roces y magulladuras, y evita la entrada de gérmenes patógenos gracias a que sus capas más superficiales están constituidas por células muertas cargadas de queratina.
2. Evita la desecación al ser semipermeable al agua gracias a la queratina de sus células superficiales muertas y a los lípidos que se encuentran entre ellas.
3. Regulación térmica: ayuda a conservar la temperatura corporal.
4. Excreción: la realiza mediante la secreción del sudor por las glándulas sudoríparas y material sebáceo por las sebáceas.
5. Síntesis: en la piel se sintetiza la vitamina D, por acción de los rayos UV sobre el 7-dehidrocolesterol, y la melanina.
6. Discriminación sensorial: debido a que la piel posee receptores para el tacto, la presión, el frío y el calor y el dolor, mantiene informado al individuo sobre el medio ambiente que lo rodea.
7. Permite la absorción de algunos medicamentos de uso externo.

Estructura histológica de la piel

La piel está constituida por 2 capas íntimamente unidas que poseen diferentes estructura y origen

embriológico: la epidermis, de origen ectodérmico, y la dermis, de origen mesodérmico. El espesor de la piel es variables, de 0,5 a 4 mm, o más. Bajo la piel y unida íntimamente a esta se encuentra una capa de tejido conectivo que varía desde el tipo laxo hasta el adiposo, de grosor variable. Esta capa se denomina hipodermis y para muchos autores forma parte de la piel por las estrechas relaciones morfofuncionales que existen entre ambas.

Epidermis

La epidermis es la capa superficial de la piel y está constituida por un epitelio estratificado plano queratinizado, constituido por varias capas o estratos que, en dependencia de su menor o mayor desarrollo, permiten clasificar la piel en delgada y gruesa.

La piel gruesa es la que cubre las palmas de las manos y las plantas de los pies y se caracteriza por presentar una capa gruesa de queratina y por poseer un estrato, denominado estrato lúcido, que no existe en la piel delgada. En la piel fina el grosor de la epidermis es mucho menor debido, principalmente, al escaso grosor de la capa de queratina.

Piel gruesa

La observación a simple vista de la piel gruesa permite apreciar la presencia de surcos y elevaciones que son debidas a la disposición de las papilas de la dermis. Estos pliegues son más visibles en las palmas de las manos y en los dedos, y constituyen un patrón único para cada individuo que permite su identificación: las huellas digitales.

Al microscopio electrónico (MO) la epidermis de la piel gruesa presenta 5 estratos o capas, que desde la profundidad hasta la superficie son: germinativo, espinoso, granuloso, lúcido y córneo (Fig. 9.1).

Estrato germinativo

Nombrado también basal; está formado por una capa de células cilíndricas, denominadas queratinocitos, algunas muestran imágenes de mitosis. Las células basales en interfase poseen núcleo grande y ovalado, y relativamente escaso citoplasma basófilo. El eje mayor celular, así como el nuclear, se disponen perpendicularmente a la membrana basal donde descansan estas células y hacia donde proyectan pequeñas microvellosidades.

La membrana basal no se distingue en las preparaciones habituales teñidas con hematoxilina y eosina (H/E), pero puede observarse en preparaciones teñidas con la técnica de PAS y al ME. Entre las células de la capa basal pueden observarse otros dos tipos de células: los melanocitos, células productoras de melanina, y las células de Merkel, a las que se atribuye una función de mecanorreceptores de adaptación lenta que reaccionan ante la deformación de la piel y se adaptan lentamente a los estímulos y continúan enviando potenciales de acción mientras dura el estímulo.

Estrato espinoso

Recibe este nombre porque en esta capa los queratinocitos muestran delgadas prolongaciones citoplasmáticas que le dan el aspecto de espinas y que unen las células entre sí. Al ME se ha demostrado que estas espinas intercelulares se forman por la presencia de desmosomas entre las células vecinas. Esta capa está formada por varias hileras de queratinocitos poliédricos, de núcleos esféricos de cromatina laxa y citoplasma basófilo, que se aplanan a medida que se aproximan a la superficie. La unión del estrato basal y el espinoso es denominado estrato de Malpighi.

Estrato granuloso

Es de grosor variable y posee células aplanadas y grandes; toma su nombre debido al gran contenido granular que presenta. Los gránulos son de queratohialina, sustancia intensamente basófila, precursora de la queratina blanda. En la zona superior de esta capa mueren los queratinocitos.

Estrato lúcido

Esta capa no es fácil de apreciar y cuando aparece lo hace como una línea acidófila clara y brillante, por encima del estrato granuloso. Este estrato está formado por varias capas de queratinocitos muertos que muestran núcleos imprecisos. En su citoplasma existe eleidina, sustancia que proviene de la transformación de la queratohialina.

Estrato córneo

Está compuesto por una serie de células muertas, carentes de núcleos, planas y acidófilas con todo el citoplasma ocupado por queratina y firmemente unidas entre sí por desmosomas. Grupos de células se descaman con facilidad en la superficie (Fig. 9.1).

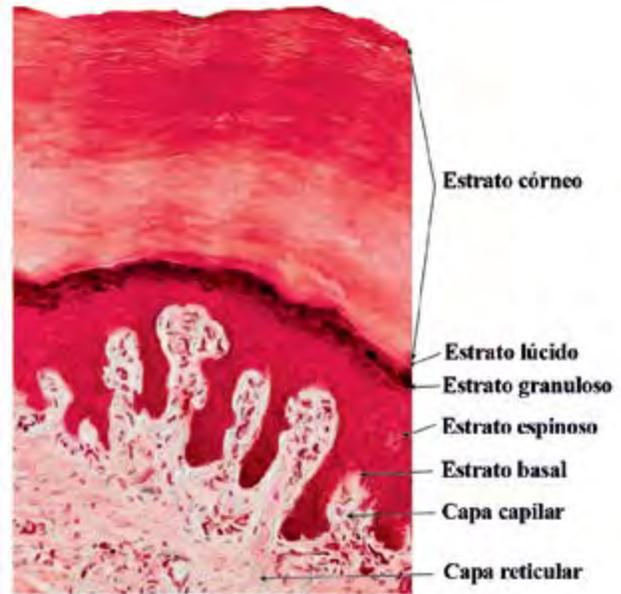


Fig. 9.1. Piel gruesa. Estratos de la epidermis y la dermis.

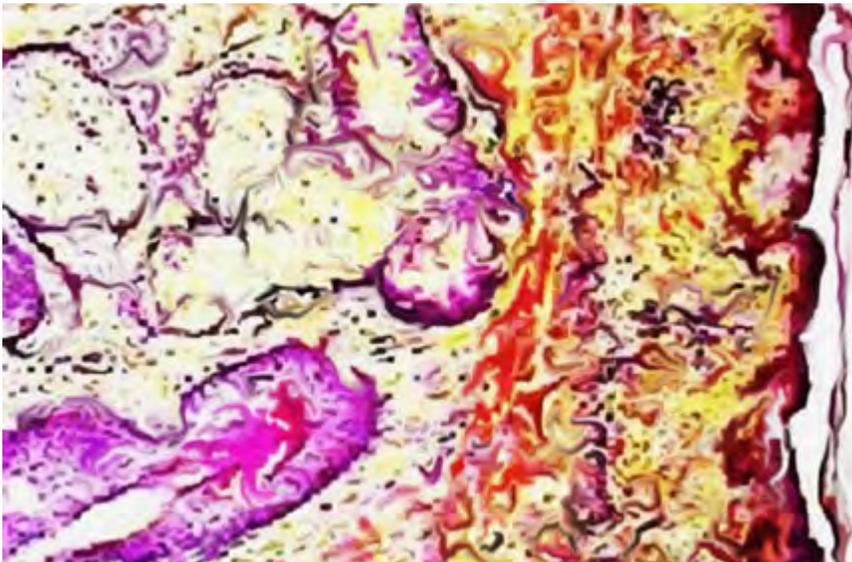


Fig. 9.2. Piel fina. Se observa un folículo piloso y glándulas sebáceas.

Piel fina

La piel fina cubre todo el cuerpo menos las palmas de las manos y las plantas de los pies; sus estratos son más delgados, sobre todo el estrato córneo, y contiene menos glándulas sudoríparas que la piel gruesa. La presencia de pelos y glándulas sebáceas, así como la ausencia del estrato lúcido, la distinguen fácilmente (Fig. 9.2).

Estructura de la epidermis al microscopio electrónico

La epidermis está separada de la dermis por una membrana basal, que mide 50 a 70 μm de grosor y que se une a la dermis mediante fibrillas reticulares que muestran periodicidad axial.

Todos los queratinocitos epidérmicos, incluso los del estrato córneo, presentan desmosomas que desempeñan una importante función en la adhesión intercelular de la epidermis. En el citoplasma celular próximo a los desmosomas se aprecian numerosos filamentos (Fig. 9.3).

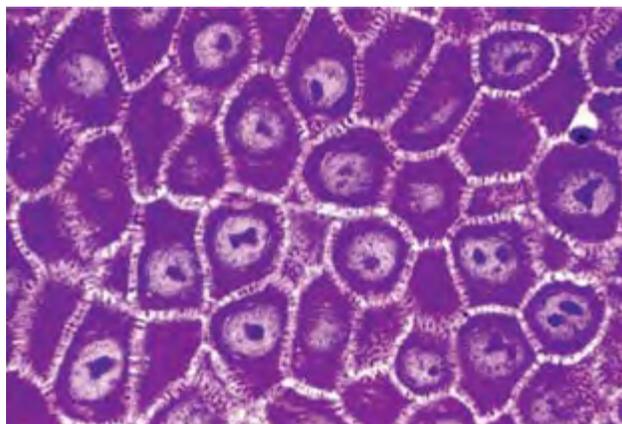


Fig. 9.3. Estrato espinoso de la piel gruesa.

Los queratinocitos de la capa basal muestran, además, hemidesmosomas, especializaciones de la membrana plasmática que se relacionan con la membrana basal. La matriz citoplasmática de las células basales es relativamente densa a los electrones y contienen filamentos aislados o en haces, numerosos ribosomas libres y polirribosomas, mitocondrias, aparato de Golgi, RER poco desarrollado. En la base de las células se observan a menudo vesículas pinocíticas.

Las células espinosas contienen todos los componentes antes mencionados y otros denominados gránulos laminados, recubiertos por membrana. Estos gránulos son ovoides y miden de 0,1 a 0,5 μm ; están llenos de láminas paralelas de alrededor de 2 μm de grosor. Aparecen primero próximos al aparato de Golgi y luego se observan en todo el citoplasma.

Las células granulosas poseen organitos sintetizadores y numerosos haces de filamentos, así como gránulos laminados y de queratohialina. Los gránulos laminados aquí migran hacia la superficie celular y son descargados en el espacio intercelular. Los gránulos de queratohialina

son redondeados y de tamaño variable, no están limitados por membranas y constan de partículas amorfas de 2 μm atravesados por haces de filamentos.

Las células del estrato córneo muestran muy pocos organitos y están llenas de filamentos de 6 a 8 μm incluidos en una matriz amorfa. La membrana plasmática está modificada y mide de 150 a 200 μm de grosor. En general, la membrana plasmática de las células de la capa córnea es muy ondulada y se interdigita con las de las células adyacentes. Los espacios intercelulares están llenos de un material lipídico denso a los electrones, derivado de los gránulos laminados.

Recambio celular en la epidermis

Funcionalmente, el estrato basal es la capa germinativa donde mediante mitosis se preserva el número de queratinocitos de la epidermis. Las células espinosas y las granulosas son células que se diferencian y las córneas son las células diferenciadas o los productos terminales de la epidermis; por tanto, podemos decir que la epidermis se renueva constantemente: la mitosis en la capa germinativa y la descamación superficial producen un estado de equilibrio que mantiene la integridad epidérmica.

La queratinización no es más que una forma de diferenciación epitelial compuesta por 2 estadios: una fase sintetizadora y otra fase degenerativa. En la primera, los filamentos, los gránulos de queratohialina y los laminados se forman en grandes cantidades. Luego de la secreción de los gránulos laminados, el resto del contenido celular, formado principalmente por filamentos y gránulos de queratohialina, se consolida en un material fibroso y amorfo que queda rodeado por una cubierta celular engrosada.

La capacidad estructural y la resistencia química de la capa protectora está asegurada por la presencia de grandes cantidades de proteína que contienen azufre, las cuales son insolubles debido a la existencia de enlaces covalentes. Son alfa proteínas. Estas proteínas en asociación confieren flexibilidad, elasticidad y estabilidad a la capa córnea. La membrana plasmática modificada de los queratinocitos cornificados es el componente más resistente de dicha capa.

Así, la protección de la epidermis depende fundamentalmente de las células córneas, y esta capa a su vez actúa como una barrera para el movimiento del material a través de la piel. La pérdida de los líquidos corporales o la penetración de agua a través de la piel por los espacios intercelulares, se evita mediante los depósitos de lípidos bipolares entre las células córneas que se originan a partir del contenido de los gránulos laminados.

Otras células de la epidermis

Además de los queratinocitos que constituyen 90 a 95 % de las células de la epidermis, existen otros 3 tipos celulares de origen, estructura y funciones diferentes: los melanocitos, las células de Langerhans y las células de Merkel.

Los melanocitos tienen su origen en las crestas neurales, de la cual, en forma de melanoblastos migran

a 3 sitios: la piel (epidermis y bulbos pilosos), el ojo (coroides, iris y retina) y, unas pocas, a la aracnoides. Presentan un núcleo ovoide y son células dendríticas, situadas entre las células basales del estrato germinativo, en contacto con la membrana basal, y cuyas prolongaciones se extienden entre los estratos germinativo y espinoso. Al ME los melanocitos no muestran desmosomas. Son las células sintetizadoras de la melanina que segregan y son fagocitados por los queratinocitos de los estratos basal y espinoso. El número de melanocitos de la piel por unidad de área es similar en las distintas razas, pero su grado de actividad es regulada genéticamente, el color de la piel depende fundamentalmente de la cantidad y distribución de los corpúsculos de melanina en las capas superficiales de la epidermis. Su estructura y función la explicaremos más adelante en relación con su papel en la pigmentación de la piel (Fig. 9.4).

Las células de Langerhans son células móviles con finas prolongaciones y núcleos irregulares que provienen de la médula ósea, no tienen las estructuras características de las otras células de la piel (desmosomas, tonofilamentos o melanosomas). Se localizan en los estratos basal, espinoso y granuloso, sobre todo en la zona superior del estrato espinoso. Presentan en su membrana el complejo mayor de histocompatibilidad clase II, receptores Fc para los anticuerpos y para el factor C3 del complemento, participan en las respuestas inmunes cutáneas, ellas fijan los antígenos a su membrana, viajan por vía linfática hasta los ganglios linfáticos regionales donde los presentan a los linfocitos. Pertenecen al sistema inmune donde se les clasifica como células presentadoras de antígenos (Fig. 9.5).

Al ME son característicos en el citoplasma de las células de Langerhans los gránulos en forma de raqueta denominados gránulos de Birbeck, conocidos también

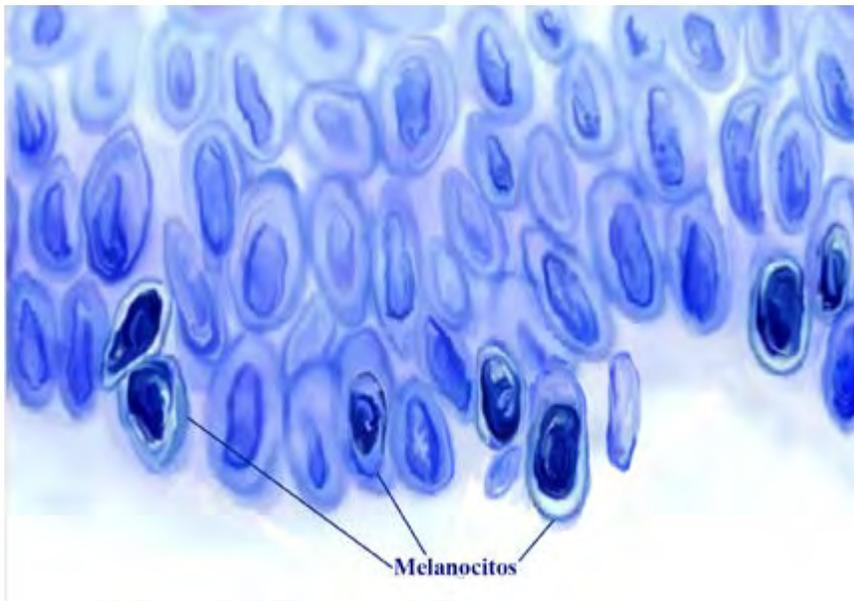


Fig. 9.4. Melanocitos.

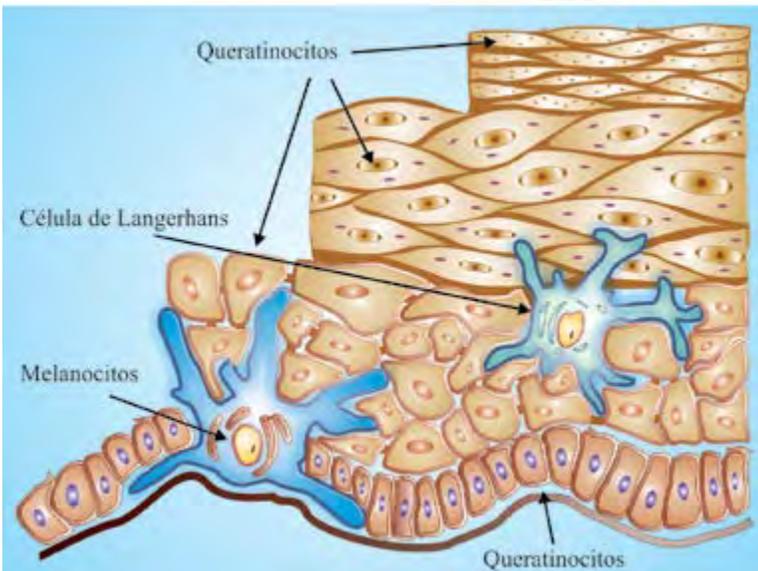


Fig. 9.5. Células de la epidermis.

como gránulos vermiculados. Su función es desconocida. Estas células también están presentes en el epitelio del esófago y de la vagina. En los ganglios se presentan como células en velo en los senos y como células reticulares interdigitantes en la paracorteza.

Células de Merkel

Las células de Merkel se localizan en el estrato basal entre los queratinocitos basales y se unen a ellos mediante desmosomas. Son más abundantes en la piel de las manos y los pies. Su citoplasma se caracteriza por su abundancia en filamentos intermedios de citoqueratina y por presentar gránulos densos pequeños (80 μm). A su cara basal se asocia una terminal axónica de una neurona sensitiva que presenta forma de disco. Son células capaces de actuar como receptores sensitivos a la presión.

Las células de Merkel sintetizan y acumulan en su citoplasma vesículas membranosas con un material denso a los electrones que contiene cromograninas asociadas a moléculas pequeñas parecidas a las catecolaminas. Esta célula al ser deformada por una compresión de la epidermis sería estimulada a liberar el contenido de sus vesículas que actuaría como un neurotransmisor y podría inducir la despolarización del terminal nervioso asociada a ella, la cuál eventualmente generaría la descarga de un potencial de acción en el axón de la neurona sensitiva. Por estas características se considera que la célula de Merkel pertenece al sistema APUD (o sistema neuroendocrino difuso) (Fig. 9.6).

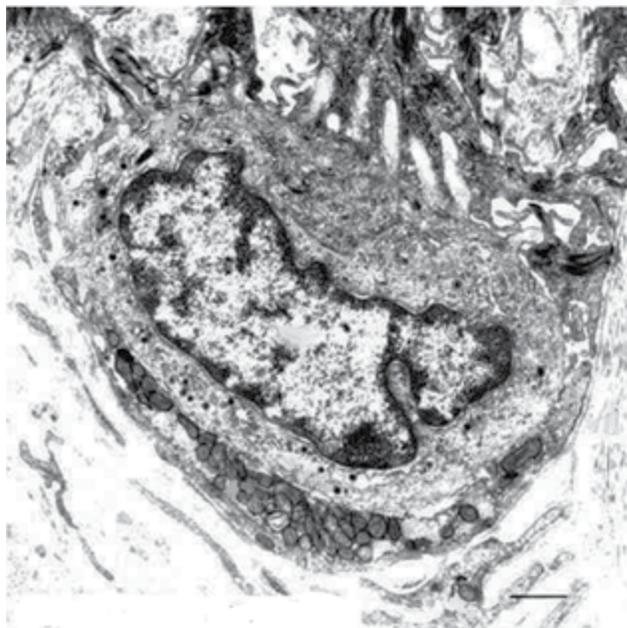


Fig. 9.6. Célula de Merkel.

Dermis

Es la capa de la piel sobre la cual descansa la epidermis. Es una capa de tejido conjuntivo constituida por dos regiones bien delimitadas: capa papilar y capa reticular.

La dermis papilar, de tejido conjuntivo laxo, se dispone formando protrusiones denominadas papilas dérmicas que determinan una ondulación en la epidermis; se extiende hasta los espacios que quedan entre las protrusiones epidérmicas, denominadas clavos epidérmicos interpapilares. Separando esta capa de la epidermis se encuentra una membrana basal, PAS positiva. En las papilas dérmicas se encuentran terminaciones nerviosas y una gran red capilar importante para la nutrición de la epidermis, la cual contribuye a la coloración de la piel y a la regulación térmica. En esta capa hay fibras reticulares y colágenas finas que se disponen paralelas a la superficie, también presenta una red de finas fibras elásticas que disminuyen de grosor al acercarse a la epidermis (Fig. 9.7).

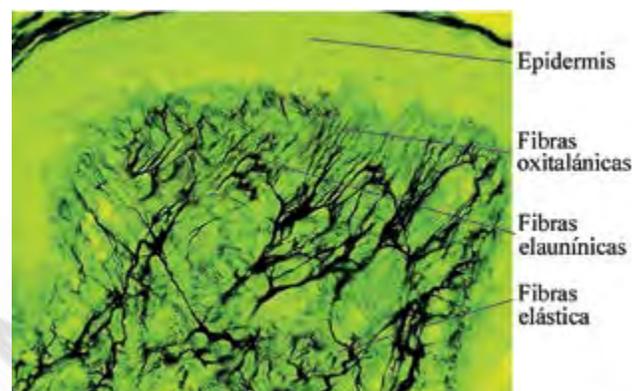


Fig. 9.7. Distribución y tipos de fibras elásticas en la dermis.

Además de los componentes fibrosos, la dermis posee una sustancia amorfa que contiene proteoglicanos, glucosaminoglicanos ácidos (ácido hialurónico y sulfato de condroitina), cuya metacromasia es pronunciada en la dermis papilar próxima a la membrana basal.

En la dermis papilar se encuentran numerosas células del tejido conjuntivo laxo: fibroblastos, macrófagos, células cebadas y otras.

La dermis reticular, situada debajo de la papilar, es más gruesa y está constituida por tejido conectivo denso irregular donde las fibras colágenas gruesas se entretajan con otros haces fibrosos (elásticos y reticulares) formando una red; esta capa representa el verdadero lecho fibroso de la dermis. Las fibras colágenas muestran una dirección paralela a la superficie cutánea y forman líneas de tensión que son de gran importancia en la cirugía.

Hipodermis

La hipodermis está constituida por tejido conectivo laxo que es la continuación en profundidad de la dermis. Sus fibras colágenas y elásticas se continúan directamente con las de la dermis y corren en todas direcciones.

Según las regiones del cuerpo y del estado de la nutrición del organismo, en la hipodermis se desarrollan un número variable de células adiposas. Esta capa puede alcanzar un grosor en el abdomen de 3 cm o más, pero en otras áreas como el pene y los párpados, no contiene células adiposas.

En la hipodermis se encuentran numerosos vasos sanguíneos, linfáticos y troncos nerviosos; también contiene muchas terminaciones nerviosas.

Irrigación sanguínea de la piel

Vasos sanguíneos mayores proporcionan una red anastomótica y forman el plexo cutáneo, por debajo de la dermis desde donde ascienden vasos para formar otra red anastomótica, el plexo subpapilar, entre la capa papilar y la reticular, de la que parten los vasos que irrigan las papilas dérmicas; la porción venosa también muestra 2 plexos en las mismas localizaciones. En ciertas áreas del cuerpo, como en los dedos, existen anastomosis arteriovenosas. Los linfáticos cutáneos se disponen también en plexos superficial y profundo y drenan en los nódulos linfáticos regionales.

La cantidad de sangre que circula por el lecho capilar papilar varía considerablemente en relación con la temperatura ambiente y la generación de calor por la actividad física, de esta forma el organismo disipa o ahorra calor de acuerdo a sus necesidades, así cuando desciende la temperatura ambiental disminuye la circulación de la sangre por la piel y ésta se enfría y cuando hacemos ejercicios físicos aumenta su temperatura permitiendo una mayor disipación del calor. Esta pérdida de calor se incrementa con la evaporación del sudor cuya secreción también aumenta con el calor y el ejercicio físico.

Existen numerosas terminaciones nerviosas tanto en la dermis como en la epidermis, en forma de terminaciones libres, que funcionan como receptores de tacto, presión, frío, calor y dolor, haciendo de la piel un órgano extremadamente sensible.

Coloración de la piel

Los factores que influyen en la coloración de la piel son los pigmentos: caroteno y melanina, y la sangre de los capilares.

El caroteno es un pigmento amarillento de origen vegetal, precursor de la vitamina A, que se encuentra disuelto en los lípidos presentes en el estrato córneo y en los adipocitos de la dermis e hipodermis.

La melanina es el pigmento más importante de la piel. Su color varía desde el amarillo pardo hasta el negro y se encuentra principalmente en el estrato germinativo de la epidermis; es sintetizada por los melanocitos (Fig. 9.8).

En el melanocito, la síntesis del complejo tirosinasa y la formación de los melanosomas es un proceso paralelo que se inicia en el RER. Este proceso es estimulado por la hormona estimulante del melanocito que se fija a un receptor de membrana de la célula. La tirosinasa pasa al aparato de Golgi donde es activada por la presencia de cobre. Una vez activada constituye vesículas citoplásmicas que se unirán a los melanosomas, los cuales parten a su vez del RER como premelanosomas y una vez autónomos constituyen los melanosomas de nivel I y evolucionan hacia melanosomas de nivel II, que al asociarse a las vesículas citoplasmáticas que contienen tirosinasa activada darán origen a los melanosomas de nivel III en los cuales se produce la síntesis de melanina. Los melanosomas alcanzan el nivel IV y pierden su actividad tirosinásica, y se desplazan por las prolongaciones dendríticas del melanocito hacia los queratinocitos (células cromatóforas) que captarán el material pigmentario mediante fagocitosis (Fig. 9.9).

Si los melanosomas contienen feomelanina (feomelanosomas), serán esféricos y con estructuras granulares o laminares, mientras que si contienen eumelanina (eumelanosomas) serán elipsoides y mostrarán estructuras filamentosas a la microscopía electrónica.

Los melanosomas sufrirán un proceso degradativo conforme la célula cromatófora (queratinocito) ascienda hacia las capas más externas de la epidermis.

La tirosina en presencia de una enzima aeróbica, la tirosinasa, se transforma en dihidroxifenilalanina (DOPA) y de esta a dopaquinona; la conversión de estos ami-

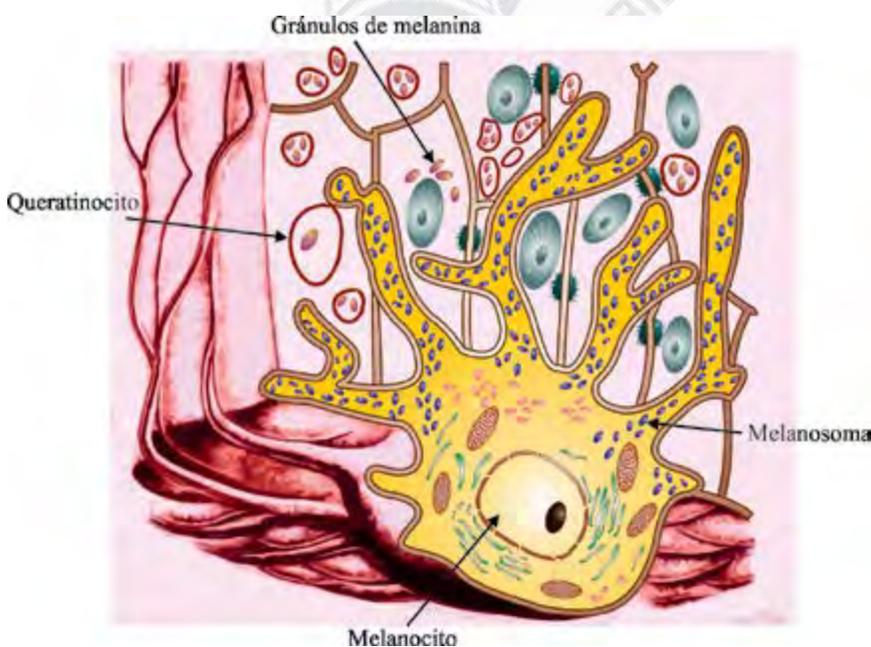


Fig. 9.8. Melanocito.

noácidos constituye el paso inicial en la formación de la melanina. Otro complejo enzimático realiza la oxidación y ciclación de la dopaquinona para dar origen a las feomelaninas (de color rojo o amarillo y solubles en álcalis) o a las eumelaninas (más oscuras, negras o marrones e insolubles en álcalis). La melanina forma unos complejos melanoproteicos que se distribuyen por los procesos citoplasmáticos de los melanocitos siendo posteriormente transferidos al citoplasma de los queratinocitos de la capa basal y del estrato espinoso. La melanina, por su cantidad y disposición sobre los núcleos funcionan absorbiendo luz ultravioleta evitando el efecto dañino de esta sobre el ADN y determinando la diferente pigmentación de la piel en las distintas razas. En los cortes histológicos ordinarios los melanocitos se presentan como células pequeñas entremezcladas con los queratinocitos basales, y en dichos cortes se identifican mejor cuando se incuban en una solución de DOPA. Aparecen como una malla discontinua de células dendríticas, cuyas prolongaciones se extienden entre los estratos germinativo y espinoso.

El grado de pigmentación varía en las diferentes regiones del cuerpo, existen zonas de pigmentación más intensa, tales como axilas, areolas, pezones, labios mayores, escroto, pene y región perianal.

La exposición a los rayos solares intensifica la pigmentación melánica, por oscurecimiento de la melanina existente y por estimulación de la síntesis de nueva melanina.

En la dermis aparecen algunas células que contienen melanina, los cromatóforos; estos no producen el pigmento, sino que lo fagocitan al igual que los queratinocitos de la epidermis.

La cantidad de sangre que circula por la piel, su contenido de hemoglobina y su grado de oxigenación confieren a la piel un tinte que varía entre el rojizo, rosado o violáceo, principalmente en individuos de piel blanca.

Implicaciones clínicas de la ausencia de melanina

El déficit congénito de melanina, albinismo, es el resultado de la incapacidad de los melanocitos para sintetizar melanina. El albinismo se presenta cuando el cuerpo es incapaz de producir o distribuir la melanina, debido a uno de varios defectos genéticos posibles. En el albinismo de tipo 1, los defectos en el metabolismo de la tirosina llevan a que no se logre convertir este aminoácido a melanina. Esto se debe a un defecto genético en la tirosinasa, la enzima responsable de metabolizar la tirosina.

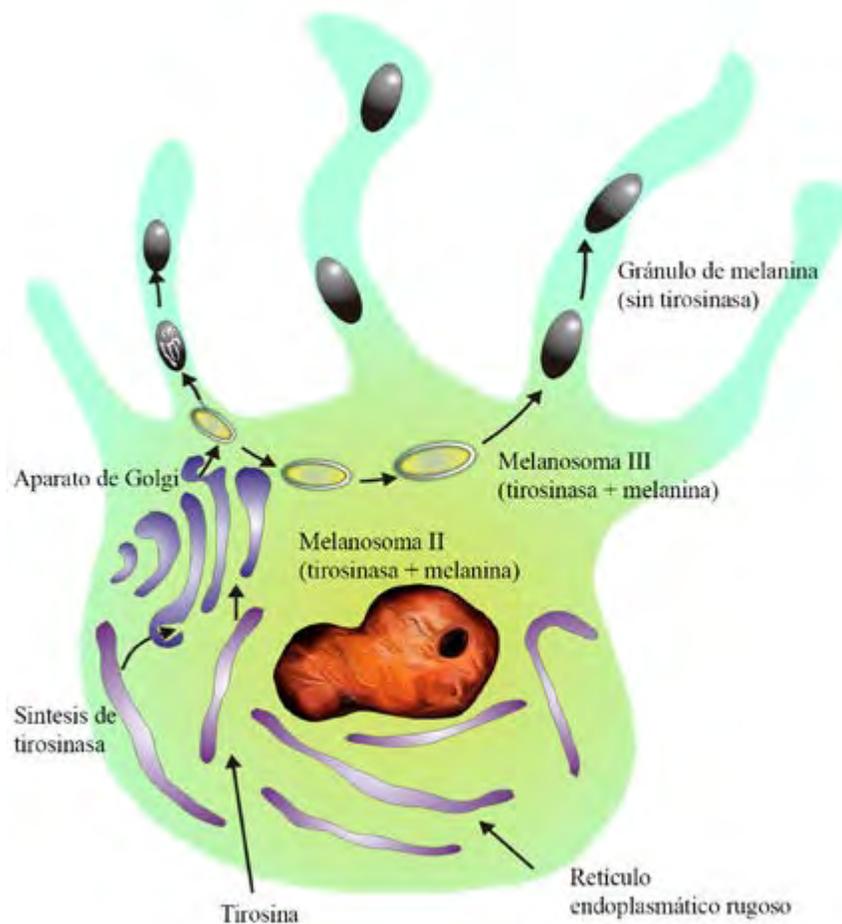


Fig. 9.9. Síntesis de melanina en el melanocito.

El albinismo de tipo 2 se debe a un defecto en el gen P, y los afectados tienen una pigmentación clara al nacer.

En la forma más severa, llamada albinismo oculocutáneo, las personas afectadas aparecen con cabello, piel y color del iris blanco o rosado y defectos en la visión. Este tipo de albinismo se hereda a través de un proceso recesivo autosómico.

El vitiligo es un trastorno adquirido que consiste en máculas despigmentadas que se agrandan y coalescen formando extensas áreas de leucoderma. De preferencia se afecta la piel de la cara, el dorso de las manos, las axilas, la ingle, el ombligo, los genitales, la rodilla y el codo. Alrededor de 25 % de los pacientes tienen un trastorno autoinmunitario. La hipótesis más aceptada para explicar la pérdida de melanocitos es la inmunitaria, según la cual se produce una citotoxicidad mediada por células y dependiente de anticuerpos. La leucoderma por acción de sustancias químicas también se debe a destrucción de melanocitos.

Faneras

Las faneras o anejos de la piel son los pelos, las uñas y las glándulas sudoríparas y sebáceas.

Pelos

El pelo propiamente dicho, es decir, el tallo visible al exterior y la raíz situada en el espesor de la dermis, está formado por células epiteliales queratinizadas. En el humano existen dos variedades de pelos: vellos y pelos

gruesos; estos últimos pueden estar intensamente pigmentados. El pelo grueso está constituido por 3 capas: médula, corteza y cutícula (Fig. 9.10).

Médula

Está formada por dos o tres capas de células cúbicas separadas por espacios de aire o líquido; estas células poseen queratina blanda. La médula está generalmente poco desarrollada en el humano.

Corteza

Es la capa más gruesa y posee queratina dura. Sus células contienen gránulos finos de pigmento que le dan el color, el cual es modificado por el aire que se acumula entre los espacios intercelulares.

Cutícula

Esta capa forma la cubierta superficial muy resistente del pelo. Está formada por células aplanadas escamosas de queratina dura que se cubren unas a otras como las tejas de un techo y muestran bordes libres dirigidos hacia el extremo del pelo.

Los vellos carecen de médula, la que puede faltar también en algunos pelos del cuero cabelludo, o estar presente solo en parte del tallo.

La mayoría del pigmento del pelo coloreado se encuentra en los espacios intercelulares y dentro de las células corticales. La pérdida del pigmento y el aumento de espacios aéreos entre las células, genera el pelo canoso.

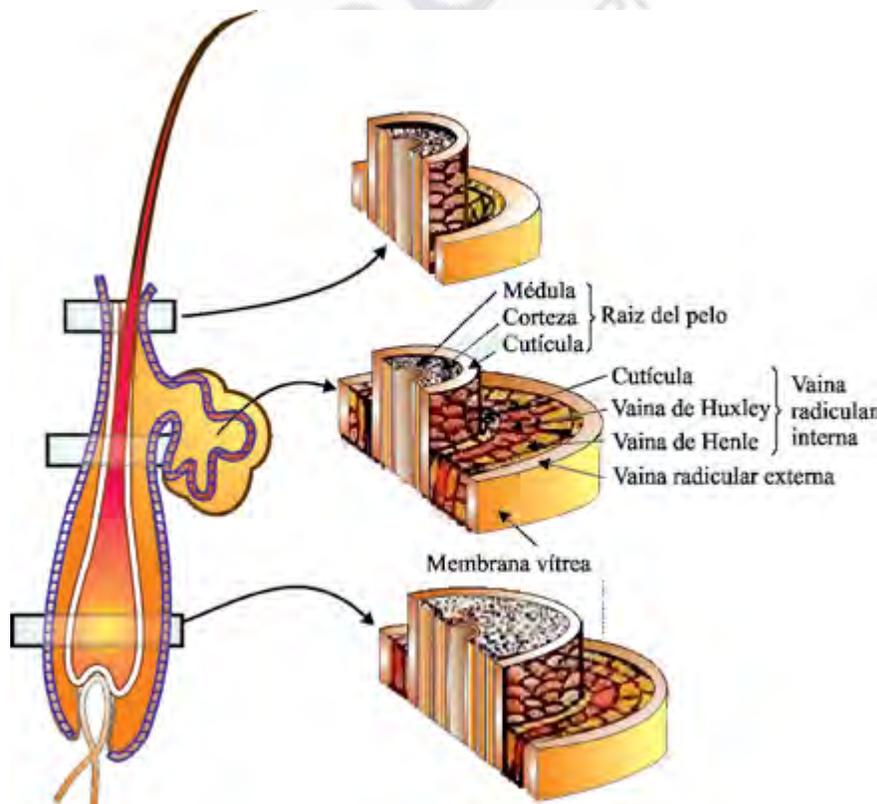


Fig. 9.10. Estructura del folículo piloso a distintos niveles.

Folículos pilosos

La raíz del pelo es la porción que se inserta en la piel, en el interior del folículo piloso. La región inferior del folículo se ensancha y forma el bulbo piloso, el cual se invagina en su extremo inferior mediante una proyección cónica de la dermis denominada papila pilosa; esta contiene los vasos sanguíneos que aportan los nutrientes a las células en crecimiento del bulbo piloso (Fig. 9.11).

Los folículos pilosos se localizan en la dermis, los más grandes pueden llegar hasta la hipodermis. Están constituidos por un componente epitelial interno y un componente conjuntivo externo. La parte epitelial deriva de la epidermis y está compuesta por una vaina epitelial interna y otra externa. La porción conjuntiva se forma a partir de la dermis.

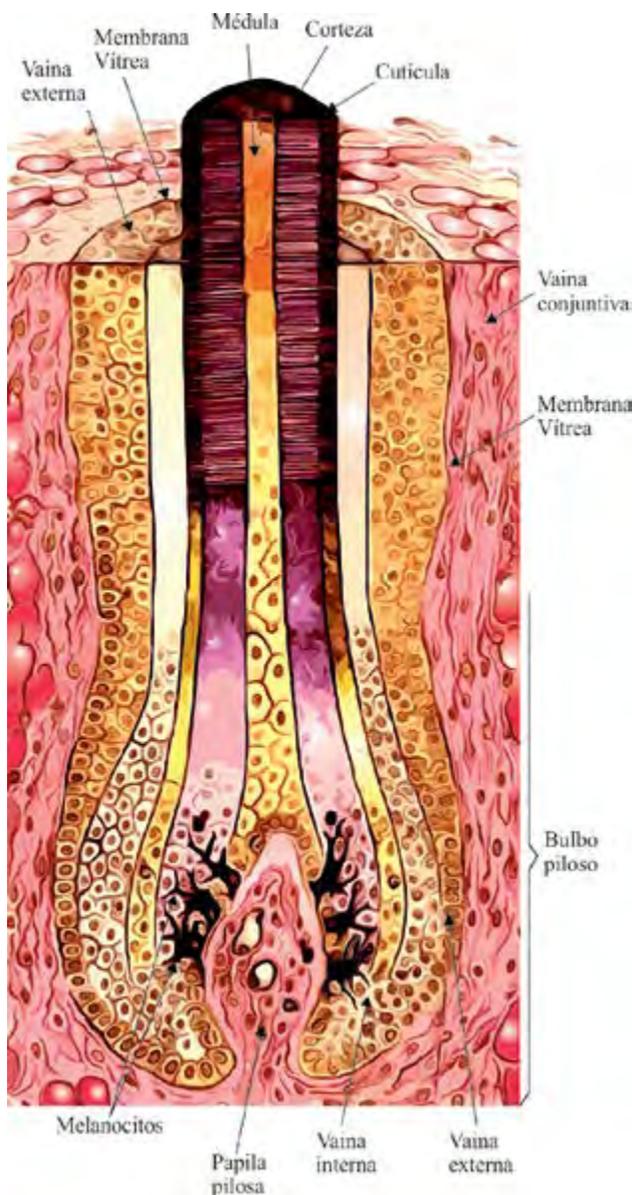


Fig. 9.11. Estructura histológica del folículo piloso.

La vaina epitelial interna se corresponde con las capas superficiales de la epidermis, las que se han especializado y dan origen a tres capas. La más interna, cutícula, donde los bordes libres se engranan con los bordes libres de la cutícula del pelo. Las células son escamosas y se cubren "en teja", de abajo hacia arriba.

Por la parte externa de la cutícula se presenta una capa de células aplanadas, denominadas capa de Huxley, células que contienen gránulos similares a los de queratohialina, aunque difieren químicamente de ellos; reciben el nombre de gránulos de tricohialina y se tiñen intensamente con la eosina.

La siguiente capa es la capa de Henle, formada por células aplanadas que contienen queratina.

La vaina epitelial externa es una continuación del estrato de Malpighi. Las células de la capa externa son cilíndricas y en su superficie se continúan con las células espinosas del estrato espinoso de la epidermis.

La porción conjuntiva del folículo piloso presenta tres capas: membrana vítrea, banda clara adyacente a las células cilíndricas de la vaina epitelial externa, es la membrana basal; capa media, tejido conjuntivo fino con fibras orientadas circularmente, y la capa más externa, poco desarrollada y con fibras elásticas y, colágenas, estas últimas dispuestas longitudinalmente.

La forma del folículo piloso determina la forma de los pelos, el pelo lacio de sección transversal circular se origina en los folículos cilíndricos, los cabellos ondulados en los folículos ovalados y los ensortijados, característicos de la raza negra, en folículos de sección transversal elíptica.

La actividad del folículo piloso atraviesa por tres etapas: anágena (de crecimiento), catágena (involución) y telógena (descanso). Normalmente, hasta 90 % de los folículos pilosos están en la etapa anágena, hasta 1 a 2 %, en la catágena, mientras que 10 a 14 % está en telógena. La duración de estos ciclos es diferente en las distintas regiones del cuerpo, a esto se debe la longitud total que alcanzan los pelos. El cabello crece más rápidamente en verano que en invierno y con más lentitud durante la noche que durante el día.

Un pequeño haz de fibras musculares lisas, el músculo erector del pelo, está fijado por un extremo a la capa papilar de la dermis y, por el otro, a la vaina de tejido conjuntivo del folículo piloso (Fig. 9.12).

Cuando el músculo se contrae por diversos estímulos (frío, miedo, etc.), mueve el pelo y lo coloca en su posición más vertical, deprimiendo al mismo tiempo la piel en la región de su inserción y, elevando la piel de la región inmediata al pelo. La piel se pone "carne de gallina", como se denomina comúnmente.

Glándulas sebáceas

Las glándulas sebáceas están situadas en la dermis: son alveolares ramificadas de tipo holocrino; se desarrollan embriológicamente en el cuarto mes de gestación, como una gemación epitelial del folículo piloso. Son responsables de la producción del sebo que lubrica la superficie del cabello y la piel vecina. Su secreción es de carácter continuo, con cierta predominancia durante la fase anágena del ciclo del folículo piloso. A mayor grosor del cabello, más glándulas sebáceas se encontrarán.

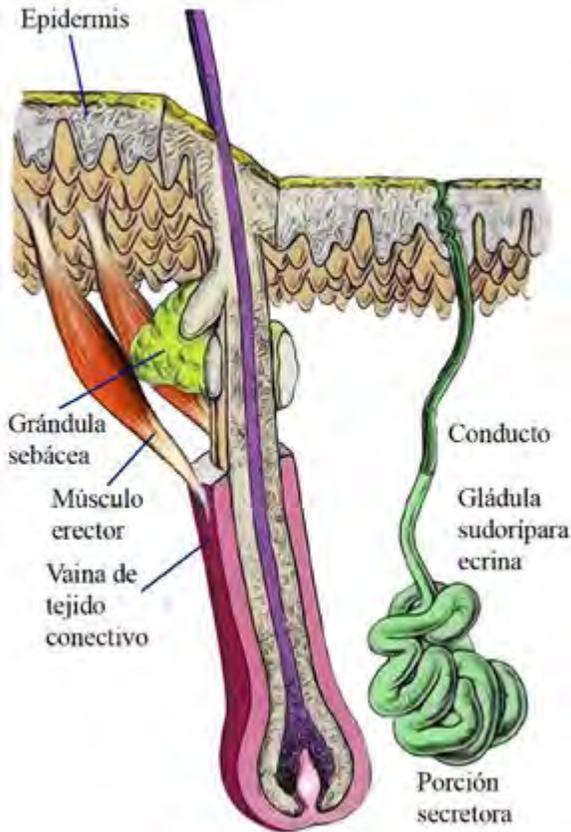


Fig. 9.12. Órgano pilosebáceo y glándula sudorípara.

Las glándulas sebáceas no existen en las palmas de las manos ni en las plantas de los pies, y son numerosas en la cara y el cuero cabelludo.

Generalmente, las glándulas sebáceas forman parte integral del folículo pilosebáceo y vacían su contenido en el canal folicular a través de un corto conducto, aunque en los labios, el glande y los labios menores no están asociadas con los pelos y vierten su secreción directamente en la superficie de la piel.

La actividad de las glándulas sebáceas es influida por las hormonas sexuales y sus células son productoras de lípidos: triglicéridos, ácidos grasos libres, colesterol y sus ésteres.

Las células más externas del acino glandular, las basales, se apoyan sobre la lámina basal, similar a las epidérmicas. Estas células germinativas de la glándula son pequeñas, aplanadas o cuboidales e intensamente basófilas. A medida que se desplazan hacia el centro del alveolo, las células se cargan de lípidos, aumentan de tamaño, sus núcleos se distorsionan y por último se desintegran; las células se rompen y forman el sebo, que es el producto lipídico de las glándulas (Fig. 9.13).

Al ME se diferencian tres tipos celulares: basales, que contienen abundante RER, ribosomas libres, glucógeno, mitocondrias y filamentos; parcialmente diferenciadas, con abundante REL y gotitas de lípidos envueltos por membrana; y diferenciadas, que muestran un núcleo de forma irregular y citoplasma ocupado por lípidos que comprimen restos o bridas citoplasmáticas.

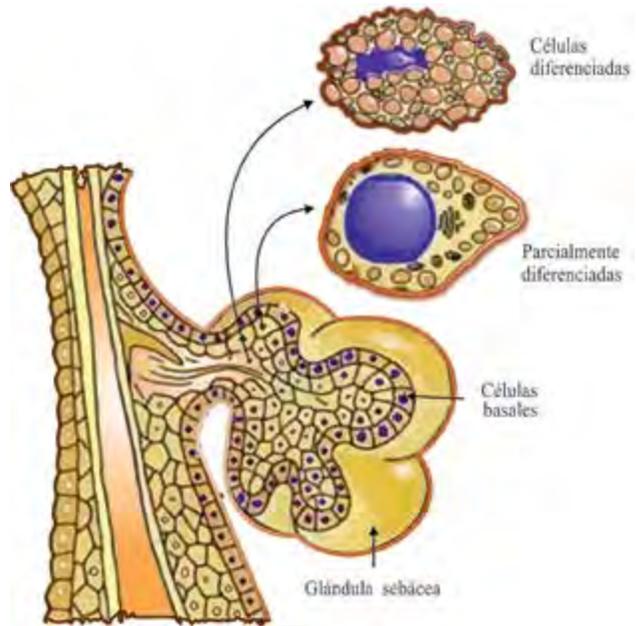


Fig. 9.13. Tipos de células de la glándula sebácea

Glándulas sudoríparas

Existen dos tipos de glándulas sudoríparas: las ecginas y las apocinas. Son glándulas tubulares simples arrolladas. Sus conductos son más estrechos que las porciones secretoras. Tanto el conducto como la porción secretora están rodeados por células mioepiteliales.

Están situadas en la hipodermis y se localizan en casi toda la piel, excepto en el borde libre de los labios y el tímpano. Las apocinas solo se localizan en las axilas, región perianal, en el pubis, la areola mamaria, el conducto auditivo externo (glándulas ceruminosas) y los párpados (glándulas de Moll). Son estimuladas por las hormonas sexuales y completan su desarrollo en la pubertad.

Estas glándulas son grandes, tubulares y se abren en la porción superior del folículo piloso, por encima de la desembocadura de las glándulas sebáceas. Sus porciones secretoras, más dilatadas que las ecginas, se localizan en la hipodermis y tienen un tipo único de células secretorias eosinófilas cuboidales o cilíndricas, con el núcleo redondeado y localizado hacia la base, y nucleolo prominente. Rodeando a las células secretoras existen células mioepiteliales.

Las glándulas sudoríparas apocinas producen un líquido viscoso que contiene cromógenos y glucoproteínas. Responden a estímulos tales como el miedo y el dolor; su secreción es inodora, pero se vuelve odorífera cuando son modificadas por la acción de las bacterias cutáneas.

Las glándulas sudoríparas ecginas son tubulares simples, su porción secretora, de luz estrecha, localizada comúnmente en la hipodermis, está enrollada sobre sí misma formando un ovillo, razón por la cual aparece cortada numerosas veces en las preparaciones histológicas. Se localizan tanto en la piel fina como en la gruesa,

donde son más abundantes y sus conductos se abren directamente en el poro sudoríparo en la superficie de las crestas mediante un conducto de trayecto en espiral. Faltan en la piel del borde libre de los labios, el glande, la superficie interna del prepucio y los labios menores. Son activas desde la infancia (Fig. 9.14).



Fig. 9.14. Glándula sudorípara ecrina.

El conducto presenta un epitelio cúbico estratificado, con dos capas. Las células de la capa más profunda presentan muchas mitocondrias e invaginaciones basales. La porción secretora se localiza en la dermis e hipodermis y tiene un epitelio simple cilíndrico. En esta porción existen tres tipos de células: en la periferia del túbulo, una capa de células mioepiteliales que se encuentran sobre una lámina basal (las células mioepiteliales son fusiformes y están dispuestas paralelamente al túbulo); células secretoras, que pueden ser oscuras de citoplasma basófilo o claras y apoyarse sobre las mioepiteliales o sobre la lámina basal; al ME las células oscuras presentan vacuolas llenas de material denso a los electrones que contienen mucina, y la superficie luminal posee microvellosidades; las células claras contienen abundantes mitocondrias, glucógeno y REL desarrollado; entre las células claras existen canaliculos que se abren a la luz del túbulo características típicas de las células transportadoras de iones y agua (Fig. 9.15).

El conducto excretor de las glándulas sudoríparas posee doble capa de células cúbicas y la membrana apical de las superficiales presenta un material acidófilo.

Estas glándulas segregan un litro de sudor al día en condiciones basales y pueden producir hasta diez litros en condiciones extremas. Su secreción contiene agua, sodio, potasio, cloruros, urea, amoníaco y ácido úrico. La concentración de sodio es más baja que la del plasma sanguíneo.

Las glándulas sudoríparas desempeñan funciones importantes en el metabolismo hidromineral, en la termorregulación por la evaporación del sudor y la humedad de la superficie cutánea.

Las apocrinas están inervadas por fibras adrenérgicas mientras las ecrinas por fibras colinérgicas.

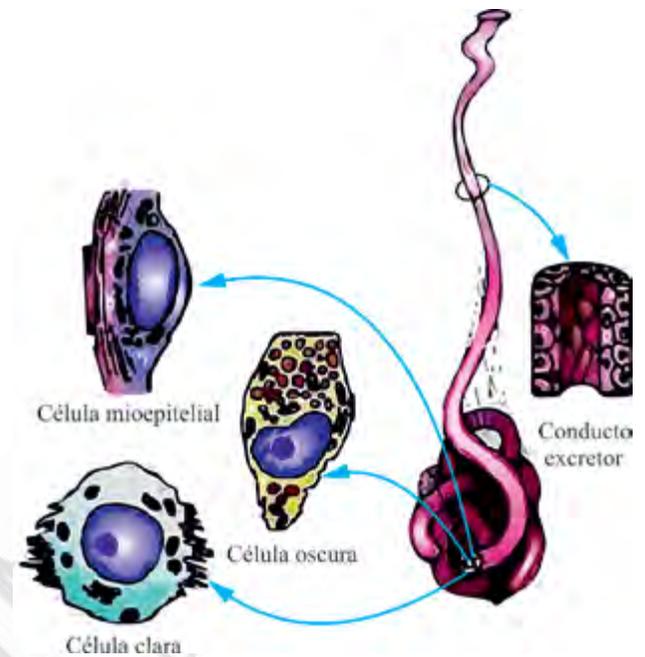


Fig. 9.15. Tipos celulares de una glándula sudorípara ecrina.

Uñas

Las uñas son placas córneas rectangulares unidas al lecho ungueal; son semitransparentes y muestran el color de los tejidos subyacentes ricos en vasos sanguíneos. Cerca del pliegue proximal se observa una zona blanquecina semicircular denominada lúnula, la cual no es más que la matriz que contiene células epiteliales empaquetadas desde donde crece la uña. En la base de la matriz las células más profundas son cilíndricas y por encima de ellas hay varias capas de células poliédricas. Ambos tipos celulares poseen grandes núcleos y su citoplasma contiene tonofibrillas. A medida que las células se aproximan a la superficie se hacen mayores y se aplanan; contienen más tonofibrillas, pero no poseen queratohialina. Las células córneas son planas (Fig. 9.16).

Al ME se observa una membrana basal entre la matriz y la dermis. Las células basales de la matriz son similares a las basales epidérmicas, son las células germinativas y, por tanto, son responsables del crecimiento continuo de las uñas. Las células poliédricas contienen masas proteicas fibrosas y amorfas denominadas queratina de la uña, con un alto contenido de azufre que explica su dureza y su alta estabilidad y su resistencia a agentes químicos.

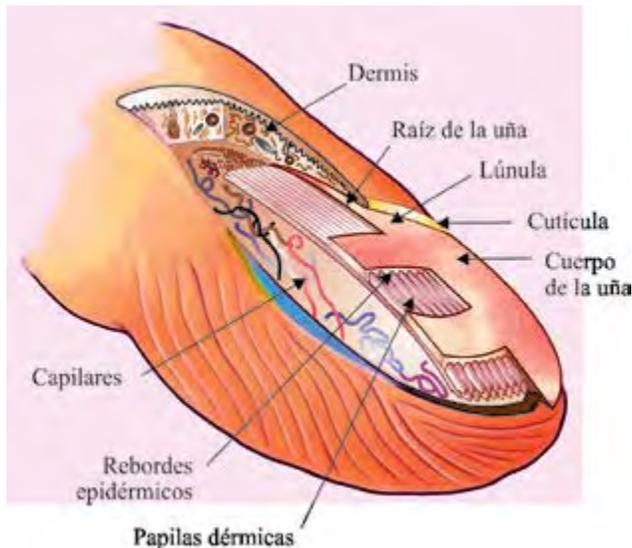


Fig. 9.16. Estructura histológica de una uña.

Mucosas

Se denomina mucosa a la capa interna que reviste todos los conductos y cavidades del cuerpo, pertenecientes a los aparatos digestivo, respiratorio y genitourinario y la conjuntiva ocular, que permanecen húmedas y que comunican con la superficie exterior del cuerpo.

Las mucosas están constituidas por una membrana epitelial superficial y una capa de tejido conectivo, más o menos laxo, con mayor o menor infiltración linfática, denominada lámina propia, y en el caso del tubo digestivo, también presenta una delgada capa de músculo liso nombrada muscular de la mucosa. Estas membranas permanecen bañadas por la secreción de sustancias en solución acuosa (enzimas, mucus, ácido clorhídrico, etc.) elaboradas por las células del epitelio superficial o por glándulas situadas en la lámina propia, en la capa submucosa o por fuera de la pared de estos órganos.

El tipo de epitelio superficial varía en los distintos aparatos de acuerdo con sus requerimientos funcionales, en las vías respiratorias predomina el epitelio pseudoestratificado cilíndrico ciliado con células caliciformes que desplaza hacia la faringe la película de moco que la cubre arrastrando las partículas extrañas captadas del aire inspirado, en el tubo digestivo prevalece el epitelio simple cilíndrico con funciones absorbentes y secretorias, en las vías excretoras urinarias el epitelio de transición con capacidades de distensión y resistencia a la hipertonicidad de la orina.

La falta de la cubierta protectora de queratina, solo presente en la mucosa masticatoria y en la mucosa especializada de la cara dorsal de la lengua, en las mucosas, es compensada por la película de moco presente en las vías respiratorias, tubo digestivo y aparato genital, el pH ácido en el estómago y por la secreción de lisozima e inmunoglobulina A secretora (IgA) en las vías digestivas, respiratorias y en la conjuntiva palpebral.

La IgA es elaborada en grandes cantidades por las células plasmáticas presentes en gran número en el tejido conectivo de la lámina propia y en el tejido intersticial de

las glándulas y al atravesar las membranas epiteliales y las unidades glandulares dos unidades de IgA forman un dímero por una proteína de unión (J) elaborada por estas células la convierte en un dímero y les incorpora una proteína secretoria que las hace más resistentes lo que les permite actuar en el interior de estos órganos.

En las membranas epiteliales de las mucosas existen unas células capaces de captar antígenos en sus membranas y presentarlos a los linfocitos, son denominadas células M por la forma que adoptan en su relación con linfocitos intraepiteliales. Son presentadoras de antígenos al igual que las células de Langerhans de la epidermis.

Tanto sobre la superficie de la piel como de muchas de las mucosas habitan múltiples gérmenes en simbiosis con el organismo, algunos no aportan beneficios ni provocan efectos perjudiciales estableciendo una relación de comensalismo, otros establecen una relación mutuamente ventajosa y en muchos casos evitan el desarrollo de gérmenes patógenos.

Origen embriológico de la piel

La piel tiene un doble origen: la epidermis, que proviene del ectodermo superficial; y la dermis, que se desarrolla a partir del mesénquima subyacente.

Epidermis

En un comienzo, el embrión está cubierto por una capa única de células ectodérmicas (Fig. 9.17 A). Al principio del segundo mes, este epitelio se divide y sobre la superficie se desarrolla una capa de células aplanadas nombrada peridermo o epitriquio (Fig. 9.17 B). Al continuar la proliferación de las células de la capa basal, se forma una tercera capa, la zona intermedia (Fig. 9.17 C). Por último, hacia el final del cuarto mes, la epidermis adquiere su organización definitiva y pueden distinguirse 4 capas:

1. La capa basal o germinativa, responsable de la producción de nuevas células. Esta capa forma posteriormente pliegues y hundimientos, que se traducen en la superficie de la piel en las huellas digitales.
2. Un estrato espinoso grueso constituido por células poliédricas voluminosas unidas entre sí por delgadas espinas.
3. El estrato granuloso, cuyas células contienen pequeños gránulos de queratohialina.
- 4 El estrato córneo, que constituye la superficie resistente y de aspecto escamoso de la epidermis, compuesto por células muertas y compactas, que poseen abundante queratina.

Las células del peridermo suelen desprenderse durante la segunda mitad de la vida intrauterina y pueden aparecer en el líquido amniótico.

Durante los primeros 3 meses de desarrollo, la epidermis es invadida por células originadas en la cresta neural. Estas células sintetizan un pigmento, la melanina, que puede ser transferido a otras células de la epidermis a través de las prolongaciones dendríticas (Fig. 9.17 D). Después del nacimiento, estos melanocitos producen la pigmentación de la piel.

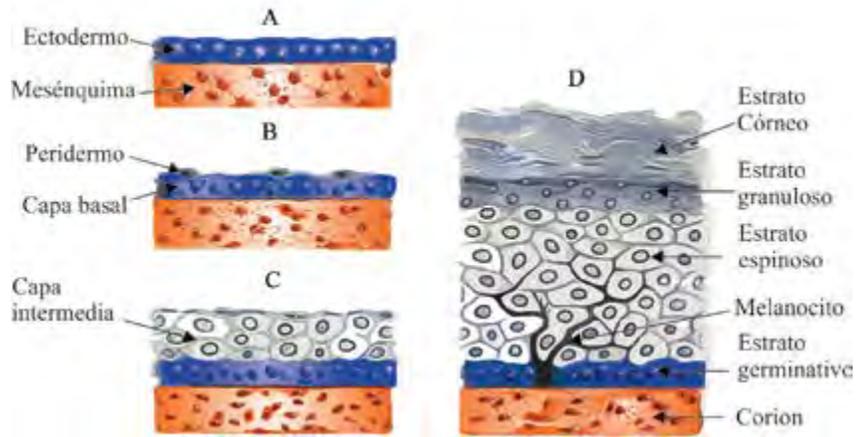


Fig. 9.17. Origen embriológico de las capas de la piel.

Implicaciones clínicas

La ictiosis, excesiva queratinización de la piel, es típica de un grupo de trastornos hereditarios, por lo general de carácter autosómico recesivo pero que pueden estar vinculados también con el cromosoma X. En los casos graves, la ictiosis confiere al niño un aspecto grotesco, como en el caso del feto arlequín.

Dermis

La dermis deriva de la lámina lateral del mesodermo (mesodermo lateral), de los dermatomos provenientes de los somitas y en el caso de la dermis de la cara y el cuello, de células provenientes de las crestas neurales craneales. Durante el tercero y el cuarto mes este tejido, el corion, origina numerosas estructuras papilares irregulares, las papilas dérmicas, las cuales se proyectan hacia la epidermis. La mayor parte de estas papilas suelen contener un capilar de pequeño calibre o un órgano nervioso sensitivo terminal. Por debajo de la dermis se desarrolla la hipodermis que contiene abundante tejido adiposo.

En el neonato la piel está cubierta por una sustancia blanquecina, llamada vérnix caseosa o unto sebáceo, formada por la secreción de las glándulas sebáceas y células epidérmicas muertas y pelos degenerados. Esta capa protege a la piel contra la maceración que produce el líquido amniótico.

Implicaciones clínicas

Huellas digitales

Los surcos epidérmicos que producen patrones característicos en la superficie de la yema de los dedos, la palmas de las manos y las plantas de los pies, están determinados genéticamente y constituyen la base de muchos estudios de genética humana y de investigaciones criminales (dermatoglifos). Las impresiones epidérmicas de la mano y de los dedos se utilizan como elementos para el diagnóstico en niños con anomalías cromosómicas.

Pelos

Los pelos aparecen en forma de proliferaciones epidérmicas macizas que se introducen en la dermis subyacente. En el extremo terminal los brotes pilosos se invaginan (Fig. 9.18 A). Estas invaginaciones, son ocupadas rápidamente por el mesodermo para formar las papilas pilosas en el cual se desarrollan los vasos y las terminaciones nerviosas (Fig. 9.18 B). Poco después, las células del centro de los brotes pilosos se tornan fusiformes y queratinizadas y constituyen el tallo del pelo, mientras que las células periféricas se tornan cúbicas y dan origen a la vaina radicular epitelial.

El mesénquima adyacente forma la vaina radicular dérmica. Por lo general, un pequeño músculo liso, también derivado del mesénquima, el músculo erector del pelo suele estar unido a esta vaina. La proliferación ininterrumpida de las células epiteliales en la base del tallo da origen al pelo y lo desplaza hacia arriba y hacia el final del tercer mes aparecen los primeros pelos en la superficie de la región de las cejas y el labio superior. Estos pelos, que constituyen el lanugo, se desprenden al aproximarse el momento del nacimiento y son remplazados más tarde por pelos más gruesos que se originan en los folículos pilosos neoformados.

La pared epitelial del folículo piloso muestra por lo general un pequeño brote que se introduce en el mesodermo circundante. Las células desde estos brotes forman las glándulas sebáceas. Esta glándula forma una sustancia grasosa que es secretada hacia el folículo piloso, desde el cual llega a la piel (Fig. 9.18 C).

Anomalías de la distribución del pelo

La hipertrichosis (exceso de pelo), se produce por el aumento inusual de los folículos pilosos. Pueden localizarse en determinadas áreas del cuerpo, especialmente la región lumbar baja cuando se encuentran sobre una espina bífida oculta o pueden cubrir la totalidad del cuerpo. La atriquia, o la falta congénita de pelo, suele estar relacionada con anomalías de otros derivados ectodérmicos, como los dientes y las uñas.

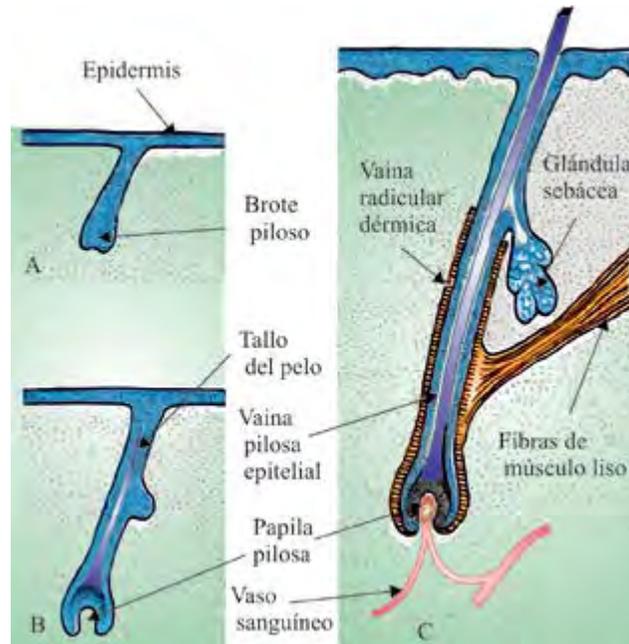


Fig. 9.18. Origen embriológico de los pelos.

Bibliografía

- CD del Proyecto Policlínico Universitario, 2004.
- Diccionario terminológico de ciencias médicas (1984). 11na. Ed. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
- Dovales, Caridad y Rossell Washington (1985): Consideraciones generales de la anatomía y del aparato locomotor del Dpto. de Anatomía del ISCM-H.
- Dovales, Caridad, Rossell Washington e Isabel Álvarez (2002): *Morfofisiología humana I*. Editorial Ciencias Médicas, La Habana.
- Folleto, guías de prácticas y manuales (2002): elaborados en los departamentos de anatomía para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Ganong, W. F. (1999): *Fisiología médica*. Editorial El Manual Moderno, México, 17ª Ed., cap 3 y 4, pp. 71-128.
- Gartner, L. P. y J. L. Hiatt (2002): *Histología texto y atlas*. McGraw-Hill. Interamericana, México D. F. 2da. Ed., pp. 285-300.
- Guyton, A. C. y J. E. Hall (1998): *Tratado de fisiología médica*. Ed. Interamericana McGraw-Hill, Nueva York; caps. 6, 7, 8; pp. 79-112.
- _____ (1999): *Tratado de fisiología médica*, Edición Revolución, La Habana, 9ª. Ed. (traducido).
- _____ : *Histología básica*, Masson S.A., Barcelona, España, 4ta. Ed. Piel y Anexos, pp. 339-35.
- Junqueira, L. C. y J. Carneiro (1996): *Piel y anexos*. *Histología básica*. 4ta. Ed. Masson S.A. Barcelona; pp. 339-35.
- Langman. *Embriología médica*. Editorial Médica Panamericana, México, 7ma. Ed.
- _____ : *Embriología médica*. Editorial Médica Panamericana, México, 7ma. Ed. Sistema tegumentario, pp. 346-351.
- _____ (2001): *Embriología médica*. 8va. Ed. Editorial Médica Panamericana, México.
- Prives (1999): *Anatomía humana*, tomo I. Editorial Mir, Moscú.
- Rouviere, H. (2002): *Anatomía descriptiva, topográfica y funcional*, tomo I.
- Sinelnikov, R. D.: *Atlas de anatomía humana*, tomo I.
- Tortora Grabowski: *Principios de anatomía y fisiología del músculo. Tejido muscular*. México, cap 10, pp. 273-293.
- Tresguerres, J. A. (1999): *Fisiología humana*. McGraw-Hill, Madrid, 2da. Ed., cap.1, pp. 3-16.

