

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE IDIOMAS EXTRANJEROS



TRABAJO DE INVESTIGACION:  
**TRADUCCION DEL INGLES AL ESPAÑOL DEL LIBRO “ESSENTIALS OF  
ANATOMY AND PHYSIOLOGY”**

PARA OPTAR AL GRADO DE:  
**MASTER EN TRADUCCION INGLES ESPAÑOL – ESPAÑOL INGLES**

PRESENTADO POR:  
**ASTRID LISSETTE CATIVO ALONZO CA98012**

ASESOR:  
**M.A. JOSE RICARDO GAMERO ORTIZ**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA, JULIO DE 2013.**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**  
RECTOR

**MTRA. ANA MARIA GLOWER DE ALVARADO**  
VICE RECTORA ACADEMICA

**EN PROCESO DE SER ELEGIDO**  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

**DRA. ANA LETICIA ZAVALETA DE AMAYA**  
SECRETARIA GENERAL

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

**LIC. JOSE RAYMUNDO CALDERON MORAN**  
DECANO

**MTRA. NORMA CECILIA BLANDON DE CASTRO**  
VICE DECANA

**LIC. ALFONSO MEJÍA ROSALES**  
SECRETARIO

AUTORIDADES DEL DEPARTAMENTO DE IDIOMAS EXTRANJEROS

**M.A. JOSE RICARDO GAMERO ORTIZ**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO

**M.A. NELDA MARIA YVETTE HENRIQUEZ PACAS**  
COORDINADORA DE MAESTRIA EN TRADUCCION

**M.A. JOSE RICARDO GAMERO ORTIZ**  
ASESOR

## Trastornos del Sistema óseo

### Alteraciones del crecimiento y desarrollo del sistema óseo

**Gigantismo** es una condición anormal que aumenta el tamaño, eso implica generalmente el crecimiento endocondral excesivo de los huesos largos. **Enanismo**, es la condición en la cual una persona es anormalmente pequeña, es el resultado del crecimiento inapropiado de las placas epifisarias. (Figura 6-A).

**Osteogénesis imperfecta**, es un grupo heterogéneo de enfermedades hereditarias que produce huesos frágiles los cuales se fracturan de forma fácil, debido a la falta de colágeno el cual sirve para formar huesos fuertes. Con frecuencia ocurren en el feto fracturas prematuras en las extremidades. Las fracturas por lo general terminan en un alineamiento pobre provocando que las extremidades aparezcan deformadas y mutiladas.

**Raquitismo**, es una condición que involucra el crecimiento retardado a consecuencia de deficiencia nutricional ya sea en minerales (calcio y fósforo necesarios para un proceso normal en la osificación o formación de los huesos) o en vitamina D (necesaria para la absorción del

calcio y el fósforo). Esta enfermedad provoca que los huesos sean blandos, débiles y fáciles de romper.

En la mayoría de los casos el raquitismo ocurre en los niños que obtienen una cantidad inadecuada de luz solar (necesaria para la vitamina D producida por el cuerpo) y aquellos quienes su alimentación es deficiente en vitamina D.

### Infecciones bacterianas

Osteomielitis es una inflamación del tejido óseo que suele ser el resultado de una infección bacteriana la cual puede conducir a la completa destrucción del tejido óseo.

Staphylococcus o staph es una infección bacteriana que se introduce al cuerpo a través de las heridas son la causa más común de osteomielitis. La tuberculosis es fundamentalmente una enfermedad de pulmón; sin embargo también puede afectar los huesos. En Estados Unidos la tuberculosis ha disminuido casi por completo debido a la pasteurización de la leche y otras mejoras en la higiene; no obstante la tuberculosis puede ser una grave complicación para los pacientes los pacientes que padecen de SIDA y

Debido a que ha surgido un tipo de tuberculosis resistente a la droga; por lo que esta enfermedad se ha convertido una vez más en un problema clínico en los Estados Unidos.

### Tumores

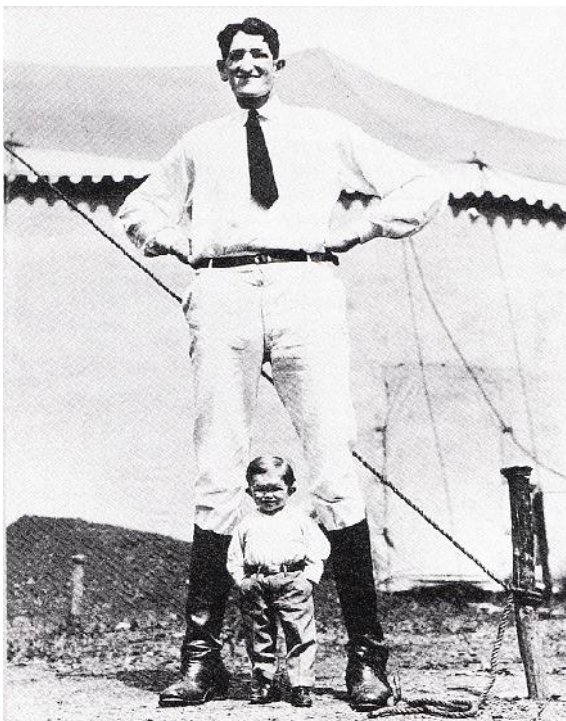
Existen muchos tipos de tumores óseos una gran cantidad de ellos resultan en defectos óseos. Los tumores pueden ser benignos o malignos. Los tumores óseos malignos pueden tener una metástasis hacia otras partes del cuerpo o provocar una metástasis de tumores en cualquier parte.

### Descalcificación

**Osteomalacia** o debilitamiento de los huesos es el resultado de la depleción de calcio en los huesos. Si el cuerpo posee una necesidad anormal de calcio (por ejemplo durante el embarazo cuando el feto se está desarrollando requiere grandes cantidades de calcio), puede ser extraído de los huesos de la madre, por lo que se ablandan y se debilitan.

Algunas veces la osteomalacia es llamada raquitismo del adulto debido a la deficiencia de vitamina D.

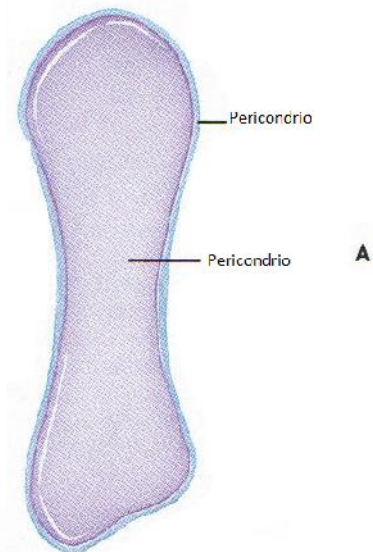
**Osteoporosis** o huesos porosos, es el resultado de la disminución del tejido óseo. La pérdida de masa ósea es más grande en los huesos esponjosos que en los huesos corticales. La enfermedad es 2.5 más común en mujeres que en hombres. La incidencia de osteoporosis aumenta con la edad. En las personas mayores de 40 años la producción normal la resorción ósea puede ser más lenta (extirpación ósea) a este paso la masa ósea total podría empeorar. La disminución de la masa ósea continúa a lo largo de la vida de las personas. Las mujeres finalmente pierden la mitad y los hombres pueden perder un cuarto del total de la masa de los huesos esponjosos. La osteoporosis puede ser un grave problema en las personas mayores ya que los huesos se fracturan fácilmente. La osteoporosis post menopáusica ocurre entre las mujeres de 50 a 65 años. Se cree que la disminución en el nivel de estrógeno como resultado de la menopausia es un factor en este tipo de osteoporosis



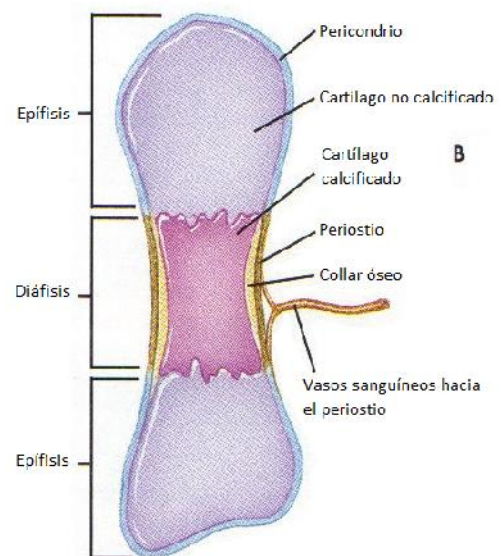
El cual posee la figura de un hueso maduro (figura 6-6, A) durante la osificación endocondral aumenta el número de las células del cartílago, se hipertrofia (extiende) y muere. La matriz del cartílago y se calcifica. Como este proceso se realiza en el centro de los huesos que se formaran, los vasos sanguíneos se acumulan en la porción superior. La presencia de los vasos sanguíneos en la superficie exterior de los huesos que se formaran provocando una conectividad indeterminada en el tejido celular de la superficie convirtiéndose en osteoblastos. Luego, los osteoblastos producen un collar de hueso en derredor de la superficie exterior de la diáfisis (6-6, B). Los vasos sanguíneos también invaden el centro de la diáfisis, estimulando la osificación que se realiza. La parte central de la diáfisis, adonde aparecen los primeros huesos, se llama **centro de osificación primario**. Los osteoblastos invaden los espacios en el centro del sistema óseo izquierdo a través de la muerte de las células cartilaginosa, parte de la matriz cartilaginosa calcificada es removida por las células denominadas **osteoclastos**, (células cancerosas *bone-eating cells*) los osteoblastos se alinean con el resto de la matriz calcificada y comienzan a formarse las laminillas circunferenciales del hueso. Mientras los huesos de desarrollan se forma una cavidad medular en el centro de la diáfisis como osteoclastos removiendo huesos y cartílagos calcificados, los cuales son reemplazados por la medula ósea. (Figura 6-6, C y D). Posteriormente se forman centros de osificación secundarios en la epífisis (figura 6-6, E y F)

### Crecimiento óseo

El crecimiento óseo puede ocurrir por crecimiento oposicional o endocondral. **El crecimiento aposicional** resulta mientras los osteoblastos depositan la matriz ósea sobre la superficie ósea entre el periostio y los huesos ya existentes. A consecuencia del nuevo hueso sobre la superficie, el diámetro del hueso aumenta. **Crecimiento endocondral** ocurre en las placas de crecimiento (figura 6-7) Las células cartilagosas llamadas condrocitos aumenta la cantidad dentro de la zona de proliferación de las placas epifisarias; alineándose en columnas paralelas a lo largo del eje de los huesos, produciendo alargamiento de los huesos, después hipertrofia y la destrucción. La matriz del cartílago se calcifica. Gran cantidad de cartílago que se forma alrededor de las células hipertrofiadas es removido por los osteoclastos y los condrocitos muertos son reemplazados por los osteoblastos. Los osteoblastos comienzan a formar los huesos depositando las laminillas circunferenciales del hueso sobre la superficie del cartílago calcificado. El crecimiento endocondral se encarga del alargamiento de los huesos, el cual es el principal responsable del aumento de estatura de un individuo.



**B** El cartílago calcificado se forma así como los condrocitos hipertrofiados, muertos y la matriz cartilaginosa de mineraliza. El periostio se desarrolla alrededor del hueso y los osteoblastos comienzan a producir un collar de huesos en la diáfisis.



### PRONOSTICO

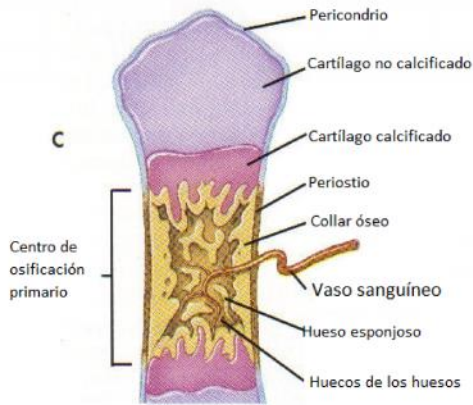


¿Cuál sería la apariencia de una persona adulta si el crecimiento endocondral no ocurriera en los huesos largos durante la niñez?

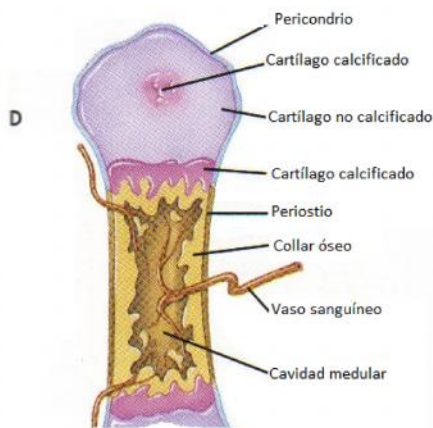


**Figura 6-6 Osificación endocondral – cont-d**

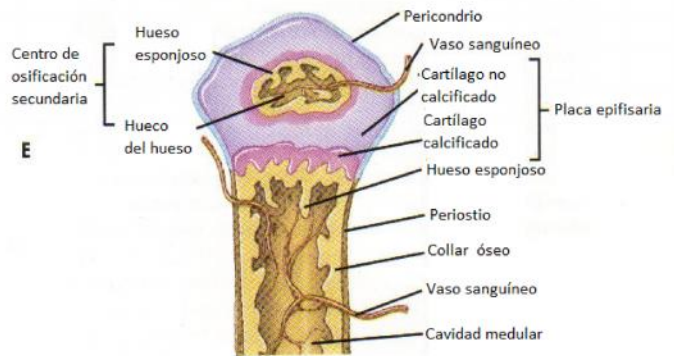
**C** El centro de la osificación primaria se forma a medida que los vasos sanguíneos y los osteoblastos invaden la diáfisis. La porción media de la diáfisis en es hueso con la cavidad medular en el centro y al final de la diáfisis se encuentra el cartilago calcificado.



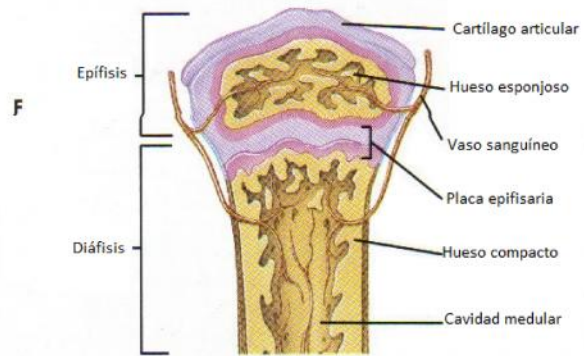
**D** Los huecos en la diáfisis se extienden para formar la cavidad medular. El área de cartilago calcificado se forma en el centro de la epifisis.



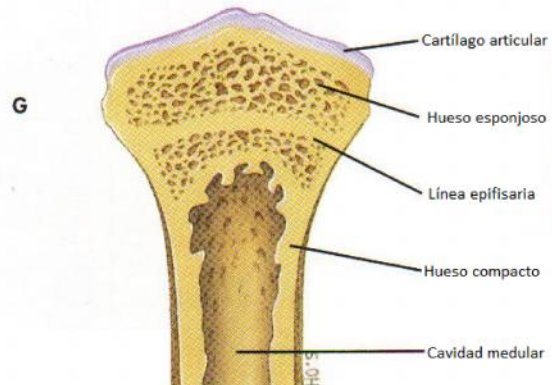
**E** Los centros de osificación secundarias se comienzan a formar en el epifisis mientras los vasos sanguíneos entran en esas áreas de los huesos. Al final de cada diáfisis se forma una capa epifisaria o capa de crecimiento.



**F** El centro de osificación secundaria se extiende. Parte del cartilago de la epifisis se transforma en cartilago articular.



**G** Hueso maduro. El cartilago del modelo original es sustituido por huesos; las placas epifisaria se transforman en líneas epifisaria y el cartilago articular lo que continúa sobre la superficie articular al final de hueso.



## Remodelación ósea

La remodelación ósea involucra de los huesos antiguos por osteoclastos y la sustitución de huesos nuevos por osteoblastos. La remodelación ósea ocurre en todo el sistema óseo y se encarga del crecimiento óseo, cambios en la figura ósea, ajustes en la tensión ósea, reparación ósea y de la regulación de los iones de calcio en el fluido del cuerpo. Mientras un hueso largo aumenta su longitud y su diámetro a través de crecimiento aposicional o endocondral, el hueso nuevo se agrega a la superficie exterior y el hueso se elimina del interior de la superficie medular. Por consecuencia mientras el diámetro del hueso aumenta, el grosor del hueso compacto alrededor de la cavidad medular se inclina a continuar constantemente de forma moderada. Además si la cavidad medular no aumenta a medida que aumenta el tamaño del hueso, se vuelve muy pesado.

El hueso el principal almacén de calcio del cuerpo. Los niveles de calcio en la sangre deben de mantenerse dentro de los límites para las funciones tales como la contracción muscular y para que la conducción de las acciones ocurra de forma normal. El calcio de elimina de los huesos al disminuir el nivel en la sangre y se sustituye con una alimentación de calcio adecuada. La eliminación y sustitución tiene lugar bajo un control hormonal. (Véase Capítulo 10) Si los huesos se sedimentan demasiado se

vuelven gruesos, produciendo espolón o masas anormales que pueden interferir con el funcionamiento normal. La falta de formación de los huesos o la eliminación los debilitan y los hace susceptibles a fracturas.

## Reparación ósea

Al quebrarse un hueso los vasos sanguíneos también se dañan. Los vasos sangran produciendo un coágulo en el área dañada (Figura 6-8, A). De dos a tres días después de la lesión, los vasos sanguíneos y las células adyacentes al tejido comienzan a invadir el coágulo. Algunas de estas redes producen una red fibrosa entre los huesos quebrados la cual sostiene los fragmentos. Otras células producen cartílago en la red fibrosa. El área reparada entre los dos huesos fragmentados se conoce como **callo**. (Figura 6-8, C)

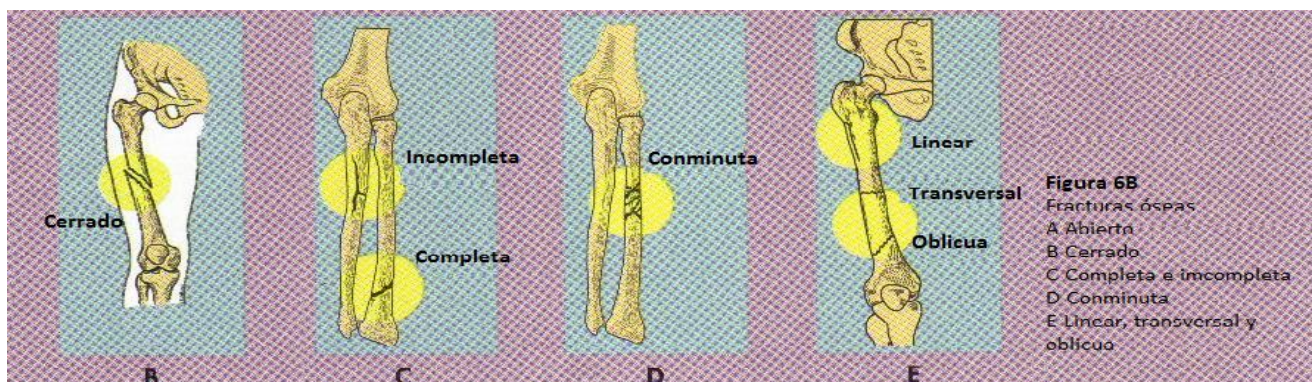
Los osteoblastos penetran los callos y comienza la formación de un hueso esponjoso (Figura 6-8, C). La formación del hueso esponjoso en el callo por lo general toma de 4 a 6 semanas. La inmovilización del hueso es crucial hasta el momento, porque el movimiento puede fracturar la nueva matriz. Posteriormente, el hueso esponjoso se remodela lentamente para formar un hueso compacto y esponjoso, logrando una reparación completa. (Figura 6-8, D). La cicatrización completa de la fractura puede necesitar varias semanas o incluso meses. Por lo general si la cicatrización se realiza adecuadamente, esta área es incluso más fuerte que los huesos cercanos.

## Fracturas óseas

Fracturas óseas (Figura 6-B) pueden clasificarse como **abiertas** o **compuestas**, si el hueso sobresale a través de la piel y **cerrado** o **simple** si no la perfora. Cuando la fractura separa por completo a los dos fragmentos, se le denomina **completa**; de lo contrario recibe el

nombre de **incompleta**. Una fractura incompleta que ocurre en el lado convexo de la curva del hueso se le llama **fractura del tallo verde**. La **fractura conminuta** es cuando el hueso se quiebra en más de dos fragmentos. Las fracturas también se clasifican de acuerdo a la dirección la

fractura en línea como **linear** (paralelo a lo largo del eje), **transversal** (al ángulo derecho a lo largo del eje) u **oblicua** (en un ángulo distinto al ángulo recto a lo largo del eje).





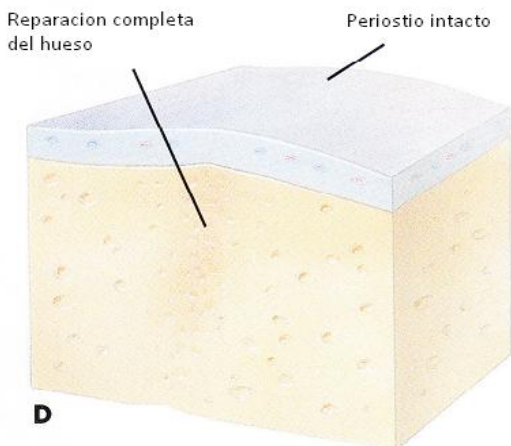
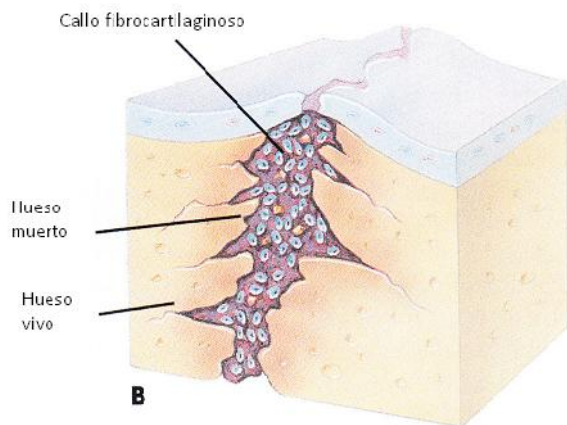
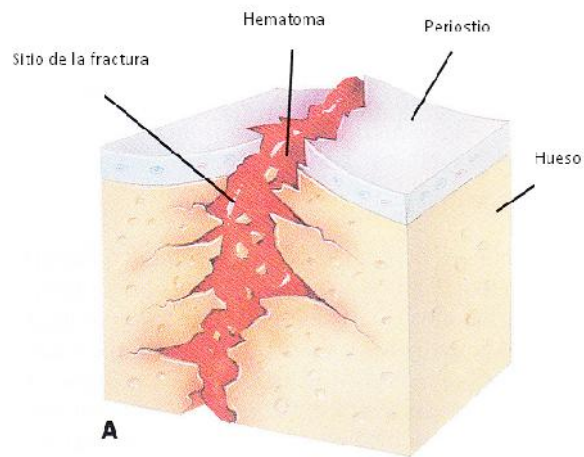


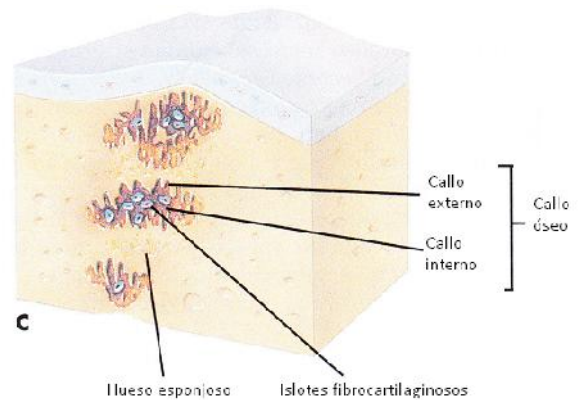
FIGURA 6-8 Reparación ósea

A Al quebrarse un hueso se forma un coágulo en el área dañada.

B Los vasos sanguíneos y las células invaden el coágulo produciendo una red fibrosa entre los huesos quebrados, llamada callo.

C Los osteoblastos penetran el callo y comienzan a formar el hueso esponjoso.

D El hueso esponjoso se remodela lentamente hasta formar un hueso compacto y esponjoso, logrando una reparación completa.



### ¿SABIA USTED?

Aunque la inmovilización es crucial para las primeras etapas de la cicatrización, la inmovilización total no es buena para los músculos y las articulaciones o incluso para el mismo hueso. No hace mucho tiempo, era una práctica muy común inmovilizar el hueso por completo a lo largo de 10 semanas. Ahora se sabe que al inmovilizar un hueso por un periodo tan corto como 2 semanas, los músculos asociados a él pueden perder casi la mitad de su fuerza.

Además, al inmovilizar un hueso por completo, no está sometido a las tensiones mecánicas normales que le ayudan a formarse. La matriz ósea se reabsorbe y la fuerza del hueso disminuye. En animales de experimentación la inmovilización total de la espalda durante 1 mes dio lugar a hasta tres veces la disminución de la fortaleza de la compresión vertebral. La terapia moderna intenta equilibrar la inmovilización del hueso con suficiente ejercicio para minimizar la atrofia muscular y ósea y para mantener la movilidad de la articulación.

## CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ANATOMIA ÓSEA

En el esqueleto promedio de un adulto se enumeran tradicionalmente 206 huesos. (Cuadro 6-1 y Figura 6-9), aunque el número real varía de persona a persona y disminuye con la edad ya que algunos huesos se fusionan.

Se utilizan muchos términos comunes para describir las características de los huesos (Cuadro 6-2). Por ejemplo, un orificio en un hueso recibe el nombre de **foramen**. Por lo general, un foramen existe en un hueso debido a que

alguna estructura como un nervio o vaso sanguíneo pasa a través del hueso en ese punto. Si el orificio se alarga en un pasaje en forma de túnel a través del hueso, se denomina **canal** o **meato**. Una depresión en un hueso recibe el nombre de **fosa**. Una protuberancia en un hueso recibe el nombre de **tubérculo** o **tuberosidad**, y una proyección de un hueso recibe el nombre de **proceso**. La mayoría de tubérculos y procesos son sitios de sujeción muscular en el hueso. El aumento de la tensión muscular, como cuando una persona levanta pesos para construir masa

Cuadro 6-1

### Número de huesos enumerados por categoría

HUESOS	NÚMERO	HUESOS	NÚMERO
<b>ESQUELETO AXIAL</b>		<b>ESQUELETO APENDICULAR</b>	
<b>CRÁNEO</b>		<b>CINTURA ESCAPULAR</b>	
Bóveda craneal	Parietal 2	Escápula	2
Huesos pares	Temporal 2	Clavícula	2
Huesos impares	Frontal 1	<b>EXTREMIDAD SUPERIOR</b>	
	Occipital 1	Húmero	2
	Esfenoide 1	Ulna	2
	Etmoides 1	Radio	2
Rostro	Maxilares 2	Carpo ó huesos carpianos	16
Huesos pares	Cigomático 2	Metacarpos	10
	Palatino 2	Falanges	28
	Nasales 2	<b>TOTAL DE HUESOS DE LA CINTURA ESCAPULAR Y LA EXTREMIDAD SUPERIOR</b>	<b>64</b>
	Lagrímiales 2	<b>FAJA PELVICA</b>	
	Concha nasal inferior 2	Coxal	2
Huesos impares	Mandíbula 1	<b>EXTREMIDAD INFERIOR</b>	
	Vómer 1	Fémur	2
Cadena osicular	Martillo ó malleus 2	Tibia	2
	Yunque 2	Fíbula	2
	Estribo 2	Patela ó rotula	2
	<b>Total de huesos craneales</b> 28	Tarso	14
<b>HIOIDES</b>		Metatarsianos	10
<b>COLUMNA VERTEBRAL</b>		falanges	28
Vértebra cervical	7	<b>TOTAL DE HUESOS DE LA FAJA PÉLVICA Y DE LA EXTREMIDAD INFERIOR</b>	<b>62</b>
Vértebra torácica	12	<b>TOTAL DE HUESOS DEL ESQUELETO APENDICULAR</b>	<b>126</b>
Vértebra lumbar	5	<b>TOTAL DE HUESOS</b>	<b>206</b>
Sacro	1		
Cóccix	1		
<b>Total de huesos de la Columna vertebral</b>	<b>26</b>		
<b>CAJA TORÁCICA</b>			
Costillas	24		
Esternón (3 partes, consideradas algunas veces 3 huesos)	1		
<b>TOTAL DE HUESOS EN LA CAJA TORÁCICA</b>	<b>25</b>		
<b>TOTAL DE HUESOS DEL ESQUELETO AXIAL</b>	<b>80</b>		

**FIGURA 6-9**

(El esqueleto no está en posición anatómica)

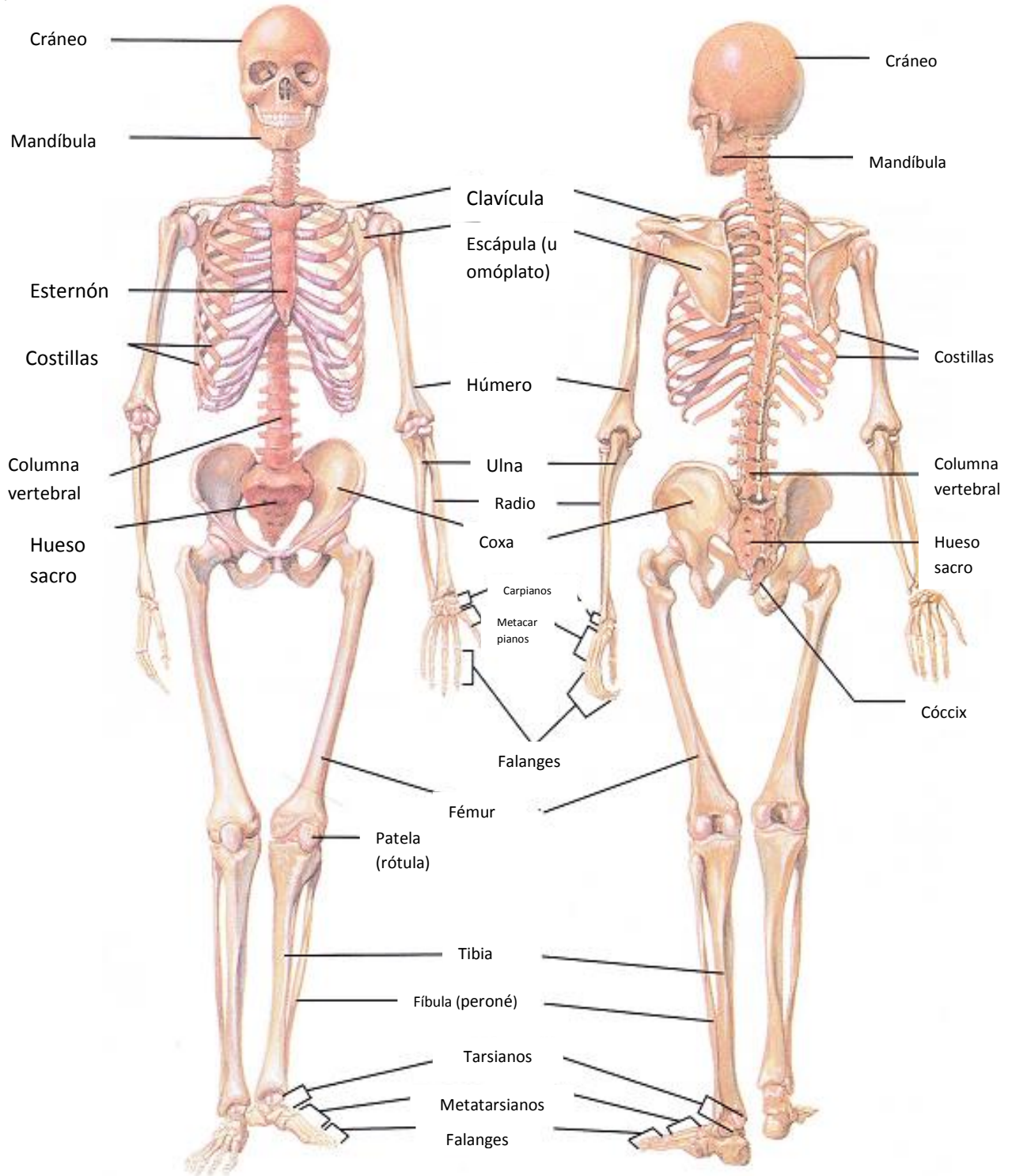
**A** Vista anterior

**B** Vista posterior

**Esqueleto Apendicular**

**El esqueleto axial**

El esqueleto axial



## CUADRO 6-2

### Terminología de anatomía general para varias características de los huesos

Termino	Descripción
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>	
Cuerpo	Parte principal
Cabeza	Alargamiento (frecuentemente redondo) extremo
Cuello	Área restringida entre la cabeza y el cuerpo
Cóndilo	Superficie articular suave y redonda
Faceta	Pequeña superficie articular plana
Cresta	Cresta prominente
Proceso	Proyección destacada
Tuberosidad o tubérculo	Protuberancia o ampliación
Trocánter	Gran tuberosidad que se encuentra solo en la proximidad del fémur.
Epicóndilo	Ampliación cerca o sobre el cóndilo.
<b>ABERTURAS O DEPRESIONES</b>	
Foramen	Cavidad
Canal, meato	Túnel
Fisura	Hendidura
Seno	Cavidad
Fosa	Depresión

muscular, puede aumentar el tamaño de algunos tubérculos. El extremo liso y redondeado de un hueso, donde se forman las articulaciones con otros huesos, se le llama **cóndilo**.

#### ESQUELETO AXIAL

El esqueleto axial se divide en cráneo, columna vertebral y caja torácica.

#### EL CRÁNEO

Los huesos del cráneo (ver Tabla 6-1) se dividen en dos grupos: los de la bóveda craneal y los faciales. La **bóveda craneal**, o **caja craneal**, consta de 8 huesos que rodean y protegen al cerebro; los 14 **huesos faciales** forman la estructura del rostro. Trece de los huesos faciales están firmemente conectados para formar la mayor parte del rostro. La mandíbula, el décimo cuarto hueso, forma una articulación que se mueve libremente con resto del cráneo. También hay tres cadenas osiculares en cada oído medio (6 en total) para hacer un total de 28 huesos en el cráneo.

El **hueso hioides**, no forma parte del cráneo, pero está adherido al cráneo y laringe mediante músculos y ligamentos. Sirve como punto de acoplamiento para muchos músculos importantes del cuello y la lengua (Figura 7-14)

Muchos estudiantes de anatomía nunca ven los huesos separados e individuales del cráneo. Aunque si lo hacen, podría tener más sentido desde una perspectiva funcional y clínica estudiar la mayoría de los huesos. El término parietal y temporal se refiere al tiempo;

como aparecen juntos en el cráneo intacto. Muchas de las características anatómicas del cráneo no se pueden apreciar completamente al examinar los huesos por separado. Por ejemplo, varias crestas atraviesan más de un hueso y varias foraminas se encuentran entre los huesos más que dentro de un solo hueso. Por estas razones es más importante pensar en el cráneo, con la excepción de la mandíbula, como una unidad. Por lo que las principales características del cráneo intacto se describen abajo desde cuatro puntos de vista.

#### Vista Lateral

Los huesos **parietal** y **temporal** (el termino se refiere al tiempo; los cabellos de las sienes se vuelven blancos indicando el paso del tiempo) forman gran parte del lado de la cabeza (Figura 6-10). Estos dos huesos se unen el uno al otro del lado de la cabeza en la **sutura escamosa**. Una sutura es una articulación que une a los huesos del cráneo. Anteriormente el hueso parietal se une con el hueso **frontal** (frente) a través de la **sutura coronal** y por detrás está unido al **hueso occipital** (detrás de la cabeza) por la **sutura lambdoidea** (con forma de la letra griega lambda  $\lambda$ ). Una característica prominente del hueso temporal es una gran abertura llamada, **meato acústico externo**, un canal que permite a las ondas de sonido alcanzar el tímpano. El **proceso mastoideo** (se asemeja a un seno) del hueso temporal puede verse y sentirse como un bulto prominente detrás del oído. Músculos importantes del cuello que participan en la rotación de la cabeza se adhieren al proceso mastoideo

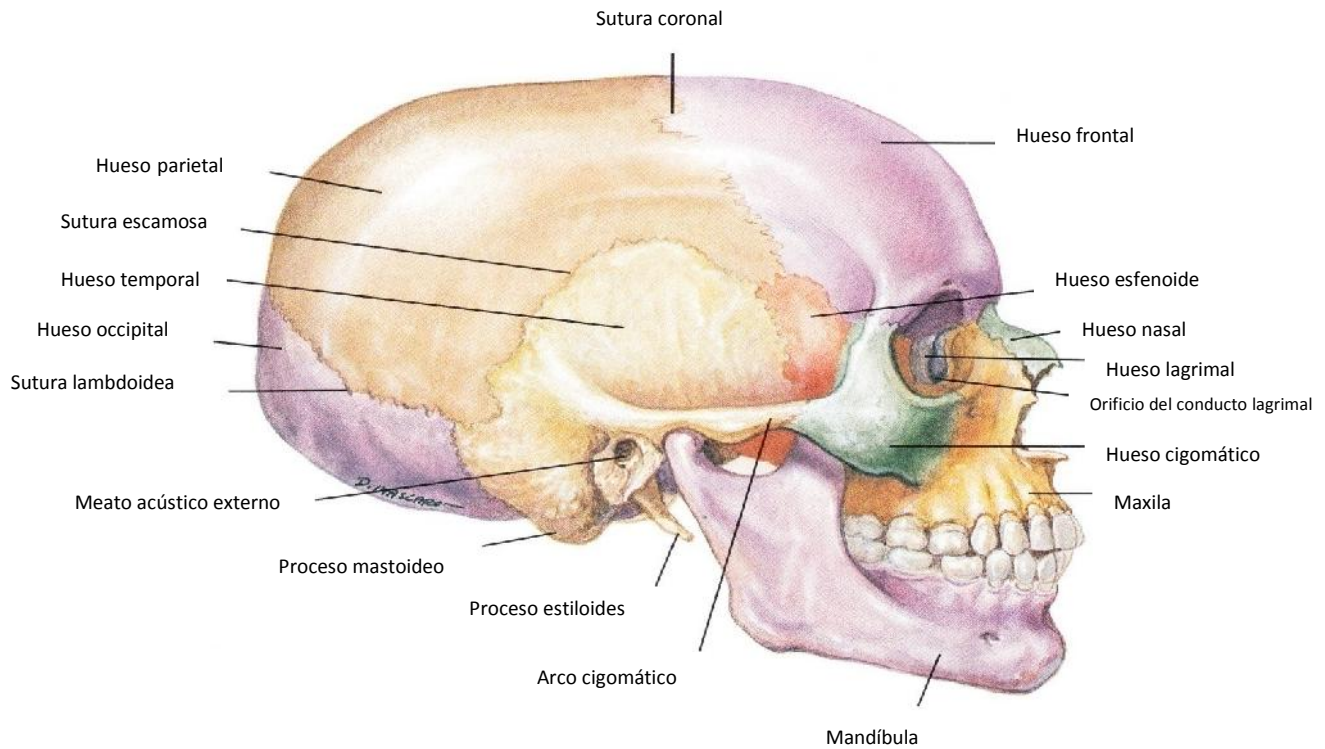
Parte del hueso **esfenoidal** puede verse inmediatamente adelante del hueso temporal. Aunque parecen ser dos pequeños huesos emparejados en ambos lados del cráneo, el hueso esfenoidal es en realidad es un solo hueso que se extiende completamente a través del cráneo. Se asemeja a una mariposa con su cuerpo en el centro del cráneo y sus alas extendidas hacia los lados del cráneo. Delante del hueso esfenoidal está el hueso **cigomático** o hueso malar, el cual se percibe fácilmente. El **arco cigomático** que consiste de procesos unidos de los huesos temporal y cigomático, forman un puente de un lado a otro del rostro.

La **maxila** forma el maxilar superior y la **mandíbula** forma el maxilar inferior.



**Figura 6-10 Vista lateral del cráneo**

Vista del lado derecho



La maxila se articula por suturas al hueso temporal. La maxila contiene el conjunto superior de dientes y la mandíbula contiene los dientes inferiores.

### Vista frontal

Las estructuras principales observadas en la vista frontal son el hueso frontal, los huesos cigomáticos, el maxilar y la mandíbula (Figura 6-11 A). Los dientes son muy prominentes en esta vista. Muchos huesos faciales se pueden sentir fácilmente a través de la piel (Figura 6-11, B).

Desde esta vista se aprecian las aberturas más importantes dentro del cráneo que son las **órbitas** (cuencas de los ojos) y la **cavidad nasal**. Las órbitas son fosas en forma de conos, llamadas así por la rotación de los ojos dentro de ellas. Los huesos de las órbitas proporcionan tanto protección para los ojos como puntos de adhesión para que los músculos que mueven los ojos. La órbita es un buen ejemplo del porqué es muy valioso estudiar el cráneo como una sola estructura. No menos de siete huesos juntos forman la órbita y, en su mayor parte, la contribución de cada hueso a la

Órbita no puede ser apreciada cuando se examinan los huesos de forma individual.

Cada órbita (ver Figura 6-11, A) posee varias aberturas a través de las cuales las estructuras se comunican con otras cavidades. Las fisuras más grandes son las **órbitas superior e inferior**. Estas proporcionan aberturas a través de las cuales los nervios y los vasos sanguíneos se comunican con la órbita o atraviesan el rostro. El nervio óptico para el sentido de la vista, pasa desde el ojo a través del **foramen óptico** y entra a la bóveda craneal. El **canal naso lagrimal** (ver Figura 6-10) pasa desde la órbita a través de la **cavidad nasal**. Contiene un canal que lleva las lágrimas de los ojos hacia la cavidad nasal. Un pequeño hueso **lagrimal** puede verse justo arriba de la abertura de este canal. (Ver Figura 6-10)

### PREDICE

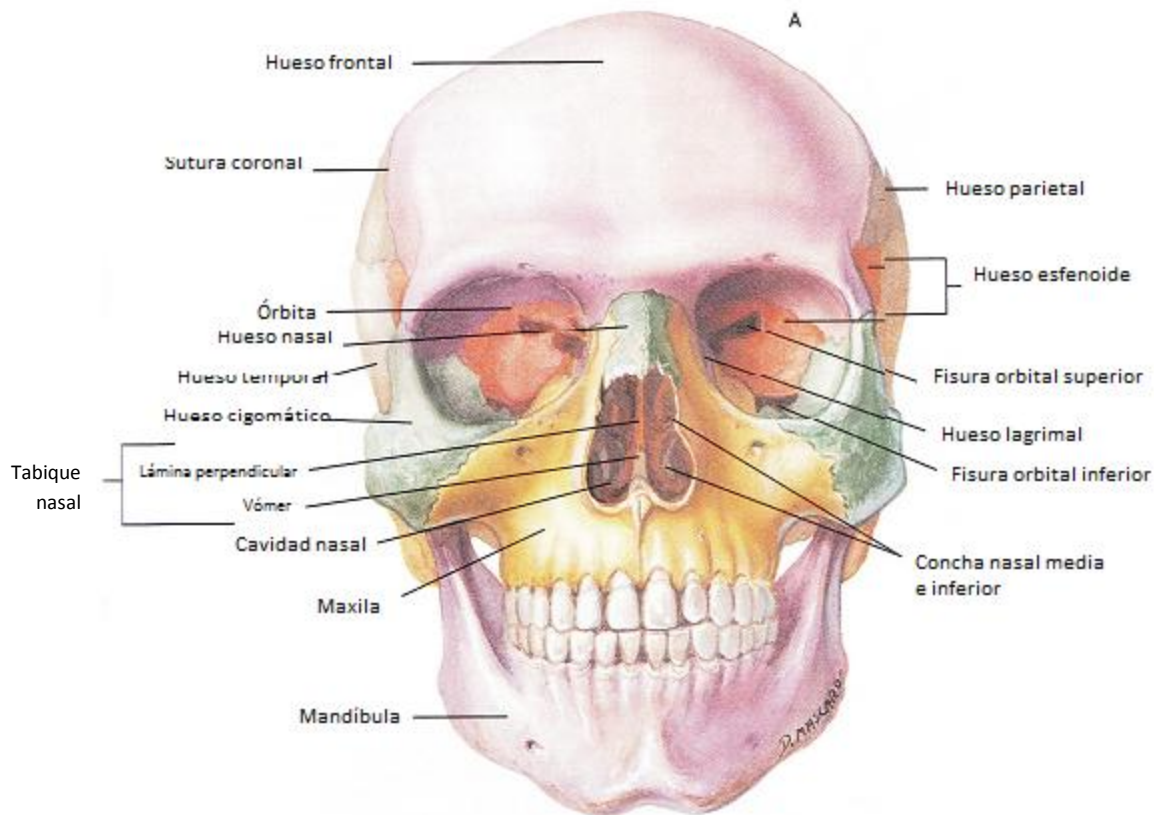
3

¿Por qué gotea la nariz cuando lloras?

**Figura 6-11 El cráneo**

**A** Vista de frente

**B** Puntos de referencia ósea del rostro

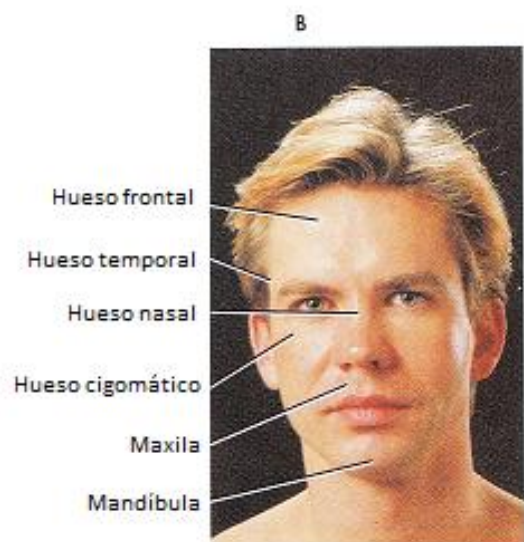


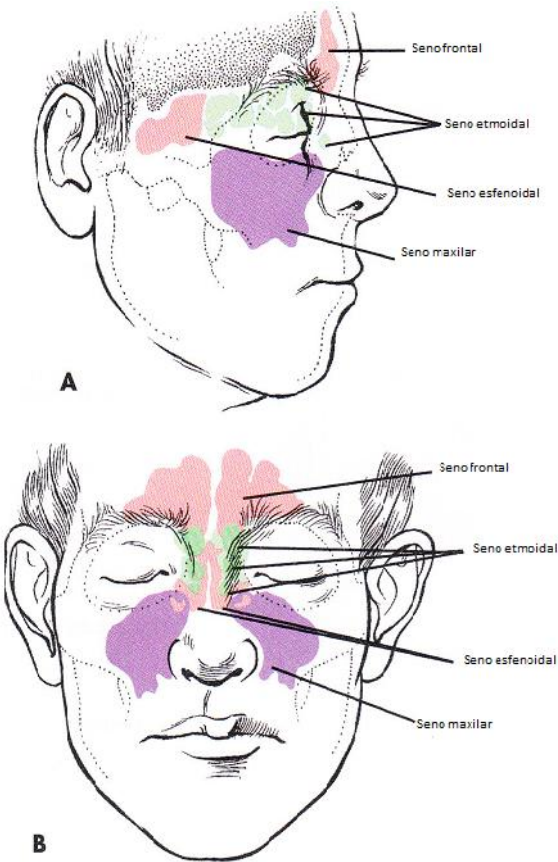
La cavidad nasal se divide en mitades izquierda y derecha por un **tabique nasal** (ver Figura 6-11, A). La parte ósea del tabique está formada principalmente por el hueso **vómer** (de forma de reja del arado) hacia la parte inferior y la lámina perpendicular del etmoide (de forma de tamiz) hacia la parte superior. La parte anterior del tabique nasal está formada por cartílago.

La parte externa de la nariz está formada en su mayor parte de cartílago. El puente nasal se forma por los huesos **nasales**.

Cada una de las paredes laterales de la cavidad nasal tiene tres conchas óseas, **la concha nasal** (se parece a una concha de caracol). La concha inferior nasal es un hueso separado y la concha media y superior son proyecciones del hueso etmoide. La función de la concha es aumentar el área superficial de la cavidad

nasal. El aumento de área superficial del epitelio que está por encima, facilita que el aire inhalado por la nariz se humedezca y caliente. (ver Capítulo 15).





Varios de los huesos asociados con la cavidad nasal tienen grandes cavidades dentro de ellos, llamadas **senos para nasales** (Figura 6-12), los cuales se abren en la cavidad nasal. Los senos disminuyen el peso del cráneo y actúan como cámaras de resonancia durante la producción de la voz. Compare la voz de una persona sana con una que padece resfriado y cuyos senos están “tapados.” Los senos son nombrados de acuerdo al lugar en donde se localizan e incluyen los senos frontales, maxilares, etmoidales y esfenoidales.

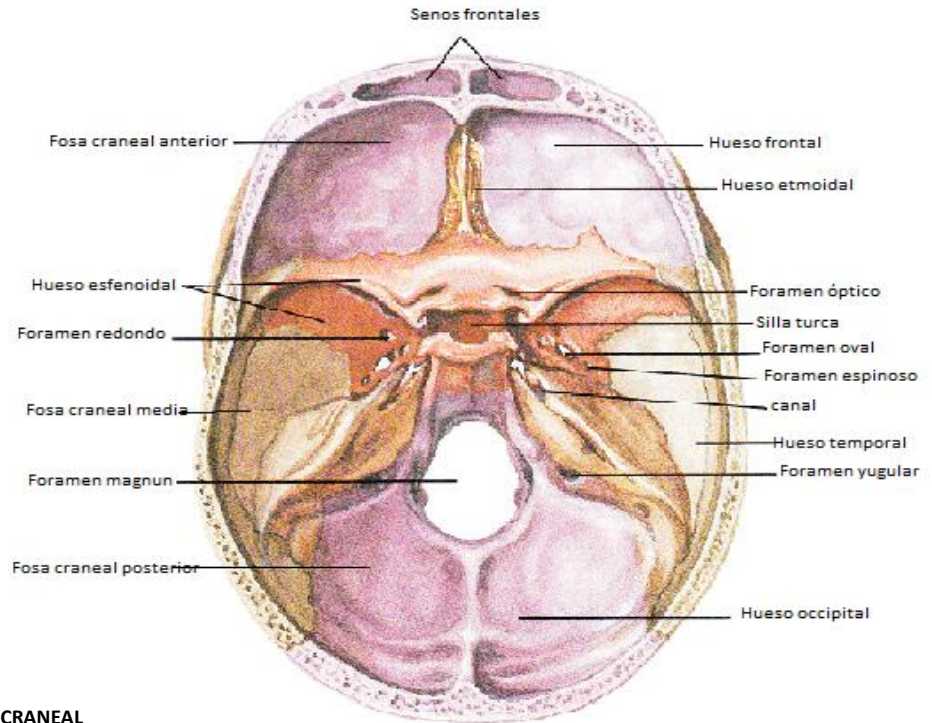
El cráneo posee senos adicionales, las **células de aire mastoideo**, que se localizan dentro de los procesos mastoideos del hueso temporal. Estas células de aire se abren en el oído medio en lugar de hacerlo en la cavidad nasal. Un tubo auditivo conecta el oído medio con la garganta.

### El interior de la bóveda craneal

Al observar el fondo de la bóveda craneal desde arriba con la parte superior cortada (Figura 6-13), se puede dividir aproximadamente en tres fosas (anterior, media y posterior), que se forman a medida el cráneo en desarrollo se ajusta a la forma del cerebro.

**FIGURA 6-12 SENOS PARA-NASALES**

- A Vista lateral
- B Vista anterior



**FIGURA 6-13 FONDO LA VALVULA CRANEAL**

La parte superior del cráneo ha sido removida y se observa el fondo desde arriba



Los huesos que forman el fondo de la bóveda craneal son: el frontal, etmoidal, esfenoidal, temporal y occipital. Se puede observar gran cantidad de foraminas en el fondo de la fosa media (ver Figura 6-13). Estos permiten el paso de los nervios y los vasos sanguíneos a través del cráneo. El gran **foramen magnum**, a través del cual la médula espinal se une al cerebro, está localizado en la fosa posterior. La región central del hueso esfenoidal se modifica a una estructura parecida a una silla, **la silla turca**, la cual es ocupada por la glándula pituitaria.

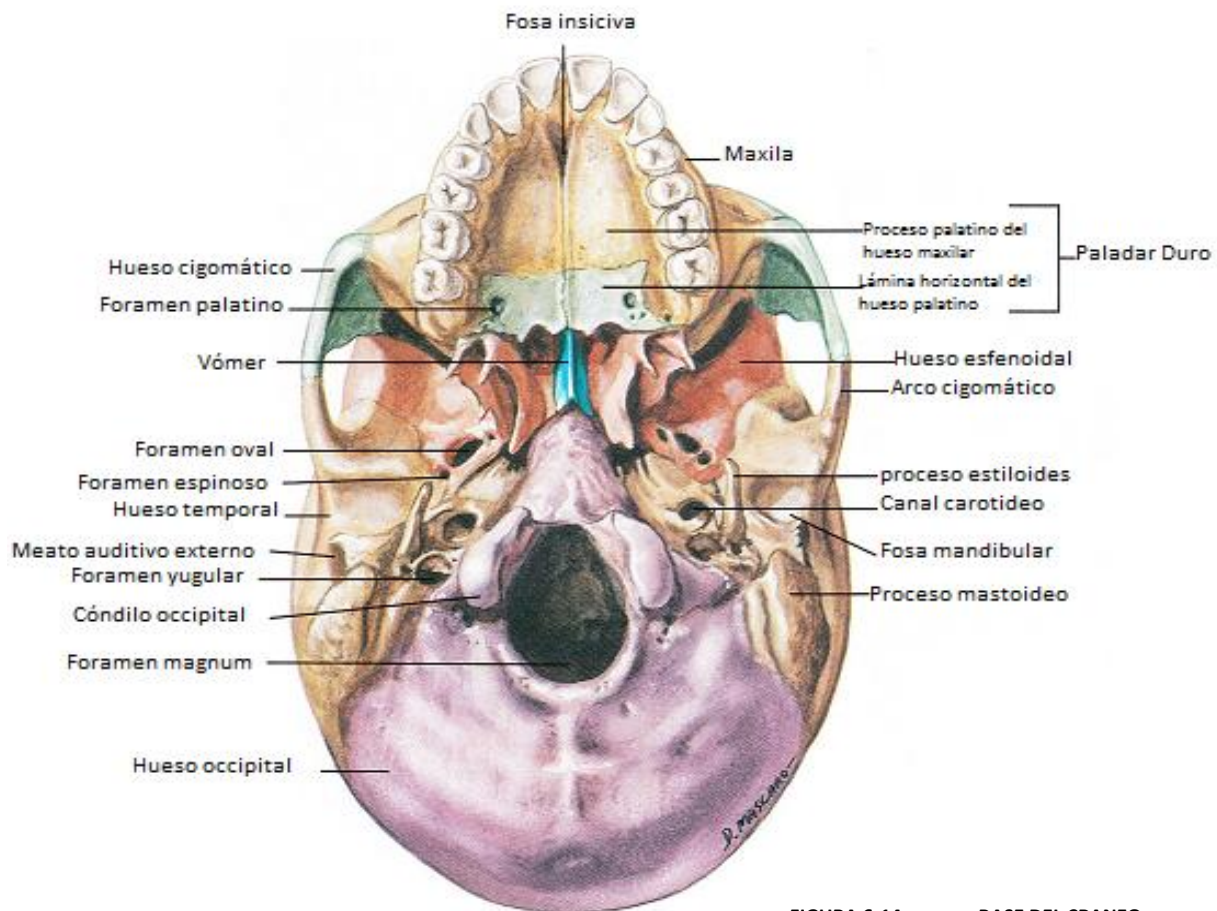
### Base del cráneo vista desde abajo

Muchas de las mismas foraminas que fueron vistas en el interior del cráneo se pueden ver en la base del cráneo, cuando se ve desde abajo con la mandíbula removida (Figura 6-14). También pueden verse otras estructuras especializadas, como los procesos para los músculos adjuntos. El foramen magnum está situado en el hueso occipital cerca del centro de la base del cráneo. **Cóndilos**

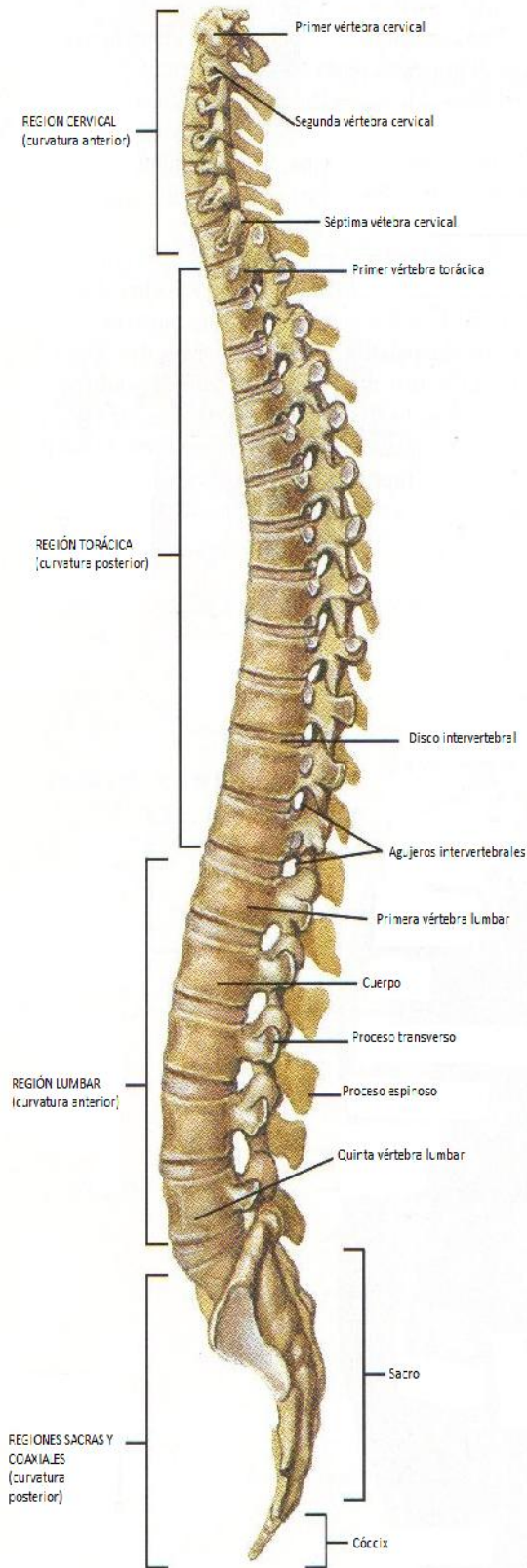
**occipitales**, los puntos lisos de la articulación entre el cráneo y la columna vertebral están situadas al lado del foramen magnum.

Dos largos y puntiagudos **procesos estiloides** se proyectan del fondo del hueso temporal. Los músculos involucrados en el movimiento de la lengua, el hueso hioideo y la faringe (garganta) se originan de este proceso. La **fosa mandibular** donde la mandíbula se articula con el hueso temporal, está adelante del proceso mastoideo.

El **paladar duro** constituye el piso de la cavidad nasal y el cielo de la boca. Las dos terceras partes anteriores están formadas por la mandíbula superior y la tercera parte posterior por los huesos **palatinos**. El tejido conectivo y músculos que componen el **paladar blando** se extienden posteriormente desde el paladar duro u óseo. Los paladares duros y blandos funcionan para separar la cavidad nasal y nasofaríngea (parte de arriba de la garganta) de la boca, permitiéndonos masticar y respirar al mismo tiempo.



**FIGURA 6-14 BASE DEL CRANEO**  
Vista desde abajo, con la mandíbula removida.



**FIGURA 6-15** Columna vertebral  
Vista lateral izquierda

## Columna vertebral

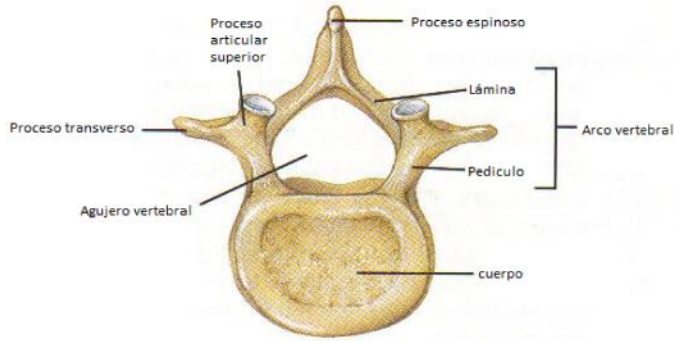
- La **columna vertebral**, es el eje central del esqueleto, extendiéndose desde la base del cráneo hasta ligeramente después del final de la pelvis. Por lo general consiste de 25 huesos individuales, llamadas vértebras, agrupadas en cinco regiones (Figura 6-15; ver Cuadro 6-1): siete vértebras **cervicales**, doce **torácicas** y cinco **lumbares**, un hueso **sacro**, y un hueso **cocciageal**. La columna vertebral de un adulto posee cuatro curvaturas principales (ver Figura 6-15). La región central se curva anteriormente, la región torácica se curva posteriormente, la región lumbar se curva anteriormente y las regiones sacra y cocciagea se curvan posteriormente.

La columna vertebral desempeña cinco funciones principales: (1) sostiene el peso de la cabeza y del tronco; (2) Protege la médula espinal; (3) le permite a los nervios espinales salir de la medula espinal; (4) proporciona un lugar para la adherencia de los músculos y (5) permite el movimiento de la cabeza y del tronco.

### ¿SABIAS QUE?

Las curvaturas vertebrales anormales no son comunes. Una **cifosis** es una curvatura anormal posterior de la espina dorsal, principalmente en la región superior del tórax, resultando en una joroba. La **Lordosis** (curva hacia adelante) es una curvatura anterior anormal de la espina dorsal, principalmente en la región lumbar resultando en un hundimiento de la espalda. La **Escoliosis** es una curvatura lateral anormal de la espina dorsal.

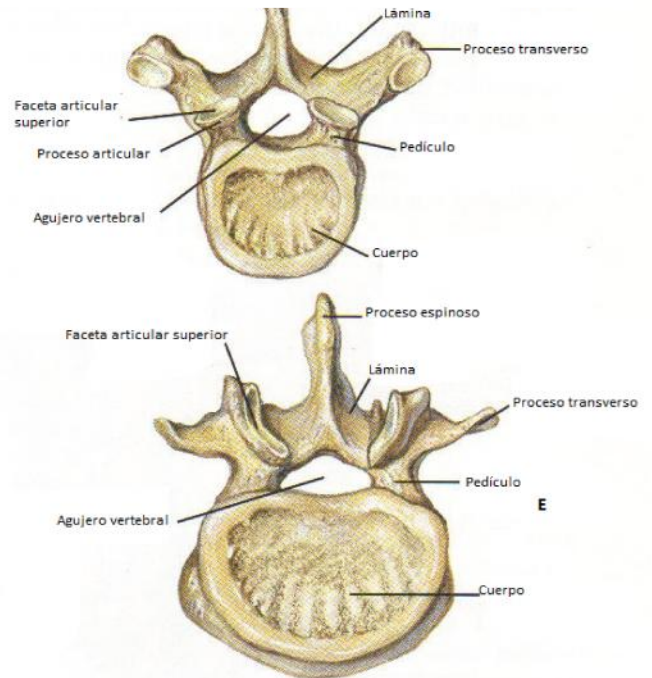
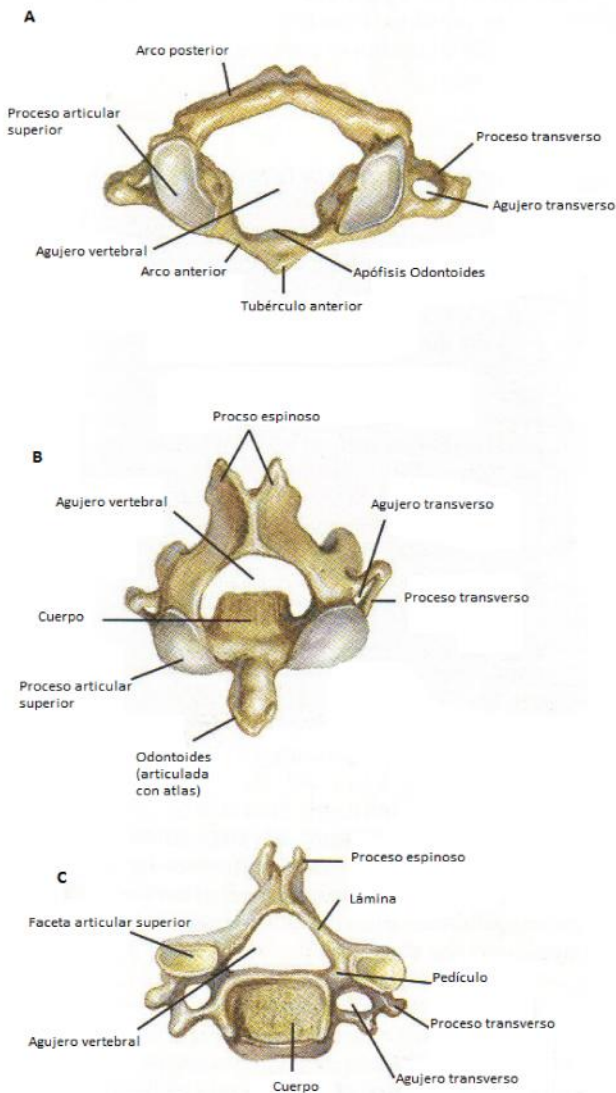
Cada vértebra consta de un cuerpo, un arco y varios procesos (Figura 6-16). El **cuerpo** es el que soporta el peso de cada vértebra. El **arco vertebral** rodea una gran abertura llamada **foramen vertebral**. Las foraminas vertebrales de todas las vértebras forman el **canal vertebral**, donde se sitúa la médula espinal. El canal vertebral protege a la médula espinal de las lesiones. Cada arco vertebral está constituido por dos **pedículos** que se extienden desde el cuerpo hasta el proceso transversal de cada vértebra y dos **láminas** que se extienden desde los procesos transversales hasta el proceso espinoso. Un **proceso transversal** se extiende lateralmente de cada lado del arco, entre el pedículo y la lámina, y un solo **proceso espinoso** se proyecta dorsalmente desde el lugar donde se juntan las dos láminas. Los procesos espinales pueden verse y sentirse como una serie de protuberancias hacia debajo de la línea media de la espalda (ver Figura 6-21). Los procesos transversales y espinales proveen lugares de adhesión para los músculos que mueven la columna vertebral. Los nervios espinales salen de la médula espinal a través de las **foraminas intervertebrales**, que



Están formadas por perforaciones en los pedículos de las vértebras adyacentes (ver Figura 6-15). Cada vértebra tiene un **proceso articular** superior e inferior, donde las vértebras se articulan entre sí. Cada proceso articular tiene un “pequeño rostro” llamado una **faceta articular**.

Las vértebras están separadas por **discos intervertebrales** los cuales están formados por un denso tejido conectivo fibroso. Los discos intervertebrales serán abordados más adelante en este capítulo. **Diferencias regionales en las vértebras**

Las **vértebras cervicales** (Figura 6-17, de la A la C) tienen cuerpos muy pequeños, excepto por la primera vértebra del cuello que no posee cuerpo. Cada uno de los procesos transversales tiene un foramen transversario por donde las arterias vertebrales se desplazan hacia el cerebro. Muchas de las vértebras cervicales también tienen un proceso espinal parcialmente dividido. La primera vértebra cervical (Figura 6-17)



**FIGURA 6-17** Diferencias locales de la vértebra

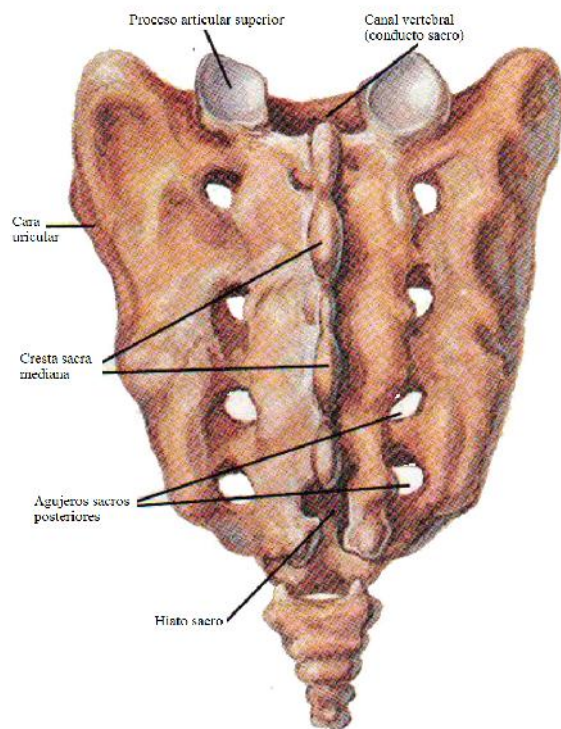
- A Atlas (Primera vértebra cervical), vista superior
- B Axis (segunda vértebra cervical), vista superior
- C Otra vértebra cervical, vista superior
- D Vértebra torácica, vista superior
- E Vértebra lumbar, vista superior



La **vértebra torácica** (Figura 6-17, D) posee proceso espinosos largos y delgados dirigidos inferiormente. La vértebra torácica también posee facetas articulares en sus superficies laterales que se articulan con las costillas.

Las **vértebras lumbares** (Figura 6-17, E) tienen en cuerpos grandes y gruesos y procesos rectangulares transversos y espinosos. Las facetas articulares superiores de la vértebra lumbar están de frente medialmente, mientras que las facetas articulares inferiores están de frente lateralmente. Esta disposición tiende a “bloquear” las vértebras lumbares adyacentes dando al área lumbar de la columna vertebral más fuerza. Las facetas articulares en otras regiones de la columna vertebral tienen una posición más “abierta”, permitiendo un mayor movimiento giratorio pero menos estabilidad que en la región lumbar.

Las cinco vértebras sacras se fusionan en un solo hueso llamado **sacro** (Figura 6-18). Las apófisis espinosas



de las primeras cuatro vértebras sacras forman la **cresta media del sacro**. La apófisis espinosa de la quinta vértebra no la forma, dejando un **hiato sacro** en el extremo inferior del sacro que con frecuencia es el lugar de inyecciones de anestesia “caudal” dadas justo antes del nacimiento. El borde anterior del cuerpo de la primera vértebra sacra sobresale para formar el

**promontorio sacro** (ver Figura 6-26), un punto de referencia que puede sentirse durante un examen vaginal. Se utiliza como punto de referencia durante la medición para determinar si las aberturas pélvicas son suficientemente grandes para permitir el nacimiento normal del bebé.

El **cóccix** (figura similar a la del pájaro cuco), o cola ósea, por lo general está constituida por cuatro más o menos vértebras fusionadas. La vértebra del cóccix no posee la estructura típica de la mayoría de las otras vértebras. Consisten de cuerpos vertebrales extremadamente reducidos, sin las foraminas procesos, fusionadas por lo general en un solo hueso.

#### ¿SABIAS QUE?

Debido a que las vértebras cervicales son relativamente delicadas y tienen pequeños cuerpos, las dislocaciones y las fracturas son más comunes en esta área que en otras regiones de la columna vertebral. Debido a que la vértebra lumbar tiene organismos masivos y soporta grandes cantidades de peso. Las rupturas de los discos intervertebrales son más comunes que en otras regiones de la columna. Cada disco intervertebral está compuesto de un tejido conectivo fibroso con un centro más suave de tejido semilíquido. El peso del cuerpo puede comprimir el disco haciendo que el anillo fibroso se inflame o incluso que se quiebre. Esto permite que las vértebras se acerquen y compriman los nervios que salen de las foraminas intervertebrales. El cóccix se quiebra muy fácilmente en caídas en las cuales una persona recibe un golpe fuerte al sentarse sobre algo duro. También el cóccix de la madre se puede fracturar en el momento de dar a luz al bebé

#### Caja torácica

La **caja torácica** protege los órganos vitales dentro del tórax y previene el colapso del tórax durante la respiración. Está constituido por la vértebra torácica, las costillas con sus cartílagos y el esternón.

#### Costillas y cartílagos costales

Los doce pares de costillas (Figura 6-19) se pueden dividir en falsas y verdaderas. Los siete pares de costilla superior se conocen como **costillas verdaderas**, adheridas de forma directa al esternón a través de los cartílagos costales. Los cinco pares de costillas inferiores,

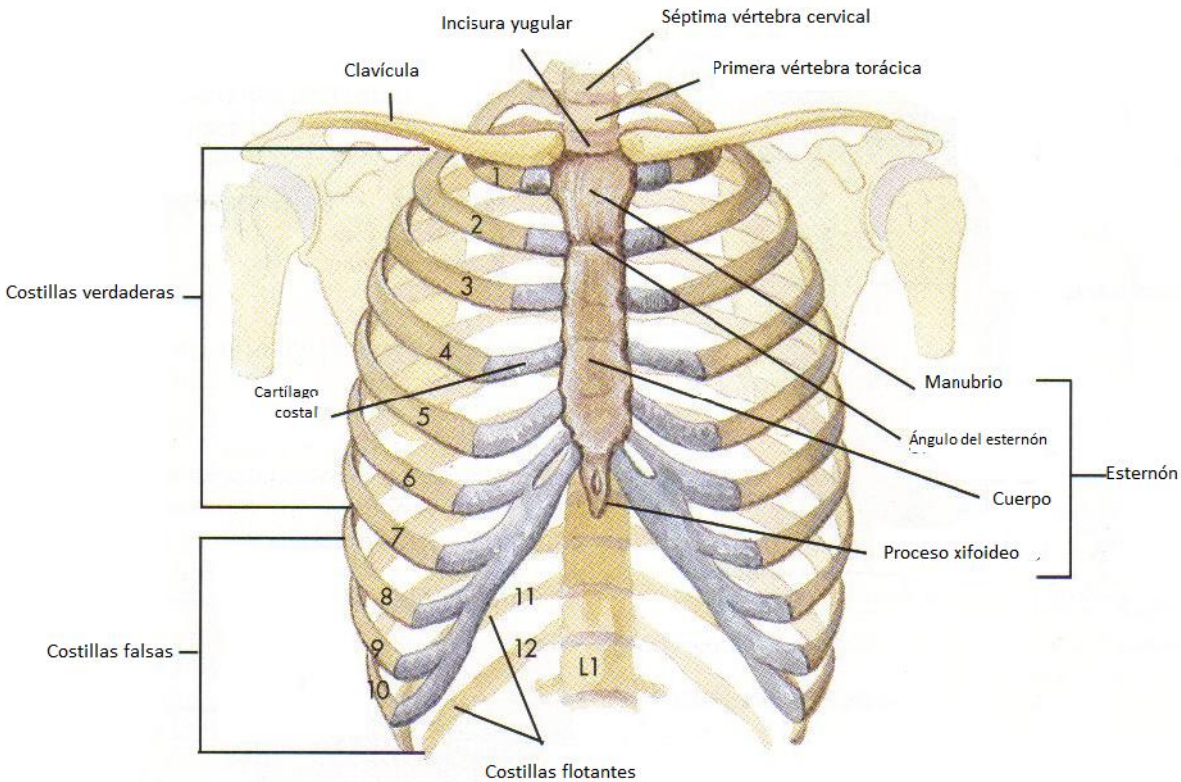


FIGURA 6-19 Vista anterior de la bóveda torácica

llamadas **costillas falsas**, no se adhieren de forma directa al esternón. Tres pares de costillas, de la 8 a la 10, se adhieren al esternón por un cartílago común; dos pares de costillas, las costillas de la once a la doce, conocidas como **costillas flotantes**, no se adhieren al esternón.

### Esternón

El esternón (ver Figura 6-19), se divide en tres partes: mango o **manubrio**, **cuerpo** y **proceso xifoides**. El esternón se asemeja a una espada con el manubrio formando el mango, el cuerpo lo forma la espada y el proceso xifoides la punta. En el extremo superior del esternón hay una depresión conocida como **muesca yugular** del esternón, situada entre los extremos de las clavículas donde se articulan con el esternón. Una leve elevación llamada **ángulo esternal** puede sentirse en el empalme del manubrio y del cuerpo del esternón. Este empalme es un punto de referencia importante ya que identifica la ubicación de la segunda costilla. Esta identificación permite que las costillas se puedan contar y, por ejemplo, permite ubicar el ápice del corazón el cual se localiza entre la quinta y la sexta costillas.

El proceso xifoides es otro punto de referencia importante del esternón. Durante la resucitación cardiopulmonar (CPR, por su sigla en inglés), es importante colocar las manos sobre el cuerpo del esternón más que sobre los procesos xifoides. Si se

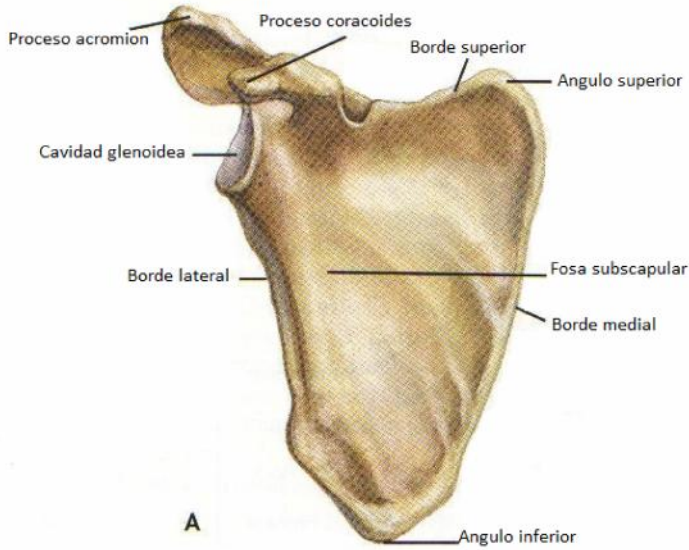
colocan las manos sobre el proceso xifoides, la presión aplicada durante el CPR puede romperlo y conducirlo hacia el órgano abdominal subyacente tal como el hígado y causar una hemorragia interna.

### ESQUELETO APENDICULAR

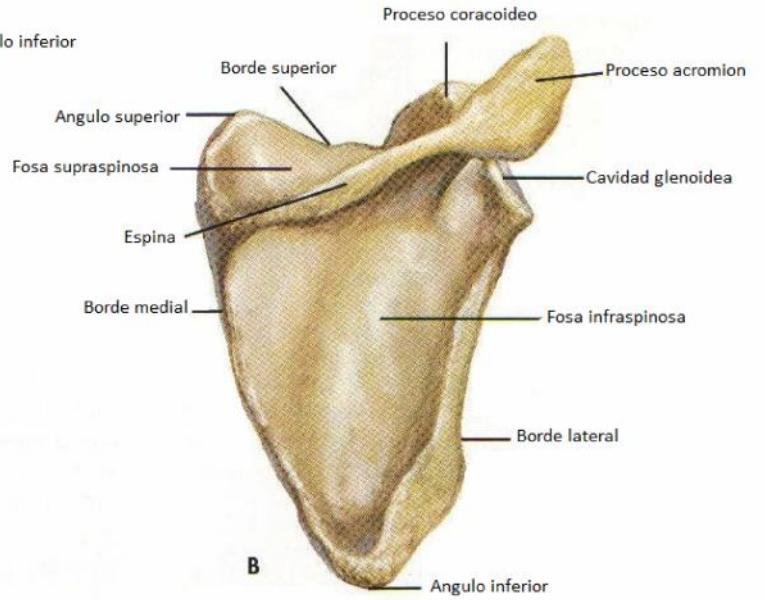
El **esqueleto apendicular** está constituido por los huesos de las extremidades superiores e inferiores, así como también por las fajas, los cuales adhieren las extremidades al esqueleto axial.

#### Cinturón pectoral

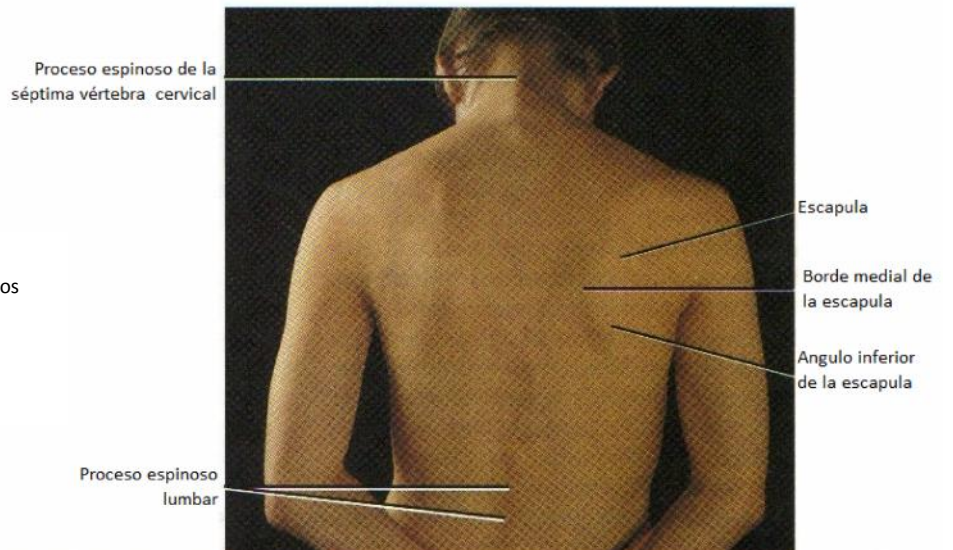
El **cinturón pectoral**, u hombro, está formado por dos huesos que adhieren la extremidad superior al cuerpo: la **escápula** o omóplato (ver Figura 6-9, 6-20, A y B 6-21) y la **clavícula** o collar óseo (ver Figura 6-9, A). El omóplato es un hueso plano y triangular con tres grandes fosas donde los músculos se extienden para adherirse al brazo. Una cuarta fosa, la **fosa glenoidea** se encuentra donde se conectan la cabeza del húmero con el omóplato. La cresta conocida como **espina dorsal** se extiende a través de la superficie posterior del omóplato. Una proyección, llamada **apéndice acromial**, se extiende desde la espina escapular para formar el punto del hombro.



**FIGURA 6-20 Huesos de la escapula derecha**  
 A Vista anterior  
 B Vista posterior



**FIGURA 6-21 Huesos de la espalda**  
 La anatomía de la superficie muestra huesos posteriores de la columna vertebral y la escapula





La clavícula se articula con la escápula en el proceso acromial. El extremo proximal de la clavícula está ligado al esternón, proveyendo el único lazo óseo de la extremidad superior al resto del esqueleto. El **proceso coracoideo** se curva debajo de la clavícula y proporcionan un enlace para los músculos del brazo y del pecho.

### Miembro superior

El miembro superior está constituido por los huesos del brazo, antebrazo, muñeca y mano.

#### Brazo

El **brazo** es la región entre el hombro y el codo que incluye el **húmero**. (Figura 6-22) El extremo proximal del humero tiene una **cabeza** lisa y redondeada, que conecta el húmero a la escápula en la fosa glenoidea. Justo a los lados de la cabeza hay dos tubérculos, un **tubérculo mayor** y un **tubérculo menor**. Los músculos que se originan en la escápula se adhieren a los tubérculos mayor y menor y sostienen al humero a la escápula. Aproximadamente la tercera porción baja del eje del humero en la superficie lateral, está la **tuberosidad deltoidea**, sitio de inserción del musculo deltoides. El extremo distal del humero se modifica en un cóndilo especializado que conecta el humero a los huesos del antebrazo. Los **epicóndilos** en el extremo distal del húmero, justo a los lados de los cóndilos, proporcionan sitios de adhesión para los músculos del antebrazo.

#### ¿SABIAS QUE?

El tamaño de la tuberosidad deltoidea es influenciado por el tiro del musculo deltoides. En los fisicoculturistas, el musculo deltoides y la tuberosidad deltoidea se agrandan. Los antropólogos al examinar antiguos restos humanos, pueden utilizar la presencia de tuberosidades deltoideas agrandadas como prueba de que una persona dada se dedicaba a levantar objetos pesados a lo largo de su vida. Si la persona tenía un aumento inusual en la tuberosidad deltoidea para su edad, podría indicar que era un esclavo y que se le exigía levantar cargas pesadas.

#### Antebrazo

El antebrazo tiene dos huesos, la **ulna** en el lado medial del antebrazo (el lado con el dedo meñique) y el **radio** en el lado lateral (pulgares) del antebrazo (Figura 6-23). El extremo proximal de la ulna forma una **muesca semilunar** que encaja perfectamente en el extremo del humero, formando la mayor parte de la articulación del codo. Justo en las cercanías de la muesca semilunar esta una extensión de la ulna, conocida como **proceso olecranon** que puede sentirse como la punta del codo (ver Figura 6-25). Justo distal a la muesca semilunar esta una **apófisis coronoidea**

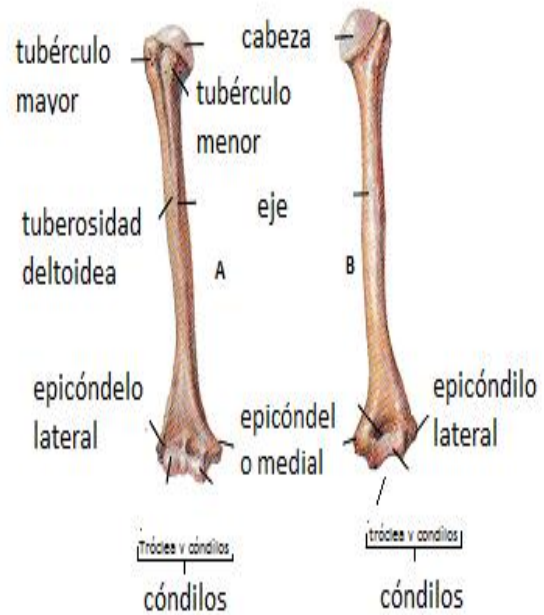


FIGURA 6-22 HÚMERO DERECHO

A Vista anterior  
B Vista posterior

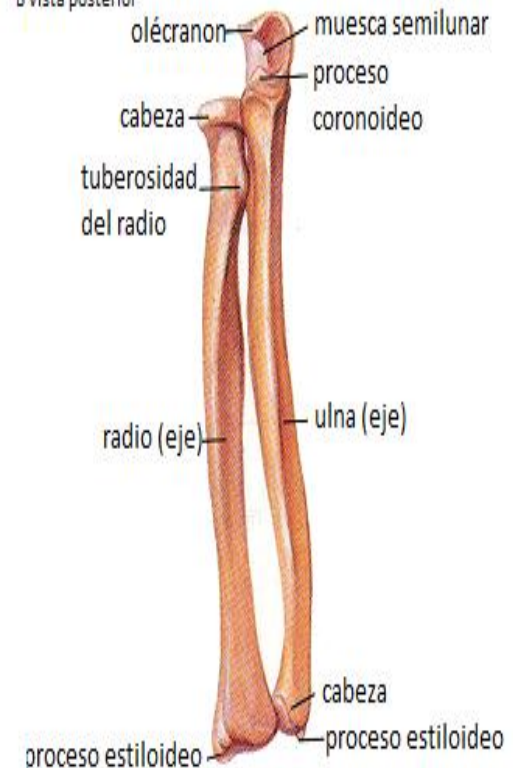


FIGURA 6-23 Ulna y radio derecho

Vista anterior

ayuda a completar la “empuñadura” de la ulna en el extremo distal del humero. El extremo distal de la ulna forma una cabeza que se articula con los huesos de la muñeca y un **proceso estiloides** (semejante a la forma de un lapicero) localizado en el lado medial. La cabeza de la ulna puede verse como una prominente protuberancia el lado ulnar posterior de la muñeca. El extremo próximo del radio tiene una cabeza a través de la cual el radio se articula tanto con el humero como con la ulna. El radio no se adhiere tan firmemente al humero como lo hace la ulna. La cabeza del radio gira en contra del humero y de la ulna. Justamente distal a la cabeza del radio se sitúa una **tuberosidad radial**, donde uno de los músculos del brazo, y el bíceps braquial, se adhiere.. El extremo distal del radio se articula con los huesos de la muñeca. Un proceso estiloides se sitúa en el lado lateral del extremo distal. Los procesos estiloides del radio y de la ulna proporcionan conectividad para los ligamentos de la muñeca.

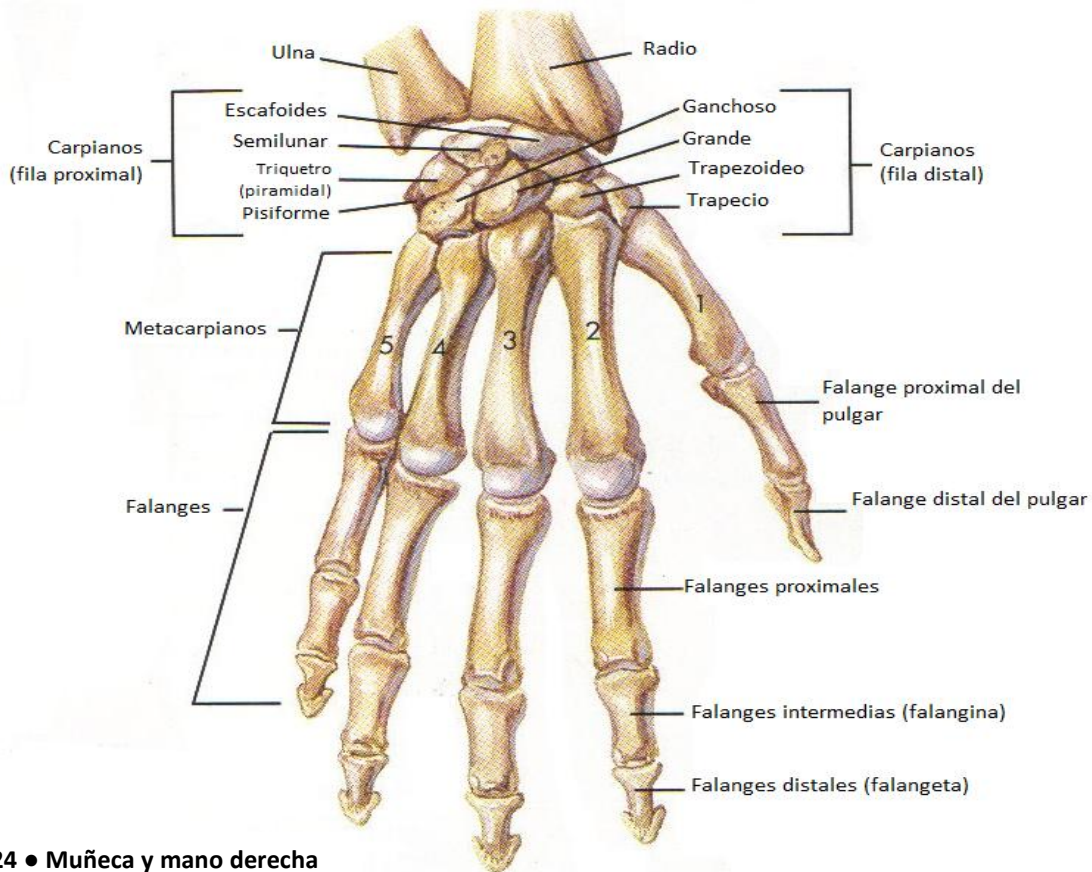
### Muñeca

La región de la **muñeca** es una región relativamente corta entre el antebrazo y la mano. Está compuesta por los siguientes ocho huesos **carpianos**:

escafoides, semilunar, triquetro (piramidal), pisiforme, trapecio, trapezoide, grande y hueso ganchoso. Los ocho huesos carpianos se disponen en dos hileras de cuatro cada una para formar una leve curvatura, convexa posteriormente y cóncava anteriormente.

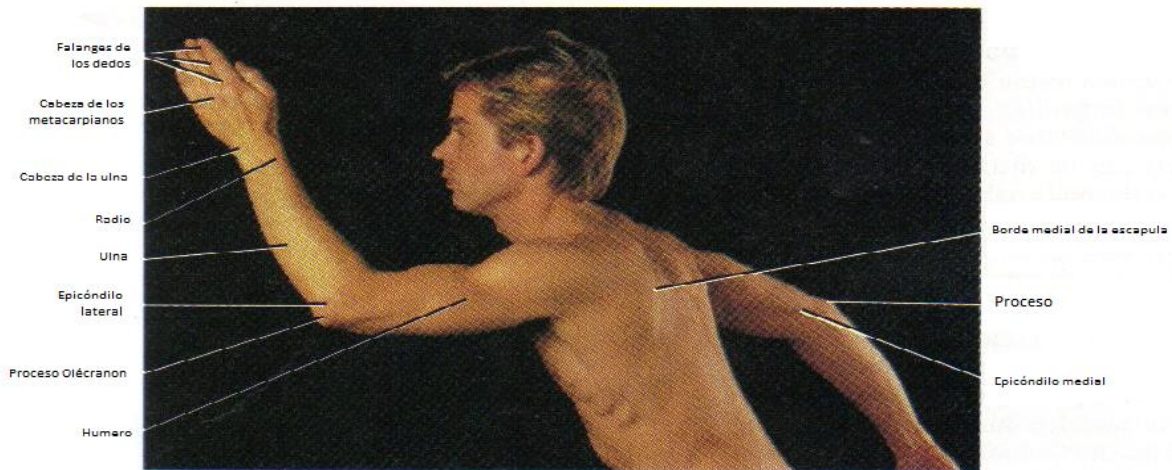
#### ¿SABIAS QUE?

Los huesos y los ligamentos de la parte anterior de la muñeca forman un **túnel carpiano**, que no tiene mucho que dar. Los tendones y los nervios pasan desde el antebrazo a través del túnel carpiano hasta la mano. Se puede acumular líquido y tejido conectivo en el túnel carpiano como resultado de la inflamación relacionada con el uso excesivo o con algún trauma. La inflamación también puede hacer que los tendones en el túnel carpiano aumenten de tamaño. Los líquidos acumulados y los tendones agrandados pueden generar presión sobre un nervio principal que atraviesa el túnel. La presión en este nervio produce el **síndrome del túnel carpiano**, que consiste en hormigueo, ardor y entumecimiento en la mano.



**Figura 6-24 • Muñeca y mano derecha**  
Vista posterior

**FIGURA 6-25** Extremidad superior izquierda  
Anatomía de la superficie

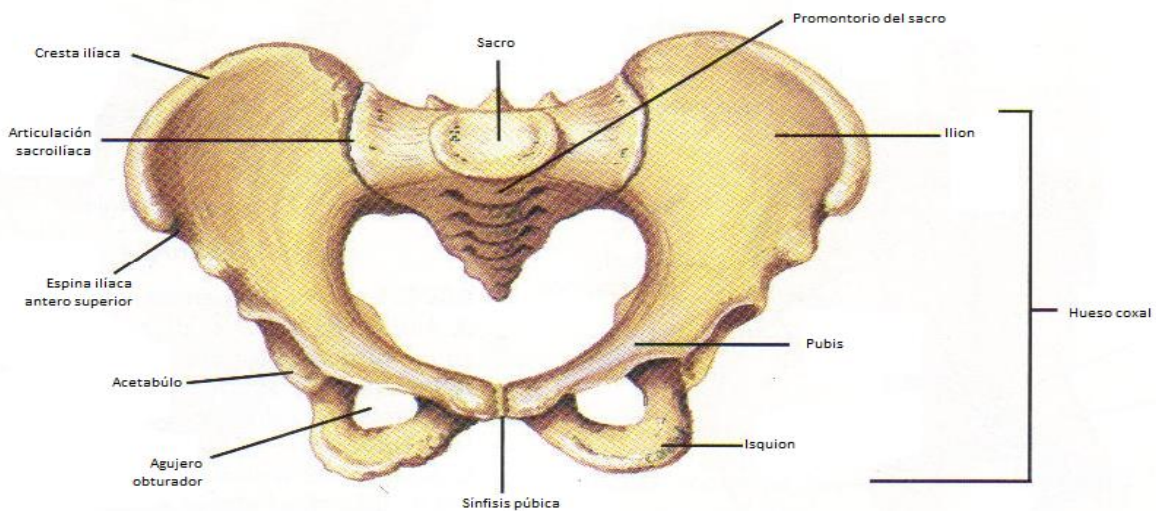


### Mano

Los cinco **metacarpianos** (después de los carpianos) están adheridos a los huesos carpianos y forman el esqueleto de Mano (ver Figura 6-24). Los metacarpianos están alineados con el dedo pulgar y con los dedos. Se enumeran del uno hasta el cinco comenzando por el pulgar hasta el dedo meñique. Los extremos de los cinco metacarpianos, asociados con el pulgar y los dedos forman los nudillos (Figura 6-25). Cada dedo de la mano, comúnmente llamado **dedo** lo constituyen tres pequeños huesos llamados **falanges** (falange viene del griego *phalanx* que es una cuña de soldados sosteniendo sus lanzas, puntas hacia afuera, enfrente de ellos.) Las falanges de cada dedo reciben el nombre de: falange proximal, medial y distal de acuerdo a la posición en el dedo. El dedo pulgar tiene dos falanges, proximal y distal. Los dedos también se enumeran del uno al cinco comenzando por el pulgar.

### Cinturón pélvico

El **cinturón pélvico** o **pelvis** (Figura 6-26) es el sitio donde el miembro inferior se une al cuerpo. La pelvis es un anillo óseo formado por el sacro y los dos huesos **coxales**. El sacro forma parte de la pelvis pero también es parte del esqueleto axial. Cada hueso coxal está formado por tres huesos fusionados entre sí que forman un solo. El **ilion** (ingle) es el más superior, el **isquion** (cadera) es inferior y posterior y el **pubis** (se refiere al vello genital) es inferior y anterior. La **cresta iliaca** puede observarse a lo largo del margen superior de cada ilion y la **espina iliaca antero superior**, un punto de referencia importante para la cadera, se localiza en el extremo anterior de la cresta iliaca. Unirse los coxales se unen entre sí anteriormente en la sínfisis púbica.



**FIGURA 6-26**

Vista anterior de la pelvis

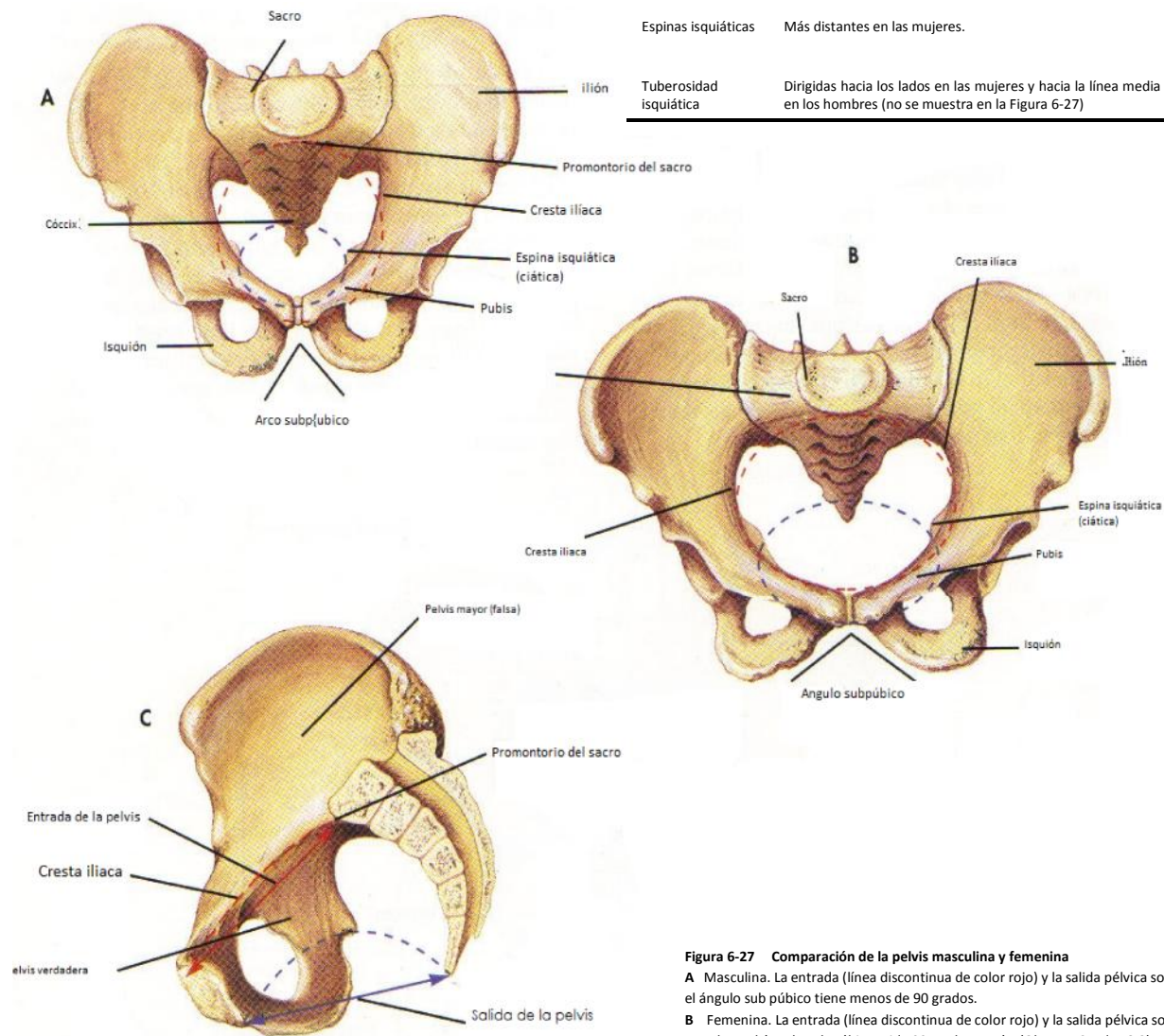


y se une el sacro posteriormente en la articulación sacro ilíaca. El **acetábulo** (pequeña copa de vinagre), es el hueco de la articulación de la cadera. El **Foramen obturador** es un gran agujero en el coxal que está bloqueado por músculos y otras estructuras.

La pelvis masculina se distingue de la femenina, en que la masculina por lo general es más grande y maciza; pero la pelvis femenina tiende a ser más ancha (Figura 6-27, A y B), el aumento de tamaño de estas aberturas ayuda a acomodar al feto durante su nacimiento. La **entrada pélvica** está formada por el **borde pélvico** y protuberancia sacra. La salida de la pelvis está limitada por las espinas isquiáticas, el pubis y el cóccix (Figura 6-27, C).

#### Diferencias entre la pelvis masculina y femenina

AREA	DESCRIPCION DE LA DIFERENCIA
Estructura general	La pelvis femenina es más ligera en peso y más ancha lateralmente, pero más corta superiormente a inferiormente con menos forma de embudo; los puntos de adhesión de los músculos son menos obvios en mujeres que en hombres.
Sacro	Más ancha en las mujeres, con la porción inferior dirigida hacia más posteriormente. La protuberancia sacra se proyecta menos anteriormente en las mujeres.
Entrada pélvica	La masculina tiene forma de corazón y ovalada en las mujeres
Salida pélvica	Más ancha y poco profunda en las mujeres
Angulo sub púbico	Tiene menos de 90 grados en los hombres y más de 90 grados en las mujeres.
Ilión	Más superficial y más expandido hacia los laterales en las mujeres
Espinas isquiáticas	Más distantes en las mujeres.
Tuberosidad isquiática	Dirigidas hacia los lados en las mujeres y hacia la línea media en los hombres (no se muestra en la Figura 6-27)



**Figura 6-27 Comparación de la pelvis masculina y femenina**

**A** Masculina. La entrada (línea discontinua de color rojo) y la salida pélvica son pequeñas y el ángulo sub púbico tiene menos de 90 grados.

**B** Femenina. La entrada (línea discontinua de color rojo) y la salida pélvica son más grandes y el ángulo sub púbico mide 90 grados o más. (Observa Cuadro 6-3)

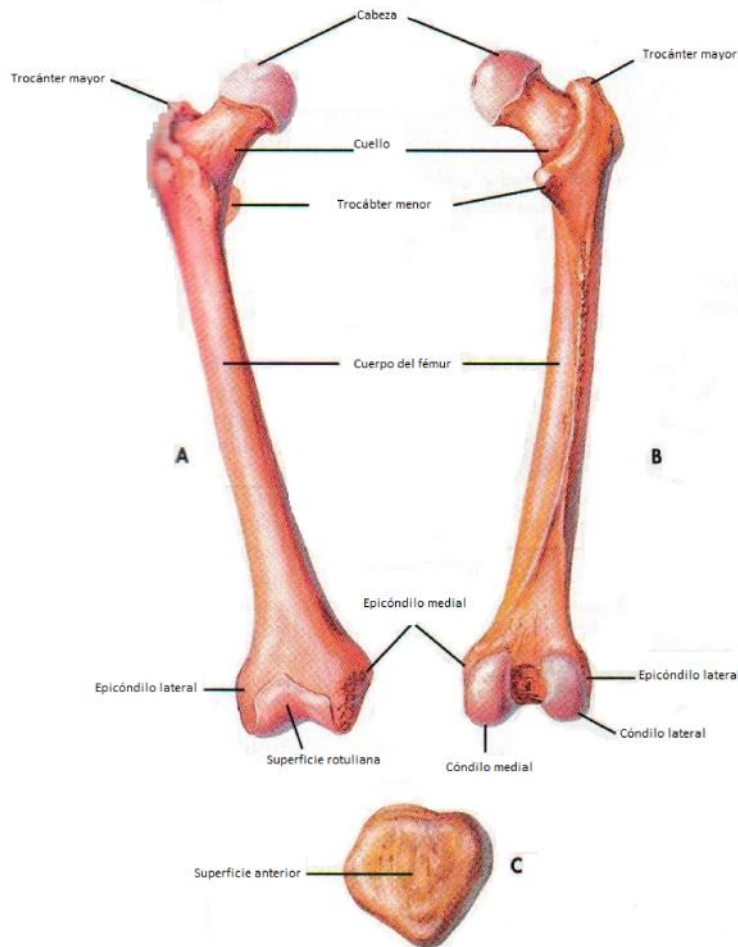
**C** Sección sagital media a través de la cual se muestra la entrada pélvica (Flecha roja) y la salida (flecha azul)

## Miembro inferior

El miembro inferior consta de los huesos del muslo, pierna, tobillo y pie.

### Muslo

El **muslo** (Figura 6-28, A y B) es la región entre la cadera y la rodilla. Contiene un solo hueso conocido como **fémur**. La **cabeza** del fémur se articula con el acetábulo de la cadera; y el **cóndilo**, en el extremo distal del fémur se articula con la tibia. Los **epicóndilos** situados medial y lateralmente a los cóndilos proporcionan puntos de adhesión de los músculos. El fémur se puede distinguir del húmero por su cuello largo localizado entre la cabeza y los **trocánteres**. Los **trocánteres** son puntos de adhesión de los músculos. La **rótula** (Figura 6-28, C) está localizada dentro del tendón mayor de los músculos del muslo anterior y le permite al tendón doblar la esquina sobre la rodilla.



**FIGURA 6-28**•El fémur derecho y la rótula

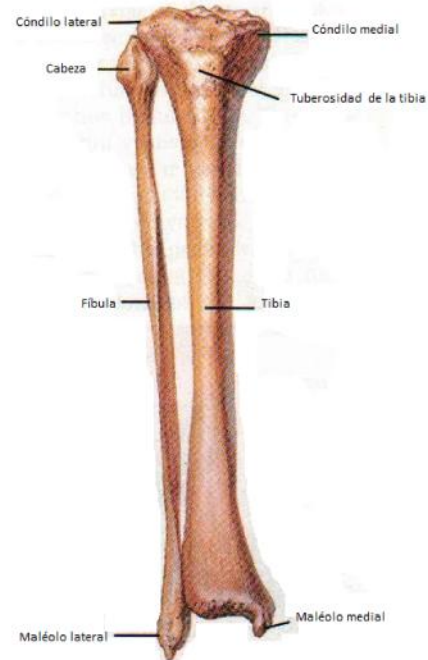
A Vista anterior del fémur.

B Vista posterior del fémur.

C Vista anterior de la rótula

### Pierna

La pierna (Figura 6-29) es la región entre la rodilla y el tobillo, constituida por dos huesos conocidos como **tibia** y **fíbula**. La tibia es el más grande de los dos y soporta la mayor parte del peso en la pierna. Los cóndilos redondos del fémur descansan sobre los cóndilos planos en el extremo proximal de la tibia. Justamente distal a los cóndilos de la tibia, sobre su superficie anterior, se sitúa la **tuberosidad tibial**, donde se insertan los músculos del muslo anterior. La fíbula no se articula con el fémur pero se adhiere por su cabeza al extremo proximal de la tibia. Los extremos distales de la tibia y la fíbula se unen para formar una cavidad parcial que se articula con un hueso del tobillo (astrágalo). Se puede observar una prominencia a los lados del tobillo. Estos son el **maléolo medio** (martillo o mazo) y el maléolo lateral de la fíbula.

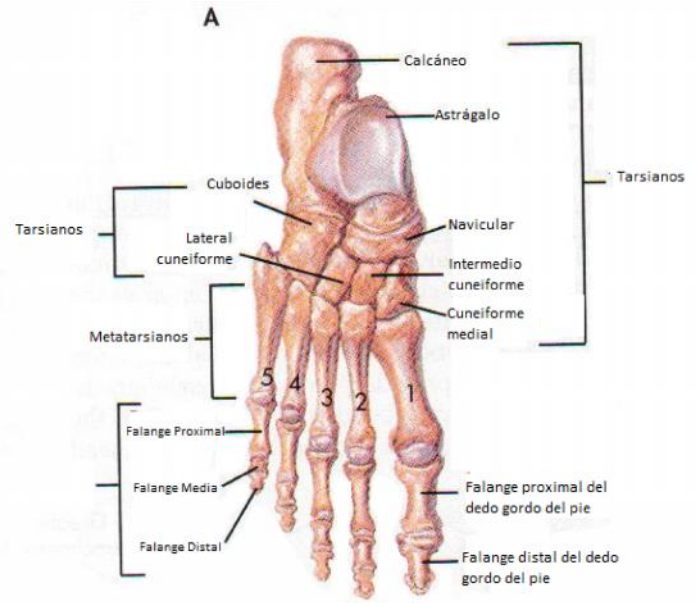


**FIGURA 6-29**•Tibia derecha y fíbula

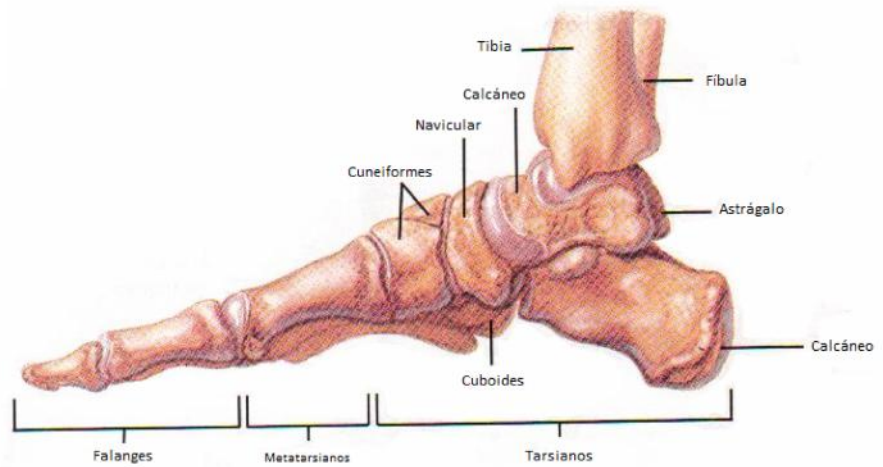
Vista anterior

**Tobillo**

El **tobillo** está compuesto por siete huesos del **tarso** (la planta de pie) (Figura 6-30) los huesos del tarso son el astrágalo, el calcáneo, cuboides (cuboides), navicular (escafoides) y cuneiformes medial (primero ó primera cuña), intermedio (segundo ó segunda cuña), y lateral (tercero ó tercera cuña). El **astrágalo** (hueso del tobillo) se articula con la tibia



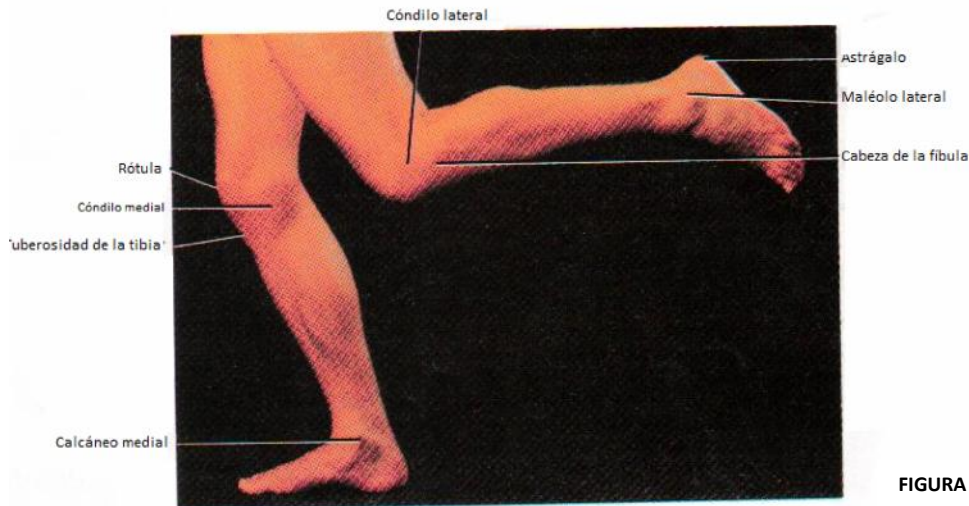
**B**



**FIGURA 6-30 Huesos del pie derecho**

**A** Vista superior

**B** Vista medial



**FIGURA 6-31 Extremidades inferiores**  
Anatomía de la superficie

y la fibula para formar la articulación del tobillo, el **calcáneo** forma el talón (Figura 6-31)

### **Pie**

Los **metatarsianos** y las falanges del pie están dispuestos y numerados de forma similar a los metacarpianos y falanges de la mano (ver Figura 6-30). Los metatarsianos son un poco más largos que los metacarpianos, mientras que las falanges del pie son considerablemente más pequeñas que las de la mano. Las cabezas formadas en los extremos distales de los metatarsianos forman la bola del pie. Existen dos **arcos** principales en el pie, formados por la posición de los tarsianos y de los metatarsianos que son mantenidos en su lugar por los ligamentos. Un arco longitudinal se extiende desde el talón hasta la bola del pie y un arco transversal se extiende a través del pie. Los arcos funcionan como los amortiguadores de un carro permitiéndole al pie suficiente elasticidad.

## **Las articulaciones**

Una **articulación** se refiere al lugar donde dos huesos se juntan. Por lo general se considera que una articulación es móvil sin embargo no siempre es así. Muchas articulaciones muestran escaso movimiento, y otras son completa o casi completamente inamovibles.

Un método para clasificar las articulaciones es de acuerdo a su funcionalidad, tomando como base el grado de movilidad de estas e incluyendo los términos sinartrosis (articulaciones sin movimiento), anfiartrosis (articulaciones con movimientos escasos) y las articulaciones diartrosis o sinoviales (articulaciones de libre movimiento). La clasificación funcional es un tanto limitada y no la utilizamos en este texto. Otro método de clasificación de las articulaciones es la clasificación estructural. Las articulaciones se clasifican según el tipo de tejido conectivo principal que une a los huesos y si existe una capsula articular llena de líquido. Las tres clases principales de las articulaciones son fibrosas, cartilaginosas y sinoviales. La clasificación estructural con sus diferentes subclases, permite una clasificación más precisa y, por tanto, así se utiliza en este texto.

## **Articulaciones fibrosas**

Las **articulaciones fibrosas** constan de dos huesos unidos por tejido fibroso y que muestran movimientos escasos o nulos. Las articulaciones de este grupo se clasifican más sobre la base de las estructuras como: las suturas, sindesmosis o gónfosis. Las **suturas** son articulaciones fibrosas entre los huesos del cráneo. En un recién nacido, algunas partes de las suturas son muy amplias y se denominan **fontanelas** o puntos suaves (Figura 6-32). Estos permiten la flexibilidad del cráneo durante el proceso de parto, así como el crecimiento de la cabeza después del nacimiento. Las **sindesmosis** son articulaciones fibrosas en las cuales los huesos están separados cierta distancia y son sostenidos juntos por

ligamentos. Un ejemplo es la membrana fibrosa que conecta la mayoría de las partes distales del radio y ulna. Las **gónfosis** consisten de espigas ajustadas en huecos y mantenidas en su lugar por ligamentos. La articulación entre un diente y su cavidad se denomina gónfosis.

## **Articulaciones cartilaginosas**

Las **articulaciones cartilaginosas** unen dos huesos por medio de cartílago. Solo escasos movimientos pueden ocurrir en estas articulaciones. Ejemplos de ello son el cartílago en las placas epifisarias de los huesos largos de crecimiento y los cartílagos entre las costillas y el esternón. El cartílago de algunas articulaciones cartilaginosas, donde se pone mucho esfuerzo en la articulación, puede verse reforzado por la presencia de fibras de colágeno adicionales. Este tipo de cartílago, denominado **fibrocartilaginoso** forma articulaciones como los discos intervertebrales.

## **Articulaciones Sinoviales**

Las **articulaciones sinoviales** presentan gran movilidad ya que contienen **líquido sinovial** en una cavidad que rodea los extremos de los huesos que se articulan. La mayoría de las articulaciones que unen los huesos del esqueleto apendicular son sinoviales, mientras que muchas de las articulaciones que unen los huesos del esqueleto axial no. Este patrón refleja la más grande movilidad del esqueleto apendicular comparado con el esqueleto axial.

Varias características de las articulaciones sinoviales son importantes para su funcionalidad (Figura 6-33). Las superficies articulares de los huesos dentro de las articulaciones sinoviales están recubiertas por una capa delgada de **cartílago articular** que provee una superficie lisa donde los huesos se encuentran. La **cavidad articular** o sinovial está rellena con líquido sinovial. La cavidad articular está confinada por **capsula articular**, la cual ayuda a sostener los huesos unidos y al mismo tiempo, posibilita la movilidad. Partes de la capsula articular pueden engrosarse para formar ligamentos. Además, los ligamentos y los tendones que están afuera de la capsula articular contribuyen a la fortaleza de la articulación.

La **membrana sinovial** cubre la cavidad articular en todas partes excepto sobre el cartílago articular. La membrana produce líquido sinovial, el cual es una mezcla compleja de polisacáridos, proteínas, grasa y células. El líquido sinovial forma una película lubricante delgada que cubre la superficie de la articulación. En ciertas articulaciones sinoviales, la membrana se extiende en forma de bolsa o saco, denominado **Bursa** (bolsa). Las bursas se sitúan entre las estructuras que se friccionan como cuando un tendón se cruza con un hueso; funcionan para reducir la fricción que puede dañar las estructuras involucradas. Con frecuencia la inflamación de una bursa que resulta de una abrasión, recibe el nombre de **bursitis**.



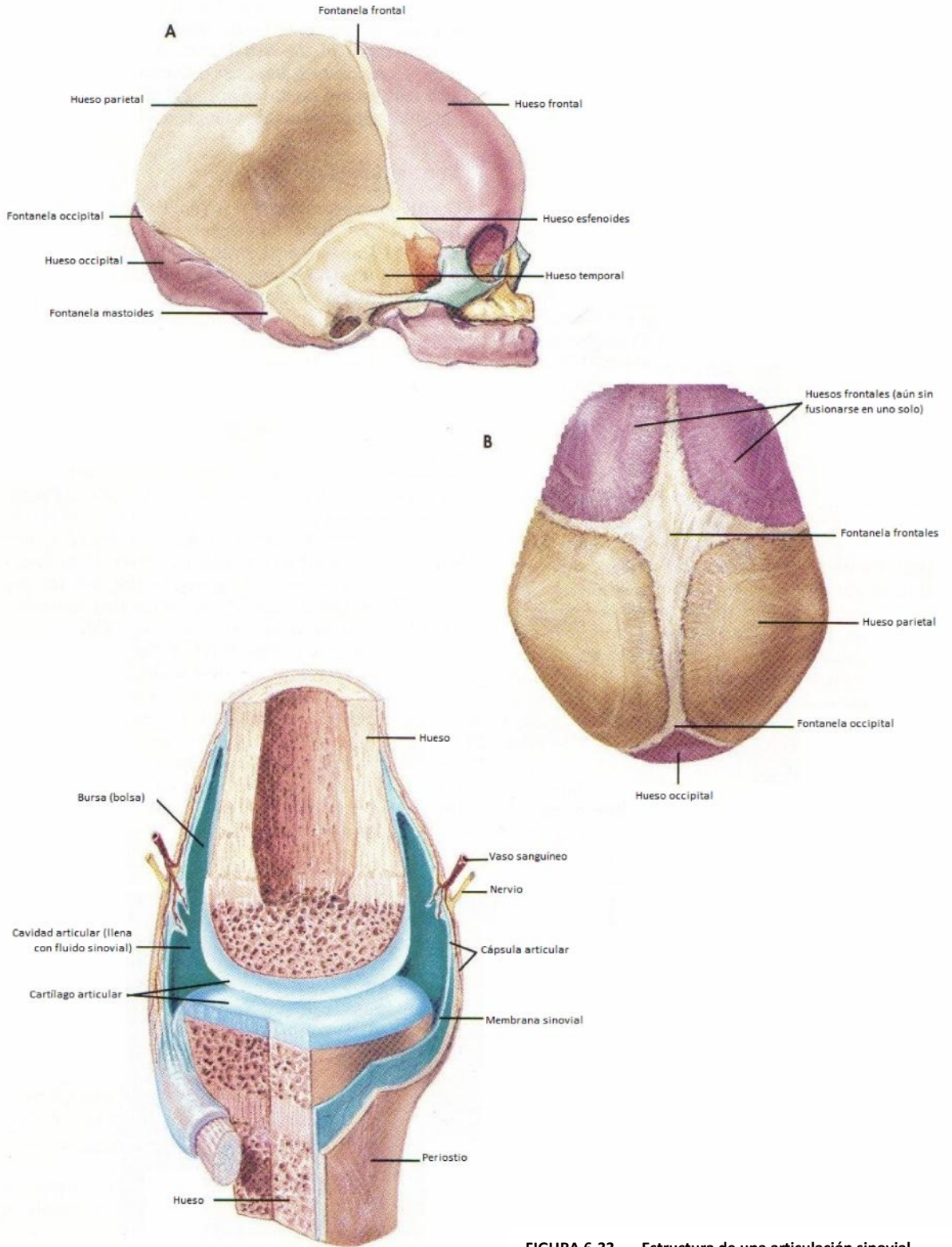


FIGURA 6-33 Estructura de una articulación sinovial

## Trastornos de las articulaciones

### Artritis

Uno de los trastornos más comunes, que afecta al 10% de la población mundial es la **artritis (Figura 6-C)**; que es la inflamación de una articulación. Existen más de 100 tipos de artritis las cuales difieren en sus causas y progreso. Entre las causa se incluyen agentes infecciosos, trastornos metabólicos, trauma y trastornos inmunológicos.

Proliferan para formar un **pannus** (capa parecida a tela) en la capsula articular, que puede crecer en la superficie de articulación de los huesos destruyendo el cartilago articular. En etapas avanzadas, los huesos que forman las articulaciones pueden fusionarse.

### Enfermedades articulares degenerativas

La **enfermedad articular degenerativa**, también conocida como **osteoartritis**, resulta del desgaste gradual por uso de la articulación con el envejecimiento. Con el envejecimiento el ritmo metabólico es más lento lo cual parece contribuir a esta enfermedad. Es muy común en personas mayores de 70 años y afecta al 85% de todas las personas en Estados Unidos.

Tiende a ocurrir en las articulaciones soportantes del peso tales como las rodillas y es más común en las personas con sobrepeso. Los ejercicios suaves retrasan la degeneración de la articulación y mejora la movilidad.

### Gota

La **gota** resulta del aumento de ácido úrico en el cuerpo. El ácido úrico es un producto de desecho que se acumula como cristal en varios

**Artritis reumatoide**, afecta alrededor del 3% de las mujeres y el 1% de los hombres en los Estados Unidos. Es un trastorno del tejido conectivo general que afecta la piel, los vasos sanguíneos, los pulmones y otros órganos; pero es más marcado en las articulaciones. Es severamente discapacitante y más comúnmente destruye las pequeñas articulaciones como las de las manos y tejidos incluyendo los riñones y las capsulas articulares. La gota es más común en los hombres que en las mujeres. Con frecuencia se afectan solo una o dos articulaciones. Las articulaciones mayormente afectadas (el 85% de los casos) son la base del dedo gordo del pie y otras articulaciones del pie y pierna. En última instancia cualquier articulación puede ser afectada, y en la mayoría de los casos más avanzados ocurre daño a los riñones ocurre por la formación del cristal.

### Bursitis y juanetes

La **bursitis** es la inflamación de una bursa. Las **bursas** que rodean los hombros y los codos son lugares comunes de bursitis. Un **juanete** es una bursitis que se desarrolla sobre la articulación en la base del dedo gordo del pie. Con frecuencia los juanetes se irritan por la fricción de los zapatos sobre ellos.

### Reemplazo de articulaciones

Como resultado de los últimos avances en la tecnología biomédica, ahora es posible reemplazar muchas de las articulaciones del cuerpo por articulaciones artificiales. El

**reemplazo de las articulaciones o**

**pies.** Se desconoce la causa inicial pero puede involucrar alguna infección pasajera o una enfermedad auto inmune (reacción inmunológica de los tejidos de cada uno). Además podría existir una predisposición genética. En la artritis reumatoide la membrana sinovial y las células asociadas del tejido conectivo se

**artroplastia** fue desarrollada a finales de los años cincuenta. Se utiliza en pacientes con trastornos articulatorios para eliminar el insoportable dolor y aumentar la movilidad. La enfermedad articular degenerativa es la principal enfermedad que requiere reemplazo articular, contabilizando las dos terceras partes de pacientes. La artritis reumatoide contabiliza más de la mitad de los casos restantes.

Normalmente las articulaciones artificiales están compuestas por metal (tales como acero inoxidable, aleaciones de titanio y de cobalto-cromo), en combinación con plásticos modernos (como polietileno de alta densidad, goma de silicona o elastómero) El hueso del área articular es removido en un lado ( **mi artroplastia**) o ambos lados (reemplazo total) de la articulación y la estructura articular artificial se inserta en el hueso. La superficie lisa del metal fricciona contra la superficie lisa del plástico proporcionando contacto de baja fricción con una serie de movimientos que depende del diseño.

A



B

FIGURA 6-C Artritis reumatoide

A Fotografía de manos con artritis reumatoide

B Ravos X de las mismas manos



## Tipos de articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales se clasifican de acuerdo a la forma de las superficies articulares contiguas (Figura 6-34). **Articulaciones planas, deslizantes o artrodias**, consisten en dos superficies planas opuestas que se deslizan una sobre la otra. Ejemplo de estas articulaciones son los procesos articulares entre las vértebras. La **articulación de silla de montar** consiste de dos superficies articuladas en forma de silla de montar orientadas en ángulo correcto entre sí. Los movimientos en estas articulaciones pueden ocurrir en dos planos. La articulación entre el metatarso y la falange del proximal del pulgar es una articulación de silla. Las **articulaciones trocleares o bisagras** permiten movimientos en un plano

solamente. Se caracteriza porque la cara cóncava de uno de los huesos se ajusta a la convexa del otro. Son ejemplos de estas las articulaciones del codo, rodilla y dedos de las manos (Figura 6-35, A). La superficie condilar plana de la articulación de la rodilla se modifica a una superficie cóncava a través de la almohadilla amortiguadora fibrocartilaginosa, denominada **menisco**. **Articulaciones trocoides** (de pivote) restringen el movimiento a la rotación alrededor de un solo eje. Cada articulación trocoide consiste de un proceso óseo cilíndrico que gira dentro de un anillo compuesto parcialmente hueso y parcialmente de ligamento.

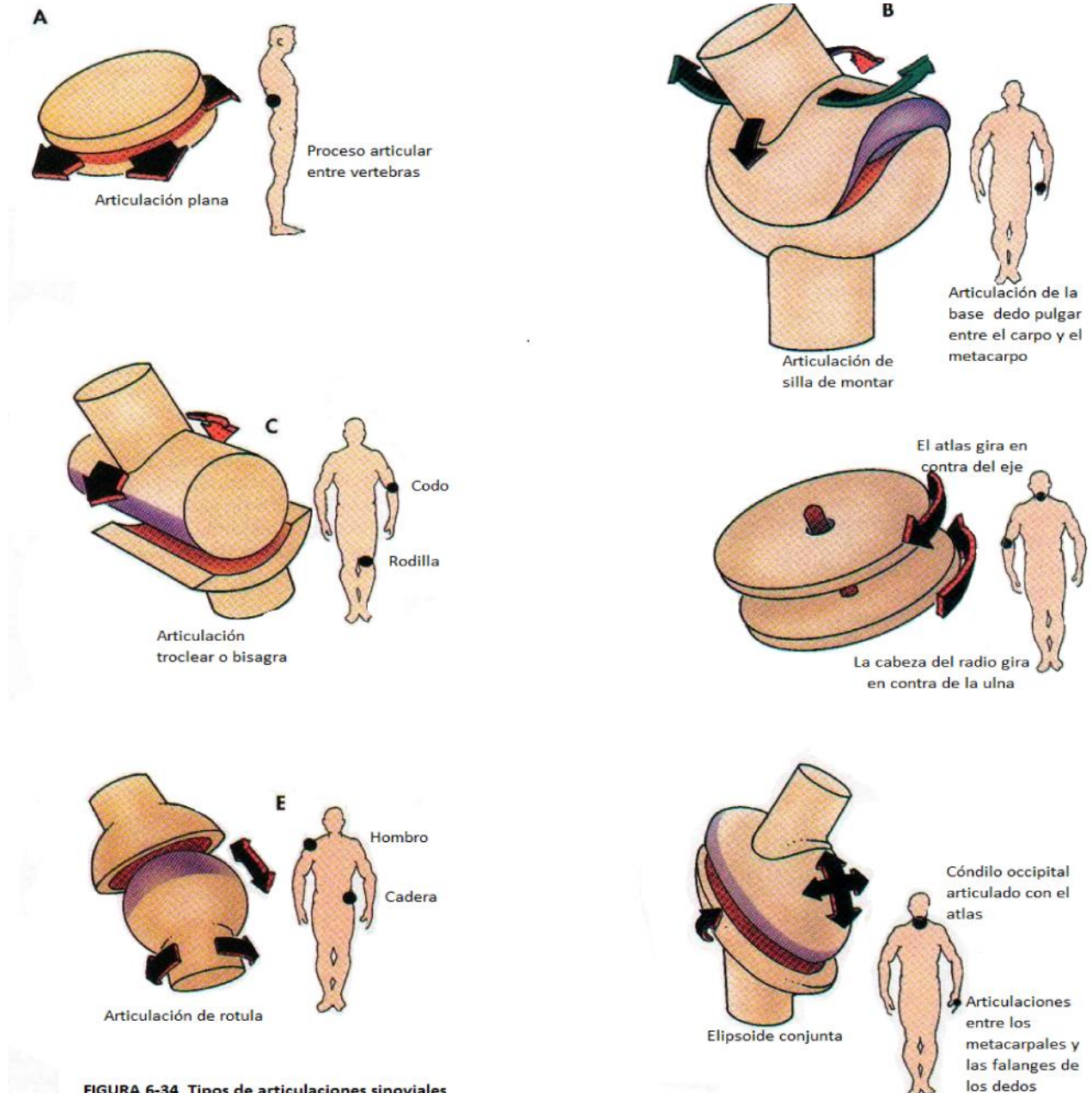


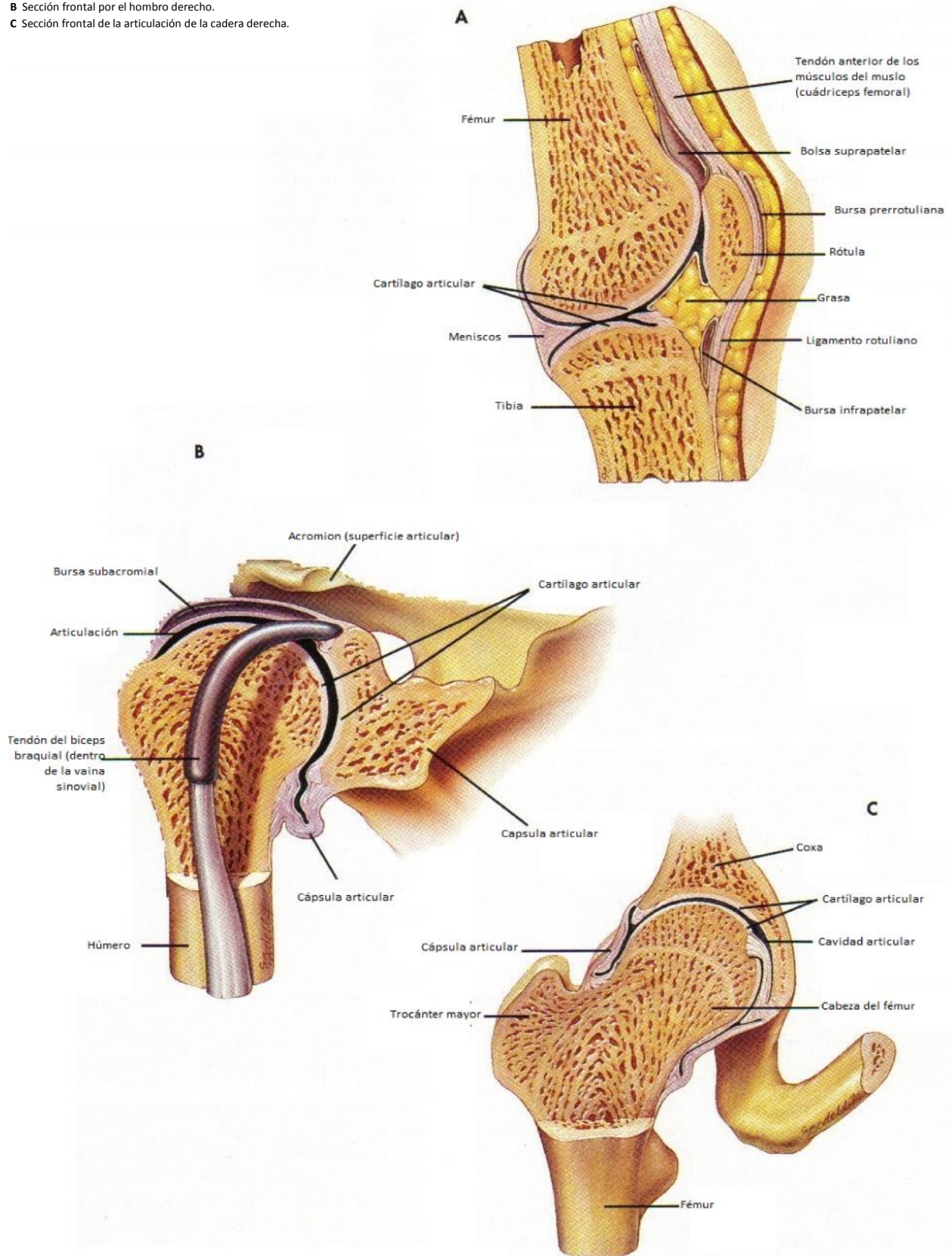
FIGURA 6-34 Tipos de articulaciones sinoviales

FIGURA 6-35 TRES ARTICULACIONES SELECCIONADAS

A Sección sagital de la articulación de la rodilla derecha.

B Sección frontal por el hombro derecho.

C Sección frontal de la articulación de la cadera derecha.



La rotación que ocurre entre el axis y el atlas cuando se dice “no” con un movimiento de la cabeza, es un ejemplo. La articulación entre los extremos proximales de la ulna y el radio también es una articulación trocoide.

**Articulaciones esféricas (enartrosis)** consiste en una cara articular esférica de un hueso que se acomoda en la en la concavidad del otro. Este tipo de articulación permite un amplio rango de movimientos en casi cualquier dirección. Son ejemplos las articulaciones del hombro y cadera. (Figura 6-35, B y C). **Articulaciones elipsoidales o condilares** son articulaciones esféricas alargadas. La forma de la articulación limita su rango de movimientos asemejando los movimientos de una bisagra, pero en dos planos. La articulación entre el cóndilo occipital del cráneo y el atlas de la columna vertebral y las articulaciones entre los metacarpianos y las falanges son ejemplos de articulaciones elipsoidales.

#### ¿SABIAS QUE?

**U**n esguince es el resultado de una separación enérgica de los huesos de una articulación y ligamentos a su alrededor se desgarran. Una distensión existe cuando los huesos continúan separados después de una lesión en una articulación. Una dislocación es cuando el extremo del hueso se extrae del hueco en una articulación esférica, elipsoidal o de pivote.

#### Tipos de movimientos

Los tipos de movimientos que ocurren en una articulación están relacionados a la estructura de esa articulación. Algunas articulaciones están limitadas a un solo tipo de movimiento, mientras otras tienen movilidad en muchas direcciones. Todos los movimientos se describen en relación a la posición anatómica. Debido a que la mayoría de movimientos están acompañados por movimientos en dirección opuesta, se enumeran en parejas (Figura 6-36).

**Flexión** mueve a una estructura en dirección anterior o ventral, y una **extensión** mueve una estructura en dirección posterior o dorsal (ver Figura 6-36 A y B). Para la rodilla o dorsal, la regla es inversa: la flexión mueve una estructura en la dirección posterior, y la extensión mueve una estructura en la dirección anterior. La flexión del pie por lo general recibe el nombre de **flexión plantar** y la extensión del pie de **dorsiflexión**; aunque los términos de flexión y extensión aún se utilizan para los movimientos de los dedos del pie.

El término flexión literalmente significa doblar y extensión significa enderezar. Estas definiciones literales son fáciles de entender cuando se aplican a las articulaciones en bisagra tales como el codo o rodilla, donde el movimiento se limita a simplemente doblar y enderezar. El concepto de disminución en el ángulo a través de una articulación durante la flexión y el aumento del ángulo durante la extensión también se

utilizan con frecuencia. La flexión del codo es doblar el codo, disminuyendo el ángulo entre el brazo y el antebrazo; la extensión endereza el codo aumentando el ángulo. Sin embargo, estas definiciones literales pueden ser confusas cuando se aplican a otras articulaciones que no realizan movimientos sencillos como doblar y enderezar. Por ejemplo, el húmero se puede mover anteriormente lejos de la posición anatómica, regresar a la posición anatómica y en una dirección posterior lejos de la posición anatómica. No está claro en esta serie de movimientos cuándo el hombro se dobla o se endereza. Además, en este caso, no es del todo claro en qué punto el ángulo puede medirse o cuando el ángulo disminuye o aumenta.

El uso de la regla de dirección anterior y posterior es mucho menos confuso para el hombro y la mayoría de otras articulaciones: la flexión del brazo es un movimiento en dirección anterior y la extensión es en dirección *posterior*.

#### ¿SABIAS QUE?

Hiperextensión, es una extensión anormal forzada de una articulación más allá de su rango de movimiento. Por ejemplo, si una persona se cae e intenta detenerse extendiendo su mano, la fuerza de la caída puede causar hiperextensión en la muñeca, lo cual puede causar un esguince o fractura en la muñeca.

El movimiento normal de una estructura posterior al plano coronal es denominado por algunas personas como hiperextensión y el término extensión se limita movimientos posteriores que terminan en la posición anatómica (neutral). Por ejemplo si la extremidad superior se flexiona en el hombro, algunas personas dirían que la extremidad regresa a su posición anatómica y luego se hiperextiende si se mueve es más posteriormente.

**Abducción** (separar) es el movimiento lejos de la línea media; **aducción** (reunir), es un movimiento hacia la línea media (ver figura 6-36, C). Desplazar las piernas lejos de la línea media del cuerpo como en el movimiento hacia fuera del “salto de marioneta”, es abducción y reunir nuevamente las piernas es aducción.

**Pronación y supinación** se describen mejor con el codo flexionado en un ángulo de 90 grados. Cuando el codo se flexiona, la pronación es la rotación del antebrazo, de manera que la palma quede hacia abajo y supinación es la rotación del antebrazo, de manera que la palma quede hacia arriba (ver la figura 6-36, D)



**FIGURA 6-36 Movimientos seleccionados**

**A** Flexión y extensión del codo

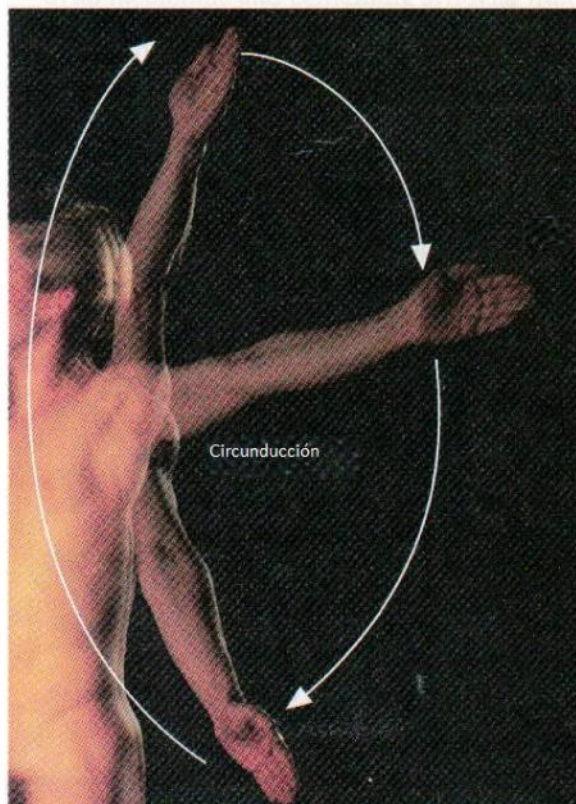
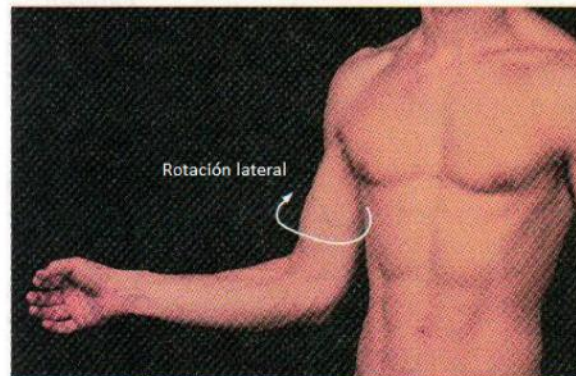
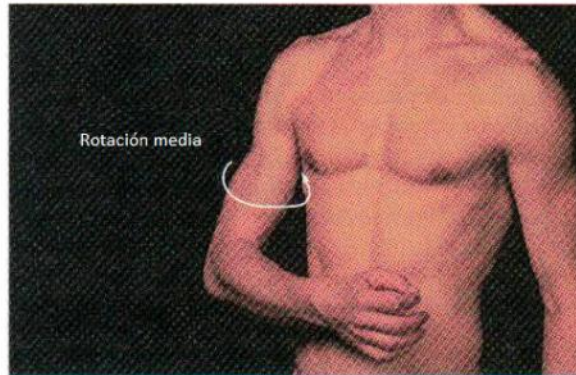
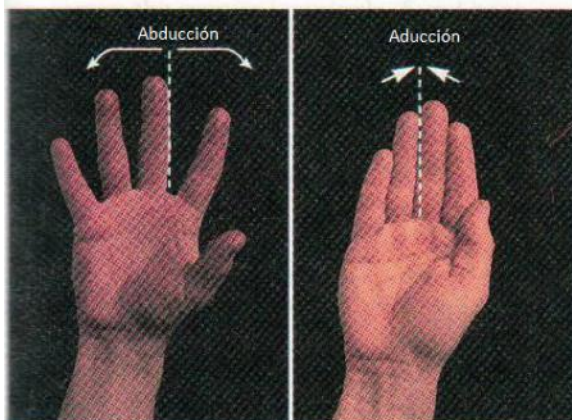
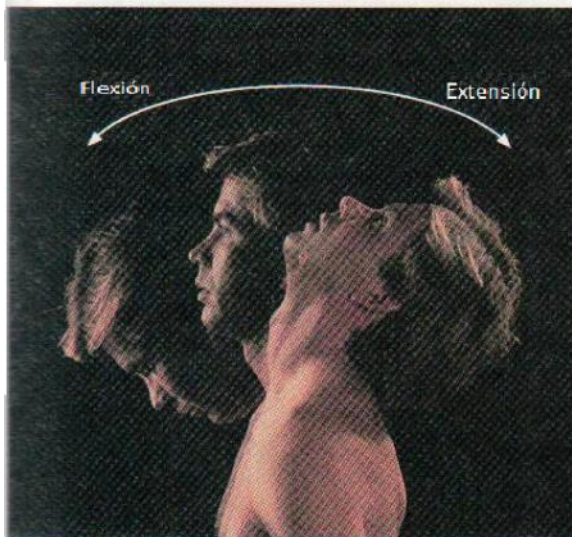
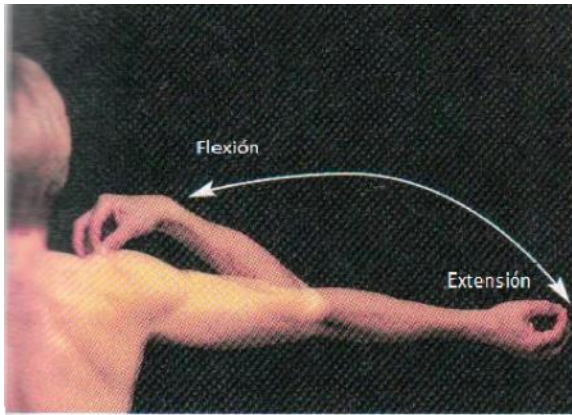
**B** Flexión y extensión del cuello

**C** Abducción y aducción de los dedos de las manos

**D** Pronación y supinación del antebrazo

**E** Rotación media y lateral del húmero.

**F** Circunducción del hombro



**Eversión** es girar el pie de modo que la superficie de la planta del pie se muestra de forma lateral, la **inversión** es girar el pie de modo que la superficie de la planta se muestre de forma media.

**Protracción** es un movimiento de una parte corporal como la mandíbula se desliza hacia delante. En **retracción** la parte corporal se desliza hacia atrás.

**Elevación** movimiento de una parte corporal hacia arriba. Cerrar la boca involucra la elevación de la mandíbula. **Depresión** movimiento de una parte corporal hacia abajo. Abrir la boca involucra la depresión de la mandíbula.

**Rotación** movimiento de una parte corporal a lo largo de su eje (observe figura 6-36, E) como sacudir la cabeza para indicar "no"

**Excursión** movimiento corporal de un lado hacia el otro, como el movimiento de un lado al otro de la mandíbula.

**Oposición** movimiento especial de pulgar y el meñique. Ocurre cuando las puntas del dedo pulgar y meñique se

llevan alrededor uno al otro a través de la palma de la mano. El pulgar también puede estar en posición opuesta a otros dedos. La **reposición** devuelve los dedos a la posición anatómica.

Circunducción se produce libremente en las articulaciones móviles, tales como el hombro. En la circunducción, se produce al moverse libremente de modo que se describe un cono con el hombro en el ápice. (Observe la figura 6-36, F)

La mayoría de movimientos se producen en el curso de actividades normales, ya que son combinaciones de movimientos. Un movimiento complejo puede describirse nombrando a los movimientos individuales involucrados.

#### PRONOSTICA

4 ¿Qué combinación de movimientos es necesaria en el hombro y el codo de una persona para llevar a cabo un golpe de rastreo en natación?



## R E S U M E N

El sistema óseo está compuesto por hueso, cartílago, tendones y ligamentos.

### TEJIDO CONJUNTIVO

- Tejido conjuntivo compuesto de matriz y células que producen la matriz.
- Diversa cantidad de colágeno, proteoglicanos y minerales en la matriz determinan las características del tejido conjuntivo.

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HUESO

- Los huesos largos constan de diáfisis (eje) epífisis (extremos) y la epífisis (crecimiento). La diáfisis contiene una cavidad medular

#### Hueso compacto

- El tejido del hueso compacto está compuesto por el sistema de Havers.

- Los sistemas de Havers están compuestos de osteocitos organizados en forma de laminillas que rodean los canales de Havers.

#### Hueso esponjoso

El tejido óseo esponjoso está formado por trabéculas sin canales de Havers.

#### Osificación Ósea

- La osificación ósea es bien o intramembranosa o endocondral.
- La osificación intramembranosa se produce dentro de las membranas del tejido conjuntivo.
- La osificación endocondral se produce dentro del cartílago.

#### Crecimiento óseo

- El crecimiento óseo puede ser oposicional (en la superficie existente del hueso) o endocondral (dentro del cartílago)

#### Remodelación ósea

- La remodelación ósea se produce al remover los osteoblastos del hueso viejo y la deposición del hueso nuevo a través de los osteoblastos.



#### Reparación ósea

- Durante la reparación ósea, las células se desplazan hacia el área dañada y forma un callo, el cual sustituido por el hueso

#### CONSIDERACIONES GENERALES DE LA ANATOMIA OSEA

- Existen 206 huesos

#### ESQUELETO AXIAL

- El esqueleto axial incluye el cráneo, columna vertebral y la caja torácica.

##### Cráneo

- El cráneo consta de 22 huesos (más 6 huesecillos del oído, haciendo un total de 28 huesos.) divididos entre la bóveda craneal y rostro.
- Los huesos parietales, temporales y esfenoides se pueden observar desde una vista lateral.
- Las cavidades orbitales y nasales se pueden observar desde una vista frontal, así como también los huesos relacionados con partes como el hueso frontal, hueso cigomático, maxila y mandíbula.
- El interior de la bóveda craneal consta de tres fosas con gran cantidad de agujeros (foraminas).
- La base del cráneo revela numerosos agujeros y otras estructuras como los procesos de inserción muscular.

##### Columna vertebral

- La columna vertebral consta de siete vertebrae cervicales, doce torácicas y cinco lumbares, más un hueso sacro y hueso del cóccix.
- Cada vertebra consta de un cuerpo, un arco y apófisis.
- Las diferencias regionales en la vértebra son las siguientes: la vértebra cervical posee orificios transversos; la vertebra torácica posee grandes apófisis espinosos, sitios de inserción en las costillas; la vértebra lumbar cuadros transversales y apófisis espinosos, el sacro es un solo hueso fusionado.

##### Caja torácica

- La caja torácica consta de la vertebra torácica, las costillas y el esternón.
- Existen doce pares de costillas: siete verdaderas y cinco falsas (dos de las costillas falsas reciben el nombre de costillas flotantes.)
- El esternón consta de mango o manubrio, cuerpo y apéndice xifoides.

#### ESQUELETO APENDICULAR

- El esqueleto apendicular constituido por los huesos de las extremidades superiores e inferiores y por el cinturón.

##### Cinturón pectoral

- El cinturón pectoral formado por la escapula o clavícula.

##### Extremidad/miembro superior

- La extremidad superior constituido por los huesos del brazo (húmero), antebrazo (ulna y radio), la muñeca (ocho huesos cárpales), la mano (cinco metacarpianos, tres falanges en cada dedo y dos falanges en el pulgar)

##### Cinturón pélvico

- El cinturón pélvico compuesto por el sacro y los dos huesos coxales. Cada hueso coxal consta de ilion o ingle, isquion o cadera y pubis.

##### Extremidad inferior

- La extremidad inferior formada por el muslo (fémur), pierna (tibia y fibula), tobillo (siete huesos del tarso) y el pie (metatarsianos y falanges similares a los huesos de la mano)

#### ARTICULACIONES

- Articulación se refiere al punto de contacto entre los huesos.

##### Articulaciones fibrosas

- Las articulaciones fibrosas formadas por huesos unidos a través de tejido conectivo fibroso. En estas articulaciones los movimientos son escasos o nulos.

##### Articulaciones cartilaginosas

- Las articulaciones cartilaginosas formados por huesos unidos a través de cartílago y muestran escasos movimientos.

##### Articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales son las que unen a los huesos a través de cartílago, una cavidad articular esta revestida por una membrana sinovial, que contiene liquido sinovial y una cápsula articular.





## REPASO DEL CONTENIDO

1. ¿Cuáles tejidos conectivos constituyen el sistema óseo? Enumera las funciones de estos tejidos.
2. Nombra los principales tipos de fibras y moléculas que se encuentran en la matriz extracelular del sistema óseo. ¿Cómo contribuyen a la función de los tendones, ligamentos, cartílagos y huesos?
3. Define los términos diáfisis, epífisis, placa del crecimiento, cavidad medular, periostio y endostio.
4. Describe la estructura del hueso compacto. ¿Cómo llegan a los nutrientes los osteocitos en el hueso compacto?
5. Describe la estructura del hueso poroso. ¿Cuáles son trabeculares?
6. Describe la osificación intramembranosa y endocondral.
7. ¿Cómo crece el hueso en anchura? ¿Cómo crece el hueso en longitud?
8. ¿Qué se lleva a cabo con la remodelación ósea? ¿Cómo se realiza la reparación ósea?
9. Defina el esqueleto axial y apendicular.
10. Menciona los huesos de la bóveda craneal y del rostro.
11. Escriba la ubicación de los senos para nasales. ¿Cuáles son sus funciones?
12. ¿Cuál es la función del paladar duro?
13. A través de cual agujero se conecta el cerebro con la medula espinal.
14. ¿Cómo la vertebra protege la medula espinal? ¿De dónde salen los nervios espinales de la columna vertebral?
15. Menciona y da el numero de cada tipo de vertebra. Describe las características que diferencian los tipos de vertebra.
16. ¿Cuál es la función de la caja torácica? Menciona las partes del esternón. Distingue las costillas falsas, verdaderas y flotantes.
17. Menciona los huesos que constituyen el cinturón pectoral, el brazo, antebrazo, muñeca y mano. ¿Cuántas falanges tiene cada dedo y en el pulgar?
18. Defina pelvis. ¿Qué huesos se fusionan para formar el hueso coxal? ¿Dónde y con qué huesos se articulan los coxales?
19. Menciona los huesos del muslo, pierna, tobillo y pie.
20. Defina el término de articulación. Menciona y describa las diferencias entre las tres principales clases de articulaciones.
21. Describa la estructura de la articulación sinovial. ¿Cómo funciona cada una de las partes de la articulación para permitir el movimiento?
22. ¿Cuáles son los fundamentos por los que se clasifican las articulaciones sinoviales? Describa los diferentes tipos de articulaciones sinoviales y ofrece ejemplos de cada una. ¿Qué movimientos permite cada una de ellas?
23. Describa y da ejemplos de flexión/extensión, abducción/aducción y supinación/pronación.



## REPASO DE CONCEPTOS

1. Un niño de doce años sufrió una caída mientras jugaba basquetbol. El doctor explico que la cabeza (epífisis) del fémur estaba separada del eje (diáfisis). Aunque el hueso estaba en el lugar correcto cuando el joven tenía 16 años, era evidente que la extremidad inferior lesionada era más pequeña de lo normal. Explica ¿Por qué ocurre esta diferencia?
2. Justin Time salto de la habitación en un hotel para evitar morir quemado en un incendio. Si él cayó sobre sus talones, ¿Qué hueso probablemente se uro? Desafortunadamente para Justin, Hefty Stomper un bombero de 240 libras, corrió y piso fuertemente la parte distal de su pie. (no los dedos del pie) ¿Qué huesos podrían estar fracturados ahora?
3. Un día mientras compraba una oferta, la señora A. cogió a su hijo de tres años, lo tomo por su muñeca derecha y lo levanto en un carrito de compras. Escucho un chasquido y casi de inmediato el niño comenzó a llorar sosteniéndose su codo. Dado que el levantamiento del niño causo una separación en el codo. Que es más probable: la separación del radio y del humero o la separación de la ulna y el humero.
4. ¿Por qué las mujeres son comúnmente más patizambos que los hombres?



## CONSEJOS PARA RESPONDER PREGUNTAS

**1** Si se eliminaran todos los minerales, el hueso sería tan flexible que puede ser atado a un nudo. Esto puede lograrse al remojar un hueso en vinagre durante un periodo prolongado. El hueso sería tan débil que no podría soportar el peso.

Si se removiera todo el colágeno de los huesos se volverían muy frágiles y se rompen fácilmente. Debido a la pérdida de colágeno, huesos de muchas personas mayores se rompen fácilmente.

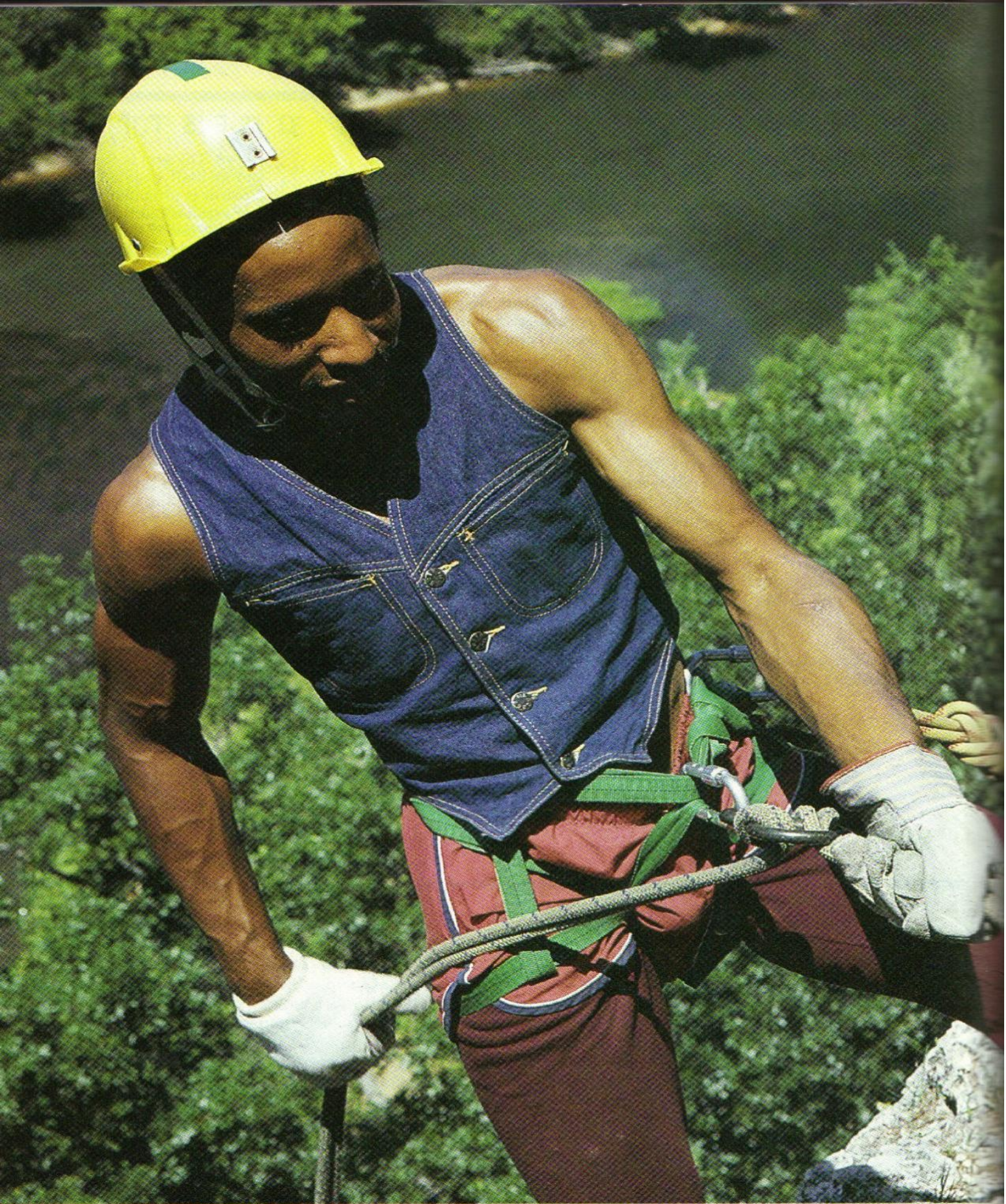
**2** p.118 Si el crecimiento del hueso endocondral no sucede, el hueso tener un diámetro normal (o incluso

mayor en diámetro que el normal), pero mucho más corta que el normal. Este trastorno que se observa en un tipo de enanismo, en el cual la cabeza y el tronco tienen un tamaño normal, pero la longitud de los huesos de las extremidades son pequeñas.

**3** Las lágrimas se producen en las glándulas lagrimales en esquina superior de la órbita. Las lágrimas se desplazan por la superficie del ojo y entran al conducto que pasa a través del canal naso lagrimal a la cavidad nasal. La humedad adicional en la cavidad nasal provoca un goteo nasal.

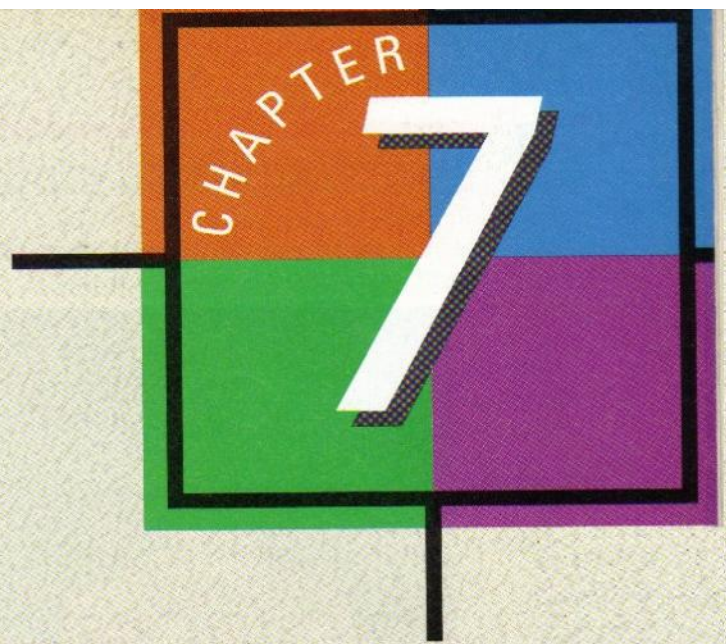
**4** p. 148 El brazo es primero flexionado y rotado medialmente y el antebrazo es pronado así como el nadador llega a empezar el trazo. Luego, el brazo se extiende con fuerza, durante el tiempo de recuperación, el brazo posee movimiento en circunducción y gira lateralmente preparándose para el siguiente golpe.







# EL SISTEMA MUSCULAR



Después de leer este capítulo usted será capaz de:

1. Describir la estructura microscópica de un músculo y elaborar un diagrama que ilustre la disposición de los miofilamentos, miofibrillas y sarcómeros.
2. Describir los eventos que dan lugar a la contracción y relajación muscular en respuesta a una acción potencial en una neurona motora.
3. Distinguir entre la contracción de los músculos aeróbicos y anaeróbicos.
4. Distinguir entre músculos de contracción rápida y lenta y explicar la función para la cual se adapta mejor cada uno.
5. Distinguir entre el músculo esquelético, liso y cardiaco.
6. Definir los siguientes términos y ofrecer ejemplos de cada uno: origen, inserción, sinergista, antagonista y generador de fuerza motriz.
7. Describir varias expresiones faciales y enumerar los músculos que las producen.
8. Describir la masticación, el movimiento de la lengua, proceso de deglución y enumerar los músculos o grupos de músculos que están involucrados en cada uno de ellos.
9. Describir los músculos del tronco y las acciones que llevan a cabo.
10. Describir los movimientos del brazo, antebrazo y mano enumerando los grupos de músculos que están involucrados en cada movimiento.
11. Describir los movimientos del muslo, pierna y pie enumerando los grupos de músculos involucrados en cada movimiento.

## **Aeróbica**

Metabolismo, en presencia de oxígeno.

## **Anaeróbica**

Metabolismo en ausencia de oxígeno.

## **Antagonista**

Musculo que funciona en oposición a otro musculo.

## **Inserción**

El punto de sujeción más movible de un músculo.

## **Contracción isométrica**

Contracción muscular en la cual la longitud del musculo no cambia, pero aumenta la cantidad de tensión.

## **Contracción isotónica**

La contracción muscular en la cual la cantidad de tensión es constante y el musculo se acorta.

## **Unidad motora**

Una solo neurona motora y todas las fibras del musculo esquelético que se inervan.

## **Contracción muscular**

La contracción de un musculo entero en respuesta a un estímulo que produce una acción potencial en una o más fibras del musculo.

## **Miofibrilla**

Una fibrilla fina longitudinal del músculo esquelético, que consta de sarcómeros y

## **Miofilamento**

Un hilo de ultramicroscópico de proteínas que ayuda a formar miofibrillas en el músculo del esqueleto. Los miofilamentos delgados están compuestos de actina y los gruesos de miosina.

## **Unión neuromuscular**

La unión sináptica entre un nervio axón y una fibra muscular.

## **Origen**

El punto de sujeción de menos movilidad de un musculo.

## **Deuda de oxígeno**

La cantidad de oxígeno necesario para convertir el ácido láctico producido durante la respiración anaeróbica para reabastecer las reservas de glucosa y reabastecer las reservas de fosfato de creatinina.

## **Sarcómero**

Parte de la miofibrilla formada de miofilamentos de actina y miosina, que se extiende de línea Z a línea Z; la unidad estructural y funcional de un musculo.

## **Mecanismo de deslizamiento de filamentos**

El mecanismo a través del cual se produce la contracción muscular donde los filamentos de actina y miosina se deslizan uno sobre otro.

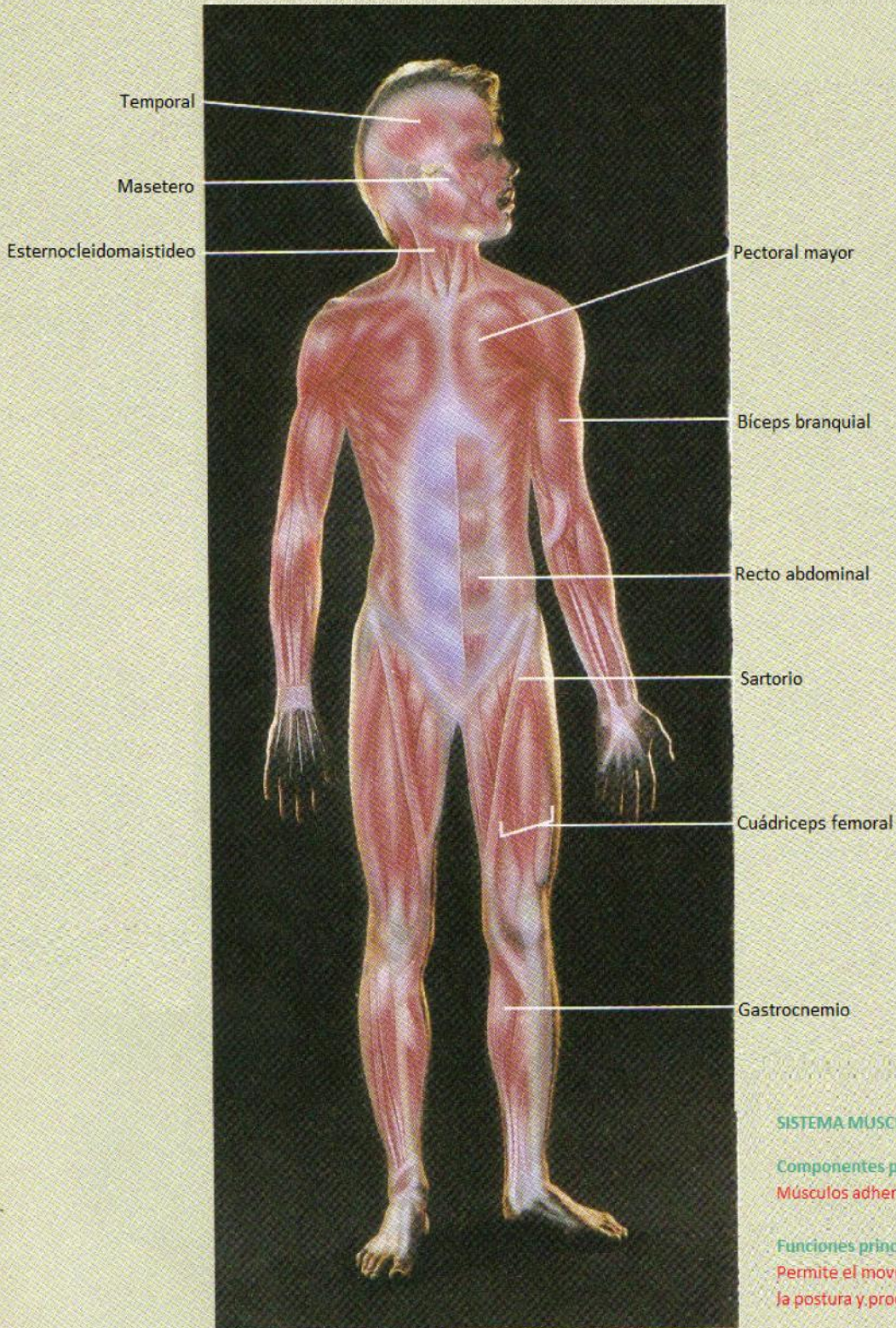
## **Sinergista**

Un musculo que trabaja con otro para producir un movimiento.





# ESTRUCTURA Y FUNCION DEL SISTEMA MUSCULAR



## SISTEMA MUSCULAR

### Componentes principales

Músculos adheridos al esqueleto

### Funciones principales

Permite el movimiento del cuerpo, mantiene la postura y produce el calor del cuerpo

FIGURA 7-1 El sistema muscular



**C** así todos los movimientos, desde los latidos del corazón hasta correr una maratón, resultan de la contracción muscular. Como se describe en el capítulo 4, hay tres tipos de tejido muscular: esquelético, cardíaco y liso. Este capítulo trata fundamentalmente sobre la estructura y función del músculo esquelético; el músculo cardíaco y liso se describe de forma breve. La mayoría de los músculos esqueléticos están unidos a los huesos. Generalmente bajo control consciente y son los responsables de la mayoría de los movimientos del cuerpo. (Figura 7-1)

## CARACTERÍSTICAS DEL MUSCULO ESQUELETICO

Musculo esquelético, con sus tejidos conectivos asociados, comprende aproximadamente el 40% del peso del cuerpo.

El musculo esquelético recibe este nombre ya que la mayoría de músculos están adheridos al sistema esquelético. También se conoce como **músculo estriado** debido a las bandas transversales o estrías que se pueden ver en el musculo bajo el microscopio. Es responsable de la locomoción, expresiones faciales, postura y otros movimientos del cuerpo. Además de estas características el metabolismo que se produce en la enorme masa de tejidos musculares genera calor corporal esencial para mantener la temperatura normal del cuerpo.

El musculo esquelético posee cuatro características funcionales principales: la contractilidad, excitabilidad, la extensibilidad y la elasticidad. **Contractilidad** es la capacidad del musculo esquelético de acortarse con la fuerza. Cuando el musculo esquelético se contrae produce el movimiento de las estructuras a las que está sujeto. Aunque los músculos esqueléticos se acortan con energía durante la contracción, se alargan de forma pasiva, es decir, ya sea por la gravedad o por la contracción de un musculo opuesto que produce una fuerza que tira del musculo acortado, haciendo que se alargue. **Excitabilidad** es la capacidad del musculo esquelético de responder a un estímulo. Normalmente el musculo esquelético se contrae como resultado de la estimulación de los nervios. **Extensibilidad** significa que el musculo esquelético puede estirarse. Después de una contracción, los músculos esqueléticos se pueden estirar a su longitud normal de reposo y más allá de un grado limitado. **Elasticidad** es la capacidad de los músculos esqueléticos de retraerse a su longitud original de reposo después de que se han estirado.

### Estructura

Cada musculo esquelético (figura 7-2, A) está rodeado por una vaina de tejido conectivo, llamado **epimisio**, (figura 7-2, B). Otra capa de tejido conectivo, llamada **fascia** ubicada en el exterior del epimisio, también rodea y separa a los músculos. Un musculo está compuesto de numerosos manojos visibles llamados **fascículo muscular**, que están rodeados por tejido conectivo suelto llamado **perimisio**.

Cada fascículo está compuesto de células musculares llamadas fibras. Cada fibra muscular es una célula cilíndrica única que contiene varios núcleos situados en la periferia de la fibra muscular. Cada fibra muscular está rodeada por una vaina de tejido conectivo extracelular llamado **endomesio**.

El citoplasma de cada fibra muscular, llamado **sarcoplasma** (sarco significa musculo), contiene numerosas **miofibrillas** (Figura 7-2, C). Cada miofibrilla es una estructura filiforme que se extiende desde un extremo de la fibra muscular al otro. Miofibrillas constan de dos tipos principales de fibras de proteína: miofilamentos de actina y miosina (figura 7-2, D). **Miofilamentos de actina**, o miofilamentos delgados, se asemejan a dos diminutas cadenas de perlas entrelazadas. **Moléculas de troponina** se adjuntan a intervalos específicos a lo largo de los miofilamentos de actina y proporcionar sitios de unión de calcio en el miofilamento de actina. **Filamentos tropomiosina** se encuentran a lo largo del surco entre los hilos retorcidos de subunidades de miofilamentos de actina. Estos filamentos se exponen a puntos de fijación en el miofilamentos de actina, cuando el calcio está unido a la troponina, y que cubren los sitios de fijación de miofilamentos de actina cuando el calcio no está unido a la troponina. **Miofilamentos de miosina** o filamentos gruesos, se asemejan a manojos de diminutos palos de golf. La parte de la molécula de miosina que se asemeja a la cabeza del palo de golf puede unirse a los sitios de fijación expuestos en los miofilamentos de actina.

Los miofilamentos de actina y miosina se organizan en unidades repetidas ordenadas a lo largo de las miofibrillas llamadas **sarcómero** (ver Figura 7-2, C y D). El sarcómero es la unidad básica estructural y funcional del músculo esquelético, ya que es la porción más pequeña del músculo esquelético capaz de producir contracción. Cada sarcómero se extiende desde una línea Z a otra línea Z. Cada **línea Z** es una red de fibras de proteínas que forman un sitio de conexión para los miofilamentos de actina. La disposición de los miofilamentos de actina y miosina le da a la miofibrilla una apariencia de bandas. Una **banda I**, que se compone sólo de miofilamentos de actina, cruza cada línea Z y termina en los miofilamentos de miosina. Una parte oscura, en la región central de cada sarcómero, llamado una **banda A**, abarca la longitud de los miofilamentos de miosina. Los miofilamentos de actina y miosina se superponen a cierta distancia en ambos extremos de la banda A. En el centro de cada sarcómero está una segunda zona clara, llamada zona H, que consta sólo de filamentos de miosina.

Los filamentos de miosina están anclados en el centro del sarcómero en una banda de coloración oscura, llamada la **línea M**. Las bandas I y las bandas A alternas de los sarcómeros son responsables de las estrías vistas en las fibras musculares esqueléticas observadas a través del microscopio (fig. 7-3).

La membrana celular de la fibra muscular se denomina **sarcolema** (ver Figura 7-2, C).



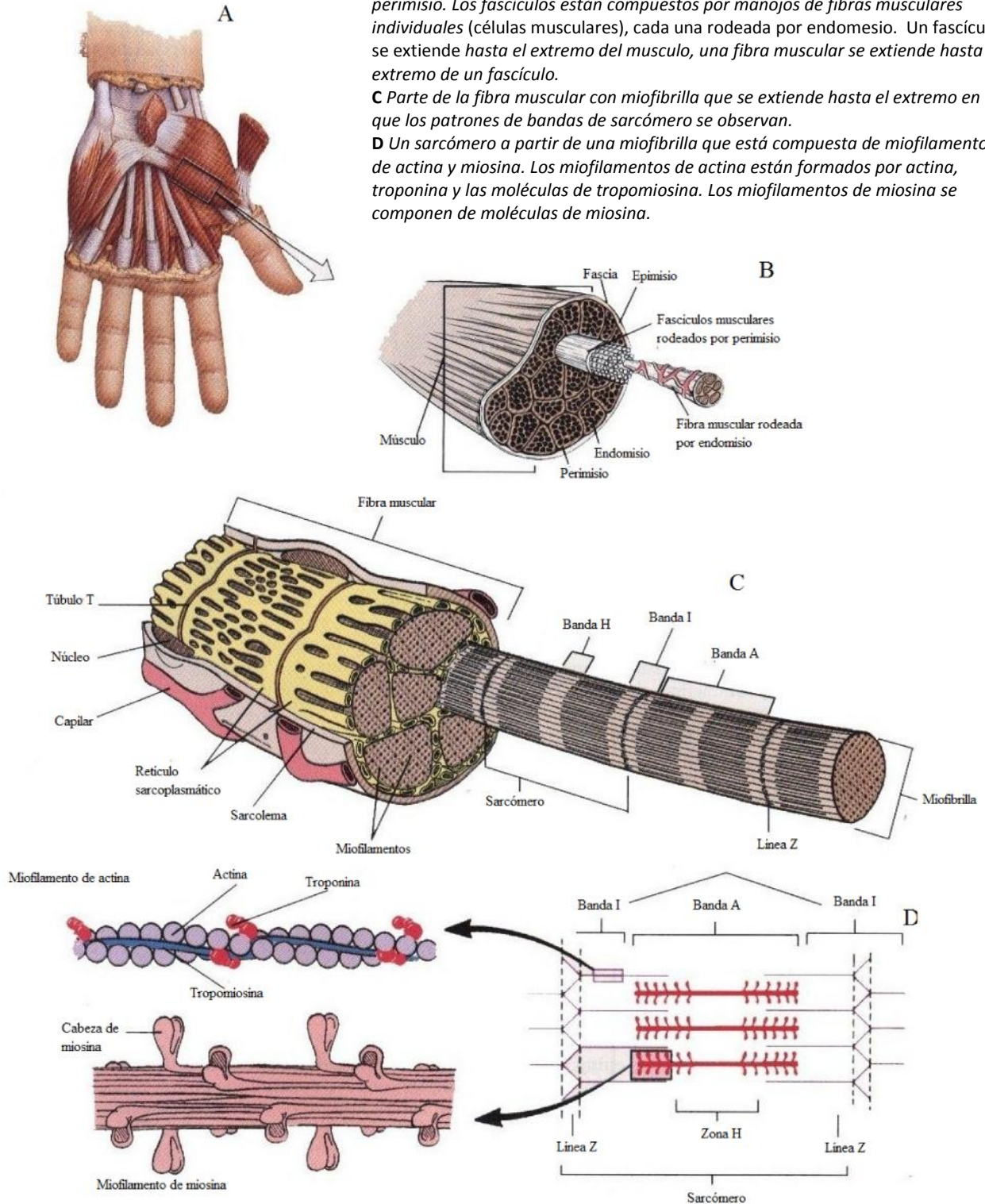
**FIGURA 7-2 Partes de un músculo**

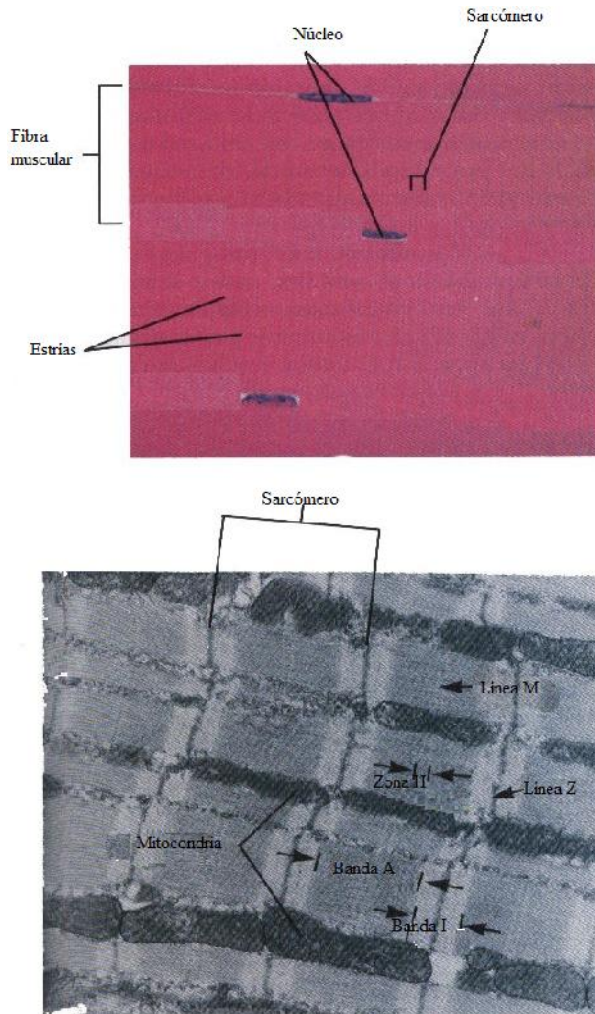
**A** La mano, muestra algunos de los músculos de la mano.

**B** Ampliación de un músculo de la mano (rodeado por fascia y epimisio). Un músculo está compuesto de un fascículo muscular, cada uno rodeado por perimisio. Los fascículos están compuestos por manojos de fibras musculares individuales (células musculares), cada una rodeada por endomisio. Un fascículo se extiende hasta el extremo del músculo, una fibra muscular se extiende hasta el extremo de un fascículo.

**C** Parte de la fibra muscular con miofibrilla que se extiende hasta el extremo en las que los patrones de bandas de sarcómero se observan.

**D** Un sarcómero a partir de una miofibrilla que está compuesta de miofilamentos de actina y miosina. Los miofilamentos de actina están formados por actina, troponina y las moléculas de tropomiosina. Los miofilamentos de miosina se componen de moléculas de miosina.





**FIGURA 7-3 Músculo esquelético**

*A* microscopía óptica que muestra las estrías en cada fibra muscular.

*B* Micrografía electrónica de músculo esquelético. Varios sarcómeros se muestran en la fibra muscular.

Múltiples núcleos de la fibra muscular se encuentran justo por debajo del sarcolema. El sarcolema tiene a lo largo de su superficie muchas invaginaciones tubulares denominadas transversas, o túbulos t, que se encuentran a intervalos regulares a lo largo de la fibra muscular y se envuelven alrededor sarcómero donde coinciden los miofilamentos de actina y miosina. Los túbulos-T se relacionan con un retículo muy organizado, endoplásmico suave llamado **retículo sarcoplásmico**. Túbulos T funcionan como relevos entre el sarcolema y el retículo sarcoplásmico tiene una concentración relativamente alta de iones de calcio, que desempeñan un papel importante en el fomento de la concentración muscular.

## Los potenciales de membrana

El exterior de la membrana de la célula está cargado positivamente, en comparación con el interior de la membrana de la célula. La diferencia de carga, llamada **potencial de la membrana en reposo**, se desarrolla por dos razones: (1) La concentración de iones de potasio en el interior de la membrana celular, es más alta que en el exterior de la membrana celular (2) la membrana celular es más permeable a los iones de potasio que a otros iones incluyendo los iones de carga negativa que se encuentran dentro de la célula.

Pocos iones de potasio son capaces de difundirse abajo de su gradiente de concentración desde el interior hacia las afueras de la membrana celular, debido a que la membrana celular es poco permeable a los iones de potasio. Los iones con carga negativa no se pueden difundir a través de la membrana celular con los iones de potasio porque la membrana es menos permeable a los iones de carga negativa. Debido a que los iones de potasio son de carga positiva, su movimiento desde el interior de la célula hace que el exterior de la membrana celular se cargue positivamente, en comparación con el interior de la membrana.

Los iones de potasio solo se difunden abajo de su gradiente de concentración hasta que la diferencia de carga a través de la membrana celular sea suficientemente grande para evitar cualquier difusión adicional de iones de potasio fuera de la célula. El potencial de la membrana en reposo está en equilibrio debido a que la tendencia de los iones de potasio para que se difundan fuera de la célula es contrarrestada por la carga negativa dentro de la célula, lo que tiende a atraer los iones de potasio con carga positiva al interior de la célula nuevamente.

Cuando se estimula una célula muscular o célula nerviosa, la membrana se vuelve muy permeable a los iones de sodio durante un breve período de tiempo. La concentración de iones de sodio es mucho mayor fuera de la célula que dentro de la célula. Unos pocos iones de sodio cargados positivamente se difunden rápidamente a través de la membrana de la célula al interior de la célula, causando que el interior de la membrana de la célula se vuelva más positivo. Este cambio se llama **despolarización**. Entonces la membrana celular rápidamente se vuelve menos permeable a los iones de sodio, y aumenta la permeabilidad de la membrana a los iones de potasio por un breve tiempo, permitiendo que unos pocos iones de potasio se difundan fuera de la célula. Estos cambios hacen que la carga a través de la membrana de la célula regrese a su estado de reposo. El cambio de nuevo al potencial de membrana en reposo se llama la **repolarización**. La despolarización y repolarización rápida de la membrana celular se llama un **potencial de acción**. En una fibra muscular, una potencial de acción tiene como resultado una contracción muscular.

Una bomba de transporte activo transporta iones de potasio desde el exterior de la célula al interior y transporta iones de sodio del interior de la célula al exterior. El transporte activo de los iones de potasio y sodio no está involucrado en el establecimiento de un potencial de acción, pero restablece las concentraciones de reposo normales de los



Iones a ambos lados de la membrana celular.

## Inervación

Las **neuronas motoras** son células nerviosas que transmiten los potenciales de acción a las fibras musculares esqueléticas. Los axones de estas neuronas ingresan en los músculos y envían ramificaciones a varias fibras musculares. Cada ramificación forma una unión con una fibra muscular, llamada **unión neuromuscular** o **sinapsis**. El término sinapsis es un término más general; se refiere a la unión célula a célula entre una célula nerviosa y otra célula nerviosa o una célula efectora tal como un músculo o una célula de la glándula. Las uniones neuromusculares se encuentran cerca del centro de una fibra muscular. (Figura 7-4). Una sola neurona motora y todas las fibras del músculo esquelético que se inervan se denominan **unidad motora** muchas unidades motoras forman un solo músculo. La fuerza de una contracción muscular dada está determinada por el número de unidades motoras que se contraen en el músculo.

Una unión neuromuscular está formada por una terminal de un axón agrandado en reposo en una hendidura de la membrana de la célula muscular. La terminal del axón

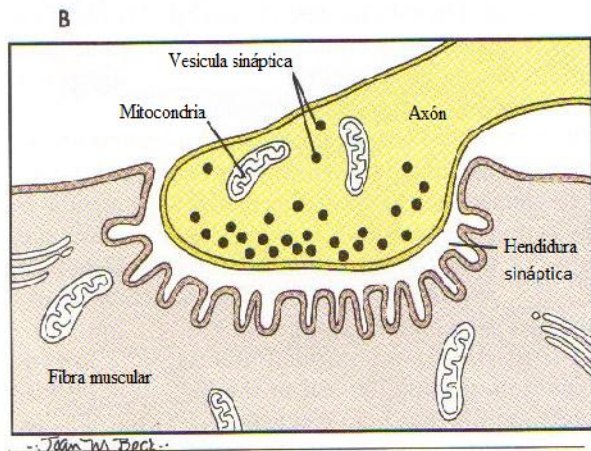
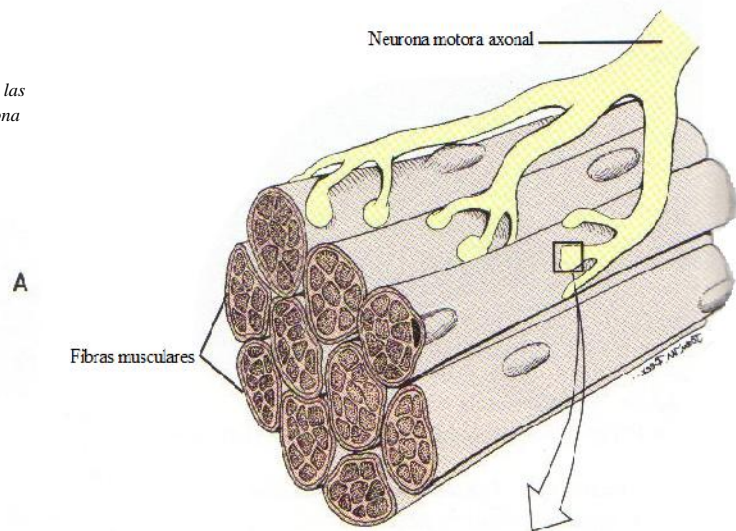
agrandado es la **terminal pre sináptica**, el espacio entre la terminal pre sináptica y la fibra muscular se denomina **hendidura sináptica** y la membrana de la fibra muscular es la **membrana pos sináptica**. Cada terminal pre sináptica contiene pequeñas vesículas, denominadas **vesículas sinápticas**. Estas vesículas contienen **acetilcolina**, que funcionan como un **neurotransmisor**.

Cuando un potencial de acción llega a la terminal presináptica, hace que las vesículas sinápticas liberen acetilcolina a la hendidura sináptica por exocitosis. La acetilcolina se difunde a través de la hendidura sináptica y une las moléculas receptoras en la membrana de la célula muscular. La combinación de la acetilcolina con su receptor produce un aumento en la permeabilidad de la membrana celular a los iones de sodio.

**FIGURA 7-4 Inervación de una unidad motora y fibra muscular**

**A** Una unidad motora son todas las ramificaciones de un solo axón y las fibras musculares que se inervan. En este caso, el axón de una neurona motora se ramifica para hacer sinapsis en tres fibras musculares. Se incluyen otras fibras para mostrar el contexto.

**B** Una sección transversal extendida de una unión neuromuscular





El flujo resultante de iones de sodio en la fibra muscular inicia un potencial de acción en la fibra muscular, lo que hace que se contraiga. La acetilcolina liberada en la hendidura sináptica entre las neuronas y fibra muscular es descompuesta rápidamente por una enzima, la **acetilcolinesterasa**. Esta descomposición enzimática asegura que un potencial de acción en la neurona produzca solo un potencial de acción en las fibras del músculo esquelético de esa unidad motora, y sólo una contracción de cada fibra muscular.

#### ¿SABIAS QUE?

Cualquier cosa que afecta a la producción, liberación, o la degradación de la acetilcolina o su capacidad de unirse a receptores en la membrana celular del músculo también afecta a la transmisión de potenciales de acción a través de la unión neuromuscular. Algunos insecticidas se unen a e inhiben la acetilcolinesterasa. En consecuencia, la acetilcolina se acumula en la hendidura sináptica y actúa como un estímulo constante para la fibra muscular. Los insectos mueren, en parte debido a que sus músculos se contraen y no se pueden relajar. Otros venenos como el **curare** se unen a los receptores de acetilcolina en la membrana celular del músculo y evitan que la acetilcolina se una a ellos. Por lo tanto las fibras musculares no pueden ser estimuladas por la acetilcolina y no se contraen resultando en parálisis

#### Contracción Muscular

La contracción muscular se produce cuando la actina y los miofilamentos de miosina se deslizan uno sobre otro, acortando los sarcómeros lo cual hace que los músculos se acorten. El deslizamiento de los miofilamentos de actina sobre los miofilamentos de miosina durante la contracción recibe el nombre de **mecanismo de deslizamiento de los filamentos** de la contracción muscular. Las zonas H y bandas I se acortan durante la contracción, pero las bandas A no cambian en longitud (figura 7-5).

Los potenciales de acción producidos en las fibras musculares esqueléticas se desplazan a lo largo del sarcolema y los túbulos T. Los potenciales de acción hacen que las membranas del retículo sarcoplásmico sean más permeables a los iones de calcio, y a que los iones de calcio se difundan en el sarcoplasma. Los iones de calcio se unen a las moléculas de troponina adheridas a los miofilamentos de actina (figura 7-6, B). Esta unión hace que los filamentos de tropomiosina se muevan, exponiéndose sitios de adhesión en los miofilamentos de actina. (Figura 7-6, C).

La energía para la contracción muscular se suministra a los músculos en forma de trifosfato de adenosina (ATP), una molécula de alta energía producida a partir de la energía que se libera durante el

metabolismo de los alimentos (ver capítulo 17). El ATP se une la cabeza de la molécula de miosina (ver figura 7-6, B). El ATP se descompone luego a adenosina difosfato (ADP) y fosfato (P), y parte de la energía de la molécula de ATP se almacena en la cabeza de la molécula de miosina. Los sitios de fijación expuestos en el miofilamento de actina se unen a las cabezas de los miofilamentos de miosina para formar **puentes de cruce** entre los miofilamentos de actina y de miosina (ver Figura 7-6, C). Las cabezas de los miofilamentos de miosina entonces se doblan hacia el centro del sarcómero, obligando a los miofilamentos de actina a deslizarse sobre la superficie de los miofilamentos de miosina (figura 7-6, D). Cuando una nueva molécula de ATP se adhiere a la cabeza de la molécula de miosina, el puente de cruce es liberado y la cabeza de miosina es restablecida a su posición original, donde se puede adherir a la subunidad de actina siguiente (Figura 7-6, E). Mientras el calcio permanezca unido a la troponina y mientras el TP siga estando disponible, el ciclo de formación de puente de cruce, el movimiento, y la liberación se repiten (tabla 7-1). Cuando el ATP no está disponible después de que una persona muere, los puentes de cruce que se han formado no se liberan, provocando que los músculos se vuelvan rígidos. Esta condición se llama **rigor mortis**.

Parte de la energía del ATP involucrada en la contracción muscular es necesaria para la formación y el movimiento de los puentes de cruce, y una parte se libera en forma de calor.

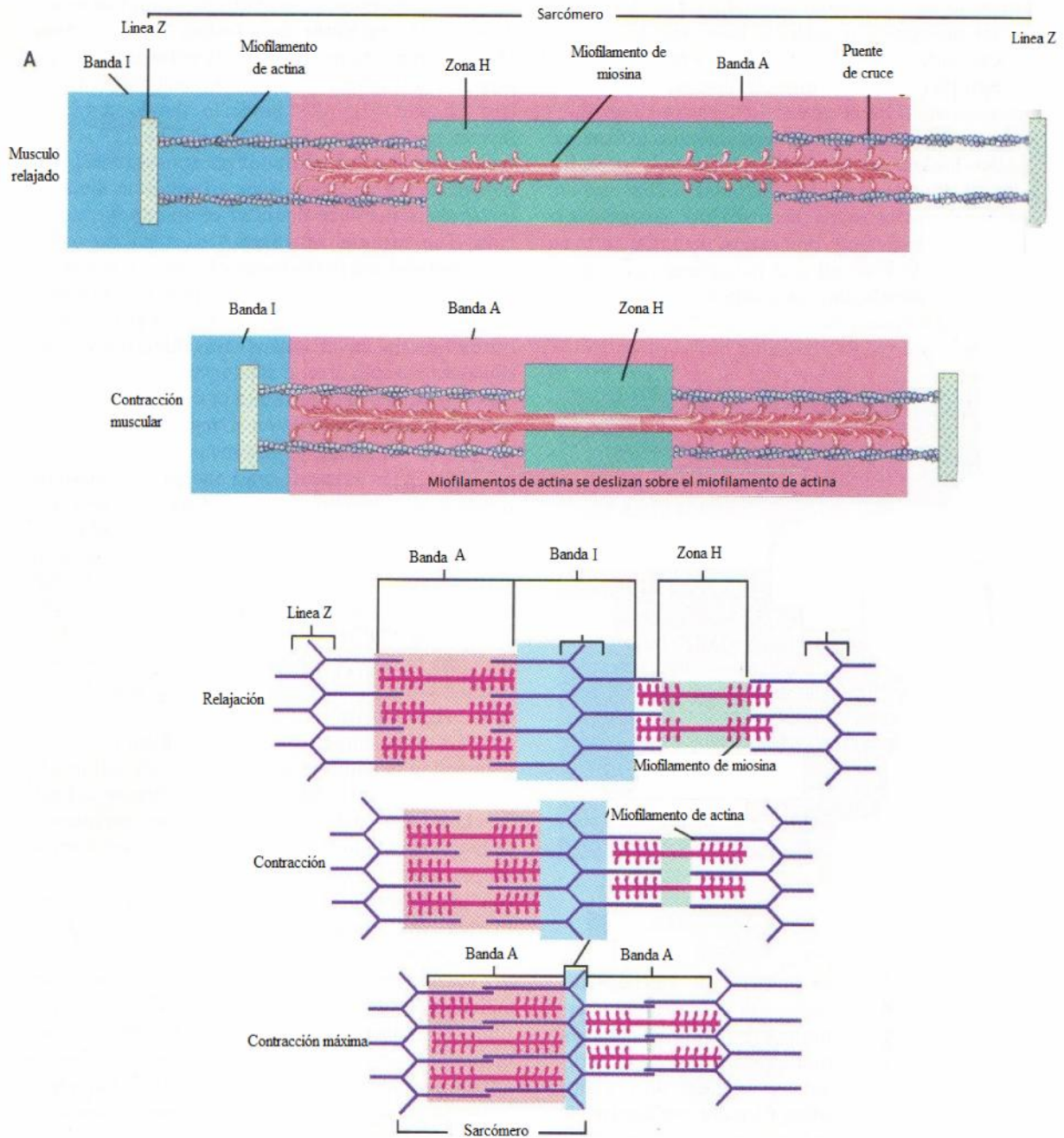
El calor liberado durante la contracción muscular aumenta la temperatura corporal, y una persona se vuelve más cálida durante los ejercicios. Cuando el clima es frío, una persona puede tiritar. El movimiento de los músculos involucrados en tiritar produce calor, lo que eleva la temperatura corporal.

La relajación muscular se produce cuando los iones de calcio son transportados activamente de nuevo al retículo sarcoplásmico (un proceso que requiere ATP). Como consecuencia, los sitios de adhesión en las moléculas de actina, son una vez más cubiertos por la tropomiosina de modo que los puentes de cruce no se pueden volver a formar.

#### PREDICE

1

Predice las consecuencias de tener las siguientes condiciones que se desarrollan en un músculo en respuesta a un estímulo: (a) ATP inadecuado está presente en la fibra muscular antes de aplicar un estímulo; (b) ATP adecuado está presente dentro de la fibra muscular, pero potenciales de acción ocurren con una frecuencia tan grande que los iones de calcio no son transportados de nuevo al retículo sarcoplásmico entre los potenciales de acción individuales.



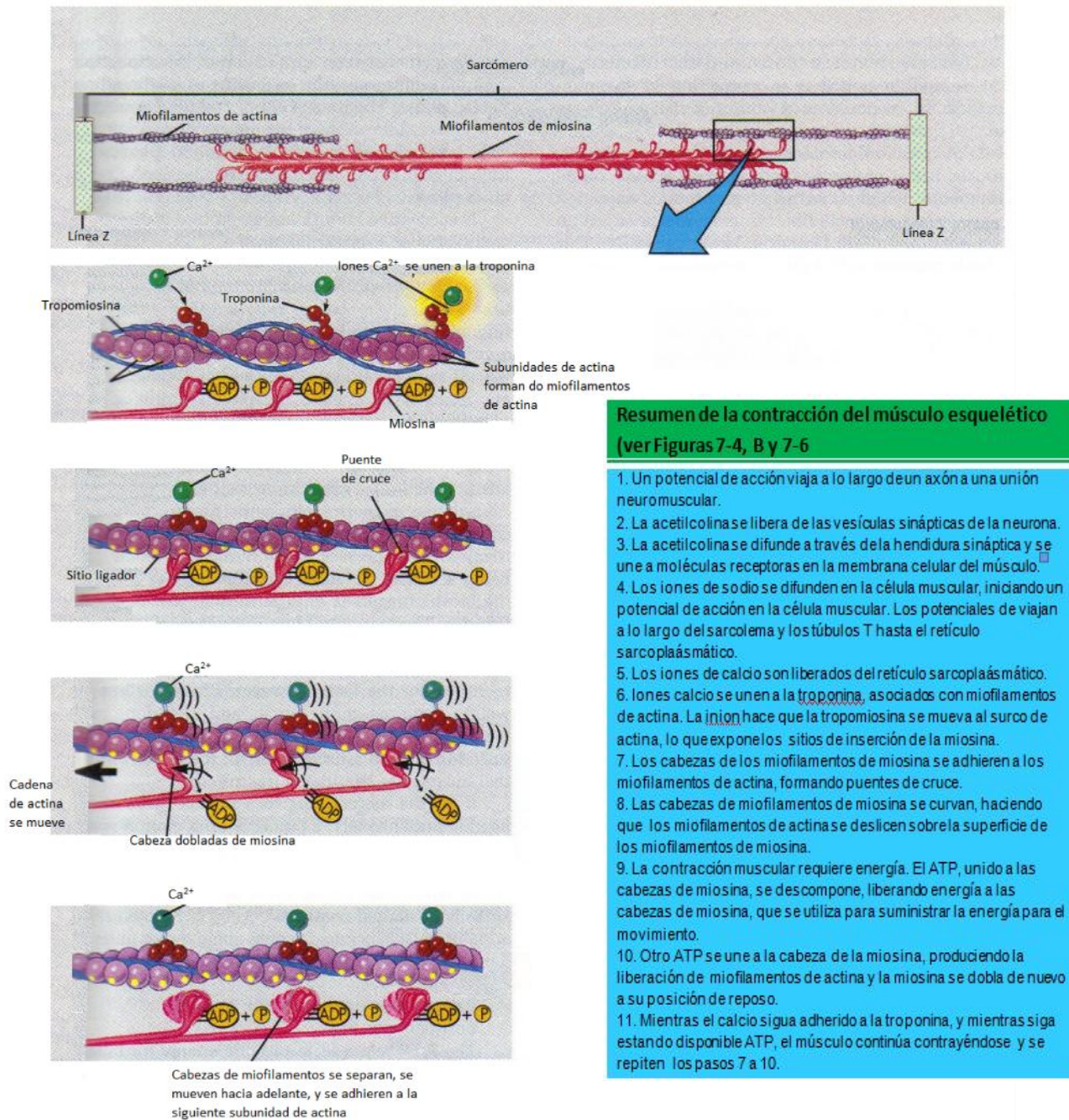
**FIGURA 7-5 Acortamiento del sarcómero**

Tenga en cuenta que las bandas I (azul) se acortan, pero las bandas A (rosa) no. La zona H (verde) se reduce o incluso desaparece cuando los miofilamentos de actina se encuentran en el centro del sarcómero.

**A** Acortamiento de un sarcómero, mostrando un miofilamentos de miosina y cuatro miofilamentos de actina asociados.

**B** Acortamiento de los sarcómeros adyacentes, con varios miofilamentos de miosina y de actina.





**FIGURA 7-6 Mecanismo de deslizamiento de miofilamentos de la contracción muscular**

**A** Un miofilamento de miosina y cuatro filamentos de actina asociados dentro de un sarcómero.

**B** Los iones de calcio ( $Ca^{2+}$ ) unen al miofilamento de actina.

**C.** El ATP se descompone en ADP y P y la energía se almacena en la cabeza de la miosina. La unión del calcio a la troponina hace que el filamento de tropomiosina se mueva más profundamente en el surco del miofilamento de actina, lo que expone sitios de adhesión. Los miofilamentos de miosina se adhieren al miofilamento de actina mediante la formación de puentes de cruce.

**D** La energía almacenada en la cabeza de la miosina, ocasiona que se doble hacia el centro del sarcómero, deslizándolo sobre el miofilamento de actina.

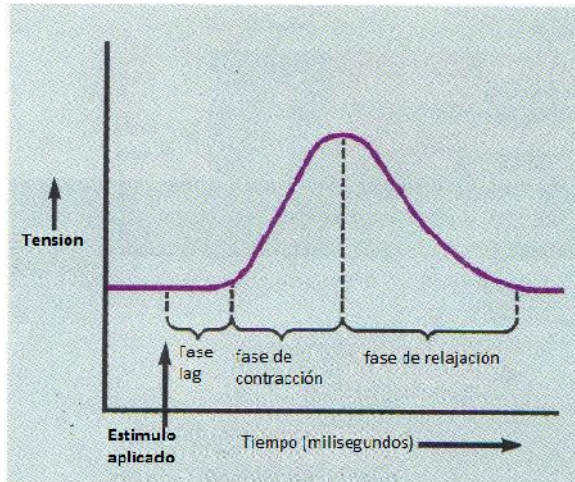
**E** Otro ATP se adhiere a la cabeza de la miosina: la miosina pierde su adhesión a la actina y vuelve a su forma original. Esto permite que la miosina se adhiera a la subunidad de actina siguiente, y el ciclo se repite. (Ver el cuadro 7-1)



### Contracción muscular, el tétanos y reclutamiento

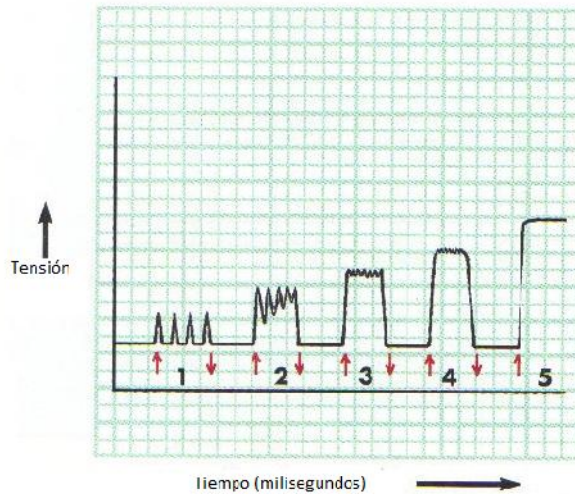
Una **contracción muscular** es una contracción de un músculo en su totalidad en respuesta a un estímulo que causa un potencial de acción en una o más fibras musculares (Figura 7-7). Una fibra muscular no responde a un estímulo a menos que la fuerza del

estímulo llegue a un nivel llamado **umbral**, que es suficiente para producir un potencial de acción en una fibra muscular. En respuesta a un potencial de acción, una fibra muscular se contrae al máximo. Este fenómeno se llama **respuesta de todo o nada**.



Si se dan estímulos sucesivos a un músculo, ocurren sacudidas sucesivas (Figura 7-8, 1). A medida que aumenta la frecuencia del estímulo, espasmos musculares pueden ocurrir con tanta frecuencia que el músculo no tiene tiempo suficiente para relajarse por completo antes de que otra contracción se inicie (Figura 7.8, 2 y 3). Si la frecuencia del estímulo aumenta aún más, no se produce la relajación entre contracciones musculares (Figura 7-8, 4 y 5). Cuando el músculo permanece contraído entre estímulos sin relajarse, la afección se denomina **tétanos**.

Una fuerza pequeña de contracción en un músculo se produce cuando sólo unas pocas de sus unidades motoras son estimuladas, cada una contrayéndose en la forma de todo o nada. La estimulación de más unidades motoras produce una fuerza de contracción mayor debido a que más unidades motoras se están contrayendo. Este aumento en el número de unidades motoras que se activan se llama **reclutamiento**. Por ejemplo, el bíceps braquial es un músculo del brazo que flexiona el antebrazo. La cantidad de fuerza requerida por el bíceps para levantar un peso de 1 libra sostenido en la mano no es grande, y por lo tanto sólo una pocas unidades motoras en el bíceps son reclutadas para la tarea. Sin embargo, el levantamiento de un peso 10 libras requiere más fuerza, y por tanto más unidades motoras son reclutadas. La fuerza máxima se produce en un músculo determinado, cuando todas las unidades motoras de los músculos son estimuladas (reclutadas). Si todas las unidades motoras en un músculo se estimularan al mismo tiempo, ocurriría un movimiento rápido y brusco. Debido a que las unidades motoras se reclutan gradualmente a fin de que algunas sean estimuladas y sostenidas en el tétanos, mientras que unidades motoras adicionales son reclutadas, ocurren contracciones lentas, suaves y sostenidas. La relajación suave del músculo ocurre debido a que algunas unidades motoras son sostenidas en el tétanos, mientras que otras unidades de motor se relajan.



El tiempo entre la aplicación del estímulo de una neurona motora y el comienzo de la contracción es la **fase de latencia**. El tiempo de la contracción es la **fase de contracción**. La relajación del músculo se produce inmediatamente después de la fase de contracción "todo o nada". El tiempo durante el cual el músculo se relaja es la **Fase de relajación**. molécula de alta energía, el **fosfato de creatina**. El fosfato de creatina proporciona un medio para almacenar energía que se puede utilizar rápidamente para

### Energía requerida para la contracción muscular

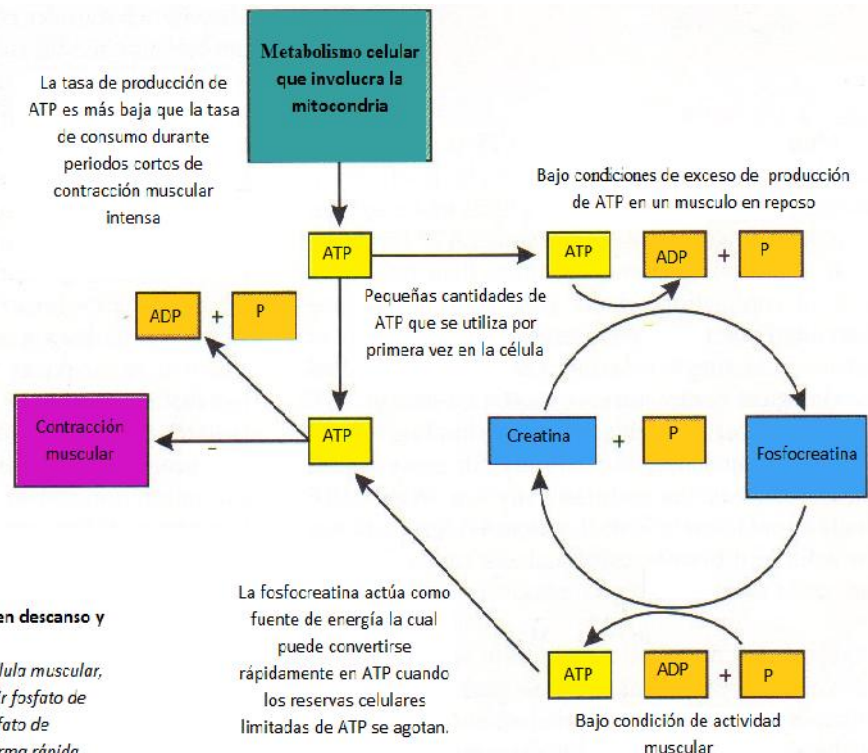
El ATP necesario para proporcionar energía para la contracción muscular es producido principalmente en las mitocondrias numerosas situadas en el sarcoplasma de la fibra muscular entre las miofibrillas. Incluso en fibras musculares en reposo y se requieren grandes cantidades de ATP para el mantenimiento de la célula. Por tanto, es necesario para las fibras musculares que se produzca constantemente ATP. Las fibras musculares almacenan con facilidad ATP en la preparación para períodos de actividad. Las fibras musculares, sin embargo, pueden almacenar otra

y mantener una cantidad adecuada de ATP en la fibra muscular en contracción. Durante períodos de inactividad, a medida se produce exceso de ATP en la fibra muscular, la energía contenida en el ATP se utiliza para sintetizar el fosfato de creatina. Durante los períodos de actividad, las reservas de ATP existente en la célula son utilizadas primero, y luego se accede rápidamente a la energía almacenada en el fosfato de creatina para producir ATP, la que es utilizada en la contracción muscular (Figura 7-9)

El ATP es producido por la respiración celular anaeróbica y aeróbica (ver Capítulo 17 para más detalles). La **respiración anaeróbica**, que se produce en ausencia de oxígeno, produce la descomposición de la glucosa para producir ATP y ácido láctico. La **respiración aeróbica** requiere oxígeno y descompone la glucosa para producir ATP, dióxido de carbono y agua. La respiración anaeróbica se produce en el citoplasma de las células, mientras que la mayoría del metabolismo aeróbico ocurre en las mitocondrias. Las células con una alta tasa metabólica, como las fibras musculares, que dependen de grandes cantidades de oxígeno y llevan a cabo principalmente el metabolismo aeróbico, contienen gran cantidad de mitocondrias. En comparación a la respiración anaeróbica, la respiración aeróbica es mucho más eficiente. El metabolismo de una molécula de glucosa por la respiración aeróbica teóricamente puede producir aproximadamente 18 veces más ATP que el que se produce por la respiración anaeróbica. Además, la respiración aeróbica puede utilizar una mayor variedad de moléculas de nutrientes para producir ATP que la respiración anaeróbica. Por ejemplo, la respiración aeróbica puede utilizar los ácidos grasos para generar ATP. Aunque la respiración anaeróbica es menos eficiente que la respiración aeróbica, ocurre más rápidamente y es importante cuando la

disponibilidad de oxígeno limita la respiración aeróbica. Mediante el uso de muchas moléculas de glucosa, la respiración anaeróbica rápidamente puede producir mucho ATP, pero la respiración anaeróbica puede continuar durante un breve periodo de tiempo. El ácido láctico es un producto final de la respiración anaeróbica. Algo de ácido láctico se puede difundir fuera de las fibras musculares a la sangre, pero un poco de ácido láctico permanece en las fibras musculares. El ácido láctico puede irritar las fibras musculares, causando dolor de corto plazo. El dolor muscular que dura varios días, sin embargo, indica daño mecánico al músculo.

Los músculos en reposo o en los músculos sometidos a ejercicio de larga duración, como en carreras de larga distancia, dependen principalmente de la respiración aeróbica para la síntesis de ATP. Aunque un poco de glucosa se utiliza como fuente de energía, los ácidos grasos son una fuente de energía más importante tanto durante el ejercicio sostenido como en condiciones de reposo. Durante breves períodos de ejercicio intenso, como en carreras cortas. El ATP se utiliza más rápidamente de lo que puede ser producido por la respiración aeróbica. Una vez que las reservas de ATP comienzan a disminuir, la energía almacenada en el fosfato de creatina se usa para mantener los niveles de ATP en la fibra muscular en contracción. Una vez que las reservas de fosfato de creatina se agotan, interviene la respiración anaeróbica. La respiración anaeróbica rápidamente metaboliza la glucosa disponible para proporcionar suficiente ATP para soportar la contracción muscular intensa de apoyo para un máximo de 2 a 3 minutos. Durante el ejercicio por hasta 2 a 3 minutos. Durante ejercicio intenso, el glucógeno almacenado en las fibras musculares se puede descomponer en glucosa, la que puede luego ser utilizado para producir más ATP



**FIGURA 7-9 Destino del ATP en un músculo en descanso y activo**  
 Cuando el exceso de ATP se produce en una célula muscular, parte de ese ATP se puede utilizar para producir fosfato de creatina. Cuando el músculo está activo, el fosfato de creatina es una fuente disponible de ATP de forma rápida.

El metabolismo anaeróbico es en última instancia limitado por el agotamiento de la glucosa y una acumulación del ácido láctico en la fibra muscular. Después de un ejercicio intenso, la frecuencia respiratoria y el volumen permanecen elevados durante un período de tiempo, a pesar de que los músculos ya no se están contrayendo activamente. Esta mayor respiración proporciona el oxígeno para pagar la deuda de oxígeno. La **deuda de oxígeno** es la cantidad de oxígeno necesario en las reacciones químicas que ocurren en el hígado para convertir el ácido láctico en glucosa y para reponer las reservas agotadas de fosfato de creatina en las fibras musculares. Después de que el ácido láctico producido por la respiración anaeróbica se convierte en glucosa y los niveles de fosfato de creatina se restauran, la tasa de respiración regresa a la normalidad. La magnitud de la deuda de oxígeno depende de la severidad del ejercicio, la duración de tiempo que se mantuvo, y la condición física del individuo. La capacidad de un individuo en malas condiciones físicas para realizar el metabolismo es mucho menor que la de un deportista bien entrenado. Con el ejercicio y el entrenamiento, la capacidad de una persona para llevar a cabo actividades aeróbicas y anaeróbicas se mejora.

#### PRONOSTICA

Después de una carrera de 10 millas con un sprint al final, un corredor continúa respirando pesadamente por un período de tiempo. Indicar el tipo de metabolismo que está funcionando para producir energía durante la carrera, durante el sprint, y después de la carrera.

La **fatiga muscular** resulta cuando se utiliza ATP durante la contracción muscular más rápidamente de lo que puede ser producido en las fibras musculares y el ácido láctico se acumula más rápido de lo que se puede eliminar. Como consecuencia, los niveles de ATP son demasiado bajos para que las fibras musculares puedan producir su máxima fuerza de contracción. Bajo condiciones de extrema fatiga muscular, los músculos pueden ser incapaces de contraerse o relajarse. Esta condición es llamada **contractura fisiológica** y es causada por la falta de ATP para unirse a los miofilamentos de miosina. El enlace de ATP a las cabezas de miosina es necesario para la liberación del puente de cruce entre la actina y la miosina. Cuando los niveles de ATP son extremadamente bajos, los puentes entre la actina y los miofilamentos de miosina no se pueden romper, y el músculo no puede relajarse.

#### Tipo de contracciones musculares

Las contracciones musculares son clasificadas como isométricas o isotónicas. En las **contracciones isométricas** (igual distancia), la cantidad de la tensión aumenta durante el proceso de contracción, pero la longitud del músculo no cambia. Las contracciones isométricas son responsables de la longitud constante de los músculos posturales del cuerpo, tales como los músculos de la espalda. Por otra parte, en las

**contracciones isotónicas** (igual tensión), la cantidad de tensión producida por el músculo es constante durante la contracción, pero la longitud del músculo disminuye. Los movimientos de los brazos y los dedos son contracciones predominantemente isotónicas. La mayoría de las contracciones musculares son una combinación de contracciones isométricas e isotónicas en que los músculos se acortan cierta distancia y el grado de tensión aumenta.

#### El tono muscular

El **tono muscular**, se refiere a la constante tensión producida por los músculos del cuerpo por largos períodos de tiempo. El tono muscular es responsable de mantener la espalda y las piernas rectas, la cabeza en posición vertical, y el abdomen de la abultada. El tono muscular depende de un pequeño porcentaje del conjunto de las unidades motoras en un músculo que están siendo estimuladas en cualquier momento, haciendo que sus fibras musculares se contraigan isométricamente y fuera de fase una con la otra.

#### Fibras Lentas y rápidas

Las fibras musculares a veces se clasifican como de contracción rápida o fibras de contracción lenta. Las fibras musculares de contracción rápida se contraen y fatigan rápidamente, mientras que las fibras musculares de contracción lenta se contraen más lentamente y son más resistentes a la fatiga. Los músculos de contracción rápida tienen reservas más grandes de glucógeno y están bien adaptadas para llevar a cabo el metabolismo anaeróbico, mientras que los músculos de contracción lenta contienen más mitocondrias y son más adecuados para el metabolismo aeróbico.

La carne blanca de pechuga de pollo está compuesta principalmente de fibras de contracción rápida. Los músculos están adaptados para contraerse rápidamente por un corto tiempo, pero se fatigan rápidamente. Los Aun que la respiración anaeróbica es menos pollo normalmente no vuelan largas distancias. Pasan la mayor parte de su tiempo caminando. Los patos, por el contrario, vuelan por períodos más largos de tiempo y mayores distancias. La carne roja u oscura de las patas de un pollo o de la pechuga de pato se compone de fibras de contracción lenta. El aspecto más oscuro se debe en parte al color oscuro del sistema enzimático implicado en el metabolismo aeróbico, en parte a un suministro de sangre más rico, y en parte a la presencia de mioglobina, que almacena el oxígeno de forma temporal. La mioglobina puede continuar liberando oxígeno en un músculo, incluso cuando una contracción sostenida ha interrumpido el flujo continuo de la sangre. Los humanos no muestran una clara separación de las fibras musculares de contracción lenta y contracción rápida en los músculos individuales. La mayoría de los músculos tienen ambos tipos de fibras, aunque el número de cada tipo varía en un músculo determinado. Los músculos posturales grandes contienen más fibras de contracción lenta, mientras que los músculos de las extremidades superiores contienen más fibras de contracción rápida. La distribución



## Trastornos y otras condiciones del tejido muscular

### Los calambres

**Los calambres** son contracciones dolorosas, espásticas de un músculo que son generalmente el resultado de una irritación dentro de un músculo. La inflamación local de la acumulación de ácido láctico o inflamación del tejido conectivo puede producir la contracción de las fibras musculares que rodean la región irritada.

### La hipertrofia y atrofia

El ejercicio ocasiona **hipertrofia** muscular, que tamaño muscular aumentado como consecuencia de un aumento en el número de las miofibrillas en las fibras musculares. La hipertrofia muscular es mayor en hombres que en mujeres, principalmente debido a las concentraciones mayores de la hormona sexual masculina, testosterona, en hombres. El desuso de los músculos produce **atrofia** muscular, que consiste en una disminución del tamaño del músculo debido a una disminución de los miofilamentos en las fibras musculares. La atrofia severa implica la pérdida permanente de las fibras musculares esqueléticas y la sustitución de las fibras por tejido conectivo. La inmovilidad resultante de los daños

causados al sistema nervioso o el enyesado de un miembro roto conduce a la atrofia muscular. Si la inervación a un músculo es cortada, el músculo se vuelve **flácido** (no tiene tono) y se atrofia.

### Distrofia muscular

La **distrofia muscular** se refiere a un grupo de trastornos musculares heredados en los que el tejido del músculo esquelético se degenera y la persona experimenta una debilidad progresiva. Los trastornos se caracterizan por la degeneración progresiva de las fibras musculares que conducen a la atrofia y su posible sustitución por grasa y otro tejido conjuntivo.

**Distrofia muscular de Duchenne** es un defecto genético en el cromosoma X heredado casi exclusivamente por hombres, que afecta a aproximadamente 1 de cada 3.000 niños. Los síntomas de debilidad muscular y el acortamiento muscular, llamados contracturas, aparecen por primera vez cuando el niño tiene aproximadamente 3 años, y la mayoría de los niños están confinados a una silla de ruedas cuando tienen doce años de edad.

La **distrofia muscular miotónica** se caracteriza por el hecho de que los músculos no se pueden relajar después de una contracción fuerte, así como

por debilidad muscular. El trastorno se hereda como un rasgo dominante, tanto en hombres y mujeres, y ocurre en aproximadamente 1 de cada 20.000 nacimientos. La enfermedad progresa lentamente, afectando usualmente primero a los músculos de la cara y del cuello y a las manos con más severidad.

### Miastenia Gravis

La **miastenia grave**, que por lo general comienza en la cara, es una debilidad muscular no acompañada de atrofia. Es una enfermedad crónica, progresiva como resultado de la destrucción de los receptores de acetilcolina en la unión neuromuscular. Anticuerpos anormales que se unen a y destruyen los receptores de acetilcolina pueden ser identificados en muchas personas que tienen la miastenia grave. Debido a la disminución en el número de receptores de acetilcolina, la eficacia de la estimulación neuronal de las fibras musculares disminuye, y el músculo se vuelve más débil como resultado.

### Tendinitis

Como su nombre indícalo implica, la **tendinitis** es una inflamación de un tendón y / o su punto de adhesión. Suele ocurrir en atletas que sobrecargan el músculo al cual está unido el tendón.

de las fibras en un músculo determinado es constante para cada individuo y se establece antes del nacimiento. Las personas que son buenos velocistas tienen mayor porcentaje de fibras musculares de contracción rápida en sus miembros inferiores, mientras que los buenos corredores de larga distancia tienen un mayor porcentaje de fibras de contracción lenta. Los atletas que son capaces de realizar una variedad de ejercicios aeróbicos y anaeróbicos tienden a tener una mezcla más equilibrada de fibras musculares de contracción rápida y lenta. Las fibras musculares de contracción rápida ni las de contracción lenta pueden ser convertidas a fibras musculares de otro tipo. Sin embargo, los entrenamientos pueden aumentar la capacidad de ambos tipos de fibras musculares con más eficiencia. El ejercicio intenso que resulta en Metabolismo anaeróbico aumenta la fuerza muscular y tiene un mayor efecto

sobre las fibras musculares de contracción rápida. El ejercicio aeróbico aumenta la vascularización de los músculos y causa el agrandamiento de fibras musculares de contracción lenta del músculo. El metabolismo aeróbico también puede convertir las fibras de contracción rápida que se fatigan fácilmente a fibras de contracción rápida resisten la fatiga. Esta conversión se logra aumentando el número de mitocondrias en las fibras musculares y aumentando el suministro de sangre a las fibras musculares de contracción rápida. El número de las células en el músculo esquelético se mantiene relativamente constante después del nacimiento. Por lo tanto el agrandamiento de los músculos después del nacimiento es el resultado de un aumento en el tamaño de las fibras musculares existentes.

## MÚSCULO LISO Y MÚSCULO CARDÍACO

Las células musculares lisas son pequeñas y en forma de huso, generalmente con un núcleo por célula (tabla 7-2). Contienen menos actina y miosina que las células del músculo esquelético, y los miofilamentos no están organizados en sarcómeros. Como resultado, las células musculares lisas no son estriadas. Las células musculares lisas se contraen más lentamente que las células del músculo esquelético y no desarrollan una deuda de oxígeno. El potencial de membrana en reposo de algunas células del músculo liso fluctúa entre la despolarización lenta y las fases de la repolarización. Como resultado las células del músculo liso pueden periódicamente y espontáneamente el umbral, conduciendo a la generación de potenciales de acción que hacen que las células musculares lisas se contraigan. La contracción espontánea periódica resultante es llamada **autoritmicidad**. El músculo liso se encuentra bajo control involuntario, mientras que el músculo esquelético está bajo el control motor voluntario. Algunas hormonas, como las que funcionan en el sistema digestivo, pueden estimular el músculo liso para que se contraiga.

Las células musculares lisas se organizan para formar capas. La mayoría de las células musculares lisas tienen contactos célula a célula especializada que permiten que los potenciales de acción se propaguen rápidamente a todas las células del músculo liso. Así, todas las células musculares lisas tienden a funcionar como una unidad y se contraen al mismo tiempo.

Los músculos cardíacos comparten algunas características con los músculos lisos y esqueléticos (ver el cuadro 7-2). Las células del músculo cardíaco son largas, estriadas y ramificadas, generalmente con un solo núcleo por célula. Los miofilamentos de actina y miosina se organizan en sarcómeros, pero la distribución de los miofilamentos no es tan uniforme como en el músculo esquelético. Como resultado, las células del músculo cardíaco son estriadas, pero no

como resultado, las células del músculo cardíaco son estriadas, pero no tan claramente estriadas como el músculo esquelético. La tasa de contracción del músculo cardíaco es intermedia entre el músculo liso y el esquelético. La contracción del músculo cardíaco es autorítmica. El músculo cardíaco no desarrolla una deuda de oxígeno y no se fatiga. Las células del músculo cardíaco están conectadas entre sí por **discos intercalados**. Los discos intercalados son estructuras especializadas que incluyen uniones apretadas y uniones entreabiertas y que facilitan la conducción de los potenciales de acción entre las células. Esta conexión célula a célula le permite a las células del músculo cardíaco que funcionen como una unidad. Al igual que con el músculo liso, el músculo cardíaco está bajo control involuntario y está influenciado por hormonas, como la epinefrina.

## ANATOMÍA DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO

### Principios generales

La mayoría de los músculos se extienden desde un hueso a otro y cruzan al menos una articulación. La contracción muscular provoca la mayoría de los movimientos del cuerpo tirando de uno de los huesos hacia el otro a través de la articulación movable. Algunos músculos no se adhieren al hueso en ambos extremos. Por ejemplo, algunos músculos faciales se adhieren a la piel, que se mueve cuando los músculos se contraen.

Los puntos de adhesión de cada músculo son su origen e inserción. En estos puntos de adhesión, el músculo está conectado al hueso por un **tendón**. Algunos tendones anchos y en forma de lámina se llaman **aponeurosis**. El **origen**, también llamado la **cabeza** es el extremo más estacionario del músculo. La **inserción** es el extremo del músculo adherido al hueso que experimenta el mayor movimiento. La parte del músculo entre el origen y la inserción es el **vientre**. (Figure 7-10). Algunos músculos tienen un origen múltiple, o cabezas, como el bíceps braquial con dos cabezas y el tríceps braquial con tres cabezas

CUADRO 7-2

Comparación de tipos de músculos			
Características	Musculo esquelético	Musculo cardiaco	Musculo liso
Ubicación	Unido al hueso	Corazón	Pared órganos huecos, vasos sanguíneos y glándulas
Forma celular	Larga y cilíndrica	Ramificadas	Forma de huso
Núcleo	Múltiple y periférico	Por lo general único, central	Único, central
Características especiales		Disco intercalado	Adhesiones célula a célula
Estrías	Sí	Sí	No
Autorítmica	No	Sí	Sí
Control	Voluntario	Involuntario	Involuntario
Función	Mueve todo el cuerpo	Contracción del corazón para bombear la sangre a través del cuerpo	Compresión de los ductos, tubos, etc.



Los músculos tienden a funcionar juntos para lograr movimientos específicos. Por ejemplo, el deltoides, el bíceps braquial y el pectoral mayor todos ayudan a flexionar el brazo. Además, muchos músculos son miembros de más de un grupo, dependiendo del tipo de movimiento que se trate. Por ejemplo, la parte anterior del músculo deltoides funciona con los músculos flexores del brazo, mientras que la parte posterior funciona con los extensores del brazo. Los músculos que trabajan juntos para provocar movimientos son **sinergistas**, y un músculo que trabaja en oposición a otro músculo se llama un **antagonista**. El braquial anterior y bíceps braquial son sinergistas al flexionar el antebrazo; el tríceps braquial es el antagonista y extiende el antebrazo. Entre un grupo de sinergistas, si un músculo desempeña el papel fundamental en el logro de los movimientos deseados, es el **principal impulsor**. El braquial es el principal motor en la flexión del antebrazo. Los **fijadores** son músculos que mantienen un hueso en su lugar en relación con el cuerpo, mientras que un hueso por lo general más distal se mueve. Los músculos de la escápula actúan como fijadores para sostener la escápula en su lugar mientras otros músculos se contraen para mover el húmero.

### Nomenclatura

La mayoría de los músculos tienen nombres que son descriptivos. Algunos músculos son nombrados de acuerdo a su ubicación, como los músculos pectorales en el pecho, algunos

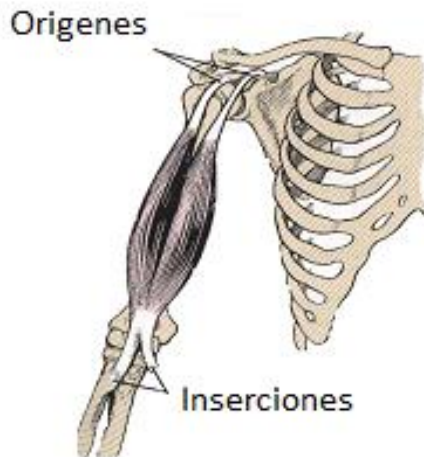


Figura 7-10 Adhesión del músculo

Los músculos se unen a los huesos a través de tendones. Los bíceps braquiales poseen dos cabezas que se originan en el omoplato. Los tendones del bíceps se insertan sobre la tuberosidad radial

de acuerdo a su origen e inserción, como el músculo braquiorradial, que se extiende desde el brazo al radio, y algunos en función del número de cabezas, por ejemplo el bíceps braquial, que tiene dos cabezas, o algunos de acuerdo a su función, como el flexor de los dedos, que flexiona los dedos.). Otros músculos se denominan de acuerdo a su tamaño, como el vasto interno, que significa grande; su forma, como el deltoides, que significa triangular. Reconociendo el carácter descriptivo de los nombres de los músculos hace que el aprendizaje los nombres sea más fácil. Los músculos más superficiales se muestran en la figura 7-11. Examinar la anatomía superficial puede ser una gran ventaja para el estudiante de anatomía en la obtención de una mejor comprensión de la anatomía muscular. Hemos señalado algunos de los músculos de las extremidades superiores e inferiores del cuerpo. Los músculos están especialmente bien desarrollados en los fisicoculturistas. (Figura 7-12).

### Músculo de la cabeza y el cuello

Los músculos de la cabeza y cuello incluyen los que participan en la expresión facial, la masticación, el movimiento de la lengua, tragar, producción de la voz, los movimientos oculares y los movimientos de la cabeza y el cuello.

### La expresión facial

Varios músculos actúan sobre la piel alrededor de los ojos y cejas (Cuadro-3 y Figura 7-13). El **occipitofrontal** eleva las cejas. El músculo **orbicular del ojo** cierra los párpados y produce las arrugas "patas de gallo" en la piel de las esquinas laterales de los ojos.

Varios otros músculos funcionan en el movimiento de los labios y la piel que rodea la boca (vea la Figura 7-13). El **orbicular de los labios** y el **buccinador**, los músculos de besar, fruncir la boca. El buccinador también aplana las mejillas como al silbar o soplar una trompeta y por lo tanto a veces se llama el músculo trompetista. Sonreír se lleva a cabo principalmente por los músculos **cigomáticos**. Mirar con desprecio se lleva a cabo por el **músculo elevador del labio superior** y, fruncir el ceño y hacer mala cara en gran medida por el **músculo depresor del ángulo de la boca**.

### P R E D I C E

Harry Wolf, un notorio coqueto, al ver a Sally Gorjeaos, levanta las cejas, guiña, silba, y sonríe. Nombre los músculos faciales que él utiliza para llevar a cabo esta comunicación. Sally, completamente disgustada con esta exhibición, frunce el ceño y hace mala cara en señal de disgusto. ¿Qué músculos usa ella?

FIGURA 7-11 • El sistema muscular  
A Vista anterior

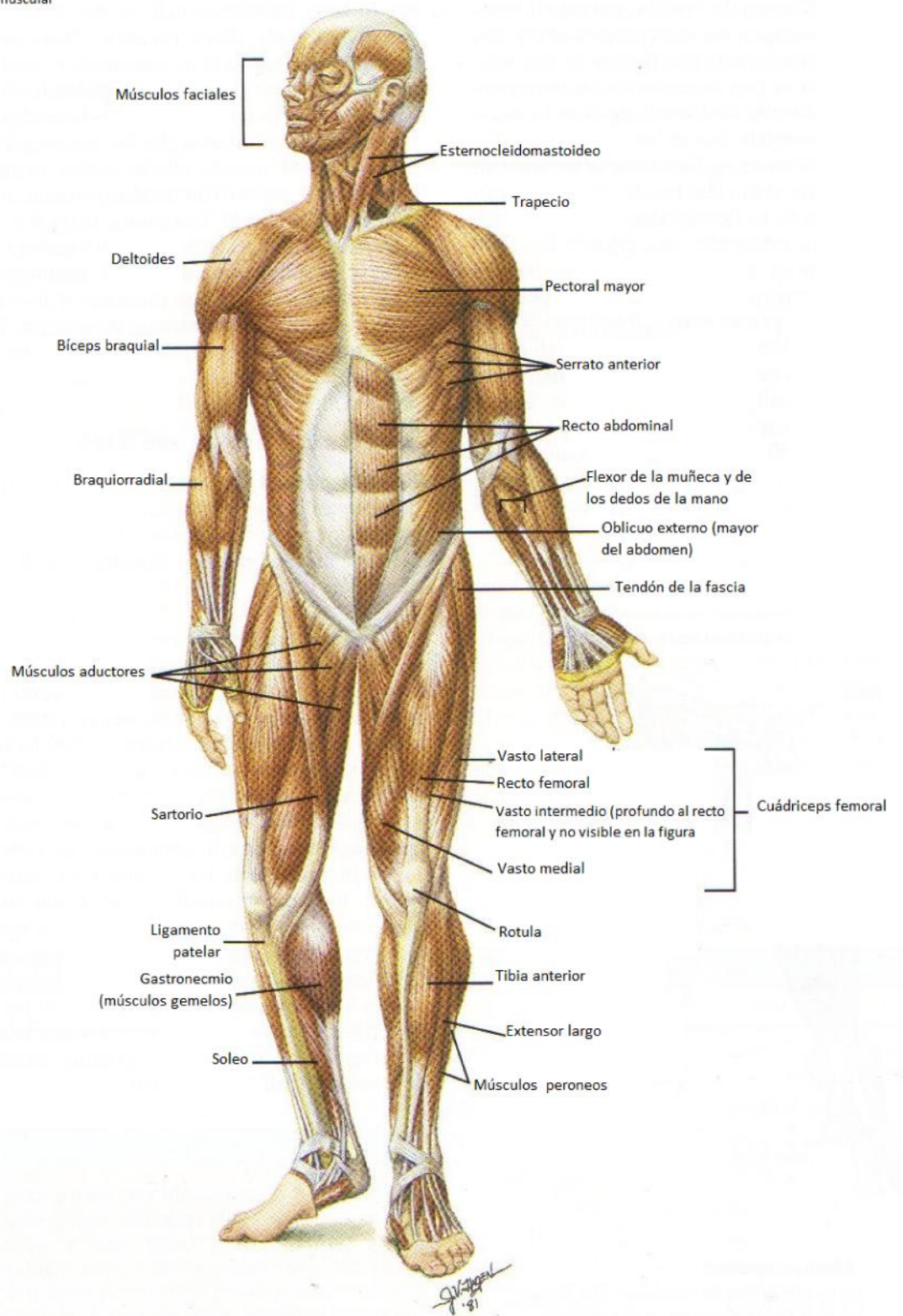
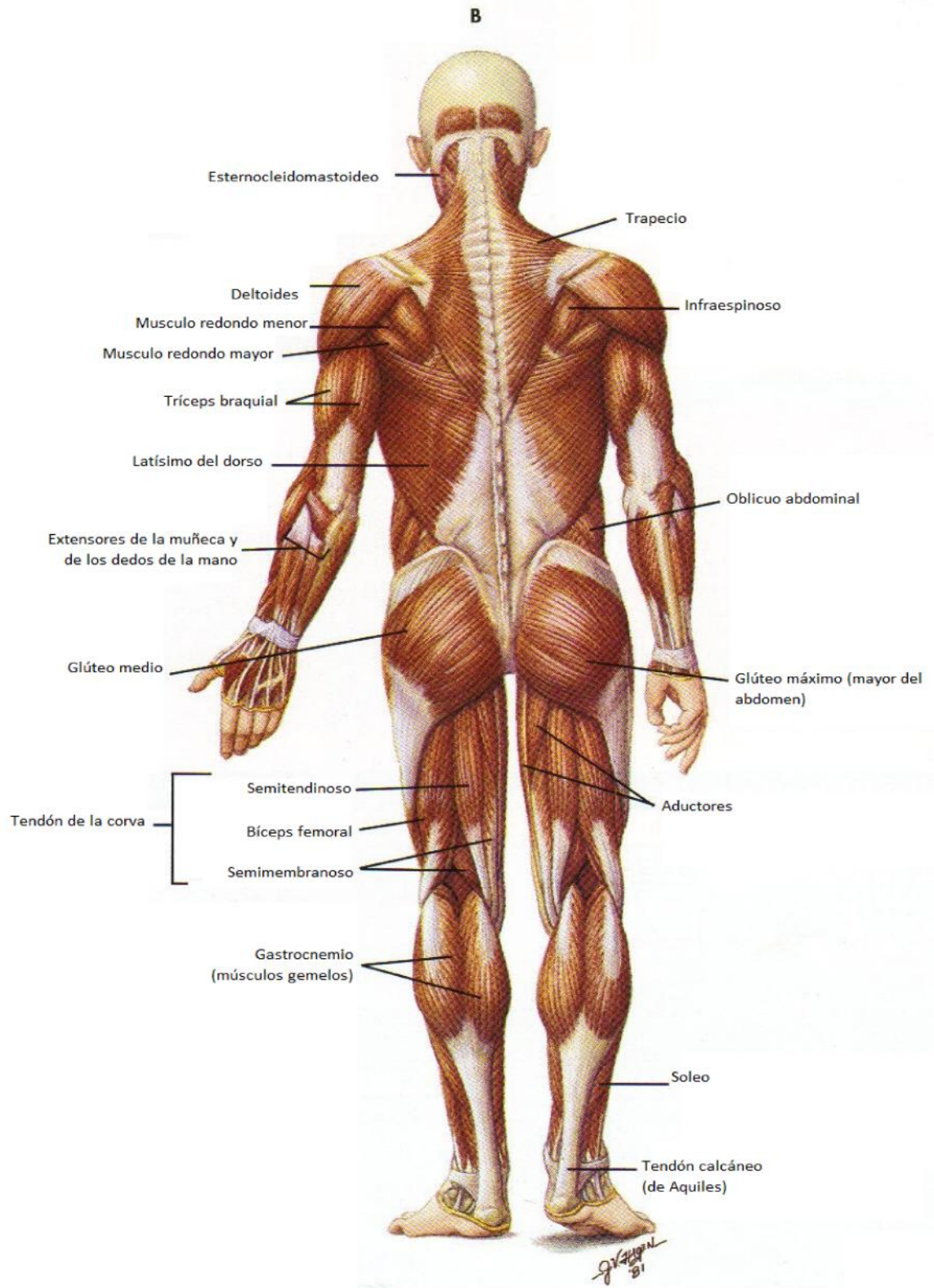




FIGURA 7-11 • El sistema muscular (cont.)  
A Vista posterior



**Figura 7-12 Fisiculturistas**

**A** y **B** nombre tantos músculos como sea posible de las fotos. Compara estas fotos con los músculos rotulados en la figura 7-11



### Fisiculturismo

Una vez considerado un deporte sólo para hombres, el **culturismo** en la actualidad es ahora disfrutado por miles de mujeres también. Los participantes en este deporte combinan entrenamiento con pesas y una dieta específica para desarrollar máxima masa muscular y mínima grasa corporal, siendo su principal objetivo desarrollar un físico completo bien balanceado. El culturismo requiere

conocer ejercicios que desarrollan todos los músculos, y entrenamiento coherente y riguroso. Ejercitar los músculos adecuados al grado adecuado es necesario para desarrollar un cuerpo bien proporcionado.

Estudios recientes indican que la capacidad cardiorespiratoria de fisiculturistas es similar a la de otros deportistas bien entrenados. Esta

aptitud no ha estado siempre presente en los fisiculturistas, pero ahora puede ser atribuida a las técnicas modernas que incluyen ejercicio aeróbico y correr “bombeando hierro”.

Las fotografías de culturistas pueden ser utilizadas para identificar la anatomía superficial de los músculos que no se pueden ver fácilmente en las personas no entrenadas. ( ver la Figura 7-12)

**CUADRO 7-3**

#### Músculos de la expresión facial (ver Figura 7-13)

MUSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	ACCIÓN
Occipitofrontal o epicranius (Figura 7-13, A y B)	Hueso occipital	Piel de la ceja y nariz	Mueve el cuero cabelludo y eleva las cejas
Orbicular de los párpados (Figura 7-13, A y B)	Hueso maxilar y frontal	Rodea el ojo y se inserta cerca del origen	Cierra el ojo
Musculo orbicular de la boca (Figura 7-13, A y B)	Maxilar y mandíbula	Piel alrededor de los labios	Cierra los labios
Buccinador (Figura 7-13, A y B)	Maxilar y mandíbula	Comisura o esquina de la boca	Aplana las mejillas
Cigomático mayor y menor (Figura 7-13, A y B)	Hueso cigomático	Comisura o esquina de la boca	Eleva la comisura de la boca
Elevador del labio superior (Figura 7-13, A y B)	Maxilar	Labio superior	Eleva el labio superior
Depresor del ángulo de la boca del musculo oris (Figura 7-13, A y B)	Mandíbula	Baja el labio cerca de la comisura o esquina de la boca	Deprime la comisura de la boca



**FIGURA 7-13 Músculos de la expresión facial**

A Vista lateral  
B Vista anterior

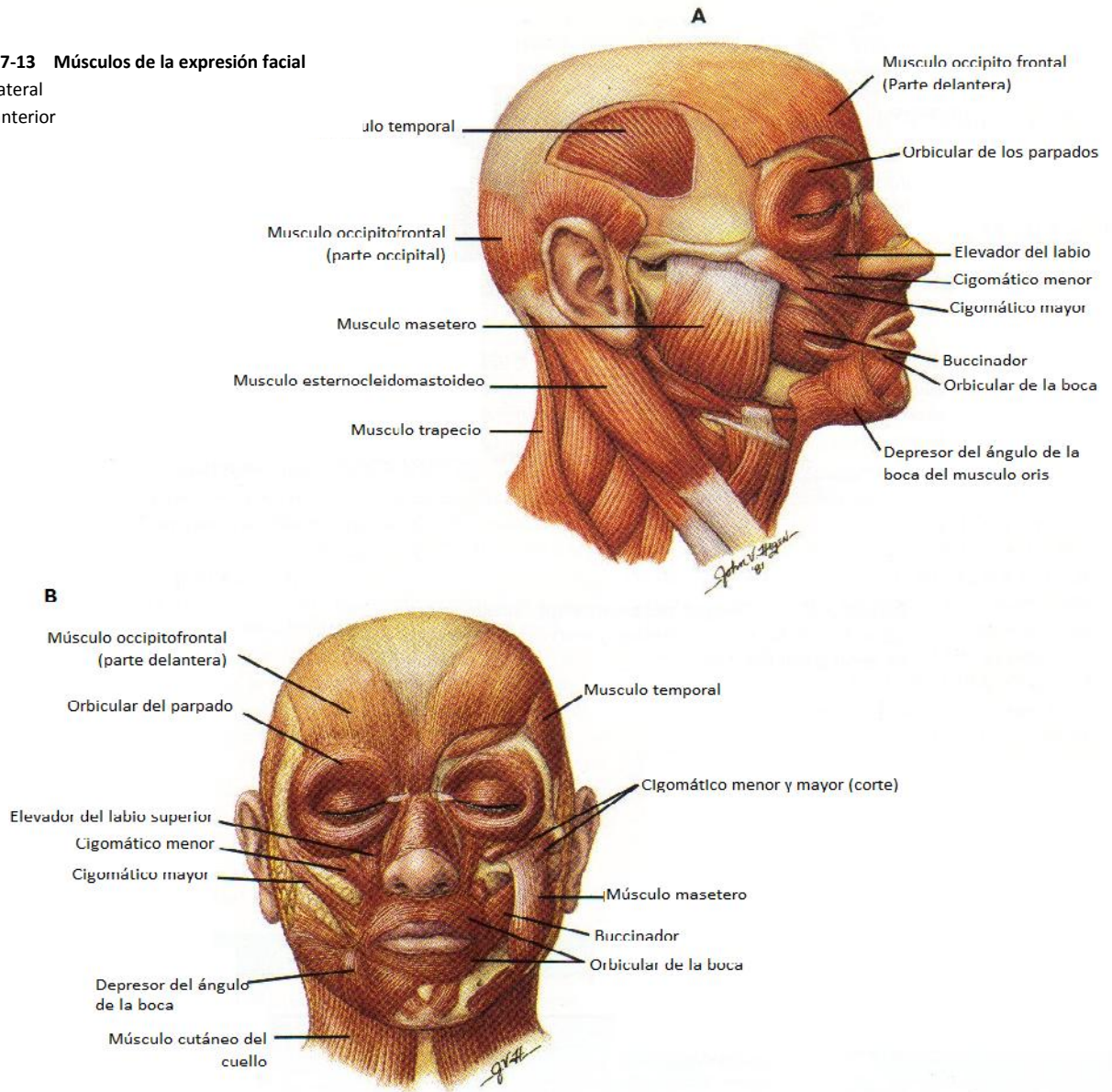
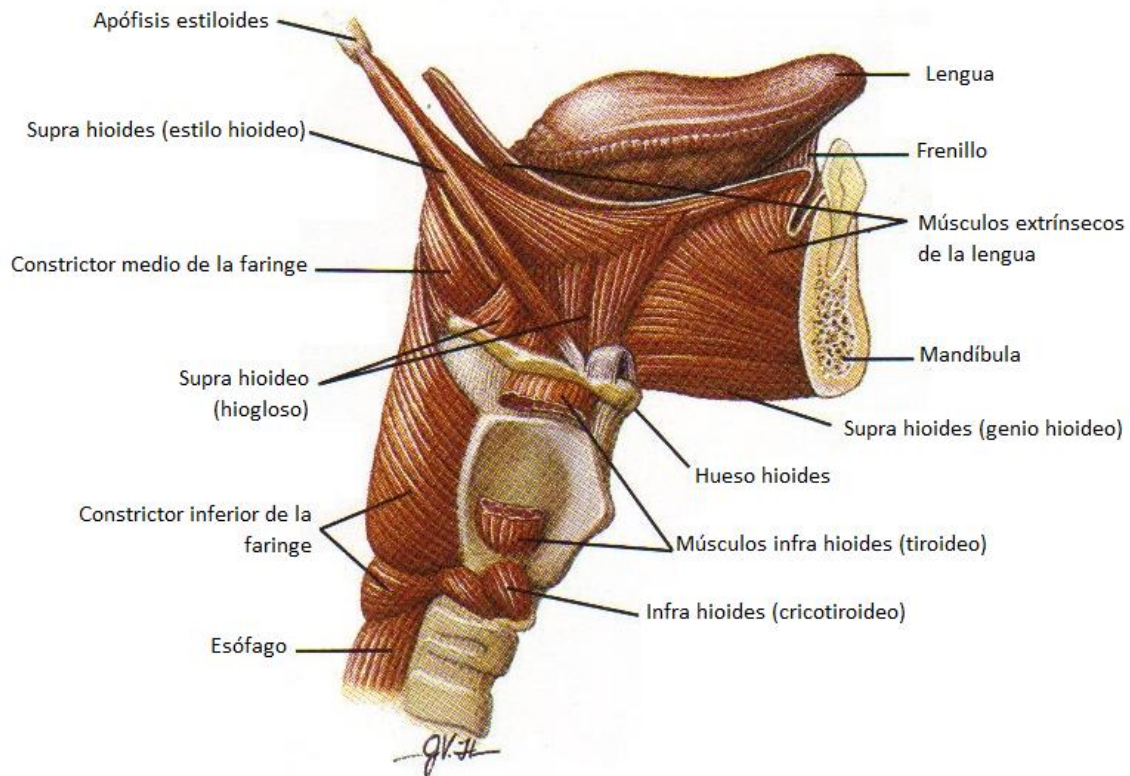


TABLA 7-4

Músculos de la masticación (observa Figura 7-13)

Musculo	Origen	Inserción	Acción
Temporal (Figura 7-13, A y B)	Región temporal del lado de la cabeza	Mandíbula	Cierra la mandíbula
Masetero (Figura 7-13, A y B)	Arco cigomático	Mandíbula	Cierra la mandíbula
Pterigoideo (no se muestra en la ilustración)	Lado inferior del cráneo	Mandíbula	Una cierra y la otra abre la boca



**FIGURA 7-14 Músculos de la lengua y de la deglución**  
 Los músculos de la lengua, hioides, faringe y laringe vistos desde la derecha

TABLA 7-5

Lengua y músculos de la deglución (ver Figura 7-14)			
Músculo	Origen	Inserción	Acción
Músculos de la lengua	Dentro de la lengua	Dentro de la lengua	Cambia la forma de la lengua
Intrínsecos	Huesos alrededor de la cavidad oral	Sobre la lengua	Mueve la lengua
Extrínsecos (No se muestra en la ilustración)			
Músculos hioides	Base del cráneo y mandíbula	Hueso hioides	Eleva o estabiliza el hioides
Supra hioides (ejemplo, genihioideo, estiloideo y hiogloso) (Figura 17-14)			
Infra hioideo (ejemplo tiroideo) (Figura 17-14)	Esternón, laringe	Hueso hioides	Deprime o estabiliza el hioides
Paladar blando (no se muestra en la ilustración)	Cráneo o paladar blando	Paladar, lengua o faringe	Mueve el paladar blando, lengua o faringe
Músculos de la faringe	Paladar blando y tubo de Eustaquio	Faringe	Eleva la faringe
Elevadores (no se muestran en la ilustración)			
Constrictores (ejemplo, medio e inferior) (Figura 7-14)	Laringe e hioides	Faringe	Constríñe la faringe

**Masticación**



## Masticación

Los cuatro pares de músculos de masticar, o **masticación**, son algunos de los más fuertes músculos del cuerpo (tabla 7-4). El temporal y los músculos **maseteros** (ver Figura 7-13, A) pueden ser fácilmente vistos y sentidos en el lado de la cabeza durante la masticación. Los músculos pterigoideos, que constan de dos partes, son profundos a la mandíbula.

La lengua y los músculos de la deglución

La lengua es muy importante en la masticación y el habla. La lengua desplaza la comida en la boca. Con el músculo buccinador, la lengua mantiene la comida en su lugar mientras los dientes muelen los alimentos. La lengua empuja la comida hasta el paladar y hacia la faringe para iniciar la deglución. La lengua se compone de una masa de **músculos intrínsecos** que se encuentran totalmente dentro de la lengua y funcionan para cambiar su forma. Los **músculos extrínsecos** están ubicados fuera de la lengua, pero se adhieren a la lengua y la mueven (cuadro 5.7 y la Figura 7-14)

La deglución implica una serie de estructuras y sus músculos asociados, incluyendo los músculos del hioides, paladar blando, faringe (garganta), y la laringe (caja de voz). Los **músculos hioides** se dividen en un grupo supra-hioide (superior al hioides) y un grupo infra-hioide (ver cuadro 7-5 y Figura 7-14). Cuando los músculos supra hioides supra-sostienen el hueso hioides en su lugar desde arriba, los músculos infrahioides pueden elevar la laringe. Para observar este efecto, coloque su mano en la laringe (manzana de Adán) y trague.

Los músculos del paladar blando cierran la abertura posterior de la cavidad nasal durante la deglución, evitando que la comida y el líquido entren en la cavidad nasal.

La deglución es realizada por la elevación de la faringe y la laringe, seguido por la constricción de la faringe. Los **elevadores de la faringe** elevan la faringe, y los

constrictores faríngeos constriñen la faringe de arriba hacia abajo, obligando a los alimentos hacia el esófago. Los músculos faríngeos también abren la trompa de Eustaquio, que conecta el oído medio con la faringe. Al abrirse la trompa de Eustaquio iguala la presión entre el oído medio y la atmósfera. Por eso a veces es útil masticar goma de mascar o tragar cuando sube o baja una montaña en un automóvil o cambia de altitud en un avión.

Músculos del cuello  
Los músculos profundos del cuello (tabla 7.6) incluyen los flexores del cuello, que se encuentran a lo largo de las superficies anteriores de los cuerpos vertebrales, y los extensores del cuello, que se encuentran posteriormente. La rotación y la abducción de la cabeza se llevan a cabo por los músculos del cuello lateral y posterior. El músculo **esternocleidomastoideo** (ver Figura 7-13, A), el principal motor del grupo muscular lateral, se ve fácilmente en las paredes anterior y lateral del cuello. La contracción de solo un músculo esternocleidomastoideo produce rotación de la cabeza. La contracción de los dos esternocleidomastoideos produce flexión del cuello o la extensión de la cabeza, dependiendo de lo que otros músculos del cuello están haciendo.

La tortícolis o el cuello rígido, puede resultar por lesión a uno de los músculos esternocleidomastoideos. Algunas veces es causada por daños a los músculos del cuello de un bebé durante un parto difícil y por lo general se puede corregir mediante el ejercicio de los músculos.

## P R E D I C E

¿En cual dirección puede girar la cabeza con el acortamiento del músculo esternocleidomastoideo?

CUADRO 7-6

Músculos del cuello (ver Figuras 7-11, 7-13, 7-15 y 7-19)

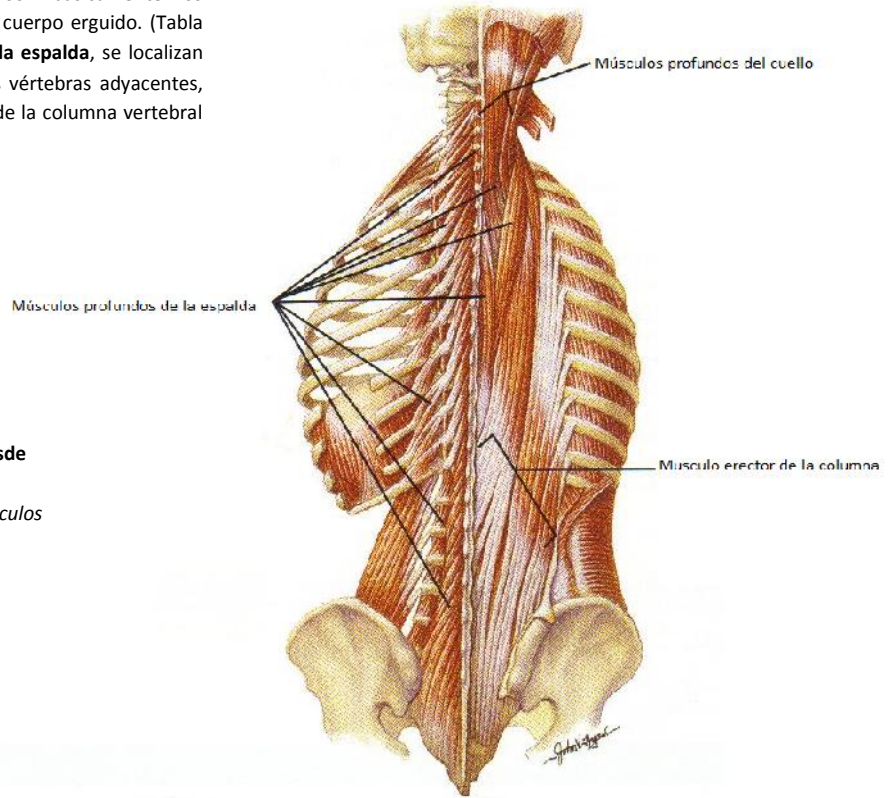
MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	ACCIÓN
Músculos profundos del cuello Flexores (No se muestran en la ilustración) Extensores (Figuras 7-15; 7-19, A)	Lado anterior de las vértebras Lado posterior de las vértebras	Base del cráneo Base del cráneo	Flexiona la cabeza y el cuello Extiende la cabeza y el cuello
Esternocleidomastoideo (Figuras 7-11, A, B; 7-13, A; 7-19, A)	Esternón y clavícula	Proceso mastoideo del cráneo	Gira individualmente la cabeza, además de flexionar el cuello o extender la cabeza
Trapezio (Figuras 7-11, A,B; 7-13, A; 7-19, A)	Cráneo y parte superior de la columna vertebral	Escápula	Extiende la cabeza y el cuello

### Músculos del tronco

Los músculos del tronco incluyen aquellos que mueven la columna vertebral, los del tórax y la pared abdominal y los del suelo pélvico.

Los músculos que mueven la columna vertebral

En los seres humanos los músculos de la espalda son muy fuertes para mantener una postura erguida. El **erector de la columna** es un grupo de músculos a cada lado de la espalda que son básicamente los responsables de mantener la espalda recta y el cuerpo erguido. (Tabla 7-7 y Figura 7-15). Los **músculos profundos de la espalda**, se localizan entre la columna y la apófisis transversa de las vértebras adyacentes, siendo los responsables de varios movimientos de la columna vertebral tales como la extensión, abducción y la rotación.



**Figura 7-15** Músculos de la espalda vistos desde una vista posterior

*La extremidad superior, cintura escapular y músculos asociados han sido removidos*

TABLA 7-7

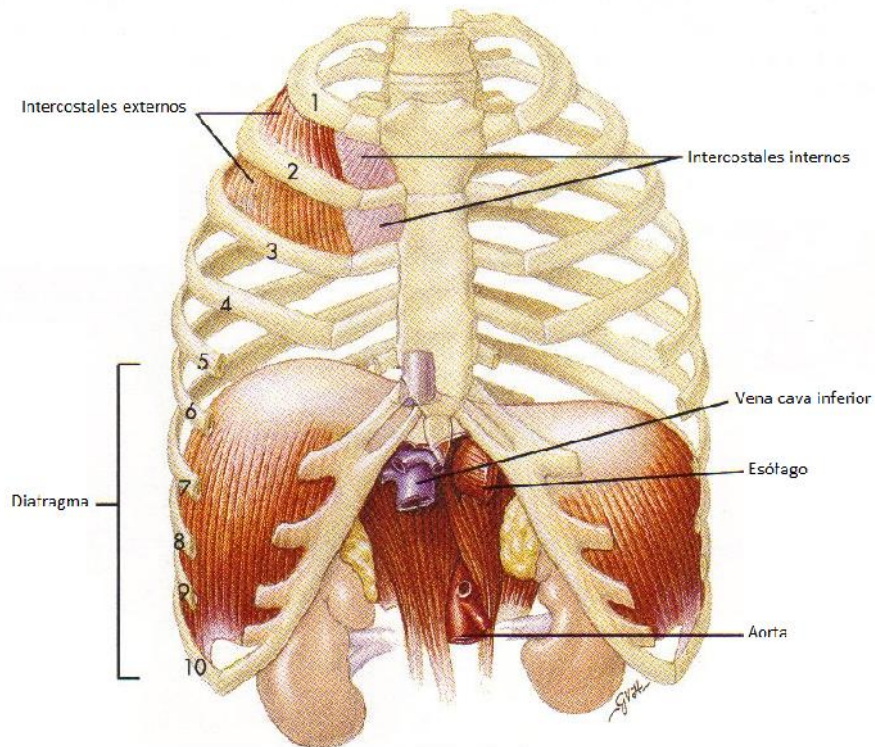
Músculos de la espalda que mueven la columna vertebral (ver Figura 7-15)

Músculo	Origen	Inserción	Acción
Erector de la columna (Figura 7-15)	Vértebras, pelvis	Vértebras superiores y costillas	Extiende la columna vertebral
Músculos profundos de la espalda (Figura 7-15)	Vértebras	Vértebras	Extiende la columna vertebral y ayuda a doblar la columna vertebral lateralmente.

### Músculos torácicos

Los músculos del tórax (Tabla 7-8 y Figura 7-16) están involucrados casi por completo en el proceso de respiración. Los **intercostales externos** elevan las costillas durante la inspiración. Los **intercostales internos** se contraen durante la expiración forzada.

El principal movimiento se produce en el tórax durante una respiración tranquila; sin embargo, lo lleva a cabo el **diafragma** en forma de domo. Cuando se contrae, el domo se aplana, haciendo que el volumen de la cavidad torácica aumente y resulte en inspiración.



**Figura 7-16 Músculos del tórax, vista anterior**

Se muestran músculos intercostales seleccionados y el diafragma

### CUADRO 7-8

#### Músculos del tórax (ver Figura 7-16)

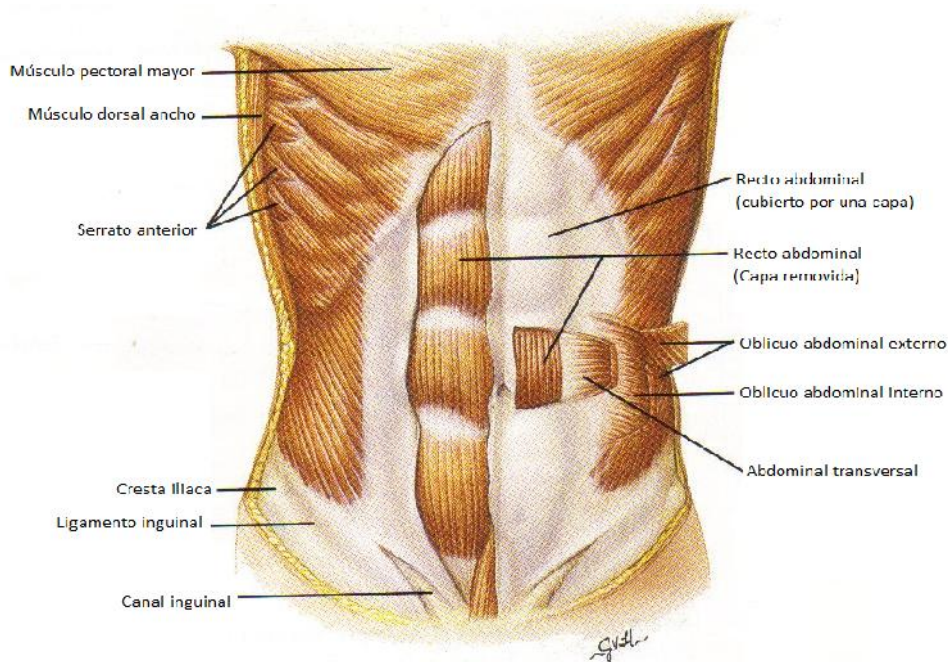
Músculo	Origen	Inserción	Acción
Intercostales externos (Figura 7-16; 7-19, B)	Costillas	Costilla proxima al origen inferior	Inspiración
Intercostales internos (Figura 7-16; 7-19, B)	Costillas	Costilla proxima al origen superior	Expiración forzada
Diafragma (Figura 7-16)	Interior de la pared del cuerpo	Tendón central del diafragma	Inspiración



### Músculos de la pared abdominal

Los músculos de la pared abdominal anterior (Cuadro 7-9 y Figura 7-17). flexionan y rotan la columna vertebral, comprimen la cavidad abdominal, contienen y protegen los órganos abdominales. En una persona musculosa con poca grasa, es visible una hendidura vertical, que se extiende desde el esternón a través del ombligo hasta el pubis.. Esta área tendinosa de la pared abdominal, llamada **línea alba**; (línea blanca) se compone de tejido conectivo blanco en vez de músculo. A cada lado de la línea alba está el **músculo recto del abdomen**.

Las **inscripciones tendinosas** cruzan el recto del abdomen, en tres o mas lugares, haciendo que la pared abdominal de una persona con una buena musculatura aparezca segmentada. A los lados del músculo recto del abdomen se encuentran tres capas de músculo. De superficial a profundo, estos músculos son **el oblicuo abdominal externo, oblicuo abdominal interno y el abdominal transversal**. Los fascículos de estas tres capas de musculos se orientan en direcciones diferentes entre sí. Cuando estos musculos se contraen, flexionan y rotan la columna vertebral y/o comprimen el contenido abdominal



CUADRO 7-9

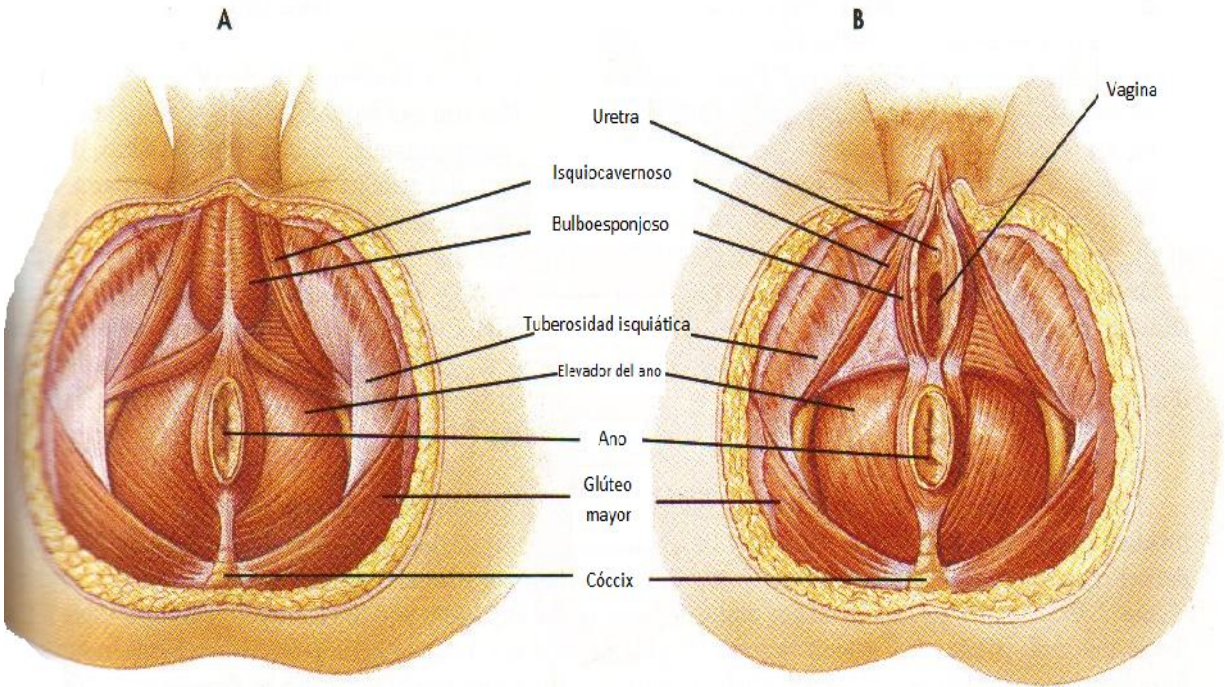
### Músculos de la pared abdominal (ver figura 7-17)

Músculo	Origen	Inserción	Acción
Recto abdominal (Figura 7-11, A 7-17)	Pubis	Caja toracica y esternón	Flexiona la columna vertebral
Oblicuo externo abdominal (Figura 7-11, A; 7-17, 7-19, B)	Caja torácica	Cresta iliaca y fascia del recto abdominal	Comprime el abdomen, flexiona y rota la columna vertebral
Oblicuo abdominal interno (Figura 7-17; 7-19, B)	Pelvis	Costillas bajas y fascia del recto abdominal	Comprime el abdomen, flexiona y rota la columna vertebral
Abdominal transversal (Figura 7-17)	Vértex, pelvis y costillas	Costillas bajas, fascia del recto abdominal y pubis	Comprime el abdomen

### Suelo pélvico y músculos perineales

La pelvis es un anillo de hueso con una abertura inferior que está cerrada por suelo muscular a través del cual pasa el ano, las aberturas de la vías urinarias y el tracto reproductivo. La mayor parte del **suelo pélvico**, también conocido como el **diafragma pélvico**, está formado por el músculo **elevador del ano**. La zona inferior del suelo

de la pelvis es el **perineo**, el cual contiene un número de músculos relacionados con las estructuras reproductivas masculinas y femeninas (Cuadro 7-10 y Figura 7-18). Varios de estos músculos ayudan a regular la micción y defecación



**FIGURA 7-18** Músculos del suelo pélvico y perineo

A Vista inferior masculina

B Vista inferior femenina

### CUADRO 7-10

Músculos del suelo pélvico y perineo (observe figura 7-18)

Músculo	Origen	Inserción	Acción
Elevador del ano (Figura 7-18, A y B)	Pubis e isquion	Sacro y cóccix	Eleva el ano
Isquiocavernoso (Figura 7-18, A y B)	Isquion	Clítoris o pene	Comprime la base de la clítoris o pene
Bulboespongioso (Figura 7-18, A y B)			
Masculino (Figura 7-18, A)	Tendón central del perineo	Bulbo del pene	Constríñe la uretra; ayuda a la erección del pene
Femenino (Figura 7-18, B)	Tendón central del perineo	Base del clítoris	Ayuda a la erección del clítoris

### Músculos de las extremidades superiores

Los músculos de las extremidades superiores son los que unen las extremidades y la cintura con el cuerpo y los que están en el brazo, el antebrazo y la mano.

#### Movimientos de la escápula

La conexión de la extremidad superior al cuerpo se lleva a cabo principalmente por los músculos. Los músculos que unen la escápula al tórax y mueven la escápula incluyen el **trapecio, elevador de la escápula, romboides, serrato anterior y pectoral menor** (Tabla 11.7; ver Figura 7.19). Estos actos musculares actúan como fijadores para sostener la escápula firmemente en su posición cuando los músculos del brazo se contraen. Los músculos de la escápula también mueven la escápula en posiciones diferentes, lo que aumenta el rango de movimiento de la extremidad superior. El trapecio (Figura 7-19, A) forma la línea superior desde cada hombros hasta el cuello, y el origen del serrato anterior desde las primeras ocho o nueve costillas se puede ver a lo largo del tórax lateral (Figura 7-19, B)

#### Movimientos del brazo

El brazo está unido al tórax por los músculos **pectoral mayor** y **dorsal ancho** (Tabla 7-12 y Figura 7-20, A; ver Figura 7-19, C). El pectoral mayor tira y flexiona el brazo. También puede extender el brazo desde una posición flexionada. El dorsal ancho rota, tira y extiende con energía el brazo. Debido a que un nadador utiliza estos tres movimientos durante el fuerte movimiento de la brazada, el dorsal ancho es a menudo

llamado músculo del nadador. Otro grupo de cuatro músculos, llamados músculos del **manguito de los rotadores**, une el húmero a la escápula y forma un mango o tapa sobre el húmero proximal (ver Tabla 7-12 y Figura 7-19, B y C). Una lesión del manguito rotatorio implica un daño a uno o más de estos músculos o sus tendones. El músculo **deltoides** une el húmero a la escápula y la clavícula, y es el abductor principal de la extremidad superior. El pectoral mayor forma el pecho superior y el deltoides forma la masa redondeada del hombro (ver Figura 7.22). El deltoides es un sitio común para la administración de inyecciones.

#### Movimientos del antebrazo

El brazo se puede dividir en compartimentos anterior y posterior. El **tríceps braquial**, el principal extensor del antebrazo, ocupa el compartimento posterior (Tabla 7-13 y Figura 7-20, B) El compartimento anterior está ocupado principalmente por el **bíceps braquial** y el **braquial anterior**, los flexores principales del antebrazo. El **braquiorradial**, que es en realidad un músculo del antebrazo posterior, ayuda a la flexión del antebrazo.

#### Supinación y pronación

La supinación del antebrazo, o girar el antebrazo flexionado de modo que la palma esté arriba, se lleva a cabo por el **supinador** y el **bíceps braquial** (ver Tabla 7-13, Tabla 7-14 y Figura 7-21), que tiende a la supinación del antebrazo mientras se flexiona. La pronación, girar el antebrazo de manera que la palma está hacia abajo, es una función de dos músculos pronadores.

*El texto Continúa en la página 182*

### CUADRO 7-11

Movimientos de la escápula (ver Figura 7-19)

Musculo	Origen	Inserción	Acción
Trapecio (Figura 7-11, A y C)	Cráneo y vértebras	Espina escapular de la escapula	Gira la escápula
Elevador de la escápula (Figura 7-19, A y C)	Vértebras cervicales	Ángulo superior de la escapula	Eleva la escápula
Romboides (Figura 7-19, A y C)	Vértebras	Borde medial de la escápula	Retrae la escapula
Serrato anterior (Figura 7-11, A; 7-17; 7-19, B; 7-20, A)	Costillas	Borde medial de la escápula	Prolonga la escapula
Pectoral menor (Figura 7-19, B)	Costillas	Proceso coracoides de la escapula	Deprime la escapula

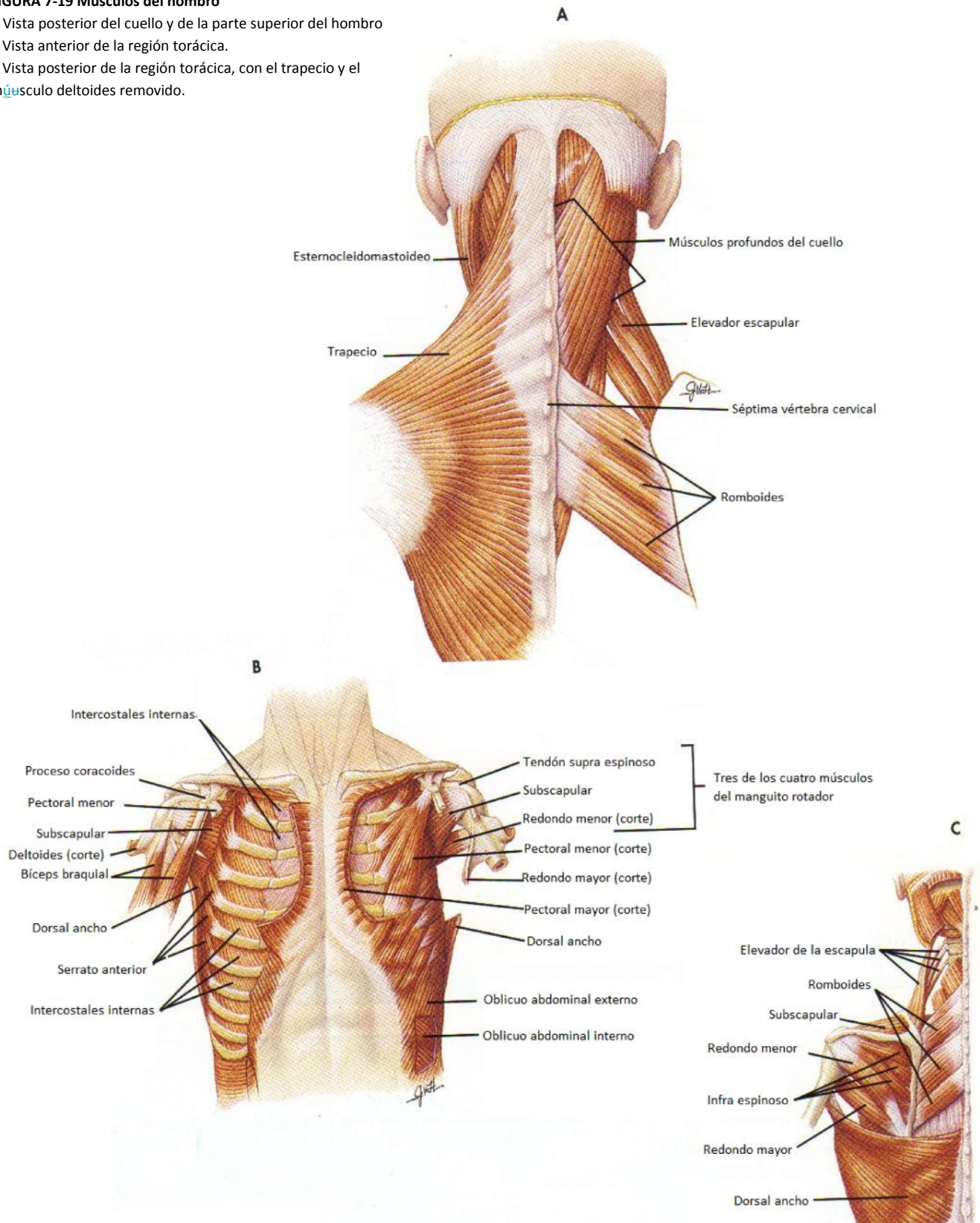


**FIGURA 7-19 Músculos del hombro**

A Vista posterior del cuello y de la parte superior del hombro

B Vista anterior de la región torácica.

C Vista posterior de la región torácica, con el trapecio y el músculo deltoides removido.



CUADRO 7-12

Movimientos del Brazo (ver Figuras 7-19 y 7-20)

MÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	ACCIÓN
Pectoral mayor (Figura 7-11, A; 7-17; 7-19, B; 7-20, A y B)	Costillas y clavícula	Eje del húmero	Aducción, flexión y extensión de brazo
Redondo mayor (Figura 7-11, B; 7-19, B; B y C)	Escápula	Húmero	Extensión, aducción y giro medial del brazo
Dorsal ancho (Figura 7-11, B; 7-17; 7-19, B y C; y 7-20, A)	Vértebras	Eje del húmero	Extensión, giro medial y aducción del brazo
Músculo del manguito rotador Infra espinoso (Figura 7-19, B)	Escápula	Tubérculo mayor del húmero	Extiende y gira el brazo lateralmente
Supra espinoso (Figura 7-19, B)	Escápula	Tubérculo mayor del húmero	Abduce el brazo
Subscapular (Figura 7-19, B)	Escápula	Tubérculo menor del húmero	Extiende y gira el brazo medialmente
Redondo menor (Figura 7-11, B; 7-19, B y C)	Escápula	Tubérculo mayor del húmero	Aduce y gira el brazo lateralmente
Deltoides (Figura 7-11, A y B, 7-19, B; 7-20 A y B, 7-22)	Escápula y clavícula	Húmero	Flexiona, extiende y abduce el brazo

CUADRO 7-13

Músculos del brazo (ver Figura 7-20, B)

MUÚSCULO	ORIGEN	INSERCIÓN	ACCIÓN
Tríceps braquial (Figura 7-11, B; 7:20, B, 7-22)	Húmero y escápula	Proceso olecranon de la ulna	Extiende el brazo y el antebrazo
Bíceps braquial (Figura 7-11, A; 7-19, B; 7-20, A y B; 7-22)	Escápula; superior a la fosa glenoidea y proceso coracoides	Tuberosidad radial	Flexiona el brazo y antebrazo y supinación del antebrazo
Braquial (Figura 7-20, B; 7-22)	Húmero	Proceso coracoides de la ulna	Flexiona el antebrazo

Versión en  
Inglés



## Skeletal Disorders

### Growth and Developmental Disorders

**Giantism** is a condition of abnormally increased size that usually involves excessive endochondral growth at the epiphyseal plates of long bones. **Dwarfism**, the condition in which a person is abnormally small, is often the result of improper growth in the epiphyseal plates (Figure 6-A).

**Osteogenesis imperfecta**, a group of genetic disorders producing very brittle bones that are easily fractured, occurs because insufficient collagen is formed to properly strengthen the bones. Prenatal fractures of the limbs often occur in the fetus. These fractures usually heal in poor alignment, causing the limbs to appear bent and shortened.

**Rickets** is a condition involving growth retardation resulting from nutritional deficiencies either in minerals (calcium and phosphate, necessary for normal ossification) or in vitamin D (necessary for cal-

cium and phosphate absorption). The condition results in bones that are soft, weak, and easily broken. Rickets most often occurs in children who get inadequate amounts of sunlight (necessary for vitamin D production by the body) and whose diets are deficient in vitamin D.

### Bacterial Infections

**Osteomyelitis** (os'te-o-mi-ē-lī'tis) is bone inflammation that often results from bacterial infection, and it can lead to complete destruction of the bone.

**Staphylococcus** (staph) infections, introduced into the body through wounds, are the most common cause of osteomyelitis. Tuberculosis is primarily a lung disease, but it can also affect bones. Because of milk pasteurization and other improvements in hygiene, tuberculosis became rare in the United States. However, because tuberculosis can be a complication in AIDS patients and

because a drug-resistant form of tuberculosis has emerged, tuberculosis has once more become a clinical problem in the United States.

### Tumors

There are many types of bone tumors with a wide range of resultant bone defects. Tumors may be benign or malignant. Malignant bone tumors may metastasize (spread) to other parts of the body or may result from metastasizing tumors elsewhere.

### Decalcification

**Osteomalacia** (os'te-o-mā-lā'she-ah), or the softening of bones, results from calcium depletion from bones. If the body has an unusual need for calcium (for example, during pregnancy when fetal growth requires large amounts of calcium), it may be removed from the mother's bones, which consequently soften and weaken. Osteomalacia is sometimes called adult rickets and can result from vitamin D deficiency.

**Osteoporosis** (os'te-o-po-ro-sis), or porous bone, results from reduction in the overall quantity of bone tissue. Loss of bone mass is greater in cancellous than in compact bone. The disease is 2.5 times more common in women than in men. The incidence of osteoporosis increases with age. In people over age 40, the normal production of bone may lag behind the resorption (bone removal) rate, and the overall bone mass may decline. This decrease in bone mass continues for the rest of the person's life. Women may eventually lose one half, and men may lose one fourth of the total cancellous bone mass. Osteoporosis can be a severe problem in older people because it results in bones that are easily fractured. Postmenopausal osteoporosis may occur in women between the ages of 50 and 65. It is thought that the decrease in estrogen levels as a result of menopause is a factor in this form of osteoporosis.



FIGURE 6-A • Giant and dwarf. Both are adults.



which have the general shape of the mature bone (Figure 6-6, A). During endochondral ossification, cartilage cells increase in number, hypertrophy (enlarge), and die; and the cartilage matrix becomes calcified. As this process is occurring in the center of the future bone, blood vessels accumulate in the outer surfaces. The presence of blood vessels in the outer surface of future bone causes some of the unspecified connective tissue cells on the surface to become osteoblasts. These osteoblasts then produce a collar of bone around part of the outer surface of the diaphysis (Figure 6-6, B). Blood vessels also invade the center of the diaphyses, stimulating ossification to occur. The center part of the diaphysis, where bone first begins to appear, is called the **primary ossification center**. Osteoblasts invade spaces in the center of the bone left by the dying cartilage cells, some of the calcified cartilage matrix is removed by cells called **osteoclasts** (os'te-o-klastz; bone-eating cells), and the osteoblasts line up on the remaining calcified matrix and begin to form bone lamellae. As the bone develops, a medullary cavity forms in the center of the diaphysis as osteoclasts remove bone and calcified cartilage, which are replaced by bone marrow (Figure 6-6, C and D). Later, **secondary ossification centers** form in the epiphyses (Figure 6-6, E and F).

### Bone Growth

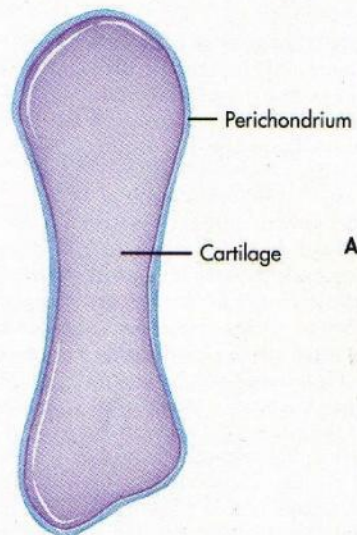
Bone growth can occur by appositional growth (or by endochondral growth). **Appositional growth** results as osteoblasts deposit bone matrix on the surface of bones between the periosteum and the existing bone. As a result of the deposition of new bone on the surface, the bone increases in diameter. **Endochondral growth** occurs in the epiphyseal plate (Figure 6-7). Cartilage cells, called chondrocytes, increase in number within the proliferating zone of the epiphyseal plate; line up in columns parallel to the long axis of the bone, causing elongation of the bone; and then hypertrophy and die. The cartilage matrix is calcified. Much of the cartilage that forms around the hypertrophied cells is removed by osteoclasts, and the dying chondrocytes are replaced by osteoblasts. The osteoblasts start forming bones by depositing bone lamellae on the surface of the calcified cartilage. Endochondral growth is responsible for bone elongation, which is the major source of increased height in the individual.

#### PREDICT

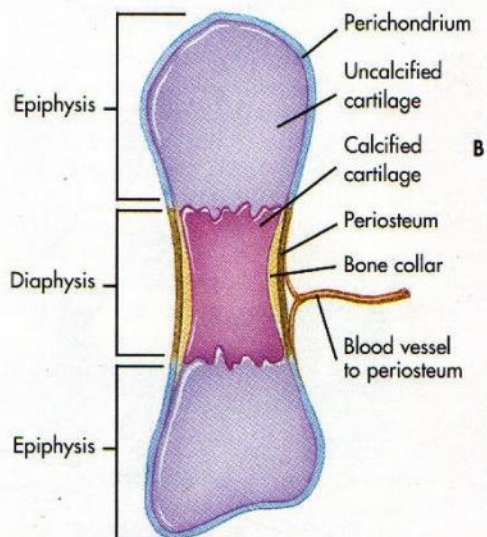
2 How would an adult look if endochondral growth did not occur in the long bones during childhood?

**FIGURE 6-6 • Endochondral ossification**

A The future bone first forms as a cartilage model.



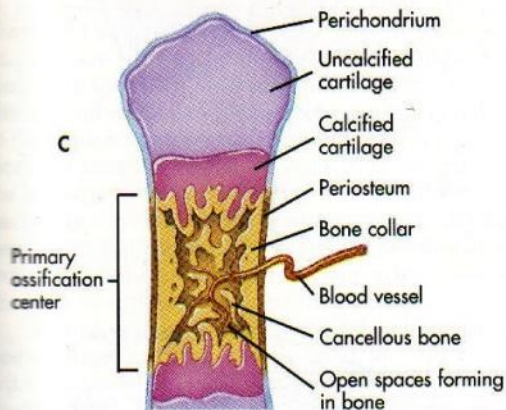
B Calcified cartilage is formed as chondrocytes hypertrophy and die and the cartilage matrix is mineralized. A periosteum develops around the bone, and osteoblasts begin producing a collar of bone in the diaphysis.



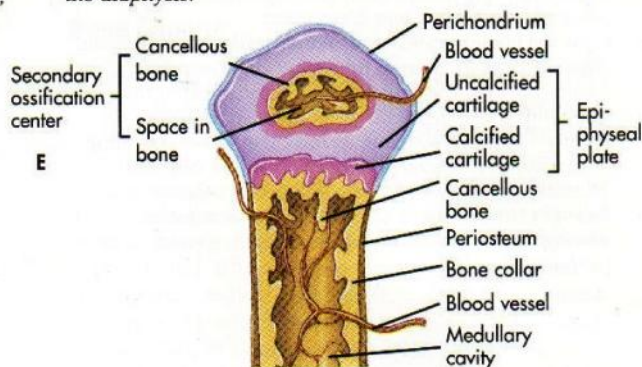


**FIGURE 6-6 • Endochondral ossification—cont'd.**

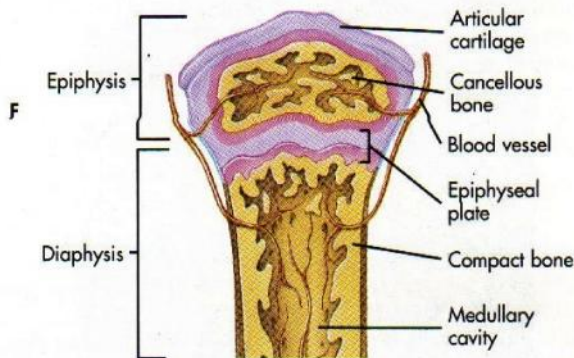
**C** A primary ossification center forms as blood vessels and osteoblasts invade the diaphysis. The midregion of the diaphysis is bone, with a marrow cavity in the center, and the ends of the diaphysis are calcified cartilage.



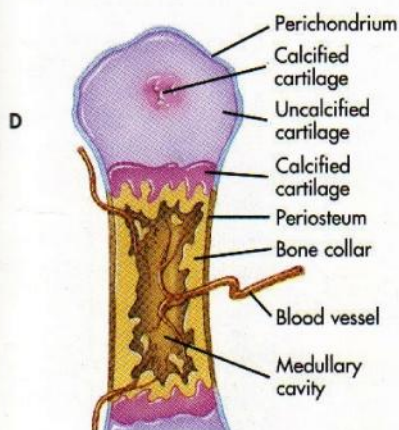
**E** Secondary ossification centers begin to form in the epiphyses as blood vessels enter those areas of the bone. An epiphyseal plate, or growth plate, forms at each end of the diaphysis.



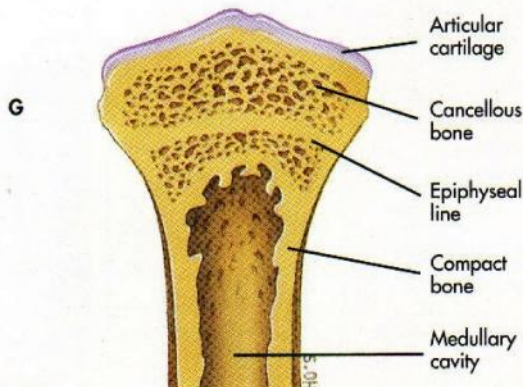
**F** The secondary ossification center enlarges. Part of the cartilage of the epiphysis will become the articular cartilage.



**D** The open spaces in the diaphysis enlarge to form the medullary cavity. An area of calcified cartilage forms in the center of the epiphysis.



**G** Mature bone. The original cartilage model has been replaced by bone; the epiphyseal plates have become epiphyseal lines, and articular cartilage remains over the articular surfaces at the ends of the bone.



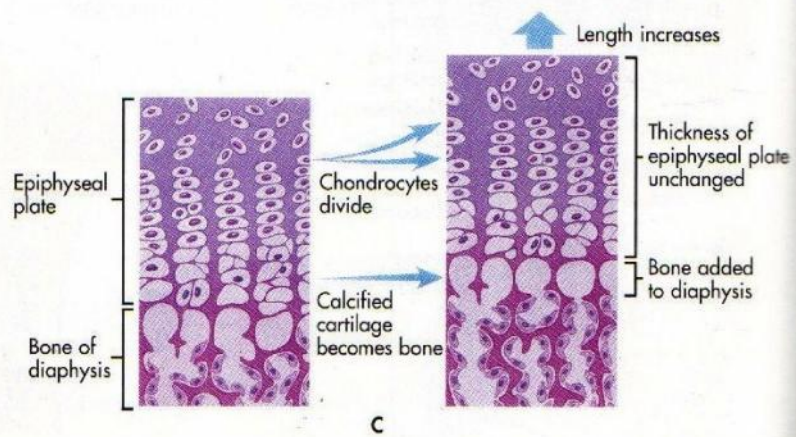
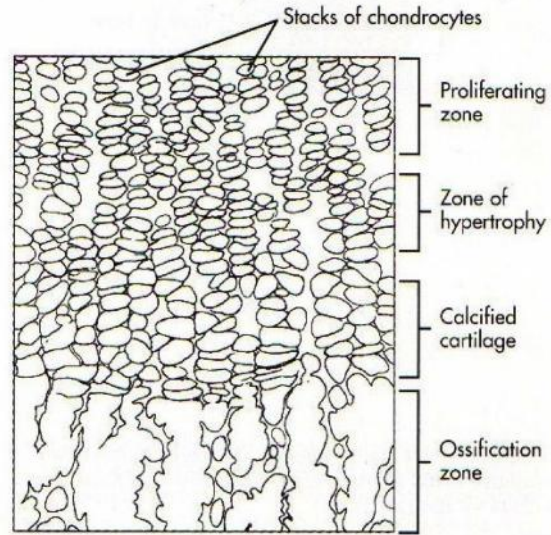
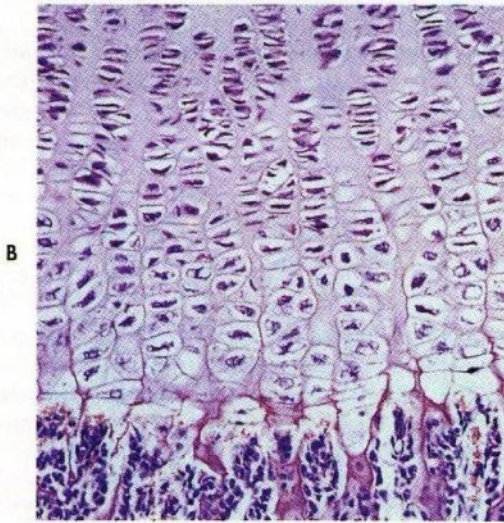
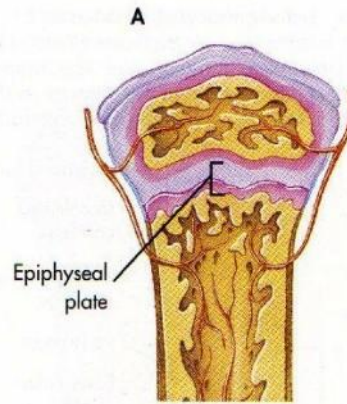


**FIGURE 6-7 • Endochondral bone growth**

**A** Location of the epiphyseal plate in a long bone.

**B** Photomicrograph of an epiphyseal plate, demonstrating the zones of proliferation and hypertrophy and the areas of calcification and ossification.

**C** As the chondrocytes of the epiphyseal plate divide and align in columns, there is an expansion of cartilage toward the epiphysis, and the bone elongates. At the same time, the older cartilage is calcified and then replaced by bone, which is, in turn, remodeled, resulting in expansion of the medullary cavity of the diaphysis. The net result is an epiphyseal plate that remains uniform in thickness through time but that is constantly moving toward the epiphysis, resulting in elongation of the bone.





## Bone Remodeling

**Bone remodeling** involves the removal of old bone by osteoclasts and the deposition of new bone by osteoblasts. Bone remodeling occurs in all bone and is responsible for bone growth, changes in bone shape, the adjustment of bone to stress, bone repair, and calcium ion regulation in the body fluids. As a long bone increases in length and diameter by appositional and endochondral growth, new bone is added to the outer surface of the bone, and bone is removed from the inner, medullary surface. Consequently, as the bone diameter increases, the thickness of the compact bone surrounding the medullary cavity tends to remain fairly constant. If the size of the medullary cavity did not also increase as bone size increased, the bone would become very heavy.

Bone is the major storage site for calcium in the body. Blood calcium levels must be maintained within narrow limits for functions such as muscle contraction and the conduction of action potentials to occur normally. Calcium is removed from bones when blood calcium levels decrease, and it is replaced when dietary calcium is adequate. This removal and deposition occurs under hormonal control (see Chapter 10).

If too much bone is deposited, the bones become thick or have abnormal spurs or lumps that can interfere with normal function. Too little bone formation

or too much bone removal weakens the bones and makes them susceptible to fracture.

## Bone Repair

When a bone is broken, blood vessels in the bone are also damaged. The vessels bleed, and a clot forms in the damaged area (Figure 6-8, A). Two to three days after the injury, blood vessels and cells from surrounding tissues begin to invade the clot. Some of these cells produce a fibrous network between the broken bones, which holds the bone fragments together and fills the gap between the fragments. Other cells produce cartilage in the fibrous network. The zone of tissue repair between the two bone fragments is called a **callus** (Figure 6-8, B).

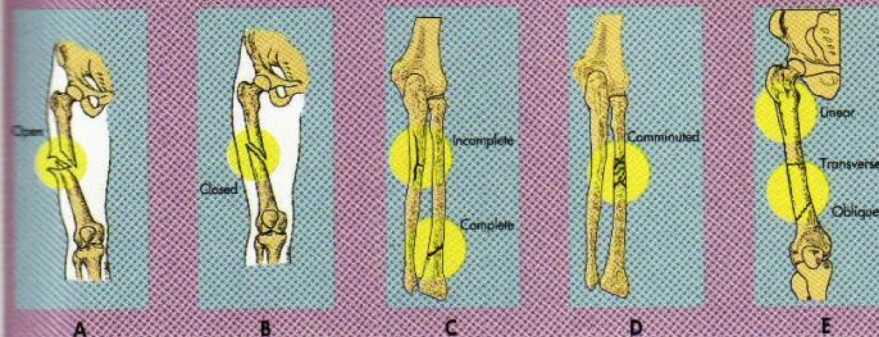
Osteoblasts enter the callus and begin forming cancellous bone (Figure 6-8, C). Cancellous bone formation in the callus is usually complete 4 to 6 weeks after the injury. Immobilization of the bone is critical up to this time, because movement can refracture the delicate new matrix. Subsequently, the cancellous bone is slowly remodeled to form compact and cancellous bone, and the repair is complete (Figure 6-8, D). Total healing of the fracture may require several weeks or even months. If bone healing occurs properly, the healed region is usually even stronger than the adjacent bone.

## Bone Fractures

Bone fractures (Figure 6-8) can be classified as **open**, or **compound**, if the bone protrudes through the skin, and **closed**, or **simple**, if the skin is not perforated. If the fracture totally separates the two bone fragments, it is called **complete**; if

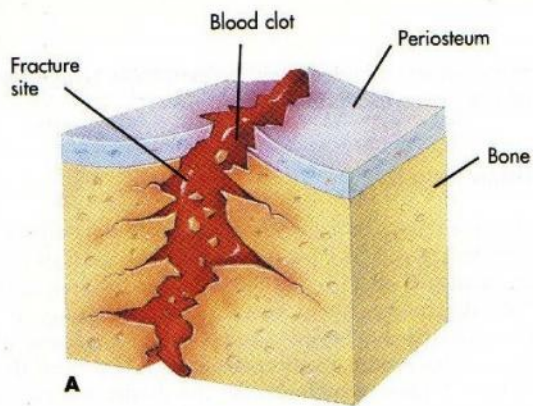
it doesn't, it is called **incomplete**. An incomplete fracture that occurs on the convex side of the curve of a bone is called a **green-stick fracture**. A **comminuted** (kom-i-nuted) fracture is one in which the bone breaks into more than two

fragments. Fractures can also be classified according to the direction of the fracture line as **linear** (parallel to the long axis), **transverse** (at right angles to the long axis), or **oblique** (at an angle other than a right angle to the long axis).



**FIGURE 6-8**  
**Bone fractures**  
A Open  
B Closed  
C Complete and incomplete  
D Comminuted  
E Linear, transverse, and oblique.





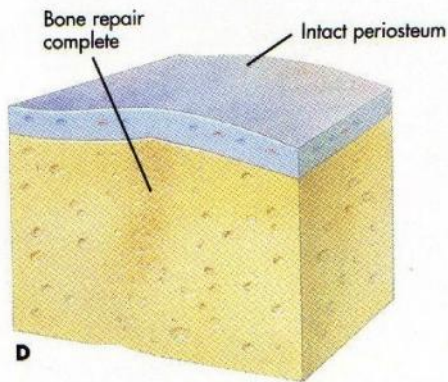
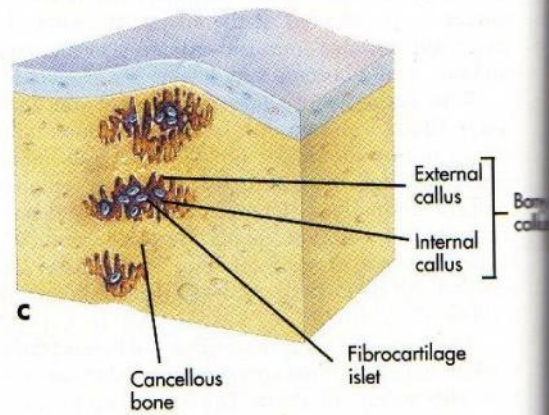
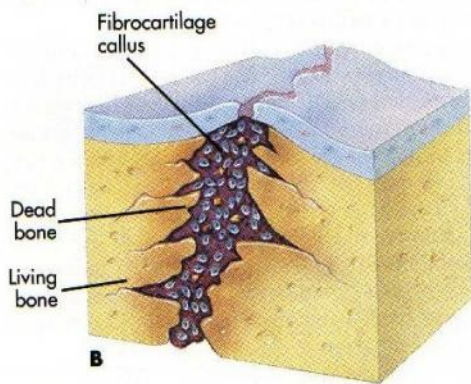
**FIGURE 6-8 • Bone repair**

**A** When a bone is broken, a clot forms in the damaged area.

**B** Blood vessels and cells invade the clot and produce a fibrous network between the broken bones, called a callus.

**C** Osteoblasts enter the callus and begin forming cancellous bone.

**D** The cancellous bone is slowly remodeled to form compact and cancellous bone, and the repair is complete.



### DID YOU KNOW?

Although immobilization is critical during the early stages of bone healing, complete immobilization is not good for the muscles and joints, or even for the bone itself. Not long ago, it was common practice to completely immobilize a bone for as long as 10 weeks. It is now known that, if a bone is immobilized for as little as 2 weeks, the muscles associated with that bone may lose as much as half their strength. Furthermore, if a bone is completely immobilized, it is not subjected to the normal mechanical stresses that help it to form. Bone matrix is reabsorbed, and the strength of the bone decreases. In experimental animals, complete immobilization of the back for 1 month resulted in up to a threefold decrease in vertebral compression strength. Modern therapy attempts to balance bone immobilization with enough exercise to minimize muscle and bone atrophy and to maintain joint mobility.



## GENERAL CONSIDERATIONS OF BONE ANATOMY

It is traditional to list 206 bones in the average adult skeleton (Table 6-1 and Figure 6-9), although the actual number varies from person to person and increases with age as some bones become fused.

Several common terms are used to describe the features of bones (Table 6-2). For example, a hole in a bone is called a **foramen** (fo-ra'men). A foramen

usually exists in a bone because some structure, such as a nerve or blood vessel passes through the bone at that point. If the hole is elongated into a tunnel-like passage through the bone, it is called a **canal** or a **meatus** (me-a'tus). A depression in a bone is called a **fossa** (fos'ah). A lump on a bone is called a **tubercle** (tu'ber-kl) or **tuberosity** (tu'ber-os'i'te), and a projection from a bone is called a **process**. Most tubercles and processes are sites of muscle attachment on the bone. Increased muscle pull, such as when a person

TABLE 6-1

Number of Named Bones Listed by Category

BONES	NUMBER	BONES	NUMBER
<b>AXIAL SKELETON</b>		<b>APPENDICULAR SKELETON</b>	
<b>SKULL</b>		<b>PECTORAL GIRDLE</b>	
Cranial vault		Scapula	2
Paired	Parietal 2	Clavicle	2
Unpaired	Frontal 1	<b>UPPER LIMB</b>	
	Occipital 1	Humerus	2
	Sphenoid 1	Ulna	2
	Ethmoid 1	Radius	2
Face		Carpals	16
Paired	Maxilla 2	Metacarpals	10
	Zygomatic 2	Phalanges	28
	Palatine 2		
	Nasal 2	<b>TOTAL GIRDLE AND UPPER LIMB</b>	<b>64</b>
	Lacrimal 2		
	Inferior nasal concha 2	<b>PELVIC GIRDLE</b>	
Unpaired	Mandible 1	Coxa	2
	Vomer 1	<b>LOWER LIMB</b>	
Auditory ossicles	Malleus 2	Femur	2
	Incus 2	Tibia	2
	Stapes 2	Fibula	2
	<b>TOTAL SKULL</b>	Patella	2
	28	Tarsals	14
<b>HYOID</b>	1	Metatarsals	10
<b>VERTEBRAL COLUMN</b>		Phalanges	28
Cervical vertebrae	7		
Thoracic vertebrae	12	<b>TOTAL GIRDLE AND LOWER LIMB</b>	<b>62</b>
Lumbar vertebrae	5	<b>TOTAL APPENDICULAR SKELETON</b>	<b>126</b>
Sacrum	1		
Coccyx	1	<b>TOTAL BONES</b>	<b>206</b>
	<b>TOTAL VERTEBRAL COLUMN</b>		
	26		
<b>THORACIC CAGE</b>			
Ribs	24		
Sternum (3 parts, sometimes considered 3 bones)	1		
	<b>TOTAL THORACIC CAGE</b>		
	25		
	<b>TOTAL AXIAL SKELETON</b>		
	80		



**FIGURE 6-9 • The complete skeleton**  
*(The skeleton is not in anatomical position)*  
**A** Anterior view.  
**B** Posterior view.

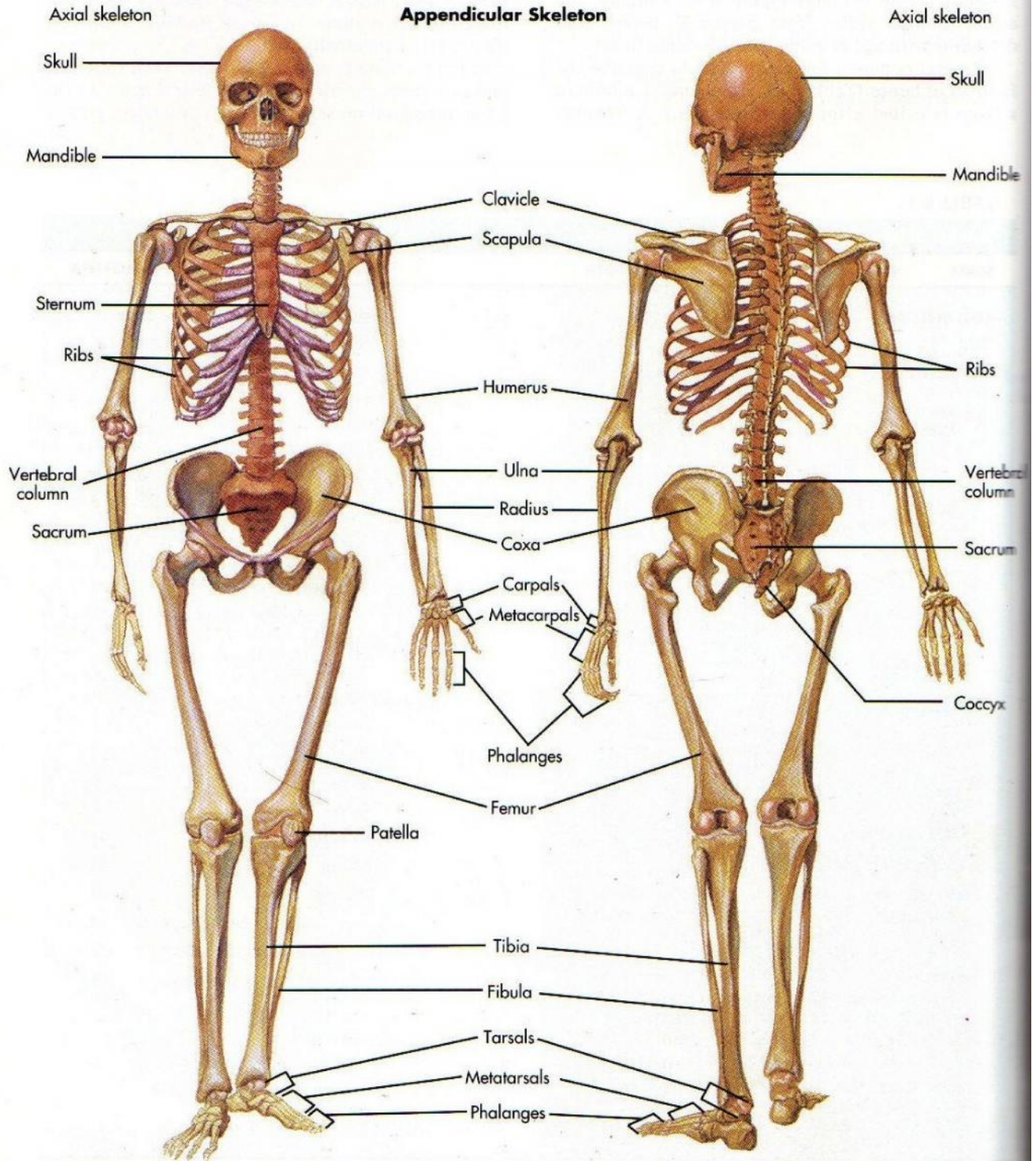




TABLE 6-2

## General Anatomical Terms for Various Features of Bones

TERM	DESCRIPTION
<b>MAJOR FEATURES</b>	
Body, shaft	Main portion
Head	Enlarged (often rounded) end
Neck	Constricted area between head and body
Condyle	Smooth, rounded articular surface
Facet	Small, flattened articular surface
Crest	Prominent ridge
Process	Prominent projection
Tubercle or tuberosity	Knob or enlargement
Trochanter	Large tuberosity found only on the proximal femur
Epicondyle	Enlargement near or above a condyle
<b>OPENINGS OR DEPRESSIONS</b>	
Foramen	Hole
Canal, meatus	Tunnel
Fissure	Cleft
Sinus	Cavity
Fossa	Depression

lifts weights to build up his muscle mass, can increase the size of some tubercles. The smooth, rounded end of a bone, where it forms an articulation (a joint) with another bone, is called a **condyle** (kon'dil).

## AXIAL SKELETON

The axial skeleton is divided into the skull, the vertebral column, and the thoracic cage.

### Skull

The bones of the skull (see Table 6-1) are divided into two groups: those of the cranial vault and those of the face. The **cranial vault**, or **braincase**, consists of 8 bones that immediately surround and protect the brain; the 14 **facial bones** form the structure of the face. Thirteen of the facial bones are rather solidly connected to form the bulk of the face. The mandible, the fourteenth bone, forms a freely movable articulation with the rest of the skull. There are also 3 audi-

tory ossicles in each middle ear (6 total) to bring the total number of bones in the skull to 28.

The **hyoid** (hi'oyd) bone is not part of the skull but is attached to the skull and larynx by muscles and ligaments. It serves as the attachment point for several important neck and tongue muscles (see Figure 7-14).

Many students studying anatomy never see the separate, individual bones of the skull. Even if they do, it makes more sense from a functional, clinical perspective to study most of the bones as they appear together in the intact skull. Many of the anatomical features of the skull cannot be fully appreciated by examining the separate bones. For example, several ridges cross more than one bone, and several foramina are located between bones rather than within a single bone. For these reasons, it is most relevant to think of the skull, excluding the mandible, as a single unit. Therefore the major features of the intact skull are described below from four views.

### Lateral view

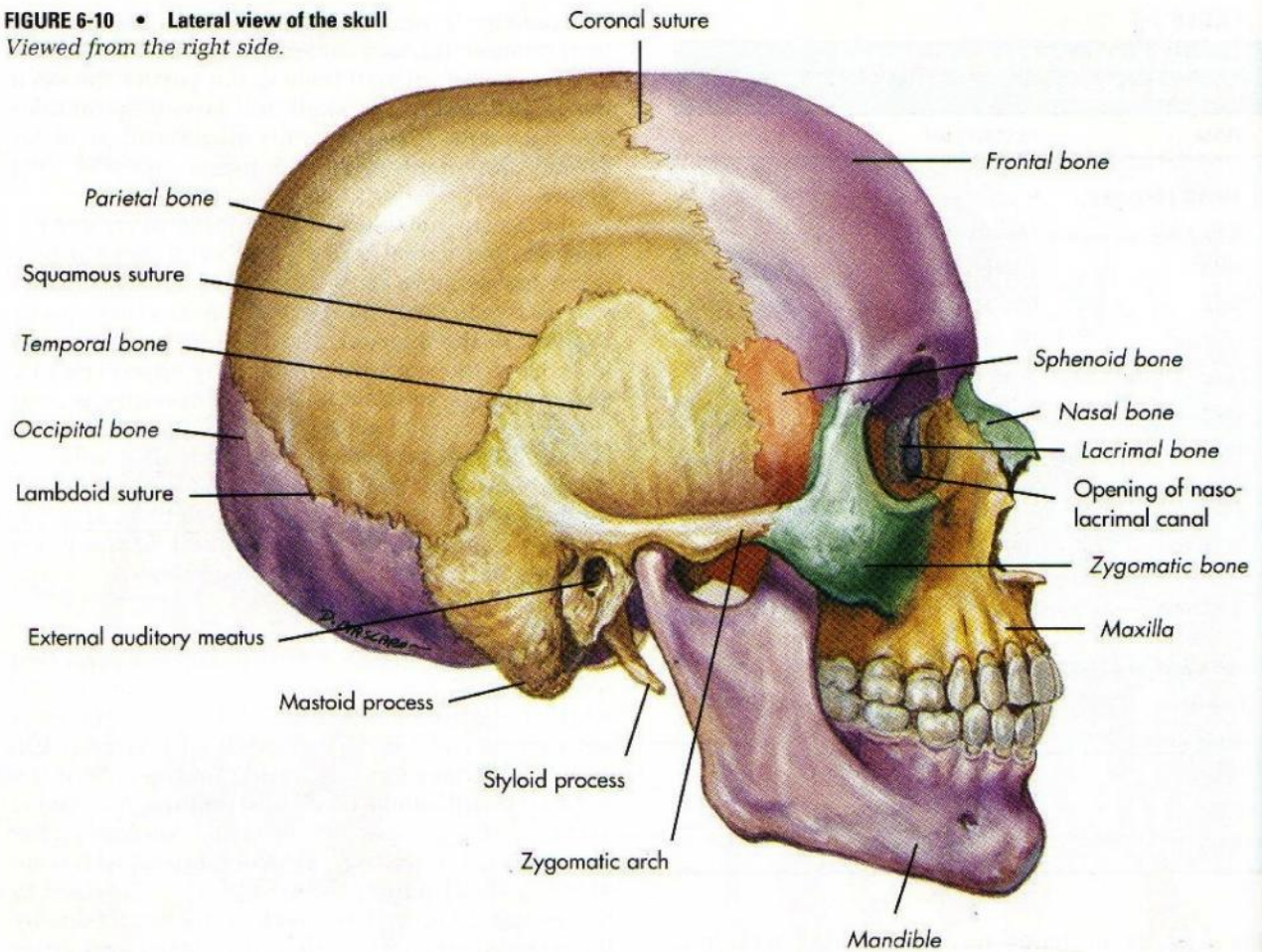
The **parietal** (pā-ri'ē-tal; wall) and **temporal** (the term refers to time; the hairs of the temples turn white, indicating the passage of time) bones form a large portion of the side of the head (Figure 6-10). These two bones join each other on the side of the head at the **squamous** (skwa'mus) **suture**. A suture is a joint uniting bones of the skull. Anteriorly, the parietal bone is joined to the **frontal** (forehead) bone by the **coronal suture**, and posteriorly it is joined to the **occipital** (ok-sip'i-tal; back of the head) bone by the **lambdoid** (lam'doyd; shaped like the Greek letter lambda, λ) **suture**. A prominent feature of the temporal bone is a large opening, the **external auditory meatus**, a canal that enables sound waves to reach the eardrum. The **mastoid** (mas'-toyd; resembling a breast) **process** of the temporal bone can be seen and felt as a prominent lump just posterior to the ear. Important neck muscles involved in rotation of the head attach to the mastoid process.

Part of the **sphenoid** (sfe'noyd; wedge-shaped) bone can be seen immediately anterior to the temporal bone. Although it appears to be two small, paired bones on either side of the skull, the sphenoid bone is actually a single bone that extends completely across the skull. It resembles a butterfly, with its body in the center of the skull and its wings extending to the sides of the skull. Anterior to the sphenoid bone is the **zygomatic** (zi-go-mat'ik; yoke) bone, or cheek bone, which can be easily felt. The **zygomatic arch**, which consists of joined processes from the temporal and zygomatic bones, forms a bridge across the side of the face.

The **maxilla** (mak'sil-ah) forms the upper jaw, and the **mandible** (man'dī-bl) forms the lower jaw.



**FIGURE 6-10 • Lateral view of the skull**  
Viewed from the right side.



The maxilla articulates by sutures to the temporal bone. The maxilla contains the superior set of teeth, and the mandible contains the inferior teeth.

### Frontal view

The major structures seen from the frontal view are the frontal bone, the zygomatic bones, the maxillae, and the mandible (Figure 6-11, A). The teeth are very prominent in this view. Many bones of the face can be easily felt through the skin (Figure 6-11, B).

From this view, the most prominent openings into the skull are the **orbits** (eye sockets) and the **nasal cavity**. The orbits are cone-shaped fossae, so named because of the rotation of the eyes within them. The bones of the orbits provide both protection for the eyes and attachment points for the muscles that move the eyes. The orbit is a good example of why it is valuable to study the skull as an intact unit structure. No less than seven bones come together to form the orbit, and, for the most part, the contribution of each bone to the orbit cannot be appreciated when the bones are examined individually.

Each orbit (see Figure 6-11, A) has several openings through which structures communicate with other cavities. The largest of these are the **superior and inferior orbital fissures**. They provide openings through which nerves and blood vessels communicate with the orbit or pass to the face. The optic nerve, for the sense of vision, passes from the eye through the **optic foramen** and enters the cranial vault. The **nasolacrimal canal** (see Figure 6-10) passes from the orbit into the nasal cavity. It contains a duct that carries tears from the eyes to the nasal cavity. A small **lacrimal** (lak'ri-mal; tear) bone can be seen in the orbit just above the opening of this canal (see Figure 6-10).

### PREDICT

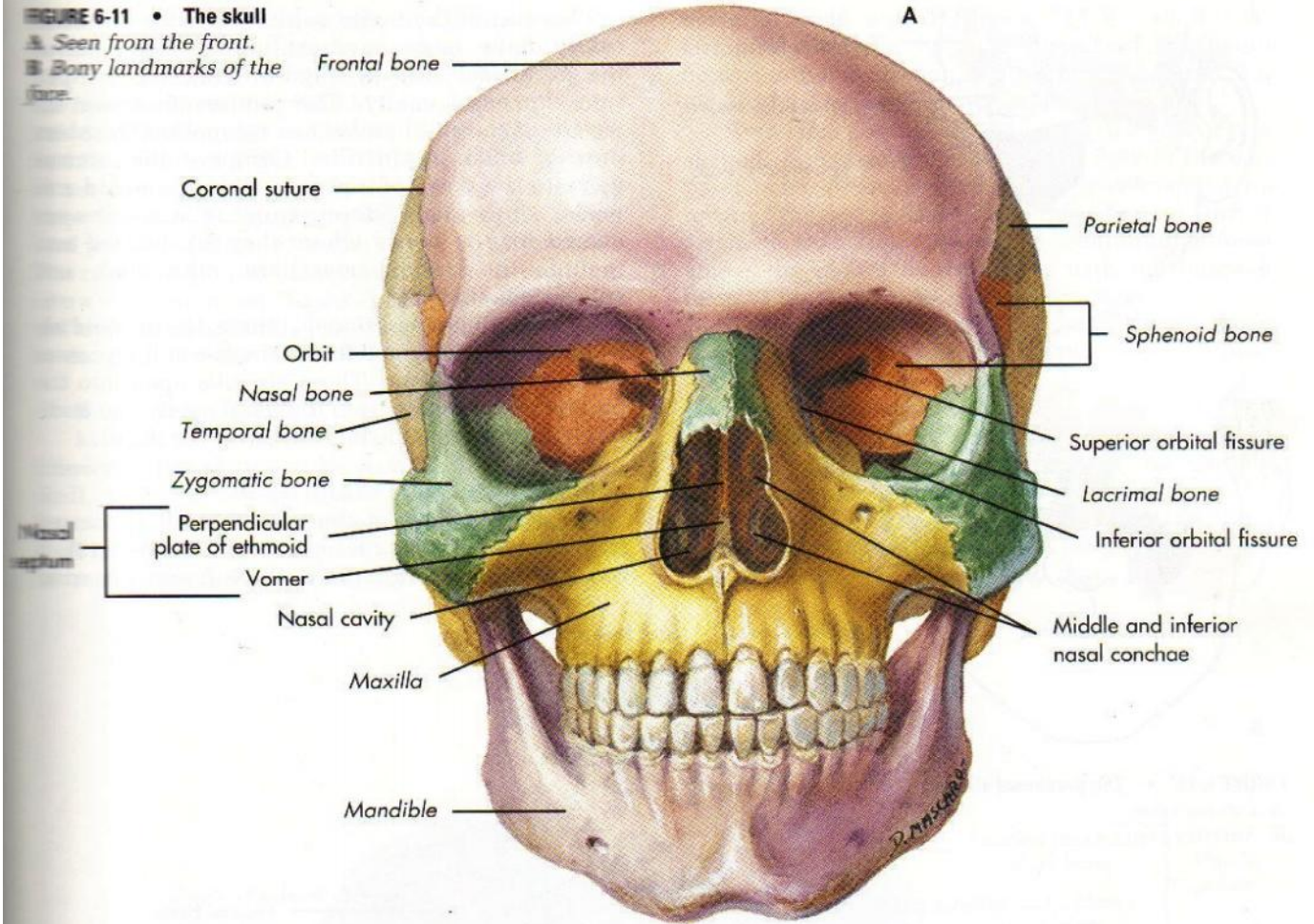
3 Why does your nose run when you cry?



**FIGURE 6-11 • The skull**

**A** Seen from the front.

**B** Bony landmarks of the face.

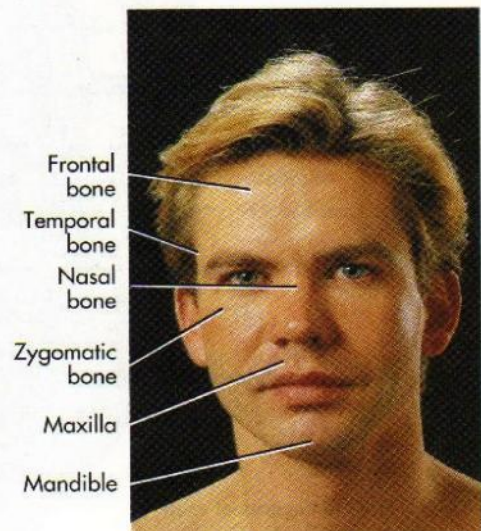


The nasal cavity is divided into right and left halves by a **nasal septum** (sep'tum; wall) (see Figure 6-11, A). The bony part of the nasal septum consists primarily of the **vomer** (vo'mer; shaped like a plowshare) inferiorly and the perpendicular plate of the **ethmoid** (eth'moyd; sieve-shaped) bone superiorly. The anterior part of the nasal septum is formed by cartilage.

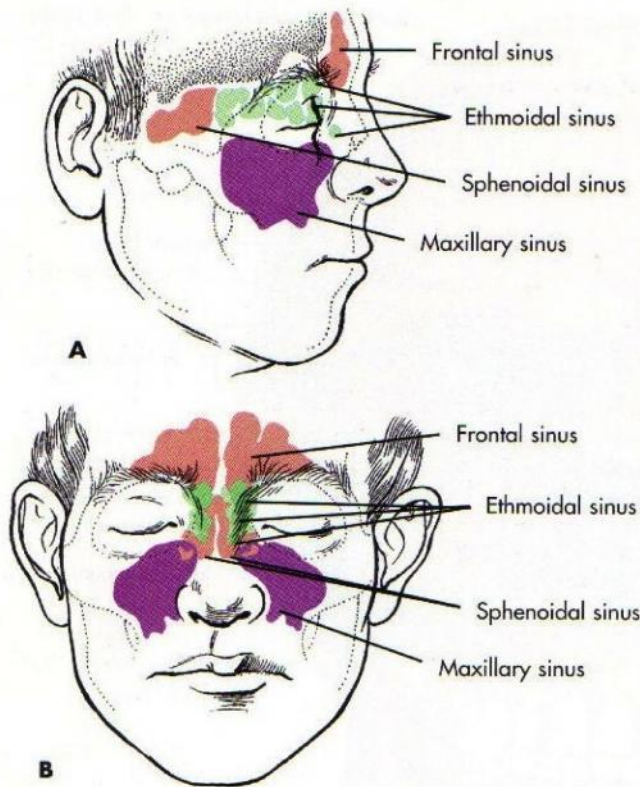
The external part of the nose is formed mostly of cartilage. The bridge of the nose is formed by the **nasal bones**.

Each of the lateral walls of the nasal cavity has three bony shelves, the **nasal conchae** (kon'ke; resembling a conch shell). The inferior nasal concha is a separate bone, and the middle and superior conchae are projections from the ethmoid bone. The conchae function to increase the surface area in the nasal cavity. The increased surface area of the overlying epithelium facilitates moistening and warming of the air inhaled through the nose (see Chapter 15).

**B**







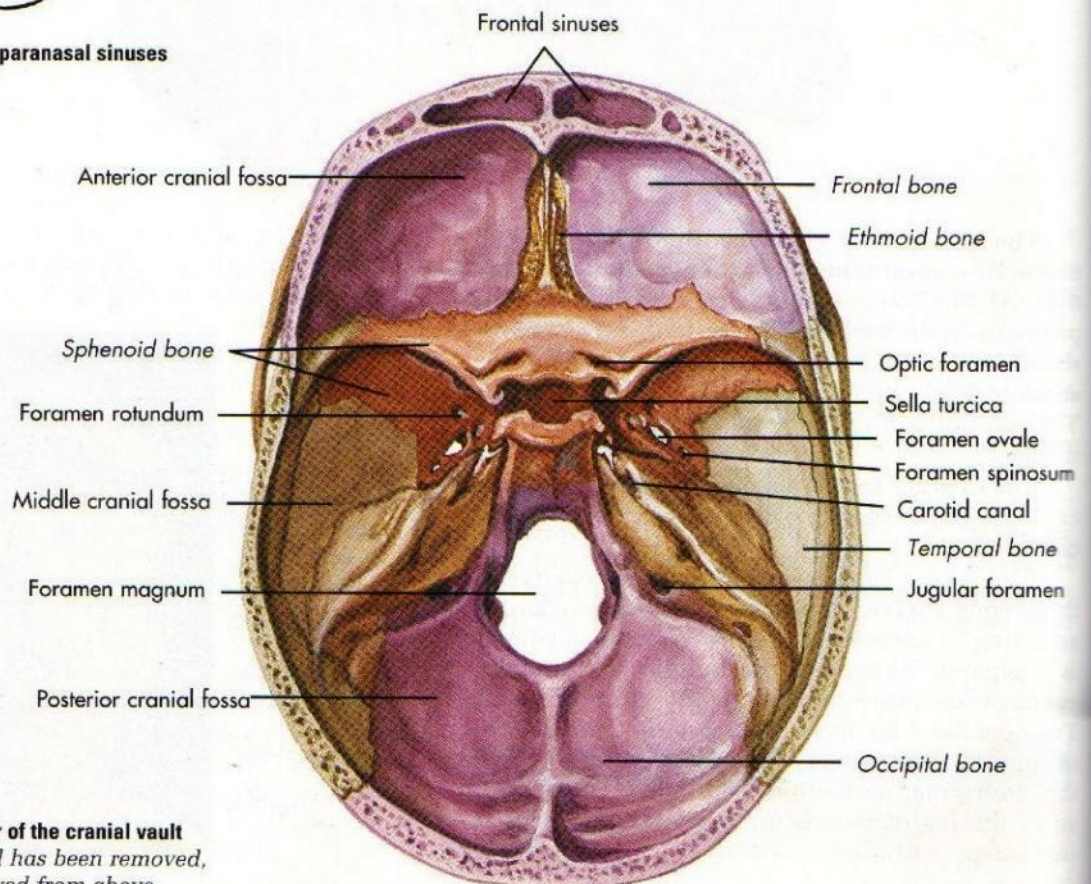
**FIGURE 6-12 • The paranasal sinuses**  
 A Lateral view.  
 B Anterior view.

Several of the bones associated with the nasal cavity have large cavities within them, called the **paranasal sinuses** (Figure 6-12), which open into the nasal cavity. The sinuses decrease the weight of the skull and act as resonating chambers during voice production. Compare the normal voice to the voice of a person who has a cold and whose sinuses are “stopped up.” The sinuses are named for the bones where they are located and include the frontal, maxillary, ethmoidal, and sphenoidal sinuses.

\*The skull has additional sinuses, the **mastoid air cells**, which are located inside the mastoid processes of the temporal bone. These air cells open into the middle ear instead of into the nasal cavity. An auditory tube connects the middle ear to the throat.

### Interior of the cranial vault

When the floor of the cranial vault is viewed from above with the roof cut away (Figure 6-13), it can be divided roughly into three fossae (anterior,



**FIGURE 6-13 • Floor of the cranial vault**  
 The roof of the skull has been removed, and the floor is viewed from above.



middle, and posterior), which are formed as the developing skull conforms to the shape of the brain. The bones forming the floor of the cranial vault are the frontal, ethmoid, sphenoid, temporal, and occipital. Several foramina can be seen in the floor of the middle fossa (see Figure 6-13). These allow passage of nerves and blood vessels through the skull. The large **foramen magnum**, through which the spinal cord joins the brain, is located in the posterior fossa. The central region of the sphenoid bone is modified into a structure resembling a saddle, the **sella turcica** (sel'ah tur'si-kah; Turkish saddle), which is occupied by the pituitary gland.

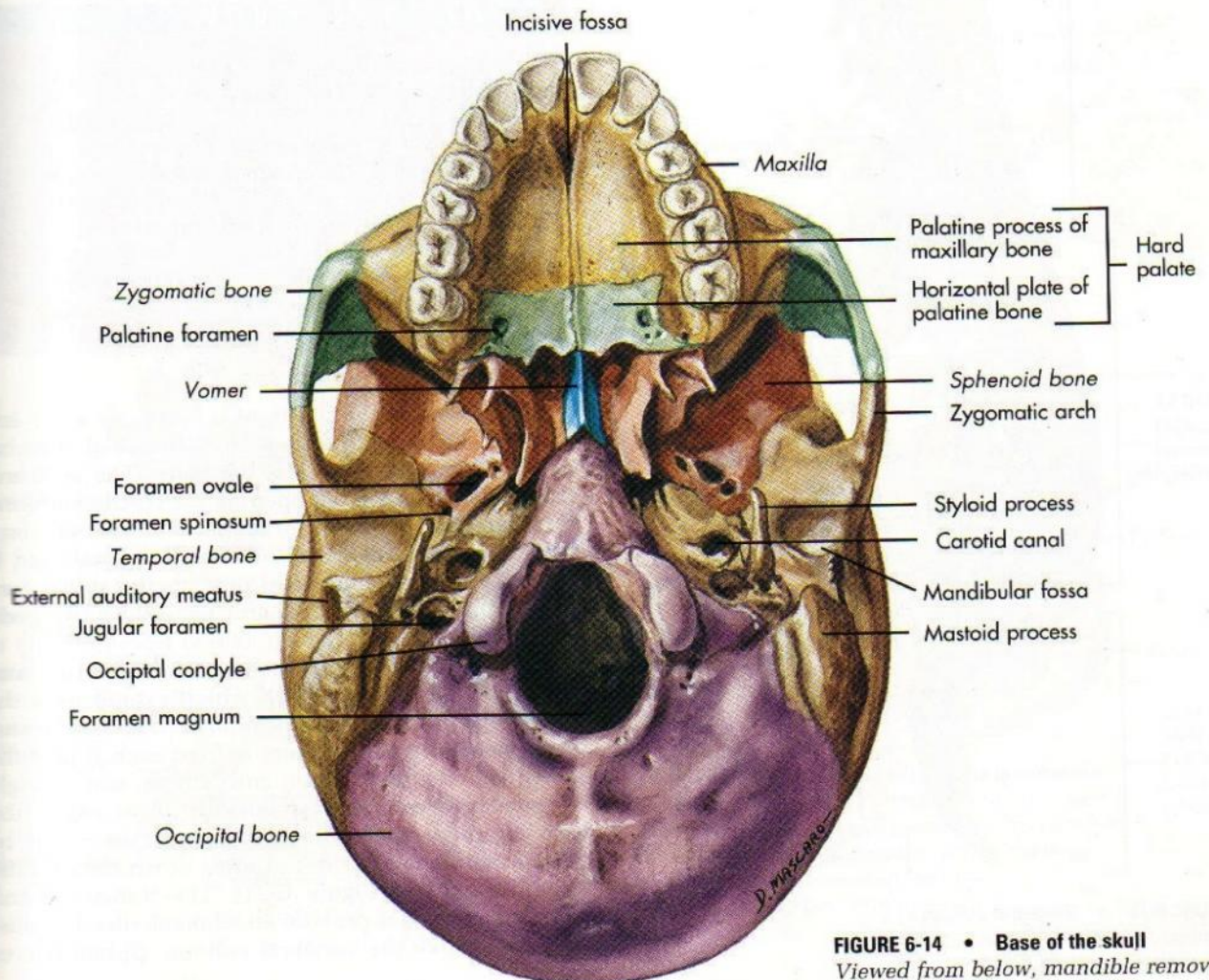
### Base of skull seen from below

Many of the same foramina that were seen in the interior of the skull can be seen in the base of the skull, when seen from below, with the mandible removed (Figure 6-14). Other specialized structures, such as processes for muscle attachments, can also be seen. The foramen magnum is located in the

occipital bone near the center of the skull base. **Occipital condyles**, the smooth points of articulation between the skull and the vertebral column, are located beside the foramen magnum.

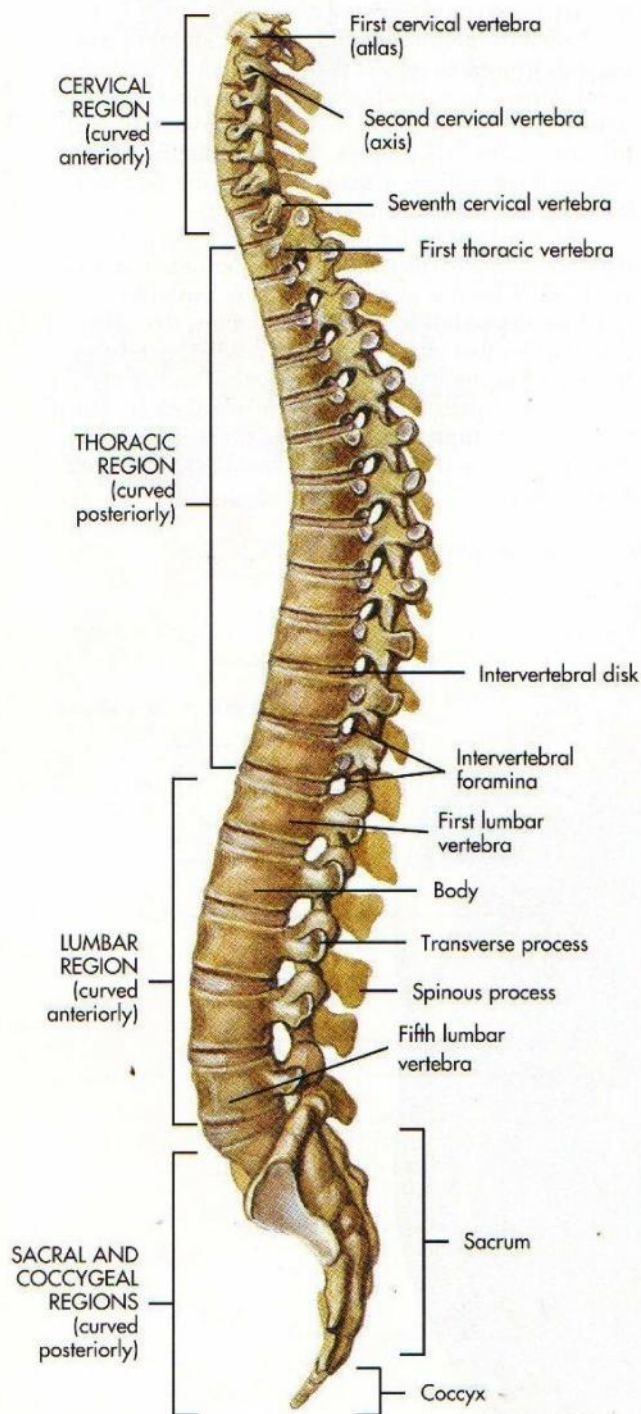
Two long, pointed **styloid** (sti'loyd; stylus or pen-shaped) **processes** project from the floor of the temporal bone. Muscles involved in movement of the tongue, the hyoid bone, and the pharynx (throat) originate from this process. The **mandibular fossa**, where the mandible articulates with the temporal bone, is anterior to the mastoid process.

The **hard palate** forms the floor of the nasal cavity and the roof of the mouth. The anterior two thirds are formed by the maxillae, and the posterior one third by the **palatine** bones. The connective tissue and muscles that make up the **soft palate** extend posteriorly from the hard or bony palate. The hard and soft palates function to separate the nasal cavity and nasopharynx (upper part of the throat) from the mouth, enabling us to chew and breathe at the same time.



**FIGURE 6-14 • Base of the skull**  
Viewed from below, mandible removed.





**FIGURE 6-15 • Vertebral column**  
Viewed from the left side.

## Vertebral Column

The **vertebral column**, or backbone, is the central axis of the skeleton, extending from the base of the skull to slightly past the end of the pelvis. It usually consists of 25 individual bones, called vertebrae, grouped into five regions (Figure 6-15; see Table 6-1): 7 **cervical** vertebrae, 12 **thoracic** vertebrae, 5 **lumbar** vertebrae, 1 **sacral** bone, and 1 **coccygeal** (kok-sij'e-al) bone. The adult vertebral column has four major curvatures (see Figure 6-15). The cervical region curves anteriorly, the thoracic region curves posteriorly, the lumbar region curves anteriorly, and the sacral and coccygeal regions together curve posteriorly.

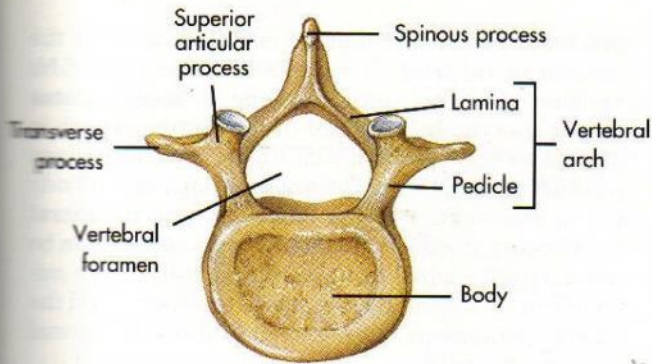
The vertebral column performs five major functions: (1) it supports the weight of the head and trunk; (2) it protects the spinal cord; (3) it allows spinal nerves to exit the spinal cord; (4) it provides a site for muscle attachment; and (5) it permits movement of the head and trunk.

### DID YOU KNOW?

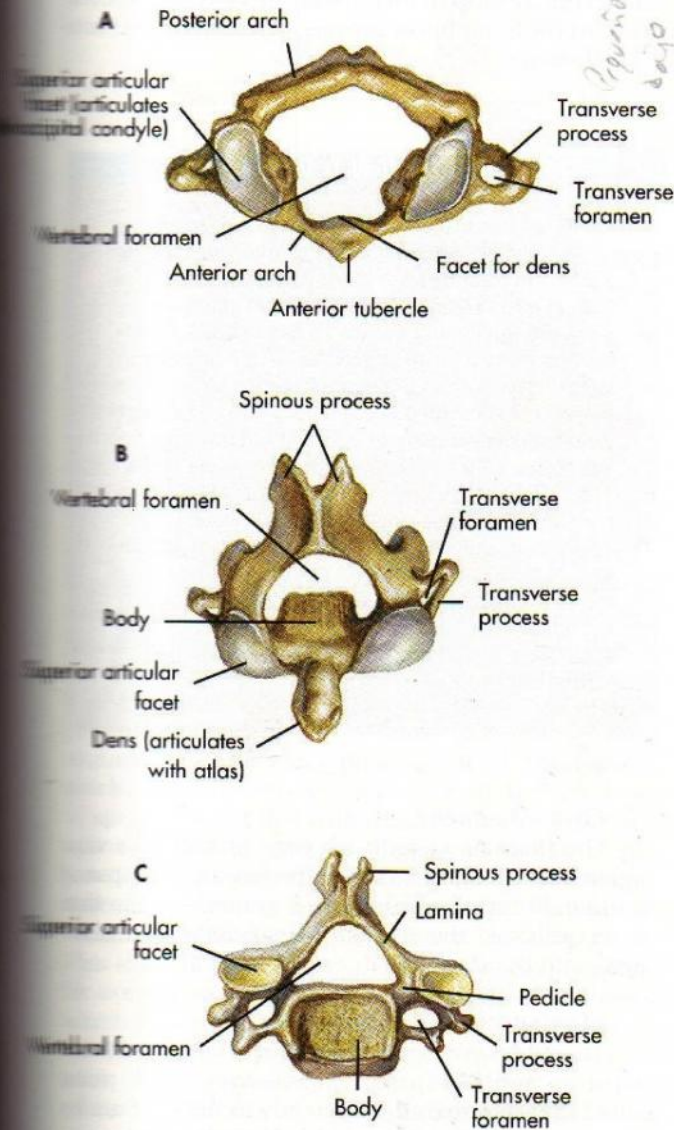
**A**bnormal vertebral curvatures are not uncommon. **Kyphosis** (ki-fo'sis; hunchback) is an abnormal posterior curvature of the spine, mostly in the upper thoracic region, resulting in a hunchback condition. **Lordosis** (lor-do'sis; curving forward) is an abnormal anterior curvature of the spine, mainly in the lumbar region, resulting in a swayback condition. **Scoliosis** (sko-le-o'sis) is an abnormal lateral curvature of the spine.

Each vertebra consists of a body, an arch, and various processes (Figure 6-16). The weight-bearing portion of each vertebra is the **body**. The **vertebral arch** surrounds a large opening called the **vertebral foramen**. The vertebral foramina of all the vertebrae form the **vertebral canal**, where the spinal cord is located. The vertebral canal protects the spinal cord from injury. Each vertebral arch consists of two **pedicles** (ped'i-klz; feet), which extend from the body to the transverse process of each vertebra, and two **laminae** (lam'i-ne; thin plates), which extend from the transverse processes to the spinous process. A **transverse process** extends laterally from each side of the arch, between the pedicle and lamina, and a single **spinous process** projects dorsally from where the two laminae meet. The spinous processes can be seen and felt as a series of lumps down the midline of the back (see Figure 6-21). The transverse and spinous processes provide attachment sites for muscles that move the vertebral column. Spinal nerves





**FIGURE 6-16 • A typical vertebra**  
Seen from a superior view.

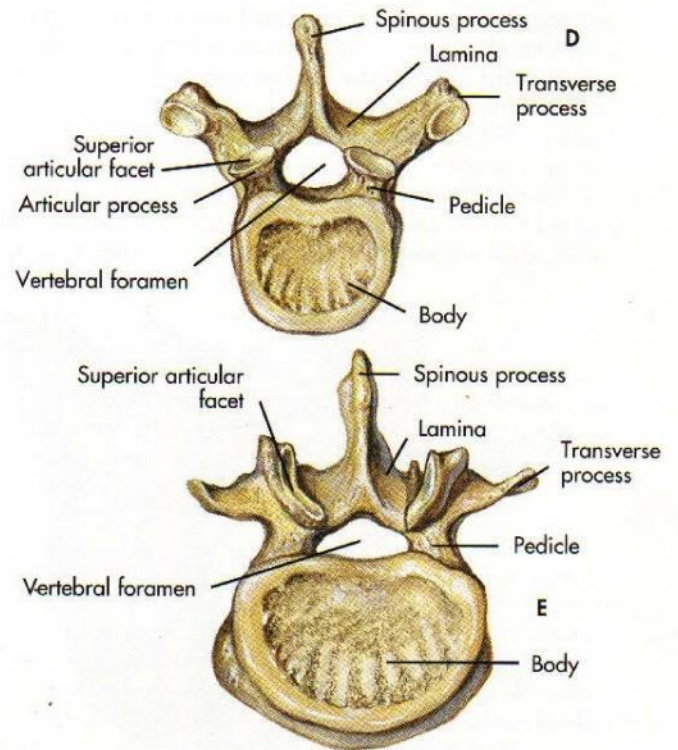


exit the spinal cord through the **intervertebral foramina**, which are formed by notches in the pedicles of adjacent vertebrae (see Figure 6-15). Each vertebra has a superior and inferior **articular process** where the vertebrae articulate with each other. Each articular process has a smooth “little face” called an **articular facet** (fas'et).

The vertebrae are separated by **intervertebral disks**, which are formed by dense fibrous connective tissue. The intervertebral disks are discussed later in this chapter.

### Regional differences in vertebrae

The **cervical vertebrae** (Figure 6-17, A to C) have very small bodies, except for the atlas, which has no body. Each of the transverse processes has a transverse foramen toward which the vertebral arteries pass toward the brain. Several of the cervical vertebrae also have partly split spinous processes. The first cervical vertebra (Figure 6-17, A) is called the



**FIGURE 6-17 • Regional differences in vertebrae**  
A Atlas (first cervical vertebra), superior view.  
B Axis (second cervical vertebra), superior view.  
C Another cervical vertebra, superior view.  
D Thoracic vertebra, superior view.  
E Lumbar vertebra, superior view.



**atlas** because it holds up the head, as Atlas in classical mythology held up the world. Movement between the atlas and the occipital bone is responsible for a “yes” motion of the head. It also allows a slight tilting of the head from side to side. The second cervical vertebra (Figure 6-17, *B*) is called the **axis** because a considerable amount of rotation occurs at this vertebra, as in shaking the head “no.” This rotation occurs around a process called the **dens** (denz), which extends superiorly from the axis.

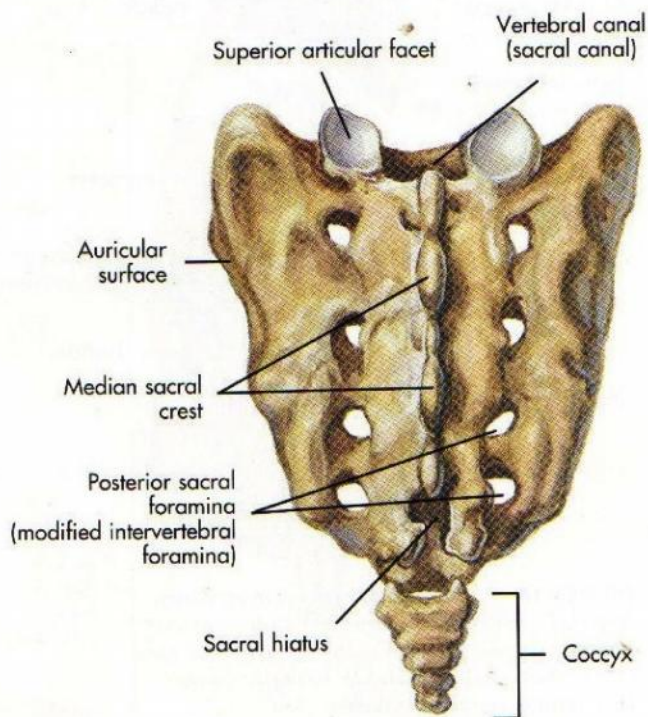
The **thoracic vertebrae** (Figure 6-17, *D*) possess long, thin spinous processes that are directed inferiorly. The thoracic vertebrae also have extra articular facets on their lateral surfaces that articulate with the ribs.

The **lumbar vertebrae** (Figure 6-17, *E*) have large, thick bodies and heavy, rectangular transverse and spinous processes. The superior articular facets of the lumbar vertebrae face medially, whereas the inferior articular facets face laterally. This arrangement tends to “lock” adjacent lumbar vertebrae together, giving the lumbar part of the vertebral column more strength. The articular facets in other regions of the vertebral column have a more “open” position, allowing for more rotational movement but less stability than in the lumbar region.

The five sacral vertebrae are fused into a single bone called the **sacrum** (Figure 6-18). The spinous

processes of the first four sacral vertebrae form the **median sacral crest**. The spinous process of the fifth vertebra does not form, leaving a **sacral hiatus** (hi-a'tus) at the inferior end of the sacrum, which is often the site of “caudal” anesthetic injections given just before childbirth. The anterior edge of the body of the first sacral vertebra bulges to form the **sacral promontory** (see Figure 6-26), a landmark that can be felt during a vaginal examination. It is used as a reference point during measurement to determine if the pelvic openings are large enough to allow the normal delivery of a baby.

The **coccyx** (kok'siks; shaped like a cuckoo bill), or tailbone, usually consists of four more or less fused vertebrae. The vertebrae of the coccyx do not have the typical structure of most other vertebrae. They consist of extremely reduced vertebral bodies, without the foramina or processes, usually fused into a single bone.



**FIGURE 6-18** • Posterior view of the sacrum and coccyx

### DID YOU KNOW?

**B**ecause the cervical vertebrae are relatively delicate and have small bodies, dislocations and fractures are more common in this area than in other regions of the vertebral column. Because the lumbar vertebrae have massive bodies and carry a large amount of weight, ruptured intervertebral disks are more common in this area than in other regions of the column. Each intervertebral disk is made up of a ring of fibrous connective tissue with a softer center of semifluid tissue. The weight of the body can compress the disk, causing the fibrous ring to bulge or even break. This allows the vertebrae to come close together and compress the nerves exiting the intervertebral foramina. The coccyx is easily broken in falls during which a person sits down hard on a solid surface. Also, a mother's coccyx can be fractured during childbirth.

### Thoracic cage

The **thoracic cage** or **rib cage** protects the vital organs within the thorax and prevents the collapse of the thorax during respiration. It consists of the thoracic vertebrae, the ribs with their associated cartilages, and the sternum.

### Ribs and costal cartilages

The 12 pairs of ribs (Figure 6-19) can be divided into true and false ribs. The superior seven pairs, called the **true ribs**, attach directly to the sternum by means of costal cartilages. The inferior five pairs



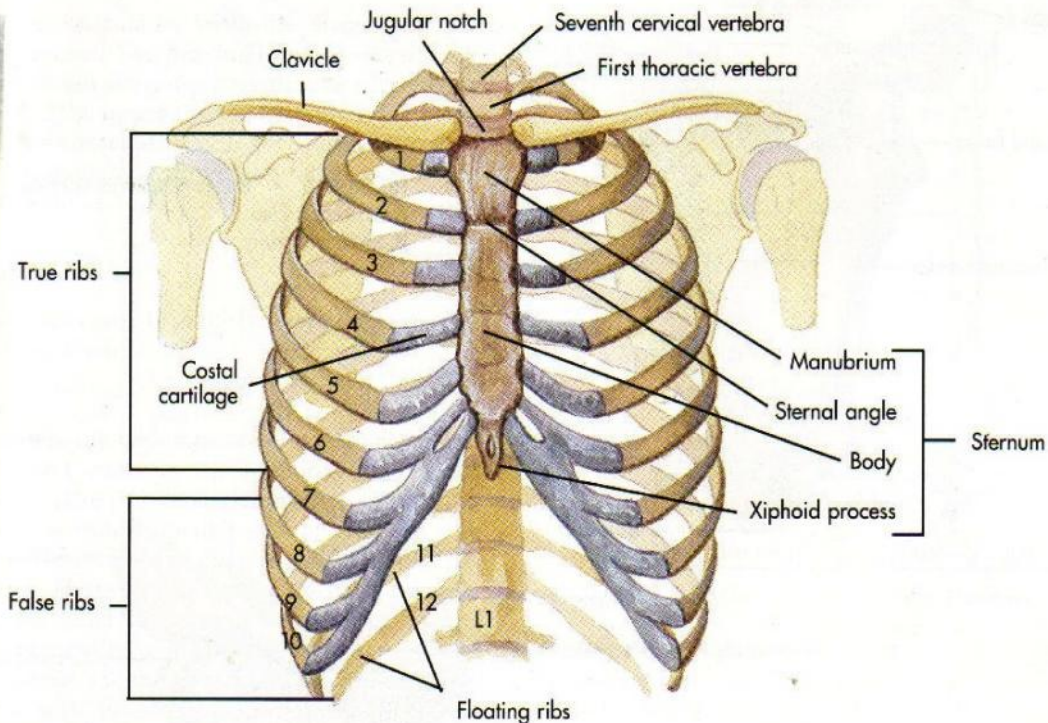


FIGURE 6-19 • Anterior view of the thoracic cage

called **false ribs**, do not attach directly to the sternum. Three pairs, ribs 8 through 10, attach to the sternum by a common cartilage; two pairs, ribs eleven and twelve, called the **floating ribs**, do not attach to the sternum.

### Sternum

The **sternum** (ster'num), or the breastbone (see Figure 6-19), is divided into three parts: the **manubrium** (mă-nu'bre-um; handle), the **body**, and the **xiphoid** (zi'foy'd; sword) **process**. The sternum resembles a sword, with the manubrium forming the handle, the body forming the blade, and the xiphoid process forming the tip. At the superior end of the sternum there is a depression, called the **jugular notch**, located between the ends of the clavicles where they articulate with the sternum. A slight elevation, called the **sternal angle**, can be felt at the junction of the manubrium and the body of the sternum. This junction is an important landmark because it identifies the location of the second rib. This identification allows the ribs to be counted and, for example, allows location of the apex of the heart, which is located between the fifth and sixth ribs.

The xiphoid process is another important landmark of the sternum. During cardiopulmonary resuscitation (CPR), it is very important to place the hands over the body of the sternum rather than over the

xiphoid process. If the hands are placed over the xiphoid process, the pressure applied during CPR could break the xiphoid process and drive it into an underlying abdominal organ such as the liver, causing internal bleeding.

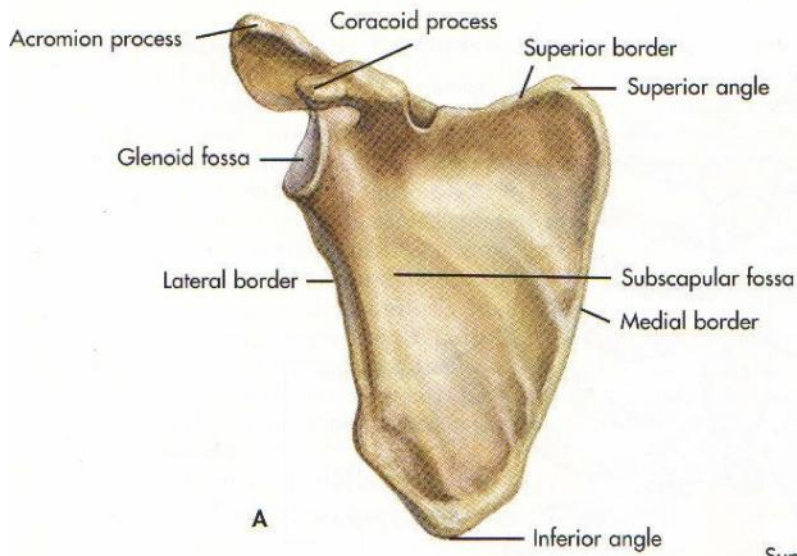
## APPENDICULAR SKELETON

The **appendicular** (ap'pen-dik'u-lar) **skeleton** consists of the bones of the upper and lower limbs, as well as the girdles, which attach the limbs to the axial skeleton.

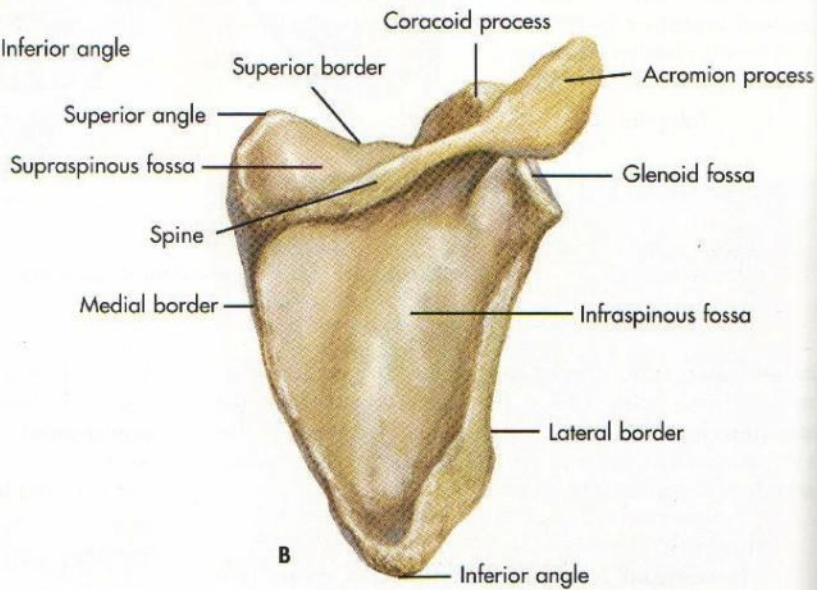
### Pectoral Girdle

The **pectoral** (pek'to-ral), or shoulder, **girdle** consists of two bones that attach the upper limb to the body: the **scapula** (skap'u-lah), or shoulder blade (see Figures 6-9, 6-20, A and B, and 6-21), and the **clavicle** (klav' i-kl), or collarbone (see Figure 6-9, A). The scapula is a flat, triangular bone with three large fossae, where muscles extending to the arm are attached. A fourth fossa, the **glenoid** (glen'oyd) **fossa**, is where the head of the humerus connects to the scapula. A ridge, called the **spine**, runs across the posterior surface of the scapula. A projection, called the **acromion** (ă-kro'me-un) **process**, extends from the scapular spine to form the point of the shoulder.





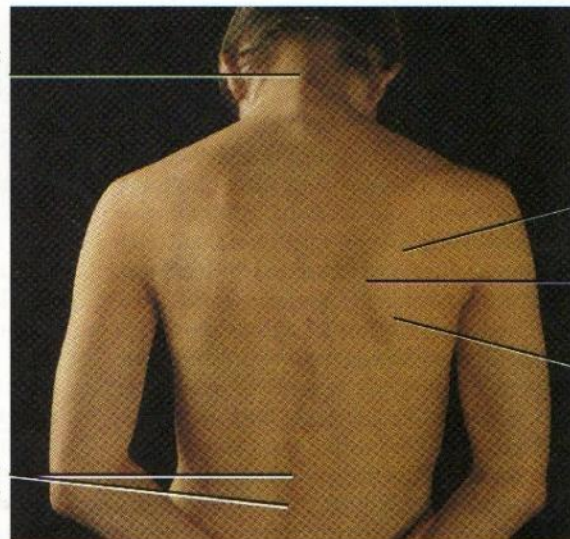
**FIGURE 6-20 • Bones of the right scapula**  
**A** Anterior view.  
**B** Posterior view.



**FIGURE 6-21 • Bones of the back**  
 Surface anatomy showing bones  
 of the posterior vertebral  
 column and scapula.

Spinous process of  
 seventh cervical vertebra

Lumbar spinous  
 processes



Scapula

Medial border  
 of scapula

Inferior angle  
 of scapula



The clavicle articulates with the scapula at the acromion process. The proximal end of the clavicle is attached to the sternum, providing the only bony attachment of the upper limb to the remainder of the skeleton. The **coracoid** (kor'ah-koyd) **process** curves below the clavicle and provides attachment for arm and chest muscles.

## Upper Limb

The upper limb consists of the bones of the arm, forearm, wrist, and hand.

### Arm

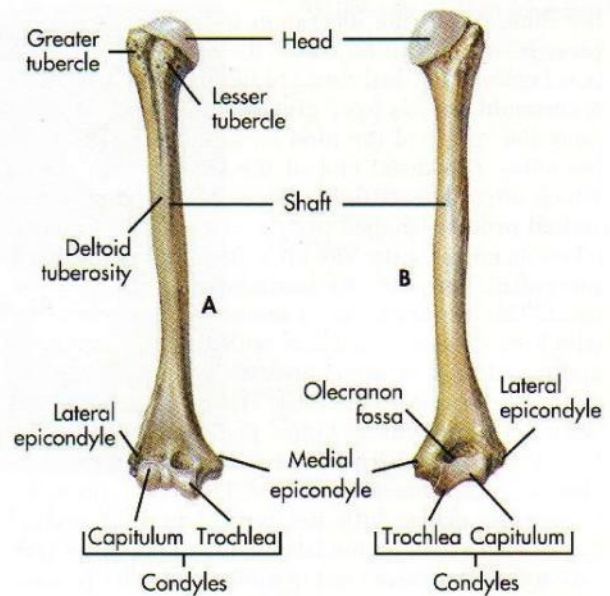
The **arm** is the region between the shoulder and the elbow and contains the **humerus** (hu'mer-us) (Figure 6-22). The proximal end of the humerus has a smooth, rounded **head**, which attaches the humerus to the scapula at the glenoid fossa. Just lateral to the head are two tubercles, a **greater tubercle** and a **lesser tubercle**. Muscles originating on the scapula attach to the greater and lesser tubercles and hold the humerus to the scapula. Approximately one third of the way down the shaft of the humerus, on the lateral surface, is the **deltoid tuberosity**, where the deltoid muscle attaches. The distal end of the humerus is modified into specialized condyles that connect the humerus to the forearm bones. **Epicondyles** on the distal end of the humerus, just lateral to the condyles, provide attachment sites for forearm muscles.

### DID YOU KNOW?

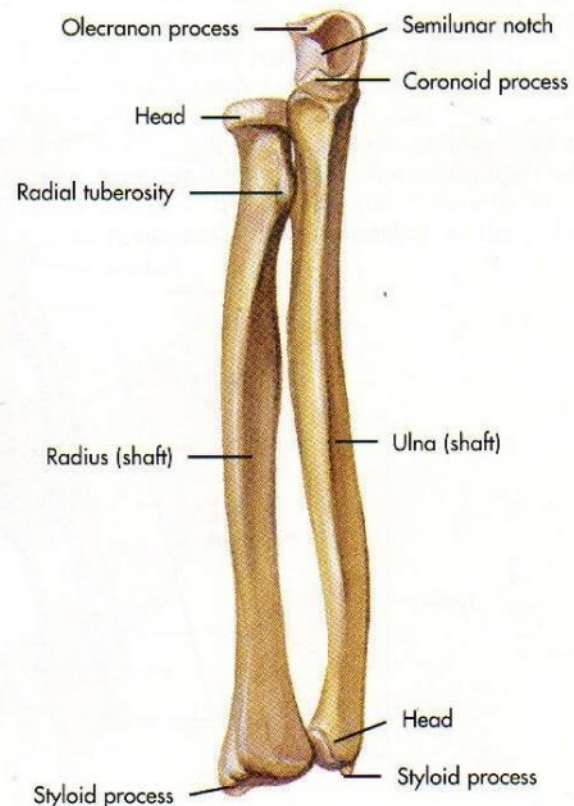
The size of the deltoid tuberosity is influenced by the pull of the deltoid muscle. In body builders, the deltoid muscle and the deltoid tuberosity enlarge. Anthropologists, examining ancient human remains, can use the presence of enlarged deltoid tuberosities as evidence that a given person was engaged in lifting heavy objects during life. If the person had an unusually large deltoid tuberosity for his age, it may indicate that he was a slave and was required to lift heavy loads.

### Forearm

The **forearm** has two bones, the **ulna** (ul'nah) on the medial side of the forearm (the side with the little finger) and the **radius** on the lateral (thumb) side of the forearm (Figure 6-23). The proximal end of the ulna forms a **semilunar notch** that fits tightly over the end of the humerus, forming most of the elbow joint. Just proximal to the semilunar notch is an extension of



**FIGURE 6-22 • Right humerus**  
A Anterior view.  
B Posterior view.



**FIGURE 6-23 • Right ulna and radius**  
Anterior view.



the ulna, called the **olecranon** (o-lek'ră-non; elbow) **process**, which can be felt as the point of the elbow (see Figure 6-25). Just distal to the semilunar notch is a **coronoid** (ko'ro-noyd) **process**, which helps complete the "grip" of the ulna on the distal end of the humerus. The distal end of the ulna forms a head, which articulates with the bones of the wrist, and a **styloid process** (shaped like a stylus, or pen) is located on its medial side. The ulnar head can be seen as a prominent lump on the posterior ulnar side of the wrist. The proximal end of the radius has a head by which the radius articulates with both the humerus and the ulna. The radius does not attach as firmly to the humerus as does the ulna. The radial head rotates against the humerus and ulna. Just distal to the radial head is a **radial tuberosity**, where one of the arm muscles, the biceps brachii, attaches. The distal end of the radius articulates with the wrist bones. A styloid process is located on the lateral side of the distal end. The styloid processes of the radius and ulna provide attachments for ligaments of the wrist.

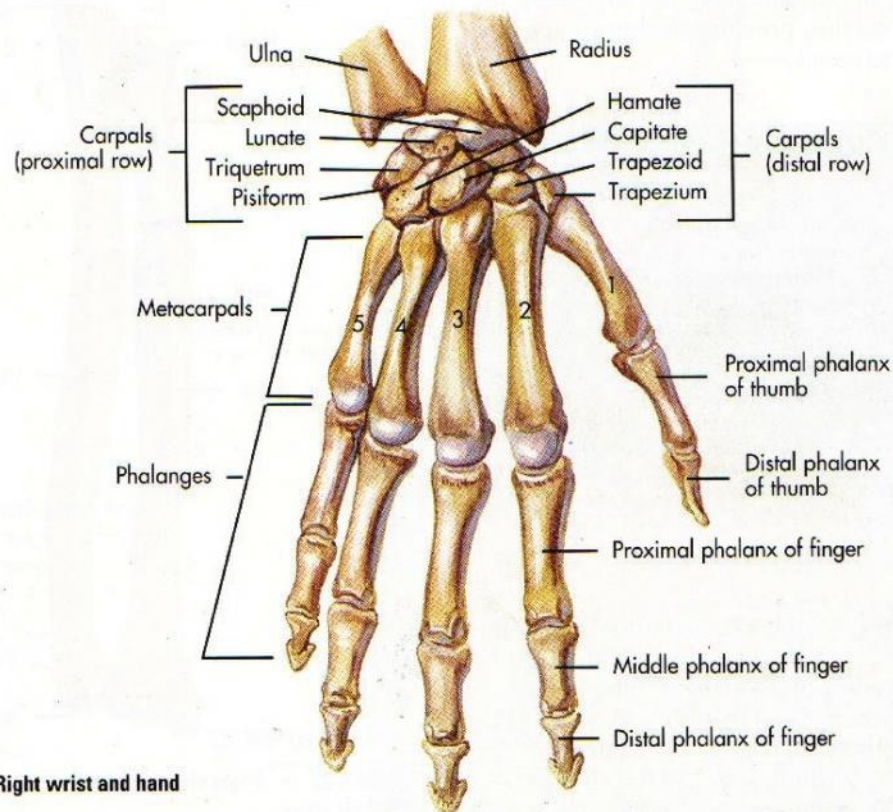
### Wrist

The **wrist** is a relatively short region between the forearm and hand and is composed of eight **carpal**

(kar'pul) bones (Figure 6-24). The eight carpal bones are the scaphoid, lunate, triquetrum, pisiform, trapezium, trapezoid, capitate, and hamate. The eight carpal bones are arranged in two rows of four bones each and form a slight curvature, concave anteriorly and convex posteriorly.

### DID YOU KNOW?

The bones and ligaments on the anterior side of the wrist form a **carpal tunnel**, which does not have much "give." Tendons and nerves pass from the forearm through the carpal tunnel to the hand. Fluid and connective tissue may accumulate in the carpal tunnel as a result of inflammation associated with overuse or trauma. The inflammation can also cause the tendons in the carpal tunnel to enlarge. The accumulated fluid and enlarged tendons can apply pressure to a major nerve passing through the tunnel. The pressure on this nerve causes **carpal tunnel syndrome**, which consists of tingling, burning, and numbness in the hand.



**FIGURE 6-24 • Right wrist and hand**  
Posterior view.



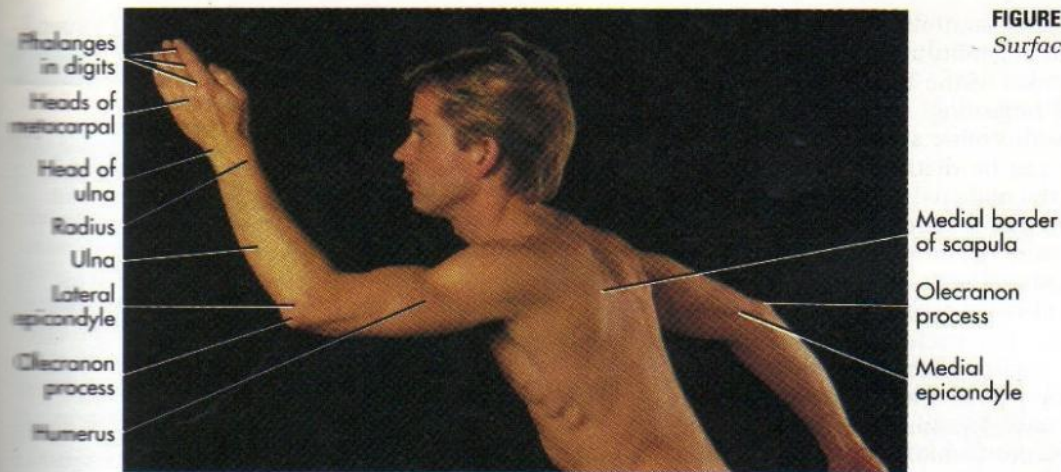


FIGURE 6-25 • Left upper limb  
Surface anatomy.

### Hand

Five **metacarpals** (after the carpals) are attached to the carpal bones and form the bony framework of the hand (see Figure 6-24). The metacarpals are aligned with the thumb and fingers. They are numbered one to five from the thumb to the little finger. The ends of the five metacarpals, associated with the thumb and fingers, form the knuckles (Figure 6-25). Each finger, called a **digit**, consists of three small bones called **phalanges** (fă-lan'-jēz; the Greek *phalanx* is a wedge of soldiers holding their spears, tips outward, in front of them). The phalanges of each finger are called proximal, middle, and distal, according to their position in the digit. The thumb has two phalanges, proximal and distal. The digits are also numbered one to five, starting from the thumb.

### Pelvic Girdle

The **pelvic girdle** or **pelvis** (Figure 6-26) is the place where the lower limb is attached to the body. The pelvis is a ring of bones formed by the sacrum and two **coxae** (kok'se). The sacrum forms part of the pelvis but is also part of the axial skeleton. Each coxa is formed by three bones fused to each other to form a single bone. The **ilium** (il'e-um; groin) is the most superior, the **ischium** (ish'e-um; hip) is inferior and posterior, and the **pubis** (pu'bis; refers to the genital hair) is inferior and anterior. An **iliac crest** can be seen along the superior margin of each ilium, and an **anterior superior iliac spine**, an important hip landmark, is located at the anterior end of the iliac crest. The coxae join each other anteriorly at the pubic

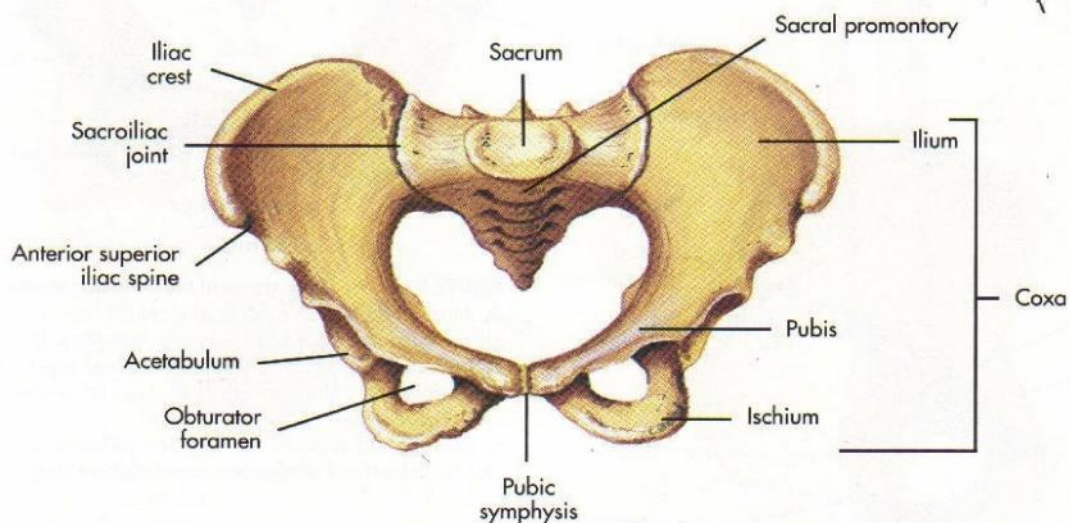


FIGURE 6-26 • Anterior view of the pelvis





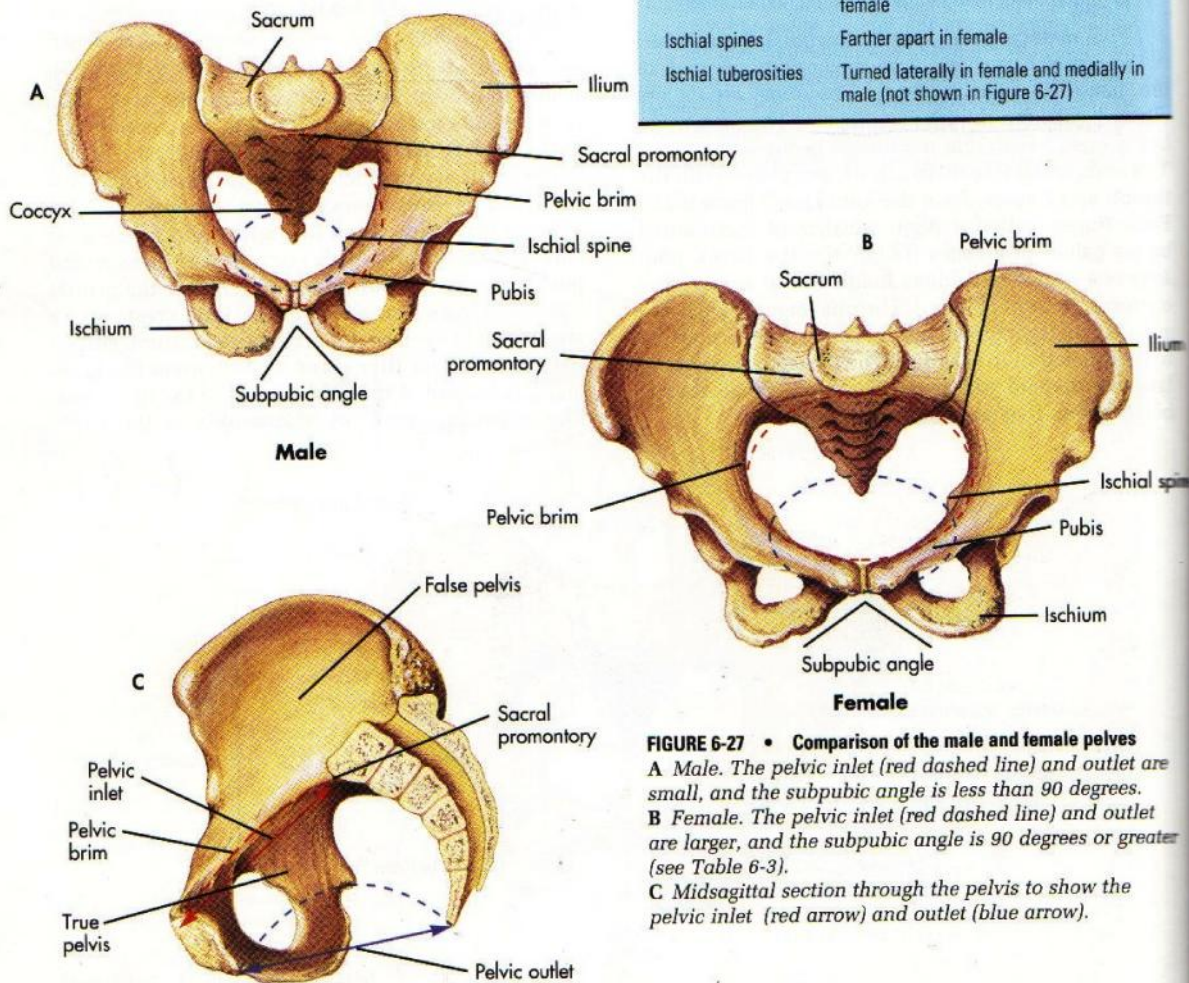
symphysis and join the sacrum posteriorly at the sacroiliac joint. The **acetabulum** (as-ĕ-tab'u-lum, vinegar cup) is the socket of the hip joint. The **obturator foramen** is the large hole in the coxa that is closed off by muscles and other structures.

The male pelvis can be distinguished from the female pelvis in that the male pelvis is usually larger and more massive, but the female pelvis tends to be broader (Figure 6-27 and Table 6-3). Both the inlet and outlet of the female pelvis are larger than those of the male pelvis, and the subpubic angle is greater in the female (Figure 6-27, A and B). The increased size of these openings helps accommodate the fetus during childbirth. The pelvic inlet is formed by the pelvic brim and the sacral promontory. The pelvic outlet is bounded by the ischial spines, the pubic symphysis, and the coccyx (Figure 6-27, C).

**TABLE 6-3**

**Differences between Male and Female Pelvis**

AREA	DESCRIPTION OF DIFFERENCE
General	Female pelvis somewhat lighter in weight and wider laterally, but shorter superiorly to inferiorly and less funnel-shaped; less obvious muscle attachment points in female than in male
Sacrum	Broader in female, with the inferior portion directed more posteriorly; the sacral promontory projects less anteriorly in female
Pelvic inlet	Heart-shaped in male; oval in female
Pelvic outlet	Broader and more shallow in female
Subpubic angle	Less than 90 degrees in male; 90 degrees or more in female
Ilium	More shallow and flared laterally in female
Ischial spines	Farther apart in female
Ischial tuberosities	Turned laterally in female and medially in male (not shown in Figure 6-27)



**FIGURE 6-27 • Comparison of the male and female pelvises**  
**A Male.** The pelvic inlet (red dashed line) and outlet are small, and the subpubic angle is less than 90 degrees.  
**B Female.** The pelvic inlet (red dashed line) and outlet are larger, and the subpubic angle is 90 degrees or greater (see Table 6-3).  
**C Midsagittal section** through the pelvis to show the pelvic inlet (red arrow) and outlet (blue arrow).



## Lower Limb

The lower limb consists of the bones of the thigh, leg, ankle, and foot.

### Thigh

The **thigh** (Figure 6-28, A and B) is the region between the hip and the knee. It contains a single bone called the **femur**. The **head** of the femur articulates with the acetabulum of the coxa; and the **condyles**, at the distal end of the femur, articulate with the tibia. **Epicondyles**, located medial and lateral to the condyles, provide points of muscle attachment. The femur can be distinguished from the humerus by its long neck located between the head

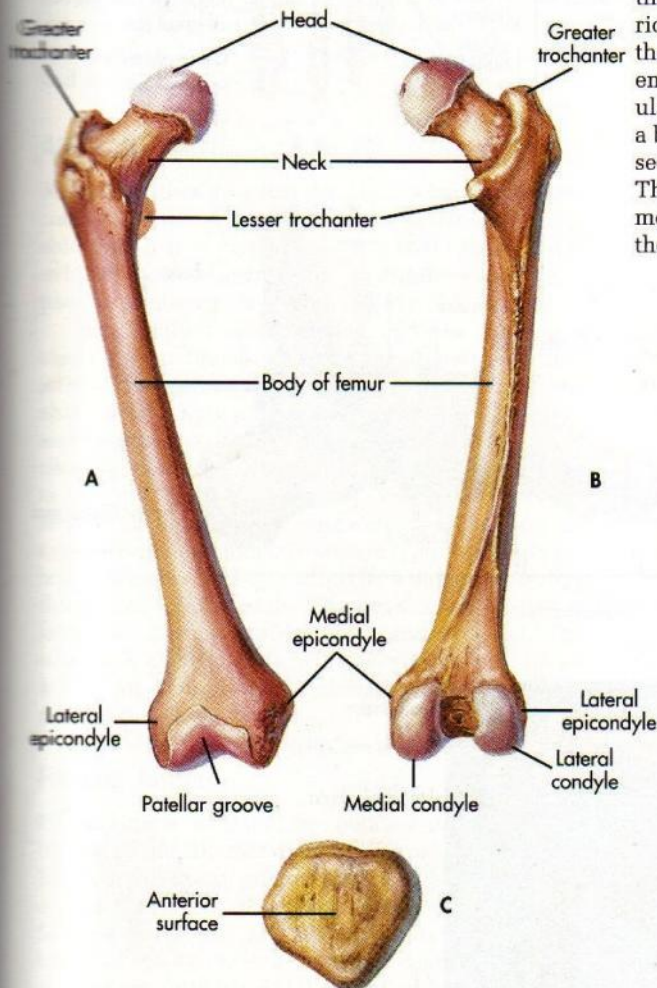


FIGURE 6-28 • The right femur and patella

A Anterior view of the femur.

B Posterior view of the femur.

C Anterior view of the patella.

and the **trochanters** (tro'kan-terz; runners). The trochanters are points of muscle attachment. The **patella**, or kneecap (Figure 6-28, C), is located within the major tendon of the anterior thigh muscles and enables the tendon to turn the corner over the knee.

### Leg

The **leg** (Figure 6-29) is the region between the knee and the ankle. It contains two bones, called the **tibia** (tib'e-ah; shin bone) and the **fibula** (fib'u-lah; resembling a clasp or buckle). The tibia is the larger of the two and supports most of the weight in the leg. The rounded condyles of the femur rest on the flat condyles on the proximal end of the tibia. Just distal to the condyles of the tibia, on its anterior surface, is the **tibial tuberosity**, where the muscles of the anterior thigh attach. The fibula does not articulate with the femur but attaches by its head to the proximal end of the tibia. The distal ends of the tibia and fibula unite to form a partial socket that articulates with a bone of the ankle (the talus). A prominence can be seen on each side of the ankle (see Figure 6-31). These are the medial **malleolus** (mă-le'o-lus; a hammer or mallet) of the tibia and the lateral malleolus of the fibula.

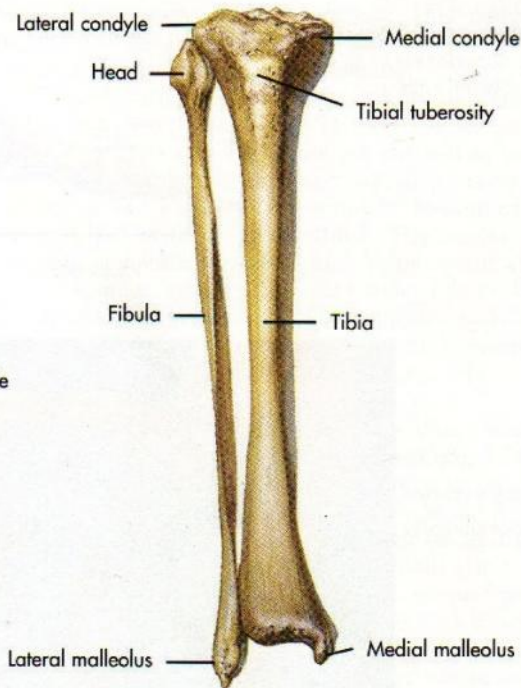
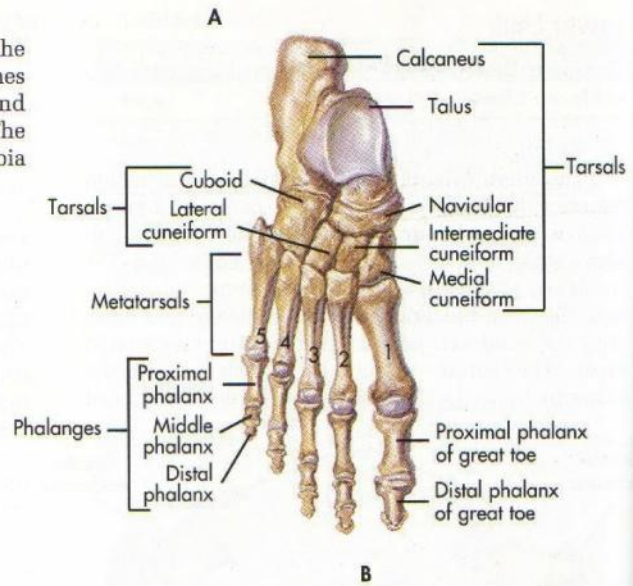


FIGURE 6-29 • Right tibia and fibula

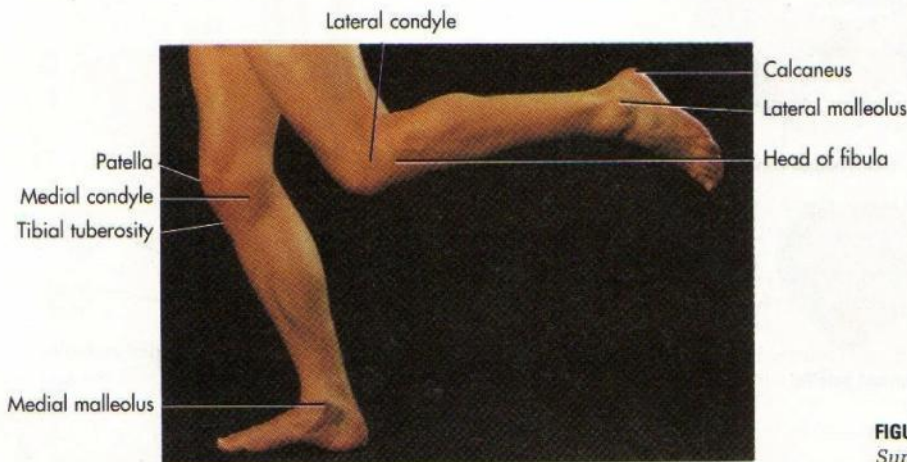
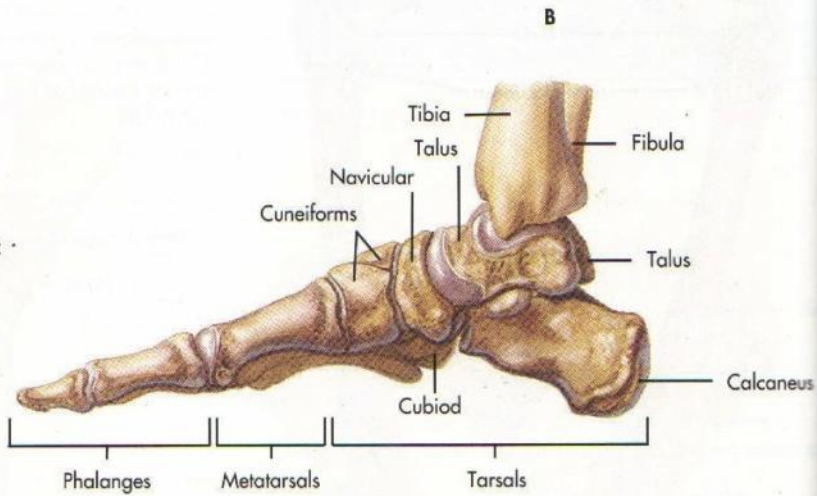
Anterior view.

### Ankle

The **ankle** consists of seven **tarsal** (tar'sal; the sole of the foot) bones (Figure 6-30). The tarsal bones are the talus, calcaneus, cuboid, and navicular; and the medial, intermediate, and lateral cuneiforms. The **talus** (tal'us; ankle bone) articulates with the tibia



**FIGURE 6-30 • Bones of the right foot**  
**A Superior view.**  
**B Medial view.**



**FIGURE 6-31 • The lower limbs**  
*Surface anatomy.*



and fibula to form the ankle joint, and the **calcaneus** (kal-ka'ne-us; heel) forms the heel (Figure 6-31).

### Foot

The **metatarsals** and phalanges of the foot are arranged and numbered in a manner very similar to the metacarpals and phalanges of the hand (see Figure 6-30). The metatarsals are somewhat longer than the metacarpals, whereas the phalanges of the foot are considerably shorter than those of the hand. The heads formed at the distal ends of the metatarsals make up the ball of the foot. There are two primary **arches** in the foot, formed by the positions of the tarsals and the metatarsals, and held in place by ligaments. A longitudinal arch extends from the heel to the ball of the foot, and a transverse arch extends across the foot. The arches function similarly to the springs of a car, allowing the foot to give and spring back.

## ARTICULATIONS

An **articulation**, or joint, is a place where two bones come together. A joint is usually considered movable, but that is not always the case. Many joints exhibit limited movement, and others are completely, or almost completely, immovable.

One method of classifying joints is functional classification, based on the degree of motion at each joint and including the terms synarthrosis (nonmovable joint), amphiarthrosis (slightly movable joint), and diarthrosis (freely movable joint). Functional classification is somewhat restrictive and is not used in this text. Another method of classifying joints is a structural classification. Joints are classified according to the major connective tissue type that binds the bones together and according to whether there is a fluid-filled joint capsule. The three major classes of joints are fibrous, cartilaginous, and synovial. The structural classification with its various subclasses allows for a more precise classification and thus is used in this text.

### Fibrous Joints

**Fibrous joints** consist of two bones that are united by fibrous tissue and that exhibit little or no movement. Joints in this group are further classified on the basis of structure as sutures, syndesmoses, or gomphoses. **Sutures** (su'churz) are fibrous joints between the bones of the skull. In a newborn, some parts of the sutures are quite wide and are called **fontanels** (fon'tā-nelz), or soft spots (Figure 6-32). They allow flexibility in the skull during the birth process, as well as growth of the head after birth. **Syndesmoses** (sin'dez-mo'sēz) are fibrous joints in which the bones are sep-

arated by some distance and are held together by ligaments. An example is the fibrous membrane connecting most of the distal parts of the radius and ulna. **Gomphoses** (gom-fo'sēz) consist of pegs fitted into sockets and held in place by ligaments. The joint between a tooth and its socket is a gomphosis.

### Cartilaginous Joints

**Cartilaginous joints** unite two bones by means of cartilage. Only slight movement can occur at these joints. Examples are the cartilage in the epiphyseal plates of growing long bones and the cartilages between the ribs and sternum. The cartilage of some cartilaginous joints, where much strain is placed on the joint, may be reinforced by the presence of additional collagen fibers. This type of cartilage, called **fibrocartilage**, forms joints such as the intervertebral disks.

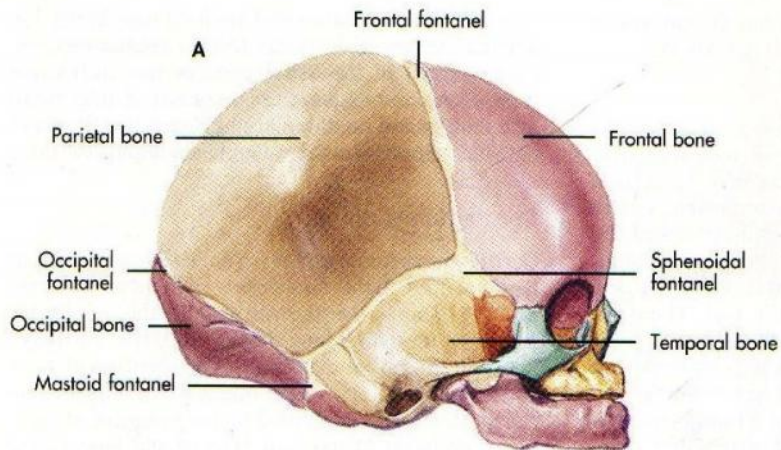
### Synovial Joints

**Synovial** (sī-no've-al; G. *syn*, coming together + *ovia*, resembling egg albumin) **joints** are freely movable joints that contain **synovial fluid** in a cavity surrounding the ends of articulating bones. Most joints that unite the bones of the appendicular skeleton are synovial, whereas many of the joints that unite the bones of the axial skeleton are not. This pattern reflects the greater mobility of the appendicular skeleton compared to the axial skeleton.

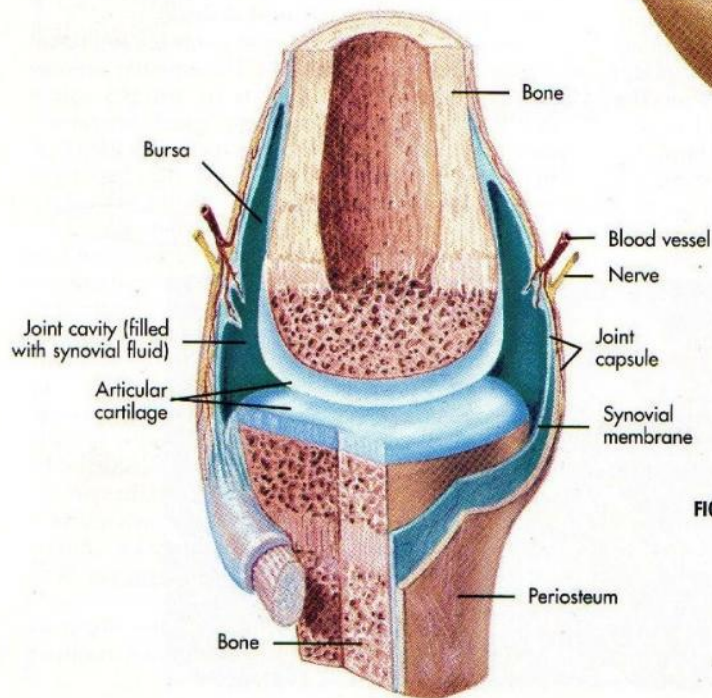
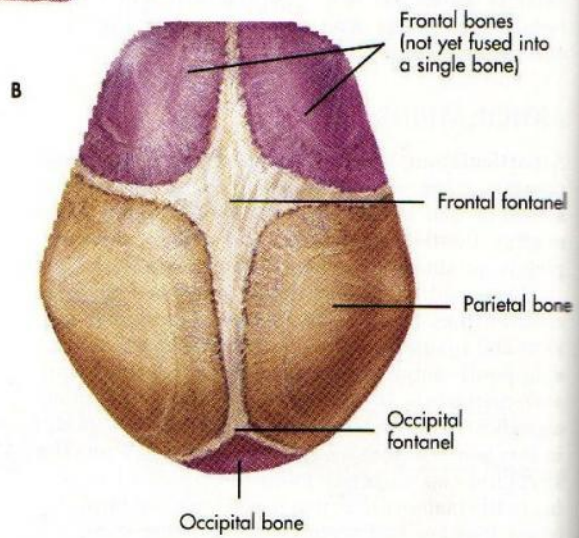
Several features of synovial joints are important to their function (Figure 6-33). The articular surfaces of bones within synovial joints are covered with a thin layer of **articular cartilage**, which provides a smooth surface where the bones meet. The **joint cavity** is filled with synovial fluid. The cavity is enclosed by a **joint capsule**, which helps to hold the bones together and, at the same time, allows for movement. Portions of the joint capsule may be thickened to form ligaments. In addition, ligaments and tendons outside the joint capsule contribute to the strength of the joint.

A **synovial membrane** lines the joint cavity everywhere except over the articular cartilage. The membrane produces synovial fluid, which is a complex mixture of polysaccharides, proteins, fat, and cells. Synovial fluid forms a thin lubricating film covering the surfaces of the joint. In certain synovial joints, the synovial membrane may extend as a pocket or sac, called a **bursa** (bur'sah; pocket). Bursae are located between structures that rub together, such as where a tendon crosses a bone; they function to reduce friction, which could damage the structures involved. Inflammation of a bursa, often resulting from abrasion, is called a **bursitis**.





**FIGURE 6-32 • Fetal skull showing the fontanelles**  
 A Lateral view.  
 B Superior view.



**FIGURE 6-33 • Structure of a synovial joint**



## Joint Disorders

### Arthritis

**Arthritis** (Figure 6-C), the inflammation of a joint, is the most common and best known of the joint disorders, affecting 10% of the world's population. There are more than 100 different types of arthritis, which differ in their cause and progress. Causes include infectious agents, metabolic disorders, trauma, and immune disorders.

**Rheumatoid arthritis** affects about 3% of all women and about 1% of all men in the United States. It is a general connective tissue disorder that affects the skin, vessels, lungs, and other organs, but it is most pronounced in the joints. It is severely disabling and most commonly destroys small joints such as those in the hands and feet. The initial cause is unknown but may involve a transient infection or an autoimmune disease (an immune reaction to one's own tissues). There may also be a genetic predisposition. In rheumatoid arthritis, the synovial membrane and associated connective tissue cells proliferate, forming a pannus (clothlike layer) in the joint capsule, which can grow into the articulating surfaces of the bones, destroying the articular cartilage. In advanced stages, the bones forming the joint can become fused.

### Degenerative Joint Disease

**Degenerative joint disease (DJD)**, also called **osteoarthritis**, results

from the gradual "wear and tear" of a joint that occurs with advancing age. Slowed metabolic rates with increased age also seem to contribute to DJD. It is very common in older individuals and affects 85% of all people in the United States over the age of 70. It tends to occur in the weight-bearing joints such as the knees and is more common in overweight individuals. Mild exercise retards joint degeneration and enhances mobility.

### Gout

**Gout** is caused by an increase in uric acid in the body. Uric acid is a waste product, which can accumulate as crystals in various tissues, including the kidneys and joint capsules. Gout is more common in males than in females.

Frequently, only one or two joints are affected. The most commonly affected joints (85% of the cases) are the base of the great toe and other foot and leg joints. Any joint may ultimately be involved, and damage to the kidneys from crystal formation occurs in almost all advanced cases.

### Bursitis and Bunions

**Bursitis** is the inflammation of a bursa. The bursae around the shoulders and elbows are common sites of bursitis. A **bunion** is a bursitis that develops over the joint at the base of the great toe. Bunions are frequently irritated by shoes that rub on them.

### Joint Replacement

As a result of recent advancements in biomedical technology, many joints of the body can now be replaced by artificial joints. **Joint replacement**, or **arthroplasty**, was developed in the late 1950s. It is used in patients with joint disorders to eliminate unbearable pain and to increase joint mobility. Degenerative joint disease is the leading disease requiring joint replacement, accounting for two thirds of the patients. Rheumatoid arthritis accounts for more than half the remaining cases.

Artificial joints usually are composed of metal (for example, stainless steel, titanium alloys, or cobalt-chrome alloys) in combination with modern plastics (for example, high-density polyethylene, silicone rubber, or elastomer). The bone of the articular area is removed on one side (hemireplacement) or both sides (total replacement) of the joint, and the artificial articular structures are attached to the bone. The smooth metal surface rubbing against the smooth plastic surface provides a low-friction contact with a range of movement that depends on the design.



**FIGURE 6-C • Rheumatoid arthritis**  
A Photograph of hands with rheumatoid arthritis  
B X-ray of the same hands



### Types of synovial joints

Synovial joints are classified according to the shape of the adjoining articular surfaces (Figure 6-34). **Plane**, or **gliding joints**, consist of two opposed flat surfaces that glide over each other. Examples of these joints are the articular processes between vertebrae. **Saddle joints** consist of two saddle-shaped articulating surfaces oriented at right angles to one another. Movement in these joints can occur in two planes. The joint between the metatarsal and proxi-

mal phalanx of the thumb is a saddle joint. **Hinge joints** permit movement in one plane only. They consist of a convex cylinder of one bone applied to a corresponding concavity of the other bone. Examples are the elbow, knee, and finger joints (Figure 6-35, A). The flat condylar surface of the knee joint is modified into a concave surface by shock-absorbing fibrocartilage pads, called **menisci**. **Pivot joints** restrict movement to rotation around a single axis. Each pivot joint consists of a cylindrical bony process that rotates

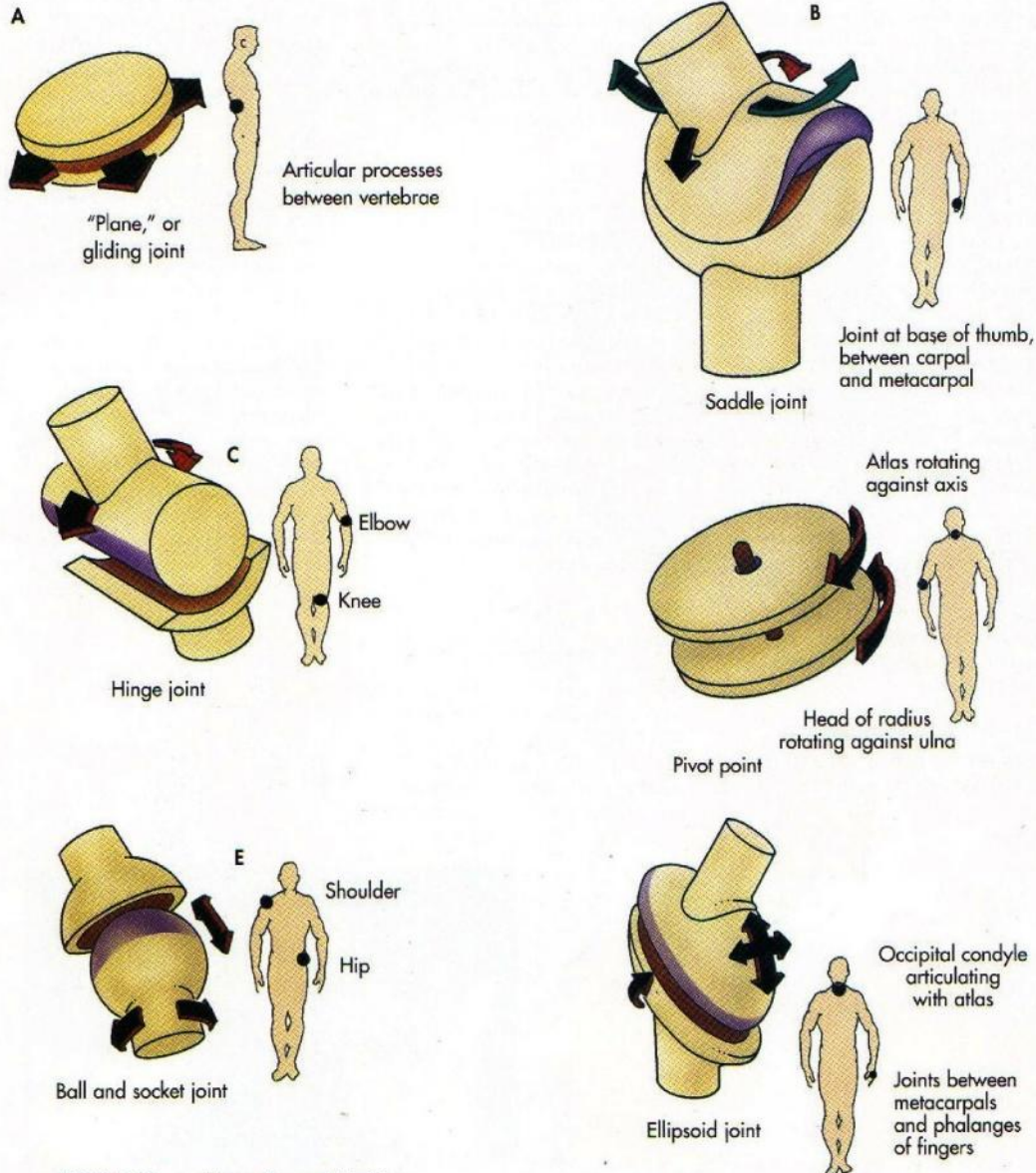


FIGURE 6-34 • Types of synovial joints

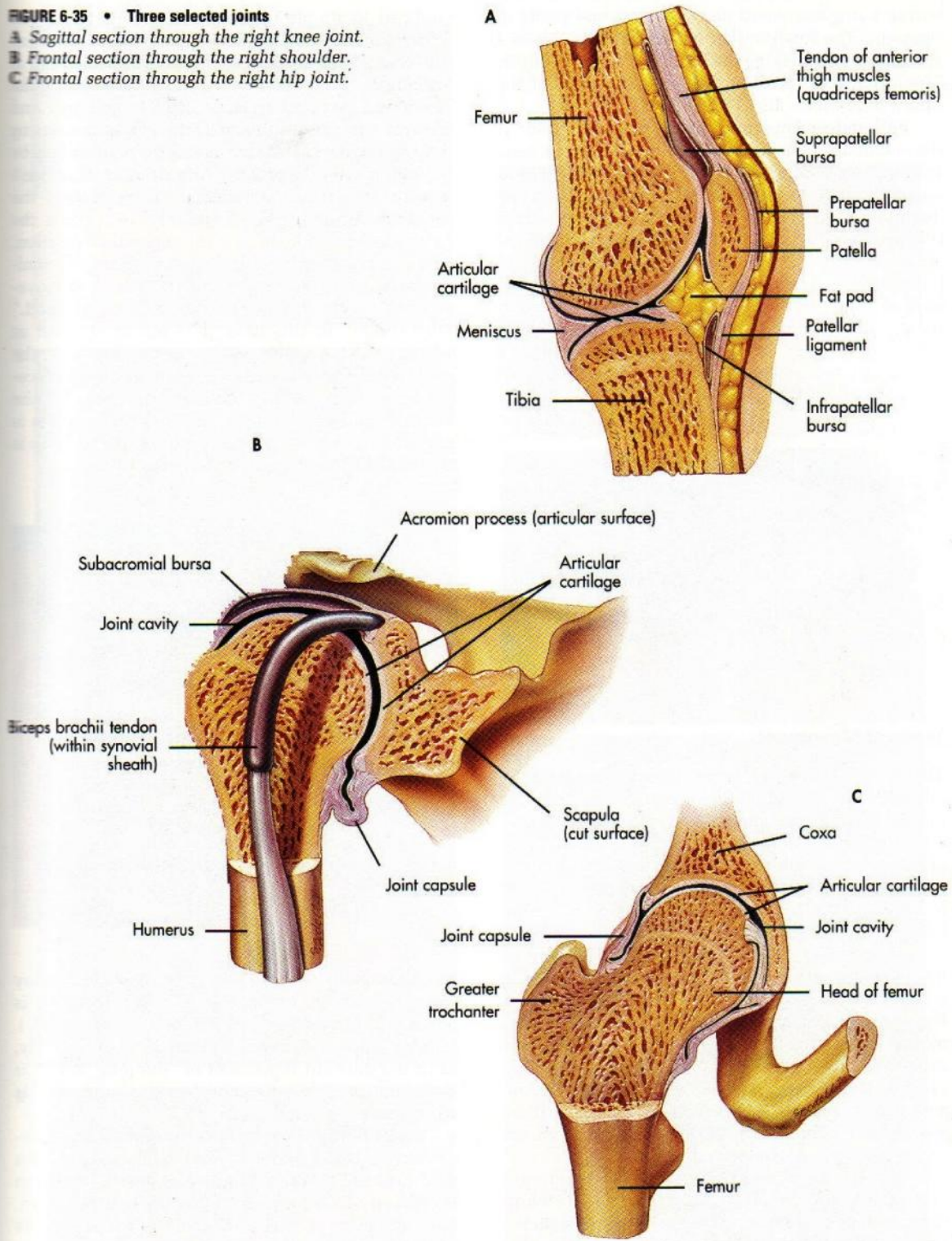


**FIGURE 6-35 • Three selected joints**

**A** Sagittal section through the right knee joint.

**B** Frontal section through the right shoulder.

**C** Frontal section through the right hip joint.





**Eversion** is turning the foot so that the plantar surface (bottom of the foot) faces laterally; **inversion** is turning the foot so that the plantar surface faces medially.

**Protraction** is a movement in which a structure, such as the mandible, glides anteriorly. In **retraction**, the structure glides posteriorly.

**Elevation** is movement of a structure in a superior direction. Closing the mouth involves elevation of the mandible. **Depression** is movement of a structure in an inferior direction. Opening the mouth involves depression of the mandible.

**Rotation** is the turning of a structure around its long axis (see Figure 6-36, *E*), as in shaking the head “no.”

**Excursion** is the movement of a structure to one side or the other, such as in moving the mandible from side to side.

**Opposition** is a movement unique to the thumb and little finger. It occurs when the tips of the thumb

and little finger are brought toward each other across the palm of the hand. The thumb can also oppose the other digits. **Reposition** returns the digits to the anatomical position.

**Circumduction** occurs at freely movable joints such as the shoulder. In circumduction, the arm moves so that it describes a cone with the shoulder joint at the apex (see Figure 6-36, *F*).

Most movements that occur in the course of normal activities are combinations of movements. A complex movement can be described by naming the individual movements involved.

## P R E D I C T



- 4 What combination of movements is required at the shoulder and elbow joints for a person to perform a crawl stroke in swimming?



## S U M M A R Y

- \* The skeletal system consists of bone, cartilage, tendons, and ligaments.

### CONNECTIVE TISSUE

- Connective tissue consists of matrix and the cells that produce matrix.
- Varying amounts of collagen, proteoglycan, and mineral in the matrix determine the characteristics of the connective tissue.

### GENERAL FEATURES OF BONE

- Long bones consist of a diaphysis (shaft), epiphyses (ends), and epiphyseal (growth) plates. The diaphysis contains a medullary cavity.

#### Compact Bone

- Compact bone tissue consists of haversian systems.
- Haversian systems consist of osteocytes organized into lamellae surrounding haversian canals.

#### Cancellous Bone

- Cancellous bone tissue consists of trabeculae without haversian canals.

#### Bone Ossification

- Bone ossification is either intramembranous or endochondral.
- Intramembranous ossification occurs within connective tissue membranes.
- Endochondral ossification occurs within cartilage.

#### Bone Growth

- Bone growth is either appositional (on the surface of existing bone) or endochondral (within cartilage).

#### Bone Remodeling

- Bone remodeling consists of removal of old bone by osteoclasts and deposition of new bone by osteoblasts.

#### Bone Repair

- During bone repair, cells move into the damaged area and form a callus, which is replaced by bone.



## GENERAL CONSIDERATIONS OF BONE ANATOMY

- There are 206 bones.

### AXIAL SKELETON

- The axial skeleton includes the skull, vertebral column, and thoracic cage.

#### Skull

- The skull consists of 22 bones (plus six auditory ossicles, making a total of 28 skull bones), divided between the cranial vault and face.
- From a lateral view, the parietal, temporal, and sphenoid bones can be seen.
- From a frontal view, the orbits and nasal cavity can be seen, as well as associated bones and structures, such as the frontal bone, zygomatic bone, maxilla, and mandible.
- The interior of the cranial vault contains three fossae with several foramina.
- Seen from below, the base of the skull reveals numerous foramina and other structures, such as processes for muscle attachment.

#### Vertebral Column

- The vertebral column contains 7 cervical, 12 thoracic, and 5 lumbar vertebrae, plus 1 sacral and 1 coccygeal bone.
- Each vertebra consists of a body, an arch, and processes.
- Regional differences in vertebrae are as follows: cervical vertebrae have transverse foramina; thoracic vertebrae have long spinous processes and attachment sites for the ribs; lumbar vertebrae have square transverse and spinous processes; the sacrum is a single, fused bone.

#### Thoracic Cage

- The thoracic cage consists of thoracic vertebrae, ribs, and sternum.
- There are 12 pairs of ribs; 7 true and 5 false (two of the false ribs are also called floating ribs).
- The sternum consists of the manubrium, body, and xiphoid process.

### APPENDICULAR SKELETON

- The appendicular skeleton consists of the bones of the upper and lower limbs and their girdles.

#### Pectoral Girdle

- The pectoral girdle includes the scapula and clavicle.

#### Upper Limb

- The upper limb consists of the arm (humerus), forearm (ulna and radius), wrist (eight carpal bones), and hand (five metacarpals, three phalanges in each finger, and two phalanges in the thumb).

#### Pelvic Girdle

- The pelvic girdle is made up of the sacrum and two coxae. Each coxa consists of an ilium, ischium, and pubis.

#### Lower Limb

- The lower limb includes the thigh (femur), leg (tibia and fibula), ankle (seven tarsals), and foot (metatarsals and phalanges, similar to the bones in the hand).

### ARTICULATIONS

- An articulation is a place where bones come together.

#### Fibrous Joints

- Fibrous joints consist of bones united by fibrous connective tissue. They allow little or no movement.

#### Cartilaginous Joints

- Cartilaginous joints consist of bones united by cartilage, and they exhibit slight movement.

#### Synovial Joints

- Synovial joints consist of articular cartilage over the uniting bones, a joint cavity lined by a synovial membrane and containing synovial fluid, and a joint capsule. They are highly movable joints.
- Synovial joints can be classified as plane, saddle, hinge, pivot, ball-and-socket, or ellipsoid.

#### Types of Movement

- The major types of movement include flexion/extension, abduction/adduction, pronation/supination, eversion/inversion, protraction/retraction, elevation/depression, rotation, excursion, opposition, and circumduction.





## C O N T E N T R E V I E W

1. The skeletal system consists of what connective tissues? List the functions of these tissues.
2. Name the major types of fibers and molecules found in the extracellular matrix of the skeletal system. How do they contribute to the functions of tendons, ligaments, cartilage, and bones?
3. Define the terms diaphysis, epiphysis, epiphyseal plate, medullary cavity, periosteum, and endosteum.
4. Describe the structure of compact bone. How do nutrients reach the osteocyte in compact bone?
5. Describe the structure of cancellous bone. What are trabeculae?
6. Define and describe intramembranous and endochondral ossification.
7. How does bone grow in width? How do long bones grow in length?
8. What is accomplished by bone remodeling? How does bone repair occur?
9. Define the axial skeleton and the appendicular skeleton.
10. Name the bones of the cranial vault and the face.
11. Give the locations of the paranasal sinuses. What are their functions?
12. What is the function of the hard palate?
13. Through what foramen does the brain connect to the spinal cord?
14. How do the vertebrae protect the spinal cord? Where do spinal nerves exit the vertebral column?
15. Name and give the number of each type of vertebra. Describe the characteristics that distinguish the different types of vertebrae from each other.
16. What is the function of the thoracic cage? Name the parts of the sternum. Distinguish true, false, and floating ribs.
17. Name the bones that make up the pectoral girdle, arm, forearm, wrist, and hand. How many phalanges are in each finger and in the thumb?
18. Define the pelvis. What bones fuse to form each coxa? Where and with what bones do the coxae articulate?
19. Name the bones of the thigh, leg, ankle, and foot.
20. Define the term articulation or joint. Name and describe the differences between the three major classes of joints.
21. Describe the structure of a synovial joint. How do the different parts of the joint function to permit joint movement?
22. On what basis are synovial joints classified? Describe the different types of synovial joints and give examples of each. What movements do each type of joint allow?
23. Describe and give examples of flexion/extension, abduction/adduction, and supination/pronation.



## C O N C E P T R E V I E W

1. A 12-year-old boy fell while playing basketball. The physician explained that the head (epiphysis) of the femur was separated from the shaft (diaphysis). Although the bone was set properly, by the time the boy was 16 it was apparent that the injured lower limb was shorter than the normal one. Explain why this difference occurred.
2. Justin Time leaped from his hotel room to avoid burning to death in a fire. If he landed on his heels, what bone was likely to fracture? Unfortunately for Justin, a 240-pound fireman, Hefty Stomper, ran by and stepped heavily on the distal part of Justin's foot (not the toes). What bones now could be broken?
3. One day while shopping, Ms. A. Bargain picked up her 3-year-old son, Some, by his right wrist and lifted him into a shopping cart. She heard a clicking sound and Some immediately began to cry and hold his elbow. Given that lifting the child caused a separation at the elbow, which is more likely: separation of the radius and humerus or separation of the ulna and humerus?
4. Why are women knock-kneed more commonly than men?





## ANSWERS TO PREDICT QUESTIONS

**1** *p. 113* If all the mineral were removed, the bone would become so flexible that it could be tied into a knot. This could be accomplished by soaking a bone in vinegar for an extended time. The bone would be so weak that it could not support weight.

If all the collagen were removed, the bone would become very brittle and easily broken. Because of collagen loss, the bones of many older people break easily.

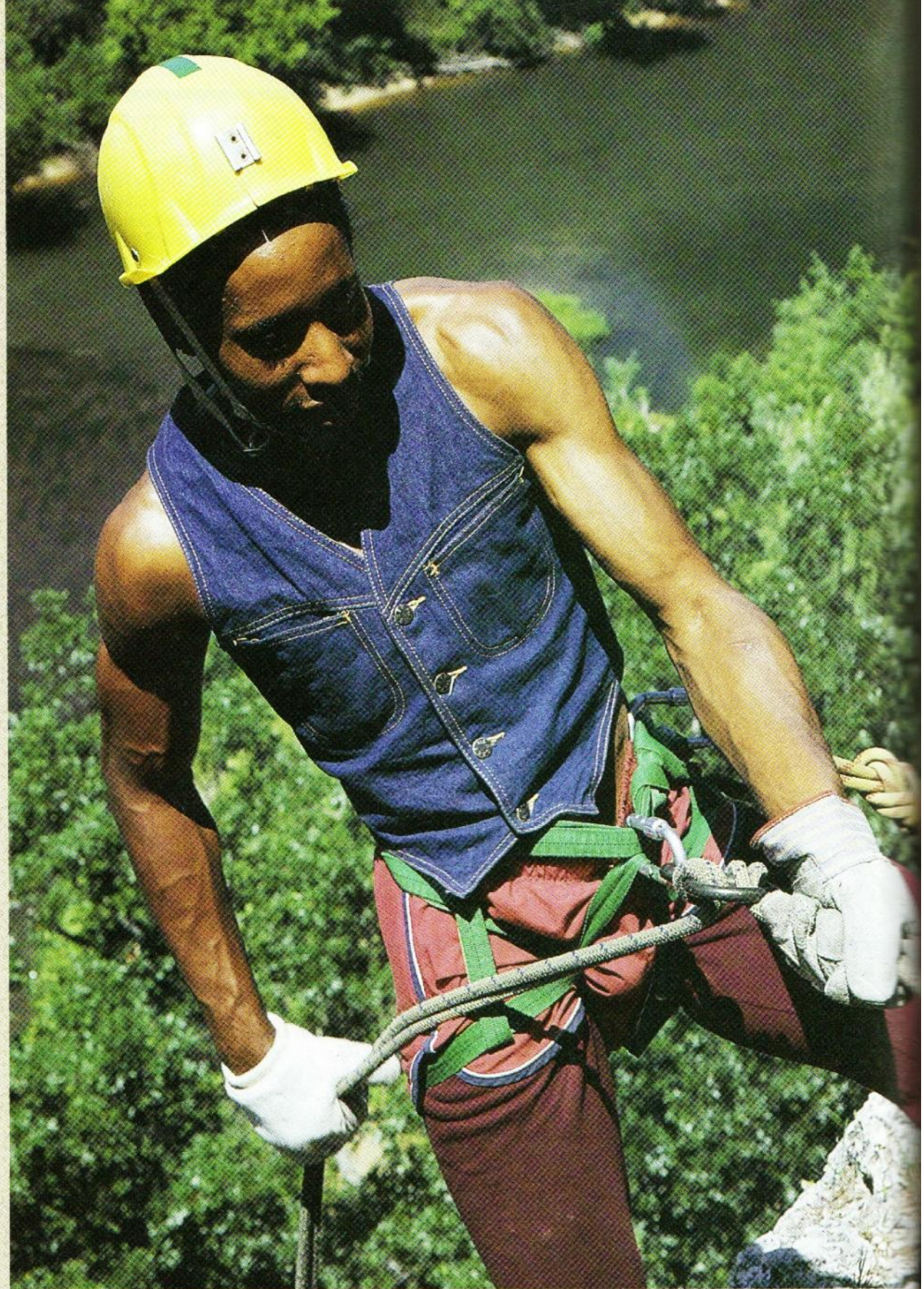
**2** *p. 118* If endochondral bone growth failed to occur, the bone would be normal in diameter (or

even greater in diameter than normal) but much shorter than normal. This is the condition seen in one type of dwarfism, in which the head and trunk are normal in size, but the long bones of the limbs are very short.

**3** *p. 126* Tears are produced in lacrimal glands in the superior lateral corner of the orbit. The tears run across the surface of the eye and enter the duct that passes through the nasolacrimal canal to the nasal cavity. The extra moisture in the nasal cavity causes a "runny nose."

**4** *p. 148* The arm is first flexed and medially rotated, and the forearm is pronated as the swimmer reaches out to begin the stroke. Then the arm is powerfully extended, slightly abducted, and medially rotated as the forearm is flexed during the power stroke. During the recovery stroke, the arm is circumducted and laterally rotated in preparation for the next stroke.







# THE MUSCULAR SYSTEM

## CHAPTER

# 7

After reading this chapter, you should be able to:

- 1 Describe the microscopic structure of a muscle and produce diagrams that illustrate the arrangement of myofilaments, myofibrils, and sarcomeres.
- 2 Describe the events that result in muscle contraction and relaxation in response to an action potential in a motor neuron.
- 3 Distinguish between aerobic and anaerobic muscle contraction.
- 4 Distinguish between fast-twitch and slow-twitch muscles and explain the function for which each type is best adapted.
- 5 Distinguish between skeletal, smooth, and cardiac muscle.
- 6 Define the following terms and give an example of each: origin, insertion, synergist, antagonist, and prime mover.
- 7 Describe various facial expressions and list the major muscles causing each.
- 8 Describe mastication, tongue movement, and swallowing and list the muscles or groups of muscles involved in each.
- 9 Describe the muscles of the trunk and the actions they accomplish.
- 10 Describe the movements of the arm, forearm, and hand and list the muscle groups involved in each movement.
- 11 Describe the movements of the thigh, leg, and foot and list the muscle groups involved in each movement.

### **aerobic**

(ā-ro'biĕk) Metabolism in the presence of oxygen.

### **anaerobic**

(an'ā-ro'biĕk) Metabolism in the absence of oxygen.

### **antagonist**

A muscle that works in opposition to another muscle.

### **insertion**

The more movable attachment point of a muscle.

### **isometric contraction**

Muscle contraction in which the length of the muscle does not change, but the amount of tension increases.

### **isotonic contraction**

Muscle contraction in which the amount of tension is constant and the muscle shortens.

### **motor unit**

A single motor neuron and all the skeletal muscle fibers it innervates.

### **muscle twitch**

Contraction of an entire muscle in response to a stimulus that causes an action potential in one or more muscle fibers.

### **myofibril**

A fine, longitudinal fibril of skeletal muscle, consisting of sarcomeres and composed of thick (myosin) and thin (actin) myofilaments placed end to end.

### **myofilament**

An ultramicroscopic protein thread that helps form myofibrils in skeletal muscle. Thin myofilaments are composed of actin, and thick myofilaments are composed of myosin.

### **neuromuscular junction**

The synaptic junction between a nerve axon and a muscle fiber.

### **origin**

The less movable attachment point of a muscle.

### **oxygen debt**

The amount of oxygen required to convert the lactic acid produced during anaerobic respiration to glucose and to replenish creatine phosphate stores.

### **sarcomere**

(sar'ko-mēr) [Gr. *sarco*, flesh, means muscle + *meros*, part] The part of a myofibril formed of actin and myosin myofilaments, extending from Z line to Z line; the structural and functional unit of a muscle.

### **sliding filament mechanism**

The mechanism by which muscle contraction occurs wherein actin and myosin myofilaments slide past each other.

### **synergist**

(sin'er-jist) A muscle that works with another muscle to cause a movement.





## STRUCTURE AND FUNCTION OF THE MUSCULAR SYSTEM

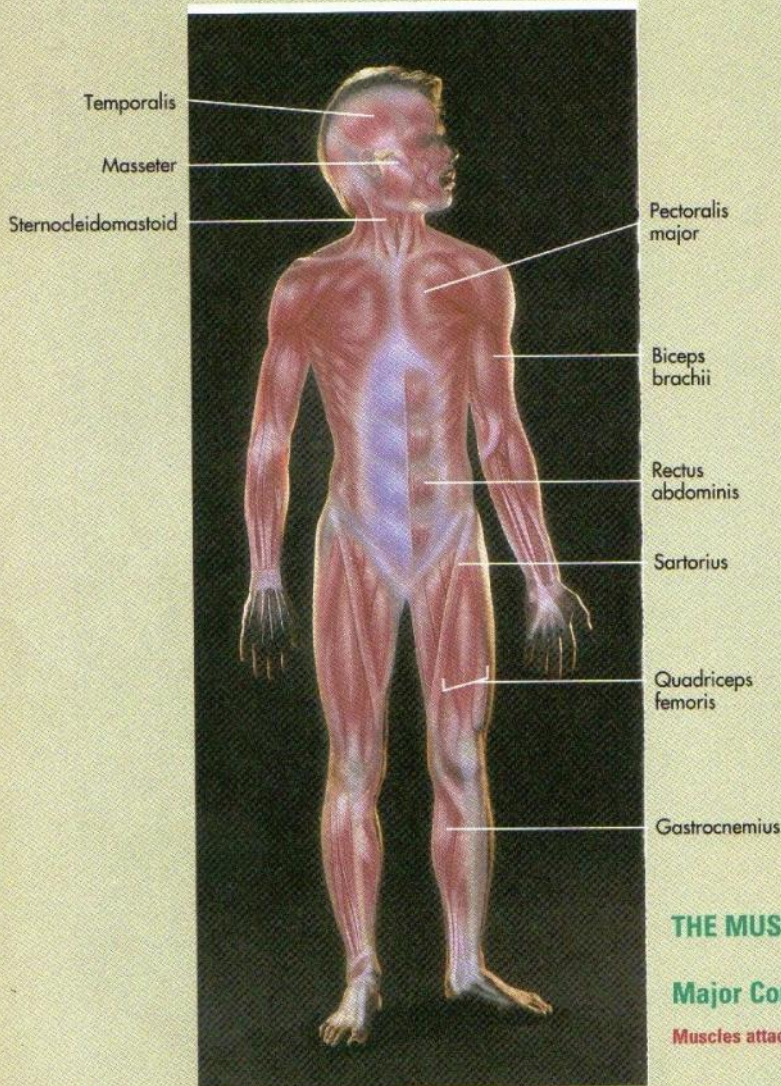


FIGURE 7-1 The muscular system

### THE MUSCULAR SYSTEM

#### Major Components

Muscles attached to the skeleton

#### Major Functions

Allows body movement, maintains posture, and produces body heat.



**A**lmost every movement, from the beating of the heart to running a marathon, results from muscle contraction. As described in Chapter 4, there are three types of muscle tissue: skeletal, cardiac, and smooth. This chapter deals primarily with the structure and function of skeletal muscle; cardiac and smooth muscle are described briefly. Most skeletal muscles are attached to bones, are typically under conscious control, and are responsible for most body movements (Figure 7-1).

## CHARACTERISTICS OF SKELETAL MUSCLE

**Skeletal muscle**, with its associated connective tissue, comprises approximately 40% of body weight. Skeletal muscle is so named because most skeletal muscles are attached to the skeletal system. It is also referred to as **striated muscle** because of the transverse bands or striations that can be seen in the muscle under the microscope. It is responsible for locomotion, facial expressions, posture, and other body movements. In addition to these features, the metabolism that occurs in the large mass of muscle tissue of the body produces heat essential for the maintenance of normal body temperature.

Skeletal muscle has four major functional characteristics: contractility, excitability, extensibility, and elasticity. **Contractility** is the ability of skeletal muscle to shorten with force. When skeletal muscles contract, they cause movement of the structures to which they are attached. Although skeletal muscles shorten forcefully during contraction, they lengthen passively; that is, either gravity or the contraction of an opposing muscle produces a force that pulls on the shortened muscle, causing it to lengthen. **Excitability** is the capacity of skeletal muscle to respond to a stimulus. Normally skeletal muscle contracts as a result of stimulation by nerves. **Extensibility** means that skeletal muscles can be stretched. After a contraction, skeletal muscles can be stretched to their normal resting length and beyond to a limited degree. **Elasticity** is the ability of skeletal muscles to recoil to their original resting length after they have been stretched.

## Structure

Each skeletal muscle (Figure 7-2, A) is surrounded by a connective tissue sheath called the **epimysium** (ep-i-mis'e-um) (Figure 7-2, B). Another layer of connective tissue, called **fascia** (fash'e-ah), located outside the epimysium, also surrounds and separates muscles. A muscle is composed of numerous visible bundles called **muscle fasciculi** (fă-sik'u-li), which are surrounded by loose connective tissue called the

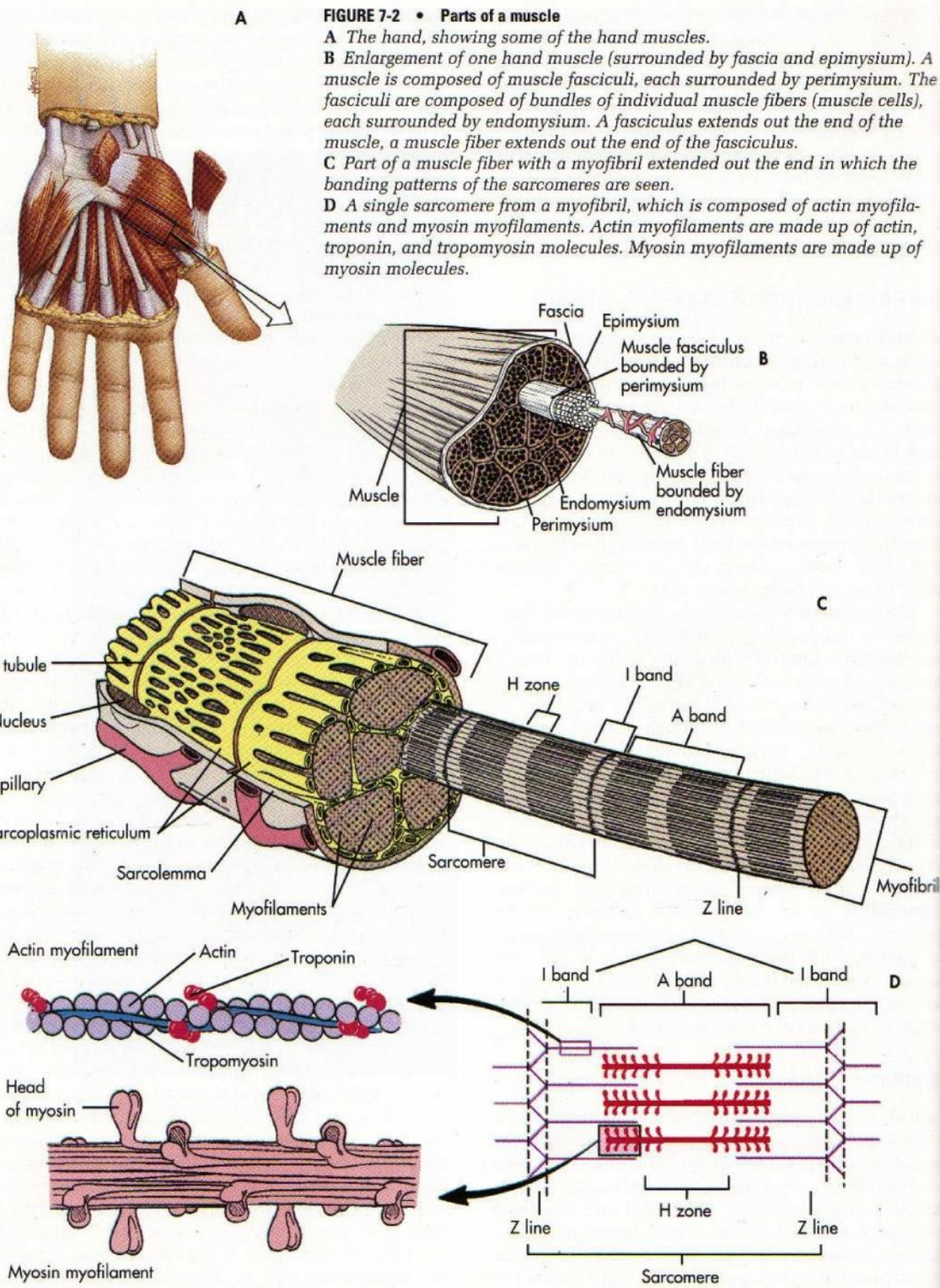
**perimysium** (pěr'ī-mis'e-um). Each fasciculus is composed of several muscle cells called fibers. Each **muscle fiber** is a single cylindrical cell that contains several nuclei located at the periphery of the muscle fiber. Each muscle fiber is surrounded by an extracellular connective tissue sheath called an **endomysium** (en'do-mis'e-um).

The cytoplasm of each muscle fiber, called the **sarcoplasm** (sar'ko-plazm; *sarco* means muscle), contains numerous myofibrils (Figure 7-2, C). Each **myofibril** is a threadlike structure that extends from one end of the muscle fiber to the other. Myofibrils consist of two major kinds of protein fibers: actin and myosin myofilaments (Figure 7-2, D). **Actin myofilaments**, or thin myofilaments, resemble two minute strands of pearls twisted together. **Troponin** molecules are attached at specific intervals along the actin myofilaments and provide calcium binding sites on the actin myofilament. **Tropomyosin** filaments are located along the groove between the twisted strands of actin myofilament subunits. These filaments expose attachment sites on the actin myofilament when calcium is bound to troponin; and they cover attachment sites on the actin myofilament when calcium is not bound to troponin. **Myosin myofilaments**, or thick myofilaments, resemble bundles of minute golf clubs. The part of the myosin molecule that resembles golf club heads can bind to the exposed attachment sites on the actin myofilaments.

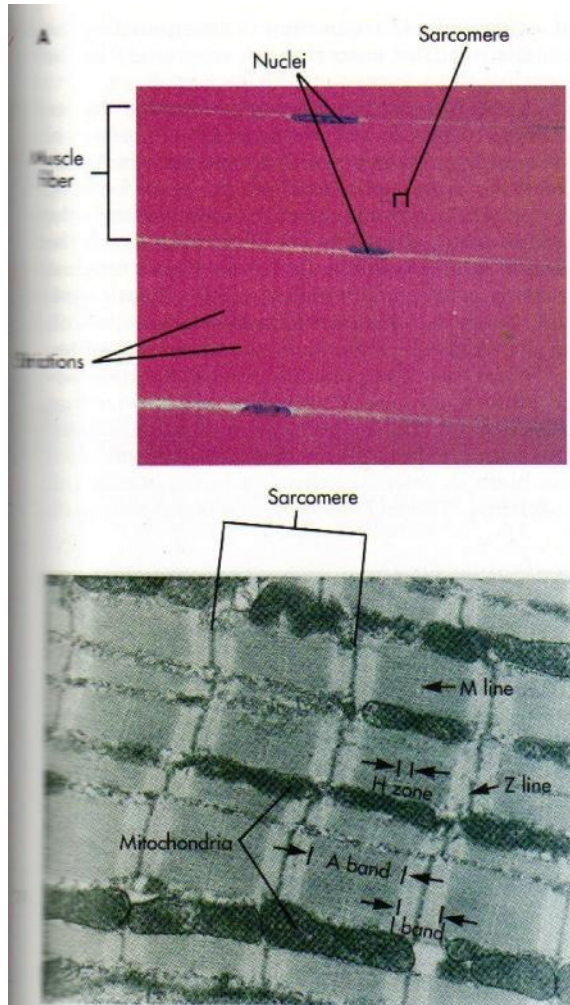
The actin and myosin myofilaments are arranged into highly ordered repeating units along the myofibril called **sarcomeres** (sar'ko-mēr-z) (see Figure 7-2, C and D). The sarcomere is the basic structural and functional unit of skeletal muscle, because it is the smallest portion of skeletal muscle capable of contracting. Each sarcomere extends from one Z line to another Z line. Each **Z line** is a network of protein fibers forming an attachment site for actin myofilaments. The arrangement of the actin and myosin myofilaments gives the myofibril a banded appearance. A light **I band**, which consists only of actin myofilaments, spans each Z line and ends at the myosin myofilaments. A darker, central region in each sarcomere, called an **A band**, extends the length of the myosin myofilaments. The actin and myosin myofilaments overlap for some distance at both ends of the A band. In the center of each sarcomere is a second light zone, called the **H zone**, which consists only of myosin myofilaments. The myosin myofilaments are anchored in the center of the sarcomere at a dark-staining band, called the **M line**. The alternating I bands and A bands of the sarcomeres are responsible for the striations seen in skeletal muscle fibers observed through the microscope (Figure 7-3).

The cell membrane of the muscle fiber is called the **sarcolemma** (see Figure 7-2, C). The multiple









**FIGURE 7-3 • Skeletal muscle**  
**A** Light micrograph showing the striations in each muscle fiber.  
**B** Electron micrograph of skeletal muscle. Several sarcomeres are shown in a muscle fiber.

nuclei of the muscle fiber are located just deep to the sarcolemma. The sarcolemma has along its surface many tubelike invaginations called **transverse**, or **T tubules**, which are located at regular intervals along the muscle fiber and wrap around sarcomeres where the actin and myosin myofilaments overlap. The T tubules are associated with a highly organized, smooth endoplasmic reticulum called the **sarcoplasmic reticulum**. T tubules function as relays between the sarcolemma and the sarcoplasmic reticulum. The sarcoplasmic reticulum has a relatively high concentration of calcium ions, which play a major role in stimulating muscle contraction.

## Membrane Potentials

The outside of the cell membrane is positively charged when compared to the inside of the cell membrane. The charge difference, called the **resting membrane potential**, develops for two reasons: (1) the concentration of potassium ions inside of the cell membrane is higher than that outside of the cell membrane, and (2) the cell membrane is more permeable to potassium ions than it is to other ions, including negatively charged ions located inside the cell.

A few potassium ions are able to diffuse down their concentration gradient from inside to just outside the cell membrane, because the cell membrane is somewhat permeable to potassium ions. Negatively charged ions cannot diffuse through the cell membrane with the potassium ions because the cell membrane is less permeable to the negatively charged ions. Because potassium ions are positively charged, their movement from inside the cell to the outside causes the outside of the cell membrane to become positively charged when compared to the inside of the cell membrane.

Potassium ions only diffuse down their concentration gradient until the charge difference across the cell membrane is great enough to prevent any additional diffusion of potassium ions out of the cell. The resting membrane potential is in equilibrium because the tendency for potassium ions to diffuse out of the cell is opposed by the negative charge inside the cell, which tends to attract the positively charged potassium ions back into the cell.

When a muscle cell or nerve cell is stimulated, the membrane becomes very permeable to sodium ions for a brief period of time. The sodium ion concentration is much greater outside the cell than inside the cell. A few positively charged sodium ions diffuse quickly through the cell membrane into the cell, causing the inside of the cell membrane to become more positive. This change is called **depolarization**. The cell membrane then quickly becomes less permeable to sodium ions, and the permeability of the membrane to potassium ions increases for a brief time, allowing a few potassium ions to diffuse out of the cell. These changes cause the charge across the cell membrane to return to its resting condition. The change back to the resting membrane potential is called **repolarization**. The rapid depolarization and repolarization of the cell membrane is called an **action potential**. In a muscle fiber, an action potential results in muscle contraction.

An active transport pump transports potassium ions from outside the cell to the inside, and transports sodium ions from inside the cell to the outside. The active transport of potassium and sodium ions is



not involved in establishing an action potential, but it restores the normal, resting concentrations of ions on either side of the cell membrane.

## Nerve Supply

**Motor neurons** are nerve cells that carry action potentials to skeletal muscle fibers. Axons of these neurons enter muscles and send out branches to several muscle fibers. Each branch forms a junction with a muscle fiber, called a **neuromuscular junction**, or **synapse** (sin'aps). The term synapse is a more general term; it refers to the cell-to-cell junction between a nerve cell and either another nerve cell or an effector cell such as a muscle or gland cell. Neuromuscular junctions are located near the center of a muscle fiber (Figure 7-4). A single motor neuron and all the skeletal muscle fibers it innervates are called a **motor unit**. Many motor units form a single muscle. The strength

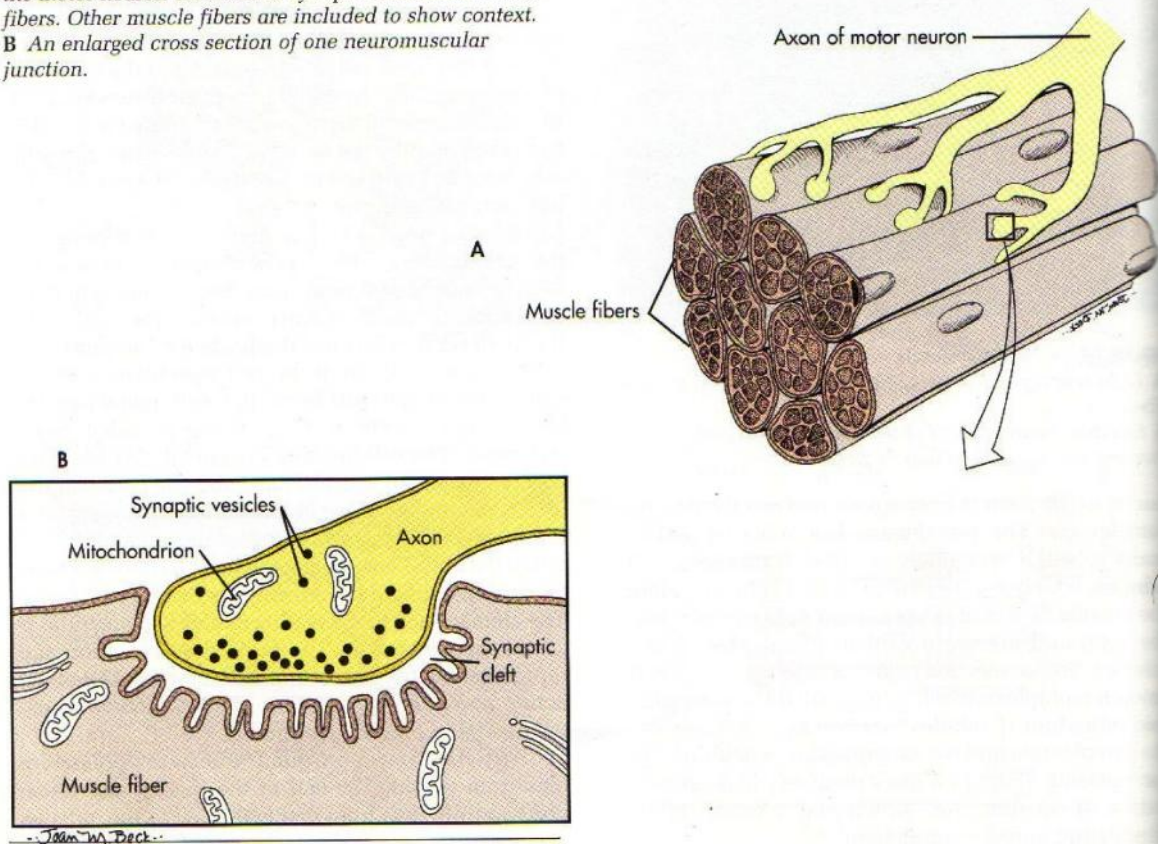
of a given muscle contraction is determined by the number of motor units that are contracting in the muscle.

A neuromuscular junction is formed by an enlarged axon terminal resting in an indentation of the muscle cell membrane. The enlarged axon terminal is the **presynaptic terminal**, the space between the presynaptic terminal and the muscle fiber is the **synaptic cleft**, and the muscle fiber membrane is the **postsynaptic membrane**. Each presynaptic terminal contains many small vesicles, called **synaptic vesicles**. These vesicles contain **acetylcholine** (as'e-til-ko'lēn, ACh), which functions as a **neurotransmitter**.

When an action potential reaches the presynaptic terminal, it causes the synaptic vesicles to release acetylcholine into the synaptic cleft by exocytosis. The acetylcholine diffuses across the synaptic cleft and binds to receptor molecules in the muscle cell membrane. The combination of acetylcholine with

**FIGURE 7-4 • Innervation of a motor unit and muscle fiber**

**A** A motor unit is all the branches of a single axon and the muscle fibers it innervates. In this case, the axon of the motor neuron branches to synapse onto three muscle fibers. Other muscle fibers are included to show context. **B** An enlarged cross section of one neuromuscular junction.





its receptor causes an increase in the permeability of the cell membrane to sodium ions. The resulting influx of sodium ions into the muscle fiber initiates an action potential in the muscle fiber, which causes it to contract. The acetylcholine released into the synaptic cleft between the neuron and muscle fiber is rapidly broken down by an enzyme, **acetylcholinesterase** (as'e-til-ko-lin-es'ter-ās). This enzymatic breakdown ensures that one action potential in the neuron yields only one action potential in the skeletal muscle fibers of that motor unit, and only one contraction of each muscle fiber.

### DID YOU KNOW?

Anything that affects the production, release, or degradation of acetylcholine or its ability to bind to receptors on the muscle cell membrane also affects the transmission of action potentials across the neuromuscular junction. Some insecticides bind to and inhibit acetylcholinesterase. Consequently, acetylcholine accumulates in the synaptic cleft and acts as a constant stimulus to the muscle fiber. The insects die, partly because their muscles contract and cannot relax. Other poisons such as **curare** (ku-rah're) bind to the acetylcholine receptors on the muscle cell membrane and prevent acetylcholine from binding to them. Therefore the muscle fibers cannot be stimulated by acetylcholine and do not contract, resulting in paralysis.

## Muscle Contraction

Muscle contraction occurs as actin and myosin myofilaments slide past one another, causing the sarcomeres to shorten. Shortening of the sarcomeres causes the muscle to shorten. The sliding of actin myofilaments past myosin myofilaments during contraction is called the **sliding filament mechanism** of muscle contraction. The H zones and I bands shorten during contraction, but the A bands do not change in length (Figure 7-5).

Action potentials produced in skeletal muscle fibers travel along the sarcolemma and the T tubules. The action potentials cause the membranes of the sarcoplasmic reticulum to become more permeable to calcium ions, and calcium ions diffuse into the sarcoplasm. The calcium ions bind to troponin molecules attached to the actin myofilaments (Figure 7-6, B). This binding causes tropomyosin filaments to move, exposing attachment sites on the actin myofilament (Figure 7-6, C).

Energy for muscle contraction is supplied to the muscles in the form of adenosine triphosphate (ATP), a high-energy molecule produced from the energy that is released during the metabolism of food (see Chapter 17). ATP binds to the head of the myosin molecule (see Figure 7-6, B). The ATP is then broken down to adenosine diphosphate (ADP) and phosphate (P), and part of the energy from the ATP molecule is stored in the head of the myosin molecule. The exposed attachment sites on the actin myofilament bind to the heads of the myosin myofilaments to form **cross bridges** between the actin and myosin myofilaments (see Figure 7-6, C). The heads of the myosin myofilaments then bend toward the center of the sarcomere, forcing the actin myofilaments to slide over the surface of the myosin myofilaments (Figure 7-6, D). As a new ATP molecule attaches to the head of the myosin molecule, the cross bridge is released, and the myosin head is restored to its original position, where it can attach to the next actin subunit (Figure 7-6, E). As long as calcium remains attached to troponin, and as long as ATP remains available, the cycle of cross bridge formation, movement, and release is repeated (Table 7-1). When ATP is not available after a person dies, the cross bridges that have formed are not released, causing muscles to become rigid. This condition is called **rigor mortis**.

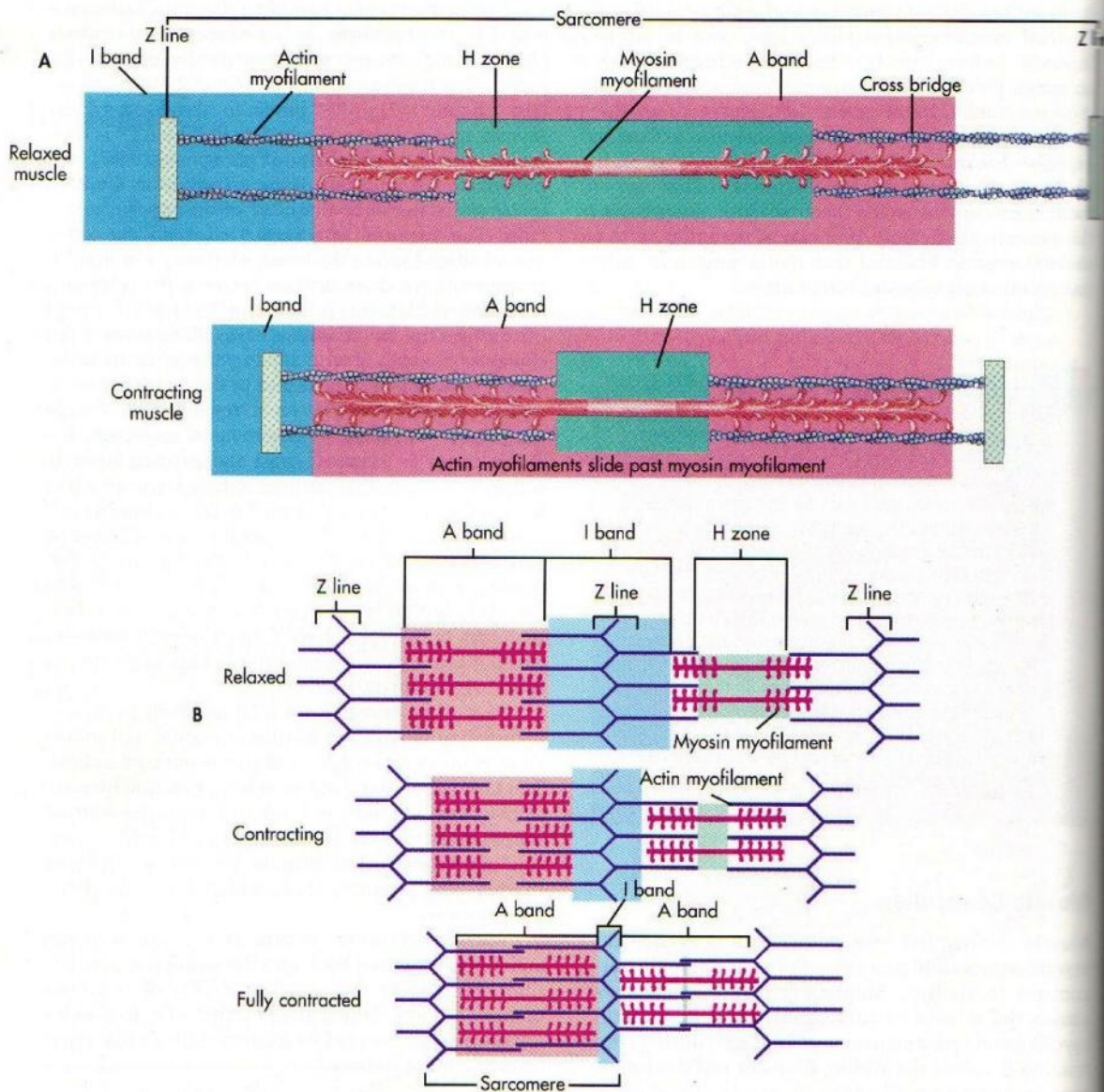
Part of the energy from ATP involved in muscle contraction is required for the formation and movement of the cross bridges, and part is released as heat. The heat released during muscle contraction increases body temperature, and a person becomes warmer during exercise. When the weather is cold, a person may shiver. The muscle movement involved in shivering produces heat, which raises the body temperature.

Muscle relaxation occurs as calcium ions are actively transported back into the sarcoplasmic reticulum (a process that requires ATP). As a consequence, the attachment sites on the actin molecules are once again covered by tropomyosin so that cross bridges cannot re-form.

### PREDICT

- 1 Predict the consequences of having the following conditions develop in a muscle in response to a stimulus: (a) inadequate ATP is present in the muscle fiber before a stimulus is applied; (b) adequate ATP is present within the muscle fiber, but action potentials occur at a frequency so great that calcium ions are not transported back into the sarcoplasmic reticulum between individual action potentials.





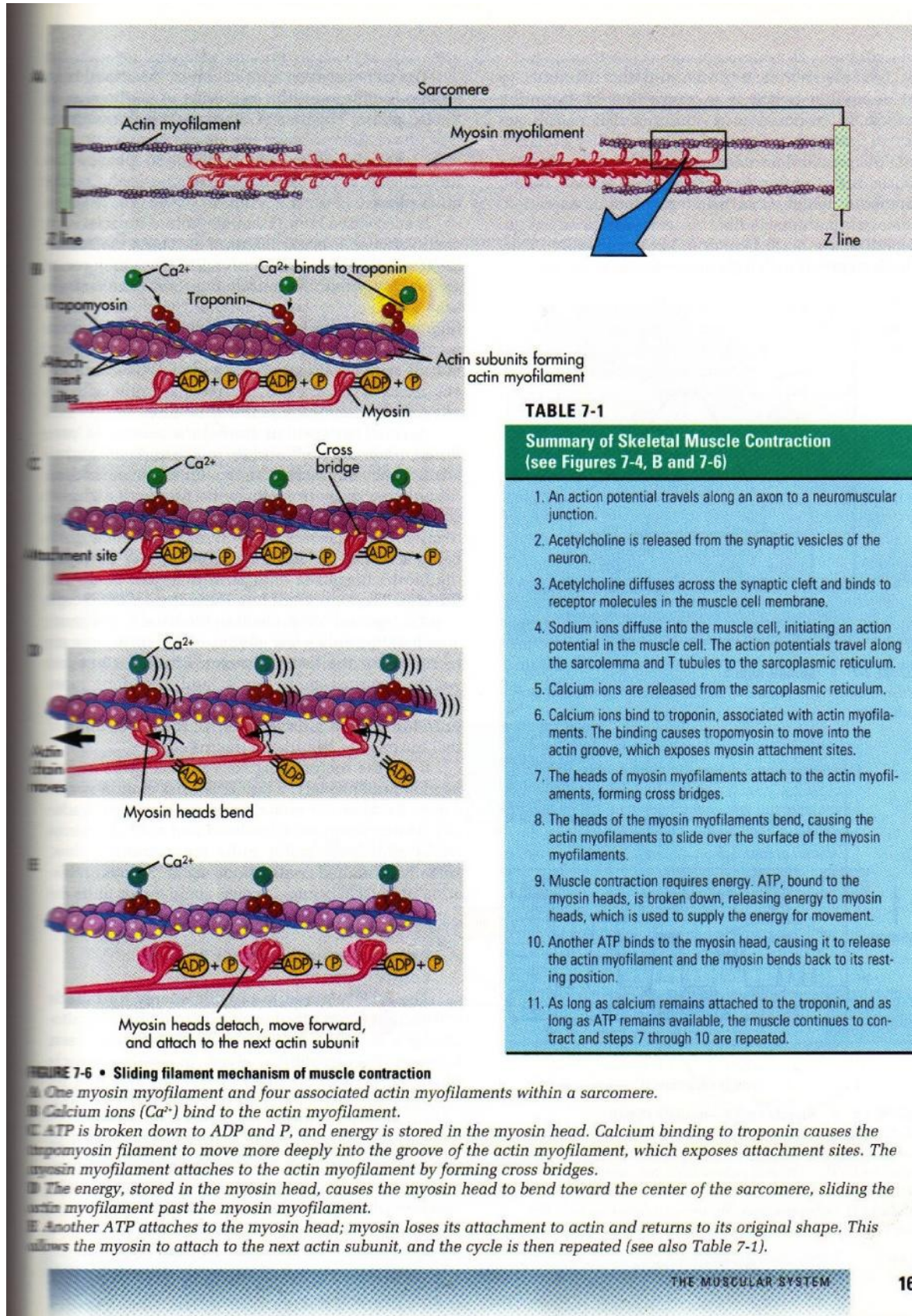
**FIGURE 7-5 • Sarcomere shortening**

Note that the I bands (blue) shorten, but the A bands (pink) do not. The H zone (green) narrows or even disappears as the actin myofilaments meet at the center of the sarcomere.

**A** Shortening of one sarcomere, showing one myosin myofilament and four associated actin myofilaments.

**B** Shortening of adjacent sarcomeres, with several myosin and actin myofilaments.





**TABLE 7-1**

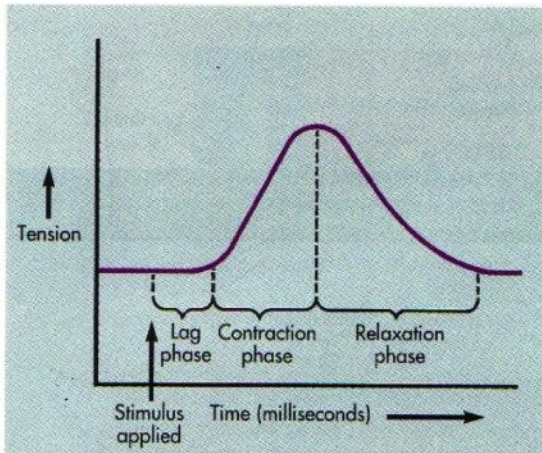
**Summary of Skeletal Muscle Contraction**  
(see Figures 7-4, B and 7-6)

1. An action potential travels along an axon to a neuromuscular junction.
2. Acetylcholine is released from the synaptic vesicles of the neuron.
3. Acetylcholine diffuses across the synaptic cleft and binds to receptor molecules in the muscle cell membrane.
4. Sodium ions diffuse into the muscle cell, initiating an action potential in the muscle cell. The action potentials travel along the sarcolemma and T tubules to the sarcoplasmic reticulum.
5. Calcium ions are released from the sarcoplasmic reticulum.
6. Calcium ions bind to troponin, associated with actin myofilaments. The binding causes tropomyosin to move into the actin groove, which exposes myosin attachment sites.
7. The heads of myosin myofilaments attach to the actin myofilaments, forming cross bridges.
8. The heads of the myosin myofilaments bend, causing the actin myofilaments to slide over the surface of the myosin myofilaments.
9. Muscle contraction requires energy. ATP, bound to the myosin heads, is broken down, releasing energy to myosin heads, which is used to supply the energy for movement.
10. Another ATP binds to the myosin head, causing it to release the actin myofilament and the myosin bends back to its resting position.
11. As long as calcium remains attached to the troponin, and as long as ATP remains available, the muscle continues to contract and steps 7 through 10 are repeated.

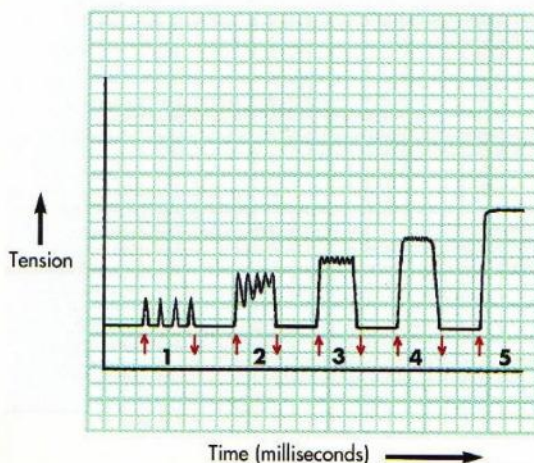


### Muscle twitch, tetanus, and recruitment

A **muscle twitch** is a contraction of an entire muscle in response to a stimulus that causes an action potential in one or more muscle fibers (Figure 7-7). A muscle fiber does not respond to a stimulus unless the stimulus strength reaches a level called **threshold**, which is sufficient to produce an action potential in a muscle fiber. In response to an action potential, a muscle fiber contracts maximally. This phenomenon is called the **all-or-none response**.



**FIGURE 7-7 • Muscle twitch**  
Muscle activity is recorded as the amount of tension per unit time.



**FIGURE 7-8 • Muscle twitch—multiple stimuli**  
Multiple stimuli result in multiple twitches (1). More frequent stimuli do not allow complete relaxation between twitches so that the individual twitches seem to fuse together (2, 3, and 4). With even greater stimulus frequency (5), no relaxation can be seen between twitches and the muscle remains continually contracted (tetanus).

The time between application of the stimulus to a motor neuron and the beginning of contraction is the **lag phase**. The time of contraction is the **contraction phase**. Relaxation of the muscle occurs immediately after the all-or-none contraction phase. The time during which the muscle relaxes is the **relaxation phase**.

If successive stimuli are given to a muscle, successive twitches occur (Figure 7-8, 1). As the stimulus frequency increases, muscle twitches may occur so frequently that the muscle does not have enough time to fully relax before another twitch is initiated (Figure 7-8, 2 and 3). If the stimulus frequency increases even more, no relaxation occurs between muscle twitches (Figure 7-8, 4 and 5). When the muscle remains contracted between stimuli without relaxing, the condition is called **tetanus**.

A small contraction force in a muscle is produced when only a few of its motor units are stimulated, each contracting in an all-or-none fashion. Stimulation of more motor units produces a greater contraction force because more motor units are contracting. This increase in the number of motor units being activated is called **recruitment**. For example, the biceps brachii is an arm muscle that flexes the forearm. The amount of force required by the biceps to lift a 1-pound weight held in the hand is not great, and therefore only a few motor units in the biceps are recruited for the task. However, lifting a 10-pound weight requires more force, and therefore more motor units are recruited. Maximum force is produced in a given muscle when all the motor units of that muscle are stimulated (recruited).

If all the motor units in a muscle were stimulated simultaneously, a quick, jerking motion would occur. Because the motor units are recruited gradually so that some are stimulated and held in tetanus while additional motor units are recruited, slow, smooth, sustained contractions occur. Smooth relaxation of muscle occurs because some motor units are held in tetanus while other motor units relax.

### Energy requirements for muscle contraction

The ATP required to provide energy for muscle contraction is produced primarily in numerous mitochondria located within the muscle fiber sarcoplasm between the myofibrils. Even in resting muscle fibers, fairly large amounts of ATP are required for cell maintenance. Therefore it is necessary for muscle fibers to constantly produce ATP.

Muscle fibers cannot easily stockpile ATP in preparation for periods of activity. The muscle fibers, however, can store another high-energy molecule, **creatine phosphate**. Creatine phosphate provides a means of storing energy that can be used rapidly to

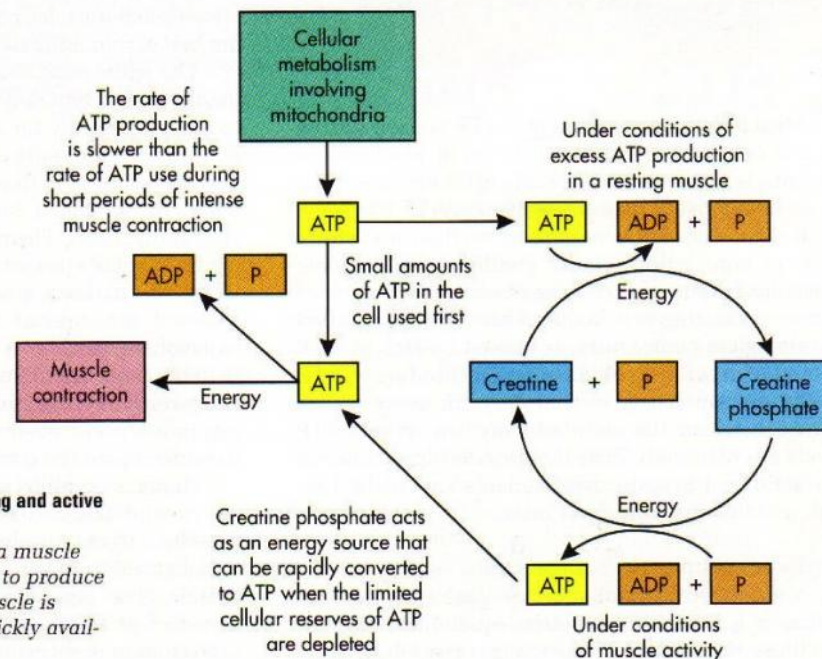


maintain an adequate amount of ATP in the contracting muscle fiber. During periods of inactivity, as excess ATP is produced in the muscle fiber, the energy contained in the ATP is used to synthesize creatine phosphate. During periods of activity, the reserves of ATP existing in the cell are used first, and then the energy stored in creatine phosphate is accessed quickly to produce ATP, which is used in muscle contraction (Figure 7-9).

ATP is produced by anaerobic and aerobic cellular respiration (see Chapter 17 for details). **Anaerobic respiration**, which occurs in the absence of oxygen, results in the breakdown of glucose to yield ATP and lactic acid. **Aerobic respiration** requires oxygen and breaks down glucose to produce ATP, carbon dioxide, and water. Anaerobic respiration occurs in the cytoplasm of cells, whereas most of aerobic metabolism occurs in the mitochondria. Cells with a high metabolic rate such as muscle fibers, which depend on large amounts of oxygen and carry out primarily aerobic metabolism, contain large numbers of mitochondria. Compared to anaerobic respiration, aerobic respiration is much more efficient. The metabolism of a glucose molecule by aerobic respiration theoretically can produce approximately 18 times as much ATP as produced by anaerobic respiration. In addition, aerobic respiration can use a greater variety of nutrient molecules to produce ATP than can anaerobic respiration. For example, aerobic respiration can use fatty acids to generate ATP.

Although anaerobic respiration is less efficient than aerobic respiration, it occurs faster and is important when oxygen availability limits aerobic respiration. By using many glucose molecules, anaerobic respiration can rapidly produce much ATP, but anaerobic respiration can proceed for only a short period of time. Lactic acid is an end product of anaerobic respiration. Some of the lactic acid can diffuse out of the muscle fiber into the blood, but some lactic acid remains in the muscle fibers. Lactic acid can irritate muscle fibers, causing short-term pain. Muscle pain that lasts for several days, however, indicates mechanical injury to the muscle.

Resting muscles or muscles undergoing long-term exercise, such as during long-distance running, depend primarily on aerobic respiration for ATP synthesis. Although some glucose is used as an energy source, fatty acids are a more important energy source during both sustained exercise and resting conditions. During short periods of intense exercise such as in sprinting, ATP is used up more quickly than it can be produced by aerobic respiration. Once the ATP reserves begin to decrease, the energy stored in creatine phosphate is used to maintain ATP levels in the contracting muscle fiber. Once the creatine phosphate stores are depleted, anaerobic respiration takes over. Anaerobic respiration rapidly metabolizes available glucose to provide enough ATP to support intense muscle contraction for up to 2 to 3 minutes. During intense exercise, glycogen stored in



**FIGURE 7-9 • Fate of ATP in a resting and active muscle**

When excess ATP is produced in a muscle cell, part of that ATP can be used to produce creatine phosphate. When the muscle is active, creatine phosphate is a quickly available source of ATP.



muscle fibers can be broken down to glucose, which can then be used to produce more ATP. Anaerobic metabolism is ultimately limited by depletion of glucose and a buildup of lactic acid within the muscle fiber.

After intense exercise, the respiration rate and volume remains elevated for a period of time, even though the muscles are no longer actively contracting. This increased respiration provides the oxygen to pay back the oxygen debt. The **oxygen debt** is the amount of oxygen needed in chemical reactions that occur in the liver to convert lactic acid to glucose and to replenish the depleted creatine phosphate stores in muscle fibers. After the lactic acid produced by anaerobic respiration is converted to glucose and creatine phosphate levels are restored, respiration rate returns to normal. The magnitude of the oxygen debt depends on the severity of the exercise, the length of time it was sustained, and the physical condition of the individual. The capacity of an individual in poor physical condition to perform metabolism is much lower than that of a well-trained athlete. With exercise and training, a person's ability to carry out both aerobic and anaerobic activities is enhanced.

## P R E D I C T

- 2 After a 10-mile run with a sprint at the end, a runner continues to breathe heavily for a period of time. Indicate the type of metabolism that is functioning to produce energy during the run, during the sprint, and after the run.

**Muscle fatigue** results when ATP is used during muscle contraction faster than it can be produced in the muscle fibers and lactic acid builds up faster than it can be removed. As a consequence, ATP levels are too low for muscle fibers to produce their maximum force of contraction. Under conditions of extreme muscular fatigue, muscles may become incapable of either contracting or relaxing. This condition, called **physiological contracture**, is caused by lack of ATP to bind to myosin myofilaments. The binding of ATP to the myosin heads is necessary for cross bridge release between the actin and myosin. When ATP levels are extremely low, the cross bridges between the actin and myosin myofilaments cannot be broken, and the muscle cannot relax.

### Uj Types of muscle contractions

Muscle contractions are classified as either **isometric** or **isotonic**. In **isometric** (equal distance) **contractions**, the amount of tension increases during the

contraction process, but the length of the muscle does not change. **Isometric** contractions are responsible for the constant length of the postural muscles of the body, such as the muscles of the back. On the other hand, in **isotonic** (equal tension) **contractions**, the amount of tension produced by the muscle is constant during contraction, but the length of the muscle decreases. Movements of the arms or fingers are predominantly isotonic contractions. Most muscle contractions are a combination of isometric and isotonic contractions in which the muscles shorten some distance and the degree of tension increases.

### Muscle tone

**Muscle tone** refers to the constant tension produced by muscles of the body for long periods of time. Muscle tone is responsible for keeping the back and legs straight, the head held in an upright position, and the abdomen from bulging. Muscle tone depends on a small percentage of all the motor units in a muscle being stimulated at any point in time, causing their muscle fibers to contract isometrically and out of phase with each other.

### Slow and fast fibers

Muscle fibers are sometimes classified as either fast-twitch or slow-twitch muscle fibers. Fast-twitch muscle fibers contract quickly and fatigue quickly, whereas slow-twitch muscle fibers contract more slowly and are more resistant to fatigue. Fast-twitch muscles have larger stores of glycogen and are well adapted to perform anaerobic metabolism, whereas slow-twitch muscles contain more mitochondria and are better suited for aerobic metabolism.

The white meat of a chicken's breast is comprised mainly of fast-twitch fibers. The muscles are adapted to contract rapidly for a short time but fatigue quickly. Chickens normally do not fly long distances. They spend most of their time walking. Ducks, on the other hand, fly for much longer periods of time and for greater distances. The red or dark meat of a chicken's leg or a duck's breast is composed of slow-twitch fibers. The darker appearance is due partly to the dark color of the enzyme system involved in aerobic metabolism, partly to a richer blood supply, and partly to the presence of **myoglobin**, which stores oxygen temporarily. Myoglobin can continue to release oxygen in a muscle, even when a sustained contraction has interrupted the continuous flow of blood.

Humans exhibit no clear separation of slow-twitch and fast-twitch muscle fibers in individual muscles. Most muscles have both types of fibers, although the number of each type varies in a given muscle. The large postural muscles contain more slow-twitch fibers, whereas muscles of the upper limb contain more fast-twitch fibers. The distribution



## Disorders and Other Conditions of Muscle Tissue

### Cramps

**Cramps** are painful, spastic contractions of muscle that are usually the result of an irritation within a muscle. Local inflammation from buildup of lactic acid or connective tissue inflammation can cause contraction of muscle fibers surrounding the irritated region.

### Hypertrophy and Atrophy

Exercise causes muscular **hypertrophy** (hi-per-tro-fe), which is increased muscle size resulting from an increase in the number of myofibrils within muscle fibers. Muscle hypertrophy is greater in males than in females, mainly because of greater concentrations of the male sex hormone, testosterone, in males. Disuse of muscle results in muscular **atrophy** (at-ro-fe), which is a decrease in muscle size because of a decrease in myofilaments within muscle fibers. Severe atrophy involves the permanent loss of skeletal muscle fibers and the replacement of those fibers by connective tissue. Immobility resulting from damage to the nervous system or casting a broken limb leads to muscular atrophy. If the nerve supply to a muscle is severed, the muscle

becomes **flaccid** (having no tone) and atrophies.

### Muscular Dystrophy

**Muscular dystrophy** refers to a group of inherited muscle disorders in which skeletal muscle tissue degenerates and the person experiences progressive weakness. The disorders are characterized by the progressive degeneration of muscle fibers leading to atrophy and their eventual replacement by fat and other connective tissue.

**Duchenne muscular dystrophy** is a genetic defect in the X chromosome inherited almost exclusively by males, affecting about 1 in 3,000 boys. The symptoms of muscle weakness and muscle shortening, called contractures, first appear when the child is about 3 years old, and most children are confined to a wheelchair by the time they are twelve.

**Myotonic muscular dystrophy** is characterized by the failure of muscles to relax following a forceful contraction, as well as by muscular weakness. The disorder is inherited as a dominant trait in both males and females, and it occurs in about 1 per 20,000 births. The disorder progresses

slowly, usually affecting the face and neck muscles first and affecting the hands most severely.

### Myasthenia Gravis

**Myasthenia gravis**, which usually begins in the face, is a muscular weakness not accompanied by atrophy. It is a chronic, progressive disease resulting from the destruction of acetylcholine receptors in the neuromuscular junction. Abnormal antibodies that bind to and destroy acetylcholine receptors can be identified in many people who have myasthenia gravis. Because of the decrease in the number of acetylcholine receptors, the efficiency of neuronal stimulation of muscle fibers decreases, and the muscle is weaker as a result.

### Tendinitis

As the name implies, **tendinitis** is an inflammation of a tendon and/or its attachment point. It usually occurs in athletes who overtax the muscle to which the tendon is attached.

of the fibers in a given muscle is constant for each individual and is established before birth. People who are good sprinters have a greater percentage of fast-twitch muscle fibers in their lower limbs, whereas good long-distance runners have a higher percentage of slow-twitch fibers. Athletes who are able to perform a variety of anaerobic and aerobic exercises tend to have a more balanced mixture of fast-twitch and slow-twitch muscle fibers.

Neither fast-twitch nor slow-twitch muscle fibers can normally be converted to muscle fibers of the other type. Nevertheless, training can increase the capacity of both types of muscle fibers to perform more efficiently. Intense exercise resulting in anaerobic

metabolism increases muscular strength and mass and has the greater effect on fast-twitch muscle fibers. Aerobic exercise increases the vascularity of muscles and causes enlargement of slow-twitch muscle fibers. Aerobic metabolism also can convert fast-twitch muscle fibers that fatigue readily to fast-twitch muscle fibers that resist fatigue. This conversion is accomplished by increasing the number of mitochondria in the muscle fibers and increasing the blood supply to the fast-twitch muscle fibers.

The number of cells in a skeletal muscle remains relatively constant following birth. Therefore enlargement of muscles after birth is the result of an increase in the size of the existing muscle fibers.





## SMOOTH MUSCLE AND CARDIAC MUSCLE

Smooth muscle cells are small and spindle shaped, usually with one nucleus per cell (Table 7-2). They contain less actin and myosin than do skeletal muscle cells, and the myofilaments are not organized into sarcomeres. As a result, smooth muscle cells are not striated. Smooth muscle cells contract more slowly than skeletal muscle cells and do not develop an oxygen debt. The resting membrane potential of some smooth muscle cells fluctuates between slow depolarization and repolarization phases. As a result, smooth muscle cells can periodically and spontaneously reach threshold, resulting in the generation of action potentials that cause the smooth muscle cells to contract. The resulting periodic spontaneous contraction of smooth muscle is called **autorhythmicity**. Smooth muscle is under involuntary control, whereas skeletal muscle is under voluntary motor control. Some hormones, such as those that function on the digestive system, can stimulate smooth muscle to contract.

Smooth muscle cells are organized to form layers. Most smooth muscle cells have specialized cell-to-cell contacts that allow action potentials to spread rapidly to all the smooth muscle cells. Thus all the smooth muscle cells tend to function as a unit and contract at the same time.

Cardiac muscle shares some characteristics with both smooth and skeletal muscle (see Table 7-2). Cardiac muscle cells are long, striated, and branching, with usually only one nucleus per cell. The actin and myosin myofilaments are organized into sarcomeres, but the distribution of myofilaments is not as uniform as in skeletal muscle. As a result, cardiac muscle cells are striated, but not as distinctly striated as skeletal muscle. The rate of

cardiac muscle contraction is intermediate between smooth and skeletal muscle. Cardiac muscle contraction is autorhythmic. Cardiac muscle does not develop an oxygen debt and does not fatigue. Cardiac muscle cells are connected to each other by **intercalated disks**. Intercalated disks are specialized structures that include tight junctions and gap junctions and that facilitate action potential conduction between the cells. This cell-to-cell connection allows cardiac muscle cells to function as a unit. As with smooth muscle, cardiac muscle is under involuntary control and is influenced by hormones, such as epinephrine.

## SKELETAL MUSCLE ANATOMY

### General Principles

Most muscles extend from one bone to another and cross at least one joint. Muscle contraction causes most body movements by pulling one of the bones toward the other across the movable joint. Some muscles are not attached to bone at both ends. For example, some facial muscles attach to the skin, which moves as the muscles contract.

The points of attachment of each muscle are its origin and insertion. At these attachment points, the muscle is connected to the bone by a **tendon**. Some broad, sheetlike tendons are called **aponeuroses** (ap'o-nu-ro'sēz). The **origin**, also called the **head**, is the most stationary end of the muscle. The **insertion** is the end of the muscle attached to the bone undergoing the greatest movement. The part of the muscle between the origin and the insertion is the **belly** (Figure 7-10). Some muscles have multiple origins, or heads, such as the biceps brachii with two heads and the triceps brachii with three heads.

TABLE 7-2

Comparison of Muscle Types

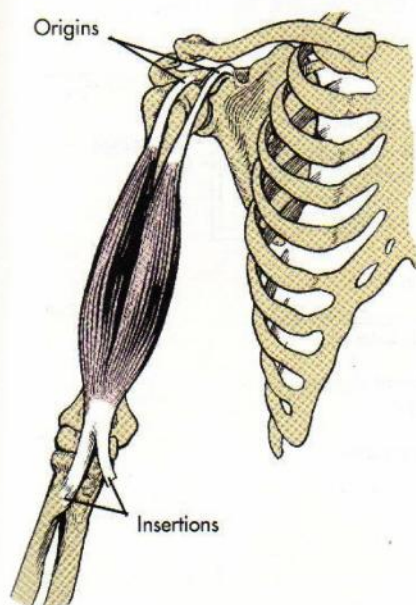
FEATURE	SKELETAL MUSCLE	CARDIAC MUSCLE	SMOOTH MUSCLE
Location	Attached to bone	Heart	Wall of hollow organs, blood vessels, and glands
Cell shape	Long, cylindrical	Branched	Spindle-shaped
Nucleus	Multiple, peripheral	Usually single, central	Single, central
Special features		Intercalated disks	Cell-cell attachments
Striations	Yes	Yes	No
Autorhythmic	No	Yes	Yes
Control	Voluntary	Involuntary	Involuntary
Function	Move the whole body	Heart contraction to propel blood through the body	Compression of ducts and tubes, etc.



Muscles tend to function together to accomplish specific movements. For example, the deltoid, biceps brachii, and pectoralis major all help flex the arm. However, many muscles are members of more than one group, depending on the type of movement being considered. For example, the anterior part of the deltoid muscle functions with the flexors of the arm, whereas the posterior part functions with the extensors of the arm. Muscles that work together to cause movement are **synergists** (sin'er-jistz), and a muscle working in opposition to another muscle is called an **antagonist** (an-tag'o-nist). The brachialis and biceps brachii are synergists in flexing the forearm; the triceps brachii is the antagonist and extends the forearm. Among a group of synergists, if one muscle plays the major role in accomplishing the desired movement, it is the **prime mover**. The brachialis is the prime mover in flexing the forearm. **Fixators** are muscles that hold one bone in place relative to the body while a usually more distal bone is moved. The muscles of the scapula act as fixators to hold the scapula in place while other muscles contract to move the humerus.

### Nomenclature

Most muscles have names that are descriptive. Some muscles are named according to their location, such as the pectoralis muscles in the chest; some according to



**FIGURE 7-10 • Muscle attachment**  
Muscles are attached to bones by tendons. The biceps brachii has two heads that originate on the scapula. The biceps tendon inserts onto the radial tuberosity.

their origin and insertion, such as the brachioradialis muscle, which extends from the arm to the radius; some according to the number of heads, such as the biceps brachii, which has two heads; or some according to their function, such as the flexor digitorum, which flexes the digits (fingers). Other muscles are named according to their size, such as vastus, which means large; their shape, such as deltoid, which means triangular; or the orientation of their fasciculi, such as rectus, which means straight. Recognizing the descriptive nature of muscle names makes learning those names much easier. The most superficial muscles are shown in Figure 7-11. Examining surface anatomy can be a great advantage to the anatomy student in gaining a better understanding of muscle anatomy. We have pointed out some of the muscles of the upper and lower limbs that can be seen on the surface of the body. Muscles are especially well developed in body builders (Figure 7-12).

### Muscles of the Head and Neck

The muscles of the head and neck include those involved in facial expression, mastication (chewing), movement of the tongue, swallowing, voice production, eye movements, and movements of the head and neck.

#### Facial expression

Several muscles act on the skin around the eyes and eyebrows (Table 7-3 and Figure 7-13). The **occipitofrontalis** (ok-sip'i-to-fron-tā'lis) raises the eyebrows. The **orbicularis oculi** (or-bik'u-lār'us ok'u-li) closes the eyelids and causes "crow's feet" wrinkles in the skin at the lateral corners of the eyes.

Several other muscles function in moving the lips and the skin surrounding the mouth (see Figure 7-13). The **orbicularis oris** (or'us) and **buccinator** (buk'sī-na'tor), the kissing muscles, pucker the mouth. The buccinator also flattens the cheeks as in whistling or blowing a trumpet and therefore is sometimes called the trumpeter's muscle. Smiling is accomplished primarily by the **zygomaticus** (zi'go-mat'ī-kus) muscles. Sneering is accomplished by the **levator labii superioris**, and frowning or pouting largely by the **depressor anguli oris**.

#### PREDICT

- 3** Harry Wolf, a notorious flirt, on seeing Sally Gorgeous, raises his eyebrows, winks, whistles, and smiles. Name the facial muscles he uses to carry out this communication. Sally, thoroughly displeased with this exhibition, frowns and sneers in disgust. What muscles does she use?

Text continues on p. 173.



**FIGURE 7-11 • The muscular system**  
**A Anterior view.**

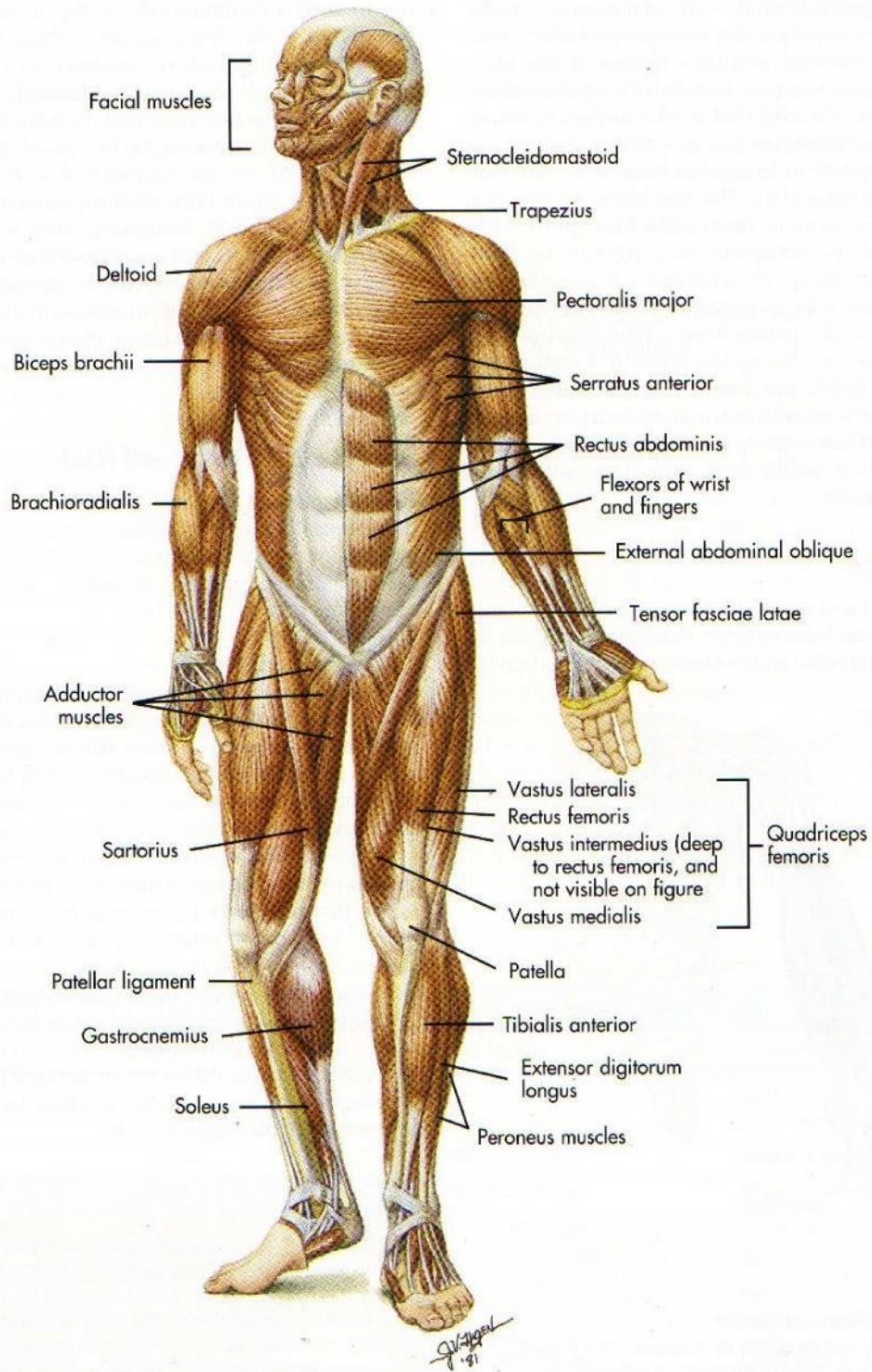
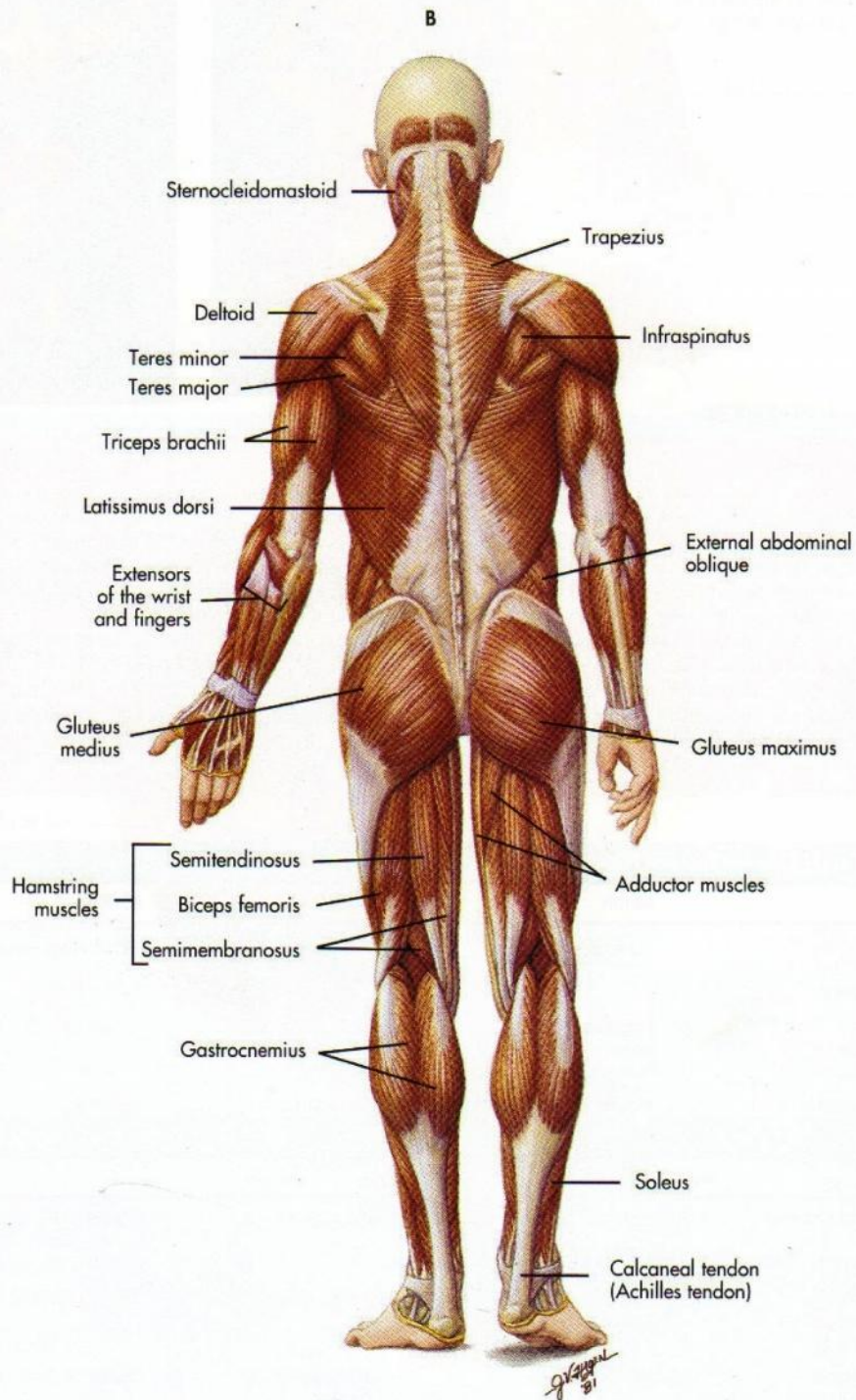




FIGURE 7-11 • The muscular system—cont'd  
B Posterior view.





**FIGURE 7-12 • Bodybuilders**

**A and B** Name as many muscles as you can from the photos. Compare these photos with the labeled muscles in Figure 7-11.



A



## Bodybuilding

Once considered a sport only for men, **bodybuilding** currently is now enjoyed by thousands of women as well. Participants in this sport combine specific weight training and diet to develop maximum muscle mass and minimum body fat, with their major goal being to develop a well-balanced, complete physique. Body building requires knowledge of exercises

that develop all muscles, and it requires consistent and rigorous training. Exercising the appropriate muscles to the proper degree is required to develop a well-proportioned body.

Recent studies indicate that the cardiorespiratory fitness of bodybuilders is similar to that of other well-trained athletes. This fitness has not always been present in

bodybuilders, but it can now be attributed to modern bodybuilding techniques that include aerobic exercise and running along with "pumping iron."

Photographs of bodybuilders can be used to identify the surface anatomy of muscles that cannot be seen easily in untrained people (see Figure 7-12).

**TABLE 7-3**

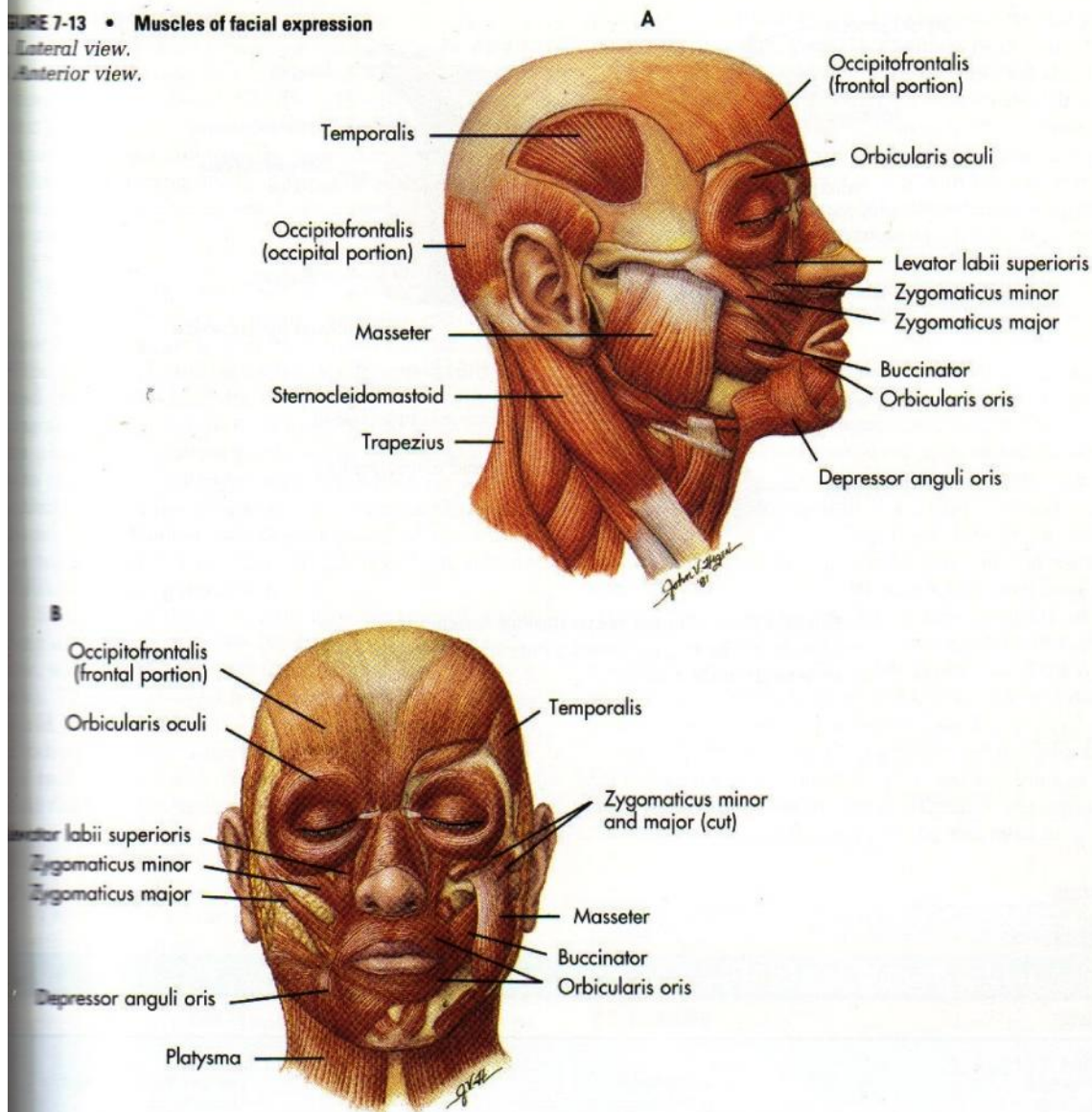
### Muscles of Facial Expression (see Figure 7-13)

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Occipitofrontalis (ok-sip'i-to-fron'tā'lis) (Figure 7-13, A and B)	Occipital bone	Skin of eyebrow and nose	Moves scalp; elevates eyebrow
Orbicularis oculi (ōr-bik'u-lār'is ok'u-li) (Figure 7-13, A and B)	Maxilla and frontal bones	Encircles eye, and inserts near origin	Closes eye
Orbicularis oris (ōr-bik'u-lār'is or'is) (Figure 7-13, A and B)	Maxilla and mandible	Skin around the lips	Closes lips
Buccinator (buk'si-na'tor) (Figure 7-13, A and B)	Maxilla and mandible	Corner of mouth	Flattens cheeks
Zygomaticus major and minor (zi'go-mat'i-kus) (Figure 7-13, A and B)	Zygomatic bone	Corner of mouth	Elevate corner of mouth
Levator labii superioris (le'va-tor la'be-i su-per'e-ōr-is) (Figure 7-13, A and B)	Maxilla	Upper lip	Elevates upper lip
Depressor anguli oris (de-pres'or an'gu-le ōr'is) (Figure 7-13, A and B)	Mandible	Lower lip near corner of mouth	Depresses corner of mouth



**FIGURE 7-13 • Muscles of facial expression**

*Lateral view.*  
*Anterior view.*

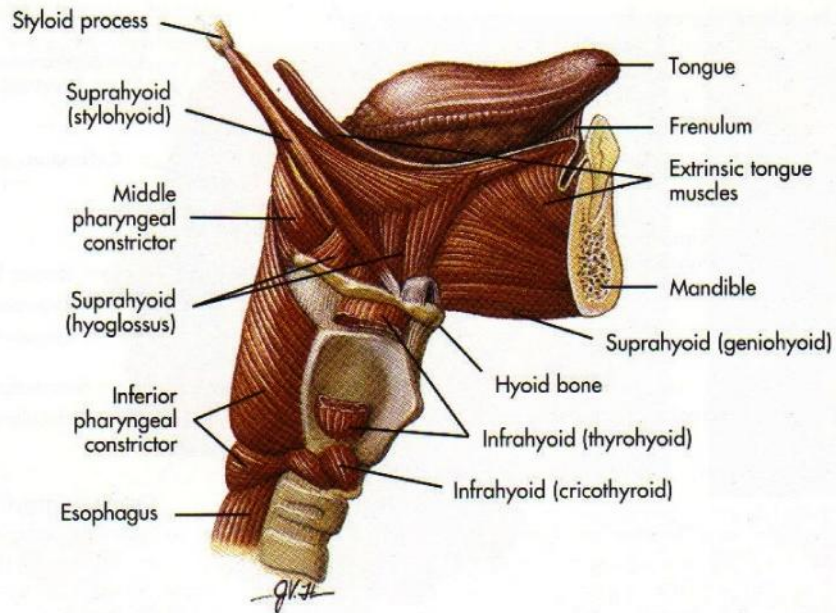


**TABLE 7-4**

**Muscles of Mastication (see Figure 7-13)**

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Temporalis (tem-por-ā'lis) (Figure 7-13, A and B)	Temporal region on side of head	Mandible	Closes jaw
Masseter (mas-ē'ter) (Figure 7-13, A and B)	Zygomatic arch	Mandible	Closes jaw
Mylohyoid (mī'lo-yoidz) (Not shown in illustrations)	Inferior side of skull	Mandible	One closes jaw; one opens jaw





**FIGURE 7-14 • Tongue and swallowing muscles**  
*Muscles of the tongue, hyoid, pharynx, and larynx as seen from the right.*

**TABLE 7-5**

**Tongue and Swallowing Muscle (see Figure 7-14)**

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Tongue muscles			
Intrinsic	Inside tongue	Inside tongue	Changes shape of tongue
Extrinsic (Not shown in illustration)	Bones around oral cavity	Onto tongue	Moves the tongue
Hyoid muscles			
Suprahyoid (e.g., geniohyoid, stylohyoid, and hyoglossus) (Figure 17-14)	Base of skull, mandible	Hyoid bone	Elevates or stabilizes hyoid
Infrahyoid (e.g., thyrohyoid) (Figure 17-14)	Sternum, larynx	Hyoid bone	Depresses or stabilizes hyoid
Soft palate (Not shown in illustration)	Skull or soft palate	Palate, tongue, or pharynx	Moves soft palate, tongue, or pharynx
Pharyngeal muscles			
Elevators (Not shown in illustration)	Soft palate and auditory tube	Pharynx	Elevate pharynx
Constrictors (e.g., middle and inferior) (Figure 7-14)	Larynx and hyoid	Pharynx	Constrict pharynx



## Mastication

The four pairs of muscles of chewing, or **mastication** (mas'ti-ka-shun), are some of the strongest muscles of the body (Table 7-4). The **temporalis** (tem'po-rā'lis) and **masseter** (mă'sē-ter) muscles (see Figure 7-13, A) can be easily seen and felt on the side of the head during mastication. The **pterygoid** (tēr'ī-goyd) muscles, consisting of two pairs, are deep to the mandible.

## Tongue and swallowing muscles

The tongue is very important in mastication and speech. The tongue moves food around in the mouth. With the buccinator muscle, the tongue holds the food in place while the teeth grind the food. The tongue pushes food up to the palate and back toward the pharynx to initiate swallowing. The tongue consists of a mass of **intrinsic muscles**, which are located entirely within the tongue and function to change its shape. The **extrinsic muscles** are located outside of the tongue but are attached to and move the tongue (Table 7-5 and Figure 7-14).

Swallowing involves a number of structures and their associated muscles, including the hyoid muscles, soft palate, pharynx (throat), and larynx (voice box). The **hyoid muscles** are divided into a **suprahyoid group** (superior to the hyoid bone) and an **infrahyoid group** (inferior to the hyoid) (see Table 7-5 and Figure 7-14). When the suprahyoid muscles hold the hyoid bone in place from above, the infrahyoid muscles can elevate the larynx. To observe this effect, place your hand on your larynx (Adam's apple) and swallow.

The muscles of the soft palate close the posterior opening to the nasal cavity during swallowing, preventing food and liquid from entering the nasal cavity. Swallowing is accomplished by elevation of the pharynx and larynx, followed by constriction of the

pharynx. The **pharyngeal elevators** elevate the pharynx, and the **pharyngeal constrictors** constrict the pharynx from superior to inferior, forcing the food into the esophagus. Pharyngeal muscles also open the auditory tube, which connects the middle ear with the pharynx. Opening the auditory tube equalizes the pressure between the middle ear and the atmosphere. This is why it is sometimes helpful to chew gum or swallow when ascending or descending a mountain in a car or changing altitude in an airplane.

## Neck muscles

The deep neck muscles (Table 7-6) include neck flexors, located along the anterior surfaces of the vertebral bodies, and neck extensors, which are located posteriorly. Rotation and abduction of the head are accomplished by lateral and posterior neck muscles. The **sternocleidomastoid** (ster'no-kli'do-mas'toyd) muscle (see Figure 7-13, A), the prime mover of the lateral muscle group, is easily seen on the anterior and lateral sides of the neck. Contraction of only one sternocleidomastoid muscle causes rotation of the head. Contraction of both sternocleidomastoids results in flexion of the neck or extension of the head, depending on what other neck muscles are doing. Torticollis (tor'ti-kōl'is, a twisted neck), or wry neck, may result from injury to one of the sternocleidomastoid muscles. It is sometimes caused by damage to a baby's neck muscles during a difficult birth and usually can be corrected by exercising the muscle.

## PREDICT



4 Shortening of the right sternocleidomastoid muscle would rotate the head in which direction?

TABLE 7-6

### Neck Muscles (see Figures 7-11, 7-13, 7-15, and 7-19)

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Deep neck muscles			
Flexors (Not shown in illustrations)	Anterior side of vertebrae	Base of skull	Flex head and neck
Extensors (Figures 7-15; 7-19, A)	Posterior side of vertebrae	Base of skull	Extend head and neck
Sternocleidomastoid (ster'no-kli'do-mas'toyd) (Figures 7-11, A, B; 7-13, A; 7-19, A)	Sternum and clavicle	Mastoid process of skull	Individually rotate head, together flex neck or extend head
Trapezius (tra-pe'ze-us) (Figures 7-11, A, B; 7-13, A; 7-19, A)	Skull and upper vertebral column	Scapula	Extends head and neck

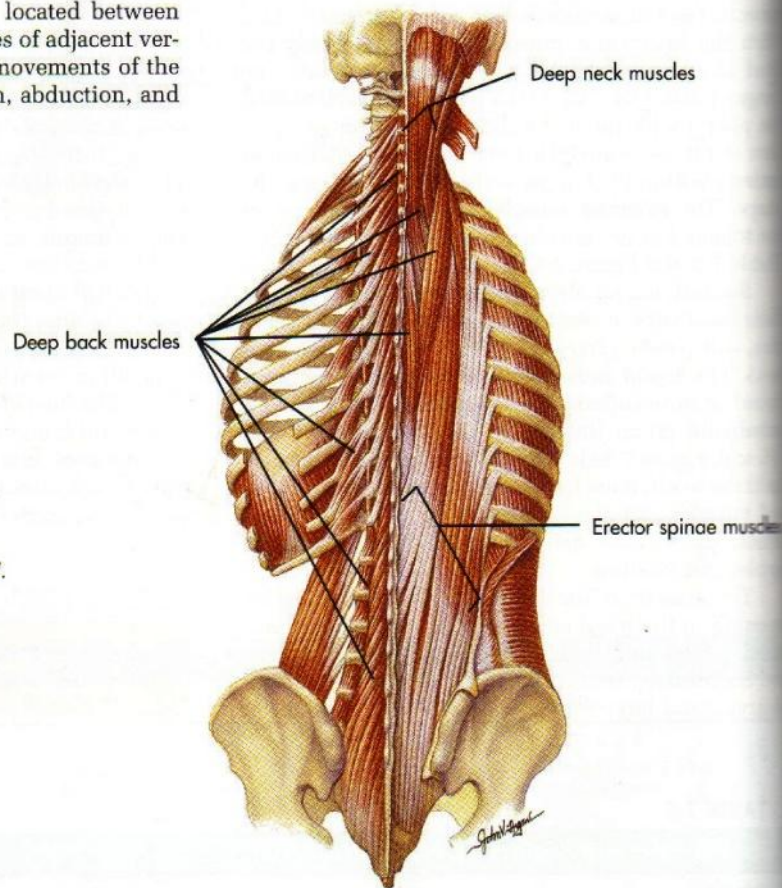


## Trunk Muscles

Trunk muscles include those that move the vertebral column, those of the thorax and abdominal wall, and those of the pelvic floor.

### Muscles moving the vertebral column

In humans the back muscles are very strong to maintain erect posture. The **erector spinae** (ě-rek'ter spi'ne) group of muscles on each side of the back are the muscles primarily responsible for keeping the back straight and the body erect (Table 7-7 and Figure 7-15). **Deep back muscles**, located between the spinous and transverse processes of adjacent vertebrae, are responsible for several movements of the vertebral column such as extension, abduction, and rotation.



**FIGURE 7-15 • Muscles of the back, seen from a posterior view**  
*The upper limb, shoulder girdle, and associated muscles have been removed.*

**TABLE 7-7**

**Back Muscles Moving the Vertebral Column (see Figure 7-15)**

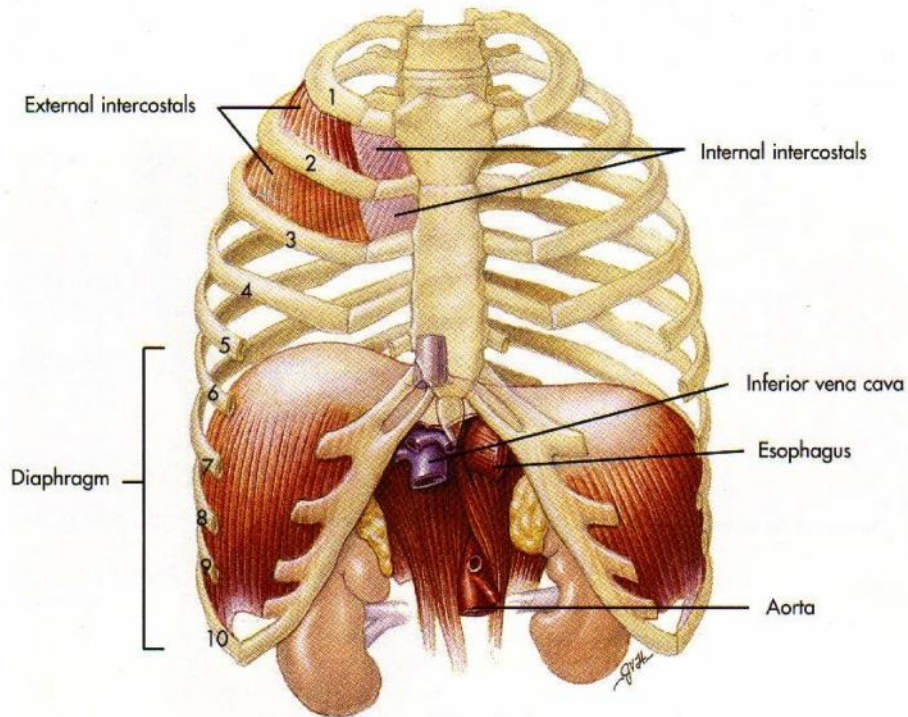
MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Erector spinae (e-rek'tor spi'ne) (Figure 7-15)	Vertebrae, pelvis	Superior vertebrae and ribs	Extend vertebral column
Deep back muscles (Figure 7-15)	Vertebrae	Vertebrae	Extend vertebral column and help bend vertebral column laterally



### Thoracic muscles

The muscles of the thorax (Table 7-8 and Figure 7-16) are involved almost entirely in the process of breathing. The **external intercostals** (in'ter-kos'tulz) elevate the ribs during inspiration. The **internal intercostals** contract during forced expiration.

The major movement produced in the thorax during quiet breathing, however, is accomplished by the dome-shaped **diaphragm** (di'ä-fram). When it contracts, the dome is flattened, causing the volume of the thoracic cavity to increase and resulting in inspiration.



**FIGURE 7-16 • Muscles of the thorax, anterior view**  
Selected intercostal muscles and the diaphragm are shown.

**TABLE 7-8**

#### Muscles of the Thorax (see Figure 7-16)

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
External intercostals (in'ter-kos'tulz) (Figures 7-16; 7-19, B)	Ribs	Next rib below origin	Inspiration
Internal intercostals (in'ter-kos'tulz) (Figures 7-16; 7-19, B)	Ribs	Next rib above origin	Forced expiration
Diaphragm (di'ä-fram) (Figure 7-16)	Interior of body wall	Central tendon of diaphragm	Inspiration



### Abdominal wall muscles

The muscles of the anterior abdominal wall (Table 7-9 and Figure 7-17) flex and rotate the vertebral column, compress the abdominal cavity, and hold in and protect the abdominal organs. In a relatively muscular person with little fat, a vertical indentation, extending from the sternum through the navel to the pubis, is visible. This tendinous area of the abdominal wall, called the **linea alba** (lin'e-ah al'bah; white line), consists of white connective tissue rather than muscle. On each side of the linea alba is the **rectus abdominis** (rek'tus ab-dom'i-nus) mus-

cle. **Tendinous inscriptions** (in-skip'shunz) cross the rectus abdominis at three or more locations, causing the abdominal wall of a well-muscled person to appear segmented. Lateral to the rectus abdominis are three layers of muscle. From superficial to deep, these muscles are the **external abdominal oblique**, **internal abdominal oblique**, and **transversus abdominis**. The fasciculi of these three muscle layers are oriented in different directions to one another. When these muscles contract, they flex and rotate the vertebral column and compress the abdominal contents.

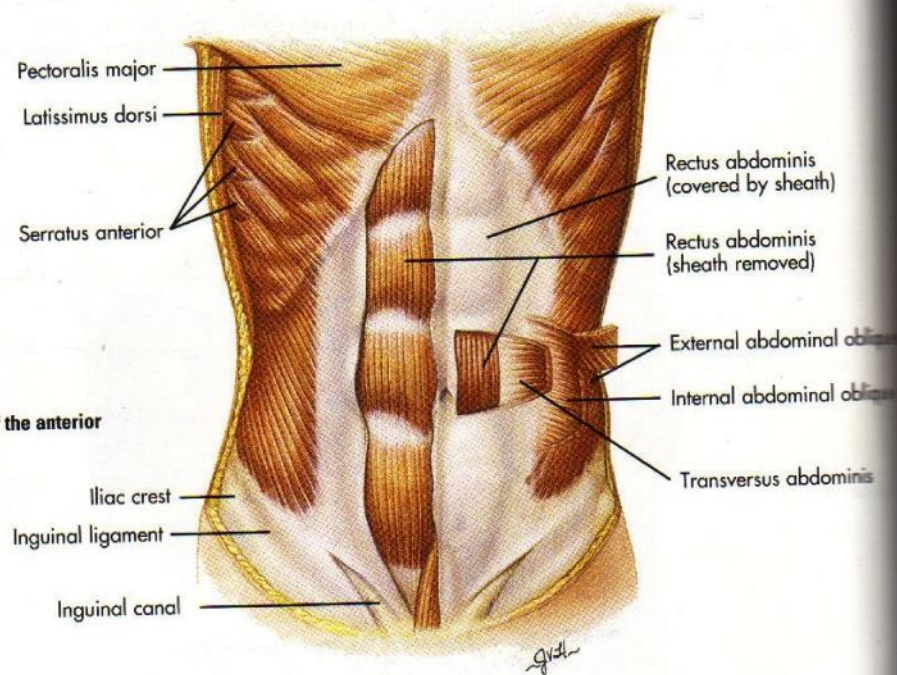


FIGURE 7-17 • Muscles of the anterior abdominal wall

TABLE 7-9

Muscles of the Abdominal Wall (see Figure 7-17)

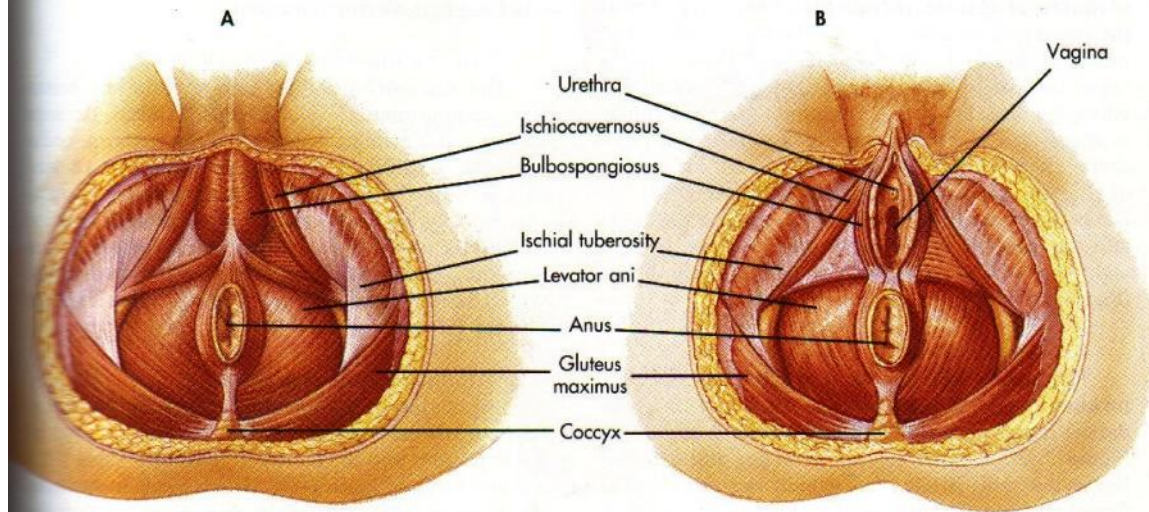
MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Rectus abdominis (rek'tus ab-dom'i-nis) (Figures 7-11, A; 7-17)	Pubis	Rib cage and sternum	Flexes vertebral column
External abdominal oblique (Figures 7-11, A; 7-17, 7-19, B)	Rib cage	Iliac crest and fascia of rectus abdominis	Compresses abdomen; flexes and rotates vertebral column
Internal abdominal oblique (Figures 7-17; 7-19, B)	Pelvis	Lower ribs and fascia of rectus abdominis	Compresses abdomen; flexes and rotates vertebral column
Transversus abdominis (trans-ver'sus ab-dom'in-is) (Figure 7-17)	Vertebrae, pelvis, ribs	Lower ribs, fascia of rectus abdominis, and pubis	Compresses abdomen



### Pelvic floor and perineal muscles

The pelvis is a ring of bone with an inferior opening that is closed by a muscular floor through which the anus and the openings of the urinary tract and reproductive tract penetrate. Most of the **pelvic floor**, also referred to as the **pelvic diaphragm**, is formed by

the **levator ani** (a'ne) muscle. The area inferior to the pelvic floor is the **perineum** (pēr'ī-ne'um), which contains a number of muscles associated with the male or female reproductive structures (Table 7-10 and Figure 7-18). Several of these muscles help regulate urination and defecation.



**FIGURE 7-18 • Muscles of the pelvic floor and perineum**

**A** Male, inferior view.

**B** Female, inferior view.

**TABLE 7-10**

#### Muscles of the Pelvic Floor and Perineum (see Figure 7-18)

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Levator ani (le-ve-to-r a'ni) (Figure 7-18, A and B)	Pubis and ischium	Sacrum and coccyx	Elevates anus
Ischiocavernosus (is-ke-o-kav'er-no'sus) (Figure 7-18 A and B)	Ischium	Clitoris or penis	Compresses base of clitoris or penis
Bulbospongiosus (bul'be-spon'je-o'sus) (Figure 7-18, A and B)			
Male (Figure 7-18, A)	Central tendon of perineum	Bulb of penis	Constricts urethra; aids in erection of penis
Female (Figure 7-18, B)	Central tendon of perineum	Base of clitoris	Aids in erection of clitoris



## Upper Limb Muscles

The muscles of the upper limb include those that attach the limb and girdle to the body and those that are in the arm, forearm, and hand.

### Scapular movements

The connection of the upper limb to the body is accomplished primarily by muscles. The muscles that attach the scapula to the thorax and move the scapula include the **trapezius** (tră-pe'ze-us), **levator scapulae** (skap'u-le), **rhomboids** (rom'boydz), **serratus anterior**, and **pectoralis minor** (Table 7-11; see Figure 7-19). These muscles act as fixators to hold the scapula firmly in position when the muscles of the arm contract. The scapular muscles also move the scapula into different positions, thereby increasing the range of movement of the upper limb. The trapezius (Figure 7-19, A) forms the upper line from each shoulder to the neck, and the origin of the serratus anterior from the first eight or nine ribs can be seen along the lateral thorax (Figure 7-19, B).

### Arm movements

The arm is attached to the thorax by the **pectoralis major** and **latissimus dorsi** (lă-tis'i-mus dor'se) muscles (Table 7-12 and Figure 7-20, A; see Figure 7-19, C). The pectoralis major adducts and flexes the arm. It can also extend the arm from a flexed position. The latissimus dorsi medially rotates, adducts, and powerfully extends the arm. Because a swimmer uses these three motions during the power stroke of the crawl, the latissimus dorsi is often called

the swimmer's muscle. Another group of four muscles, called the **rotator cuff muscles**, attaches the humerus to the scapula and forms a cuff or cap over the proximal humerus (see Table 7-12 and Figure 7-19, B and C). A rotator cuff injury involves damage to one or more of these muscles or their tendons. The **deltoid** (del'toyd) muscle attaches the humerus to the scapula and clavicle, and is the major abductor of the upper limb. The pectoralis major forms the upper chest, and the deltoid forms the rounded mass of the shoulder (see Figure 7-22). The deltoid is a common site for administering injections.

### Forearm movements

The arm can be divided into anterior and posterior compartments. The **triceps brachii** (tri'seps bra'ke-i), the primary extensor of the forearm, occupies the posterior compartment (Table 7-13 and Figure 7-20, B). The anterior compartment is occupied mostly by the **biceps brachii** and the **brachialis** (bra'ke-ă-lis), the primary flexors of the forearm. The **brachioradialis** (bra'ke-o-ra'de-ă-lis), which is actually a posterior forearm muscle, helps flex the forearm.

### Supination and pronation

Supination of the forearm, or turning the flexed forearm so that the palm is up, is accomplished by the **supinator** and the **biceps brachii** (see Table 7-13, Table 7-14 and Figure 7-21), which tends to supinate the forearm while flexing it. Pronation, turning the forearm so that the palm is down, is a function of two **pronator** muscles.

*Text continues on p. 182*

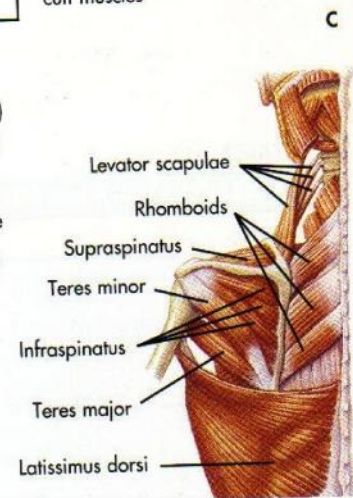
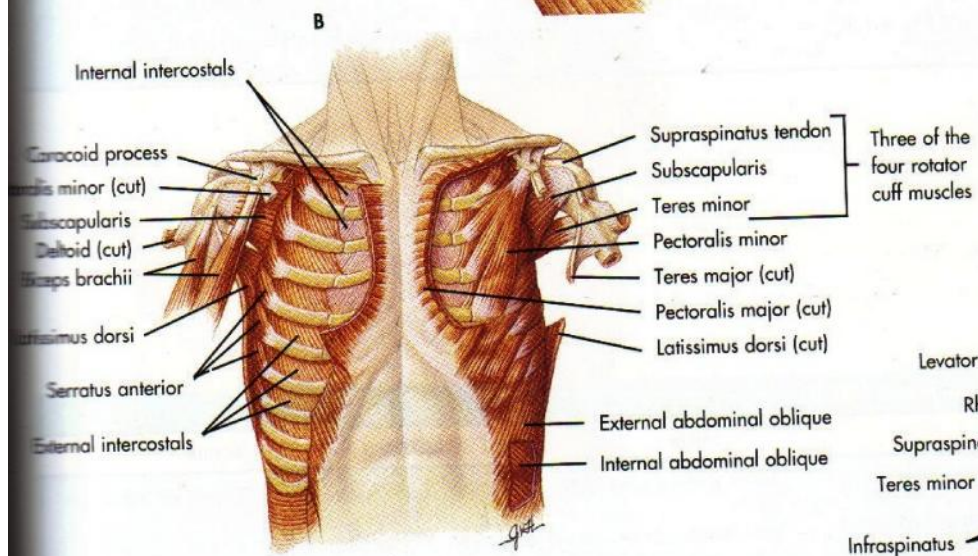
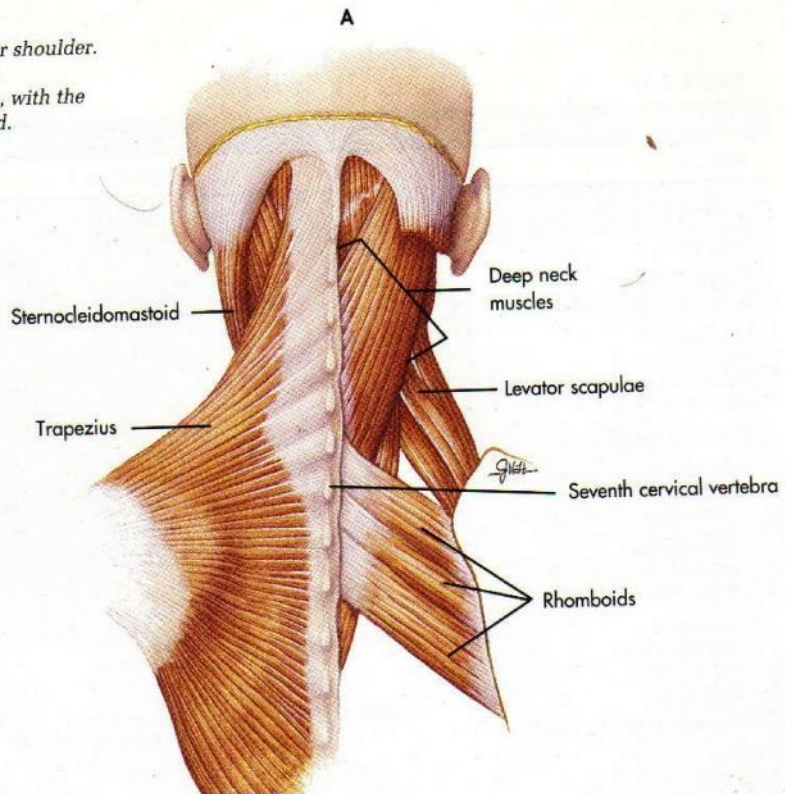
**TABLE 7-11**

**Scapular Movements (see Figure 7-19)**

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Trapezius (tră-pe'ze-us) (Figures 7-11, A and B; 7-19, A)	Skull and vertebrae	Scapular spine clavicle	Rotates scapula
Levator scapulae (le'va-tor skap'u-le) (Figure 7-19, A and C)	Cervical vertebrae	Superior angle scapula	Elevates scapula
Rhomboids (rom'boydz) (Figure 7-19, A and C)	Vertebrae	Medial border of scapula	Retracts scapula
Serratus anterior (sēr-a'tus) (Figures 7-11, A; 7-17; 7-19, B; 7-20, A)	Ribs	Medial border of scapula	Protracts scapula
Pectoralis minor (pek'to-ră'i'is) (Figure 7-19, B)	Ribs	Coracoid process of scapula	Depresses scapula



**FIGURE 7-19 • Muscles of the shoulder**  
 Posterior view of the neck and upper shoulder.  
 Anterior view of the thoracic region.  
 Posterior view of the thoracic region, with the trapezius and deltoid muscles removed.





**TABLE 7-12**

**Arm Movements (see Figures 7-19 and 7-20)**

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Pectoralis major (pek'to-rā'lis) (Figures 7-11, A; 7-17; 7-19, B; 7-20, A and B)	Ribs and clavicle	Shaft of humerus	Adducts, flexes, and extends arm
Teres major (tē'rēz) (Figures 7-11, B; 7-19, B and C)	Scapula	Humerus	Extends, adducts, and medially rotates arm
Latissimus dorsi (lā-tis'ti-mus dor'si) (Figures 7-11, B; 7-17; 7-19, B and C; and 7-20, A)	Vertebrae	Shaft of humerus	Extends, medially rotates, and adducts arm
<b>Rotator cuff muscles</b>			
Infraspinatus (in'frā-spi-nā'tus) (Figures 7-11, B; 7-19, C)	Scapula	Greater tubercle of humerus	Extends and laterally rotates arm
Supraspinatus (sup'rā-spi-nā'tus) (Figure 7-19, B and C)	Scapula	Greater tubercle of humerus	Abducts arm
Subscapularis (sub'skap-u-lā'r'is) (Figure 7-19, B)	Scapula	Lesser tubercle of humerus	Extends and medially rotates arm
Teres minor (Figures 7-11, B; 7-19, B and C)	Scapula	Greater tubercle of humerus	Adducts and laterally rotates arm
Deltoid (del'toyd) (Figures 7-11, A and B; 7-19, B; 7-20, A and B; 7-22)	Scapula and clavicle	Humerus	Flexes, extends, and abducts arm

**TABLE 7-13**

**Arm Muscles (see Figure 7-20, B)**

MUSCLE	ORIGIN	INSERTION	ACTION
Triceps brachii (tri'seps bra'ke-i) (Figures 7-11, B; 7-20, B; 7-22)	Humerus and scapula	Olecranon process of ulna	Extends arm and forearm
Biceps brachii (bi'seps bra'ke-i) (Figures 7-11, A; 7-19, B; 7-20, A and B; 7-22)	Scapula; superior to glenoid fossa, and coracoid process	Radial tuberosity	Flexes arm and forearm and supinates forearm
Brachialis (bra'ke-ā'lis) (Figures 7-20, B; 7-22)	Humerus	Coronoid process of ulna	Flexes forearm