

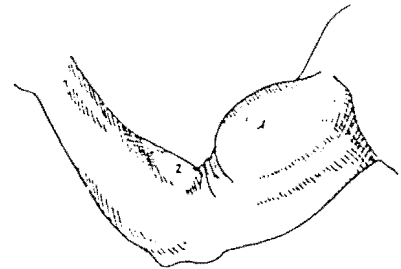
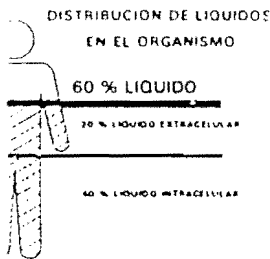
Bloque I

El cuerpo humano

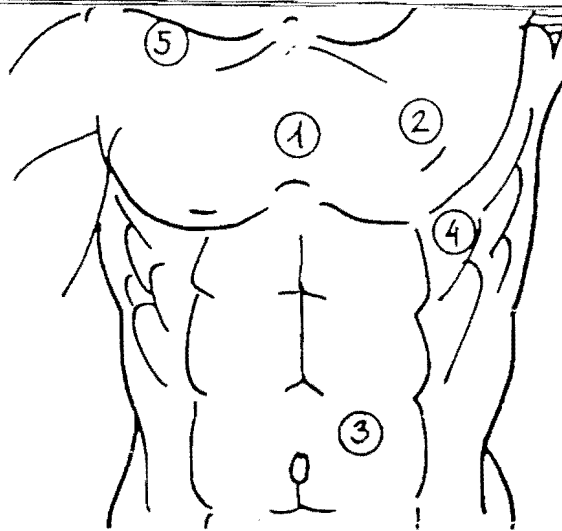
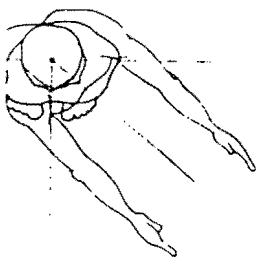


EL MOVIMIENTO HUMANO

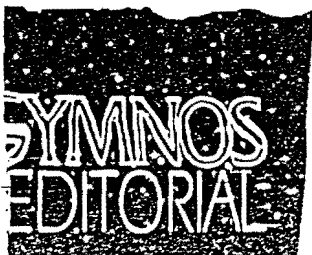
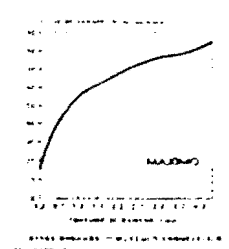
BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS



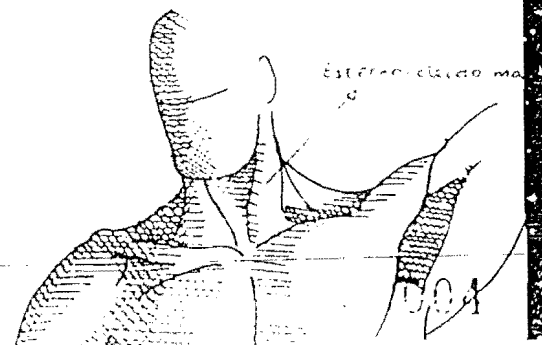
Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Aparato locomotor", en *El movimiento humano. Bases anatomico-fisiológicas* Madrid, Gymnos (Deporte y salud), pp. 17-30.



EFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA DISTRIBUCION SANGUINEA



Colección
Deporte
y
Salud



APARATO LOCOMOTOR

Denominamos así, al conjunto de órganos que hacen posible el movimiento, el mantenimiento de la postura,... En definitiva es el aparato del cuerpo humano encargado de producir el movimiento.

1.-COMPOSICION

El aparato locomotor está constituido por 3 elementos básicos:

- * ESQUELETO
- * ARTICULACIONES
- * CONJUNTO MUSCULO-TENDINOSO

ESQUELETO

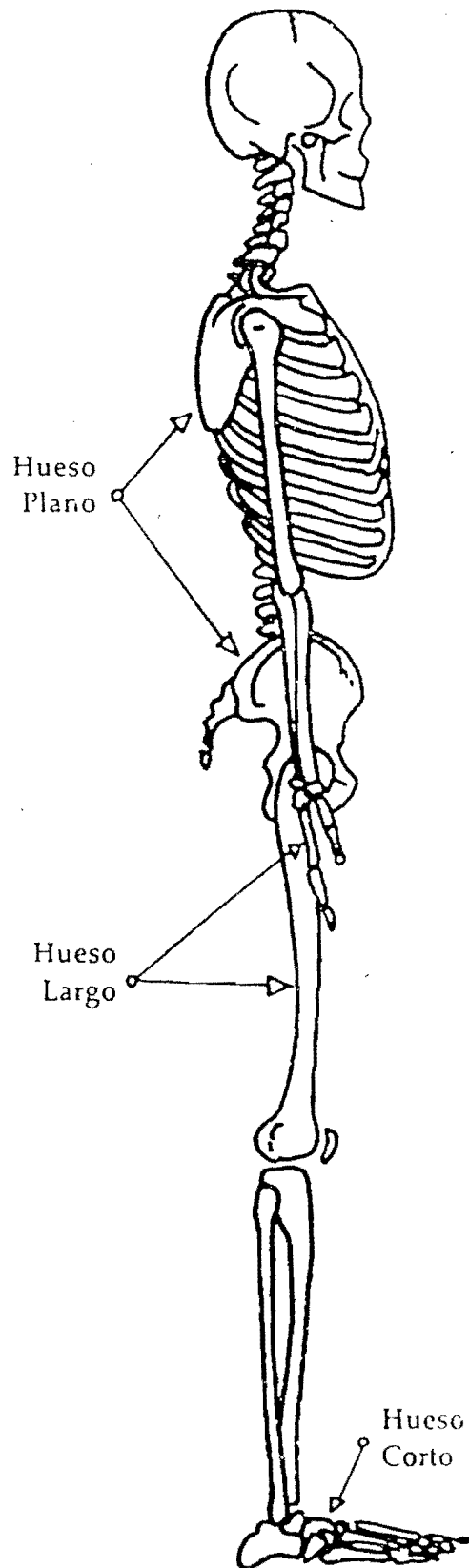
Es el conjunto de huesos que componen el cuerpo humano, correctamente colocados.

Presenta diversas funciones:

Posibilitar el soporte y protección de las estructuras del organismo.

Posibilitar el movimiento, al actuar los huesos como palancas.

Producir los glóbulos rojos, al poseer en su interior la médula ósea.



Generalidades sobre el estudio del hueso:

TIPOS DE HUESO

Cortos:

Son aquellos en los que ninguna de las dimensiones (largo, ancho y alto) destaca sobre las demás, manteniendo un tamaño relativamente pequeño, como por ejemplo los de la muñeca y el tobillo.

Largos:

En este caso la longitud destaca sobre el resto de dimensiones, como sucede en el fémur del muslo, húmero del brazo o los dedos de la mano.

Planos:

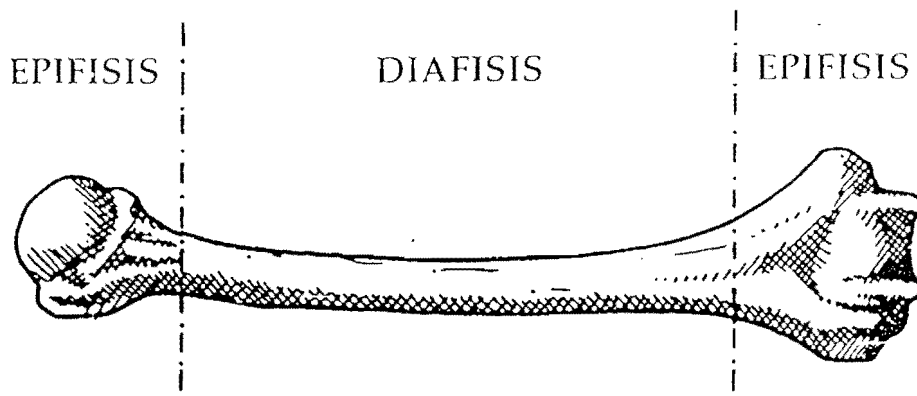
Son huesos que presentan un área importante en relación al volumen; es decir, longitud y anchura tienen proporciones similares pero son mucho mayores que la altura. Ejemplos de este tipo de hueso son los que conforman el cráneo, el omóplato o el esternón.

PARTES DEL HUESO

Para estudiarlas utilizaremos un hueso largo, como el húmero.

Observamos que tiene 3 partes:

- 2 extremos llamados epifisis
- 1 central llamada diáfisis.



En tanto el crecimiento no se haya completado, se diferencia una zona entre la diáfisis y epífisis, llamada metáfisis, que es realmente la zona por la que se alarga el hueso.

Todas ellas, salvo la zona del cartilago articular, están rodeadas por el PERIOSTIO, membrana ricamente vascularizada e innervada.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL HUESO

Para hablar de estas características, antes deberíamos hablar de las agresiones que puede sufrir el hueso.

Así, nos encontramos con AGRESIONES de tipo:

Presión:

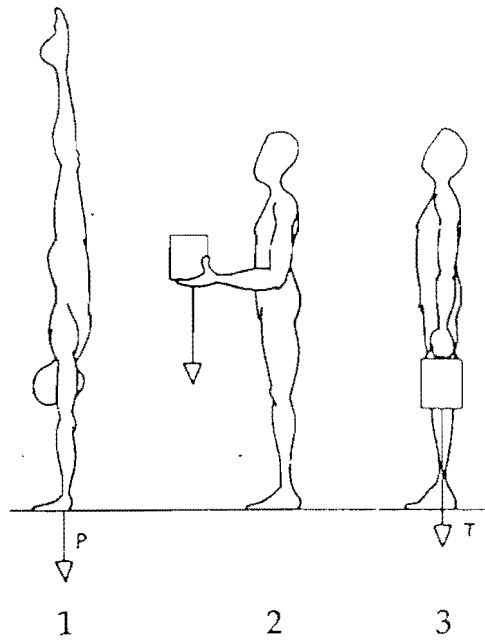
La posición "de pie" implica que los huesos de las extremidades inferiores deban estar 'soportando' el peso del resto del organismo; este mecanismo afecta principalmente a los huesos de la pierna. Habitualmente no nos damos cuenta de esta agresión, pero si pensamos en la situación que se refleja en el dibujo, comprenderemos esta "agresión".

Flexión:

El sistema de palancas por el que se rige la mecánica del movimiento, determina que este mecanismo sea un sistema frecuente de agresión. En el dibujo ya podemos apreciar que si el hueso no fuera resistente a la flexión se doblaría por el peso colocado en este caso en la mano, ya que el soporte que mantiene el antebrazo en esa posición está prácticamente junto al codo.

Tracción:

Mecanismo por el que el hueso se opone a las fuerzas que intentan 'estirlo', como por ejemplo los brazos al transportar objetos pesados en posición de extensión.



- 1.- PRESIÓN (Peso del Cuerpo)
- 2.- FLEXIÓN (Resistencia a doblarse)
- 3.- TRACCIÓN (Resistencia al estiramiento)

Así pues, en función de estas agresiones nos encontramos una arquitectura particular en las diferentes partes del hueso, ya que el hueso es una estructura viva que está en un continuo proceso de destrucción y reconstrucción, con lo que va adaptando sus líneas de fuerza a los requerimientos a los que se vea sometido. De ahí la importancia de la actividad física moderada en el mantenimiento de una adecuada mineralización y estructuración del esqueleto.

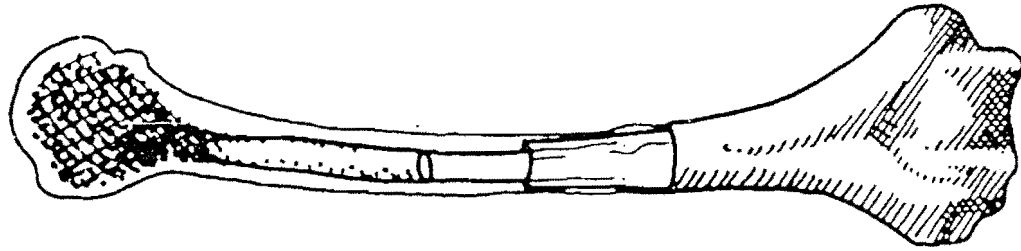
En la epífisis: Presenta una estructura esponjosa con fibras dispuestas en traveses (trabéculas) a lo largo de las líneas de transmisión de las fuerzas de presión.

Los extremos de dichas epífisis presentan unas superficies que van a contactar con el o los huesos vecinos, por lo que las llamaremos "superficies articulares", las cuales están recubiertas de un cartílago articular, cuya finalidad es proteger al hueso subyacente.

La diáfisis es un hueso no esponjoso pero hueco, lo cual le hace más resistente que un hueso compacto. Si a esto le añadimos que además dicho hueco está relleno de una sustancia blanda como la médula ósea, veremos que se consigue una mejor respuesta a las fuerzas de flexión.

EPIFISIS

DIAFISIS



Características constitucionales del hueso.-

Desde un punto de vista constitucional y con el fin de dar respuesta a los diferentes tipos de agresión, observamos en el hueso 2 características:

Rigidez, basada en los diferentes componentes minerales (principalmente, calcio).

Elasticidad, debido a los componentes orgánicos (Proteínas) y agua.

La relación de estas 2 características, depende entre otros factores, de la edad:

En el niño, el hueso es más elástico y por ello les cuesta más sufrir una fractura ("los niños son de goma").

En el anciano, presenta un componente mineral mucho más importante, implicando un hueso más rígido pero también más fácilmente rompible.

Pero también depende de factores externos como la actividad física, la alimentación o de ciertas enfermedades.

ARTICULACIONES

Denominamos articulaciones al lugar donde se ponen en contacto los huesos entre sí; existen diferentes tipos de articulaciones en función del tipo de unión entre los huesos y la movilidad que pueda generarse. No todas las articulaciones tienen movilidad; por ejemplo la unión del hueso parietal y temporal (huesos del cráneo) forman una articulación, pero como todo el mundo puede imaginar no existe ningún tipo de movimiento entre ellos.

Nosotros hablaremos en este apartado de las articulaciones llamadas DIARTROSIS o articulaciones discontinuas, pues tienen un espacio virtual y que son las que permiten el movimiento.

A la hora de analizar, desarrollar y estudiar genéricamente las articulaciones, vamos a fijarnos en 4 apartados:

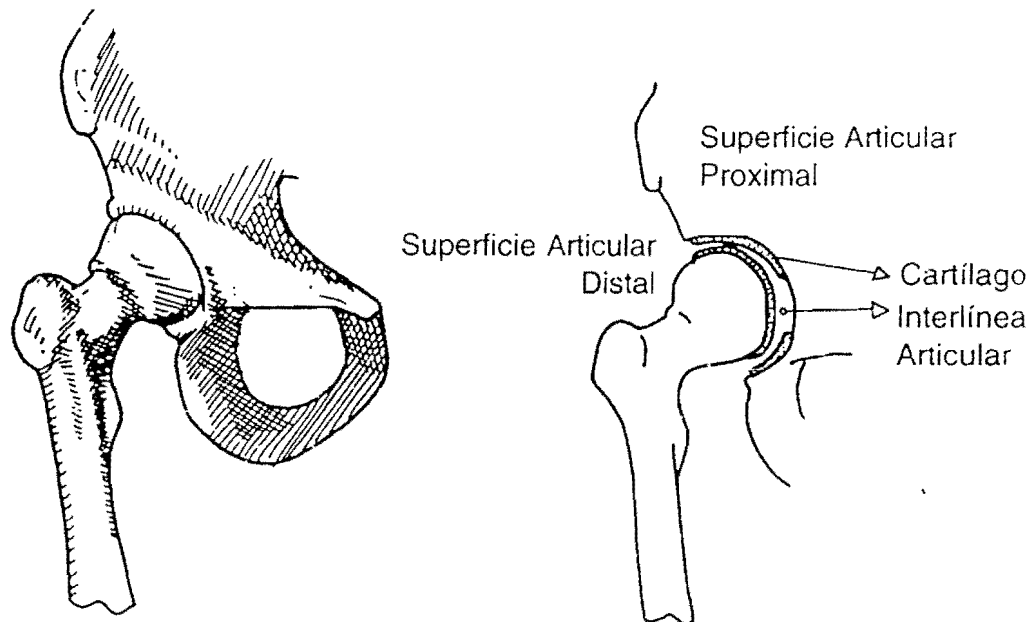
- 1.- Superficies articulares
- 2.- Cartílago
- 3.- Elementos estabilizadores de la articulación
- 4.- Otros elementos

Superficies articulares

Son los extremos óseos que entran en contacto y tienen una forma que les permite ajustarse y a la vez moverse.

Existen distintas formas articulares, las cuales van a determinar el grado de unión natural y los movimientos a realizar.

El encajonamiento recíproco de dichas superficies articulares se llama "CONGRUENCIA", y puede ser más o menos completa, generando más o menos estabilidad; así por ejemplo, las superficies de dos piezas contiguas de un puzzle son muy congruentes, ya que los relieves de una pieza encajan perfectamente en la otra, lo que da lugar a que cuando se unan, esa unión sea estable y ello da lugar a la vez a



que el grado de movilidad sea muy pequeño. Así, tenemos ejemplos de gran congruencia en la cadera y de poca en el hombro. Cuando en una articulación se rompe la congruencia, hay una separación de las superficies articulares lo que se denomina 'luxación'.

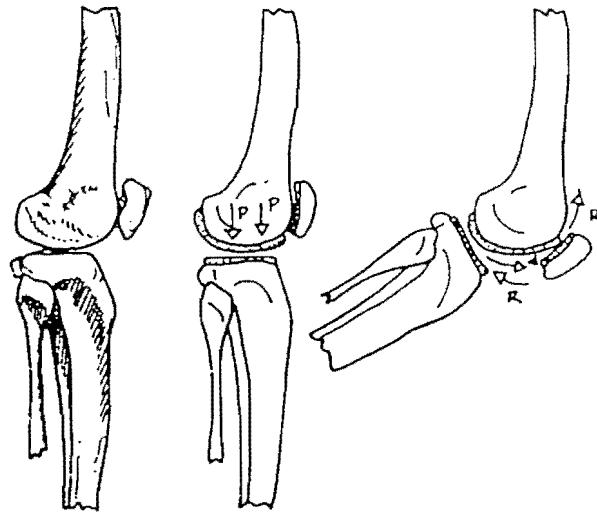
Entre ambas superficies articulares, existe un espacio virtual, llamado "INTERLINEA ARTICULAR".

Cartílago

Las superficies articulares, están recubiertas de un revestimiento blanco nacarado, llamado cartílago.

Su función es proteger el hueso situado debajo, sufriendo para ello 2 tipos de agresión:

- La presión.- Sobre todo las articulaciones del tren inferior (piernas), que tienen que estar soportando todo el peso del cuerpo cuando nos encontramos en pie o estamos en movimiento.
- La fricción.- Debido al deslizamiento de un cartílago sobre el otro, durante los movimientos.



Tipos de agresión del cartílago: - Presión (P) , Rozamiento (R)

Por ello el cartílago está diseñado de forma apropiada, siendo relativamente elástico y formando una superficie muy lisa. Cuando dicho cartílago se lesiona por exceso de uso o golpes, se produce la artrosis, lo cual produce rigidez articular, debido a la pérdida de capacidad de deslizamiento.

El cartílago no tiene una circulación sanguínea en su interior, por lo que los procesos de alimentación e intercambio para el mantenimiento de sus células los realiza a través del líquido sinovial -el cual además lo lubrica- y desde el hueso que recubre.

Existen otras formaciones en algunas articulaciones, cuya función es procurar una protección suplementaria y una mejor congruencia articular (ejemplo: meniscos).

Elementos estabilizadores de la articulación

Las articulaciones que estamos estudiando, dado que son discontinuas, y aunque tengan congruencia esta no es total ya que perderían su capacidad de movimiento y por ello deben estar sujetas para no perder contacto entre las superficies articulares, mediante una serie de elementos:

Cápsula:

Elemento fibroso que se inserta cerca de las carillas articulares y que transforma la articulación en un espacio completamente aislado. Es una especie de manguito que recubre toda la articulación, manteniendo de esta forma unidos los extremos óseos que conforman la articulación.

La cápsula está cubierta interiormente por la "membrana sinovial", la cual produce el "líquido sinovial" que llena la cavidad articular con una doble finalidad: Alimentar el cartílago y Lubricar las superficies, lo que permite un mejor deslizamiento durante el movimiento.

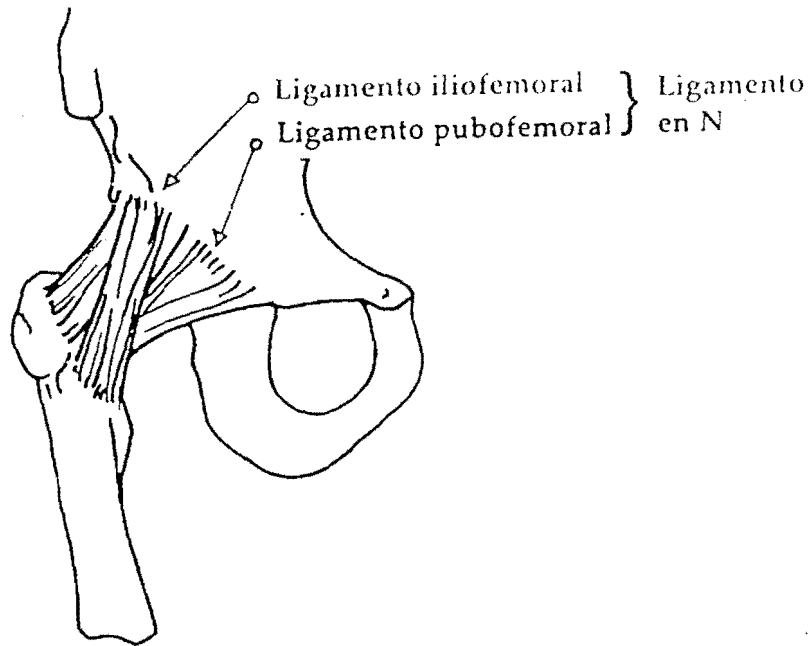
Ligamentos:

Son bandas de tejido fibroso, que actuando junto con la cápsula y con frecuencia siendo simples engrosamientos de ésta, generan estabilidad de tipo pasivo.

Dichos ligamentos son ricos en receptores nerviosos sensitivos, finos, los cuales envían información de forma continua al cerebro (posición, velocidad del movimiento), por lo que podemos ser conscientes del movimiento que estamos realizando en todo momento.

Músculos:

Mediante la fuerza que son capaces de generar y transmiten a través de sus tendones, son elementos imprescindibles en la estabilidad de la articulación, funcionando como elemento activo, y actuando de una u otra forma a partir de la información recibida por el sistema nervioso desde los receptores.

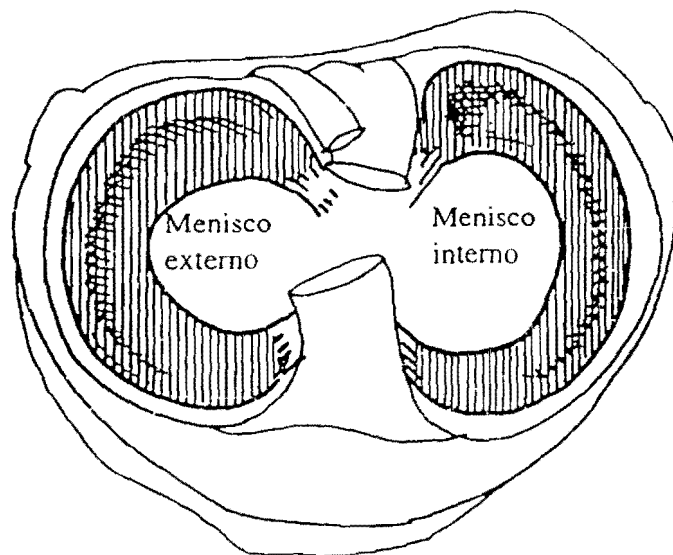


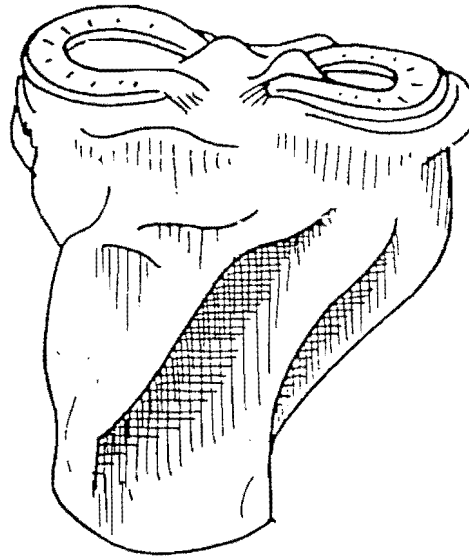
Ligamentos

Otros elementos

Meniscos:

Son formaciones cartilaginosas. La parte externa es más ancha y la parte superior es cóncava. Ayudan a aumentar la congruencia articular de la rodilla y a soportar mejor la presión.





Con igual finalidad nos encontramos, el disco intervertebral, y las formaciones fibro-cartilaginosas de las cavidades articulares de cadera y hombro.

MUSCULOS

Existen 3 tipos de músculos:

LISO: Es un tipo de músculo con una estructura claramente diferenciada del músculo esquelético, estando controlado de forma involuntaria. Lo encontramos en diferentes órganos, como el tubo digestivo, en las vías aéreas inferiores, en las arterias de menor calibre, ...

CARDIACO: El corazón es al fin y al cabo un músculo, en el que su estructura es estriada (como el músculo esquelético) y la contracción es involuntaria. Tiene otras especificidades que lo diferencian del músculo esquelético que se verán más adelante.

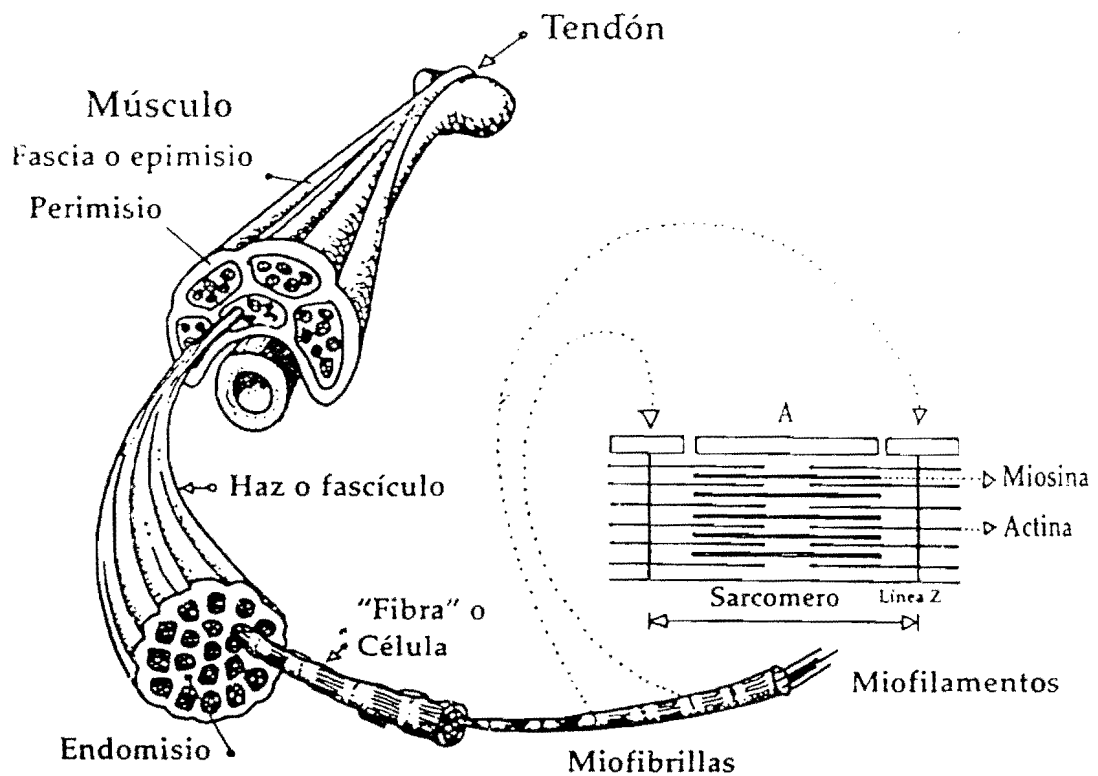
ESQUELETICO: De característica estriada y contracción voluntaria, es el elemento activo del aparato locomotor. El músculo esquelético tiene 3 funciones:

- Generar movimiento.
- Sostén del cuerpo y responsable de la postura.
- Generar calor mediante las diferentes reacciones metabólicas que se producen en su interior, ya que no toda la energía química consumida es transformada en energía mecánica.

Estructura del músculo esquelético

Dando un corte transversal, vemos que está distribuido en fascículos, cada vez más pequeños, de FIBRAS MUSCULARES, la cual es la unidad estructural del músculo.

Cada nivel muscular está rodeado de una vaina o cubierta fibrosa cada vez más fina (en función del nivel fascicular); estas vainas o cubiertas de tejido conjuntivo son las que por una parte dan lugar al funcionamiento activo individualizado de las diferentes fibras (la contracción activa de una fibra no implica obligatoriamente la contracción activa del resto de fibras que le rodean), y a la vez provocan que el acortamiento o alargamiento del músculo sea generalizado y homogéneo, a pesar de que la contracción activa se realice en unas pocas fibras musculares (en función de la necesidad de generar más o menos fuerza).



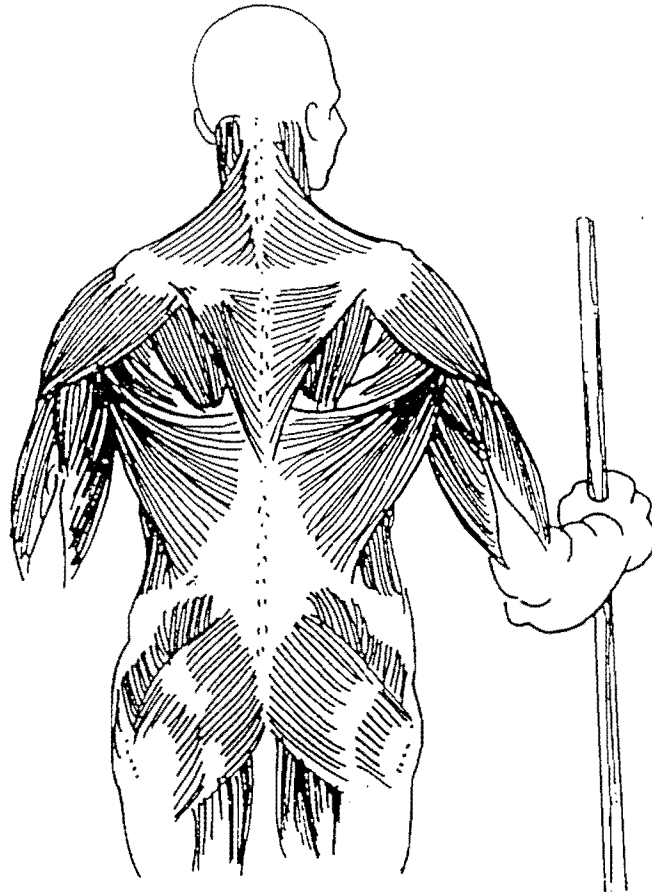
En muchos músculos, estas vainas fibrosas se prolongan en sus extremos fundiéndose y dando lugar a un cordón fibroso por el cual se inserta al hueso. Este cordón fibroso es el **TENDON**.

Descripción del Músculo

Un músculo se inserta siempre sobre (al menos) 2 huesos diferentes. El punto de agarre o unión con el hueso se llama inserción.

Esta inserción se puede realizar por tendones (ya comentado) o directamente por el músculo al periostio óseo, mediante el tejido conjuntivo fibroso.

Formas musculares.- Los músculos tienen formas y tamaño diferentes. Según la orientación de sus fibras y la disposición de sus inserciones, los músculos actúan en una o más direcciones.



Los músculos largos están con frecuencia relacionados con la cinética de grandes movimientos, mientras que los cortos, que son en general profundos, intervienen principalmente en la precisión de los ajustes óseos.

Los músculos pueden ser monoarticulares, cuando su trayectoria sobrepasa únicamente una articulación, produciendo movimientos exclusivos de esa articulación, o poliarticulares cuando sobrepasa varias articulaciones, participando en los movimientos de éstas.

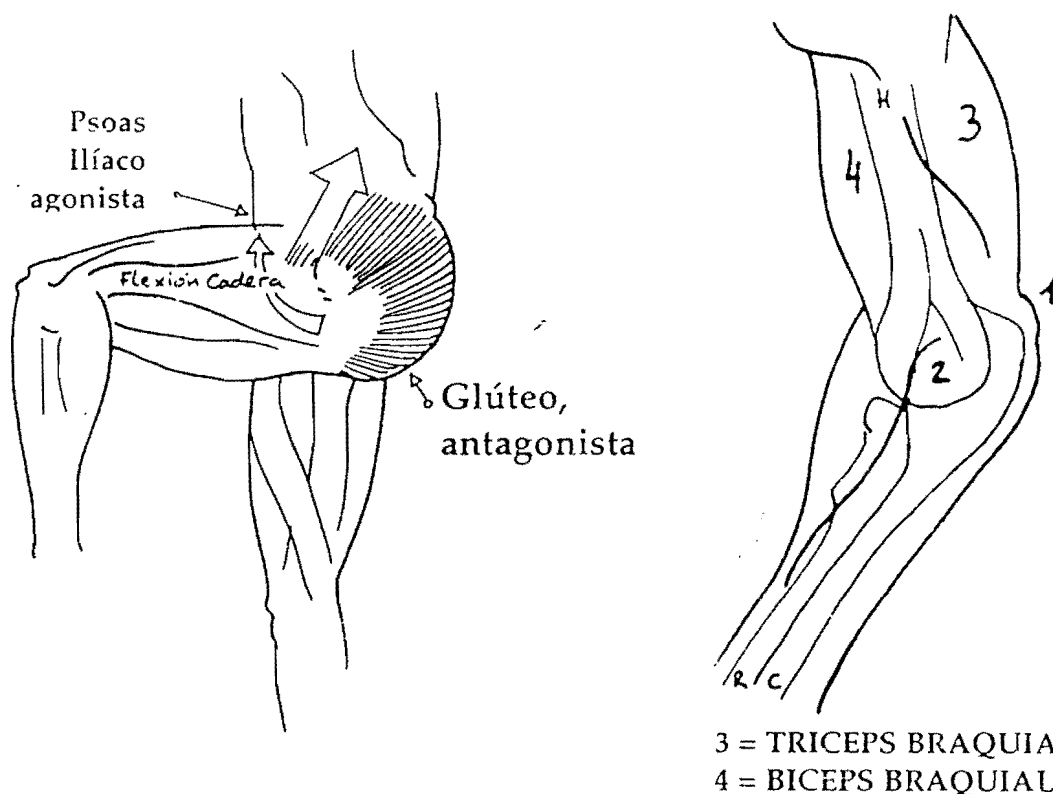
Características funcionales del músculo

Contractilidad: Es la capacidad activa que tiene el músculo de contraerse y acortarse, pudiendo llegar el grado de acortamiento a ser el 20-25% de la longitud total del músculo.

Elasticidad: Capacidad de estirarse alejando sus puntos de inserción bajo el influjo de fuerzas externas (que pueden ser otros músculos), así como capacidad de recuperación de su tamaño normal, una vez que las fuerzas externas que han producido su estiramiento, desaparecen.

Algunos conceptos sobre el músculo

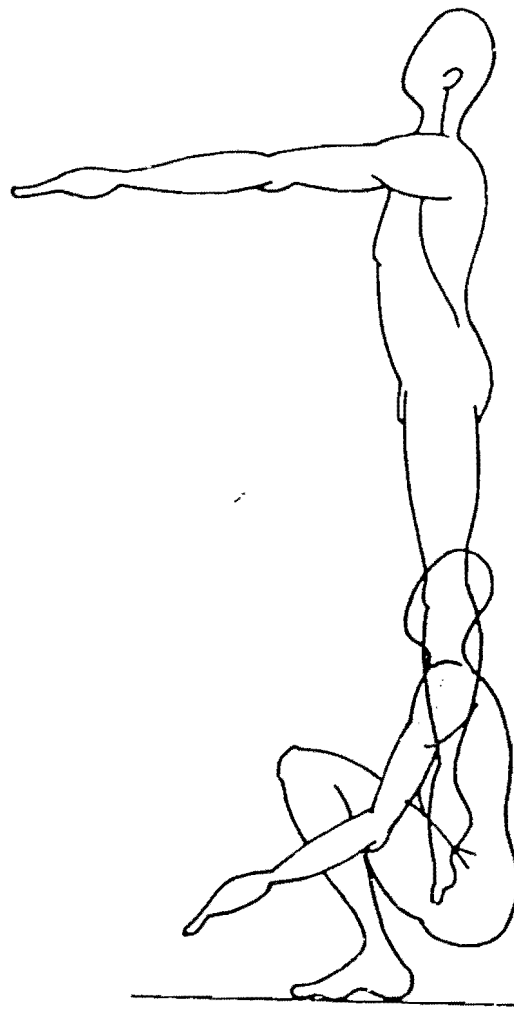
Músculo Agonista: Músculo que interviene activa y directamente en el movimiento realizado. Por ejemplo, cuando una persona intenta levantar la mano con una pesa de 1 kg, activa el músculo bíceps braquial (el músculo de la parte anterior del brazo), siendo por tanto éste el músculo agonista.



Músculo Antagonista: El que es capaz de realizar el movimiento contrario o lo que es lo mismo, el que se opone o puede oponerse al movimiento. En el caso del ejemplo anterior, al levantar la mano el músculo antagonista sería el tríceps braquial (músculo de la parte posterior del brazo). Caso de

que una vez levantada la mano (flexionado el codo), intentemos bajar la mano (contra una fuerza que se oponga por ejemplo), el tríceps braquial no será el músculo antagonista, sino el músculo agonista del movimiento contrario al anterior, y el bíceps braquial ya no sería el músculo agonista, sino el antagonista de este nuevo movimiento.

Sinergismo: Mecanismo por el que varios grupos musculares diferentes intervienen activa y conjuntamente realizando un mismo movimiento. Por ejemplo, en la flexión de rodilla, actúan el Bíceps, los Isquiotibiales, los Gemelos,... siendo todos ellos sinergistas, aunque en ocasiones se considera a uno de ellos como Agonista (caso de que haya uno que destaque frente a los demás), siendo los demás sinergistas.



En el salto desde la posición de cuclillas, se produce la contracción sinérgica de:
Gemelos, Cuadriceps, Glúteo y Erector del tronco.

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel et al. (1997), "Anatomía humana I. Aparato locomotor", en *Manual del técnico deportivo. Primer nivel*, España Mira, pp. 15-32.



PRIMER NIVEL

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

PRIMER NIVEL

Isabel Pascual Brumós
Alfredo Boné Pueyo
Julia Quílez
J. M. Cucullo López
Alfredo Boné Pueyo
Fernando Gimeno Marco
J. A. Valet Felices
José Luis Pueyo Bardavío
Julio Latorre Peña
Sánchez Bañuelos
Mikel Chivite Izco
Rafael Gericó Lizalde
Alfonso Muniesa Ferrero
Pedro Pablo Fernández Ruiz
Manuel Bueno
M.^a Jesús García Ceballos
Carlos Muniesa Ferrero
Fernando París Roche

MIRA EDITORES

620

UNIDAD 1

ANATOMÍA HUMANA I. APARATO LOCOMOTOR

INTRODUCCIÓN

Se entiende por Anatomía a la Ciencia que estudia la estructura morfológica de los organismos vivos y la relación existente entre sus partes.

Podríamos decir que hay varios tipos de Anatomía;

- **Descriptiva.** Que se refiere al estudio o descripción de cada uno de los sistemas del organismo por separado; se le denomina también anatomía sistemática.
- **Topográfica o regional.** Trata de las relaciones recíprocas de los órganos y estructuras reunidas en una región determinada del organismo.
- **Funcional.** Estudia los órganos en relación con su fisiología normal.
- **General.** Consiste en estudiar la estructura y composición de los tejidos del organismo.

Todavía podríamos continuar clasificando y definiendo los diferentes tipos de Anatomía pero nos parece que la mezcla de los distintos conceptos es lo que más se acerca a la idea global de esta Ciencia, de tal modo que unas veces haremos referencias descriptivas, otras funcionales, otras topográficas, etc.

La más completa a nuestro entender es la Anatomía aplicada o funcional que la relaciona íntimamente con la Fisiología; por lo tanto nos resulta bastante difícil separar los bloques de Anatomía de los de Fisiología y por ello hemos optado por ocuparnos del Aparato locomotor en esta unidad y dejar para la siguiente el resto de sistemas más relacionados con el ejercicio físico, sin olvidar que todos ellos tienen una parte puramente anatómica y a la que también haremos referencia en la unidad 2.

Así pues, en esta unidad se va a estudiar el aparato o sistema locomotor.

El aparato locomotor es el conjunto de partes orgánicas que actúan para realizar la función de la locomoción, que es la facultad que tienen los seres vivos, de trasladarse de un lugar a otro, bien andando, bien mediante la carrera o el salto. Ésta es una función que se realiza sobre todo a través de las extremidades inferiores, que además nos permiten adoptar la posición erecta (bipedestación). Pero, además, el aparato locomotor lleva implícito el soporte anatómico de las extremidades superiores o torácicas y dentro de éstas, las facultades propias de las manos.

Los tres elementos que constituyen el llamado aparato locomotor son los huesos, las articulaciones y los músculos, y juntos constituyen una gran unidad funcional; de tal forma que, al contraerse los músculos, los huesos se desplazan sobre sus articulaciones como verdaderas palancas, produciéndose el movimiento.

Recordemos que palanca es para los físicos una barra sólida destinada a girar alrededor de un eje fijo.

- 1.- ESTRUCTURA Y FUNCIONES
 1. 1.- Estructura del hueso
 1. 2.- Funciones del hueso
- 2.- DISTRIBUCION
 2. 1.- CABEZA
 - 2.1.1- Cráneo
 - 2.1.2- Cara
 - 2.1.3- Oído
 2. 2.- TRONCO
 - 2.2.1.- Columna vertebral
 - 2.2.2.- Tórax
 - 2.2.3.- Pelvis
 2. 3.- EXTREMIDADES SUPERIORES
 - 2.3.1.- Hombro
 - 2.3.2.- Brazo
 - 2.3.3.- Antebrazo
 - 2.3.4.- Mano
 2. 4.- EXTREMIDADES INFERIORES
 - 2.4.1.- Muslo
 - 2.4.2.- Pierna
 - 2.4.3.- Pie

Descripción de todos los huesos del esqueleto desde el punto de vista anatómico, exponiendo aquellas partes que intervienen más directamente en la anatomía aplicada al movimiento.

1.- ESTRUCTURA Y FUNCIONES

1.1.- Estructura del hueso.

El esqueleto del hombre está constituido por la yuxtaposición de piezas rígidas articuladas entre sí, que son los huesos.

En las primeras fases de desarrollo existe tejido cartilaginoso que, progresivamente, durante el crecimiento, se va sustituyendo por tejido óseo, siendo este mucho más resistente; no obstante siempre persiste algo de aquel cartilago en los extremos articulares.

Así pues, los huesos son los elementos pasivos del movimiento, y son piezas rígidas articuladas entre si para constituir palancas; éstas son accionadas por los músculos al contraerse; los músculos se contraen siguiendo las órdenes del sistema nervioso.

El hueso, aunque en menor proporción que otros tejidos, está surcado por vasos sanguíneos, conductos linfáticos y fibras nerviosas.

- Tipos de hueso: según sus dimensiones los huesos pueden dividirse en:

- Largos : el hueso largo presenta las siguientes partes:

Una parte central, cuerpo o diáfisis, que está compuesta por una capa de tejido óseo compacto; esta capa forma las paredes de un conducto central llamado conducto medular y que está ocupado por un tejido denominado médula ósea.

Dos extremidades o epífisis, que están formadas por un tejido esponjoso, es decir, por un conjunto de pequeñas celdillas llenas de médula ósea que se comunican entre si y tienen un aspecto como el de un panal de abejas. Estas celdillas tienen un volumen variable y sus paredes están constituidas por unas laminillas óseas irregulares llamadas trabéculas óseas.

Entre la diáfisis y cada una de las epífisis existe una región llamada metáfisis; a éstas se les denomina también cartilago de conjunción o de crecimiento, ya que es por donde crece el hueso en longitud.

Son huesos largos el fémur, húmero, tibia, etc.,

- Planos : éstos están formados por dos láminas de tejido compacto (llamadas tabla interna y externa), entre las cuales se encuentra una trama esponjosa. A veces, y esto se ve muy bien en el omoplato y en el iliaco, el tejido esponjoso falta en ciertos puntos; en tales lugares los huesos están reducidos a una delgada capa de tejido compacto.

Son huesos planos, los huesos del cráneo, el omoplato, el iliaco, etc.,

- Cortos : los huesos cortos tienen la misma estructura que las epífisis de los largos. Son masas de tejido esponjoso envueltos por una capa muy delgada de sustancia compacta. Las trabéculas del tejido esponjoso de los huesos cortos se disponen en la dirección de las cargas y tracciones que soporta la pieza esquelética.

Son huesos cortos las vértebras, por ejemplo.

Los huesos están recubiertos en su parte externa por una membrana llamada periostio (que es por donde crece el hueso en anchura) y las paredes del conducto medular están tapizadas por otra membrana de características similares al periostio, que recibe el nombre de endostio.

- La sustancia ósea: está formada por dos elementos, uno orgánico y otro mineral. En lo que a su constitución se refiere podría compararse la sustancia ósea a una venda de escayola de las que se utilizan para inmovilizar un hueso fracturado; la sustancia orgánica (proteínas) del hueso equivaldría al cañamazo de la venda y la sustancia mineral (material fosfocálcico) al yeso que impregna la venda.

El hueso es el tejido del organismo menos rico en agua (17 por ciento aproximadamente) y el más rico en sales minerales (65 por ciento del peso total). Las sales minerales aumentan progresivamente desde la infancia a la edad adulta; el agua, sin embargo, disminuye al aumentar la edad, por ello en esta época de la vida el hueso está más predispuesto a las fracturas, ya que la disminución de agua conlleva la pérdida de elasticidad.

- Las células óseas: El tejido óseo, lejos de lo que podría pensarse, no es un tejido inerte, ya que en su interior existe una gran actividad, y además de estar irrigados por vasos sanguíneos que penetran en su interior nutriéndolos, poseen fundamentalmente dos tipos de células los osteoblastos y los osteoclastos que son los responsables de que la sustancia ósea se renueve constantemente.

Podríamos definir a los osteoblastos como células formadoras de hueso y a los osteoclastos como células destructoras del mismo.

En el proceso de formación ósea existen dos mecanismos, uno denominado reabsorción, en el cual los minerales óseos (entre otros el calcio) y matriz proteica pasan a la circulación sanguínea; en este fenómeno intervienen los osteoclastos. En el proceso contrario, llamado aposición, se favorece el depósito de sustancias minerales y orgánicas en el hueso; es aquí cuando intervienen los osteoblastos.

En el adulto hay un equilibrio entre reabsorción y aposición; en edades juveniles existe predominio de la aposición y en la vejez de la reabsorción.

1.2. Funciones del hueso

Resumiremos brevemente las funciones del hueso de la manera siguiente:

- Sostén o armazón del cuerpo: ya que sin estas estructuras rígidas nos desmoronaríamos.
- Protección de órganos vitales: tales como el cerebro, corazón y pulmón, etc.
- Formación de células sanguíneas: la médula ósea es formadora de glóbulos blancos, rojos y plaquetas.
- Almacén de minerales: Fósforo, magnesio, sodio y, sobre todo, calcio.
- Inserción de músculos: el esqueleto ofrece a los músculos las palancas destinadas a transmitir a lo lejos el efecto de las contracciones musculares.

2.- DISTRIBUCIÓN

Los huesos se distribuyen de la siguiente forma: CABEZA, TRONCO Y EXTREMIDADES, SUPERIOR E INFERIOR.

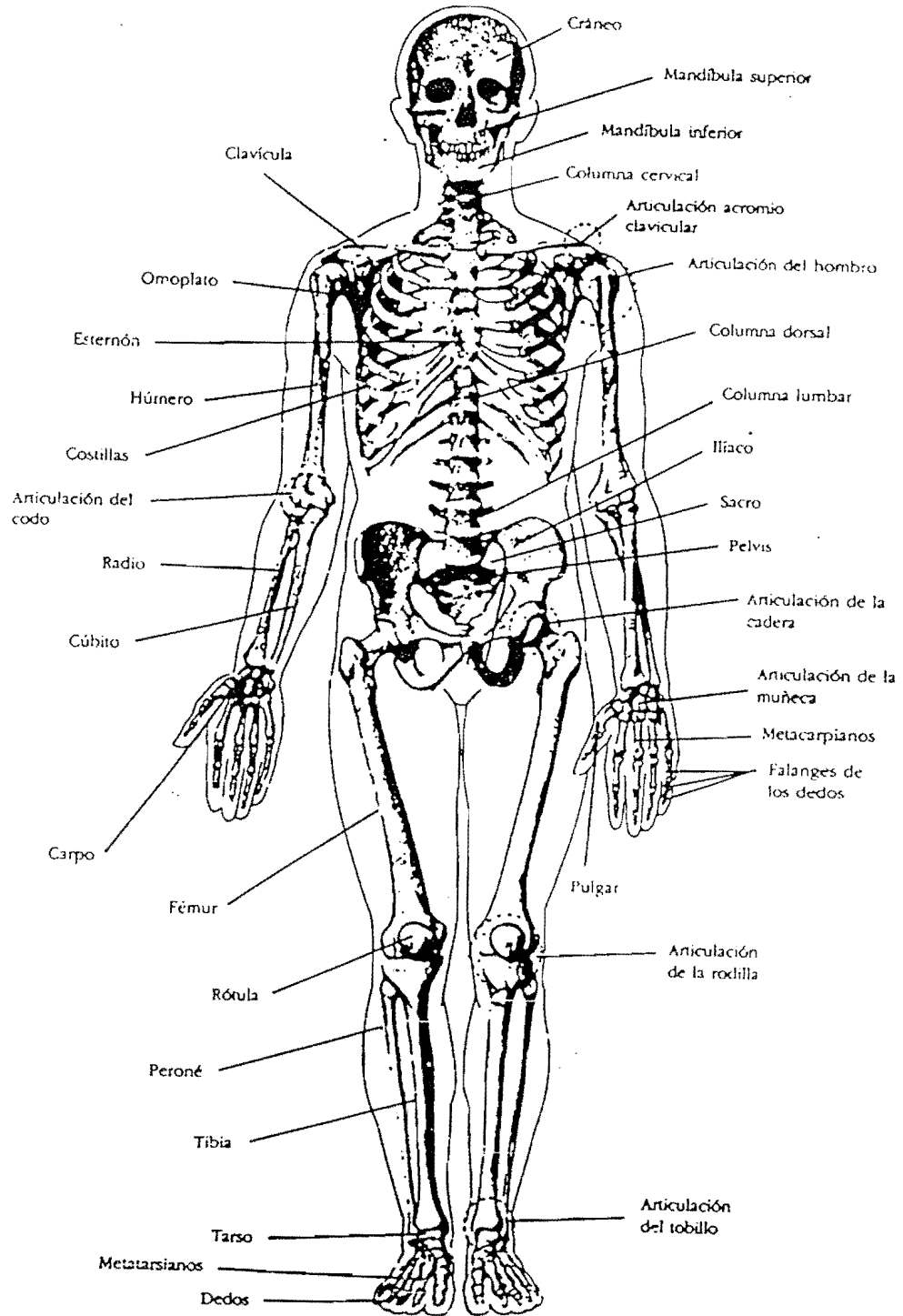
2.1.- Cabeza

Tiene un total de 29 huesos; se distribuyen entre el cráneo, la cara y el oído.

2.1.1.- Cráneo

Consta de:

- Dos huesos parietales.



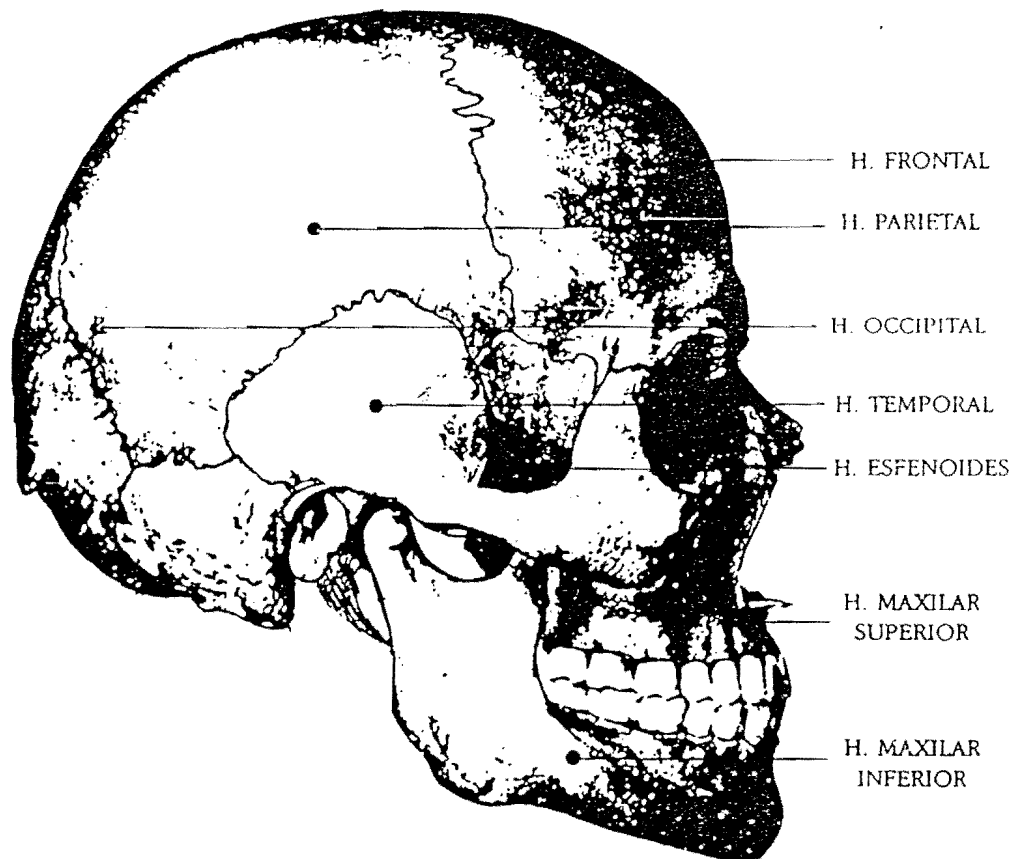
* MTD

FIGURA 1. El esqueleto humano

- Dos temporales. Alojan en su interior a los órganos de la audición (oído medio y oído interno).
- Un frontal.
- Un occipital. Este hueso es atravesado por el agujero occipital, por el que se introduce la médula hacia el encéfalo.
- Un esfenoides. En cuya cara superior hay una excavación con forma de silla de montar que se llama Silla Turca y donde se aloja la glándula hipófisis.
- Un etmoides. Este hueso se comunica con las fosas nasales y los senos maxilares.

En conjunto el cráneo puede dividirse en:

- BASE DEL CRÁNEO: sobre ella descansa el encéfalo y además es atravesado por vasos, nervios, etc..., así como por el agujero occipital antes comentado.
- BÓVEDA DEL CRÁNEO: parte superior que a modo de cúpula cubre la masa encefálica.



• MTD

FIGURA 2. Esqueleto de la Cabeza (*cranium*)
visto por el lado derecho
SPALTEHOLZ (1974)

2.1.2.- *Cara*

Con un total de 14 huesos, 13 de ellos forman la mandíbula superior y de ella los huesos más importantes son los MAXILARES SUPERIORES que forman parte de la nariz, las cavidades donde se alojan las piezas dentarias superiores, porción anterior del paladar duro, y contribuyen a la configuración de las órbitas oculares.

En su interior, cada uno de los maxilares superiores presentan una cavidad o SENO MAXILAR que comunica con las fosas nasales.

La mandíbula inferior está formada por el hueso MAXILAR INFERIOR, que se articula con los huesos temporales del cráneo, forma el mentón o barbilla, y presenta los orificios de anclaje de las piezas dentarias inferiores.

2.1.3.- *Oído*

En él se encuentran 3 huesos pequeños: el MARTILLO, el YUNQUE y el ESTRIBO, que están articulados entre sí y tienen como misión trasladar al líquido del laberinto del oído, las vibraciones que las ondas sonoras producen sobre la membrana del tímpano.

2.2. *Tronco*

Vamos a diferenciarlos en huesos de la columna vertebral, del tórax y de la pelvis.

2.2.1. *Columna vertebral o raquis*

Con un total de 26 huesos:

- 24 VÉRTEBRAS que son huesos individualizados.
- 1 SACRO.
- 1 COCCIS.

La columna vertebral tiene una doble función: por un lado, mantener el peso del cuerpo y permitir los movimientos propios al cráneo y tronco, y por otro, servir de funda protectora a la médula espinal.

Todos estos huesos se distribuyen en 4 zonas que son de arriba hacia abajo: zona cervical, dorsal, lumbar y pélvica.

La columna vertebral vista de detrás hacia delante (plano postero-anterior) adopta una disposición vertical; hablamos de escoliosis cuando hay una desviación lateral de la columna en este plano, existiendo siempre desde una rotación vertebral.

Sin embargo, en condiciones normales y en el plano lateral (visto de perfil) encontramos 3 desviaciones o curvas fisiológicas:

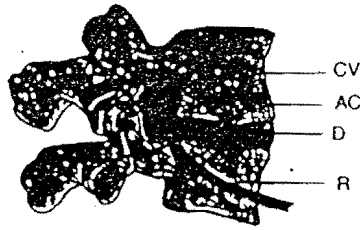
- Una superior o CERVICAL: es cóncava hacia atrás y se llama LORDOSIS cervical.
- Una media o DORSAL: convexa hacia atrás y llamada CIFOSIS dorsal.
- Una inferior o LUMBAR: cóncava hacia atrás y llamada LORDOSIS lumbar.

LAS VÉRTEBRAS son un total de 24 huesos independientes distribuidos de la siguiente forma:

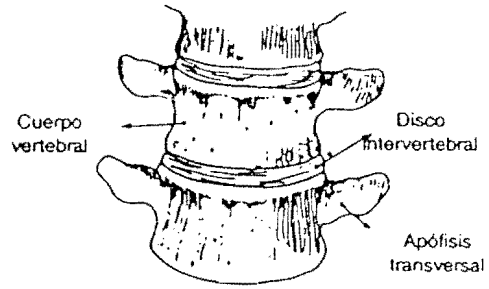
- 7 cervicales; ocupan la región del cuello y son las más pequeñas de tamaño.
- 12 dorsales o torácicas, de tamaño mediano.
- 5 lumbares, con un cuerpo voluminoso.

Independientemente de la zona que ocupan, las vértebras se distinguen del resto de los huesos del esqueleto por:

- Una PARTE ANTERIOR O CUERPO VERTEBRAL de forma más o menos cilíndrica, con una cara superior y otra inferior que les sirven para articularse con las vértebras vecinas a través del disco intervertebral.



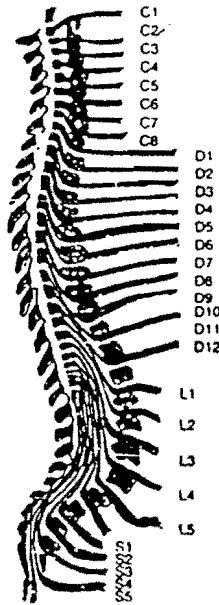
Conjunto de dos vértebras, vistas lateralmente: CV: cuerpo vertebral. AC: agujero de conjunción. D: disco. R: raíz (la raíz está simplificada, viéndose sólo el tronco anterior o principal).



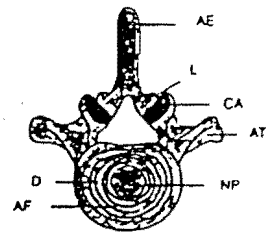
* MTD

FIGURA 3. Giménez, E. (1985)

- UNA PARTE POSTERIOR, formada por LA APÓFISIS ESPINOSA, que se puede palpar recorriendo con el dedo el dorso del cuerpo. AGUJERO O CONDUCTO MEDULAR, por donde pasa la médula espinal. Las paredes de este conducto están formadas por un pedículo a cada lado y una lámina ósea. De las láminas hacia atrás se emite una prolongación que es la apófisis espinosa comentada anteriormente, y de la unión entre el pedículo y la lámina de cada lado sale otra prolongación llamada APÓFISIS TRANSVERSA. A ambos lados de cada vértebra están las carillas articulares que unen unas vértebras a otras en su parte posterior. Entre vértebra y vértebra existen los AGUJEROS DE CONJUNCIÓN por donde salen las raíces nerviosas que parten de la médula espinal.



Columna completa vista lateralmente, en la que se observan los cuerpos vertebrales, la médula y la salida de las raíces por sus correspondientes niveles.



Vértebra completa, vista desde arriba. AE: apófisis espinosa. L: lámina. CA: carilla articular superior. AT: apófisis transversa. D: disco. AF: anillo fibroso. NP: núcleo pulposo.

* MTD

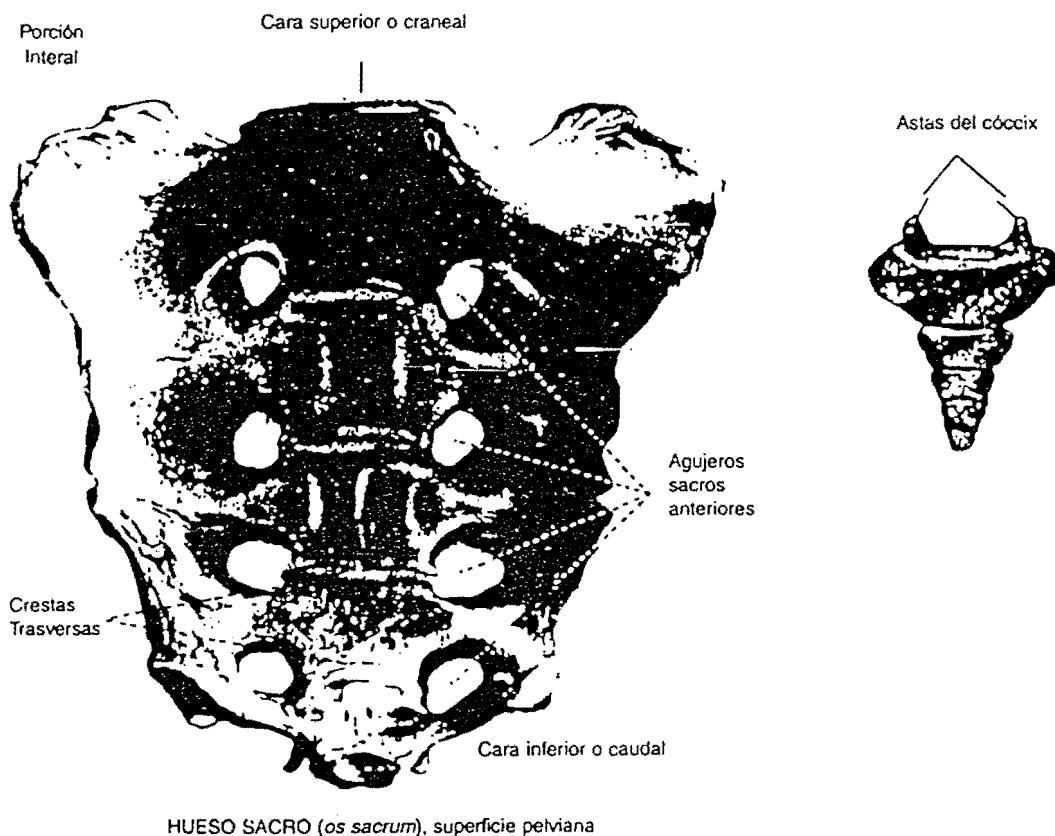
FIGURA 4. Giménez, E. (1985)

- EL SACRO: está formado por la soldadura de 5 vértebras; a cada lado del sacro hay cuatro AGUJEROS anteriores y 4 posteriores por donde salen los nervios sacros.

En la parte inferior hay un hueco donde se aloja la parte final de la médula y los nervios que componen la cola de caballo.

El sacro se articula por debajo con el cóccix y por los lados con la pelvis (articulación sacroilíaca).

- EL COCCIS. Es el rudimento en el hombre de la cola en los mamíferos, formando por 4 ó 5 vértebras atrofiadas que están unidas entre sí y constituyen la parte final de la columna vertebral.



• MTD

FIGURA 5. Spalteholz (1974)

2.2.2.- Tórax

El tórax es un armazón óseo-cartilaginoso; está separado del abdomen por el músculo diafragma.

En la cavidad torácica se encuentran órganos tan importantes como el corazón, los pulmones, el esófago, la tráquea, etc... El tórax está formado por:

- 12 VÉRTEBRAS DORSALES, ya comentadas.
- 24 COSTILLAS con sus cartílagos.
- EL ESTERNÓN.

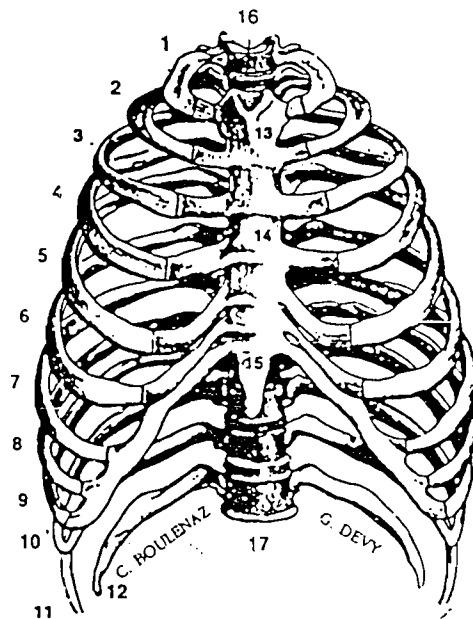
LAS COSTILLAS: Se dirigen formando arcos, desde las vértebras dorsales por detrás, al esternón por delante.

Las 7 primeras costillas se denominan VERDADERAS, ya que se articulan con las vértebras y el esternón, no así las 5 restantes que si llegan al esternón por medio del cartilago se llaman FALSAS y, si no se articulan por delante, FLOTANTES. Las costillas undécima y duodécima son flotantes.

EL ESTERNÓN: Es un hueso impar situado en el centro del tórax por delante; tiene 3 partes:

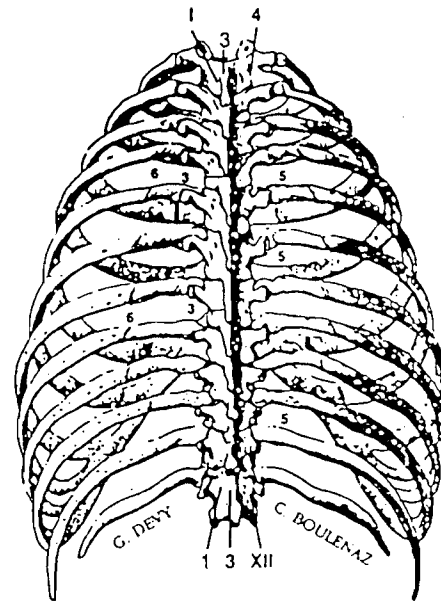
- SUPERIOR, MANGO O MANUBRIO DEL ESTERNÓN, cuya parte superior es cóncava hacia arriba y se llama horquilla; el mango se articula a ambos lados con la clavícula.
- MEDIA o CUERPO. En él se articulan las costillas verdaderas.
- INFERIOR o APÉNDICE XIFOIDES.

• MTD



Tórax visto por su cara anterior

1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, primera, segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta y séptima costillas (costillas esternas), con sus cartílagos costales. 8, 9, 10, 11 y 12, octava, novena, décima, undécima y duodécima costillas (costillas asternas), las dos últimas, 11 y 12 (costillas flotantes), con sus cartílagos costales. 13, mango del esternón; 14, cuerpo de este hueso; 15, apéndice xifoideo; 16, primera vértebra dorsal, articulada con la primera costilla; 17, duodécima vértebra dorsal, articulada con la duodécima costilla.



Tórax visto por su cara posterior

1 primera vértebra dorsal, XII, duodécima vértebra dorsal; 3, 3, apófisis de las vértebras dorsales; 4, 4, canales vertebrales; 5, 5, apófisis transversas, articulándose por su vértice con la extremidad posterior de las costillas; 6, 6, ángulos posteriores de las costillas, alejándose tanto más de la columna vertebral cuanto más inferiores es la costilla.

FIGURA 6

2.2.3.- Pelvis

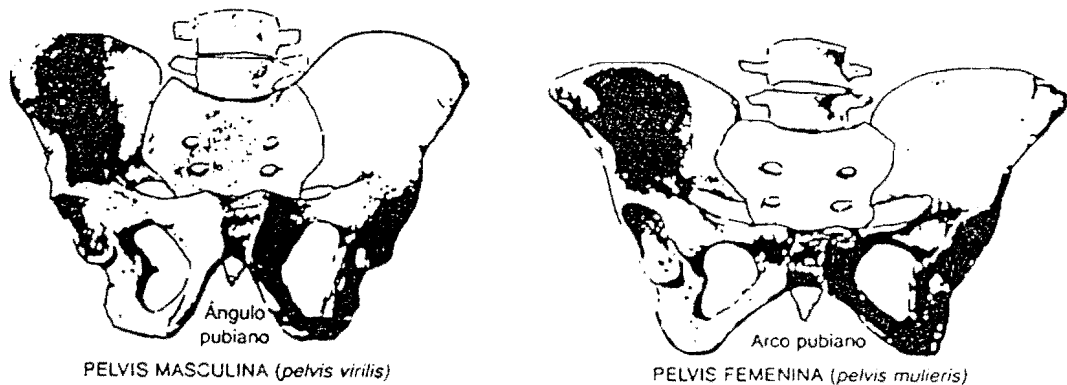
Es la parte más baja del tronco y por sus lados entra a formar parte de las extremidades inferiores al articularse con los fémures.

Existen diferencias entre la pelvis masculina y la femenina. La masculina es más gruesa, más larga en sentido longitudinal y menos ancha. También tiene una inclinación menor.

La pelvis está constituida por:

- EL SACRO Y EL COCCIS (ya comentados).
- 2 HUESOS COXALES o ILÍACOS, que a su vez son el resultado de la fusión de tres huesos: el íleon, el isquion y el pubis. El punto de unión de los tres forma una cavidad llamada COTILOIDEA, COTILO o ACETÁBULO, que tiene forma de

semiesfera hueca y es donde se articulan a cada lado la cabeza de los fémures de las extremidades inferiores.



• MTD

FIGURA 7. Spalteholz (1974)

2.3.- *Extremidades superiores*

Tienen un total de 64 huesos, distribuidos entre los huesos del hombro, del brazo, del antebrazo y de la mano.

2.3.1.- *Huesos del hombro*

Con dos huesos la clavícula y el omoplato.

CLAVÍCULA: situada entre el esternón y el omoplato, con los que se articula.

Tiene forma de S tumbada y está más desarrollada en el hombre que en la mujer. A través de la clavícula es posible la libertad de movimientos de la extremidad superior.

OMOPLATO o **ESCÁPULA:** tiene forma triangular, está situado en la parte postero-superior externa del tórax, cubriendo parte de las costillas comprendidas entre la segunda y la séptima. Se articula con la clavícula y con la cabeza del húmero, con este último lo hace a través de una cavidad articular o **GLENOIDEA** formando así la articulación del hombro.

2.3.2.- *Huesos del brazo*

Tiene un solo hueso, el húmero.

HÚMERO: Es un hueso largo formado por un extremo superior o **CABEZA** que se articula con la escápula; una parte media o **CUERPO** del húmero que es alargado, siendo casi cilíndrico por arriba y adoptando una forma de prisma triangular de la mitad hacia abajo. El **EXTREMO INFERIOR** se articula con los dos huesos del antebrazo, haciéndolo mediante la **EPITROClea** con el cúbito y por medio del **EPICONDILo** con el radio.

2.3.3.- *Huesos del antebrazo*

Formado por dos huesos, el cúbito y el radio.

CÚBITO: Es un hueso largo más grueso por arriba que por abajo, con forma de prisma triangular y situado en el borde interno del antebrazo, es decir, el correspondiente al dedo meñique.

Se articula en su extremo superior con el húmero por medio de la CAVIDAD SIGNOIDEA MAYOR y con el radio a través de la CAVIDAD SIGNOIDEA MENOR.

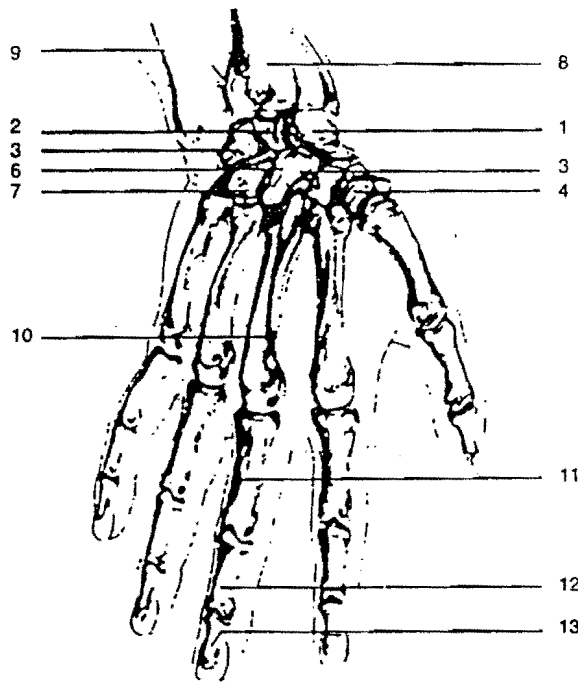
Su extremo inferior se engrosa y forma la CABEZA del cúbito que se articula con el extremo inferior del radio, y sólo de una forma indirecta con la muñeca, a través de una prolongación posterior llamada APÓFISIS ESTILOIDES.

RADIO: Es un hueso largo más grueso por abajo que en su extremo superior y está situado en la parte externa o pulgar del antebrazo.

Por su extremo superior se articula con el cóndilo del húmero y con el cúbito, a través de la CAVIDAD GLENOIDEA DEL RADIO. El extremo inferior del radio es el más voluminoso y se articula con los huesos de la muñeca (esfenoides y semilunar). También tiene una prolongación externa denominada APÓFISIS ESTILOIDES DEL RADIO.

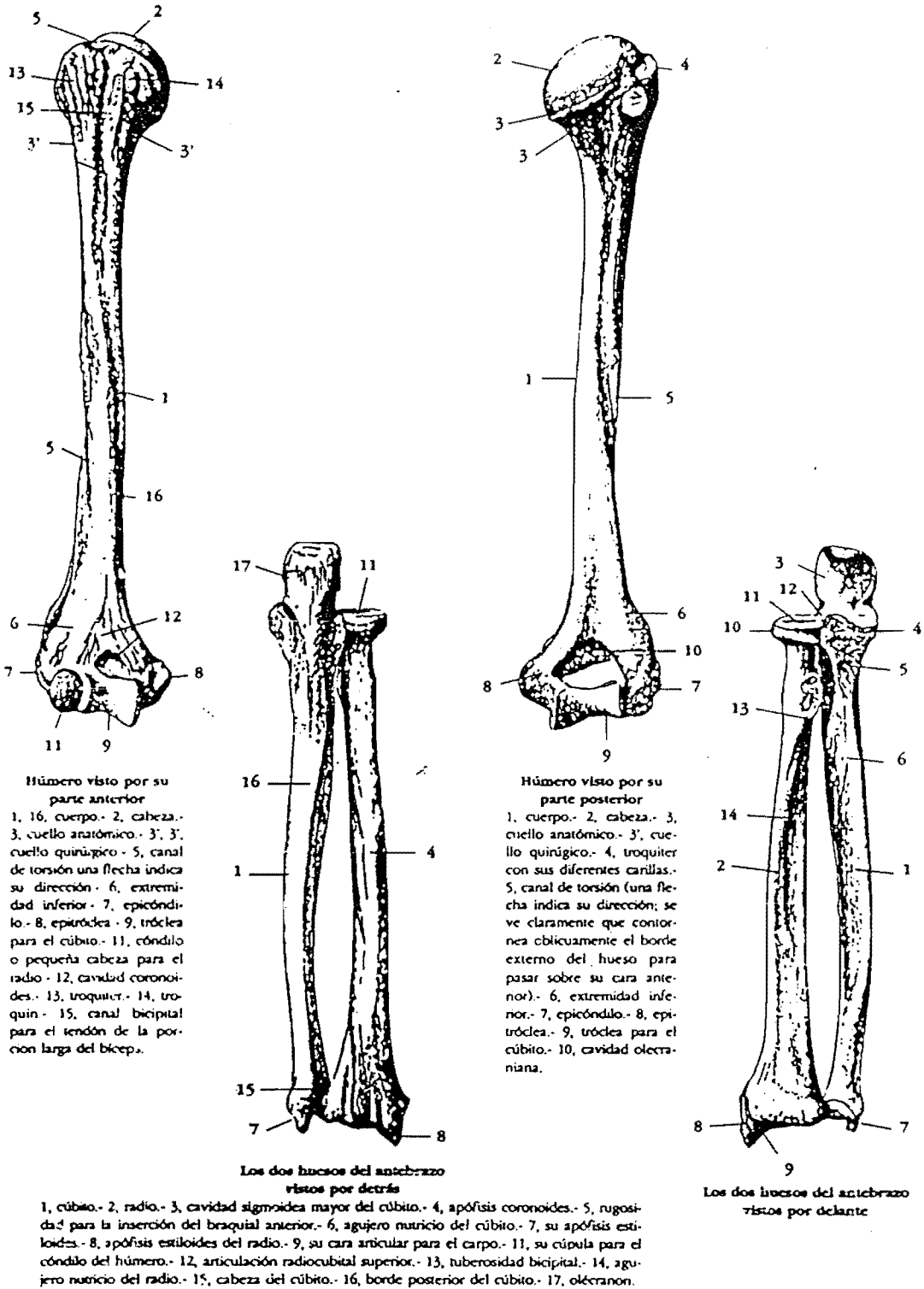
2.3.4.- Huesos de la mano

Está constituida por 27 huesos, agrupados en tres zonas: CARPO, METACARPO y DEDOS.



• MTD

FIGURA 8. Palacios, M. (1978)



* MTD

FIGURA 9. Testut, L. (1971)

633

29

CARPO: Es la continuación, hacia abajo, de los huesos del antebrazo, formado por 7 huesos pequeños dispuestos en dos hileras. Estos huesos se articulan entre sí y los de la hilera inferior lo hacen con el metacarpo.

Estos huesecillos son: Escafoides, semilunar, piramidal, trapecio, trapecoide, hueso grande y ganchoso.

Se llama muñeca al conjunto de estos huesecillos y sus articulaciones.

METACARPO: Lo forman 5 huesos o METACARPIANOS. Parten de la segunda hilera del carpo comentado anteriormente; son huesos alargados que conforman la PALMA DE LA MANO, dirigiéndose hacia los dedos con los que se articulan a través de las falanges de éstos.

LOS DEDOS: Cada dedo está constituido por 3 huesos llamados FALANGES (PROXIMAL, es la más próxima al metacarpo, MEDIA y DISTAL). El dedo pulgar sólo tiene dos falanges. Cada mano tiene 14 falanges.

Los 5 dedos de cada mano constituyen los órganos de la presión y la sensación táctil. Son muy móviles, sobre todo en la flexo-extensión, y, además, el pulgar tiene movimientos muy importantes como oposición, separación y aproximación.

2.4.- Extremidades inferiores

Las forman un total de sesenta huesos distribuidos en tres zonas: muslo, pierna y pie.

Los huesos iliacos también entran a formar parte de las extremidades inferiores, si bien ya han quedado descritos en el tronco.

2.4.1.- Huesos del muslo

Tiene un solo hueso llamado fémur, siendo éste el hueso más largo y más fuerte del esqueleto.

FÉMUR: Está formado por un extremo superior o CABEZA que es casi redonda y conforma la articulación de la cadera. La parte media o CUERPO tiene forma triangular continuándose hacia abajo con un gran ensanchamiento o EXTREMO INFERIOR. Este extremo inferior se articula con los huesos de la rodilla mediante dos cóndilos, uno externo y otro interno, en la parte anterior presenta un hueso llamado SUPRATROCLEAR que se articula con la rótula.

La RÓTULA está situada en la parte anterior de la rodilla, es un hueso plano; tiene forma de triángulo curvilíneo con base superior.

La parte superior, como hemos dicho, se articula por detrás con el fémur, y la parte más baja o inferior no tiene articulación.

2.4.2.- Huesos de la pierna

Tiene 2 huesos, la tibia y el peroné.

TIBIA: Es el hueso más fuerte y voluminoso de los dos huesos de la pierna y está situado en la parte anterior de la misma.

En su extremo superior se articula con el fémur mediante 2 CAVIDADES GLENOIDES y con el peroné por el CÓNDILO EXTERNO a través de una superficie lisa.

La tibia tiene dos cóndilos, uno externo y otro interno. El CUERPO de la tibia es también triangular y se continúa hacia abajo con el EXTREMO INFERIOR que se articula con el primer hueso del pie o ASTRÁGALO mediante una superficie lisa y una APÓFISIS en su parte interna. Esta apófisis forma el MALEOLO INTERNO del tobillo.

PERONÉ: Hueso largo y delgado del cuerpo poco resistente, se sitúa en la parte externa de la pierna.

En su EXTREMO SUPERIOR se articula con la tibia mediante la CABEZA del peroné. Su EXTREMO INFERIOR constituye el MALEOLO EXTERNO del tobillo, que se articula con

el hueso astrágalo y la tibia. Los 3 huesos forman la garganta del pie o MORTAJA TIBIO-PERONEO-ASTRAGALINA.

2.4.3.- Huesos del pie

En el pie se distinguen 3 regiones anatómicas: TARSO, METATARSO y DEDOS que vienen a ser los equivalentes a las regiones de la mano.

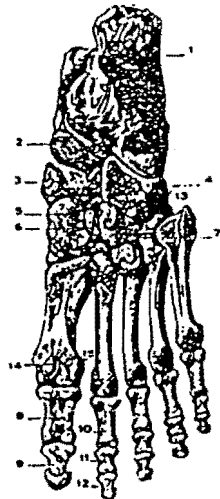
Se denomina tarso a los siete huesecillos que forman el empeine del pie. En el se distingue una hilera proximal constituida por los huesos astrágalo, calcáneo y escafoides; y una hilera distal formada por el cuboides y los huesos cuneiformes interno, medio y externo. El astrágalo se articula con la tibia y el peroné y los cuatro huesos distales con los metatarsianos.

El metatarso es la porción del pie comprendida entre el tarso y los dedos; está constituido por cinco huesos largos que van desde el tarso hasta las falanges.

Los dedos, al igual que en la mano, están constituidos por huesecillos pequeños articulados entre si llamados falanges; todos los dedos tienen tres falanges a excepción del primero que tiene dos.

El tarso y el metatarso configuran a modo de un arco de concavidad inferior y llamado BÓVEDA DEL PIE; el acentuamiento de esta bóveda origina el pie CAVO y su aplanamiento el pie PLANO.

El pie visto por su cara superior o dorsal
 1, calcáneo; 2, astrágalo; 3, escafoides; 4, cuboides; 5, primera cuña. 6, 7, segunda y tercera cuñas. I, II, III, IV, V, los cinco metatarsianos. 8, primera falange, y 9, segunda falange del dedo gordo. 10, primera falange, 11, segunda falange, y 12, tercera falange de los dedos del pie.

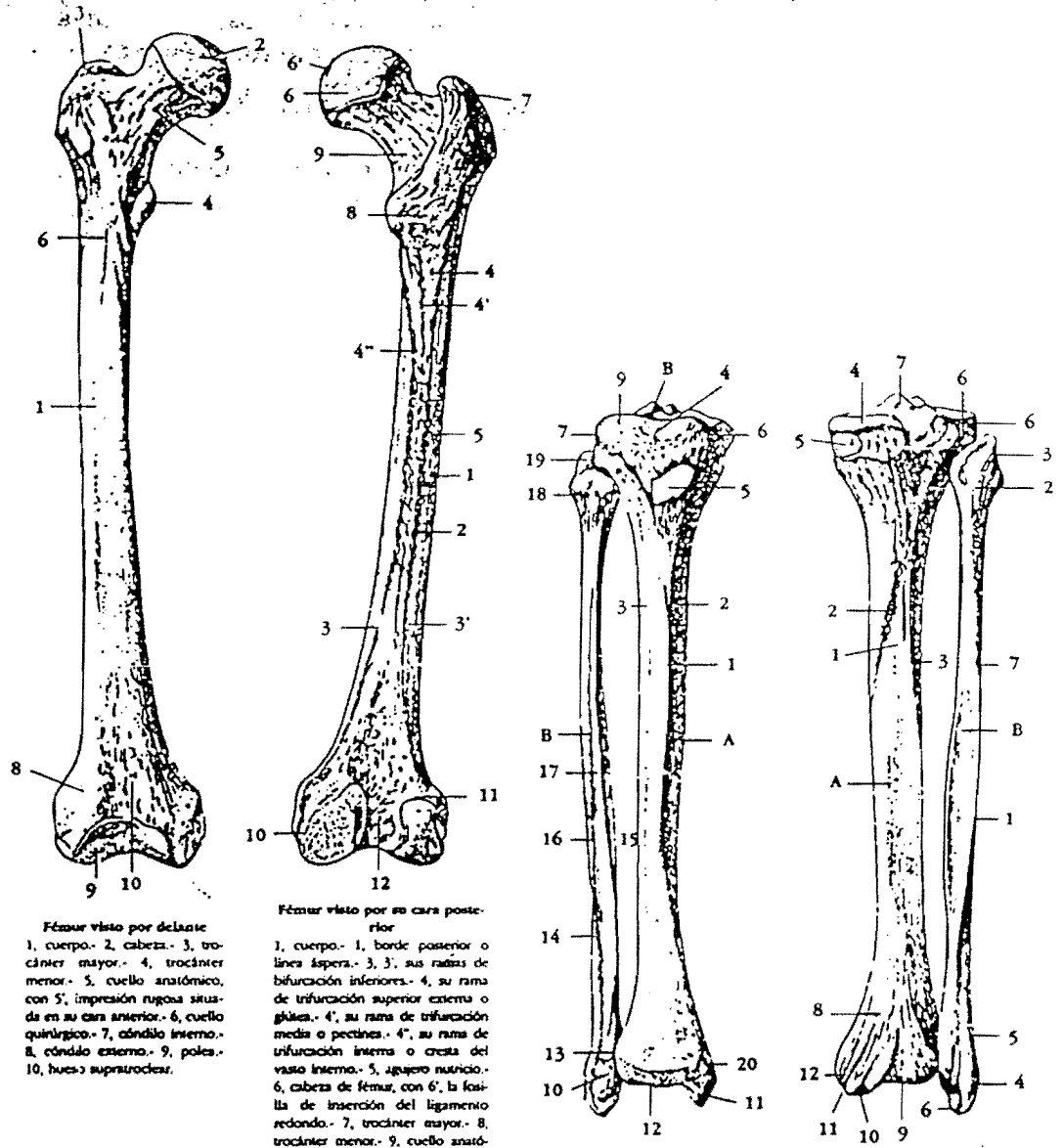


El pie visto por su cara inferior o plantar

* MTD

FIGURA 10. "Huesos del pie". Testut, L. (1971)

HUESOS DE LA EXTREMIDAD INFERIOR



Fémur visto por delante
 1, cuerpo.- 2, cabeza.- 3, trocánter mayor.- 4, trocánter menor.- 5, cuello anatómico, con 5', impresión rugosa situada en su cara anterior.- 6, cuello quirúrgico.- 7, cóndilo interno.- 8, cóndilo externo.- 9, polea.- 10, hueso supracondíleo.

Fémur visto por su cara posterior
 1, cuerpo.- 1, borde posterior o línea áspera.- 3, 3', sus ramas de bifurcación inferiores.- 4, su rama de trifurcación superior externa o glútea.- 4', su rama de trifurcación media o pectínea.- 4'', su rama de trifurcación interna o cresta del vasto interno.- 5, agujero nutricio.- 6, cabeza de fémur, con 6', la fosa de inserción del ligamento redondo.- 7, trocánter mayor.- 8, trocánter menor.- 9, cuello anatómico.- 10, cóndilo interno.- 11, cóndilo externo.- 12, escotadura intercondílea.- 13, espacio poplíteo

Los dos huesos de la pierna vistos por delante
 A. TIBIA.- 1, borde anterior o cresta de la tibia.- 2, borde interno.- 3, borde externo.- 4, extremidad superior, con 5, tuberosidad anterior.- 6, tuberosidad interna.- 7, tuberosidad externa.- 8, espina de la tibia.- 9, tubérculo del tibial anterior.- 11, maléolo interno.- 12, canilla articular para el astrágalo.- 13, canilla articular peronea inferior.- 19, canilla articular peronea superior.- 20, extremidad inferior.
 B. PERONE.- 10, extremidad inferior o maléolo externo.- 14, cara externa.- 15, borde interno.- 16, borde externo.- 17, cresta para el ligamento interóseo.- 18, extremidad superior

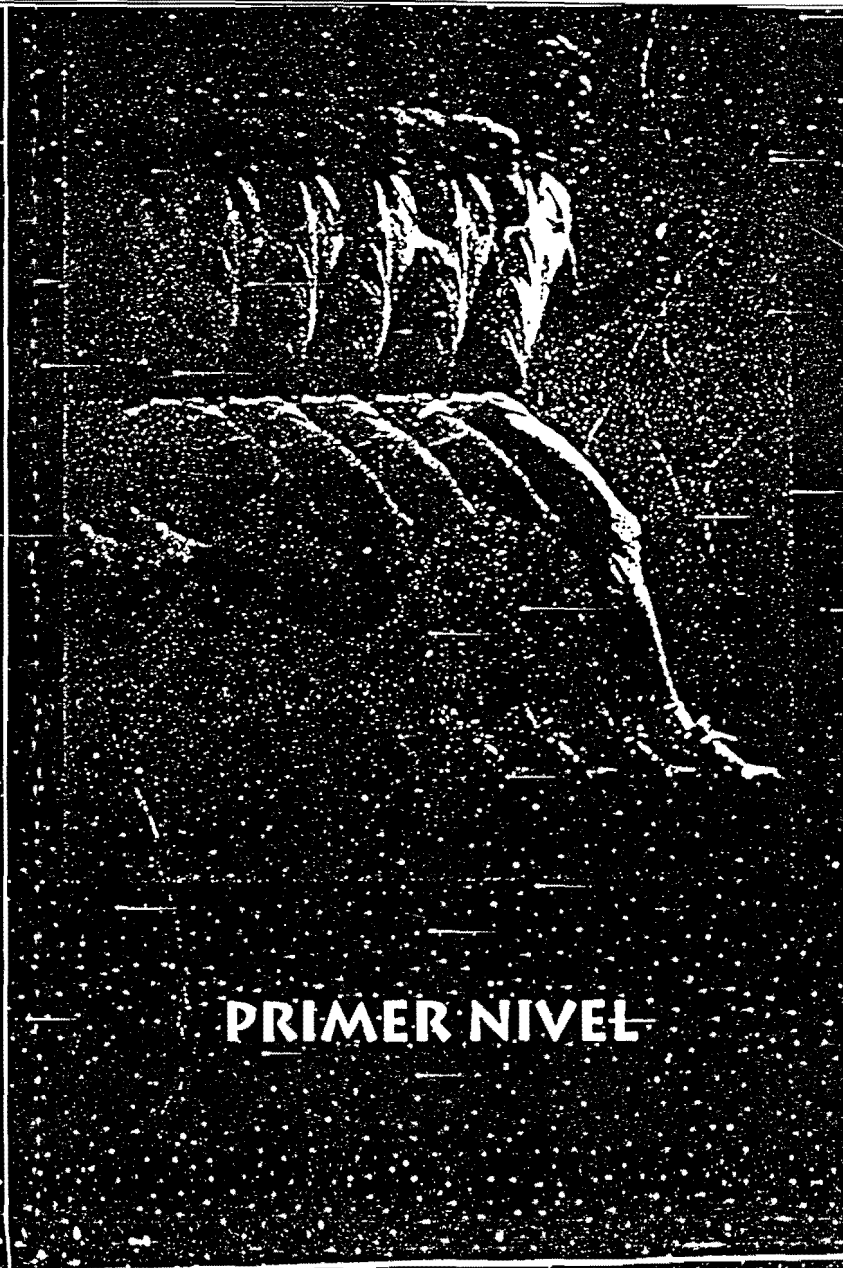
Los dos huesos de la pierna vistos por detrás
 A. TIBIA.- 1, agujero nutricio.- 2, línea oblicua.- 3, cresta vertical para la inserción del tibial posterior y del flexor común de los dedos.- 4, extremidad superior.- 5, tuberosidad interna.- 6, tuberosidad externa.- 6', canilla peronea superior.- 7, espina.- 8, extremidad inferior, con 9, canal para el flexor propio del dedo gordo.- 10, canal para el flexor común.- 11, canal para el tibial posterior.- 12, maléolo interno.
 B. PERONE.- 1, borde externo.- 2, extremidad superior, con 3, su apófisis estiloides.- 4, maléolo, con 5, canal para los peroneos laterales.- 6, fosa de inserción para los ligamentos laterales externos de la garganta del pie.- 7, agujero nutricio.

* MTD

FIGURA 11

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel *et al.* (1997), "Articulaciones", en *Manual del técnico deportivo. Primer nivel*, España, Mira, pp. 35-47.



537

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

PRIMER NIVEL

Isabel Pascual Brumós
Alfredo Boné Pueyo
Julia Quilez
J. M. Cucullo López
Alfredo Boné Pueyo
Fernando Gimeno Marco
J. A. Valet Felices
José Luis Pueyo Bardavio
Julio Latorre Peña
Sánchez Bañuelos
Mikel Chivite Izco
Rafael Gericó Lizalde
Alfonso Muniesa Ferrero
Pedro Pablo Fernández Ruiz
Manuel Bueno
M.º Jesús García Ceballos
Carlos Muniesa Ferrero
Fernando París Roche

MIRA EDITORES

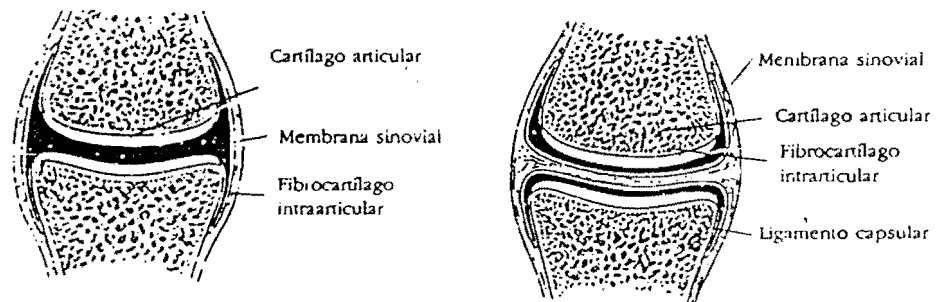
638

- 1.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ARTICULACIONES.
- 2.- ESTRUCTURA DE LAS DIARTROSIS.
- 3.- LOCALIZACIÓN.
 - 3.1.- HOMBRO. ARTICULACIÓN ESCÁPULO-HUMERAL.
 - 3.2.- ARTICULACIÓN DEL CODO.
 - 3.3.- ARTICULACIÓN DE LA CADERA.
 - 3.4.- ARTICULACIÓN DE LA RODILLA.
 - 3.5. ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA.
 - 3.6.- ARTICULACIÓN DEL TOBILLO.
 - 3.7. COLUMNA VERTEBRAL.

En este tema se pretende hacer una exposición anatómica de las articulaciones y sus diferentes tipos; también se analizan desde el punto de vista funcional aquellas que tienen mayor trascendencia para la práctica deportiva.

Pretende además iniciar al lector hacia una mejor y posterior comprensión de los movimientos articulares.

- Marginales, rodetes o periarticulares. Tienen la finalidad de aumentar la superficie de recepción del cuerpo articular cóncavo, en los casos en que el cuerpo articular convexo no quede alojado en el interior (tal y como lo exige la articulación para que ésta sea estable). Son ejemplos de rodetes articulares las articulaciones coxofemoral y escapulohumeral.
 - Intraarticulares o meniscos. Los meniscos se sitúan entre las superficies articulares y así favorecen la adaptación en aquellas articulaciones en que la armonía o congruencia articular no existe.
Desde el punto de vista de la forma, los meniscos pueden ser discos bicóncavos (por ejemplo los meniscos de la articulación temporo-maxilar) o semilunares (articulación de la rodilla). Los meniscos sufren grandes desplazamientos durante los movimientos articulares.
- Medios de unión de las superficies articulares. Los cuerpos o superficies articulares se encuentran en mutuo contacto gracias a los siguientes factores: manguito cápsulo-ligamentoso y las acciones tónica y contráctil de los músculos que rodean la articulación.
- El aparato cápsulo-ligamentoso. Está integrado por la cápsula articular y por ciertos engrosamientos de ésta que denominamos ligamentos.
- La cápsula articular o ligamento capsular : es un manguito fibroso que se inserta por sus extremos en el contorno de las superficies articulares, a una distancia variable de los revestimientos cartilagosos de éstas. El manguito es laxo y flojo, tanto más cuanto mayor es la movilidad de la articulación. El grosor del manguito es variable, existiendo a veces zonas débiles denominadas evaginaciones. El ligamento o manguito tiene dos partes: una interna o membrana sinovial cuya misión es la de segregar líquido sinovial o sinovia (que lubricará entre otras cosas, la articulación) , y otra externa y fibrosa que va engrosándose dando lugar a los ligamentos intrínsecos, que son ligamentos de refuerzo. Los ligamentos extrínsecos también refuerzan y estabilizan las articulaciones, pero su origen no está en el engrosamiento de la cápsula externa. Son ejemplos el ligamento redondo de la cadera y los cruzados de la rodilla.
- Acciones tónica y contráctil de los músculos periarticulares: En algunas articulaciones, los tendones de los músculos periarticulares se adhieren intimamente al plano capsular, ayudando al mantenimiento del contacto de las superficies articulares . Por tal razón estos músculos han sido calificados, desde el punto de vista funcional, de verdaderos ligamentos activos de las articulaciones, ya que cruzan la articulación y constituyen un potente elemento de unión.



• MTD

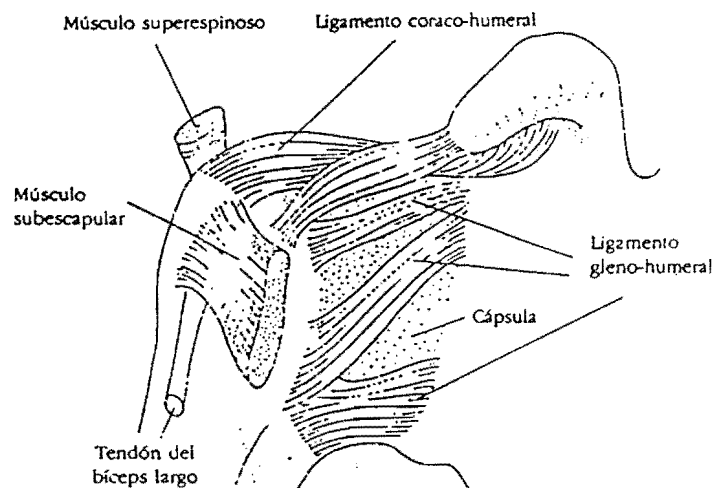
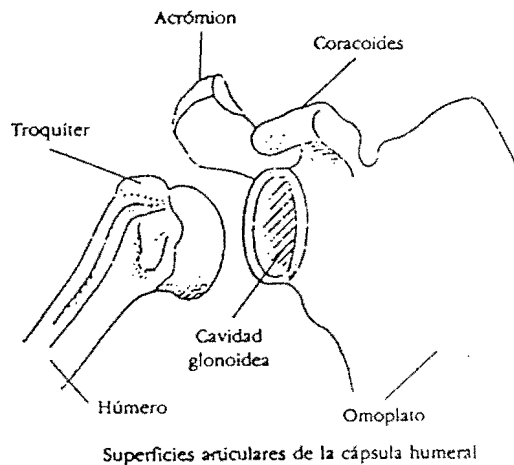
FIGURA 11. Articulaciones diarthrodiales típicas, con y sin fibrocartilago intraarticular. (Anatomía de Gray)

3.- LOCALIZACIÓN

En la práctica deportiva y desde el punto de vista anatómico-funcional, nos interesa fundamentalmente el estudio de las siguientes articulaciones: hombro, codo, cadera, rodilla, tobillo, muñeca y columna vertebral.

3.1.- Hombro. Articulación escápulo-humeral.

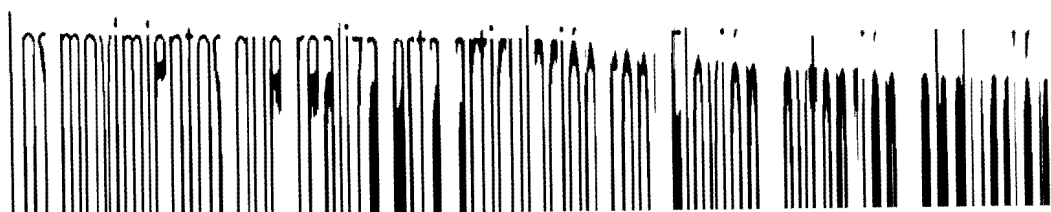
Está constituida por la cabeza del húmero y la cavidad glenoidea del omoplato. Esta articulación se completa con los rodetes cartilagosos (fibrocartilagos) que aumentan la superficie articular. Rodeando estas estructuras está la cápsula que se refuerza con los ligamentos CORACO-HUMERAL Y GLENO-HUMERAL.



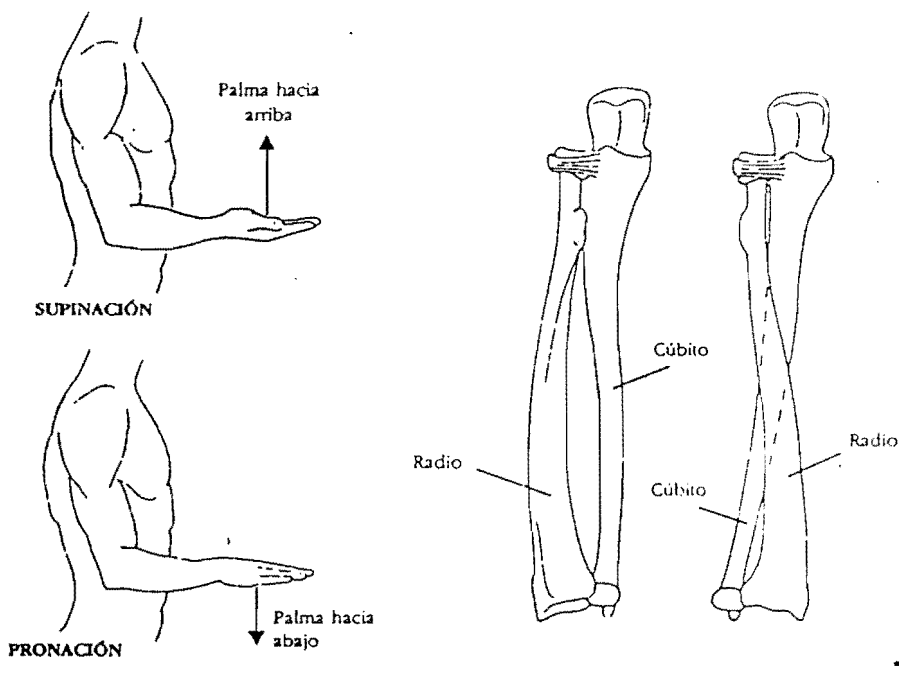
* MTD

Articulación escápulo-humeral, cara anterior

FIGURAS 12 Y 13



- La articulación del codo posee los siguientes movimientos:
- FLEXIÓN-EXTENSIÓN: que necesita la puesta en juego de las articulaciones húmero-cubital y húmero-radial.
 - PRONACIÓN-SUPINACIÓN: es el conjunto de movimientos de rotación del antebrazo alrededor de su eje longitudinal; para ello participan las articulaciones radio-cubitales superior e inferior.



• MTD

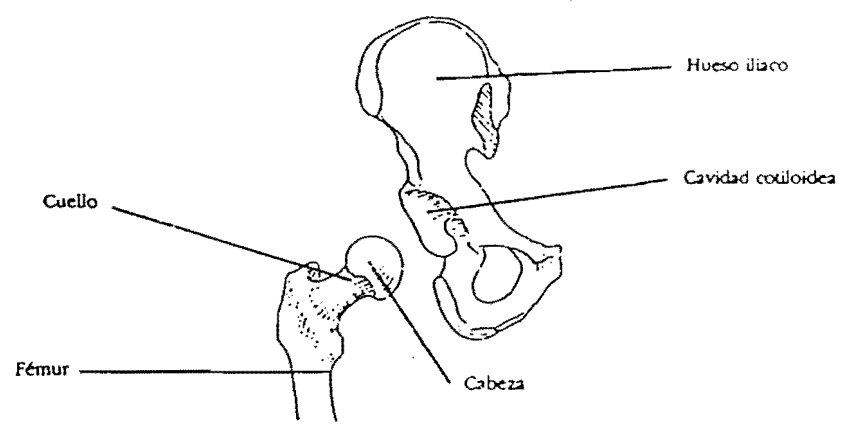
FIGURA 16. THILL (1985)

3.3.- Articulación de la cadera

Es la articulación que une el miembro inferior al tronco. Tiene la función de orientar la extremidad inferior en todas las direcciones.

Los movimientos de la cadera se realizan por una sola articulación, la coxo-femoral, entre el fémur y el hueso ilíaco.

Es una articulación muy estable. Sus superficies articulares están constituidas por la cavidad cotiloidea del hueso ilíaco y la cabeza del fémur.

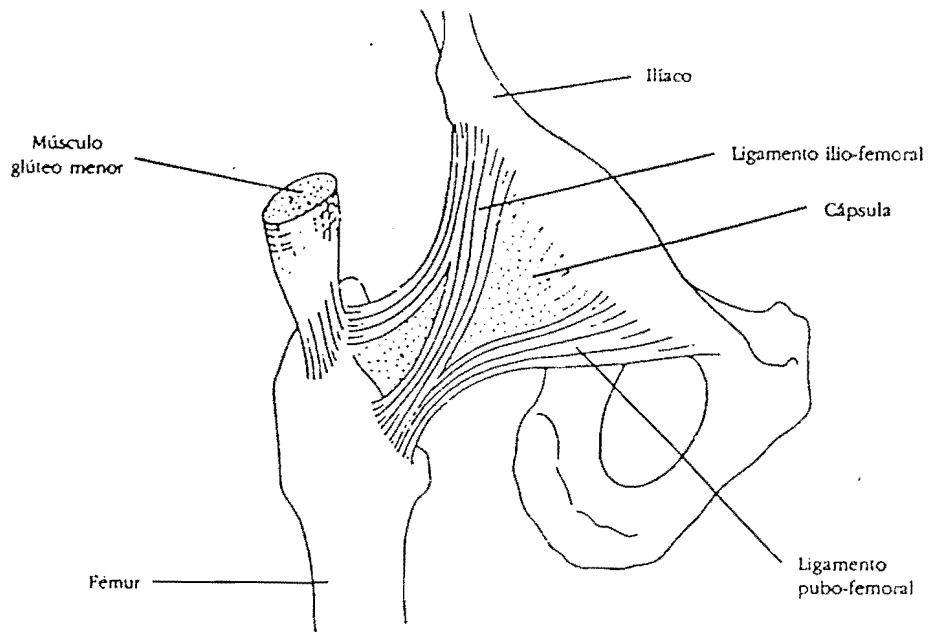


• MTD

FIGURA 17

La cápsula está reforzada por ligamentos muy potentes:

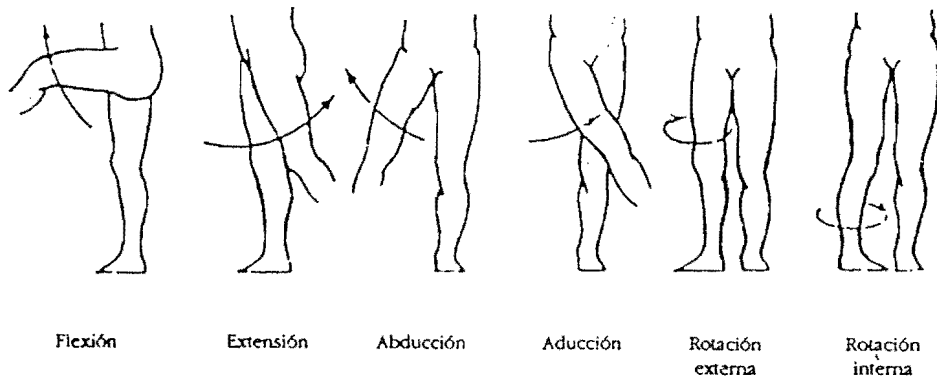
- Ligamento ILEO-FEMORAL, en la cara anterior.
- Ligamento PUBO-FEMORAL, en la cara externa.
- Ligamento ESQUIO-FEMORAL, en la cara posterior.



• MTD

FIGURA 18. THILL (1985)

En esta articulación son posibles todos los movimientos: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna y rotación externa.



• MTD

FIGURA 19. THILL (1985)

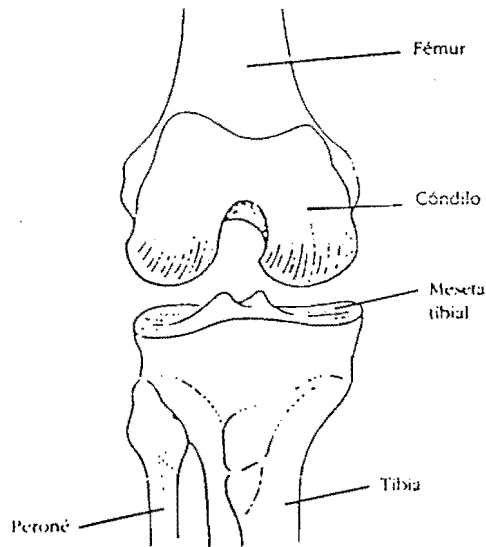
3.4.- Articulación de la rodilla

Es la articulación intermedia del miembro inferior. En ella no son posibles más que movimientos de flexión-extensión. El movimiento de rotación interna y externa de la rodilla solamente es posible cuando la rodilla está flexionada a 90 grados.

La articulación de la rodilla está formada por dos sistemas articulares:

- Uno entre el fémur y la tibia.
- otro entre el fémur y la rótula.

* MTD

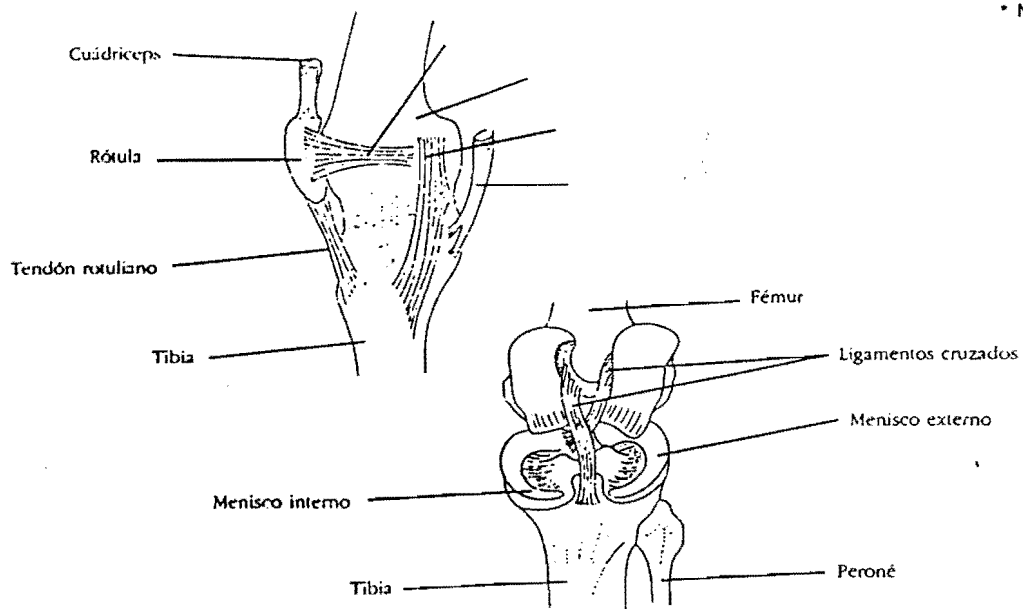


Las superficies articulares están formadas por el extremo superior del fémur (los dos condilos), y la extremidad superior de la tibia o platillo tibial. Entre fémur y tibia se sitúan los meniscos.

La cápsula está reforzada por cada lado por los siguientes ligamentos:

- Ligamentos LATERALES EXTERNOS.
- Ligamentos LATERALES INTERNOS.
- Ligamentos CRUZADOS, que se sitúan dentro del espacio articular.

FIGURA 20. THILL (1985)



* MTD

FIGURA 21

3.5.- *Articulación de la muñeca*

La muñeca une el resto de la mano con el antebrazo. Tiene tres articulaciones independientes, lo que permite a la mano una gran amplitud de movimientos.

- ARTICULACIÓN RADIO-CARPIANA, formada por el extremo superior del radio y la primera fila de huesos del carpo.

La cápsula se ve reforzada por los ligamentos RADIOCARPIANOS, PALMAR y DORSAL y los ligamentos COLATERALES, RADIAL y CUBITAL.

Esta articulación permite toda clase de movimientos excepto la rotación.

- ARTICULACIÓN MEDIO CARPIANA: La forman las dos filas de los huesos del carpo.

Posee un saco sinovial propio y está sostenida por los ligamentos PALMARES, DORSALES, COLATERALES (radial y cubital) e INTERÓSEOS.

Esta articulación sólo tiene cierta flexión y ligera extensión.

- ARTICULACIONES CARPOMETACARPIANAS.

Cada metacarpiano se halla unido a los huesos carpianos adyacentes por dos fuertes ligamentos DORSALES, excepto el quinto metacarpiano que tiene solamente uno.

También está reforzada por ligamentos INTERÓSEOS.

3.6.- *Articulación del tobillo*

El tobillo está formado por la articulación de la tibia y el peroné (en sus extremos inferiores) con el astrágalo.

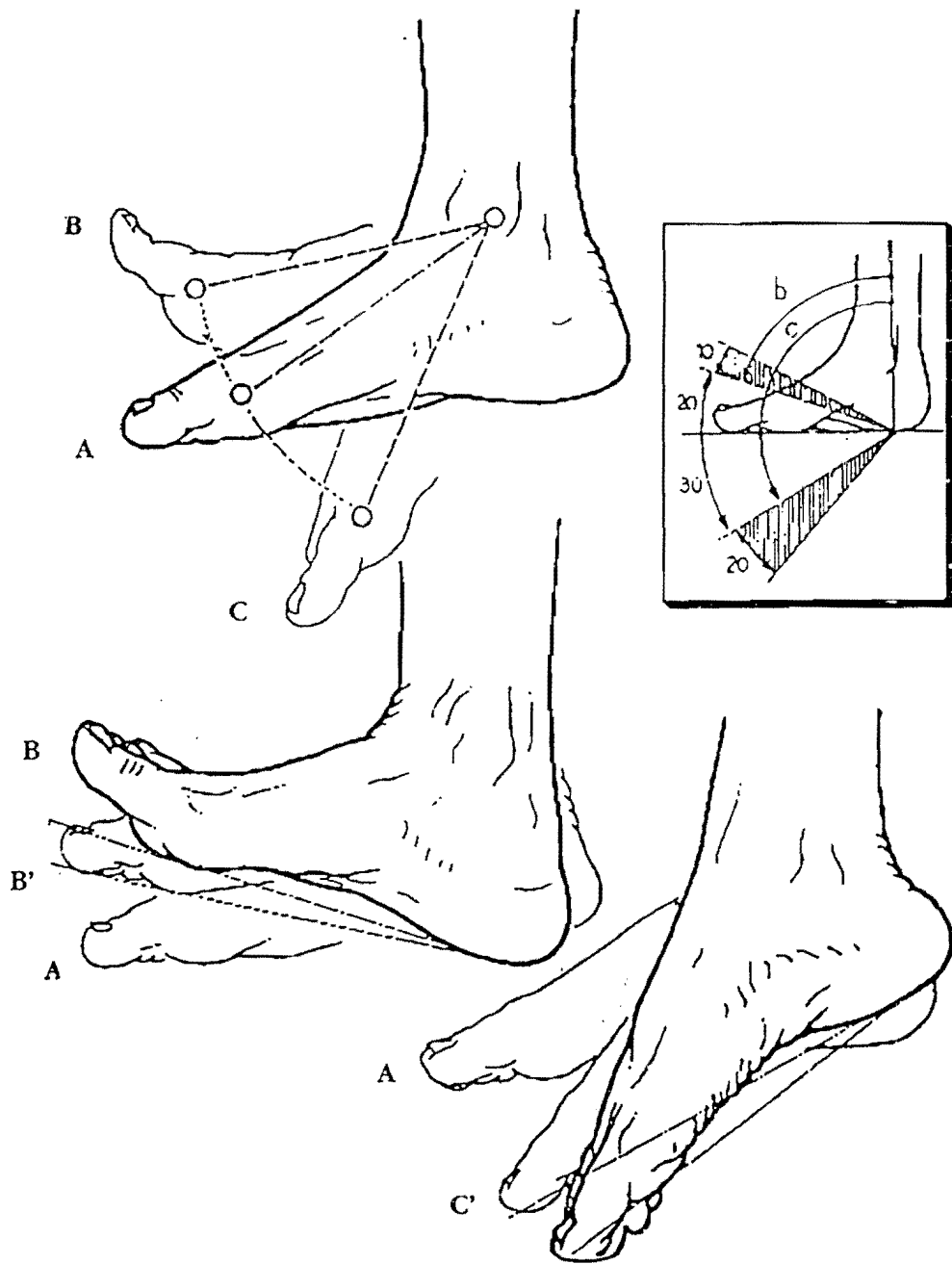
La tibia y el peroné están unidos fundamentalmente por los ligamentos TIBIO-PERONEOS ANTERIOR, POSTEROINFERIOR y TRANSVERSO INFERIOR.

Es la tibia la que transmite el peso del cuerpo al astrágalo; el peroné sostiene poco peso o ninguno.

La tibia forma el MALÉOLO INTERNO y el peroné el MALÉOLO EXTERNO.

En la marcha, el peso se transmite desde el astrágalo a toda la parte periférica de sostén del pie.

El tobillo realiza dos movimientos la flexión y la extensión. Los movimientos de Abducción-adsucción así como los de pronación-supinación se realizan a expensas de las articulaciones del pie.

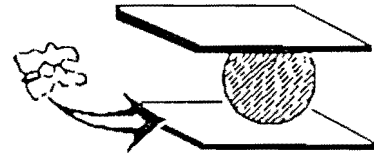
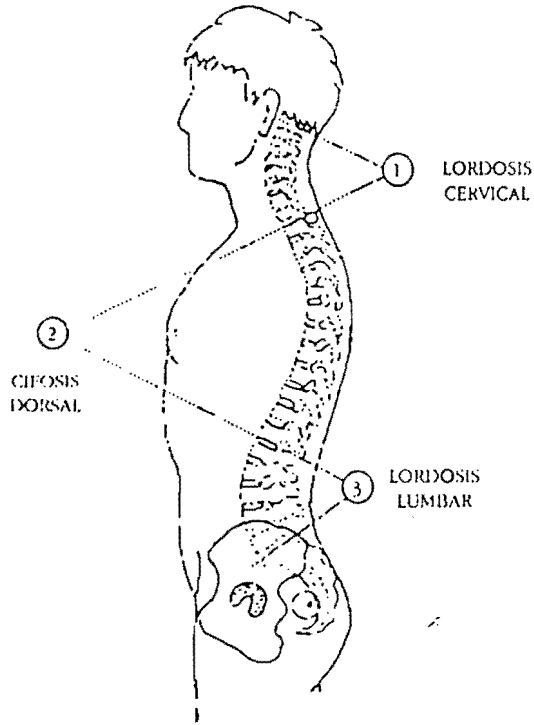


• CEPID

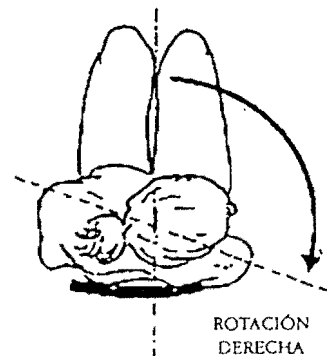
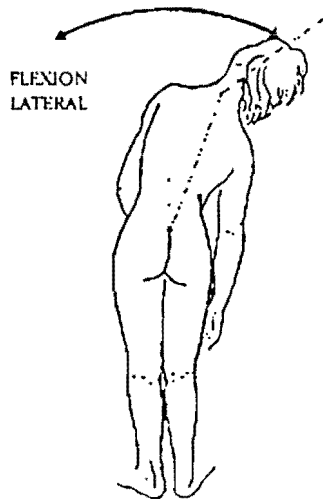
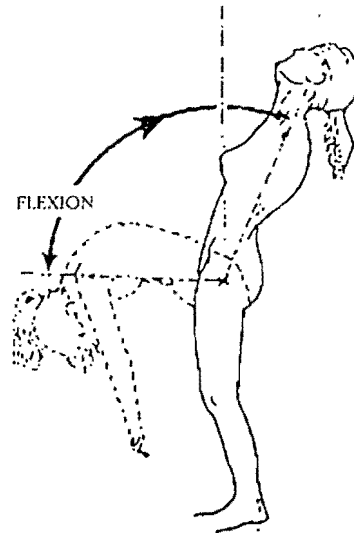
3.7.- Columna vertebral

La articulación entre vértebra y vértebra tiene las posibilidades de movimiento casi nulas; sin embargo, todas las vértebras en su conjunto pueden considerarse como un sistema articulado que posibilita diferentes tipos de movimientos: Flexión anterior, flexión posterior ó extensión, flexiones laterales, rotaciones y las combinaciones de todos estos movimientos.

1. TRONCO (Columna vertebral)



2. ACCIONES



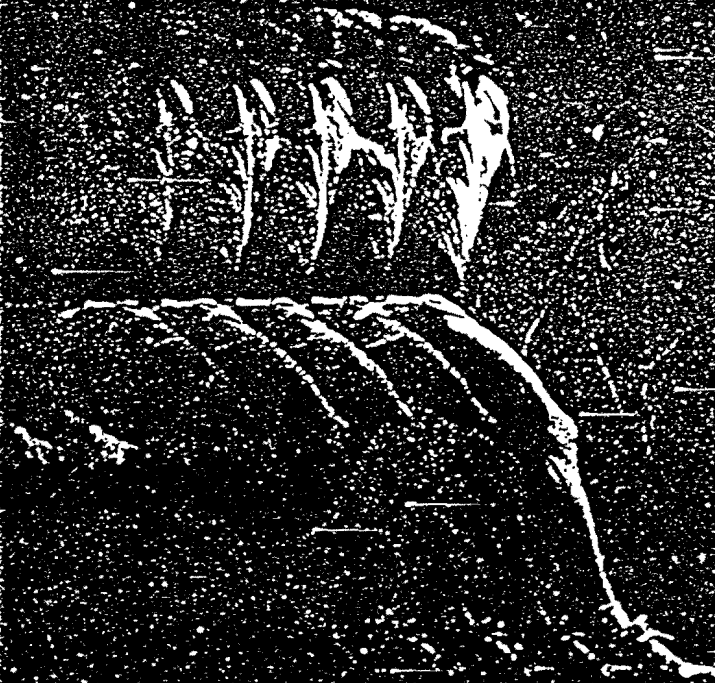
* CEPID

RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

Gracias a los sistemas de articulación el organismo está dotado de movimientos, pero éstos no tienen igual amplitud en todos los casos, ya que existen articulaciones desde muy móviles hasta completamente fijas. A la hora de realizar una actividad física, son las articulaciones del hombro, codo, cadera, rodilla, muñeca, tobillo y el conjunto de la columna vertebral las que ofrecen una gama más amplia de posibilidades.

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel et al. (1997). "Músculos", en *Manual del técnico deportivo Primer nivel*, España, Mira, pp. 49-62.



PRIMER NIVEL

051

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

PRIMER NIVEL

Isabel Pascual Brumós
Alfredo Boné Pueyo
Julia Quilez
J. M. Cucullo López
Aifredo Boné Pueyo
Fernando Gimeno Marco
J. A. Valet Felices
José Luis Pueyo Bardavío
Julio Latorre Peña
Sánchez Bañuelos
Mikel Chivite Izco
Rafael Gericó Lizalde
Alfonso Muniesa Ferrero
Pedro Pablo Fernández Ruiz
Manuel Bueno
M.^a Jesús García Ceballos
Carlos Muniesa Ferrero
Fernando París Roche

MIRA EDITORES

052

- 1.- EL SISTEMA MUSCULAR. ESTRUCTURA Y FUNCIONES.
 - 1.1.- INTRODUCCIÓN.
 - 1.2.- ESTRUCTURA DEL MÚSCULO ESTRIADO.
 - 1.2.1.- Estructura general.
 - 1.3.- FUNCIONES QUE REALIZAN LOS MÚSCULOS.
 - 1.3.1.- Función agonista.
 - 1.3.2.- Función antagonista.
 - 1.3.3.- Función motor primario y motor accesorio.
 - 1.3.4.- Función de fijador o estabilizador.
 - 1.3.5.- Músculo de impulsión y de acción rápida.
- 2.- DISTRIBUCIÓN.
 - 2.1.- CABEZA Y CUELLO.
 - 2.2.- TRONCO.
 - 2.3.- EXTREMIDAD SUPERIOR.
 - 2.4.- EXTREMIDAD INFERIOR.
- 3.- INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS MOVIMIENTOS.

A continuación se exponen las funciones musculares, la estructura macroscópica del músculo, dónde se localizan y cómo participan en los diferentes movimientos corporales.

1.- EL SISTEMA MUSCULAR, ESTRUCTURA Y FUNCIONES

1.1. -Introducción

El movimiento humano depende de la transformación de la energía química (almacenada en forma de A T P) en energía mecánica. Esta transformación energética específica se alcanza mediante la acción de los músculos esqueléticos. Las fuerzas musculares, al actuar sobre el sistema corporal de palancas óseas, obligan a que uno o más huesos se desplacen alrededor de su eje articular; lo que permite al ser humano propulsar un objeto, mover el propio cuerpo o hacer ambas cosas simultáneamente.

Los músculos son órganos blandos encargados del movimiento corporal, es decir, son aquellos que bajo la influencia de un estímulo (sea éste voluntario o no) son susceptibles y capaces de contraerse, relajándose a continuación. Por ello las propiedades esenciales de los músculos son su excitabilidad, su elasticidad y su contractilidad.

Los músculos se clasifican en dos grandes grupos:

- Músculos involuntarios, lisos o viscerales, que no están regidos por la voluntad. Son los músculos del aparato digestivo, arterial, etc.
- Músculos voluntarios, esqueléticos o estriados, cuya característica es que se contraen bajo el control de la voluntad. Un tipo de músculo estriado especial es el cardíaco, en cuya contracción no interviene la voluntad, sino que su contracción es rítmica y automática, aunque su estructura es igual al músculo estriado.

En este tema no hablaremos del músculo liso, nos referiremos sólo al estriado ya que el aparato locomotor está integrado por músculos del segundo grupo.

1.2.- Estructura del músculo estriado

1.2.1.- Estructura general

Cada uno de los 430 músculos voluntarios del cuerpo contiene varias envolturas de tejido conjuntivo. Si seccionamos el músculo transversalmente vemos que consta de miles de células musculares cilíndricas llamadas fibras; estas largas fibras delgadas y multinucleadas están colocadas de forma paralela, y la fuerza de la contracción avanza a lo largo del eje longitudinal de la fibra.

Cada fibra está envuelta y separada de sus fibras vecinas por una fina capa de tejido conjuntivo; es el endomisio. Otra capa de tejido conjuntivo, el perimisio, rodea un grupo de hasta 150 fibras formando un fascículo. La unión de varios fascículos forma el vientre muscular o músculo propiamente dicho. Alrededor del músculo entero hay una fascia de tejido conjuntivo fibroso llamado epimisio. Esta vaina se estrecha en sus extremos distales para formar el fuerte y denso tejido conjuntivo de los tendones. Los tendones conectan ambos extremos del músculo al hueso uniéndose a la envoltura del mismo o periostio. Por lo tanto, la fuerza de la contracción muscular se transmite directamente del arnés de tejido conjuntivo del músculo a los tendones que, a su vez, tiran de los huesos en su punto de unión (Ver figura nº 1).

Debajo del endomisio y alrededor de cada fibra muscular está el sarcolema. Esta fina membrana elástica envuelve el contenido celular de la fibra. El protoplasma acuoso o sarcoplasma de la célula contiene las proteínas contráctiles, enzimas, partículas de grasa y glucógeno, los núcleos y los diversos orgánulos especializados de la célula muscular. Empotrada dentro del sarcoplasma hay una red extensa interconectada de canales tubulares y vesículas denominada el retículo sarcoplásmico. Este sistema altamente especializado proporciona a la célula la integridad estructural y también sirve para funciones importantes en la contracción muscular.

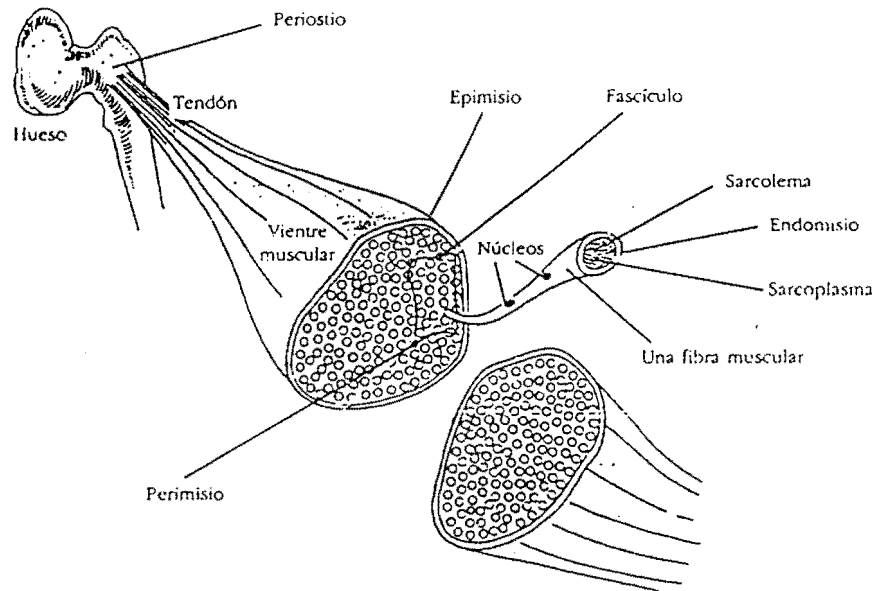


FIGURA 1. Sección cruzada del músculo y la organización de las envolturas de tejido conjuntivo. Las fibras individuales están cubiertas por el endomisio. Grupos de fibras llamados fascículos están rodeados por el perimisio, y el músculo entero está envuelto en una vaina fibrosa de tejido conjuntivo, el epimisio. El sarcolema es una membrana fina elástica que recubre la superficie de cada fibra muscular.

Tomado de McArdle, 1990

- Composición química.

Los músculos están constituidos principalmente por:

Agua, 70-75 por ciento;

Albúminas (proteínas), 16-20 por ciento;

Minerales, 3-4 por ciento;

Otras sustancias, 1 por ciento;

Las proteínas musculares más abundantes son la miosina, actina y tropomiosina.

- El riego sanguíneo:

La irrigación sanguínea del músculo se hace a través de una o más arterias nutricias que se dividen en ramas cada vez menores hasta formar una red capilar que se dispone paralelamente a las miofibrillas, con anastomosis (conexiones) transversales u oblicuas.

Los músculos que trabajan durante el ejercicio tienen gran necesidad de oxígeno y por ello el lecho vascular local debe canalizar grandes cantidades de sangre. En un ejercicio rítmico tal como la carrera, la natación o el ciclismo, el flujo sanguíneo fluctúa, disminuyendo durante la fase de contracción del músculo y aumentando durante el perio-

do de relajación. Esto proporciona una acción "ordeñadora" que facilita el flujo sanguíneo por los músculos y el retorno hasta el corazón. Complementando este flujo pulsátil está la rápida dilatación de los capilares que hasta entonces no estaban activos.

Varias investigaciones demuestran los efectos favorables del entrenamiento de resistencia sobre la capilarización del músculo esquelético. Estos estudios verifican que el número de capilares por músculo puede ser un 40 por ciento mayor en atletas de fondo que en los sujetos no entrenados.

Puede concluirse diciendo que los capilares de los músculos esqueléticos pueden aumentarse fácilmente y que el aumento está estrechamente relacionado con el nivel de actividad del músculo.

1.3.- Funciones que realizan los músculos

El músculo sólo puede hacer dos cosas: contraerse o relajarse. En ello influyen el tamaño, forma y número de fibras de un músculo, el tipo de articulación que mueve, su acción, la naturaleza del origen e inserción (tendinoso o carnosos), el ángulo y lugar de inserción, la ventaja mecánica de las palancas osteomusculares y otros factores.

Además, los músculos pueden actuar por separado o como miembros de un equipo en diversas modalidades y combinaciones de movimiento.

En términos generales, la función muscular consiste en hacer posibles los movimientos del organismo mediante la contracción. Ahora bien, en términos técnicos, las funciones que desempeñan los músculos se pueden designar así:

1.3.1.- Función agonista

Cuando un músculo se contrae concéntricamente se dice que es un MOTOR o AGONISTA en los movimientos articulares que resultan de su contracción. Ejemplo: el TRÍCEPS BRAQUIAL es el agonista en la extensión del codo.

1.3.2.- Función antagonista

ANTAGONISTA es un músculo cuya contracción produce un movimiento articular contrario a la acción de otro músculo en ese mismo movimiento. Ejemplo: el BÍCEPS BRAQUIAL es antagonista del tríceps braquial en la extensión del codo.

1.3.3.- Función motor primario y motor accesorio

EL MOTOR PRIMARIO es el músculo principalmente responsable de un movimiento articular específico y MOTOR ACCESORIO o SECUNDARIO es el que colabora o ayuda al primario para la realización de este movimiento.

1.3.4.- Función de fijador o estabilizador

Es un músculo que fija o sostiene un hueso o parte del cuerpo para que otro músculo tenga una base firme sobre la cual ejercer tracción.

1.3.5.- Músculo de impulsión y de acción rápida

Los músculos esqueléticos pueden actuar como músculos de impulsión o como músculos de acción rápida.

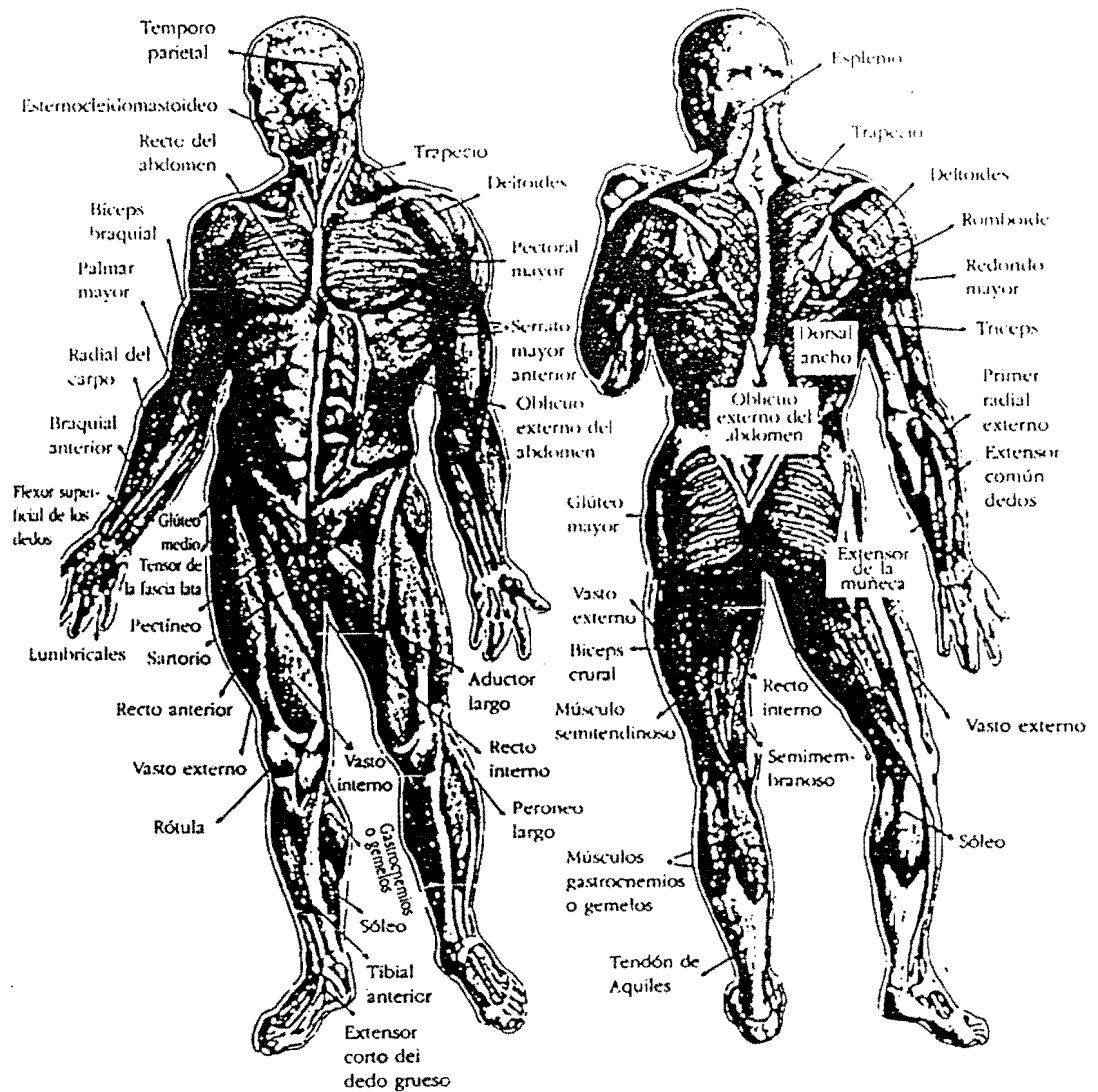
Los músculos de impulsión tienen su origen a distancia de las articulaciones donde actúan y se insertan cerca de ellas.

Cuando un músculo actúa sobre dos articulaciones es generalmente impulsor para una y de acción rápida para la otra; así, por ejemplo, el tríceps es un músculo de impulsión para la articulación del hombro y de acción rápida para la del codo.

2.- DISTRIBUCIÓN

A continuación se reseñan los principales músculos del organismo distribuidos entre CABEZA y CUELLO, TRONCO, EXTREMIDAD SUPERIOR Y EXTREMIDAD INFERIOR.

PRINCIPALES MÚSCULOS DEL CUERPO HUMANO



* MTD

Parte anterior

FIGURA 2

Parte posterior

2.1.- Cabeza y cuello

Los más importantes son los mímicos o los de la expresión. Se insertan en la piel. Entre ellos están:

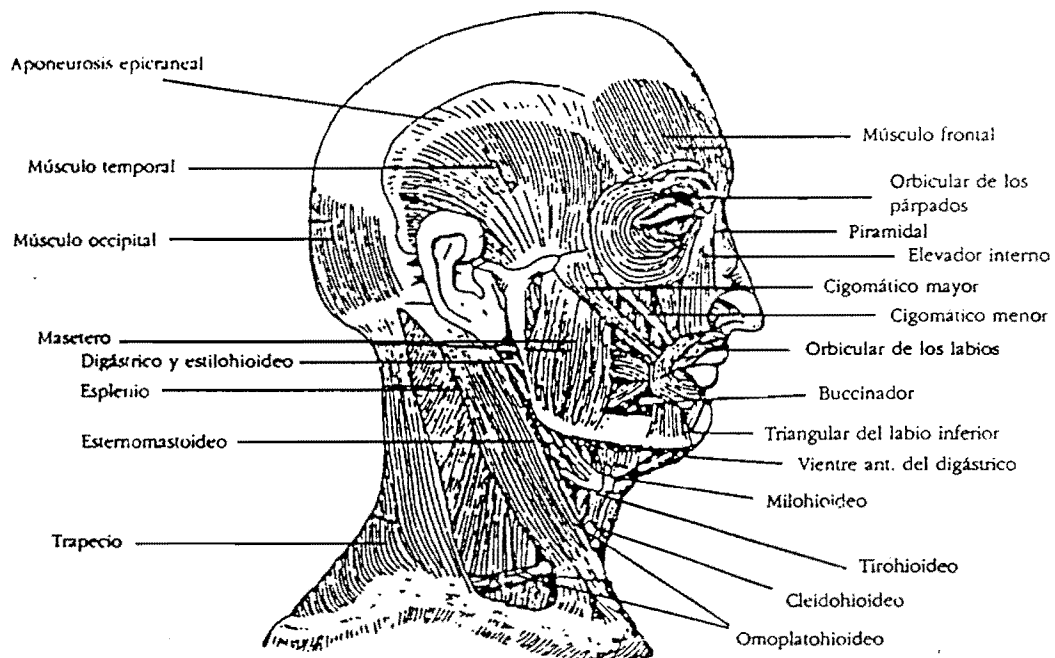
- El frontal, que contrae la piel de la frente (músculos de la atención).
- Los orbiculares, de los ojos y de los labios, cierran los ojos y la boca.
- Elevador del labio superior, mueca de desagrado.
- Risorios o faciales, que tiran de la comisura de los labios y provocan la sonrisa.

Otros músculos son:

- Maseteros y temporales, elevan el maxilar inferior y lo comprimen contra el superior.
- Los suprahioides, antagonistas de los anteriores, van del maxilar inferior al hioides, son los masticadores.
- El bucinador, sirve para hinchar los carrillos, soplar, silbar.
- El occipital.

En el cuello encontramos los siguientes:

- Los esternocleidomastoideos van del esternón y la clavícula al hueso temporal; inclinan la cabeza a los lados y la hacen girar.
- El cutáneo del cuello forma la papada y se arruga en las personas de edad.
- Los esplenios doblan la cabeza hacia atrás.



MÚSCULOS DE LA CABEZA Y EL CUELLO

• MTD

FIGURA 3

2.2. Tronco

Por detrás:

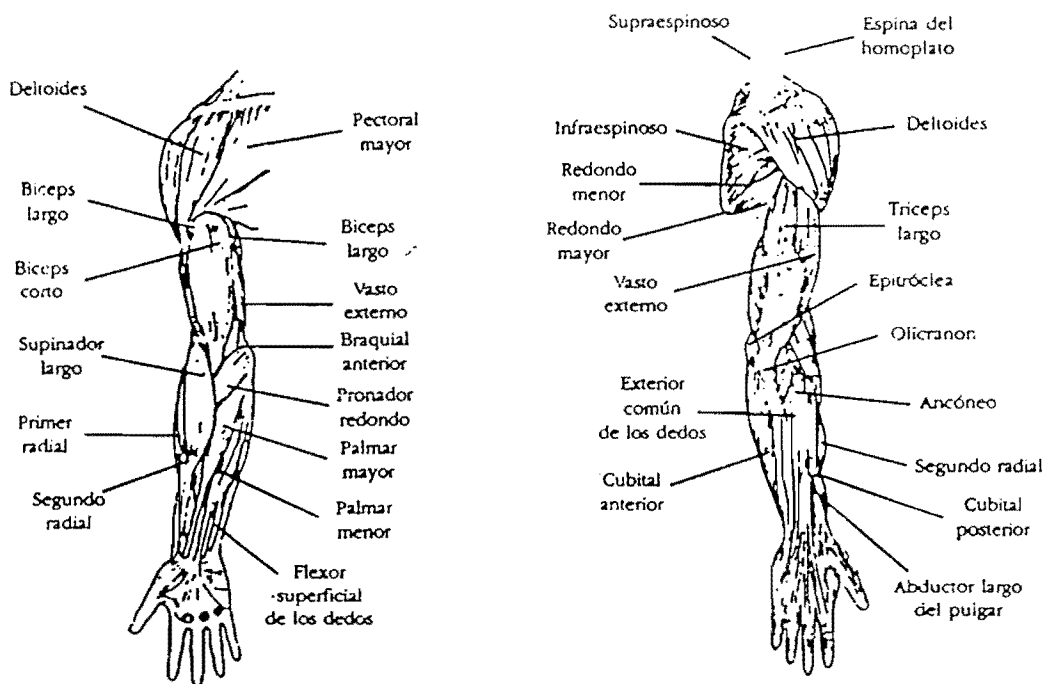
- El trapecio, que sostiene vertical la cabeza; eleva los hombros.
- Los grandes dorsales mueven el brazo hacia atrás.

Por delante:

- Los pectorales mayores, que mueven el brazo hacia adelante y hacia adentro.
- Los intercostales, que se encuentran entre las costillas y son respiratorios.
- Los rectos del abdomen, que sostienen el vientre. En los costados:
- Los oblicuos del abdomen que doblan el cuerpo hacia adelante.
- Los serratos se encuentran debajo del brazo y son respiratorios. En el interior:
- El diafragma separa el tórax del abdomen. Es respiratorio.

2.3.- Extremidad superior

- El deltoides, que forma el hombro y levanta el brazo hacia afuera.
- El biceps braquial dobla o flexiona el antebrazo sobre el brazo. Está adelante.
- El triceps braquial es antagonista del anterior, es decir, extensor del antebrazo.
- Los pronadores y supinadores, que hacen girar la muñeca y el brazo.
- Los flexores y extensores de los dedos doblan y extienden los dedos.



MÚSCULOS DEL BRAZO, CARA ANTEIOR

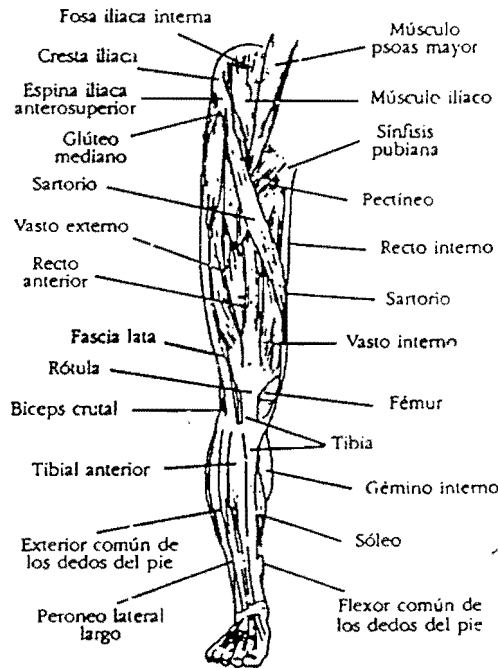
MÚSCULOS DEL BRAZO, CARA POSTERIOR

* MTU

FIGURA 4

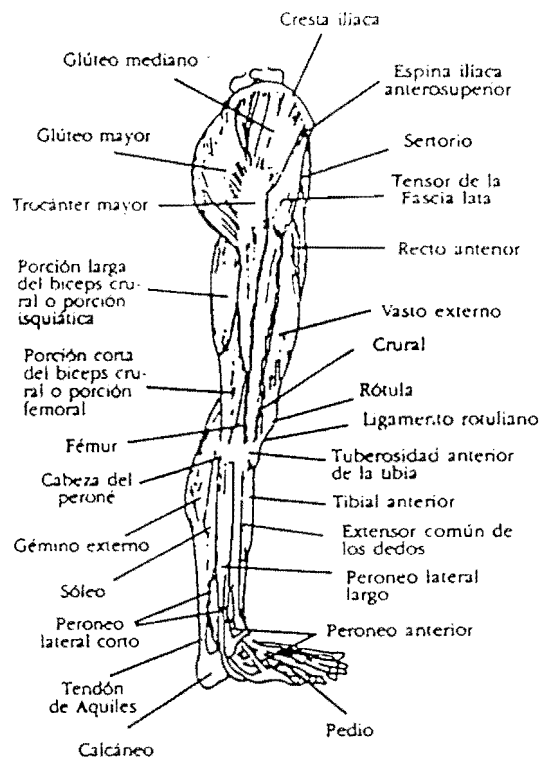
2.4.- Extremidad inferior

- Los glúteos, que forman las nalgas o posaderas.
- El sartorio cruza una pierna sobre otra.
- El cuádriceps está delante, extiende la pierna.
- El bíceps crural está detrás, flexiona la pierna por la rodilla.
- Los gemelos, que forman la pantorrilla, se continúan con el tendón de Aquiles, uniéndose al hueso calcáneo. Son los músculos de la locomoción o marcha.
- Los flexores y extensores de los dedos del pie.



MÚSCULOS DEL MIEMBRO INFERIOR, CARA ANTERIOR

* MTD



MÚSCULOS DEL MIEMBRO INFERIOR, CARA EXTERNA

FIGURA 5

3.- INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS MOVIMIENTOS

Núcleo movimiento	Acción mecánica	Músculos que intervienen	Situación geográfica en el cuerpo
HOMBRO	Flexión	1. Deltoides	Cubre la articulación escápulo-humeral. Se extiende desde el apófisis coracoides al húmero. Cubre la región anterior del tórax y parte del hueco de la axila. Ocupa parte del dorso desde el occipital hasta la parte inferior de la columna vertebral. Situado en la pared lateral del tórax.
		2. Coracobraquial	
		3. Pectoral mayor	
		4. Trapecio	
		5. Serrato mayor	
	Extensión	1. Redondo mayor	Se extiende desde la fosa supraespinosa a la corredera bicipital. Va desde la fosa supraespinosa al troquíter. Cubre parte del dorso, desde las vértebras medias e inferiores a la corredera bicipital. Ancha cinta que une el omoplato a las vértebras dorsales.
		2. Redondo menor	
Abducción	3. Deltoides	Se extiende desde la fosa supraespinosa al extremo superior del húmero.	
	4. Serrato mayor		
Adducción	1. Redondo mayor	Desde la fosa infraespinosa al troquíter.	
	2. Dorsal ancho		
Rotación externa	3. Pectoral mayor	Cubre desde la fos subescapular a la extremidad superior del húmero.	
	4. Romboides		
Rotación interna	1. Infraespinoso	Cubre desde la fos subescapular a la extremidad superior del húmero.	
	2. Redondo menor		
CODO	Flexión	1. Braquial anterior	Situado en la parte anterior e inferior del húmero. Músculo largo que se extiende desde el tercio inferior del húmero a la extremidad inferior del radio. Ocupa desde el omoplato hasta el antebrazo.
		2. Supinador largo	
		3. Bíceps braquial	
Extensión	1. Tríceps braquial	Ocupa la parte posterior del brazo desde el húmero al cúbito. Ocupa la parte posterior del codo.	
	2. Ancóneo		
MUÑECA	Flexión	1. Palmar mayor	Se extiende desde la epitroclea al segundo metacarpiano. Va desde la epitroclea al ligamento anular anterior del carpo. Ocupa desde el codo a la primera fila del carpo.
		2. Palmar menor	
		3. Cubital anterior	
Extensión	1. Primer radial	Se extiende desde el extremo inferior del húmero al segundo metacarpiano. Situado debajo del anterior. Se extiende desde el epicóndilo al metacarpo.	
	2. Segundo radial		
	3. Cubital posterior		

Núcleo movimiento	Acción mecánica	Músculos que intervienen	Situación geográfica en el cuerpo
MANO	Abducción	1. Palmar mayor 2. Palmar menor 3. Primer radial 4. Segundo radial	
	Pronación	1. Pronador redondo 2. Pronador cuadrado	Se extiende desde la epitoclea al radio. Ocupa la parte anterior e inferior del antebrazo
	Supinación	1. Supinador corto	Situado en la parte posterior externa y anterior de la articulación radiocubital.
	Flexión	1. Flexor superficial de los dedos. 2. Flexor profundo de los dedos 3. Lumbricales 4. Flexor corto del meñique 5. Flexor largo del pulgar 6. Flexor corto del pulgar	Se describen únicamente los dos movimientos analizados en el plano sagital.
	Extensión	1. Extensor común de los dedos 2. Extensor propio del meñique 3. Extensor propio del índice 4. Extensor largo del pulgar 5. Extensor corto del pulgar	
CADERA	Flexión	1. Psoas iliaco	Va desde el trocánter y la fosa iliaca a la región lumbar de la columna.
		2. Sartorio	Une el ilión con la extremidad superior de la tibia.
		3. Recto anterior	Ocupa la parte anterior y media del muslo.
		4. Tensor de la Fascia Lata	Se extiende desde el coxal a la tibia ocupando la parte superior y externa del muslo
		5. Pectíneo	Se extiende desde el pubis a la porción superior del fémur
		6. Recto interno	Va desde la parte anterior de la pelvis a la parte interna de la pierna.
	Extensión	1. Glúteo mayor	Se extiende desde la cresta iliaca al trocánter mayor.
		2. Bíceps crural	Ocupa la parte externa y posterior del muslo entre el isquión y el peroné.
		3. Semimembranoso	Se extiende desde el isquión al lado interno de la articulación de la rodilla.
		4. Semitendinoso	Ocupa la región interna y posterior del muslo entre el isquión y la rodilla.
Abducción	1. Glúteo menor	Situado por debajo del glúteo mayor, va desde el uso coxal al trocánter mayor.	
	2. Tensor de la Fascia Lata	Ver movimiento de flexión.	
	3. Glúteo mayor		
	4. Piramidal de la pelvis	Se extiende desde el sacro al trocánter mayor.	
Adducción	Adducción	1. Adductores mayor	Los adductores forman un abanico que va desde el isquión a la línea áspera del fémur.
		2. Adductores mediano	
		3. Adductores menor	
		4. Recto interno	
		5. Semimembranoso	
		6. Semitendinoso	
		7. Bíceps crural	
		8. Cuadrado crural	
		9. Pectíneo	
		10. Obturadores	

Núcleo movimiento	Acción mecánica	Músculos que intervienen	Situación geográfica en el cuerpo
RODILLA	Rotación externa	1. Piramidal 2. Obturadores 3. Algunos adductores 4. Los glúteos	Potente músculo que ocupa la región anterior del muslo, desde la pelvis al extremo superior de la tibia.
	Rotación interna	1. Tensor de la Fascia Lata 2. Glúteo menor 3. Glúteo mediano	
	Flexión	1. Sartorio 2. Recto interno 3. Semimembranoso 4. Semitendinoso 5. Bíceps crural	
	Extensión	1. Cuádriceps	
		2. Vasto externo 3. Vasto interno 4. Recto anterior 5. Crural	
	Rotación externa	1. Bíceps crural 2. Tensor de la Fascia Lata	
	Rotación interna	1. Sartorio 2. Semimembranoso 3. Semitendinoso 4. Recto interno 5. Poplíteo	
TOBILLO	Flexión	1. Tibial anterior	Se extiende desde la extremidad superior de la tibia al borde interno del pie. Situado en la parte exterior de la pierna, entre el extremo superior del peroné y el quinto metatarsiano.
		2. Peroneo anterior	
	Extensión	1. Gemelos	Naciendo aisladamente en el extremo inferior y posterior del fémur se unen formando el tendón de Aquiles que se inserta en la parte posterior del talón. Músculo ancho y grueso situado por debajo de los gemelos.
		2. Sóleo	Se extiende desde la tibia y el peroné al borde interno del pie.
		3. Tibial posterior	Se extiende desde la parte superior y externa de la pierna al primer metatarsiano.
	4. Peroneo lateral largo	Va desde la parte media y externa de la pierna al borde externo del pie.	
	5. Peroneo lateral corto		
PIE	Rotación internaabducción	1. Tibial anterior 2. Tibial posterior 3. Gemelos 4. Sóleo	
	Rotación externaadducción	1. Peroneo anterior 2. Peroneo lateral largo 3. Peroneo lateral corto	
	Flexión	1. Peroneo lateral largo 2. Flexor común de los dedos	Se exponen sólo los músculos que intervienen en los movimientos en el plano sagital.
		Extensión	

Núcleo movimiento	Acción mecánica	Músculos que intervienen	Situación geográfica en el cuerpo	
RAQUIS CERVICAL	Flexión	1. Recto anterior mayor	Se extiende desde el occipital a las apófisis transversas de la columna cervical. Situado entre el occipital y el atlas. Situado a los lados de la articulación occipitoatloidea desde el apófisis transversal del atlas a la apófisis yugular del occipital.	
		2. Recto anterior menor		
		3. Recto lateral		
	Extensión	4. Escalenos	Se extienden desde las apófisis transversas de las vértebras cervicales hasta las dos primeras costillas. Va desde el atlas hasta la tercera vértebra dorsal.	
		5. Largo del cuello		
		1. Recto posterior mayor		
Flexión lateral	2. Recto posterior menor	Músculo aplanado que va desde el axis al occipital. Se extiende del atlas al occipital. Ocupa la nuca y la parte superior del dorso. Va desde las seis primeras vértebras dorsales hasta la impresión rugosa del occipital. Entre las cinco últimas vértebras cervicales y el apófisis mastoides. Situado como su propio nombre indica, ocupa la parte anterolateral del cuello insertándose en el apófisis mastoides, la clavícula y el esternón.		
	3. Esplenio			
	4. Complejo mayor			
RAQUIS DORSO LUMBAR	Rotación	5. Complejo menor	Acción sinérgica de los músculos flexores y extensores del mismo lado.	
		6. Externocleidomastoideo		
		1. Oblicuo mayor de la nuca		Se extiende oblicuamente desde el axis al atlas. Entre la apófisis transversas de las vértebras cervicales.
		2. Transverso		
		3. Esplenio		
4. Esternocleidomastoideo				
5. Trapecio				
RAQUIS DORSO LUMBAR	Flexión	1. Recto mayor	Ocupa la parte anterior e inferior del tronco entre las costillas y el pubis. Situado en la parte anterolateral del abdomen entre la sexta costilla y el pubis. Se extiende desde la región lumboiliaca a las últimas costillas, a la línea blanca y el pubis.	
		2. Oblicuo mayor		
		3. Oblicuo menor del abdomen		
	Extensión	1. Sacro lumbar	Se inserta en la cresta iliaca en las costillas y en las apófisis transversas de las vértebras cervicales. Va desde la cresta iliaca a las apófisis transversas de las vértebras lumbares y dorsales. Entre las apófisis transversas y espinosas de la columna vertebral.	
		2. Dorsal largo		
		3. Transverso espinoso		
Flexión lateral	4. Cuadrado lumbar	Contracción sinérgica de flexores y extensores del mismo lado.		
	Rotación		1. Transverso espinoso	
		2. Oblicuo del abdomen		

RESUMEN INFORMACIÓN ESENCIAL

Los músculos son los encargados de hacer posibles los movimientos corporales; para ello están dotados de funciones que varían de unos a otros en dependencia de múltiples factores, entre otros, la localización, inserción, etc. El mecanismo de contracción-relajación es la clave de cualquier acción mecánica.

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel *et al.* (1997), "Extremidad superior", en *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Mira, pp. 17-40.



SEGUNDO NIVEL

066

TEMA 1: EXTREMIDAD SUPERIOR

Isabel Pascual Brumós

1. ARTICULACIÓN DEL HOMBRO
 - 1.1. Introducción.
 - 1.2. Músculos flexores.
 - 1.3. Músculos extensores.
 - 1.4. Músculos abductores.
 - 1.5. Músculos aductores.
 - 1.6. Músculos rotadores.

2. ARTICULACIÓN DEL CODO
 - 2.1. Introducción.
 - 2.2. Músculos flexores.
 - 2.3. Músculos extensores.

3. ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA Y MANO
 - 3.1. Introducción.
 - 3.2. Músculos flexores de la muñeca.
 - 3.3. Músculos extensores de la muñeca.
 - 3.4. Músculos abductores.
 - 3.5. Músculos aductores.
 - 3.6. Músculos pronadores.
 - 3.7. Músculos supinadores.
 - 3.8. Músculos flexores de la mano.
 - 3.9. Músculos extensores de la mano.

En este tema se estudian las articulaciones de la extremidad superior, haciendo un repaso más detallado de las diferentes acciones musculares.

1067

1.- ARTICULACIÓN DEL HOMBRO

1.1.- Introducción

La articulación del hombro es una de las regiones anatómicas más complejas del cuerpo humano, una de las que hacen más difícil el diagnóstico de lesión y una de las que más dolores referidos pueden manifestar; un dolor de hombro, por ejemplo, puede ser el único síntoma de un problema en vesícula biliar u otro órgano interno.

Recordaremos que las partes óseas que componen la articulación del hombro son:

- El húmero.
- La escápula.
- La clavícula.

Estos tres huesos forman cuatro articulaciones:

- La esternoclavicular.
- La acromioclavicular.
- La coracoclavicular.
- La glenohumeral, escapulohumeral o articulación del hombro propiamente dicha.

Estas cuatro articulaciones hacen del hombro una gran unidad funcional que posibilita los movimientos de flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna, rotación externa y la circunducción.

El hombro tiene una cápsula articular sinovial y dos bolsas serosas, la bolsa subcoracoidea y la bolsa subacromial.

Pero tal vez la complejidad del hombro se deba a su musculatura, ya que son muchos los músculos que intervienen en los movimientos del hombro.

A continuación se detallan los músculos implicados en cada acción articular y, como no hay que olvidar que en ocasiones la patología muscular no es del propio músculo sino debida a lesiones nerviosas, se especifica la inervación correspondiente a cada uno de ellos.

1.2.- Músculos flexores

En el hombro la amplitud de movimiento en flexión con intervención sucesiva de la cintura escapular y finalmente de la columna vertebral es de 180 grados.

Limitan el movimiento de flexión, la tensión del ligamento coracohumeral y los músculos redondo mayor y menor, infraespinoso, pectoral mayor y dorsal ancho.

Los músculos que intervienen en la flexión son: deltoides, coracobraquial, pectoral mayor, trapecio, serrato mayor y bíceps braquial.

• **Deltoideus anterior.**

Este músculo da forma al llamado muñón del hombro; cubriendo la articulación escápulo-humeral, se extiende como un abanico de tal manera que tiene unas fibras anteriores, unas fibras medias y otras fibras posteriores.

Las fibras anteriores son las que ayudan a la flexión del hombro. Estas fibras tienen su origen en el borde anterior y superficie superior del tercio externo de la clavícula y su inserción en la tuberosidad deltoidea del húmero.

Inervación: C5, C6.

• **Coracoacromioclavicular.**

Su origen está en el vértice de la apófisis coracoides de la escápula y su inserción en la porción media de la diáfisis del húmero, opuesta a la tuberosidad deltoidea.

La debilidad de este músculo disminuye la potencia de flexión del hombro sobre todo en aquellos movimientos en los que se une la flexión y la supinación completa del codo, como puede ser la acción de peinarse.

Inervación: C6, C7.

•

Su origen está en la superficie anterior de la mitad esternal de la clavícula; sus fibras descienden por la superficie anterior del esternón y cartilagos de las primeras seis o siete costillas hasta la aponeurosis del oblicuo externo del abdomen y su inserción en la cresta de la tuberosidad mayor del húmero.

Son las fibras superiores las que flexionan la articulación del hombro.

Inervación: C5, C6, C7.

La acción del músculo en su conjunto, es decir, la porción superior más la inferior, ayudará a soportar el peso del cuerpo en la deambulacion con muletas o en los ejercicios sobre barras paralelas.

•

El músculo trapecio es llamado "la percha" por la disposición que adoptan sus fibras.

Las fibras del trapecio se distribuyen en tres porciones: fibras superiores que llevan una dirección oblicua y ascendente, fibras medias en dirección horizontal y fibras inferiores en dirección oblicua y descendente.

El origen de las fibras superiores es la protuberancia occipital externa, tercio interno de la línea de la nuca superior, ligamento nuchal y apófisis de la séptima vértebra cervical. La inserción, en el tercio externo de la clavícula y acromion.

Las fibras medias tienen su origen en las apófisis espinosas de la primera a la quinta vértebras dorsales y su inserción en el labio superior de la espina de la escápula.

Ambas fibras, las superiores y las medias, accionan la escápula elevándola.

Es frecuente la contractura unilateral del trapecio superior en los casos de tortícolis y, también, muchas veces causa de dolores de cabeza referidos a la región temporal.

Las fibras inferiores tienen su origen en las apófisis espinosas de la sexta a la duodécima vértebras dorsales y la inserción en la punta de la espina de la escápula.

Inervación: C2, C3, C4.

- Serrato anterior.

Su origen: superficies externas y bordes superiores de las ocho o nueve primeras costillas.

Su inserción: superficie costal del borde interno de la escápula.

Su acción junto al trapecio superior es la de elevar la cavidad glenoidea.

Inervación : C5, C6, C7, C8.

- Bíceps braquial.

Origen de la porción larga: tubérculo supraglenoideo de la escápula.

Origen de la porción corta: vértice de la apófisis coracoides de la escápula.

Inserción : tuberosidad del radio.

Inervación : C5, C6.

El bíceps braquial ayuda a la flexión del hombro y la porción larga puede contribuir a la abducción si el húmero está en rotación externa.

La extensión del hombro es un movimiento conducido que llega hasta 30 grados, alcanzándose los 45 grados cuando el movimiento es ayudado o impulsado.

Los músculos que lo hacen posible son: redondo mayor, redondo menor, deltoides, dorsal ancho, romboides y tríceps braquial.

- Redondo mayor.

Origen: ángulo inferior y tercio inferior del borde externo de la escápula.

Inserción: tuberosidad menor de húmero.

Inervación: C5, C6, C7.

- Redondo menor.

Origen: parte superior del borde externo de la escápula en su superficie dorsal.

Inserción: tubérculo mayor del húmero y en la cápsula de la articulación del hombro.

Estabiliza la cabeza del húmero en la cavidad glenoidea durante los movimientos de la articulación.

Inervación: C5, C6.

- Deltoides.

Las fibras posteriores del deltoides contribuyen a la extensión del hombro.

Estas fibras tienen su origen en la porción posterior e inferior de la espina de la escápula y su inserción en la tuberosidad deltoidea del húmero.

Inervación: C5, C6.

- Dorsal ancho.

También recibe el nombre de gran dorsal, interviene en la extensión del hombro aunque sus acciones fundamentales son la aducción y la rotación interna del hombro.

Su origen está en las apófisis espinosas de las seis últimas vértebras dorsales, las tres o cuatro últimas costillas, la fascia dorsolumbar de las vértebras lumbares y sacras, tercio posterior de la cresta iliaca y una porción se inserta en el ángulo inferior de la escápula. Su inserción: en el surco intertubercular del húmero.

Es con el origen fijo cuando realiza la extensión del hombro.

Inervación: C6, C7, C8.

- Romboidees

Ayuda a la extensión del hombro debido a la acción que tiene sobre la escápula; ésta consiste en aducción, elevación de la escápula y su rotación, de manera que la cavidad glenoidea mira en sentido caudal.

Origen del romboidees mayor: apófisis espinosa de la segunda a la quinta vértebras dorsales. Su inserción: borde interno de la escápula entre la espina y el ángulo inferior.

Origen del romboidees menor: apófisis espinosas de la séptima cervical a la primera dorsal. Su inserción: Borde interno de la escápula, a nivel de la raíz de la espina.

Inervación: C4, C5.

-

Ver músculos flexores.

- Tríceps

Este músculo se verá con mayor detalle en la extensión del codo.

Está situado en la parte posterior del brazo; su porción larga puede ayudar a la extensión del hombro.

Abducción del hombro

La abducción del hombro corre a cargo de los siguientes músculos: deltoides, supraespinoso, trapecio y serrato mayor.

Con participación de la cintura escapular y posteriormente de la columna vertebral, se alcanzan los 180 grados de amplitud de movimiento para esta acción articular.

Limitan el movimiento de abducción el ligamento glenohumeral y los músculos dorsal ancho y pectoral mayor. A los 90 grados el troquíter choca con la glenoide y bloquea la articulación.

- Deltoides

El deltoides es un músculo motor principal para la separación del hombro; son sus fibras medias las responsables de esta acción, ya descritas en los músculos flexores.

La debilidad del deltoides produce la incapacidad de elevar el brazo en abducción contra la acción de la gravedad.

- Supraespinoso.

El supraespinoso y el deltoides actúan conjuntamente en el inicio de la abducción.

Origen: fosa supraespinosa de la escápula.

Inserción: cápsula de la articulación del hombro y carilla superior de la tuberosidad mayor del húmero.

Inervación: C4, C5, C6.

- Trapecio.

Ver músculos flexores.

Con el origen fijo produce la aducción de la escápula realizada fundamentalmente por las fibras medias, con estabilización por parte de las fibras superiores e inferiores; para elevar el brazo por encima de la cabeza (abducción del húmero), la escápula debe ser mantenida en aducción hacia la columna vertebral; el trapecio produce una aducción más completa cuando la escápula está en rotación externa máxima.

Por lo tanto para realizar la abducción del húmero el trapecio actúa a la vez como aductor y rotador externo de la escápula.

- Serrato mayor.

Ver músculos flexores.

Con el origen fijo, produce la abducción de la escápula, la gira de tal forma que la cavidad glenoidea mira en sentido craneal y mantiene firmemente el borde interno de la escápula contra el tórax. Además, las fibras inferiores pueden descender la escápula mientras que las superiores pueden elevarla ligeramente.

1.5.- Músculos aductores

La amplitud de la aducción combinada con la flexión alcanza los 45 grados y combinada a la extensión los 30 grados o algo más.

Son músculos aductores: redondo mayor, dorsal ancho, pectoral mayor y romboides.

- Redondo mayor.

Ver músculos extensores.

- Dorsal ancho.

Ver músculos extensores.

Con el origen fijo realiza la rotación interna, aducción y extensión de la articulación del hombro.

Este músculo es muy importante en movimientos tales como la subida o bajada de las escaleras, deambulación con muletas o levantamiento del cuerpo sobre las barras paralelas, en los cuales los músculos actúan para elevar el cuerpo hacia el brazo fijo, también para la escalada. Todos los aductores y rotadores internos actúan en estos movimientos potentes pero el más importante es el dorsal ancho.

- Pectoral mayor.

Ver músculos flexores.

Sus fibras superiores, además de la flexión, realizan la aducción horizontal del húmero hacia el hombro opuesto.

Sus fibras inferiores producen la aducción horizontal del húmero hacia la cresta ilíaca del lado opuesto.

- Romboides.

Ver músculos extensores.

- Tríceps braquial.

Ver músculos flexores.

La porción larga de este músculo produce la aducción de la articulación del hombro.

1.3.- Músculos rotadores

Tomando como posición de referencia la flexión del codo a 90 grados, la rotación externa del hombro alcanza los 80 grados de amplitud y la interna más allá de los 90, para lo cual el antebrazo debe situarse por detrás del tronco.

En cuanto a los límites de estos movimientos: durante la rotación externa se opone la tensión del ligamento glenohumeral; en la rotación interna éstos se distienden.

La rotación externa la realizan el infraespinoso y el redondo menor.

La rotación interna: dorsal ancho, redondo mayor, pectoral mayor y subescapular.

Todos los músculos anteriores han sido vistos a excepción del infraespinoso y del subescapular que pasamos a estudiar a continuación.

- Infraespinoso.

Origen: dos tercios internos de la fosa infraespinosa de la escápula.

Inserción: carilla media del tubérculo mayor del húmero y cápsula de la articulación del hombro.

Inervación: C5, C6.

La acción de este músculo es la rotación externa de la articulación del hombro y la estabilización de la cabeza del húmero en la cavidad glenoidea durante los movimientos de esta articulación.

- Subescapular

Origen: fosa subescapular de la escápula.

Inserción: tuberosidad menor del húmero y cápsula de la articulación del hombro.

Inervación: C5, C6, C7.

Este músculo produce la rotación interna de la articulación del hombro y estabiliza la cabeza del húmero en la cavidad glenoidea durante los movimientos de esta articulación.

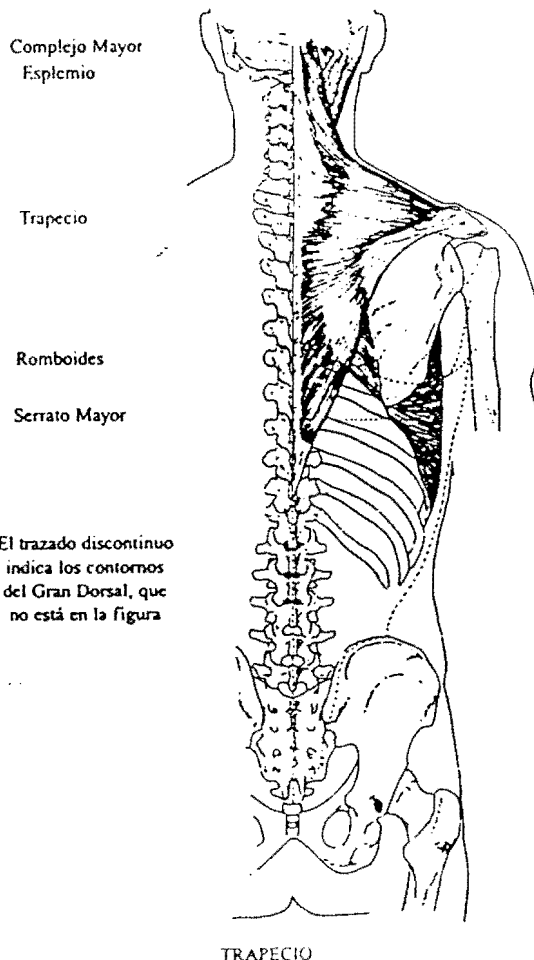


FIGURA 1. Paul Richer

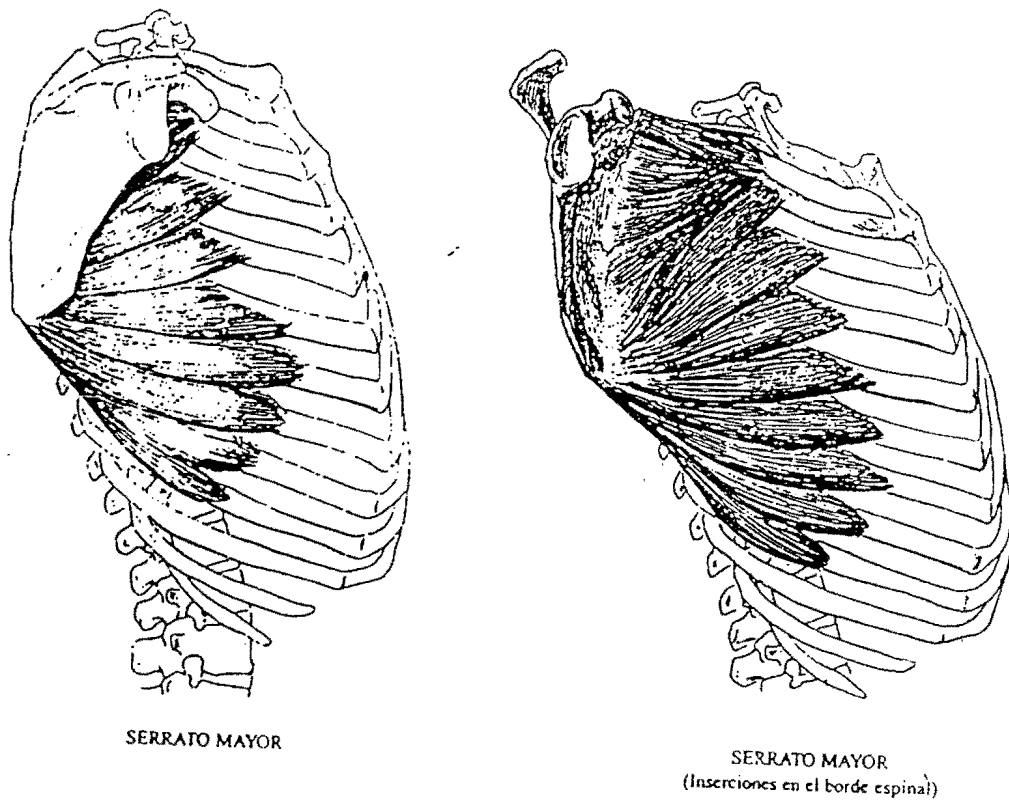
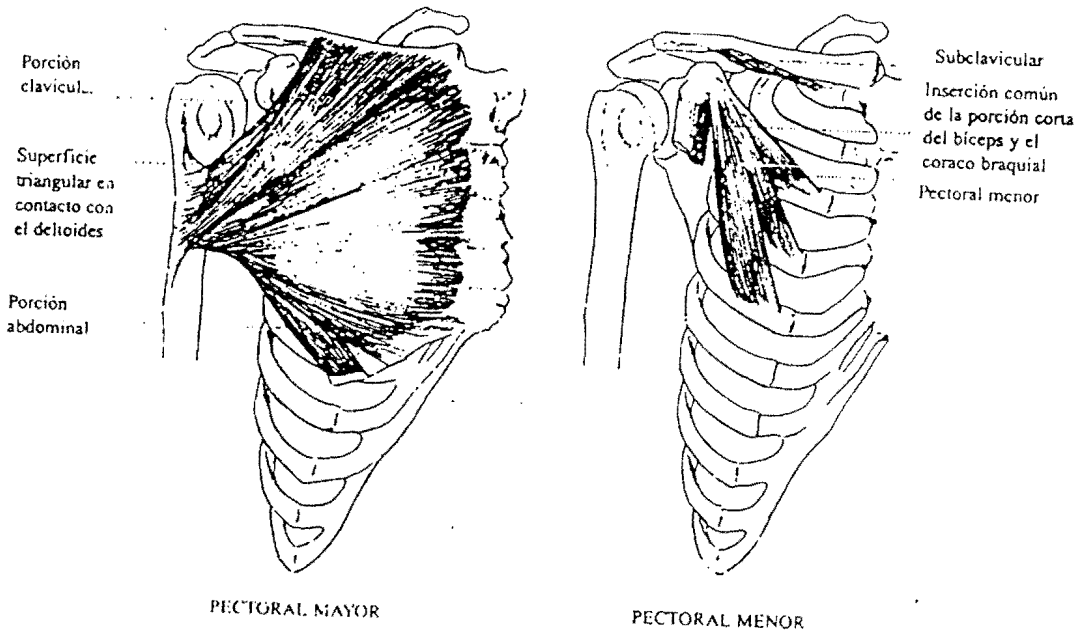
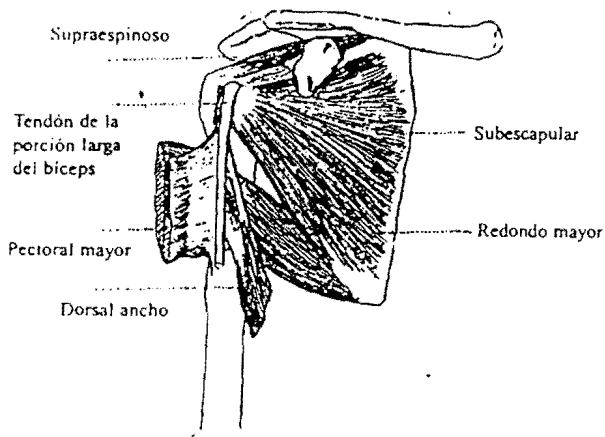
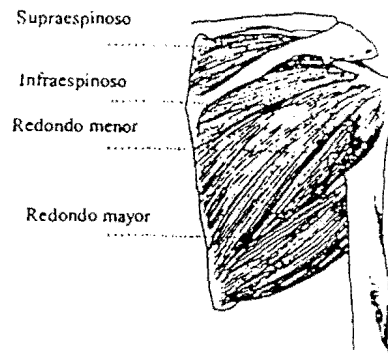


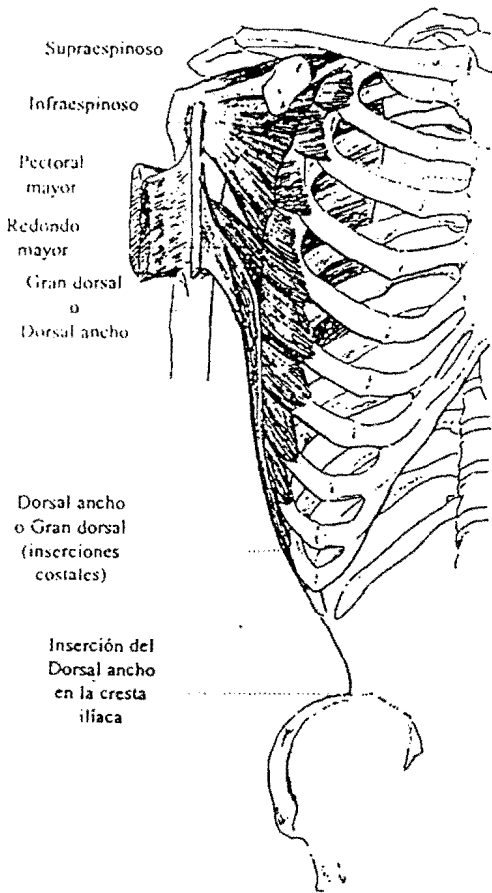
FIGURA 2 A. Paul Richer



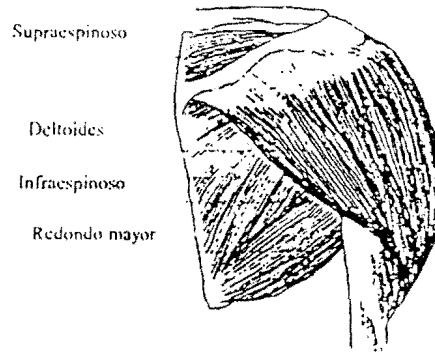
PLANO ANTERIOR



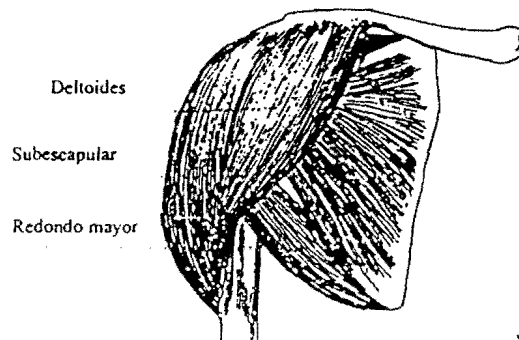
PLANO POSTERIOR



PLANO ANTERIOR



DELTOIDES PLANO POSTERIOR



DELTOIDES. PLANO ANTERIOR

FIGURA 2 B. Paul Richer

075

2.- ARTICULACIÓN DEL CODO

2.1.- Introducción

La parte anatómica formada por el codo, antebrazo, muñeca y mano es la que más lesiones deportivas sufre, después de la extremidad inferior.

La articulación del codo está formada por tres huesos:

- Húmero.
- Cúbito.
- Radio.

Estas tres superficies óseas están unidas por los siguientes ligamentos:

- Ligamento lateral interno.
- Ligamento lateral externo.
- Ligamento anular.

Otros componentes de la articulación son:

- La cápsula sinovial.
- Las bolsas serosas:
 - Bolsa olecraneana.
 - Bolsa húmerorradial.

Los movimientos posibles de esta articulación son:

- Flexión.
- Extensión.

La pronosupinación es un movimiento que la articulación del codo por sí sola no puede realizar; tiene que ser una acción conjunta con la articulación de la muñeca, por lo que se estudiará al hablar de la muñeca.

La musculatura responsable de los movimientos de flexión y extensión del codo se desarrolla a continuación.

2.1.1.- Músculos flexores

La flexión es un movimiento conducido, su amplitud alcanza los 145 grados y se consiguen los 160 grados si el movimiento se fuerza.

En el caso de la flexión activa (movimiento conducido), el límite viene dado por el contacto de las masas musculares anteriores del brazo y del antebrazo. En los movimientos forzados estas masas se aplastan entre sí y los límites son, entonces, la tensión de la parte posterior de la cápsula del tríceps junto al choque óseo de la cabeza radial y la coronoides con la fosita supracondilea y supratrocLEAR, respectivamente.

Los músculos que realizan la flexión son: bíceps braquial, supinador largo y braquial anterior.

Los músculos flexores de la muñeca también ayudan para la flexión del codo.

- **Bíceps braquial.**

Las inserciones e inervación de este músculo se han visto en la articulación del hombro (flexión).

A nivel del codo y con el origen fijo, flexiona la articulación del codo moviendo el antebrazo hacia el húmero; también produce la pronación del antebrazo. Con la inserción fija también realiza la flexión del codo pero esta vez llevando el húmero hacia el antebrazo; es lo que sucede en el ejercicio de levantamiento, por ejemplo.

- **Braquial anterior.**

Origen: mitad distal de la superficie anterior del húmero y tabiques intermusculares interno y externo.

Inserción: tuberosidad y apófisis coronoides del cúbito.

Tiene la misma acción e inervación que el bíceps braquial.

Si el bíceps braquial y el braquial anterior son débiles, está disminuida la capacidad de flexionar el antebrazo contra la acción de la gravedad y existe una acentuada alteración en actividades como peinarse o alimentarse.

-

Origen: en los dos tercios proximales del reborde supracondíleo externo del húmero y en el tabique intermuscular externo.

Inserción: borde externo de la base de la apófisis estiloides del radio.

Inervación: C5, C6.

Este músculo efectúa su acción flexionando el codo; también colabora en la pronación y supinación del antebrazo hasta la posición media.

El supinador largo tiene una acción más potente para la flexión del codo cuando el antebrazo está en pronación (que cuando está en supinación).

Desde la posición de referencia del antebrazo en prolongación del brazo, sólo las personas con gran laxitud en los ligamentos alcanzan de 5 a 10 grados de hiperextensión.

Las limitaciones están representadas por el choque del pico del olécranon con la fosita olecraneana, por la tensión de la parte anterior de la cápsula articular y por la resistencia de los músculos bíceps, braquial anterior y supinador largo.

Los dos músculos principales que realizan la extensión del codo son: tríceps braquial y ancóneo.

- **Tríceps braquial.**

Origen de la porción larga: tubérculo infraglenoideo de la escápula.

Origen de la porción externa: superficies externa y posterior de la mitad proximal del cuerpo del húmero y tabique intermuscular interno.

Origen de la porción interna: dos tercios distales de las superficies interna y posterior del húmero, por debajo del surco radial, y en el tabique intermuscular interno.

Inserción: superficie posterior del olécranon y fascia antebraquial.

Inervación: C6, C7, C8, D1.

Su acción principal es la extensión del codo. Recordaremos que también interviene en la extensión y aducción del hombro.

- Anconeo.

Origen: superficie posterior del epicóndilo externo del húmero.

Inserción: cara externa del olécranon y cuarto superior de la superficie posterior del cuerpo del cúbito.

Inervación: C7, C8.

Su acción es extender el codo y puede estabilizar el cúbito durante la pronación.

La debilidad del tríceps braquial y del anconeo producen una incapacidad para extender el antebrazo contra la acción de la gravedad, limita movimientos como levantar el brazo para coger un objeto elevado, imposibilidad para lanzar o para empujar con el codo extendido, incapacidad para usar muletas o bastones, etc.

Los huesos que componen las articulaciones de la muñeca y mano son:

- Cúbito y radio.
- Primera hilera del carpo con los huesos: escafoides, semilunar, piramidal y pisiforme.

Las dos regiones anteriores forman la articulación radiocarpiana.

- Segunda hilera del carpo con los huesos: trapecio, trapezoide, grande y ganchoso.

La primera y segunda hileras del carpo forman la articulación carpo-carpiana.

- Los metacarpianos, en número de cinco, uno para cada dedo.
- Las falanges: cada dedo tiene tres (proximal, media y distal), excepto el primer dedo que sólo tiene dos.

La segunda hilera del carpo con los metacarpianos forma la articulación metacarpo-carpiana.

Los metacarpos y las falanges proximales forman la articulación metacarpo-falángica.

Finalmente, las falanges entre sí constituyen las articulaciones interfalángicas.

Los tres ligamentos principales de la articulación de la muñeca son:

- Ligamento lateral interno.
- Ligamento lateral externo.
- Ligamento transversal del carpo.

Los movimientos posibles de la muñeca son:

- Flexión.
- Extensión.

- Abducción.
- Aducción.
- Pronosupinación.

Los movimientos de la mano son:

- Flexión.
- Extensión.

1.2. Músculos flexores de la muñeca.

La amplitud máxima de la flexión alcanza aproximadamente los 80 grados, sin llegar a los 90 grados.

La principal limitación viene dada por la tensión del ligamento posterior, con escasa participación de los laterales.

Los músculos principales para la flexión son: palmar mayor, palmar menor y cubital anterior.

Su origen: tendón del flexor común en la epitroclea del húmero y fascia antebraquial profunda.

La inserción: base del segundo y tercer metacarpianos.

Inervación: C6, C7, C8.

Este músculo produce la flexión y abducción de la muñeca; puede ayudar a la pronación del antebrazo y a la flexión del codo.

Su origen: el mismo que el palmar mayor.

Su inserción: ligamento transversal del carpo y aponeurosis palmar.

Inervación: C6, C7, C8, D1.

Su acción es tensar la fascia palmar, flexiona la muñeca y puede ayudar a la flexión del codo y a la pronación del antebrazo.

La debilidad del palmar menor disminuye la capacidad para ahuecar la mano.

• Cubital anterior

El origen: en la epitroclea del húmero y borde interno del olécranon.

Inserción: hueso pisiforme, ganchoso y quinto metacarpiano.

Inervación: C7, C8, D1.

Realiza la flexión y aducción de la muñeca y puede ayudar a la flexión del codo.

1.3. Músculos extensores de la muñeca

La amplitud máxima para la extensión es la misma que para la flexión, 85 grados.

Los límites del movimiento vienen dados por la tensión del ligamento anterior.

Son músculos extensores de la muñeca: primer y segundo radial y cubital posterior. Puede ayudar a esta acción el extensor común de los dedos.

- Primer radial.

Origen: tercio distal del reborde supracondileo externo del húmero y tabique intermuscular externo.

Inserción: borde radial de la superficie dorsal de la base del segundo metacarpiano.

Inervación: C5, C6, C7, C8.

Produce la extensión y abducción de la muñeca y puede ayudar a la flexión del codo.

- Segundo radial.

Origen: epicóndilo externo del húmero, ligamento lateral radial del codo y fascia antebraquial profunda.

Inserción: superficie dorsal de la base del tercer metacarpiano.

Inervación: C5, C6, C7, C8.

Su acción es extender la muñeca y puede colaborar para la abducción.

- Tercer radial (extensor carpi ulnaris).

Origen: epicóndilo externo del húmero, borde posterior del cúbito y en la fascia antebraquial profunda.

Inserción: borde radial de la base del quinto metacarpiano.

Inervación: C6, C7, C8.

Este músculo produce la extensión y la aducción de la muñeca.

- Cuarto radial (extensor digitorum).

Origen: epicóndilo externo del húmero y fascia antebraquial profunda.

Inserción: por medio de cuatro tendones, llegan hasta las falanges distales desde el segundo al quinto dedos.

Inervación: C6, C7, C8.

Este músculo ayuda para la extensión de la muñeca, aunque su principal acción es extender las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas del segundo al quinto dedos.

• Abducción de la muñeca

Hablar de abducción de la muñeca es lo mismo que decir inclinación radial.

La amplitud de este movimiento es muy escasa, 15 grados.

La limitación está representada por la tensión que ofrece el ligamento lateral interno.

Son músculos abductores de la muñeca: palmar mayor, palmar menor, primer y segundo radiales, todos ellos vistos con anterioridad.

• Aducción de la muñeca

La aducción de la muñeca es la inclinación cubital de la misma.

La amplitud de la aducción es de 45 grados y es más amplia en posición de supinación que en posición de pronación.

La tensión del ligamento lateral externo es la que limita la amplitud de este movimiento.

Son músculos aductores el cubital anterior y el posterior, ya vistos.

3.6.- Músculos pronadores

Con el codo en flexión de 90 grados, el pulgar hacia arriba y la palma de la mano hacia dentro, la pronación (palma hacia abajo) llega hasta los 85 grados.

El límite de este movimiento es la tensión del ligamento posterior.

Con el brazo en extensión y sumándole los movimientos de rotación del hombro, la amplitud total llega a alcanzar los 360 grados. Este movimiento precisa de la intervención de las articulaciones radio-cubital superior e inferior.

- *Supinador largo*

Origen del cabo humeral: por encima de la epitróclea y fascia antebraquial profunda.

Origen del cabo cubital: borde radial de la apófisis coronoides del cúbito.

Inserción: en la mitad de la superficie externa del radio.

Inervación: C6, C7.

Produce la pronación del antebrazo y ayuda a la flexión del codo.

La debilidad de este músculo impide muchas funciones de la vida corriente tales como girar el pomo de una puerta, el uso del cuchillo para cortar, o el giro de la mano hacia abajo para coger una copa u otros objetos.

- *Supinador corto*

Origen: borde interno de la superficie anterior del cuarto distal del cúbito.

Inserción: borde lateral de la superficie anterior del cuarto distal del radio.

Inervación: C7, C8, D1.

Su única acción es la pronación del antebrazo.

Con el codo en flexión de 90 grados, el pulgar hacia arriba y la palma de la mano hacia dentro, la supinación (palma hacia arriba) llega hasta los 90 grados.

El límite de este movimiento es la tensión del ligamento anterior.

Al igual que en la pronación con el brazo en extensión y sumándole los movimientos de rotación del hombro, la amplitud total llega a alcanzar los 360 grados. Este movimiento precisa de la intervención de las articulaciones radio-cubital superior e inferior.

- *Supinador corto*

Origen: epicóndilo externo del húmero, ligamento lateral radial de la articulación del codo, ligamento anular del radio y cresta de los supinadores del cúbito.

Inserción: superficie externa del tercio superior del cuerpo del radio que recubre parte de las superficies anterior y posterior.

Su debilidad permite que el codo permanezca en posición de pronación; altera, sobre todo, aquellas funciones que implican la auto-alimentación.

3.8.- *Músculos flexores de la mano*

La flexión metacarpo-falángica tiene una amplitud de 90 grados.

La flexión interfalángica tiene-también una amplitud de 90 grados.

Los músculos responsables de esta acción son:

- Flexor superficial de los dedos.
- Flexor profundo de los dedos.
- Lumbricales.
- Flexor corto del meñique.
- Flexor largo del pulgar.
- Flexor corto del pulgar.

La extensión de la mano tiene una amplitud de 30 a 49 grados en los movimientos activos y hasta los 90 grados en los movimientos forzados, en caso de sujetos muy flexibles.

Los músculos responsables de esta acción son:

- Extensor común de los dedos.
- Extensor propio del meñique.
- Extensor propio del índice.
- Extensor largo del pulgar.
- Extensor corto del pulgar.

MÚSCULOS DEL BRAZO

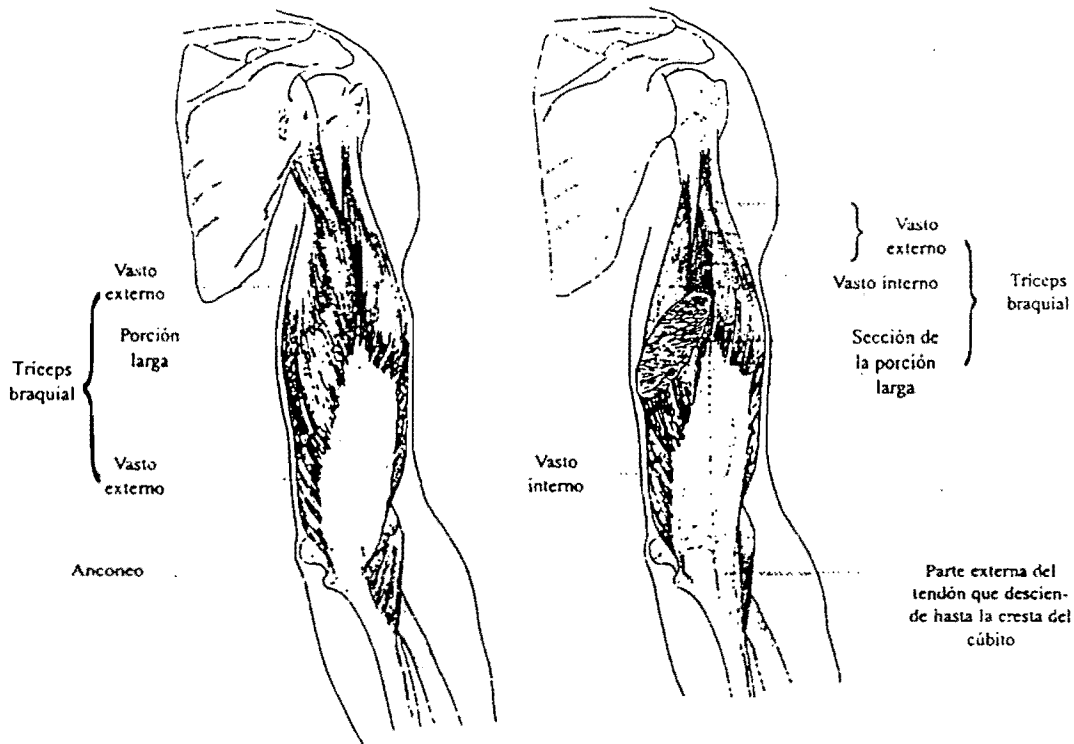
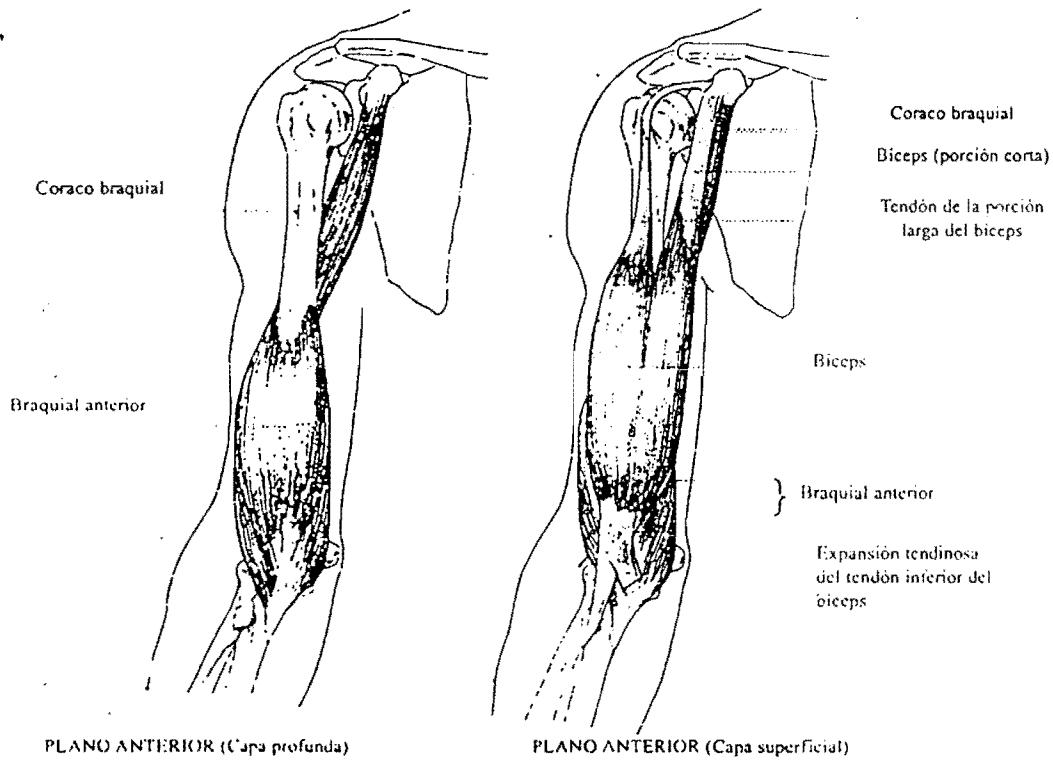


FIGURA 3. Paul Richer

MÚSCULOS DEL ANTEBRAZO (Parte anterior)

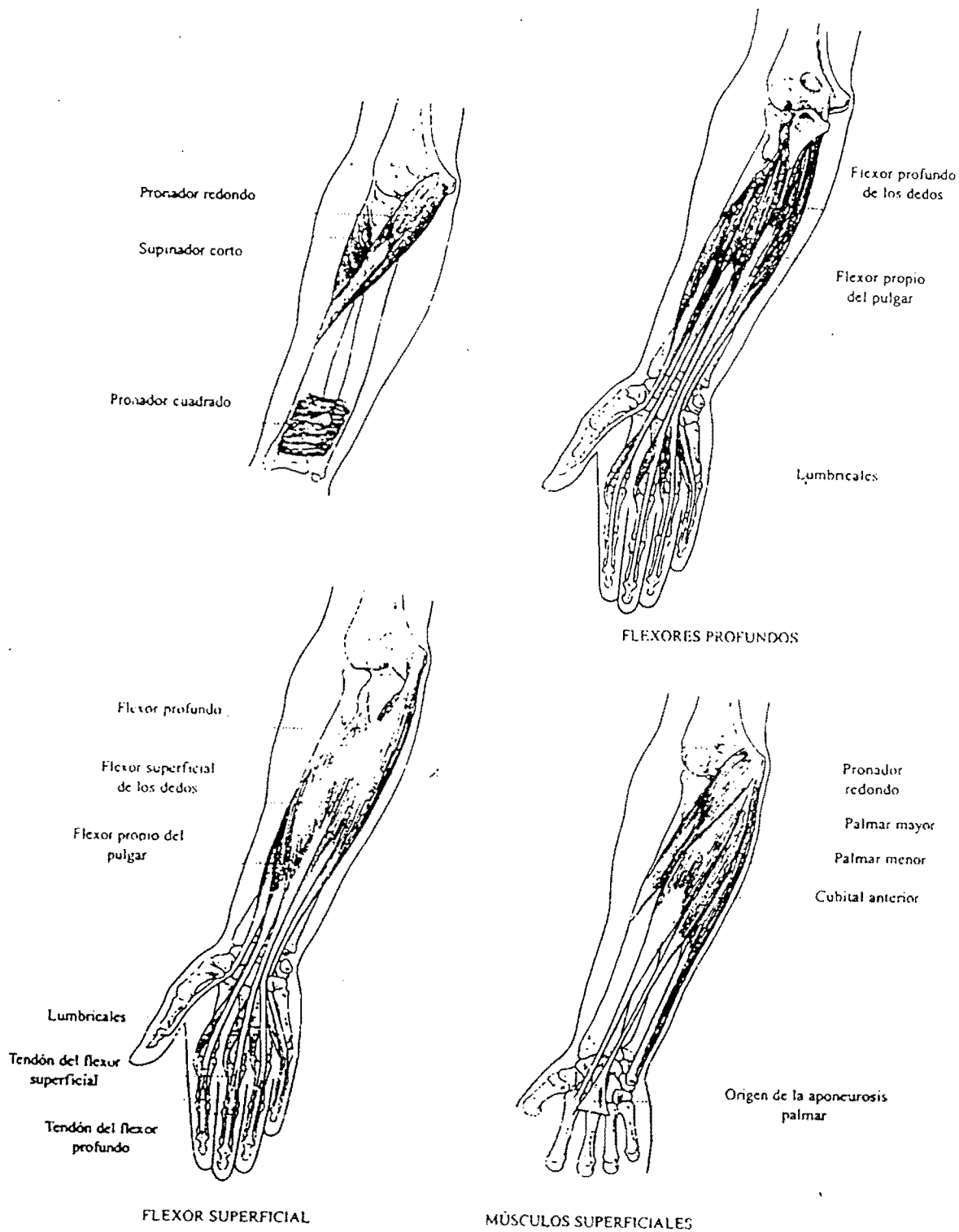
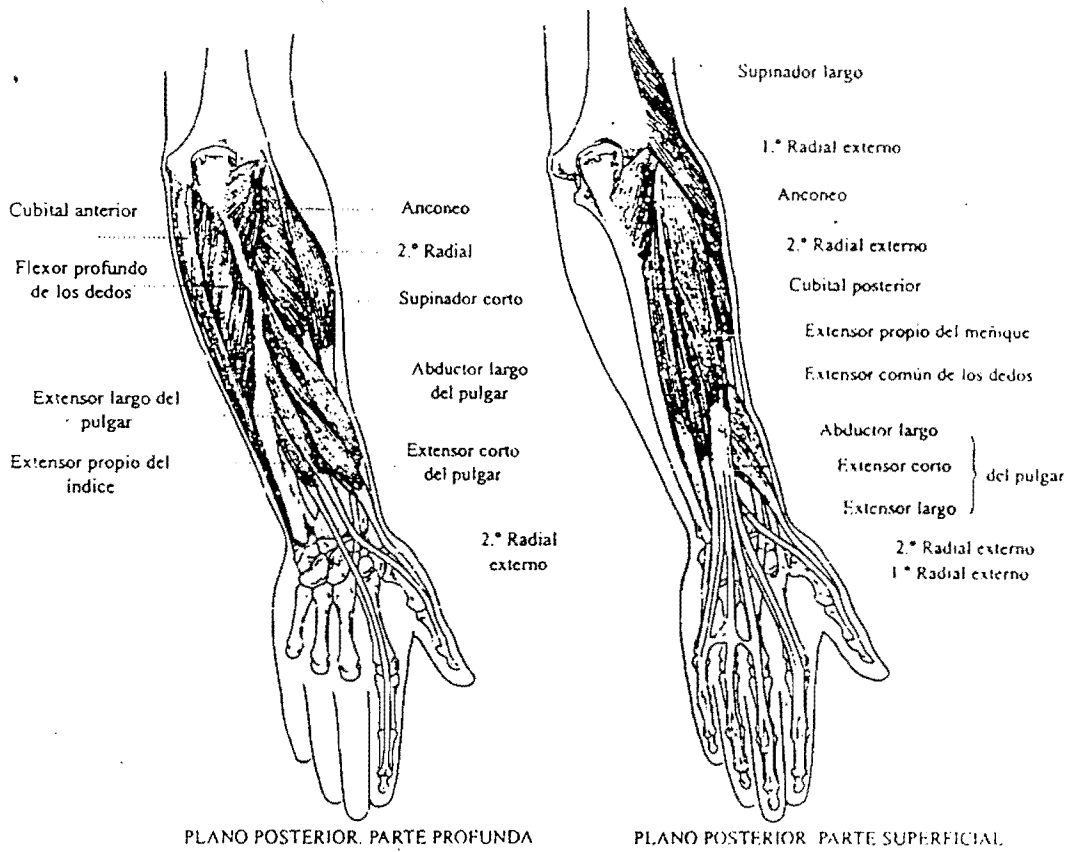


FIGURA 4. Paul Richer

MÚSCULOS DEL ANTEBRAZO Y DE LA MANO



PLANO POSTERIOR. PARTE PROFUNDA

PLANO POSTERIOR. PARTE SUPERFICIAL

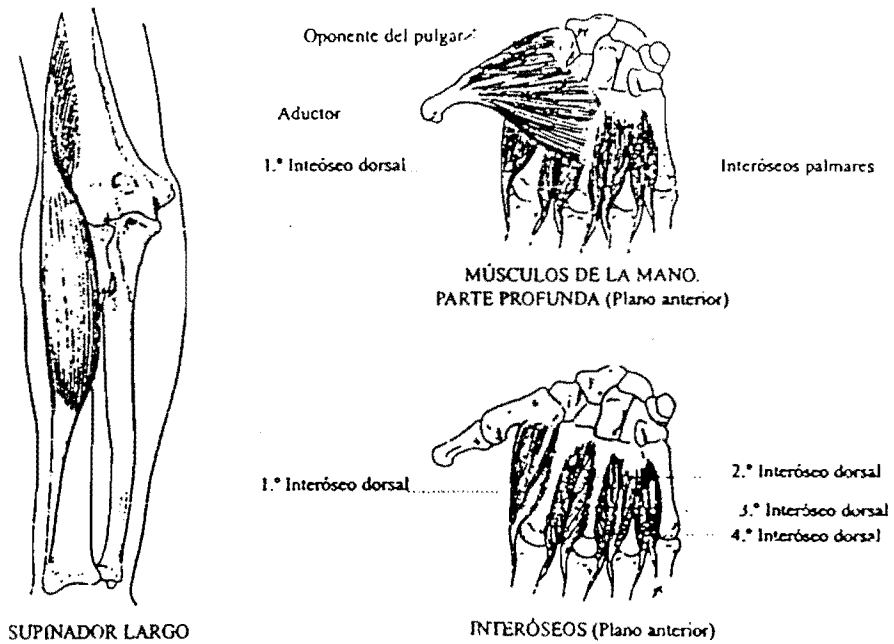
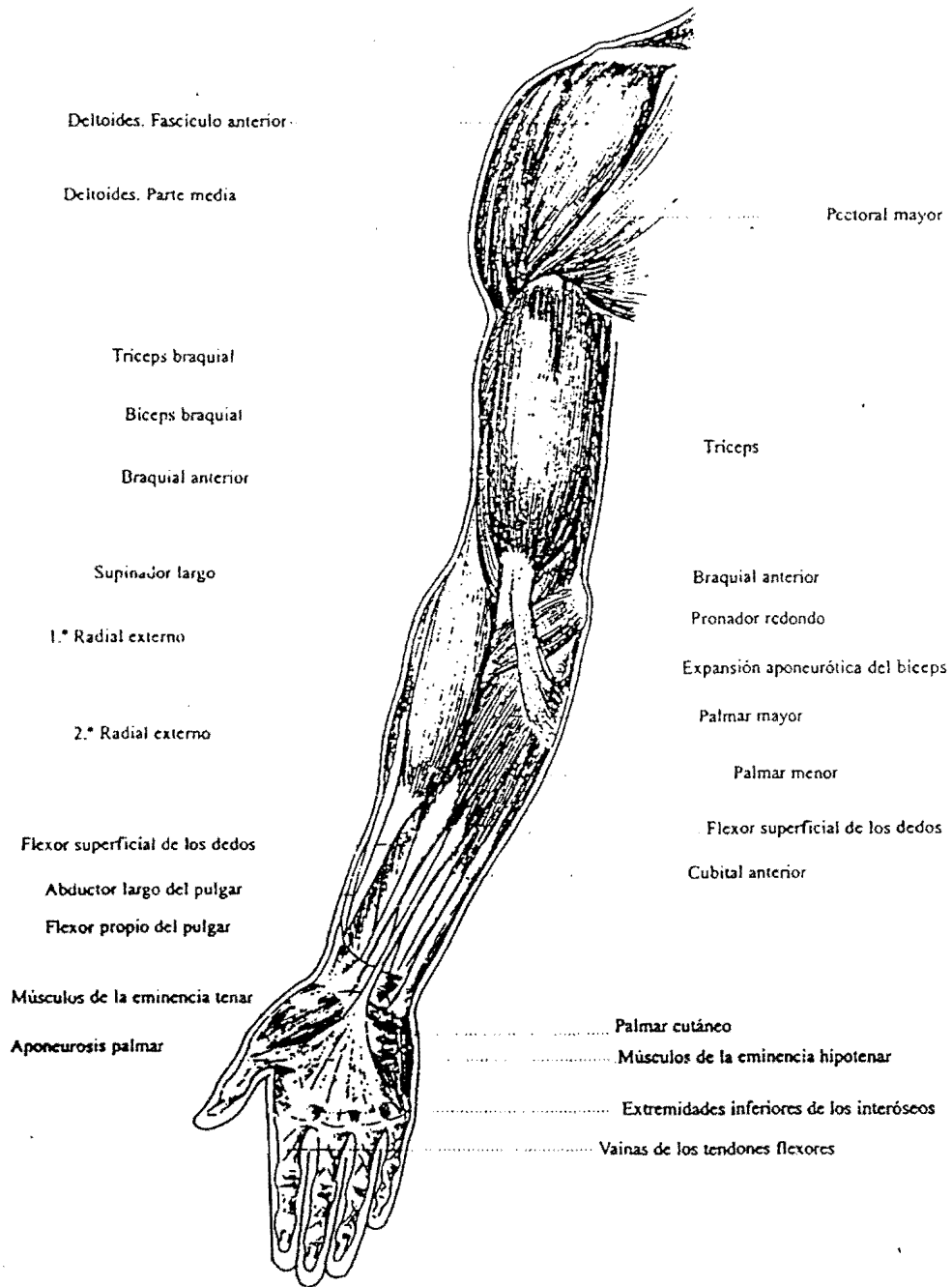


FIGURA 5. Paul Richer

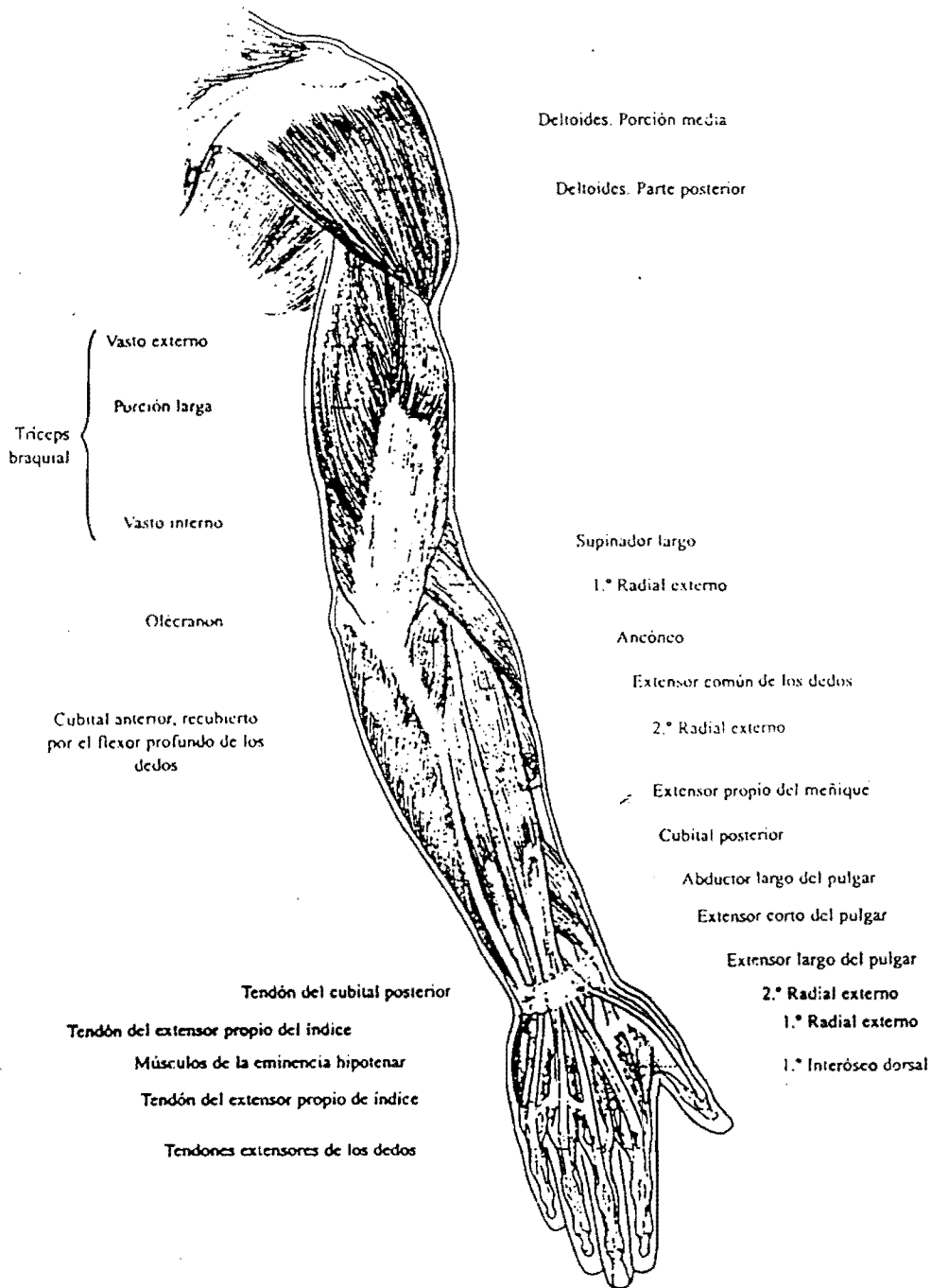
MÚSCULOS DE LA EXTREMIDAD SUPERIOR



PLANO ANTERIOR

FIGURA 6. Paul Richer

MÚSCULOS DE LA EXTREMIDAD SUPERIOR



PLANO POSTERIOR

FIGURA 7. Paul Richer

RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

A continuación y a modo de cuadro se resumen los músculos principales que intervienen en los diferentes movimientos articulares de la extremidad superior.

ARTICULACIÓN	GRUPO MUSCULAR	ACCIÓN
HOMBRO	Deltoides Coracobraquial Pectoral mayor Trapecio Serrato mayor Bíceps braquial	FLEXIÓN
	Redondo mayor Redondo menor Deltoides Dorsal ancho Romboides Trapecio Tríceps braquial	EXTENSIÓN
	Deltoides Supraespinoso Trapecio Serrato mayor	ABDUCCIÓN
	Redondo mayor Dorsal ancho Pectoral mayor Romboides Tríceps braquial	ADUCCIÓN
	Infraespinoso Redondo menor	ROTACIÓN EXTERNA
	Dorsal ancho Redondo mayor Pectoral mayor Subescapular	ROTACIÓN INTERNA

CODO	Bíceps braquial Supinador largo Braquial anterior	FLEXIÓN
	Tríceps braquial Ancóneo	EXTENSIÓN
MUÑECA	Palmar mayor Palmar menor Cubital anterior	FLEXIÓN
	Primer radial Segundo radial Cubital posterior	EXTENSIÓN
	Palmar mayor Palmar menor Primer radial Segundo radial Cubital anterior Cubital posterior Pronador redondo Pronador cuadrado Supinador corto	ABDUCCIÓN ADUCCIÓN PRONACIÓN SUPINACIÓN
MANO	Flexor superficial de los dedos Flexor profundo de los dedos Lumbricales Flexor corto del meñique Flexor largo del pulgar Flexor corto del pulgar	FLEXIÓN
	Extensor común de los dedos Extensor propio del meñique Extensor propio del índice Extensor largo del pulgar Extensor corto del pulgar	EXTENSIÓN

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel *et al.* (1997), "Extremidad inferior", en *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Mira, pp. 41-67.



SEGUNDO NIVEL

490

1. ARTICULACIÓN DE LA CADERA
 - 1.1. Introducción.
 - 1.2. Músculos flexores.
 - 1.3. Músculos extensores.
 - 1.4. Músculos abductores.
 - 1.5. Músculos aductores.
 - 1.6. Músculos rotadores.
2. ARTICULACIÓN DE LA RODILLA
 - 2.1. Introducción.
 - 2.2. Músculos flexores.
 - 2.3. Músculos extensores.
 - 2.4. Músculos rotadores.
3. ARTICULACIÓN DEL TOBILLO Y PIE
 - 3.1. Introducción.
 - 3.2. Músculos flexores.
 - 3.3. Músculos extensores.
 - 3.4. Músculos abductores, aductores y rotadores.
 - 3.5. Músculos flexores y extensores del pie.

En este tema se estudian las articulaciones de la extremidad inferior, haciendo un repaso más detallado de las diferentes acciones musculares.

1.- ARTICULACIÓN DE LA CADERA

1.1.- Introducción

La cadera y el hombro son las dos articulaciones de la anatomía que más movilidad tienen.

La cadera posee tres ejes de función:

- Un eje transversal, en el plano frontal, que permite la flexión y la extensión.
- Un eje anteroposterior, en el plano sagital, que permite los movimientos de abducción y la aducción.
- Un eje vertical, en el plano transversal, que permite los movimientos de rotación interna y externa.

El recuerdo anatómico puede verse en el *Manual del Técnico Deportivo –primer nivel–*.

A continuación se estudiará la musculatura responsable de las diferentes posibilidades de movimiento de la articulación de la cadera.

1.2.- Amplitud de Movimiento

El movimiento de flexión de la cadera alcanza los 90 grados con la rodilla en extensión y en un movimiento conducido.

El movimiento, tanto si se realiza con la rodilla extendida como flexionada, no tiene ninguna limitación de tipo ligamentoso ya que éstos se distienden. La principal limitación al movimiento con la rodilla en extensión es la tensión que producen los músculos isquiotibiales: semimembranoso, semitendinoso y bíceps crural.

El movimiento de flexión de la cadera con la rodilla también en flexión y en movimiento conducido llega a alcanzar los 120 grados de amplitud, mientras que si es un movimiento forzado se llegan a los 145 grados.

En los movimientos forzados con la rodilla flexionada, el único tipo de limitación es el de choque de la parte superior del muslo con el abdomen.

- Psoas iliaco.

El músculo psoas iliaco es el resultado de dos músculos que vamos a diferenciar a continuación:

Psoas mayor:

El origen de este músculo está en las superficies ventrales de las apófisis transversas de todas las vértebras lumbares, en las porciones laterales de los cuerpos y en los discos intervertebrales correspondientes desde la última vértebra dorsal a la quinta lumbar y arcos membranosos que se extienden sobre las porciones laterales de los cuerpos de las vértebras lumbares.

Su inserción es en el trocánter menor del fémur.

Inervación: L1, L2, L3, L4.

Iliaco:

Origen: dos tercios superiores de la fosa iliaca, labio interno de la cresta iliaca, ligamentos ileolumbar y sacroiliaco ventral y ala del sacro.

Inserción: borde interno del tendón del psoas mayor y porción distal del trocánter menor.

Inervación: L1, L2, L3, L4.

El músculo psoas iliaco con los orígenes fijos flexiona la articulación de la cadera sobre el tronco y puede ayudar a la rotación externa y a la abducción.

Con la inserción fija y actuando bilateralmente flexiona el tronco sobre el fémur.

El psoas mayor, al actuar bilateralmente y con las inserciones fijas, puede aumentar la lordosis lumbar; actuando unilateralmente, ayuda a la flexión externa del tronco hacia el mismo lado.

Es frecuente encontrar acortados los músculos flexores de la cadera, especialmente, el psoas iliaco, con lo que la articulación de la cadera se aprecia en posición viciosa de flexión.

• **Tensor de la fascia lata.**

Origen: espina iliaca anterosuperior.

Inserción: porción proximal de la superficie interna de la tibia, cerca de su borde anterior.

Inervación: L2, L3, L4.

Al accionarse este músculo produce la flexión, rotación externa y abducción de la articulación de la cadera.

• **Músculo cuádriceps femoral.**

Origen: porción anterior del labio externo de la cresta iliaca, superficie externa de la espina iliaca anterosuperior y superficie profunda de la fascia lata.

Inserción: en la cintilla iliotibial de la fascia lata, a nivel de los tercios proximal y medio del muslo.

Inervación: L4, L5, S1.

Este músculo produce la flexión, rotación interna y abducción de la cadera. Puede ayudar a la extensión de la rodilla.

El tensor de la fascia lata refuerza la articulación de la rodilla junto al ligamento lateral externo.

El acortamiento bilateral de este músculo lleva a la inclinación pélvica anterior en bipedestación. Si es unilateral existe una inclinación lateral en el lado del acortamiento; la rodilla de dicho grado tenderá a la posición de valgo.

Si el tensor de la fascia lata está retraído como un flexor de la cadera, existe una inclinación pelviana anterior y rotación interna del fémur.

• **Cuádriceps.**

Se llama músculo cuádriceps femoral o crural al formado por cuatro vientres musculares que son: recto anterior, vasto interno, vasto medio y vasto externo.

Origen del recto anterior: espina iliaca anteroinferior.

Origen del vasto externo: porción proximal de la línea intertrocanterea, bordes anterior e inferior del trocánter mayor, labio externo de la tuberosidad glútea, mitad proximal del labio externo de la línea áspera y tabique intermuscular externo.

Origen del vasto medio: superficies anterior y externa de los dos tercios proximales del cuerpo del fémur, tercio distal de la línea áspera y tabique intermuscular externo.

Origen del vasto interno: mitad distal de la línea intertrocanterea, labio interno de la línea áspera, porción proximal de la línea supracondílea interna, tendones de los aductores largo y mayor y tabique intermuscular interno.

Inserción: borde proximal de la rótula hasta el ligamento rotuliano y tuberosidad de la tibia.

Inervación: L2, L3, L4.

La porción del recto anterior produce al accionarse la flexión de la articulación de la cadera. El cuádriceps en su conjunto tiene como acción fundamental la extensión de la rodilla.

La debilidad de este músculo altera la función de subir y bajar escaleras, el caminar sobre un plano inclinado o la acción de levantarse a partir de la posición sedente. Su debilidad es causa también de hiperextensión de la rodilla, en el sentido de que un individuo con un cuádriceps débil fija la articulación de la rodilla con una hiperextensión de la misma. El impulso continuado en la dirección de hiperextensión en los niños en crecimiento puede ser causa de deformidad.

El acortamiento del cuádriceps produce la limitación de la flexión de la rodilla. El acortamiento del recto anterior lleva a la limitación de la flexión de la rodilla cuando la cadera está extendida o a la limitación de la extensión de la cadera cuando la rodilla está flexionada.

- *Recto anterior*

Se estudiará con los aductores de la cadera; simplemente reseñar aquí su acción como flexor de la cadera.

- *Recto medio*

Ver aductores de la cadera.

1.2. Músculos extensores

Con la rodilla flexionada y en un movimiento conducido se alcanzan unos 10 grados de extensión en la articulación de la cadera. En un movimiento forzado se puede llegar a los 20 ó 30 grados.

Con una pierna extendida la amplitud de movimiento de extensión de la cadera, llega hasta los 20 grados y en esta misma posición, forzando el movimiento, se puede llegar hasta los 30 grados.

Tanto en los movimientos con la rodilla flexionada como en los que permanece extendida, el movimiento se encuentra limitado por un lado por la tensión del ligamento de Bertin (ileofemoral), y por otro, por la resistencia que ofrecen los músculos recto anterior, psoas ilíaco, sartorio y tensor de la fascia lata.

- Glúteo mayor.

Origen: línea glútea posterior del ilion y porción del hueso superior y posterior a ella, superficie posterior de la parte inferior del sacro, cara lateral del cóccix, aponeurosis de los erectores espinales, ligamento protuberositario y aponeurosis glútea.

Inserción: cintilla iliotibial de la fascia lata y tuberosidad glútea del fémur.

Inervación: L5, S1, S2.

Este músculo produce extensión y rotación externa de la cadera. Las fibras inferiores ayudan a la aducción y las superiores a la abducción.

La debilidad bilateral del glúteo mayor hace obligatorio el uso de muletas debido a que dificulta extraordinariamente la deambulación.

- **Biceps femoral**

También llamado biceps femoral (músculo externo de la corva), es un músculo con dos porciones.

Origen de la porción larga: parte distal del ligamento sacrotuberositario y parte posterior de la tuberosidad del isquion.

Origen de la porción corta: labio externo de la línea áspera, dos tercios proximales de la línea supracondilea y tabique intermuscular externo.

Inserción: cara lateral de la cabeza del peroné, meseta externa de la tibia y fascia profunda en el lado externo de la pierna.

La porción larga del biceps femoral extiende y ayuda a la rotación externa de la cadera. Las porciones larga y corta producen la flexión y rotación externa de la articulación de la rodilla.

Inervación de la porción larga: L5, S1, S2, S3.

Inervación de la porción corta: L5, S1, S2.

-

Origen: tuberosidad del isquion en la parte proximal y externa con respecto al biceps femoral y al semitendinoso.

Inserción: cara posterointerna de la meseta interna de la tibia.

Los músculos semimembranoso y semitendinoso (músculos internos de la corva) tienen la misma acción: extienden y ayudan a la rotación interna de la articulación de la cadera. Producen la flexión y la rotación interna de la articulación de la rodilla.

Inervación: L4, L5, S1, S2.

- **Semitendinoso**

Origen: tuberosidad del isquion por medio de un tendón común con la porción larga del biceps femoral.

Inserción: porción proximal de la superficie interna del cuerpo de la tibia y fascia profunda de la pierna.

Semimembranoso y semitendinoso tienen la misma acción sobre la articulación de la cadera.

Inervación: la misma que el semimembranoso.

Al grupo muscular formado por biceps femoral, semimembranoso y semitendinoso se denomina músculos isquiotibiales.

La debilidad de los músculos isquiotibiales llevan a la rodilla a la hiperextensión. Cuando esta debilidad es bilateral la pelvis se inclina hacia adelante y la columna lumbar adopta una posición lordótica.

La debilidad de los músculos internos de la corva disminuye la estabilidad interna de la articulación de la rodilla, llevando a la rodilla hacia el valgo y tendencia a la rotación externa de la pierna sobre el fémur.

La debilidad de los músculos externos de la corva desestabilizan la región externa de la rodilla, de tal manera que durante la carga la pierna tiende a arquearse.

Tal vez más frecuente que la debilidad sea la contractura de los músculos isquiotibiales, lo que causa una posición de la rodilla en flexión, pudiendo llegar a la inclinación posterior de la pelvis con aplanamiento o rectificación de la columna lumbar y disminución de la flexión de la misma.

Músculo glúteo medio

Llevando el movimiento hasta el límite de máxima amplitud de abducción de la cadera, se pueden alcanzar los 90 grados en un movimiento conducido y hasta los 180 si se fuerza la articulación.

Articularmente el movimiento está limitado por la tensión del ligamento ileofemoral. Muscularmente se oponen al movimiento los músculos aductores: aductor mayor, aductor menor, aductor mediano, recto interno y pectíneo.

Origen: superficie externa del ilion entre las líneas glúteas anterior e inferior y reborde de la escotadura ciática mayor.

Inserción: borde anterior del trocánter mayor y cápsula de la articulación de la cadera.

Este músculo produce la abducción y rotación interna de la cadera; también puede ayudar a la flexión de la misma.

La contractura y acortamiento de este músculo lleva a la abducción y rotación interna del muslo; en bipedestación se observa una inclinación pélvica externa más baja en el lado del acortamiento; además hay una rotación interna del fémur.

Inervación: L4, L5, S1.

Origen: superficie externa del ilion entre la cresta iliaca y la línea glútea posterior en la parte dorsal. En la parte ventral su origen está en la línea glútea anterior. También en la aponeurosis glútea.

Inserción: superficie externa del trocánter mayor.

Su acción consiste en la abducción de la articulación de la cadera. Las fibras anteriores efectúan la rotación interna y pueden ayudar a la flexión de la articulación de la cadera. Sus fibras posteriores producen la rotación externa y pueden ayudar a la extensión de la cadera.

El glúteo mediano es el estabilizador externo principal de la articulación de la cadera en la posición de bipedestación, por lo que requiere una buena potencia para la función normal.

Inervación: L4, L5, S1.

• Tensor de la fascia lata.

Ya explicado en los flexores de la cadera.

- **Extensora lateral**

Ya visto como extensor de la articulación de la cadera.

- **Flexora**

Se verá junto a los rotadores externos de la cadera.

La debilidad discreta unilateral de los abductores de la cadera se observa con frecuencia asociada a una inclinación lateral de la pelvis; los abductores son débiles en el lado ligeramente más elevado de la pelvis. Como resultado de una desviación pelviana unilateral, la columna vertebral se desvía con la convexidad hacia el lado opuesto y el hombro (del mismo lado de la lesión), para compensar, desciende.

Existe una aducción relativa cuando, estando la articulación de la cadera en abducción, ésta se lleva hacia dentro.

La aducción pura no existe debido a que una extremidad inferior tropieza con la otra. Por lo tanto, los grados de aducción se miden en los movimientos que combinan la aducción con la flexión y con la extensión.

En ambos casos de aducción combinada, la amplitud máxima del movimiento alcanza los 30 grados.

La limitación al movimiento es la que ofrece el ligamento ileofemoral.

- **Origen:** superficie de la rama superior del pubis, entre la eminencia iliopectínea y el tubérculo del pubis.

Inserción: línea pectínea del fémur.

Inervación: L2, L3, L4.

- **Origen:** rama pubiana inferior, rama del isquion (fibras anteriores) y tuberosidad isquiática (fibras posteriores).

Inserción: por dentro de la tuberosidad glútea, parte media de la línea áspera, línea supracondílea interna y tubérculo aductor del cóndilo interno del fémur.

Inervación: L2, L3, L4, L5, S1.

- **Origen:** superficie externa de la rama inferior del pubis.

Inserción: dos tercios distales de la línea pectínea y mitad proximal del labio interno de la línea áspera.

Inervación: L2, L3, L4.

- **Aductor largo**

Origen: cara anterior del pubis en la unión de la cresta con la sínfisis.

Inserción: tercio medio del labio interno de la línea áspera.

Inervación: L2, L3, L4.

- Recto interno.

Origen: mitad inferior de la sínfisis pubiana y reborde interno de la rama inferior del pubis.

Inserción: Porción proximal de la superficie interna del cuerpo de la tibia, distal a la meseta.

Inervación: L2, L3, L4.

Todos los músculos anteriormente expuestos producen aducción de la articulación de la cadera. Además, el pectíneo, aductor menor y aductor largo flexionan dicha articulación. El recto interno también realiza la flexión y rotación interna de la articulación de la rodilla.

- Rotación externa.

Será explicado en su principal acción que es la rotación externa de la cadera.

- Medición de la rotación.

Para medir la amplitud de la rotación el sujeto debe tener la pierna flexionada en 90 grados.

La rotación externa (la cabeza del fémur gira hacia dentro) alcanza los 60 grados de amplitud, y la rotación interna (el fémur gira hacia afuera) llega tan sólo a alcanzar de 30 a 40 grados.

En la rotación externa son los ligamentos pubofemoral y el fascículo iliopetrotrocantéreo del iliofemoral los que se ensanchan limitando el movimiento.

En la rotación interna, la limitación está representada por la tensión del ligamento isquiofemoral.

-

Origen: superficie pelviana del sacro entre los agujeros sacros y por fuera de los mismos, reborde del agujero ciático mayor y superficie pelviana del ligamento sacrotuberossario.

Inserción: borde superior del trocánter mayor.

Inervación: L5, S1, S2.

- Cúbito externo.

Origen: parte proximal del borde externo de la tuberosidad del isquion.

Inserción: parte proximal de la línea que se extiende en sentido distal a partir de la cresta intertrocantérea.

Inervación: L4, L5, S1.

- Obturador interno.

Origen: superficie interna o pelviana de la membrana obturatriz y borde del agujero obturador, superficie pelviana de la parte posterior del isquion y proximal al agujero obturador y en ligera extensión en la fascia obturatriz.

Inserción: superficie interna del trocánter mayor, en la parte proximal a la fosa trocantérea.

Inervación: L5, S1, S2.

- Obturador externo.

Origen: ramas del pubis e isquion y superficie externa de la membrana obturatriz.

Inserción: fosa trocantérea del fémur.

Inervación: L3, L4.

- Gémino superior.

Origen: superficie externa de la espina del isquion.

Inserción: juntamente con el tendón del obturador interno, en la superficie interna del trocánter mayor.

Inervación: L5, S1, S2.

- Gémino inferior.

Origen: parte proximal de la tuberosidad del isquion.

Inserción: juntamente con el tendón del obturador interno, en la superficie interna del trocánter mayor.

Inervación: L4, L5, S1.

Todos los músculos citados anteriormente realizan la rotación externa de la articulación de la cadera. El cuadrado crural y el obturador externo pueden ayudar además a la aducción de la cadera. El piramidal, obturador interno y géminos pueden ayudar a la abducción cuando la cadera está flexionada.

La debilidad de estos músculos provoca una rotación interna del fémur acompañada por pronación del pie y tendencia a la posición de la rodilla en valgo.

La contractura de los rotadores externos fija la articulación en rotación externa y generalmente en abducción.

- Glúteo mayor.

Ya explicado en los músculos extensores de la cadera.

- Glúteo menor.

Ya visto.

- Glúteo mediano.

Ya visto.

ROTADORES INTERNOS

- Semimembranoso y semitendinoso.
- Glúteo menor.
- Glúteo mediano.
- Tensor de la fascia lata.

Todos los músculos que intervienen en la rotación interna han sido ya explicados.

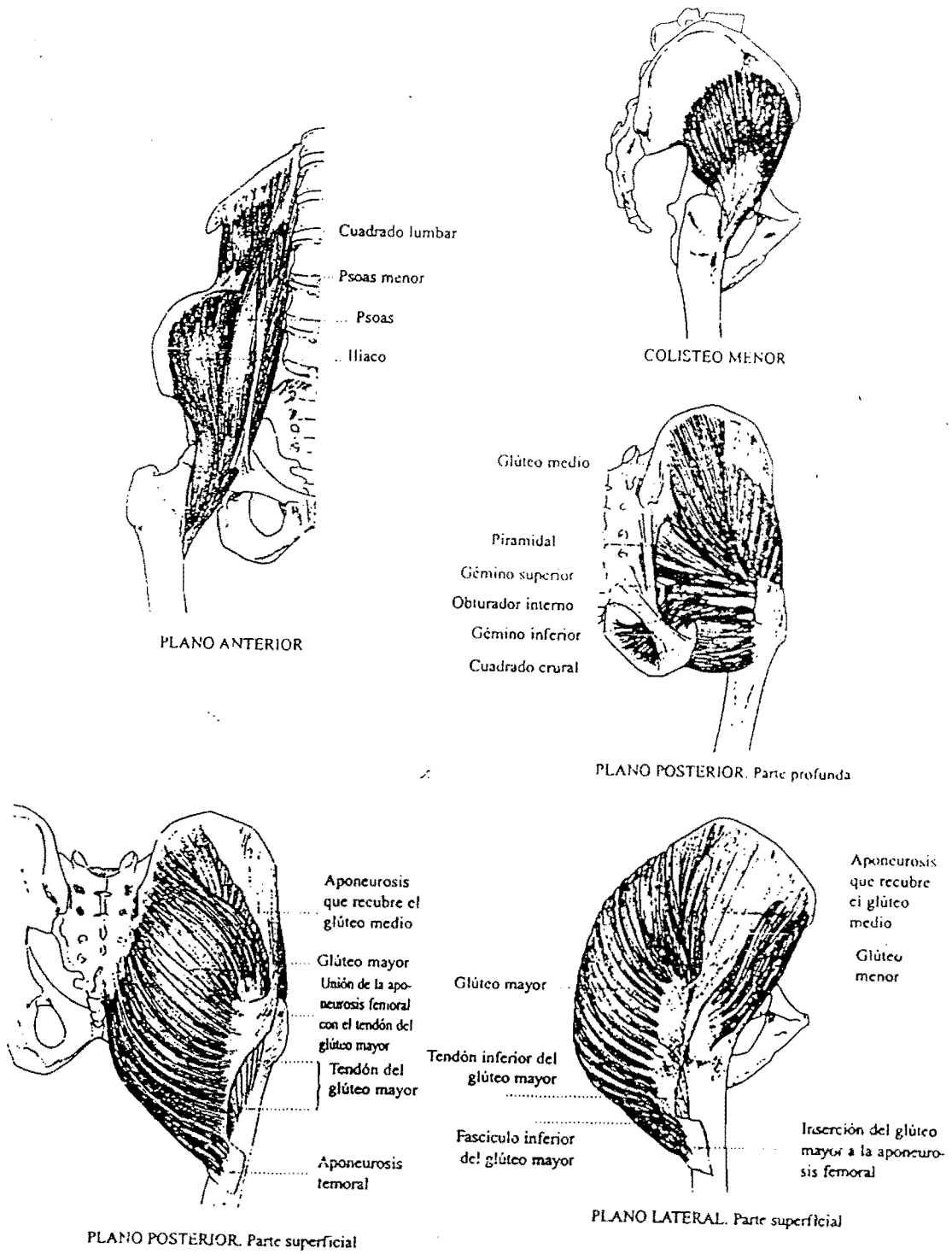
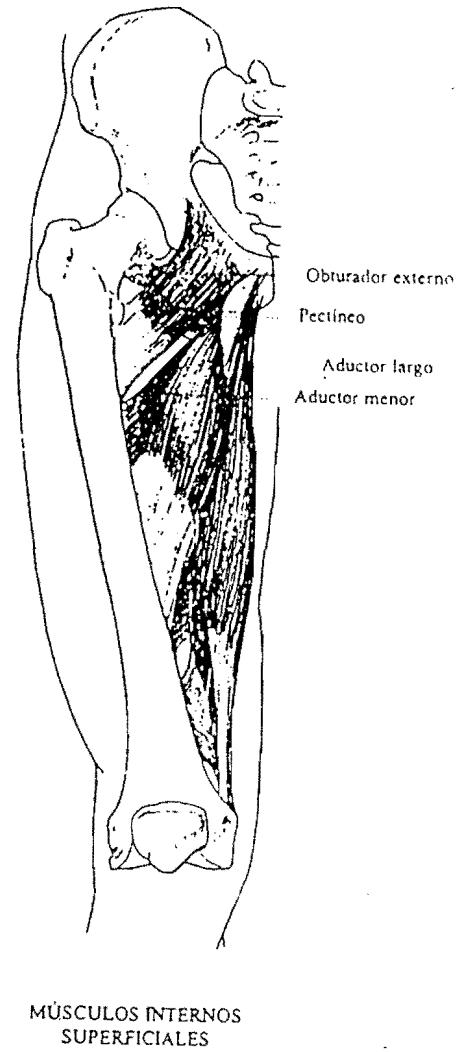
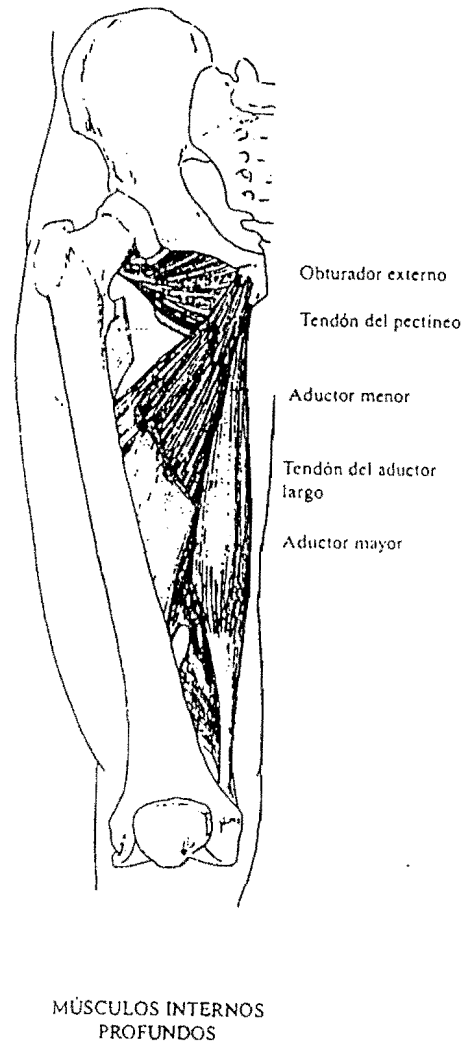
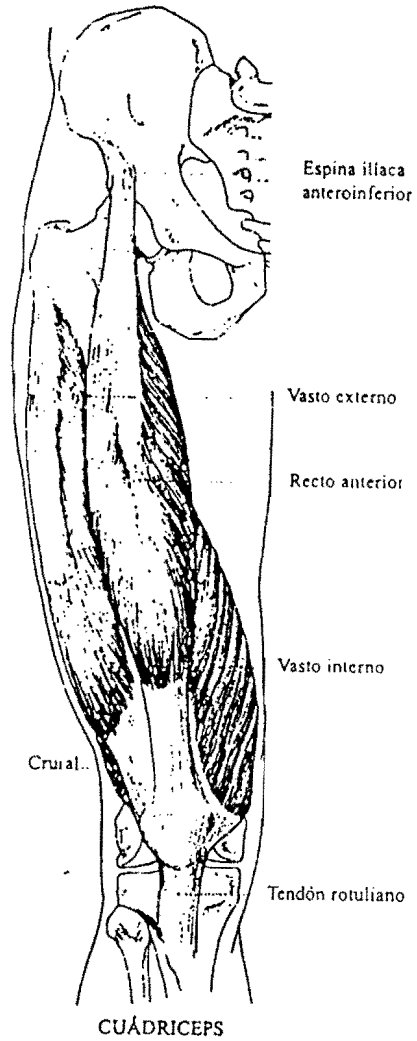


FIGURA 8. Paul Richer

FIGURA 9. Paul Richer



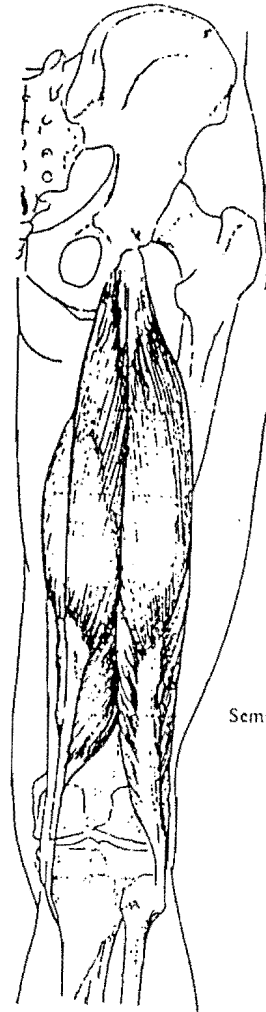
MÚSCULOS DEL MUSLO

FIGURA 10. Paul Richer



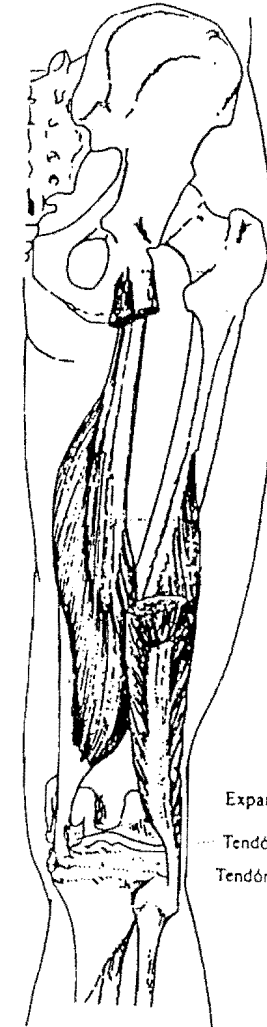
ADUCTOR MAYOR.
Plano posterior

Inserción del isquión
Aductor mayor
Tendón inferior



MÚSCULOS DE LA PARTE POSTERIOR.
Parte superficial

Semitendinoso
Semimembranoso
Biceps crural (porción larga)
Biceps crural (porción corta)
Semimembranoso



MÚSCULOS DE LA PARTE POSTERIOR.
Parte profunda

Biceps crural.
Porción larga
Semitendinoso
Semimembranoso
Porción corta } Biceps crural
Sección de la porción larga }
Expansión externa } Semimembranoso
Tendón directo }
Tendón reflejo }

MÚSCULOS DEL MUSLO

2.- ARTICULACIÓN DE LA RODILLA

2.1.- Introducción

La articulación de la rodilla está formada por tres huesos:

- Fémur.
- Tibia.
- Rótula.

Está compuesto por las articulaciones:

- Femorotibial.
- Femorrotuliana.

Se diferencian dos compartimentos articulares, uno interno y otro externo, dos meniscos y los ligamentos, lateral interno, lateral externo y cruzados.

Los cóndilos femorales durante la flexoextensión realizan un movimiento combinado de giro y deslizamiento.

Los meniscos son móviles de delante hacia atrás. El menisco externo retrocede 12 mm. y el interno, 6 mm., en el movimiento de flexión.

En el movimiento de rotación de la tibia los meniscos se mueven de forma opuesta a la meseta tibial; por ejemplo, en la rotación externa donde la meseta tibial externa va hacia atrás, el menisco externo va hacia delante.

Los ligamentos cruzados contribuyen a la estabilidad de la rodilla en el sentido anteroposterior. Son los elementos que hacen regresar los cóndilos que giran deslizándose.

2.2.- Amplitud de Flexión

Cuando la cadera está en flexión la amplitud de la flexión de la rodilla alcanza los 140 grados si el movimiento es conducido y llega a los 160 grados si el movimiento es ayudado.

Con la cadera en extensión, la amplitud de la flexión de la rodilla llega hasta 120 grados. Se puede llegar a los 160 grados siempre que las masas posteriores de la pierna y el muslo lo permitan.

En la flexión de la rodilla con flexión simultánea de la cadera, pueden encontrarse limitaciones por tensión de la musculatura extensora de la rodilla y en ocasiones por el contacto de las masas musculares de la parte posterior del muslo y la pierna.

- Sartorio.
- Recto interno.
- Semimembranoso.
- Semitendinoso.
- Bíceps crural.

Todos ellos revisados en la articulación de la cadera.

- Poplíteo.

Se estudiará como rotador de la rodilla.

2.3.- Músculos extensores

No existe un movimiento de extensión pura de la rodilla, ya que en posición de referencia la pierna ya está extendida al máximo. Sin embargo, existen personas que forzando el movimiento llegan a alcanzar 5 y 10 grados de extensión (hiperextensión o *genu recurvatum*).

Partiendo de la posición de flexión de la rodilla, conforme ésta se extiende, los ligamentos laterales se tensan asegurando así la estabilidad lateral de la rodilla.

- Cuádriceps.

Este grupo muscular, formado por los vastos interno, externo y medio, junto al recto anterior, extiende la articulación de la rodilla y ha sido estudiado en su función de flexor de la cadera.

2.4.- Músculos rotadores

La rotación interna (punta del pie hacia adentro) en un movimiento activo alcanza unos 30 grados.

En la rotación externa (punta del pie hacia afuera), el movimiento es algo superior llegando hasta los 40 grados en un movimiento activo, que aumentan hasta los 45 ó 50 grados cuando el movimiento es forzado.

El movimiento de rotación sólo es posible con la rodilla en flexión de 90 grados.

La estabilidad de la rotación de la rodilla está asegurada por la acción de los ligamentos laterales y los cruzados.

En la rotación interna se tensan los ligamentos cruzados y se distienden los laterales.

En la rotación externa se distienden los ligamentos cruzados, tensándose los laterales.

Los músculos que intervienen en la rotación externa de la rodilla son:

- Biceps crural.
- Tensor de la fascia lata.

Vistos en la cadera, los músculos responsables de la rotación interna son:

- Sartorio.
- Semimembranoso.
- Semitendinoso.
- Recto interno.

Todos ellos vistos también en la articulación de la cadera.

- Poplíteo.

Origen: parte anterior del cóndilo externo del fémur y ligamento poplíteo oblicuo de la articulación de la rodilla.

Inserción: área triangular proximal a la línea del sóleo sobre la superficie posterior de la tibia, y fascia de cobertura del músculo.

Inervación: L4, L5, S1.

Este músculo con el origen fijo realiza la rotación interna de la tibia sobre el fémur y flexiona la articulación de la rodilla.

Con la inserción fija produce la rotación externa del fémur sobre la tibia y flexiona la articulación de la rodilla.

Su contractura causará una discreta flexión de la rodilla y una rotación interna de la pierna sobre el muslo.

La debilidad del poplíteo se observa generalmente cuando hay un desequilibrio entre los músculos internos y externos de la corva, cuando los externos son potentes y los internos débiles, dando lugar a una hiperextensión de la rodilla y una rotación externa de la pierna sobre el muslo.

3. ANATOMÍA DEL TOBILLO Y PIE

El tobillo es una articulación en bisagra. El aspecto que confiere al tobillo su mayor debilidad lo constituye su disposición muscular, ya que los largos tendones musculares que atraviesan todos los lados del tobillo consiguen una acción de palanca máxima, pero proporciona a su vez una mala estabilidad lateral.

Las articulaciones del tobillo y pie están formadas por los siguientes huesos:

- Tibia.
- Peroné.
- Huesos del tarso.
- Los cinco metatarsianos.
- Las falanges de los dedos.

Estos huesos forman siete articulaciones:

- Tibiotarsiana.
- Peroneotibial.
- Astragalocalcánea.
- Mediotarsiana (articulación de Chopart).
- Tarsometatarsiana (articulación de Lisfranc).
- Metatarsofalángicas.
- Interfalángicas.

El soporte ligamentoso del tobillo fortifica el conjunto óseo anteriormente expuesto; éstos ligamentos son:

- Cara lateral:
 - Ligamento tibioperoneo anterior.
 - Ligamento peroneoastragalino anterior.
 - Ligamento calcaneoastragalino lateral.

- Extensor largo del dedo gordo.

Este músculo también ayuda a la inversión del pie y a la flexión dorsal de la articulación del tobillo.

3.3.3. Músculos extensores

La amplitud de la extensión es mayor que la de flexión. En un movimiento activo llega a alcanzar los 30 grados y se elevan a 50 grados cuando el movimiento es ayudado.

Limitan la extensión los fascículos anteriores de los ligamentos laterales y la parte anterior de la cápsula articular. Muscularmente ofrecen resistencia la tensión de los músculos flexores del tobillo. También en tensión máxima se produce un choque óseo entre el astrágalo y la parte posterior de la superficie tibial.

-

Origen del cabo interno: porciones proximal y posterior del cóndilo interno, porción adyacente del fémur y cápsula de la articulación de la rodilla.

Origen del cabo externo: cóndilo externo, superficie posterior del fémur y cápsula de la articulación de la rodilla.

Inserción: parte media de la superficie posterior del calcáneo.

Su contracción produce la extensión dorsal o flexión plantar del tobillo y ayudan a la flexión de la articulación de la rodilla.

Inervación: S1, S2.

-

Origen: superficies posteriores de la cabeza del peroné y tercio proximal de su cuerpo hasta el borde interno de la tibia y arco tendinoso entre la tibia y el peroné.

Inserción: con los gemelos en la superficie posterior del calcáneo.

Su acción consiste en la flexión plantar o extensión dorsal de la articulación del tobillo.

El uso continuado de tacones altos por parte de las mujeres es causa de retracción de los gemelos y del sóleo.

Inervación: L5, S1, S2.

-

Origen: membrana interósea, parte externa de la superficie posterior de la tibia, superficie interna del peroné, tabiques intermusculares adyacentes y fascia profunda.

Inserción: tuberosidad del escafoides, apófisis menor del calcáneo, en las tres cuñas, cuboides y bases del segundo, tercero y cuarto metatarsiano.

Inervación: L4, L5, S1.

El tibial posterior produce la inversión del pie y la extensión dorsal de la articulación del tobillo.

-

Origen: meseta externa de la tibia, cabeza y dos tercios proximales de la superficie externa del peroné, tabiques intermusculares y fascia profunda adyacente.

Inserción: borde externo de la base del primer metatarsiano y de la cuña interna.

El peroneo lateral largo y corto (éste se verá a continuación) ayudan a la extensión dorsal del tobillo y producen la eversión del pie.

Su debilidad disminuye la potencia de eversión del pie y de la flexión plantar del tobillo. Es causa de una posición en varus del pie y disminuye la capacidad de elevación de los dedos. Disminuye la estabilidad externa del tobillo.

Su contractura produce eversión o posición en valgo del pie.

Inervación: L4, L5, S1.

- Peroneo lateral corto.

Origen: dos tercios distales de la superficie externa del peroné y tabiques intermusculares adyacentes.

Inserción: tuberosidad de la base del quinto metatarsiano en el borde externo.

Inervación: L4, L5, S1.

Los movimientos de abducción, aducción y rotación externa e interna, es decir, movimientos que combinados dan la supinación y pronación del pie, se realizan a expensas de las articulaciones del pie, a diferencia de la flexión y extensión que se realizan en la articulación del tobillo (articulación tibiotarsiana). Asimismo, estos movimientos no se dan en estado puro, sino que cualquiera de ellos va acompañado por movimientos en los otros ejes.

El recorrido máximo de los movimientos de aducción y abducción oscila entre los 35 a 45 grados.

Cuando los movimientos de abducción y aducción se realizan con la pierna extendida y participa todo el miembro inferior (desde la cadera hasta el pie), la amplitud de cada movimiento aumenta considerablemente pudiendo alcanzar los 90 grados, es decir, llega a totalizar los 180 grados desde la aducción máxima a la abducción máxima.

La amplitud del movimiento de supinación o inversión del pie (elevación del borde interno del pie) es de unos 50 grados; el movimiento de pronación o eversión del pie (elevación del borde externo del pie) es menor, entre 25 y 30 grados.

El movimiento de aducción se acompaña de pronación (rotación externa).

El movimiento de abducción se acompaña de supinación (rotación interna).

Cualquier movimiento transversal a nivel de la articulación tibiotarsiana puede ser considerado como patológico debido a una elongación o ruptura de los ligamentos laterales o de los ligamentos peroneo-tibiales inferiores. Si la fuerza que actúa lateralmente es mayor puede sobrevenir la rotura del maléolo.

Por otra parte las articulaciones del pie forman un conjunto articular indivisible, unidas por ligamentos cortos y potentes, adaptados para soportar los grandes esfuerzos de la locomoción.

Estudiaremos a continuación los músculos que intervienen en la rotación interna y abducción por un lado, y, por otro, los que producen la rotación externa más la aducción. Todos los músculos que vamos a nombrar han sido ya descritos con anterioridad.

– Músculos para la rotación interna-abducción:

- Tibial anterior.
- Tibial posterior.
- Gemelos.
- Sóleo.

– Músculos para la rotación externa-aducción:

- Peroneo anterior.
- Peroneo lateral largo.
- Peroneo lateral corto.

3.5 Músculos flexores y extensores del pie.

– Músculos flexores:

-

Ya visto junto al peroneo lateral corto como extensor del tobillo.

-

Origen: superficie posterior del cuerpo de la tibia (tres quintos medios) y en la fascia que recubre el tibial posterior.

Inserción: bases de las falanges distales del segundo al quinto dedos.

Este músculo flexiona las articulaciones interfalángicas y metatarsofalángicas del segundo al quinto dedo. Ayuda a la extensión del tobillo y a la inversión (supinación) del pie.

Su contractura produce una deformidad en flexión de las falanges distales de los cuatro últimos dedos (dedos en garra).

Su debilidad se pone de manifiesto durante la carga por una tendencia a la posición en valgo del pie.

Inervación: L5, S1.

– Músculos extensores:

Extensor común de los dedos.

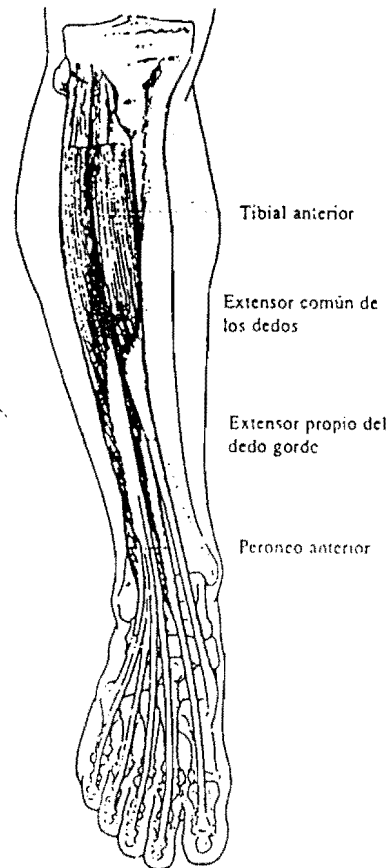
Extensor propio del dedo gordo.

Estos dos músculos ya se han visto para la flexión dorsal del tobillo.

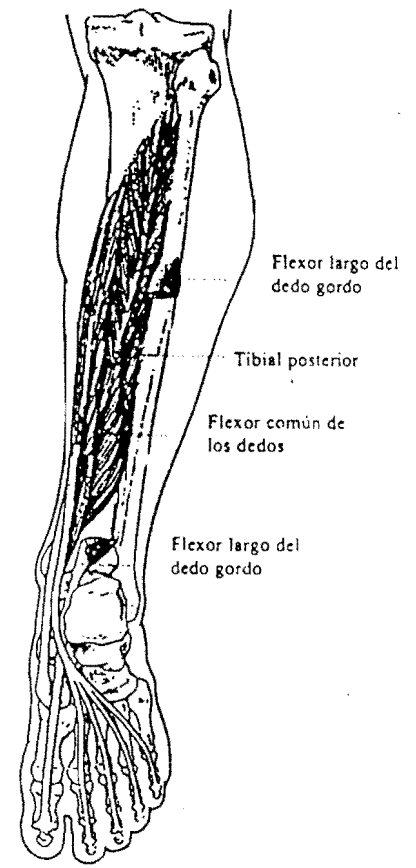
FIGURA 11. Paul Richer



MÚSCULOS DE LA REGIÓN ANTERIOR



REGIÓN ANTERIOR



REGIÓN POSTERIOR.
Parte profunda

MÚSCULOS DE LA PIERNA

MÚSCULOS DE LA PIERNA

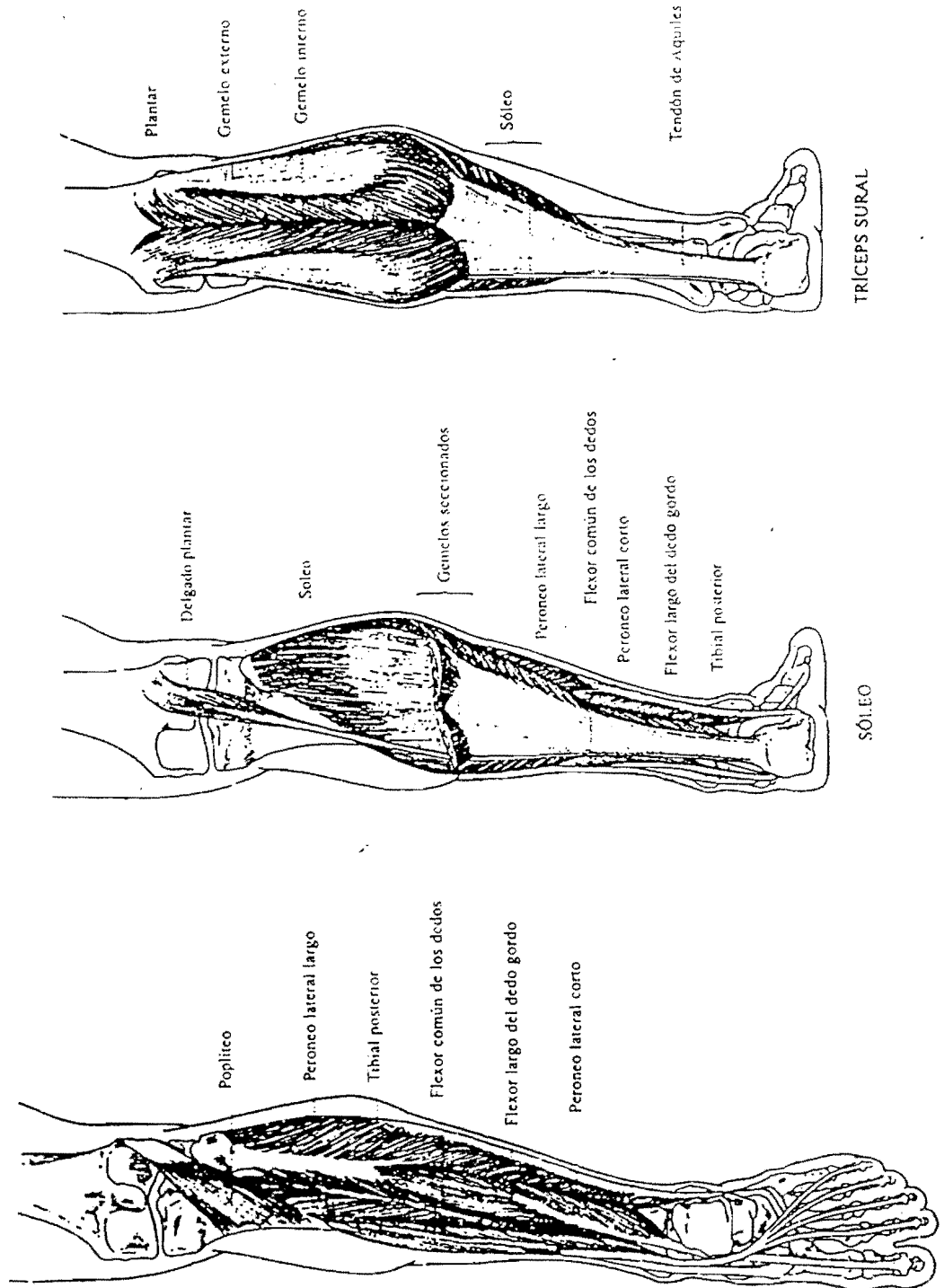


FIGURA 12. Paul Richer

MÚSCULOS DEL PIE

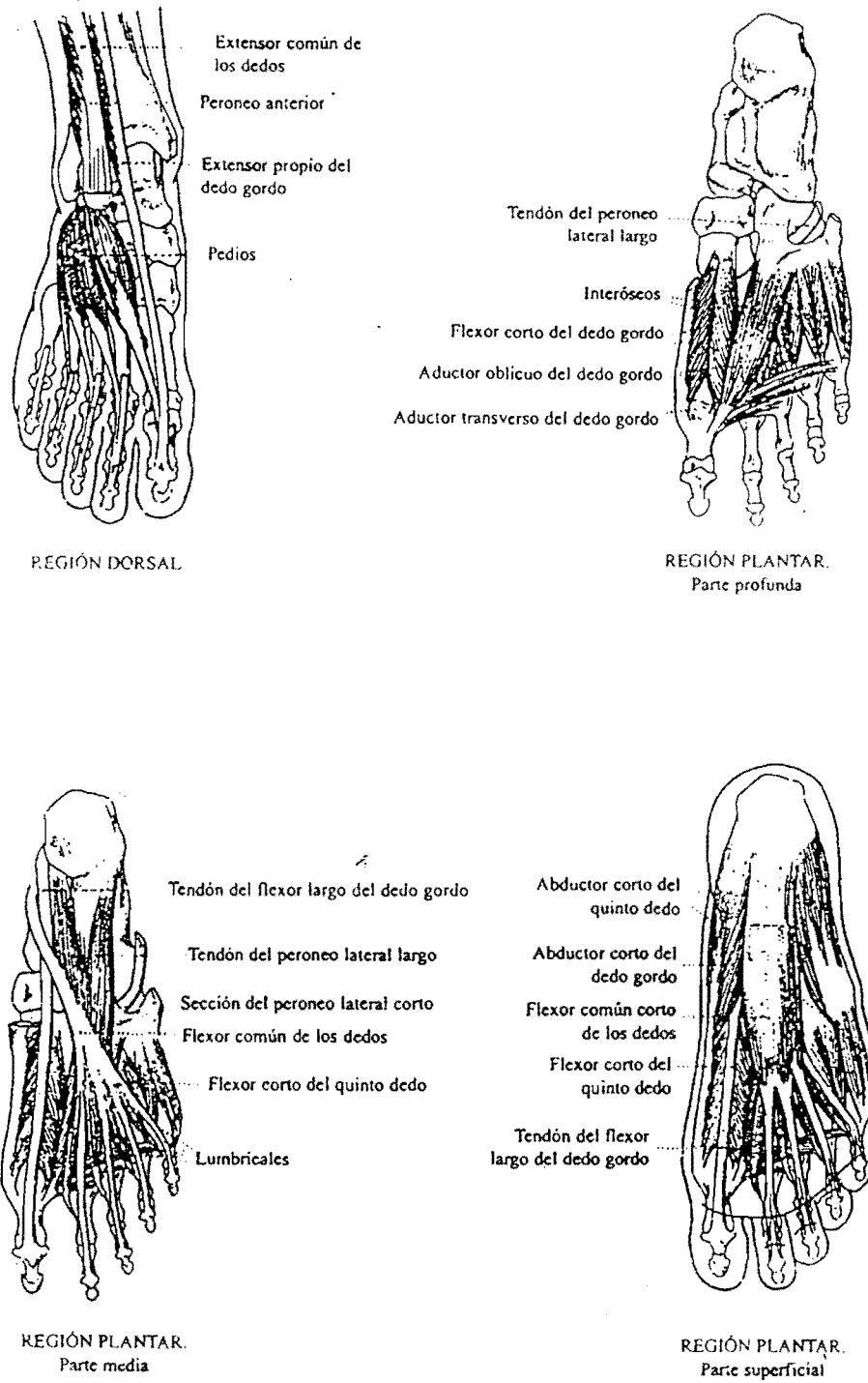


FIGURA 13. Paul Richer

MÚSCULOS DE LA EXTREMIDAD INFERIOR

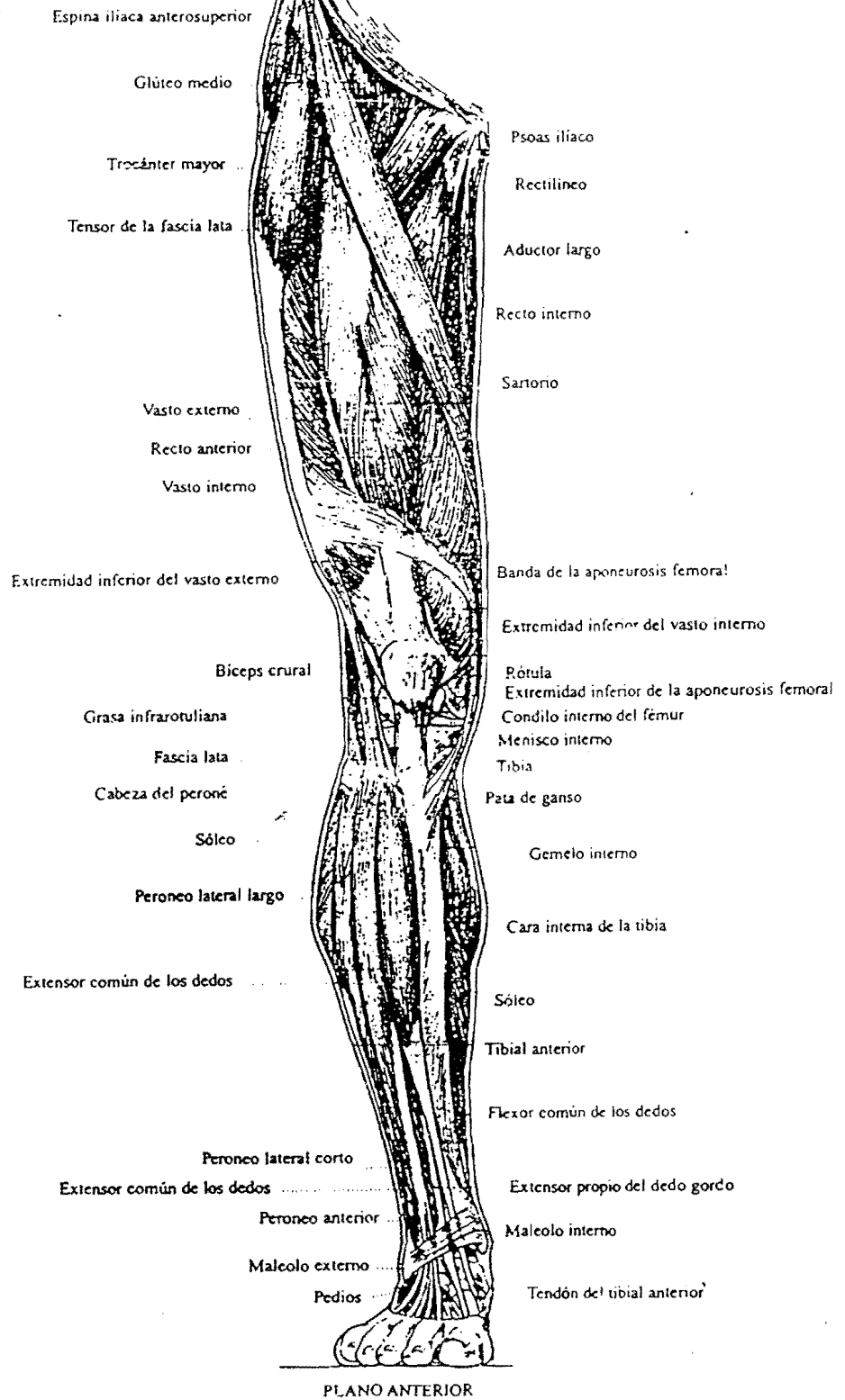
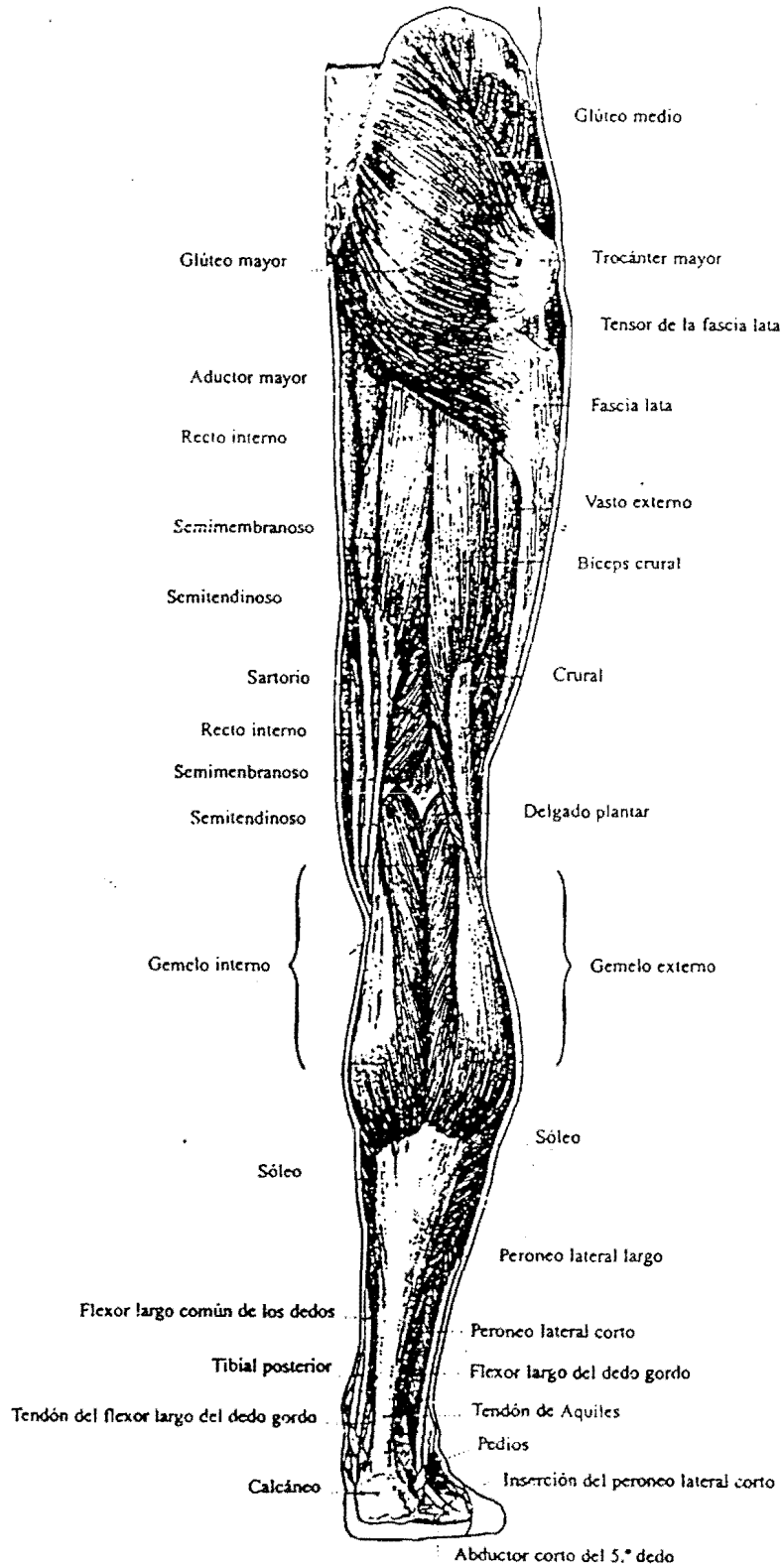


FIGURA 14. Paul Richer

MÚSCULOS DE LA EXTREMIDAD INFERIOR



PLANO POSTERIOR

FIGURA 15. Paul Richer

RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

A continuación y a modo de cuadro se resumen los músculos principales que intervienen en los diferentes movimientos articulares de la extremidad inferior.

ARTICULACIÓN	GRUPO MUSCULAR	ACCIÓN
CADERA	Psoas-íliaco Sartorio Recto anterior Tensor de la fascia lata Pectíneo Recto interno	FLEXIÓN
	Glúteo mayor Bíceps crural Semimembranoso Semitendinoso Glúteo menor Glúteo medio Tensor de la fascia lata Glúteo mayor Piramidal	EXTENSIÓN ABDUCCIÓN
	Pectíneo Aductor mayor Recto interno Aductor menor Aductor largo Obturador externo	ADUCCIÓN
	Piramidal Cuadrado crural Obturador interno Obturador externo Gémino superior Gémino inferior Bíceps femoral Glúteo mayor Glúteo medio	ROTACIÓN EXTERNA
	Semimembranoso Semitendinoso Glúteo menor Glúteo mediano Tensor fascia lata	ROTACIÓN INTERNA

RODILLA	Sartorio Recto interno Semimembranoso Semitendinoso Bíceps crural Poplíteo	FLEXIÓN
	Cuádriceps	EXTENSIÓN
	Bíceps crural T. fascia lata	ROTACIÓN EXTERNA
	Sartorio Semimembranoso Semitendinoso Recto interno Poplíteo	ROTACIÓN INTERNA
TOBILLO	Tibial anterior Peroneo anterior	FLEXIÓN
	Gemelos Sóleo Tibial posterior Peroneo lateral largo Peroneo lateral corto	EXTENSIÓN
	Tibial anterior Tibial posterior Gemelos Sóleo	ABDUCCIÓN ROTACIÓN INTERNA
	Peroneo anterior Peroneo lateral largo Peroneo lateral corto	ADUCCIÓN ROTACIÓN EXTERNA
PIE	Peroneo lateral largo Flexor común de los dedos	FLEXIÓN
	Extensor común de los dedos Extensor propio del dedo gordo	EXTENSIÓN

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel *et al.* (1997), "Columna vertebral", en *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Mira, pp. 69-92.



SEGUNDO NIVEL

1. COLUMNA VERTEBRAL
 - 1.1. Introducción.
 - 1.2. Columna cervical.
 - 1.2.1. Músculos flexores.
 - 1.2.2. Músculos extensores.
 - 1.2.3. Flexión lateral.
 - 1.2.4. Músculos rotadores.
 - 1.3. Columna dorsolumbar.
 - 1.3.1. Músculos flexores.
 - 1.3.2. Músculos extensores.
 - 1.3.3. Flexión lateral.
 - 1.3.4. Músculos rotadores.
2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS NIÑOS Y ADOLESCENTES
3. CONSIDERACIONES A TENER PRESENTES EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO CON NIÑOS Y ADOLESCENTES

En este tema se estudia la columna vertebral en su conjunto; después se describen las posibilidades de movimiento y los músculos que las llevan a efecto.

1.- COLUMNA VERTEBRAL

1.1.- Introducción

Como ya se vio en el primer nivel de Técnicos Deportivos, la columna vertebral está formada por la unión de 24 vértebras que se disponen en tres regiones:

- Columna cervical, formada por siete vértebras. Lordosis cervical.
- Columna dorsal con doce vértebras. Cifosis dorsal.
- Columna lumbar con cinco vértebras. Lordosis lumbar.

La movilidad entre vértebra y vértebra es muy escasa, pero la columna vertebral en su conjunto tiene una gran amplitud y posibilidades de movimiento.

Las articulaciones vertebrales son anfiartrosis.

Hay que recordar aquí la unión de la columna vertebral con el sacro, y éste con la pelvis, es decir, el complejo de la llamada cintura pélvica.

La unión lumbopélvica representa una entidad biomecánica por el hecho de la estrecha relación anatómica entre la última vértebra lumbar, el sacro y las alas ilíacas.

La vértebra L4 está igualmente unida a las alas ilíacas por los ligamentos iliolumbares, cuya inserción se realiza en la cresta ilíaca.

Las superficies articulares entre las alas ilíacas y el sacro (articulación sacroilíaca) son cartilaginosas y permiten movimientos de deslizamiento; la rotación es de poquísima amplitud y sólo es posible con una decoaptación de la articulación.

La sínfisis púbica forma también parte de la cintura pélvica.

El sacro y las alas ilíacas están unidos al tronco o a los miembros inferiores por la musculatura, pero no existe musculatura propia para las articulaciones sacroilíacas ni para la sínfisis.

Analizaremos en esta introducción las amplitudes y limitaciones de movimiento de toda la columna vertebral, para pasar posteriormente a un estudio por regiones de la musculatura responsable de cada acción articular.

- Para la flexión la amplitud global de movimiento se fija alrededor de los 140 grados.

Por regiones:

- Lumbar: 60 grados.
- Dorsolumbar: 105 grados.
- Cervical: 40 grados.

Las causas que limitan el movimiento de flexión de la columna vertebral son comunes a las tres regiones; éstas son las cápsulas de las articulaciones apofisarias y los ligamentos del arco posterior (amarillo, interespinoso, supraespinoso y el vertebral común posterior). En los movimientos de la columna vertebral en

los que participa la cadera flexionándose, los músculos posteriores de las piernas se tensan (ver contractura de isquiotibiales) y pueden limitar en gran medida el movimiento de flexión anterior.

- Para la extensión la amplitud global del movimiento se fija en unos 160 grados.

Por regiones:

- Lumbar: 35 grados.
- Dorsolumbar: 60 grados.
- Cervical: 75 grados.

También los límites a la extensión son comunes a las tres regiones; éstos son la tensión del ligamento vertebral común anterior y el contacto óseo de las apófisis espinosas de la zona lumbar y, además, las articulares en la zona dorsal y cervical. Muscularmente la limitación está en la tensión de los músculos anteriores del tronco.

- Para la flexión lateral la amplitud global de movimiento oscila entre los 75 a 80 grados.

Por regiones:

- Lumbar: 20 grados.
- Dorsolumbar: 20 grados.
- Cervical: 35 a 45 grados.

En general, los límites al movimiento de flexión lateral son comunes para las tres regiones; estos límites son, sobre todo, la tensión de los ligamentos del lado de la convexidad mientras se distienden los de la concavidad, pero, además, en la columna dorsal intervienen los elementos óseos, cartilagosos y articulares de la caja torácica.

- Para la rotación axial del tronco supera los 90 grados.

Por regiones:

- Lumbar: unos 45 grados.
- Dorsolumbar: alrededor de 36 grados.
- Cervical: de 45 a 50.

La limitación de los movimientos de rotación encuentra su oposición en la tensión de los ligamentos y en ciertas vértebras al entrar en contacto sus apófisis articulares.

- **Recto anterior.**

Se extiende desde el occipital hasta las apófisis transversas de la columna cervical.

- **Recto lateral.**

Situado entre el occipital y el atlas.

- **Recto lateral.**

Situado a los lados de la articulación occipitoatlantoidea, desde la apófisis transversal del atlas hasta la apófisis yugular del occipital.

- Escalenos.

Se extienden desde las apófisis transversas de las vértebras cervicales hasta las dos primeras costillas.

- Largo del cuello

Un extremo lo tiene en el atlas y el otro en la tercera vértebra dorsal.

1.2.2.- Músculos extensores

- Recto posterior mayor

Es un músculo aplanado que va desde el axis al occipital.

- Recto posterior menor

Se extiende desde el atlas al occipital.

- Espinocervical

Ocupa la nuca y la parte posterior del dorso.

- Músculo semiespinoso

Va desde las seis primeras vértebras dorsales hasta la impresión rugosa del occipital.

-

Se extiende desde las cinco últimas vértebras cervicales y la apófisis mastoides.

-

Ocupa la parte anterolateral del cuello, se inserta en la apófisis mastoides, la clavícula y el esternón.

-

Se mencionará en los músculos rotadores.

1.2.3.- Músculos flexores

La flexión lateral es una acción sinérgica de los músculos flexores y extensores del mismo lado en que se realiza la inclinación lateral.

1.2.4.- Músculos rotadores

- Oblicuo mayor de la nuca

Se extiende oblicuamente desde el axis hasta el atlas.

- Transverso.

Entre las apófisis transversas de las vértebras cervicales.

- Esplenio.

- Esternocleidomastoideo.

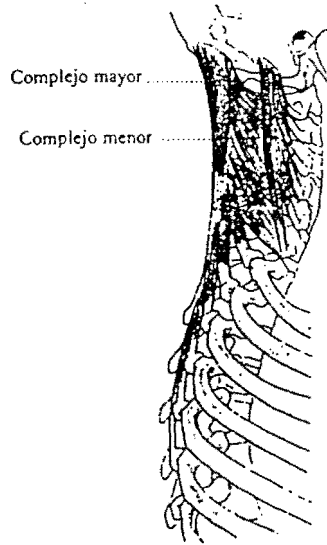
Los dos músculos anteriores se han visto en el movimiento de extensión.

- Trapecio.

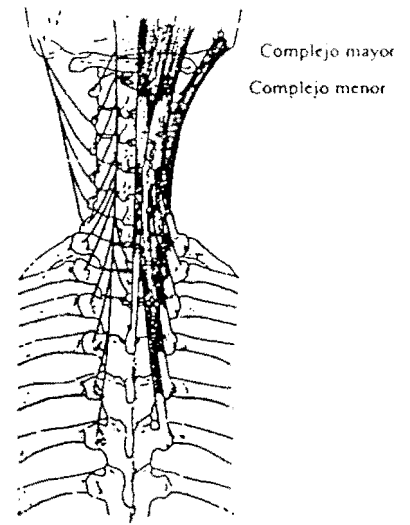
Este músculo ya se ha visto en la articulación del hombro.

Con la inserción fija y actuando unilateralmente, las fibras superiores producen la extensión, flexión lateral y rotación de la cabeza, así como de las articulaciones de las vértebras cervicales, por lo que la cara gira hacia el lado opuesto.

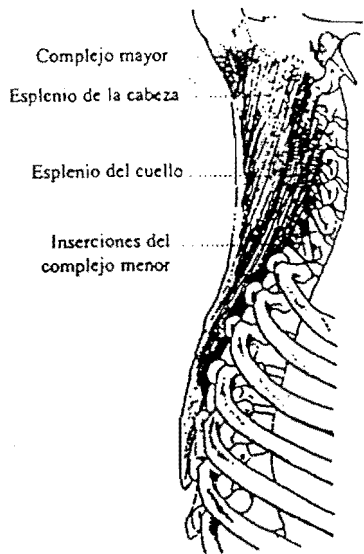
Con la inserción fija y actuando bilateralmente, el trapecio superior extiende la cabeza y el cuello.



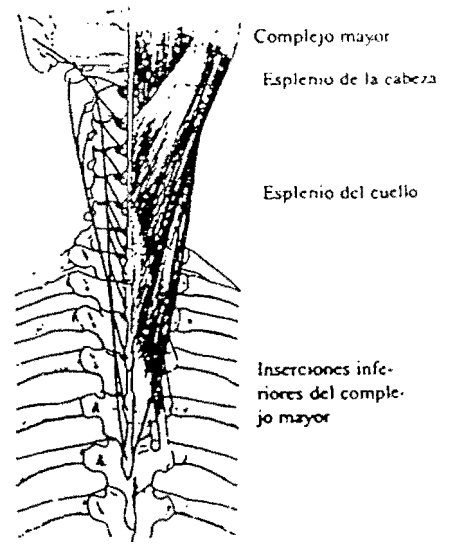
COMPLEJOS MAYOR Y MENOR.
Plano lateral



COMPLEJOS MAYOR Y MENOR.
Plano posterior



ESPLENIO.
Plano lateral



ESPLENIO.
Plano posterior

FIGURA 16. Paul Richer

MÚSCULOS DEL CUELLO

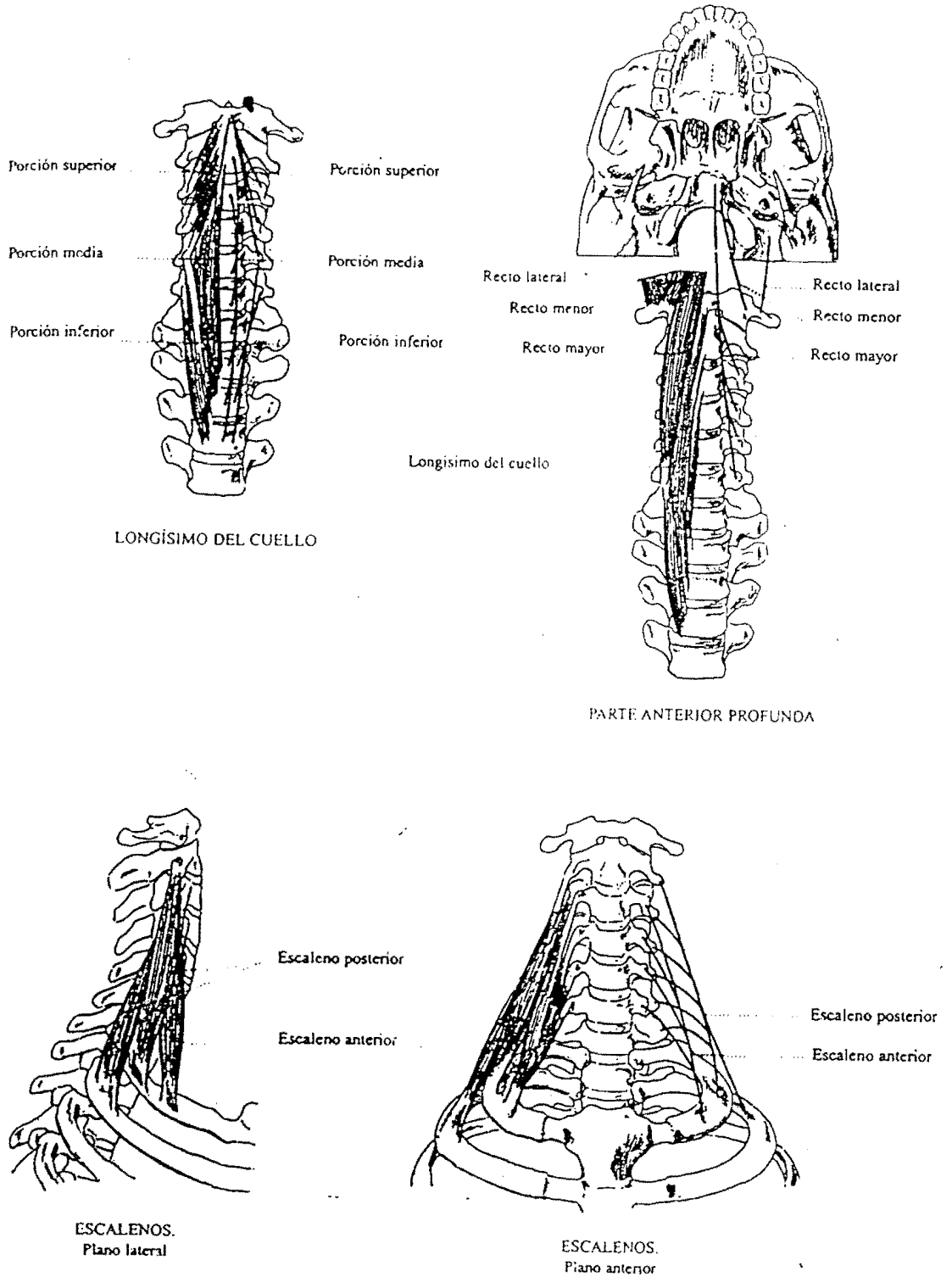


FIGURA 17. Paul Richer

MÚSCULOS DEL CUELLO

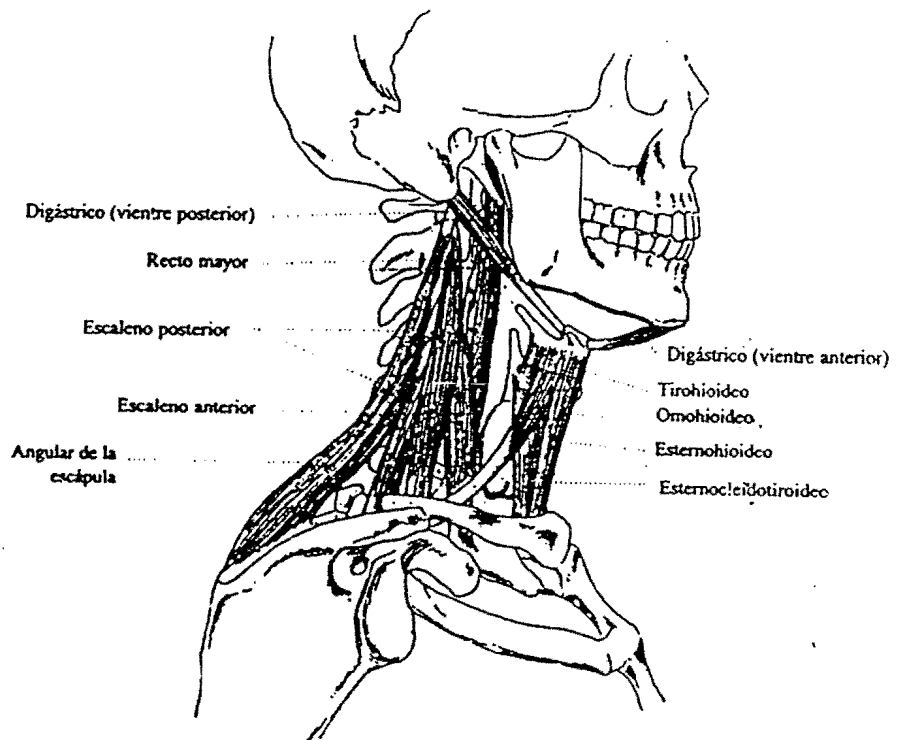
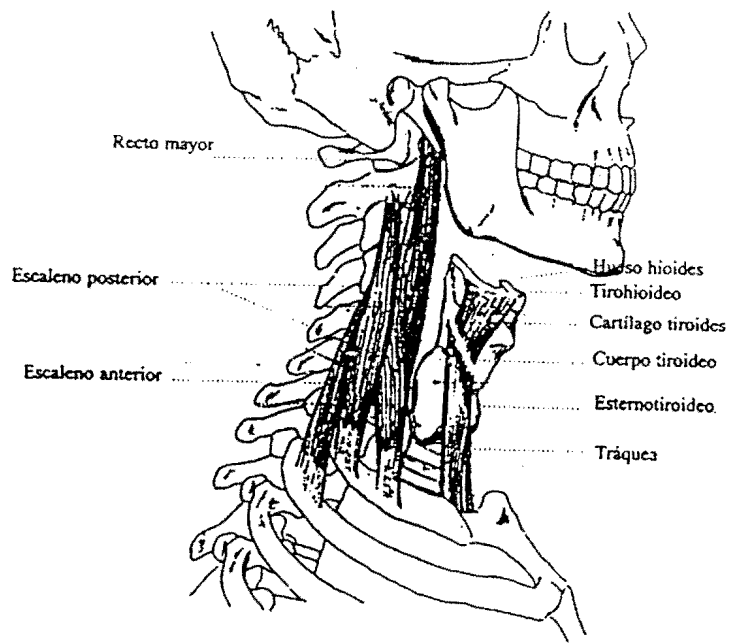


FIGURA 18. Paul Richer

MÚSCULOS DEL CUELLO

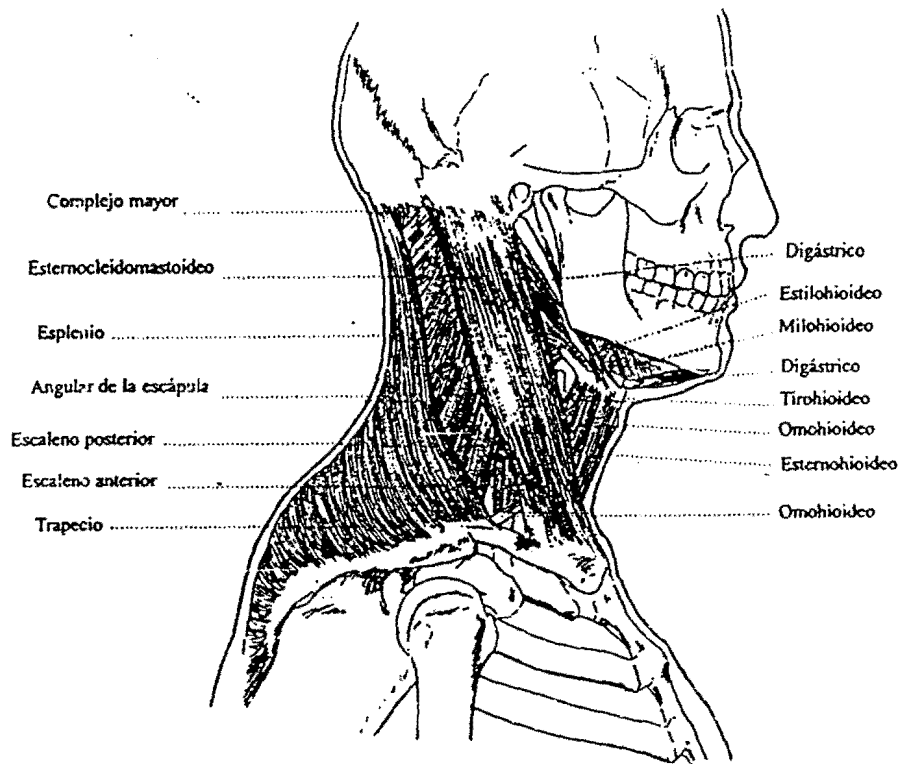
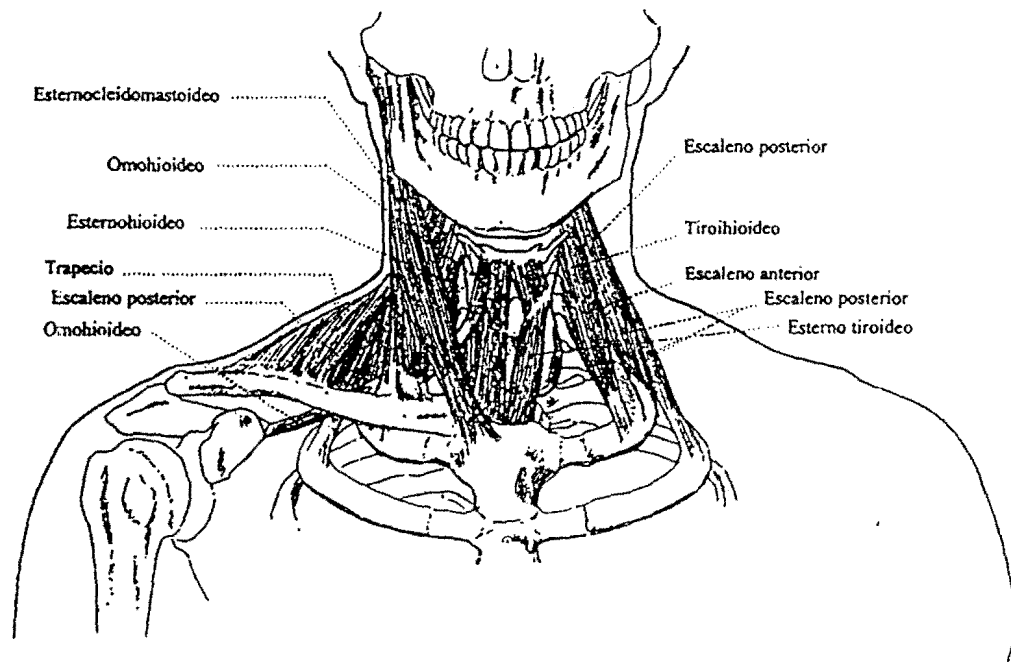


FIGURA 19. Paul Kicher

1.3.- Columna dorsolumbar

1.3.1.- Músculos flexores

- Recto anterior del abdomen.

Ocupa la región anterior e inferior del tronco entre las costillas y el pubis.

- Oblicuo mayor del abdomen.

Situado en la parte anterolateral del abdomen, entre la sexta costilla y el pubis.

- Oblicuo menor del abdomen.

Se extiende desde la región lumboiliaca hasta las últimas costillas y llega a la línea blanca y el pubis.

- Psoas iliaco.

Este músculo se ha visto en profundidad al hablar de la flexión de la cadera.

Cabe reseñar aquí que cuando el psoas iliaco se contrae bilateralmente produce la flexión de la columna lumbar.

1.3.2.- Músculos extensores

- Transverso abdominal

Se inserta en la cresta iliaca, en las costillas y en las apófisis transversas de las vértebras lumbares.

- Espinal largo.

Se inserta en la cresta iliaca y asciende hasta las apófisis transversas de las vértebras lumbares y dorsales.

- Espinal corto.

Está situado entre las apófisis transversas y espinosas de la columna vertebral.

- Espinal profundo.

Se inserta en la cresta iliaca, apófisis transversas de las últimas vértebras lumbares y borde inferior de la última costilla.

1.3.3.- Músculos laterales

La flexión lateral es una acción sinérgica de los músculos flexores y extensores del mismo lado en que se realiza la inclinación lateral.

1.3.4.- Músculos rotadores

- Transverso espinoso.
- Oblicuos del abdomen.

Estos dos músculos han sido vistos en la extensión y flexión, respectivamente, de la columna dorsolumbar.

MÚSCULOS DEL TRONCO Y DEL CUELLO. (Región posterior)

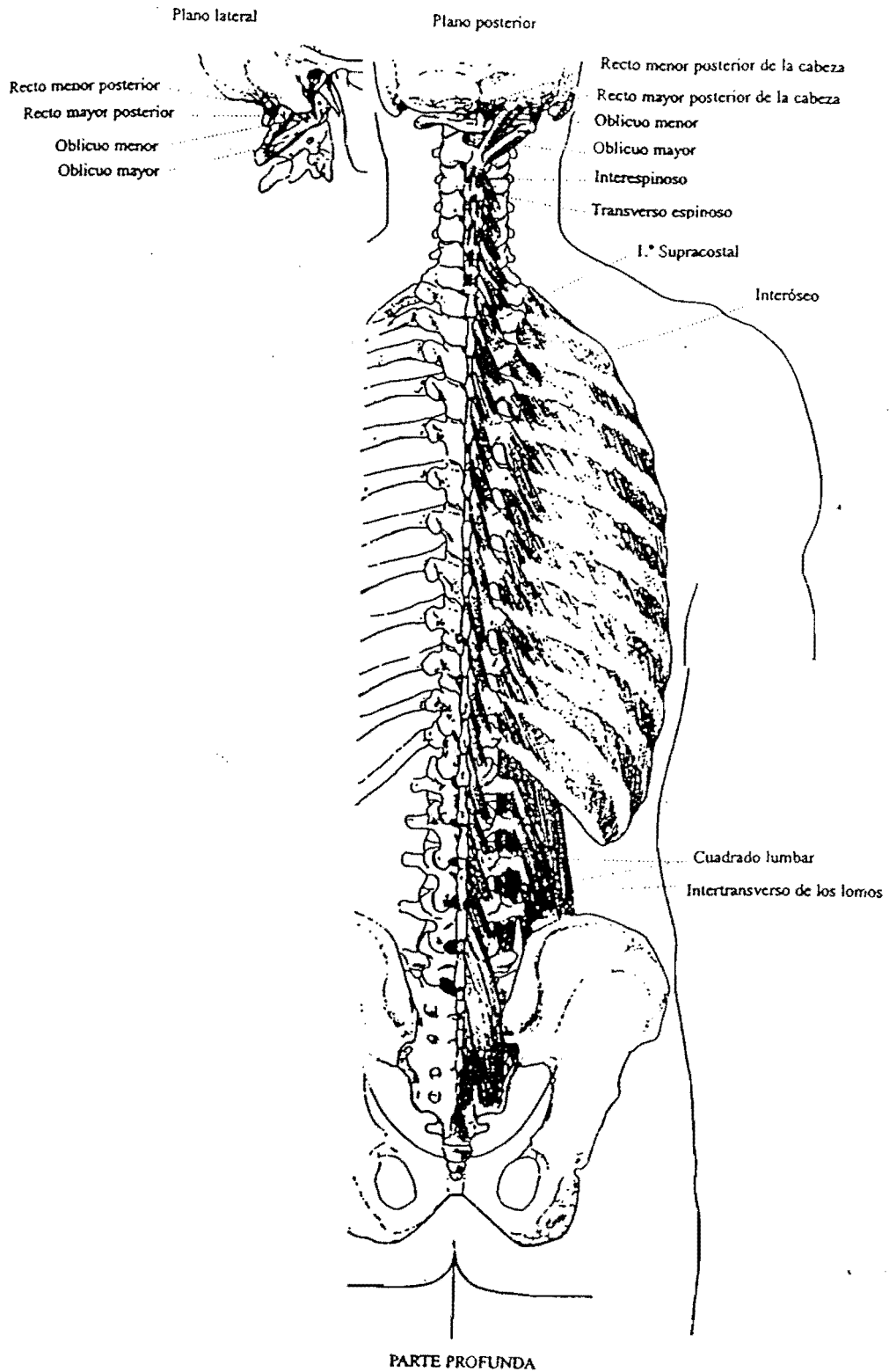
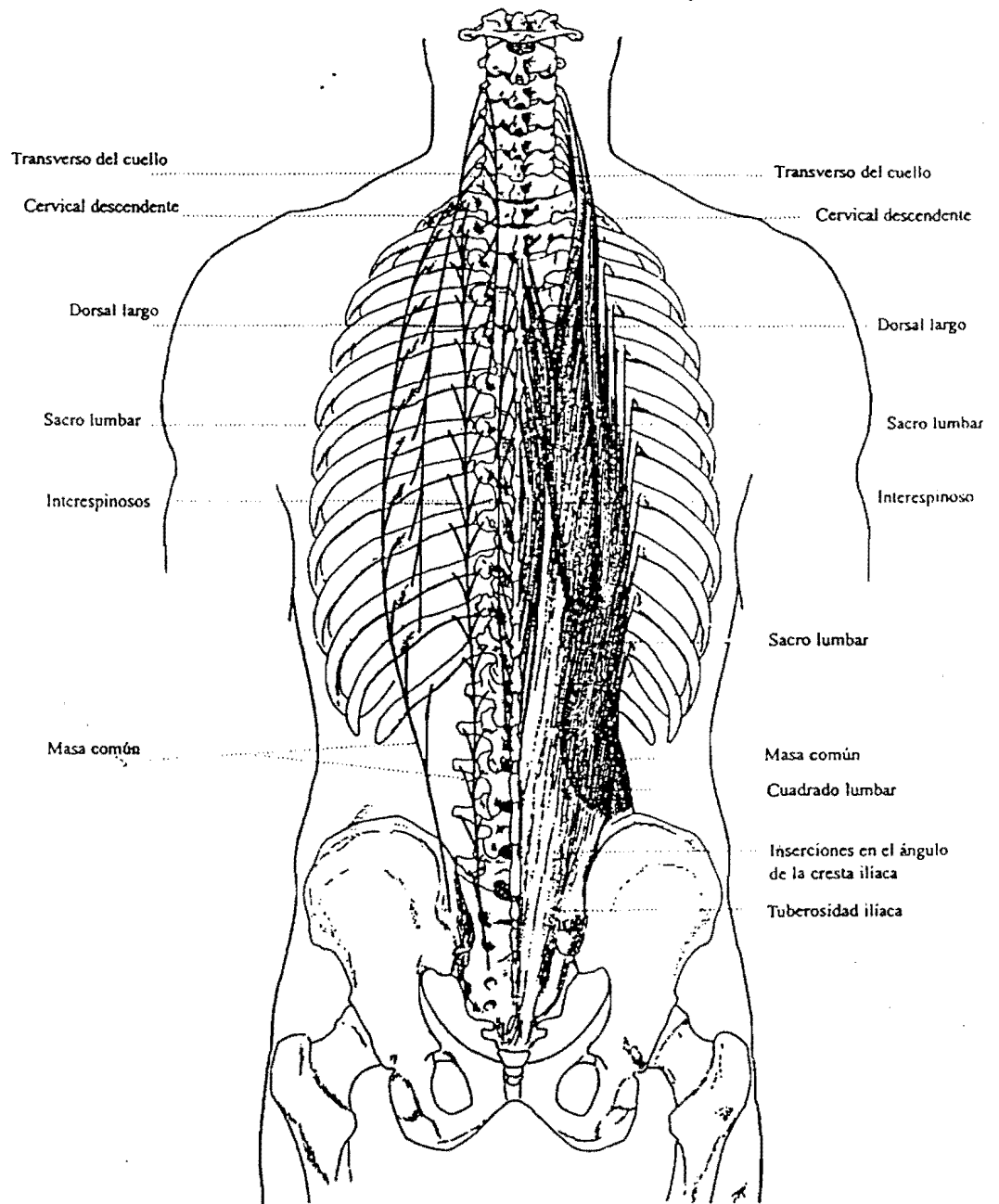
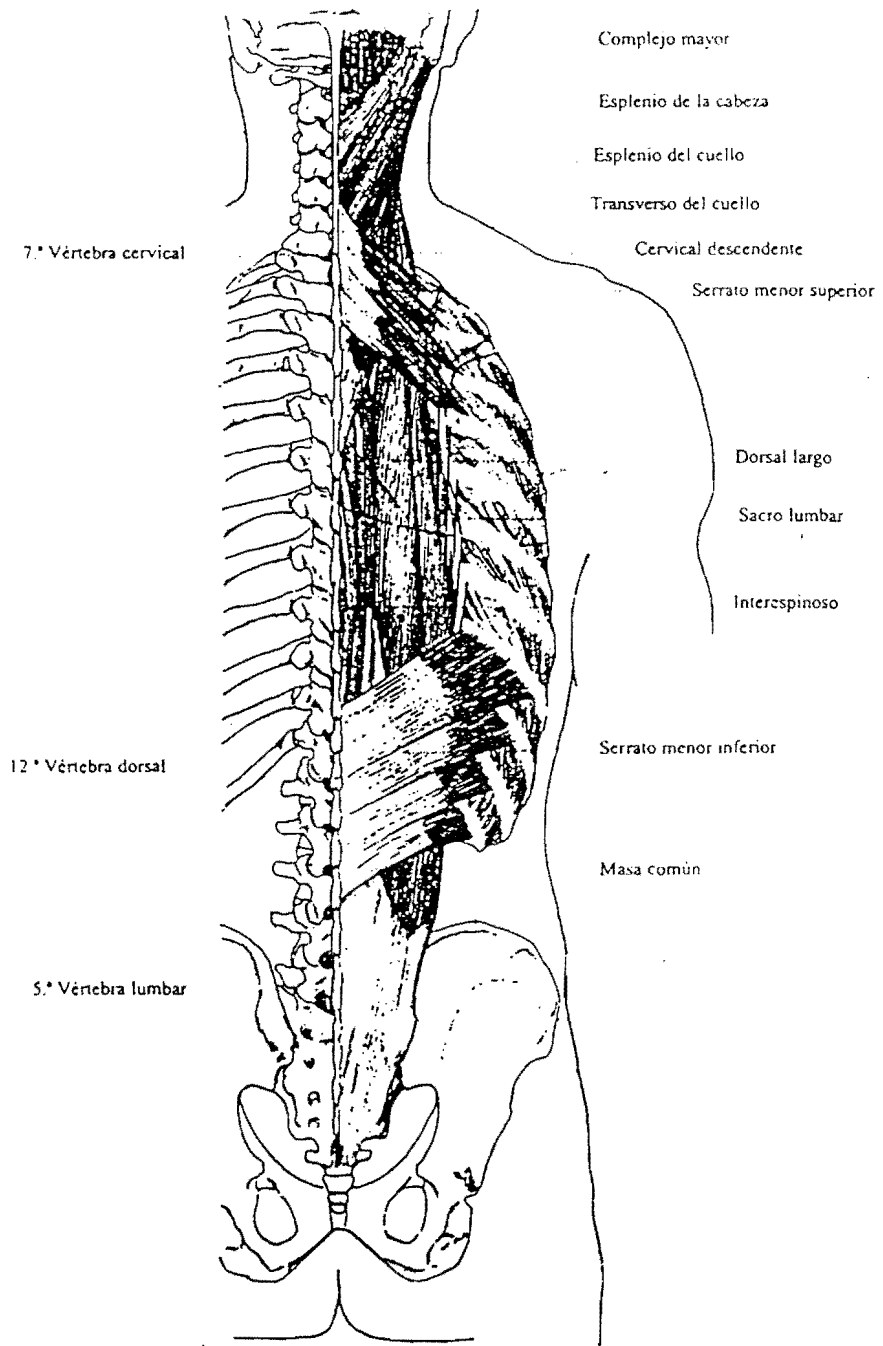


FIGURA 20. Paul Richer



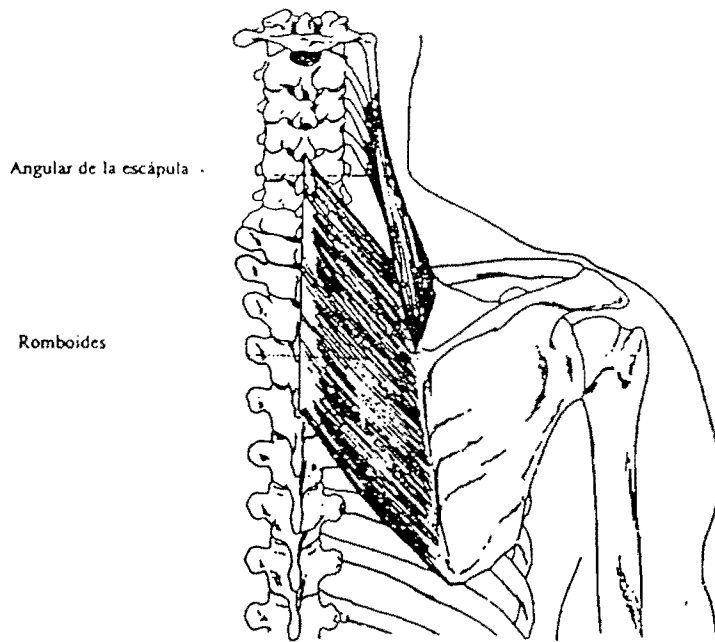
REGIÓN POSTERIOR

FIGURA 21. Paul Richer

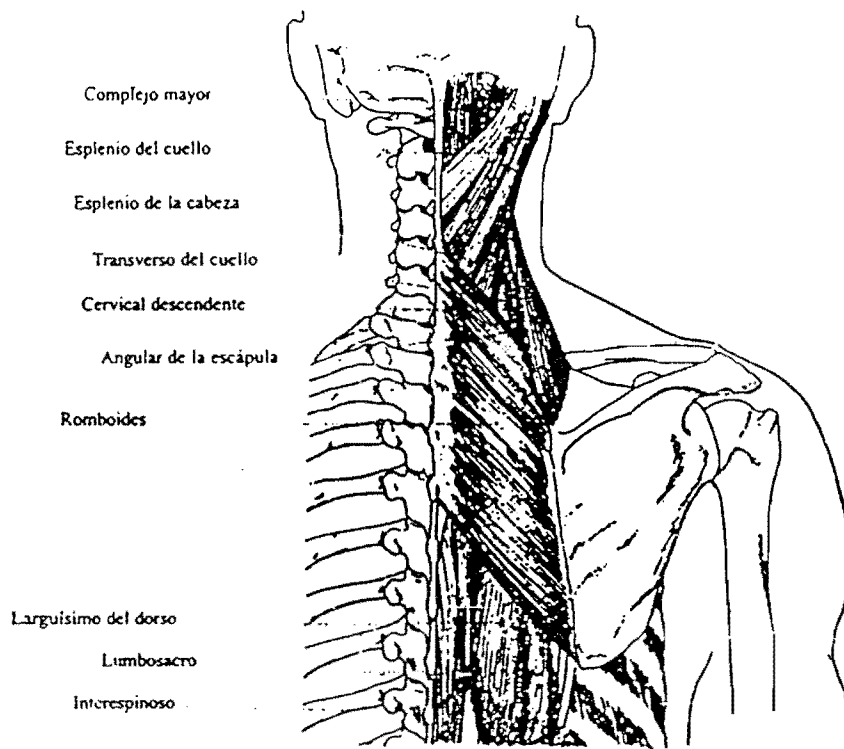


REGIÓN POSTERIOR

FIGURA 22. Paul Richer

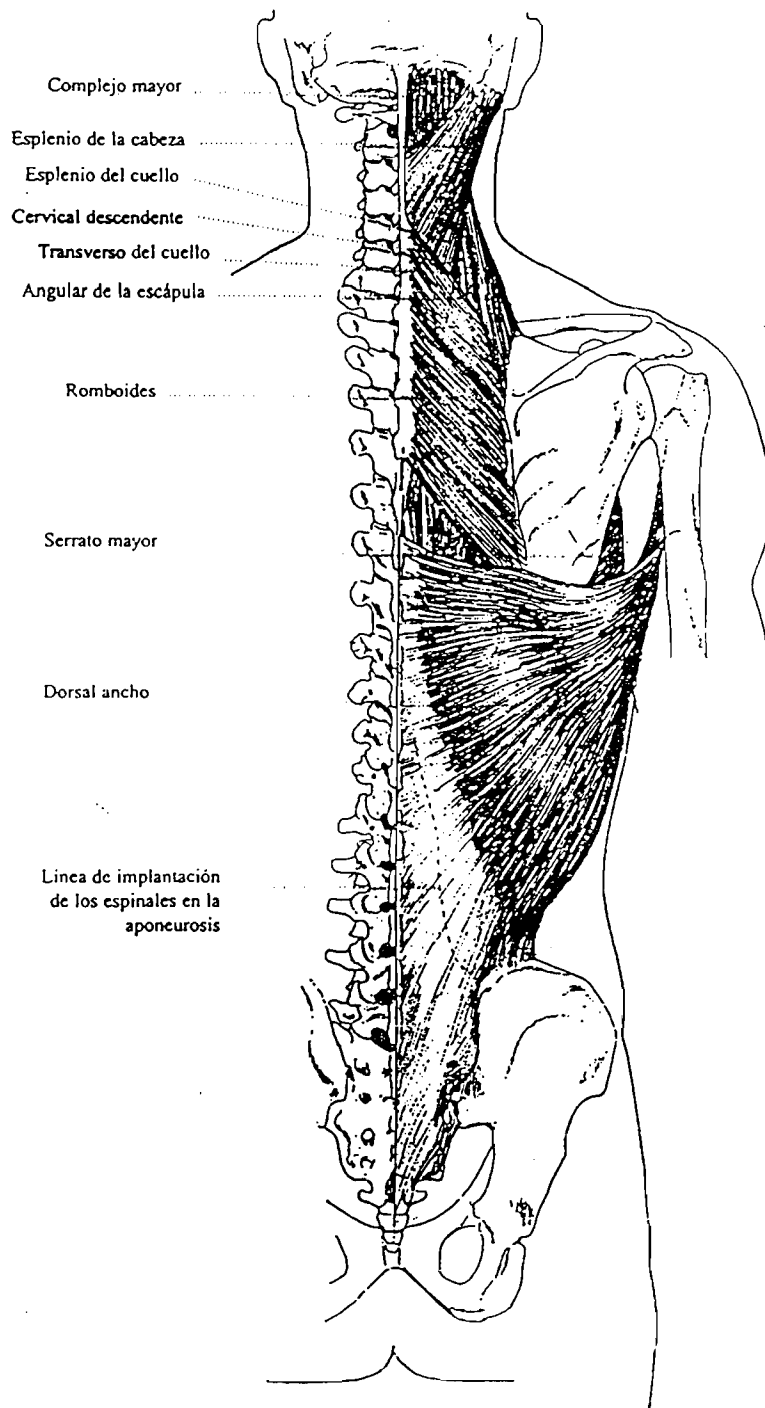


ROMBOIDES Y ANGULAR DE LA ESCÁPULA



ROMBOIDES Y ANGULAR DE LA ESCÁPULA CON LOS MÚSCULOS ADYACENTES
REGIÓN POSTERIOR

FIGURA 23. Paul Richer

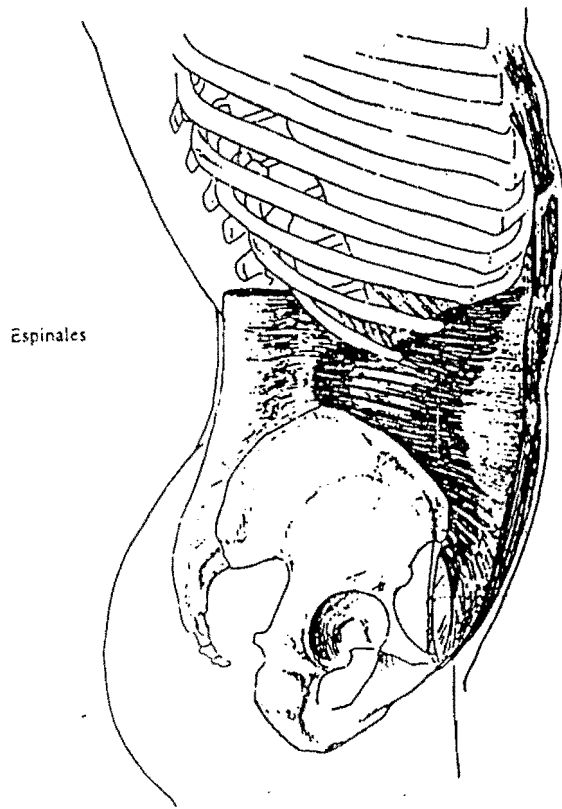


REGIÓN POSTERIOR

FIGURA 24. Paul Richer

FIGURA 25. Paul Richer

MÚSCULOS DEL ABDOMEN



Espinales

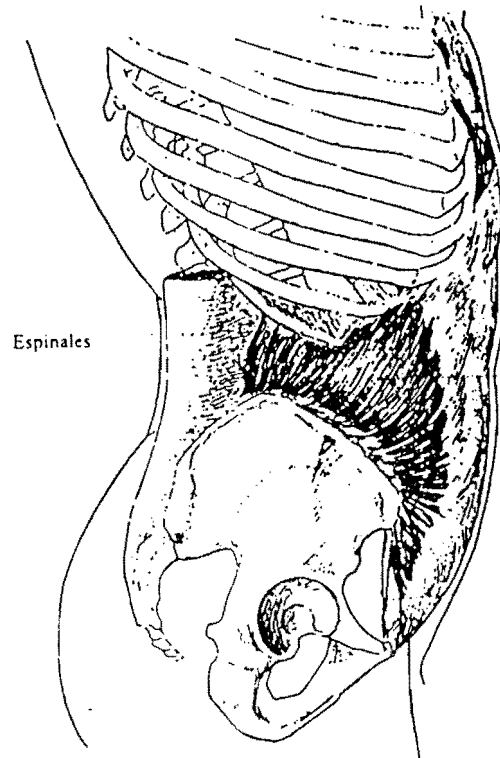
Recto mayor

Transverso

Espina iliaca anterosuperior

Arcada de Fallope

TRANSVERSO DEL ABDOMEN.
Parte profunda



5.ª Costilla

Recto mayor o anterior

Aponeurosis que recubre el recto mayor

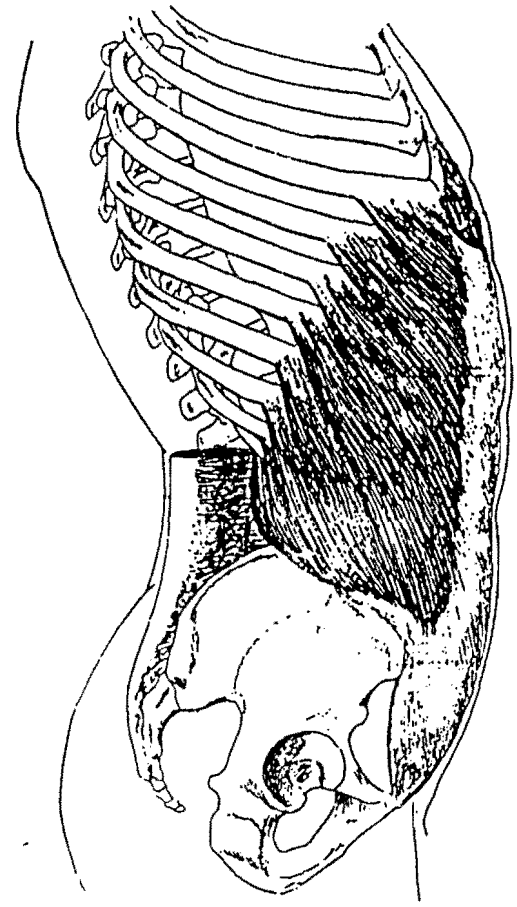
Oblicuo menor

Arcada de Fallope

OBLICUO MENOR DEL ABDOMEN.
Parte media

FIGURA 26. Paul Richer

Espinales



OLIBCUO MAYOR DEL ABDOMEN.
Parte superficial

MÚSCULOS DEL ABDOMEN

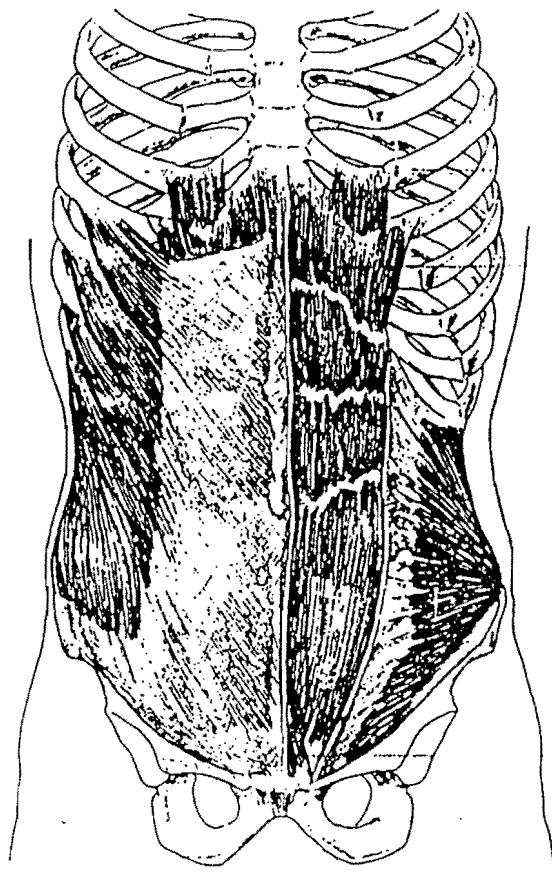
5.ª Costilla

Recto anterior o mayor

Oblicuo mayor

Oblicuo mayor

Espina iliaca



5.ª Costilla

Recto anterior

Oblicuo menor

Piramidal del abdomen

RECTO MAYOR O ANTERIOR DEL ABDOMEN

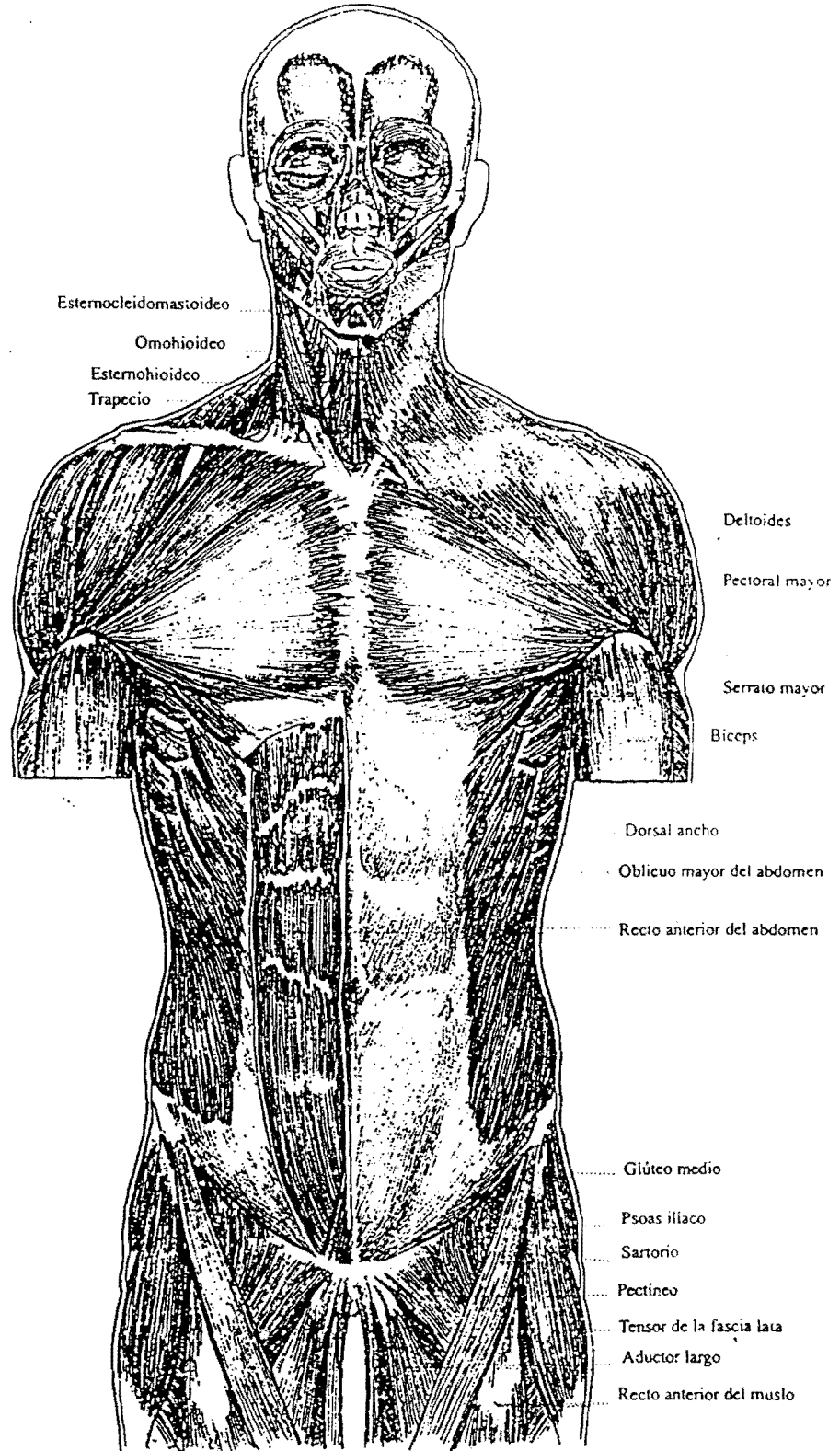


FIGURA 27. Paul Richer

MÚSCULOS DEL TRONCO Y DE LA CABEZA

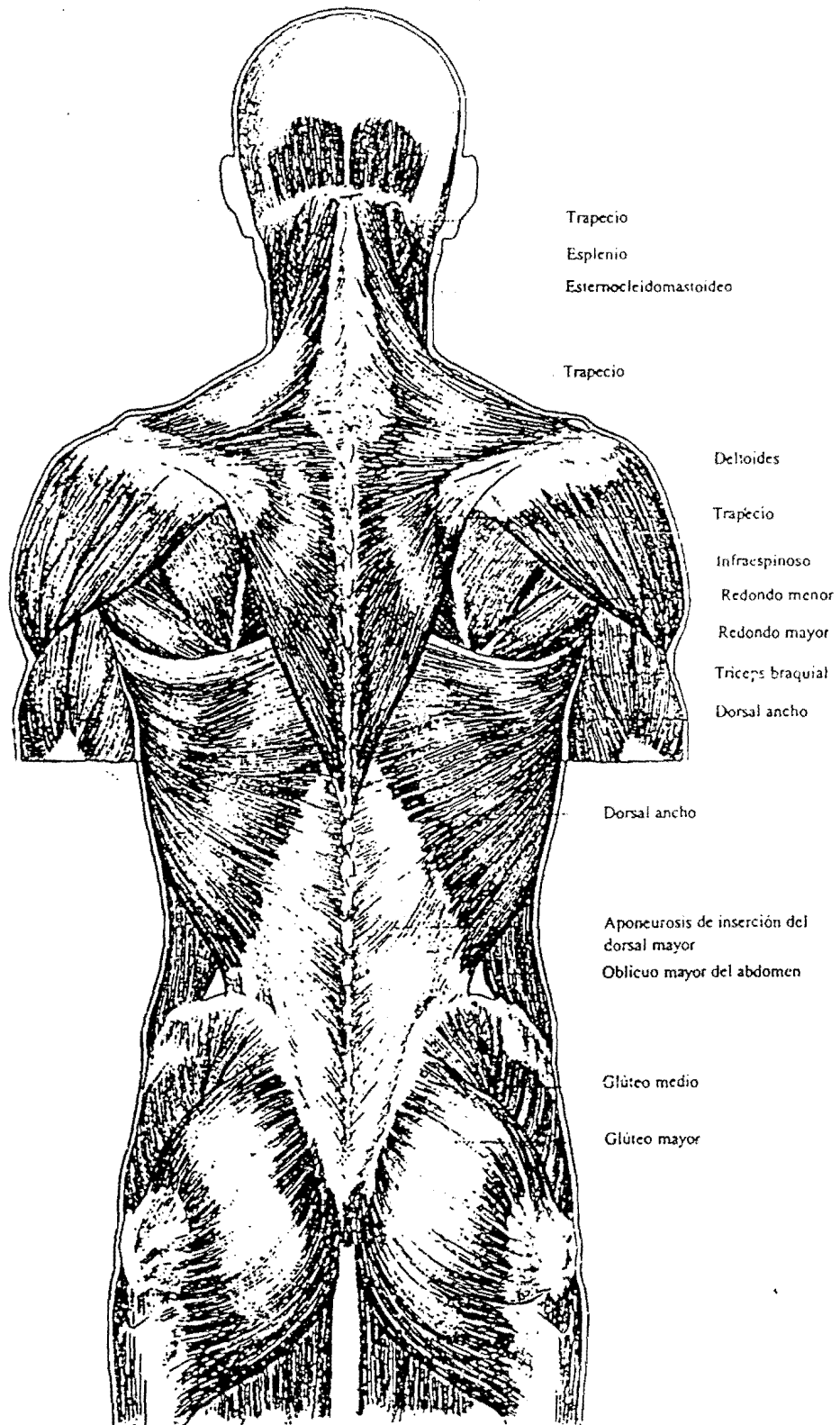


FIGURA 28. Paul Richer

2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DE LOS NIÑOS Y ADOLESCENTES

El estudio básico de las características anatómicas y funcionales del aparato locomotor del niño y del adolescente debe detenerse en el análisis de la evolución del crecimiento y desarrollo que va a experimentar el niño desde su nacimiento.

Las fuerzas mecánicas influyen directamente en el crecimiento y forma de los huesos. Después del nacimiento y hasta la adolescencia, antes de que se produzca la fusión de las epifisis, el aumento del uso de los músculos parece ser que estimula el desarrollo de los huesos, tanto en longitud como en anchura.

Durante la pubertad y la adolescencia existe un período de crecimiento rápido (estirón), siendo el raquis (columna vertebral) una zona de crecimiento privilegiado y más vulnerable a las presiones y tracciones. Pero al mismo tiempo no debemos olvidar que, aunque el crecimiento en estos períodos dependa casi exclusivamente del tronco, los miembros, sobre todo, los inferiores, desempeñan un papel y su crecimiento estará influido por los factores externos mecánicos.

Durante la primera y segunda infancia se va a producir un progresivo desarrollo de los cuerpos vertebrales, sin embargo, los ángulos de dichos cuerpos persisten en una fase cartilaginosa (cresta marginal). Es alrededor de los 15 años cuando se produce la fusión de dicha cresta marginal ya osificada con el resto del cuerpo vertebral, siendo las vértebras lumbares las últimas en completar este crecimiento, por lo tanto, las más vulnerables.

El proceso osteogénico se completará alrededor de los 24 años.

Es indudable que la práctica del deporte y la actividad física realizada durante el período de la adolescencia va a tener una influencia directa sobre el crecimiento raquídeo, influyendo positivamente siempre que exista un control sobre dicho crecimiento, y unas consecuencias patológicas si la práctica de diversos deportes no es vigilada y sistematizada.

Con respecto al crecimiento de las extremidades, van madurando más rápidamente las porciones distales que las proximales, siendo también más tardío el miembro superior que el inferior.

Las placas de crecimiento en los huesos largos permanecen en estado cartilaginoso hasta su osificación en la edad adulta. Por tanto, son muy vulnerables a la lesión traumática y propensas a la sobrecarga durante la niñez y la adolescencia.

Para GAUBERT y cols. (1985) cada día son más frecuentes y graves las patologías del niño y del adolescente sobre la columna vertebral en la práctica deportiva. Estos autores exponen una clasificación clara sobre los dos tipos de lesiones que pueden acontecer sobre el aparato locomotor en crecimiento del joven:

- Traumatismos extrínsecos agudos (un golpe o una caída que produce una fractura, por ejemplo).
- Microtraumatismos: suelen ser de origen intrínseco (por ejemplo, tracciones musculares sobre una inserción ósea, que pueden llegar a producir un arrancamiento óseo). Si son repetitivos y con un efecto acumulativo pueden llegar a producir lesiones de sobrecarga.

3.- CONSIDERACIONES A TENER PRESENTES EN LAS SESIONES DE ENTRENAMIENTO CON NIÑOS Y ADOLESCENTES

- El cartilago de crecimiento o unión diáfiso-epifisaria está muy vascularizado; este hecho es importante conocerlo ya que el grado de osificación es un factor que tanto el médico deportivo como el educador físico deben tener presentes, debido a que los microtraumatismos van a producir un efecto perjudicial precisamente en las epifisis de crecimiento e indirectamente en el cartilago de conjunción, pudiendo ser la causa de malformaciones o incluso de una prematura detención del crecimiento óseo, ya que la vascularización diafisaria no sustituirá a la epifisaria hasta que se haya completado la osificación.
- Las presiones interrumpidas favorecen el crecimiento óseo, mientras que las presiones constantes pueden provocar atrofas. Por ello deberán evitarse determinadas actividades físicas tales como el entrenamiento con peso, lanzamientos excesivos que produzcan tensión excesiva en las articulaciones, ejercicios de acción extrema que comporten acción de carga, como, por ejemplo, carrera de gran recorrido, saltos con las rodillas en extensión, etc.
- Debido a razones mecánicas, las superficies de inserción de los músculos son tanto más marcadas cuanto más importantes sean las tensiones a que se encuentra sometido el hueso (en ese punto de inserción) al producirse la contracción muscular. De igual manera las articulaciones se adaptan a las condiciones mecánicas que le son impuestas por la actividad muscular.

Las premisas anteriores son necesarias para comprender el desequilibrio músculo-tendinoso que se puede originar en jóvenes deportistas como consecuencia de errores en la práctica de la actividad física. Estos errores pueden llevarles a una desproporción en su desarrollo muscular, aumentando su potencia y pudiendo provocar, a través de tracciones y presiones repetidas, deformidades del hueso e incluso articulares.

La estructura que más sufre las consecuencias anteriormente expuestas es el cartilago de conjunción, pudiendo incluso producirse arrancamientos de los núcleos de osificación. Pondremos como ejemplo, por su importancia y enorme frecuencia, el extremo proximal de la tibia. Esta patología tan frecuente en adolescentes es lo que conocemos como epifisis tibial traumática o enfermedad de OSGOOD-SCHLATTER.

- Durante los brotes de crecimiento (estirón) los jóvenes tienen una menor flexibilidad; es en estos períodos cuando no se debe abusar de deportes de contacto tales como judo, rugby, que fundamentalmente tendrían una repercusión sobre la columna cervical.
- A nivel de la columna dorsal, se debe tener presente una enfermedad llamada de SCHEUERMANN, que afecta a jóvenes entre 10 y 25 años y que cursa radiológicamente, con acuñaamiento de las vértebras torácicas (dorsales). Determinados deportes como la halterofilia, la equitación, el ciclismo, el judo, el rugby y el remo, son causantes de esta patología, existiendo un factor responsable de tipo microtraumático.
- Es frecuente encontrar en el adolescente deportista dolor en la región lumbar; una de sus causas es la hiperlordosis lumbar (aumento de la curva fisiológica lumbar), en la que coexisten una contractura de los músculos dorso-lumbares y de la cara posterior del muslo con una debilidad de los músculos abdominales. Puede corregirse con el estiramiento apropiado de los músculos lumbares y de la cara

posterior del muslo (isquiotibiales), fortalecimiento de los abdominales y la atención para mantener una postura apropiada.

- Los ejercicios o deportes que conlleven una hiperextensión de la columna vertebral lumbar (tales como gimnasia deportiva, rugby, natación estilo mariposa y halterofilia, así como los impulsos de remo, el servicio de tenis, el remate de voleibol, el lanzamiento en balonmano, las carreras de vallas y los saltos de pértiga y altura) son desaconsejables si se practican de una forma incontrolada, ya que pueden provocar una sobrecarga sobre todo a nivel de la última vértebra lumbar (L5) y la consiguiente patología lumbar.

La prevención debe llevarse a cabo sobre todo con la observación de los niños que tengan un morfotipo hiperlordótico y que al mismo tiempo practiquen deportes que conlleven la hiperextensión de la columna.

- También va a ser frecuente encontrar adolescentes con un problema de columna vertebral denominado escoliosis (desviación lateral del raquis); esta patología no es una contraindicación para la práctica de la actividad física o deportiva, siendo aconsejable evitar los deportes de contacto. En la escoliosis la práctica deportiva puede mejorar el tono muscular y retrasar la evolución de la desviación.
- A modo de conclusión y resumen podemos decir que los niños y jóvenes tienen un buen nivel y capacidad de rendimiento. Pueden sufrir cargas en cantidad e intensidad siempre y cuando no produzcan lesiones y se adecúen al nivel biológico sin tomar referencias en el mundo adulto. Conviene evitar :
 - Cargas con resistencia no adaptadas a la fuerza relativa del nivel biológico.
 - Cargas que exijan esfuerzos elevados a la columna vertebral.
 - Contracciones isométricas intensas.

RESUMÉN - INFORMACIÓN ESENCIAL

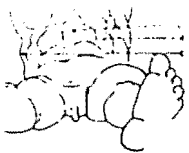
A continuación y a modo de cuadro se resumen los músculos principales que intervienen en los diferentes movimientos de la columna vertebral.

ARTICULACIÓN	GRUPO MUSCULAR	ACCIÓN
COLUMNA CERVICAL	Recto anterior mayor Recto anterior menor Recto lateral Escalenos Largo del cuello	FLEXIÓN
	Recto posterior mayor Recto posterior menor Esplenio Complejo mayor Complejo menor Esternocleidomastoideo Trapezio	EXTENSIÓN
COLUMNA DORSO-LUMBAR	Oblicuo mayor de la nuca Transverso Esplenio Esternocleidomastoideo Trapezio	ROTACIÓN
	Recto mayor del abdomen Oblicuo mayor del abdomen Oblicuo menor del abdomen Psoas iliaco	FLEXIÓN
	Sacro-lumbar Dorsal largo Tranverso espinoso Cuadrado lumbar	EXTENSIÓN
	Transverso espinoso Oblicuos del abdomen	ROTACIÓN

AUTOEVALUACIÓN

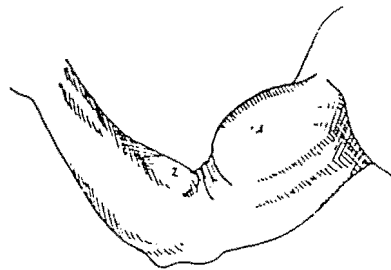
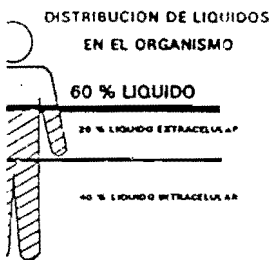
- ¿Sabrías explicar a qué músculo puede afectar la sobrecarga del aductor mediano de la cadera por proximidad en su inserción?
- ¿Qué acción tiene el músculo tibial anterior a nivel de la articulación de la rodilla?
- ¿Qué acción principal tiene el músculo palmar menor a nivel de la articulación de la muñeca?
- ¿El tendón de los músculos peroneos laterales largo y corto, por detrás de qué relieve óseo pasa?
- ¿Cuál de los siguientes músculos es antagonista del glúteo mayor?
A) glúteo medio; B) isquiotibiales; C) psoas ilíaco; D) gemelos.
- ¿Qué movimientos limita la debilidad del músculo deltoides?

- BORRACHERO DEL CAMPO, J., "Bases anatomofuncionales de la gomartrosis", *Rehuma*, n.º 1, enero-febrero, 1982.
- GALLARDO, F., *Ciencias aplicadas al deporte: bases médicas de la actividad Físico-Deportiva*. Cádiz. Ed. Servicio de deportes de la Diputación Provincial de Cádiz, 1992.
- GIMÉNEZ, E., "Generalidades sobre el dolor de espalda", *Rheuma*, n.º 24, mayo-junio, 1985.
- HERNÁNDEZ, J. L., y MANCHÓN, J. I., *Gimnástica*. U.N.E.D.
- KAPANDJI, I., A., *Cuadernos de fisiología articular*. Barcelona, Ed. Masson, 1990.
- KENDALL, H. O.; KENDALL, F. P.; WADSWORTH, G., *Músculos, pruebas y funciones*. Barcelona, Ed. Jims., 1974.
- LAPIERRE, A., *La reeducación física*. Barcelona, Ed. Científico-médica, 1974.
- PALACIOS, M., *Deporte y salud*. Gijón, Ed. Stella, 1978.
- R. GIMÉNEZ, E., "Generalidades sobre el dolor de espalda", *Rheuma*, n.º 24, mayo-junio, 1985.
- RASCH/BURKE, *Kinesiología y Anatomía Aplicada*. 3ª Edición. Barcelona, Ed. Ateneo, 1973.
- RAYNER, C., *El cuerpo humano*. Ed. Orbis, S.A., 1985.
- SPALTHOLZ, *Atlas de anatomía*. Barcelona, Ed. Labor, 1974.
- TESTUT, L., *Tratado de anatomía humana*. Barcelona, Ed. Salvat, 1971.
- THILL, E.; THOMAS, *Manuel de l'educateur sportif*. París, Ed. Vigot, 1985.

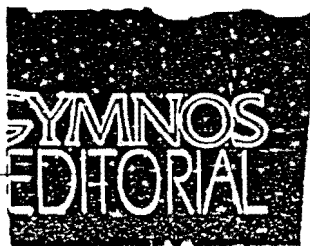
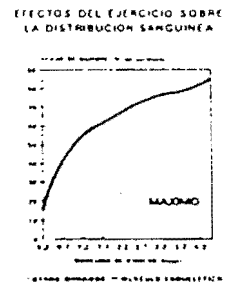
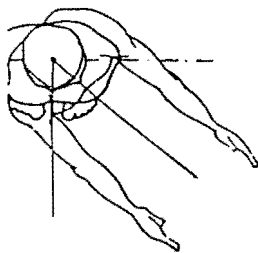
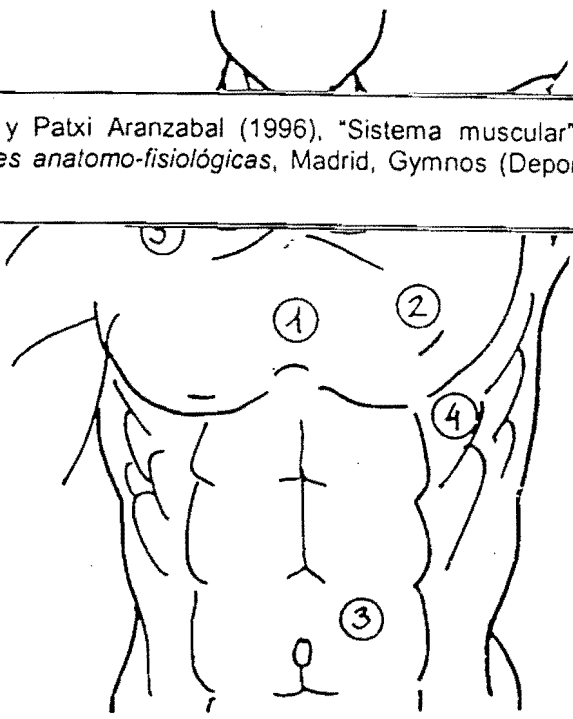


EL MOVIMIENTO HUMANO

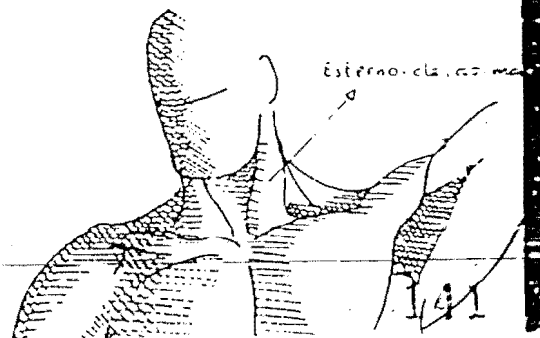
BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS



Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Sistema muscular", en *El movimiento humano. Bases anatómo-fisiológicas*, Madrid, Gymnos (Deporte y Salud), pp. 95-107.



Colección
Deporte
y
Salud



SISTEMA MUSCULAR

El músculo esquelético es el encargado, mediante su contracción, de la realización del movimiento al conseguir desplazar las palancas óseas. Este mecanismo de contracción requiere la puesta en marcha de toda una cadena de acontecimientos, todos ellos imprescindibles, comenzando por el estímulo nervioso, la despolarización de la membrana muscular, la liberación de Calcio intracelular, la unión de diferentes proteínas musculares, y la existencia de energía utilizable en el interior de la célula.

Al hablar del Sistema Nervioso en el capítulo anterior, hablábamos de la existencia de nervios motores que eran los que controlaban diferentes células musculares, por lo que vamos a continuar la comprensión de la contracción muscular deteniéndonos en la estructura del propio músculo, para después seguir profundizando en su funcionamiento.

ESTRUCTURA MUSCULAR

El músculo está formado por fibras musculares, las cuales están agrupadas en fascículos y éstos a su vez se agrupan para formar el músculo. Todo ello da lugar al elemento contráctil.

De manera sencilla y esquemática, con el fin de comprender mejor esta estructuración, podríamos decir:

la estructura muscular está formada por una capa que lo envuelve completamente o vaina externa (que se le llama epimisio) y que en su interior existen varios 'paquetes' envueltos individualmente por otra capa similar a la que rodeaba al músculo que en este caso llamaremos perimisio, siendo de la misma composición; a estos 'paquetes' llamamos fascículos musculares.

Si nosotros aisláramos un 'paquete' de estos que hemos llamado fascículo y lo ampliáramos, estaríamos viendo una estructuración exactamente igual a la del propio músculo; la diferencia es que en este caso cada uno de los 'paquetillos' que con-

forman el 'paquete' o fascículo son las fibras musculares o células musculares. En cuanto a las vainas de tejido conjuntivo, la que rodea al 'paquete' llamamos perimisio, mientras que a la que rodea al 'paquetillo' llamamos endomisio.

Si cogiéramos un 'paquetillo' y lo agrandaríamos, apreciaríamos una estructura muy parecida a las anteriores, estando estructurada la fibra muscular por diferentes estructuras menores llamadas miofibrillas; no existe una vaina rodeando las diferentes miofibrillas.

Cada nivel de agrupación está rodeado de tejido conjuntivo tal y como hemos ido viendo, así:

Rodeando a la fibra muscular está el ENDOMISIO
Rodeando al fascículo muscular está el PERIMISIO
Rodeando al músculo está el EPIMISIO

Este material conjuntivo, se une en los extremos del músculo (como si se fundieran las diferentes estructuras) para formar los tendones. Todo el tejido conjuntivo (tanto las vainas como los tendones) es el que da lugar al elemento elástico del músculo.

FIBRA MUSCULAR

Es la célula muscular y es por tanto la unidad estructural del músculo. La longitud de la fibra es la del propio músculo, con lo que podemos tener células musculares de múltiples tamaños, llegando a tener algunas varios centímetros de longitud.

En su interior contiene las miofibrillas, que es el elemento contráctil que hace que la fibra muscular se acorte y a su vez lo haga el músculo. Hay que significar que aunque sólo se contraiga una fibra muscular, la cohesión que le da el tejido conjuntivo (las diferentes vainas que hemos visto) hace que sea todo el músculo quien se contraiga. Por tanto, el hecho de que un músculo se acorte no significa que todas sus células musculares estén realizando una contracción activa; de esta manera (tal y como hemos visto en el control nervioso) el sistema nervioso regula la producción de fuerza por parte del músculo, activando sólo las fibras musculares necesarias, a pesar de que todo el músculo se acorte.

Además presenta otra característica diferencial como es el ser polinucleado, debido a que muchas células confluyen en una sólo durante el período embrionario.

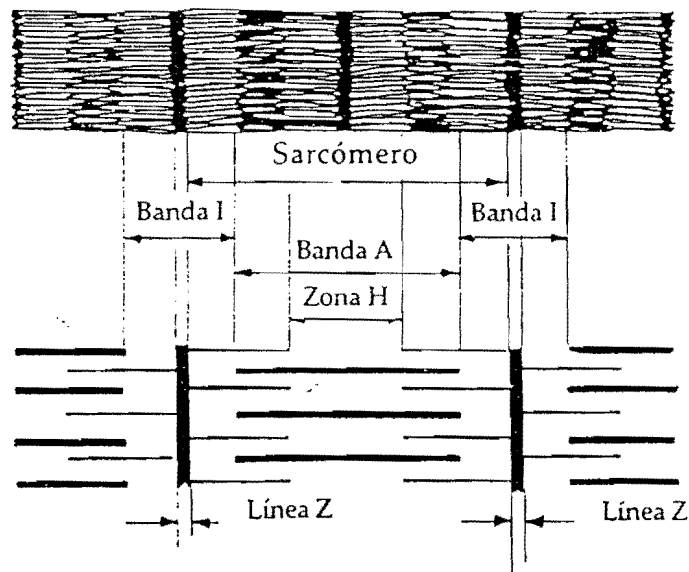
El retículo sarcoplásmico está muy desarrollado y es importante en el mecanismo de contracción.

La membrana que rodea a la fibra muscular se llama sarcolema y por fuera de la misma se sitúa el endomisio.

MIOFIBRILLAS

Es el elemento contráctil, situado en el interior de la fibra muscular.

El músculo estriado, presenta al microscopio, una imagen en bandas claras y oscuras, procedente de la distribución longitudinal de los miofilamentos que componen la miofibrilla.

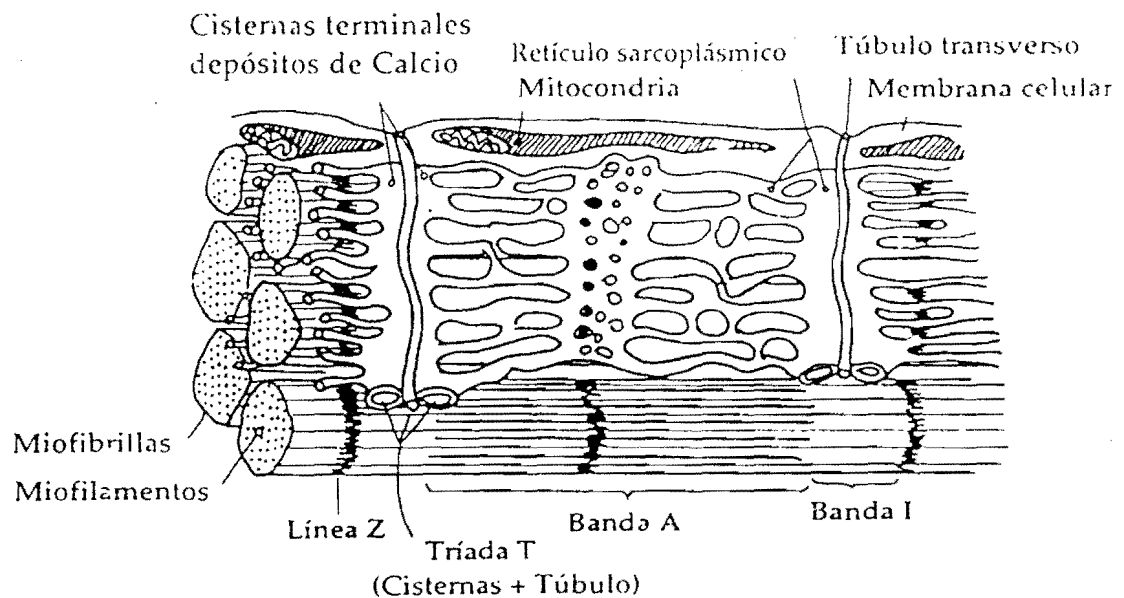


Así observamos:

Bandas "I".- Se corresponden con las bandas claras y están compuestas principalmente por filamentos delgados de actina.

En el centro de la banda "I", destaca la línea "Z". El sarcómero, es la unidad estructural de la miofibrilla y es la zona comprendida entre 2 líneas "Z" vecinas. Es decir que está compuesto de :

- 2 medias bandas "I", correspondientes a cada línea "Z"
- 1 banda "A" completa.



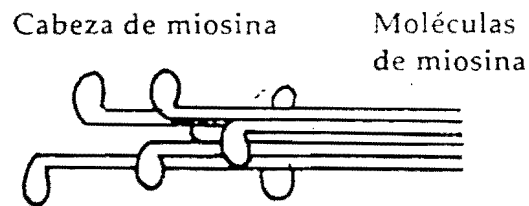
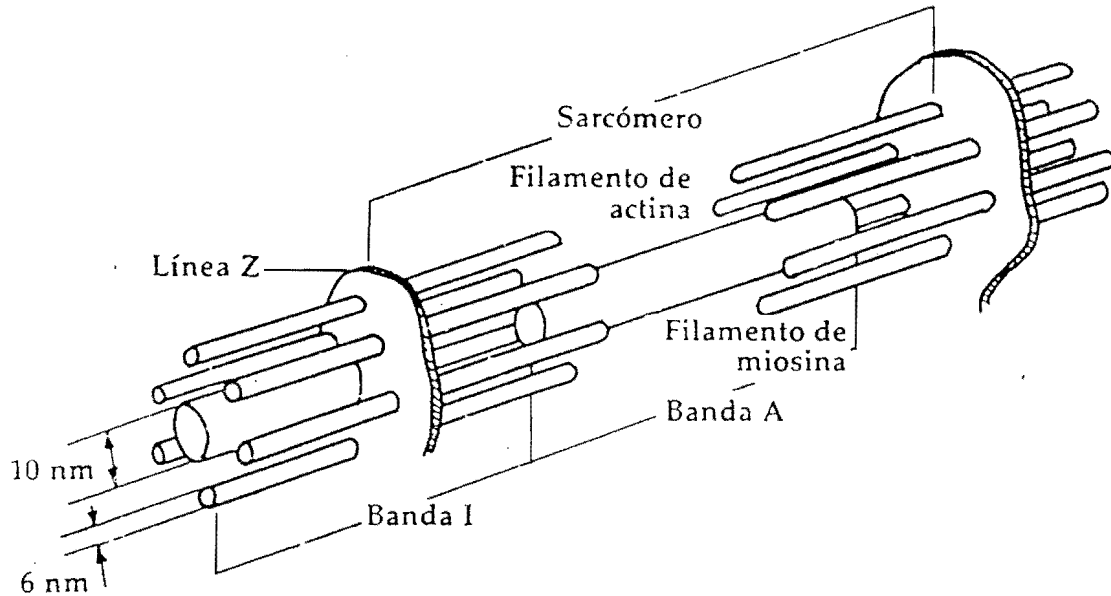
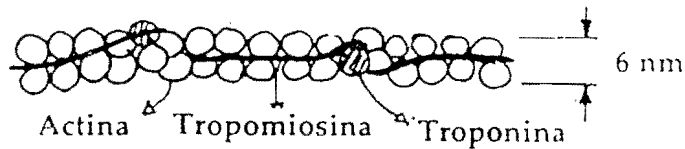
Bandas "A".- Se corresponden con las bandas oscuras y están compuestas por la superposición de filamentos gruesos de miosina y delgados de actina.

Dentro de la banda "A", existe la zona "H", ocupada de forma exclusiva por filamentos gruesos de miosina. En medio de dicha zona "H", se encuentra la línea "M".

La dimensión de estas bandas depende del estado de contracción o estiramiento del músculo, así en una situación de contracción máxima la banda "I" puede desaparecer.

Como hemos comentado anteriormente, los miofilamentos están formados por proteínas (ACTINA los delgados y MIOSINA, los gruesos), las cuales además de tener funciones estructurales, intervienen activamente en la mecánica de la contracción. Pero además se conocen otras, que además de intervenir también en la estructura molecular de la miofibrilla, tienen función reguladora, como la TROPONINA y la TROPOMIOSINA.

DETALLE DEL FILAMENTO DE ACTINA



DETALLE DEL FILAMENTO DE MIOSINA

MECANICA DE LA CONTRACCION

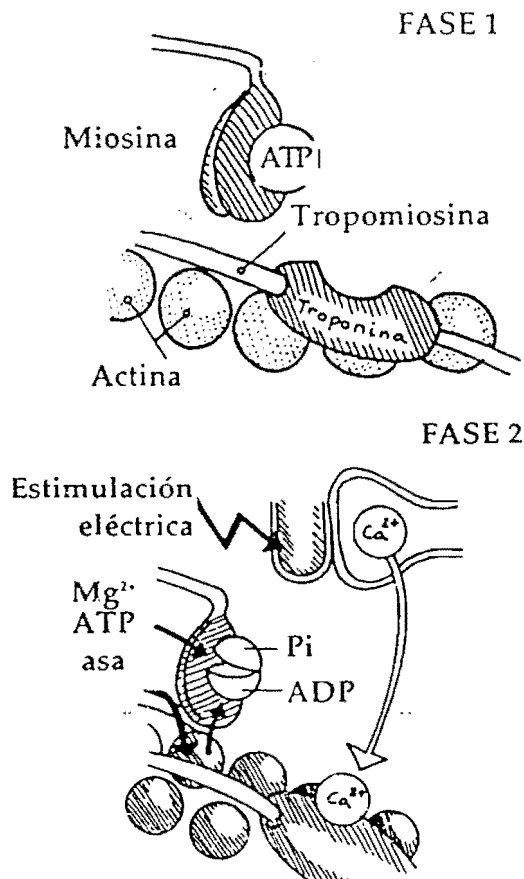
El músculo se contrae disminuyendo su longitud por el efecto sumatorio del acortamiento de cada sarcómero.

Actualmente se acepta la hipótesis de que el sarcómero se acorta por el mecanismo del "FILAMENTO DESLIZANTE" es decir el deslizamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina por la existencia de unas 'cabezas' con capacidad de doblarse en la miosina y que se van a acoplar a la actina para formar un puente

cruzado, que con un movimiento de penduleo de la cabeza de la miosina producirá el deslizamiento. Estos puentes actuarían como remeros. Este efecto de "remada" requiere la presencia de dos elementos imprescindibles mencionados ya con anterioridad:

CALCIO.- Su función es levantar el veto que existe para que la actina y la miosina se unan por medio de los puentes cruzados. En tanto no exista calcio, no existe unión entre los filamentos de actina y miosina; cuando llega un estímulo eléctrico (orden de contracción) y se produce la despolarización de la membrana (cambio del potencial eléctrico a ambos lados), tiene lugar la liberación de calcio por parte del retículo sarcoplásmico; este calcio que se libera se une a la Troponina, permitiendo de esta manera la unión entre la Actina y la Miosina.

ATP (Adenosin trifosfato).- La energía que libera esta molécula va a hacer que la cabeza de la miosina llegue a doblarse, con lo que los puentes formados entre actina y miosina van a pendular, produciendo la tensión muscular por desplazamiento de la actina sobre la miosina; la existencia de suficiente energía da lugar a la liberación entre ambos filamentos, para si existe un nuevo impulso eléctrico permitir un nuevo acoplamiento con el fin de conseguir mayor deslizamiento.

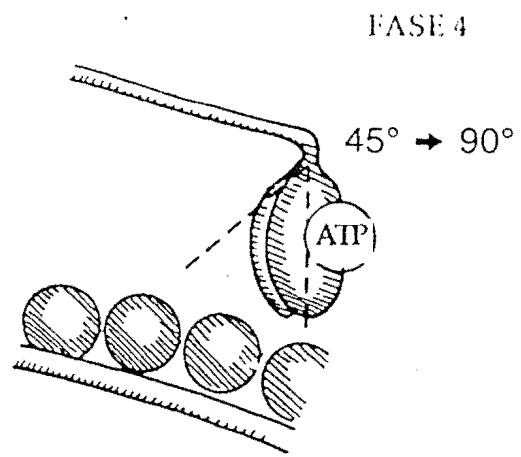
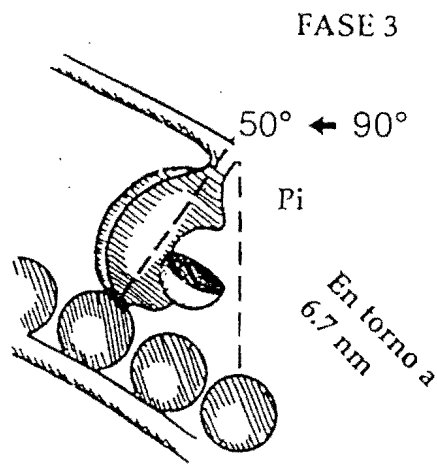


RESUMEN DE ACONTECIMIENTOS EN LA CONTRACCION

En reposo, los filamentos de actina y miosina están separados (Fase 1).

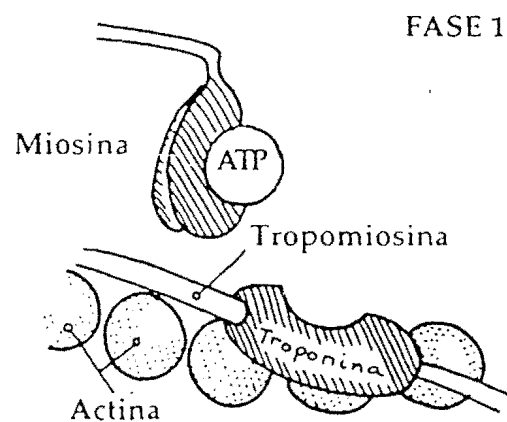
A la fibra muscular llega el estímulo eléctrico a través de un nervio motor (orden de contracción), lo que va a dar lugar a la despolarización (cambio eléctrico) de la membrana, lo que a su vez produce la liberación del calcio de donde se encuentra almacenado, permitiéndose la formación del complejo actomiosina (Fase 2).

La actomiosina estimula la descomposición del ATP para producir energía, la cual va a



permitir el penduleo de los puentes de miosina con lo que el músculo se acorta, aunque de forma mínima (Fase 3).

Con el complejo actomiosina en nueva posición, llega otra molécula de ATP que va a permitir la separación de la actomiosina y la posibilidad de formación de un nuevo complejo de actomiosina, siempre que haya calcio (es decir siempre que haya orden de contracción). Va a ser un 'tren' de impulsos lo que va a dar lugar a un acortamiento muscular significativo (Fase 4).



Cuando la orden cesa (no hay estímulo), se recupera el calcio y se vuelve a producir el veto sobre la actina y la miosina con lo que el músculo retorna a su posición de reposo (Fase 1).

TIPOS DE CONTRACCION MUSCULAR

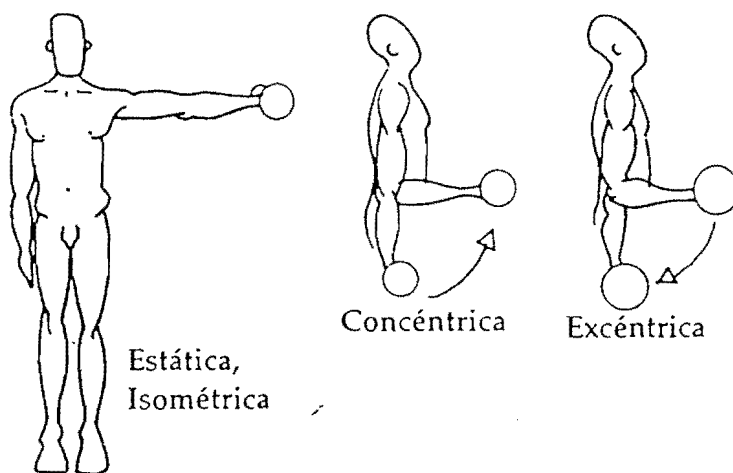
Existen múltiples clasificaciones en cuanto a las diferentes modalidades de contracción muscular, pero sólo vamos a hacer referencia a tres, ya que el resto están de alguna manera ligadas a estas que pueden considerarse esenciales:

ISOMETRICA: En este tipo de contracción, el músculo está realizando una fuerza que no es capaz de superar a la resistencia, con lo que no se produce el movi-

miento. Sería el caso de una persona que estuviera empujando un muro que no se mueve; los músculos están siendo activados y está generando una fuerza, pero no la suficiente como para vencer la resistencia que ofrece el muro.

CONCENTRICA: Es el ejemplo típico de contracción muscular, en la que un músculo es activado para vencer una resistencia, y la vence con lo que se produce el acortamiento muscular. Cuando una persona coge un peso ligero para levantarlo y lo consigue, está realizando este tipo de contracción muscular.

EXCENTRICA: En este caso una persona activa un músculo para vencer una resistencia, pero no consigue vencerla sino que la resistencia le vence a él con lo que se produce un alargamiento del músculo que está siendo activado. Cuando a una persona que tiene el brazo flexionado a 90° y le ponen en la mano un peso excesivo que no puede soportar, este peso le vence con lo que se produce la contracción excéntrica del bíceps.



VARIACIONES EN LA PRODUCCION DE FUERZA

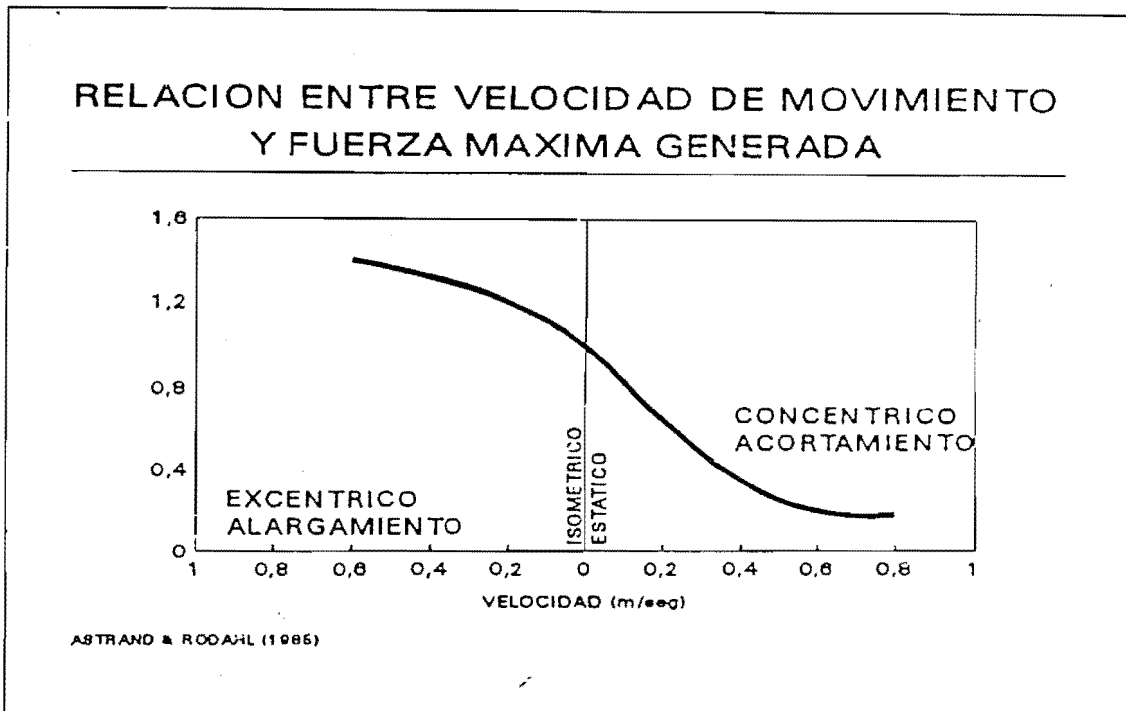
La capacidad de producción de fuerza de un músculo no es fija en todo momento. En función del tipo de contracción muscular, el músculo es capaz de generar más o menos fuerza. Así, la máxima la presenta el músculo al realizar una contracción excéntrica, menos fuerza desarrolla en una contracción isométrica, y menos todavía en una contracción de tipo concéntrico.

Además existe una relación con la velocidad de acortamiento muscular:

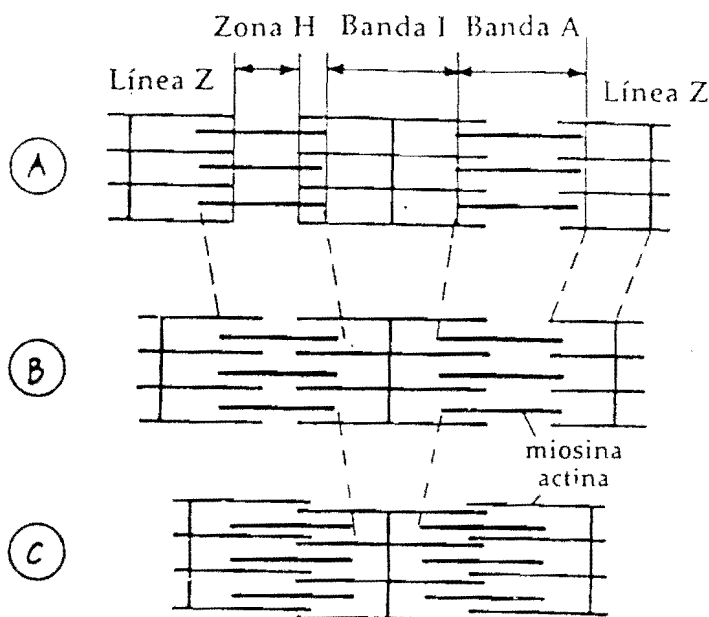
En el caso de las contracciones de tipo excéntrico, un músculo es capaz de generar tanto más fuerza, cuanto más rápido sea el movimiento; es decir, a mayor velocidad, mayor fuerza de contracción excéntrica.

Lógicamente, cuando hablamos de contracción isométrica, estamos hablando de una contracción estática, por lo que no existe velocidad. Ya hemos comentado anteriormente, que la capacidad de generar fuerza máxima en este tipo de contracción es intermedia entre la excéntrica (la más alta) y la concéntrica (la más baja).

En el caso de las contracciones de tipo concéntrico, la evolución es contraria, ya que el músculo es capaz de generar tanta más fuerza, cuanto más lento sea el movimiento, lo que implica que a mayor velocidad de contracción va a ser capaz de generar menos fuerza.



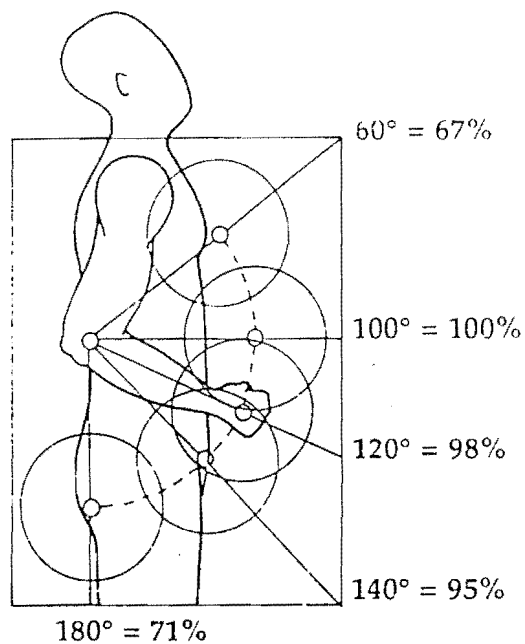
Pero las únicas variaciones en la capacidad de generar fuerza por parte de un músculo no se limitan a lo que hemos apuntado. Si tomáramos como referencia contracciones isométricas, la fuerza máxima depende del grado de acortamiento-estiramiento del músculo. Si el músculo está muy estirado, vamos a suponer que el músculo es capaz de generar una fuerza isométrica de 50 Kg (la unidad de medida es el Newton, pero la mayoría puede entender mejor los kilos); si se acorta un poco y vuelve a realizar una contracción isométrica máxima, la fuerza será más elevada, por ejemplo de 60 Kg; si acortamos más todavía, generará 70 Kg; si acortamos más generará 65 Kg; si acortamos más, será capaz de generar, siempre en contracción isométrica, 55 Kg; y si lo acortamos a tope, la máxima capacidad dará lugar a una fuerza máxima de 40 Kg. Por tanto, el músculo no es capaz de generar la misma fuerza en los diferentes grados de acortamiento, y ello es debido a la disposición de los filamentos de actina y miosina en los sarcómeros, y su capacidad de establecer puentes entre ellos.



Podemos decir, fijándonos en el esquema superior, que cuando el músculo está estirado (A), hay cabezas de los filamentos de miosina, que no pueden contactar con los filamentos de actina, y por tanto son menos los puentes activos, generando menos fuerza; según va contrayéndose el músculo y acortándose los sarcómeros, llega un momento en que todas las cabezas de miosina pueden contactar con el filamento de actina y establecer puentes activos (B), con lo que el músculo generará su

fuerza máxima; si sigue contrayéndose más el músculo, va a acortarse más todavía con lo que va a producirse un 'cabalgamiento' entre los filamentos de actina (C), con lo que disminuirá nuevamente la posibilidad de establecer puentes activos entre la actina y la miosina.

Estas razones anteriores, junto con otras de carácter biomecánico en las que no vamos a entrar, son las que dan lugar a las variaciones que se producen en la capacidad de generar fuerza en las diferentes articulaciones, como por ejemplo, las diferencias en la fuerza de flexión del codo en función del ángulo, como vemos en el esquema inferior.



MIOTIPOLOGIA

El músculo esquelético no está constituido por un grupo de fibras homogéneas con propiedades metabólicas y mecánicas similares.

Ha sido mediante la biopsia muscular y el estudio microscópico de las muestras que se ha sabido la existencia de diferentes tipos de fibra muscular.

Así han sido estudiadas:

FIBRAS DE CONTRACCION RAPIDA

También llamadas fibras tipo II o FT (Fast Twitch) o Fibras blancas. Habitualmente son utilizadas durante los ejercicios de velocidad corta y en las contracciones musculares cuya fuente energética es ANAEROBICA. A modo de ejemplo tenemos : Sprints, demarrajés en ciclismo, 100 mts en atletismo, saltos, lanzamientos, etc. Dentro de este tipo de fibras se han conseguido distinguir 3 subtipos:

Fibra tipo IIa.- Llamada intermediaria por el hecho de ser de contracción rápida y tener una buena capacidad aeróbica y anaeróbica. En función del entrenamiento, puede adquirir propiedades más desarrolladas de un tipo u otro (aeróbica o anaeróbica).

Fibra tipo IIb.- Fibra de fuerte capacidad anaeróbica y que es la que mejor representa a las fibras de contracción rápida.

Fibra tipo IIc.- Rara y no diferenciada por ser una fibra en vía de transformación; hay autores que sólo hablan de los dos tipos anteriores, eliminando las de tipo IIc, por lo que no la contemplaremos en la clasificación posterior.

FIBRAS DE CONTRACCION LENTA

También llamadas fibras tipo I o ST (Slow Twitch) o Fibras Rojas. Son habitualmente utilizadas durante las pruebas de fondo y en las pruebas cuya duración se aleje de las de velocidad, donde la fuente energética utilizada es AEROBICA.

ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

CARACTERISTICAS	TIPO I o ST	TIPO IIa o FTa	TIPO IIb o FTb
Capacidad Aeróbica	ALTA	MEDIA	BAJA
Capacidad Anaeróbica	BAJA	MEDIA	ALTA
Tiempo de Contracción	LENTA (75 miliseg)	RAPIDA (30 miliseg)	MUY RAPIDA (20 miliseg)
Fuerza de Contracción	POCA FUERZA. Factor 1	FUERTE. Factor 4	MUY FUERTE. Factor 12
Fatigabilidad	BAJA	MEDIA	ALTA
Densidad Capilar	ALTA	ALTA	BAJA
Densidad Mitocondrial	ALTA	ALTA	BAJA
Depósitos Energéticos	MUCHA GRASA E HIDRATOS DE CARBONO	HIDRATOS DE CARBONO Y FOSFAGENOS	MUCHOS FOSFAGENOS E HIDRATOS DE CARBONO
Enzimas	Enzimas Aeróbicas	Enzimas Aeróbicas y Anaeróbicas	Enzimas Anaeróbicas
Distribución en Deportistas	Predomina en Deportistas de fondo	Predomina en Deportes de Equipo, Medio Fondo, ...	Predomina en Velocistas, Saltadores, Lanzadores, ...

Como decíamos en el encabezamiento de este apartado, el músculo del hombre no es homogéneo en cuanto al tipo de fibra que lo compone, sino que por el contrario está formado por una mezcla de fibras de contracción lenta y rápida, y según la especialidad deportiva practicada, el porcentaje de unas y otras variará.

Se sugiere que la distribución de las fibras en el ser humano sólo está determinada por la herencia, de donde se puede deducir la existencia de una predisposición para determinada disciplina deportiva marcada por los genes.

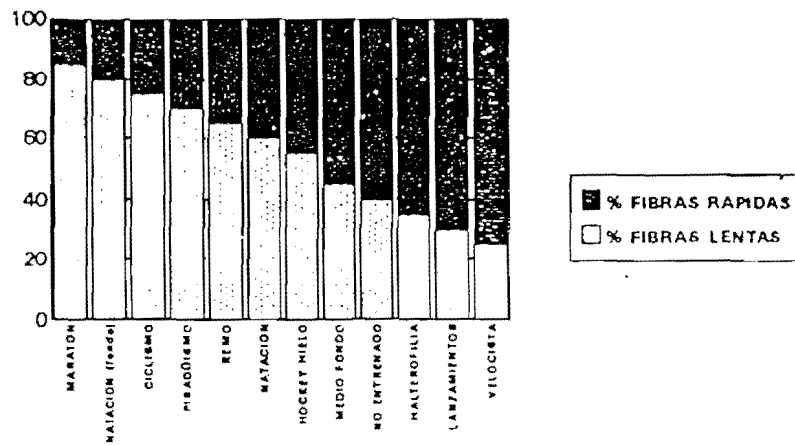
Esto no quiere decir que el éxito esté determinado de manera exclusiva por la genética, pues se sabe que es el resultado de la interacción óptima de diferentes sistemas (Nervioso, metabólico y biomecánico). No obstante, se observa una clara diferenciación entre el contenido en un tipo de fibras y el rendimiento en disciplinas deportivas específicas, tal y como vemos en la tabla siguiente:

PORCENTAJE DE FIBRAS LENTAS (I) Y RAPIDAS (II)
EN DIFERENTES DEPORTES (Datos de Wilmore y Costill)

ATLETAS	SEXO	MUSCULO	%I	%II
ATLETISMO (Velocidad)	Hombre	Gemelo	24	76
ATLETISMO (Velocidad)	Mujer	Gemelo	27	73
ATLETISMO (Fondo)	Hombre	Gemelo	79	21
ATLETISMO (Fondo)	Mujer	Gemelo	69	31
CICLISMO	Hombre	Vasto Lateral	57	43
CICLISMO	Mujer	Vasto Lateral	51	49
CULTURISMO	Hombre	Gemelo	44	56
TRIATHLON	Hombre	Vasto Lateral	63	37
NO ATLETAS	Hombre	Vasto Lateral	47	53

Aquellos deportes en los que la intensidad sea más alta tienen unos competidores de alto nivel con un alto porcentaje de fibras rápidas (tipo II o FT), mientras que los deportistas de alto nivel de especialidades típicamente de fondo presentan un alto porcentaje de fibras lentas (tipo I o ST), quedando en una zona intermedia los deportistas de disciplinas de equipo, así como deportes que pueden considerarse de características mixtas, tal y como vemos en el gráfico siguiente:

PORCENTAJE DE TIPOS DE FIBRAS EN FUNCION DEL DEPORTE



RADTKE y col (1987)

Respecto a si las fibras con un entrenamiento específico, pueden transformarse de un tipo en otro, se ha demostrado que la distribución porcentual no varía tras un entrenamiento de resistencia, de pesas o de velocidad. No obstante hay autores que mencionan las fibras tipo IIc como fibras en vías de transformación, y por lo tanto susceptibles de modificar los porcentajes de los diferentes tipos de fibra, aunque en niveles mínimos. Igualmente el tipo de entrenamiento puede modificar el contenido de las fibras tipo IIa, en el sentido de potenciar unas cualidades u otras.



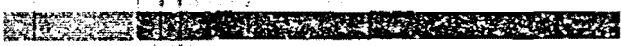
En el curso de Biología y Salud I


Bloque II

El organismo y sus aparatos

De la Biblioteca Particular

Héctor Fajó





fisiología del esfuerzo y del deporte

Wilmore, Jack y David Costill (2001), "Estructura y función del sistema cardiovascular", en *Fisiología del esfuerzo y del deporte*, Barcelona, Paidotribo, pp. 164-189.

Visión general del capítulo

Nuestro sistema cardiovascular, que incluye el corazón, los vasos sanguíneos y la sangre, tiene muchas funciones, incluidas las de nutrición, protección e incluso la de transporte de desechos. El sistema debe llegar a todas las células del cuerpo, y debe poder responder inmediatamente a cualquier cambio en el ambiente interno para mantener todos los sistemas del cuerpo funcionando con la máxima eficacia. Incluso cuando estamos en reposo, nuestro sistema cardiovascular trabaja constantemente para satisfacer las demandas de los tejidos de nuestro cuerpo. Pero durante el ejercicio se impone un número más elevado de demandas mucho más urgentes sobre este sistema.

En este capítulo, exploraremos la asombrosa función que juega el sistema cardiovascular en la actividad física. En la primera parte del capítulo analizaremos la estructura y la función del sistema cardiovascular, poniendo de relieve sus complejidades. En la segunda parte, nos centraremos en el modo en que el sistema cardiovascular responde a las exigencias aumentadas del ejercicio. Aprenderemos cómo cada componente de este sistema se adapta a los cambios en el ambiente interno del cuerpo que resultan de los ritmos aumentados de la actividad física y cómo el sistema controla nuestra capacidad para rendir.

Esquema del capítulo

Estructura y función del sistema cardiovascular	164
Corazón	164
Sistema vascular	170
Sangre	174
Respuesta cardiovascular al ejercicio	176
Frecuencia cardíaca	176
Volumen sistólico	178
Gasto cardíaco	180
Cambios generales en la función cardíaca	180
Flujo de sangre	182
Tensión arterial	183
Sangre	184
Conclusión	186
Expresiones clave	187
Cuestiones a estudiar	187
Referencias	187
Lecturas seleccionadas	188

El día 5 de enero de 1968, el deporte mundial perdió a uno de sus deportistas más grandes "Pistol Pete" Maravich, vieja estrella de la National Basketball Association, sufrió un colapso y falleció de un paro cardíaco a los 40 años de edad durante un partido de baloncesto retransmitido por televisión. Su muerte causó una conmoción, y la causa de la misma sorprendió a los expertos médicos. El corazón de Maravich estaba anormalmente agrandado debido principalmente al hecho de que había nacido con una sola arteria coronaria en el lado derecho del corazón—le faltaban las dos arterias coronarias que abastecen el lado izquierdo del corazón—. La comunidad médica quedó asombrada de que esta sola arteria coronaria del lado derecho hubiese estado abasteciendo el lado izquierdo del corazón de Maravich, y que esta adaptación le hubiese permitido competir durante muchos años como uno de los mejores jugadores en la historia del baloncesto.

El sistema cardiovascular realiza un determinado número de importantes funciones en el cuerpo. La mayoría de ellas dan apoyo a otros sistemas fisiológicos. Las principales funciones cardiovasculares se pueden clasificar dentro de cinco categorías distintas:

1. Distribución.
2. Eliminación.
3. Transporte.
4. Mantenimiento.
5. Prevención.

Consideremos algunos ejemplos. El sistema cardiovascular distribuye nutrientes y oxígeno, y elimina dióxido de carbono y productos metabólicos de deshecho, de todas las células del cuerpo. Transporta hormonas desde las glándulas endocrinas hasta sus receptores objetivo. El sistema mantiene la temperatura del cuerpo, y la capacidad de amortiguamiento de la sangre ayuda a controlar el pH del cuerpo. El sistema cardiovascular mantiene unos niveles apropiados de fluido para prevenir la deshidratación y ayuda a prevenir las infecciones causadas por organismos invasores.

Aunque ésta es una lista abreviada, estas funciones cardiovasculares mencionadas son importantes para comprender las bases fisiológicas de la actividad física. Pero antes de examinar las respuestas cardiovasculares específicas de la actividad, necesitamos contemplar los componentes del sistema cardiovascular y cómo funcionan juntos.

Estructura y función del sistema cardiovascular

Es impresionante la capacidad del sistema cardiovascular para responder inmediatamente a las muchas y siempre cambiantes necesidades del cuerpo. Todas las funciones corporales y virtualmente cada una de las células del cuerpo dependen de algún modo de este sistema.

Cualquier sistema de circulación requiere tres componentes:

1. Una bomba (el corazón).
2. Un sistema de canales (los vasos sanguíneos).
3. Un medio fluido (la sangre).

Examinemos cada uno de ellos por separado.

Corazón

El corazón, mostrado en la figura 8.1, tiene dos aurículas actuando como cámaras de recepción y dos ventrículos como unidades de emisión. El corazón es la bomba principal que hace circular la sangre por todo el sistema vascular. Veamos el camino que sigue la sangre cuando se desplaza a través del corazón.

Flujo sanguíneo a través del corazón

La sangre que ha seguido su curso entre las células del cuerpo, aportando oxígeno y nutrientes y recogiendo los productos de deshecho, vuelve a través de las grandes venas—la vena cava superior y la vena cava inferior— a la aurícula derecha. Esta cámara recibe toda la sangre desoxigenada del cuerpo.

Desde la aurícula derecha, la sangre pasa a través de la válvula tricúspide al ventrículo derecho. Esta cámara bombea la sangre a través de la válvula pulmonar semilunar hasta la arteria pulmonar, que lleva la sangre a los pulmones derecho e izquierdo. Así, el lado derecho del corazón es conocido como el lado pulmonar, enviando la sangre que ha circulado por el cuerpo hacia los pulmones para reoxigenarla.

Después de recibir un aporte fresco de oxígeno, la sangre abandona los pulmones a través de las venas pulmonares, que la vuelven a llevar hacia el corazón y hacia la aurícula izquierda. Toda la sangre recientemente oxigenada es recibida por esta cámara. Desde la aurícula izquierda, la sangre pasa a través de la válvula bicúspide (mitral) hacia el ventrículo izquierdo. La sangre abandona el ventrículo izquierdo pasando a través de la válvula aórtica semilunar hacia la aorta, que finalmente

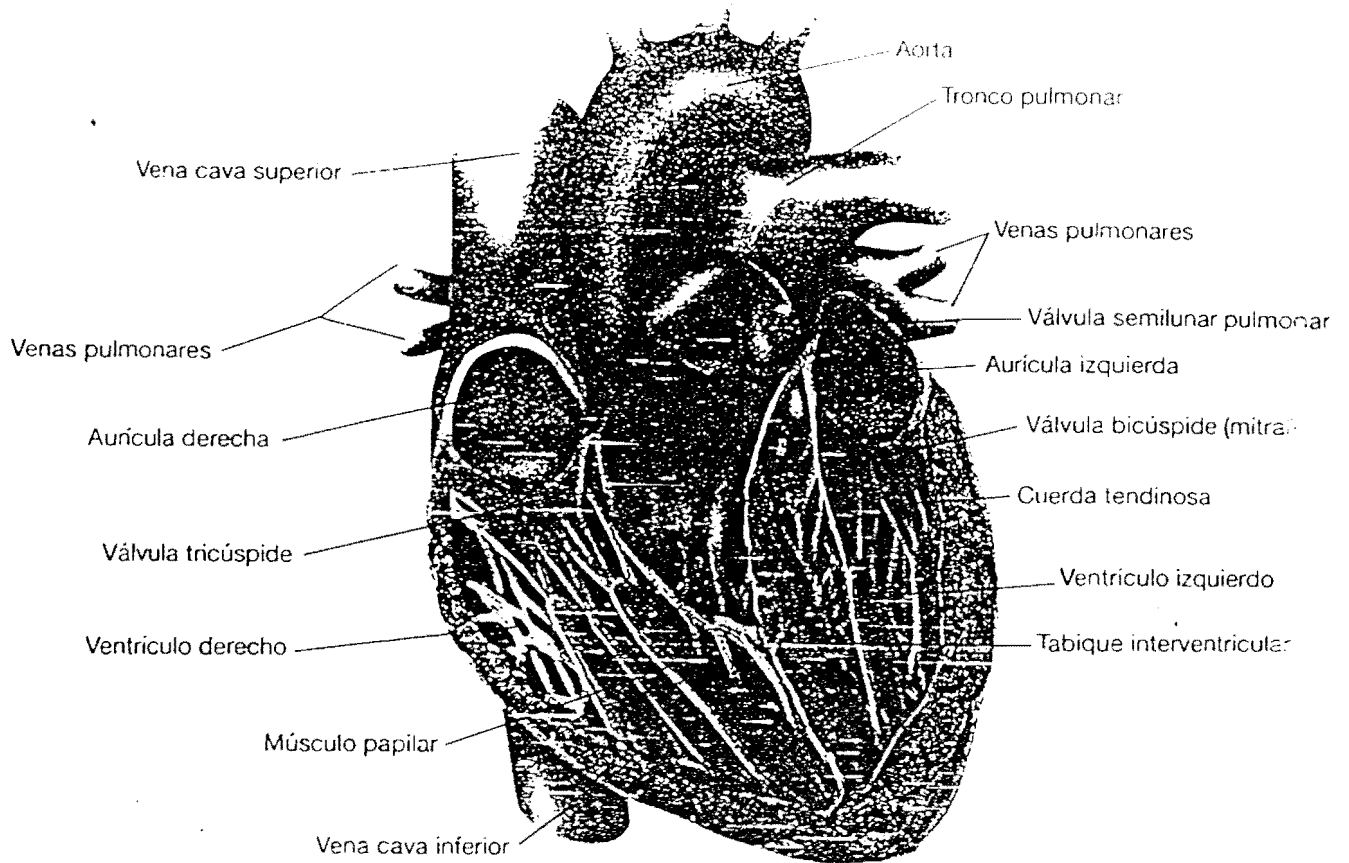


Figura 8.1 Anatomía del corazón humano.

Murmullo del corazón

Las cuatro válvulas impiden el reflujo de la sangre, asegurando un flujo unidireccional a través del corazón. Estas válvulas maximizan la cantidad de sangre bombeada desde el corazón durante la contracción. El murmullo del corazón es una condición en la que se detectan sonidos cardíacos anormales con la ayuda de un estetoscopio. Normalmente, las válvulas del corazón hacen un chasquido característico cuando se cierran. Con el murmullo, el chasquido es sustituido por un sonido similar al de un silbido. Este sonido anormal puede indicar la presencia de un flujo turbulento de sangre a través de una válvula estrechada o defectuosa. Puede indicar también la existencia de un flujo errante de sangre a través de un agujero en la pared que separa los lados derecho e izquierdo del corazón (defecto septal).

Los murmullos del corazón son muy comunes en los niños en desarrollo y en los adolescentes. Durante los períodos de crecimiento, el desarrollo de las válvulas no

siempre prosigue al mismo ritmo que el agrandamiento de las aberturas cardíacas. Las válvulas pueden tener pérdidas incluso en el caso de los adultos. Con un prolapso de la válvula mitral, ésta (bicúspide) deja que una cierta cantidad de sangre refluya hacia la aurícula izquierda durante la contracción ventricular. Este trastorno, común en los adultos (entre el 6 y el 17% de la población), incluidos los deportistas, suele tener poca trascendencia clínica a menos que haya un importante reflujo.

La mayoría de murmullos en los deportistas son benignos, sin afectar el bombeo del corazón ni el rendimiento del deportista. Pero los murmullos del corazón pueden indicar la presencia de unas válvulas enfermizas, como por ejemplo las que tienen estenosis, en cuyo caso la válvula se ha estrechado y con frecuencia se ha hecho más gruesa y rígida. Esta condición puede requerir la sustitución quirúrgica de la válvula.

la envía a todas las partes y sistemas del cuerpo. El lado izquierdo del corazón es conocido como el lado sistémico. Recibe la sangre oxigenada de los pulmones y luego la envía para abastecer a todos los tejidos del cuerpo.

Miocardio

El músculo cardíaco recibe en conjunto el nombre de **miocardio**. El espesor del miocardio depende directamente de la tensión impuesta sobre las paredes de las cámaras del corazón. El ventrículo izquierdo es la más poderosa de las cuatro cámaras. Mediante sus contracciones, esta cámara debe bombear sangre por toda la ruta sistémica. Cuando estamos sentados o de pie, el ventrículo izquierdo debe contraerse con suficiente fuerza como para vencer el efecto de la gravedad, que tiende a acumular la sangre en las extremidades inferiores.

La tremenda potencia del ventrículo izquierdo es reflejada por el mayor tamaño (hipertrofia) de su pared muscular comparado con el de las otras cámaras del corazón. Esta hipertrofia es simplemente el resultado de las demandas impuestas sobre ella en reposo o bajo condiciones normales de actividad moderada. Con ejercicios más enérgicos —especialmente en las actividades aeróbicas intensas, durante las cuales las necesidades de sangre de los músculos en funcionamiento aumentan considerablemente— las demandas sobre el ventrículo izquierdo son altas. Con el tiempo, reacciona incrementando su tamaño, como los músculos esqueléticos.

Aunque estriado en apariencia, el miocardio difiere de los músculos esqueléticos en un aspecto importante. Las fibras musculares cardíacas están anatómicamente interconectadas de un extremo a otro por regiones teñidas en tono oscuro llamadas discos intercalados, tal como se ve en la figura 8.2. Estos discos tienen desmosomas, que son estructuras que unen las células individuales para que no se separen durante la contracción, y espacios de las juntas, que permiten una rápida transmisión del impulso que señala la contracción. Estas características permiten al miocardio actuar como una sola fibra muscular grande en las cuatro cámaras: todas las fibras se contraen a la vez.

Para comprender de qué modo se coordinan las contracciones cardíacas, debemos entender cómo se origina la señal para la contracción y cómo viaja a través del corazón. Estas funciones son ejecutadas por el sistema cardíaco de conducción.

Sistema cardíaco de conducción

El músculo cardíaco tiene la capacidad única de generar su propia señal eléctrica, llamada autoconducción, lo que le permite contraerse rítmicamente sin estimulación neural. Sin estimulación neural ni hormonal, la frecuencia cardíaca intrínseca efectúa entre 70 y 80 latidos (contracciones) por minuto, pero en las personas que siguen entrenamientos de resistencia puede descender a niveles inferiores.

La figura 8.3 ilustra los cuatro componentes del sistema cardíaco de conducción:

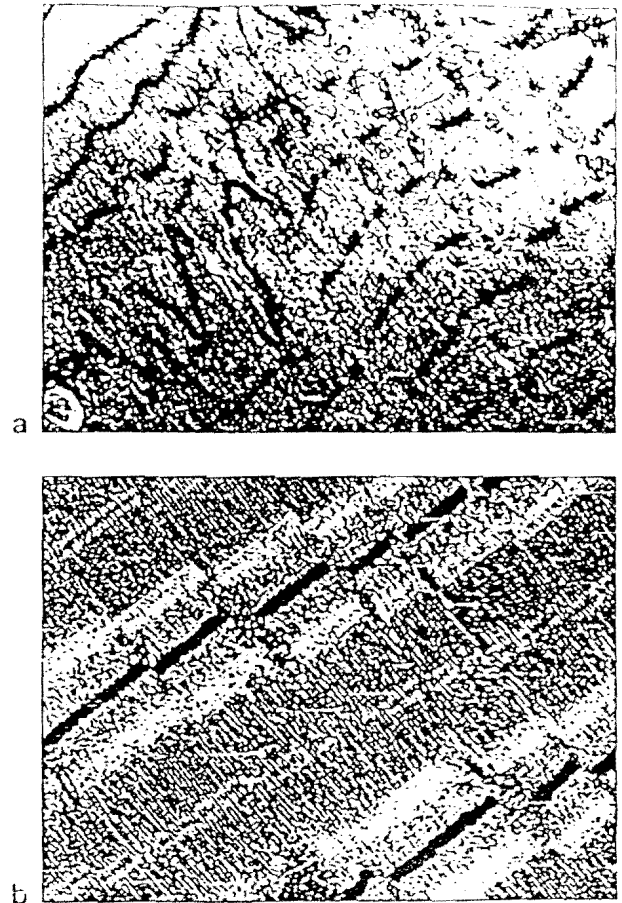


Figura 8.2 Micrografías del (a) músculo cardíaco y (b) de un músculo esquelético. Ambos tipos musculares parecen estriados, pero sólo las fibras del músculo cardíaco están conectadas por discos intercalados teñidos de color oscuro.

1. Nódulo senoauricular.
2. Nódulo auriculoventricular.
3. Fascículo atrioventricular (haz de His).
4. Fibras de Purkinje.

El impulso para la contracción cardíaca se inicia en el nódulo senoauricular, un grupo de fibras musculares cardíacas especializadas situadas en la pared posterior de la aurícula derecha. Dado que este tejido genera el impulso, generalmente a una frecuencia de alrededor de 60 u 80 latidos por minuto al nódulo senoauricular se le conoce como el marcapasos cardíaco, y el ritmo de los latidos que establece recibe el nombre de ritmo sinusal. El impulso eléctrico generado por el nódulo senoauricular se difunde por los dos ventrículos y llega hasta el nódulo auriculoventricular, localizado en la pared auricular cerca del centro del corazón. Cuando el impulso se difunde a través de los ventrículos, reciben la señal de contraerse, lo que hacen casi inmediatamente.

El nódulo auriculoventricular dirige el impulso desde las aurículas hasta los ventrículos. El impulso es retrasado aproxima-

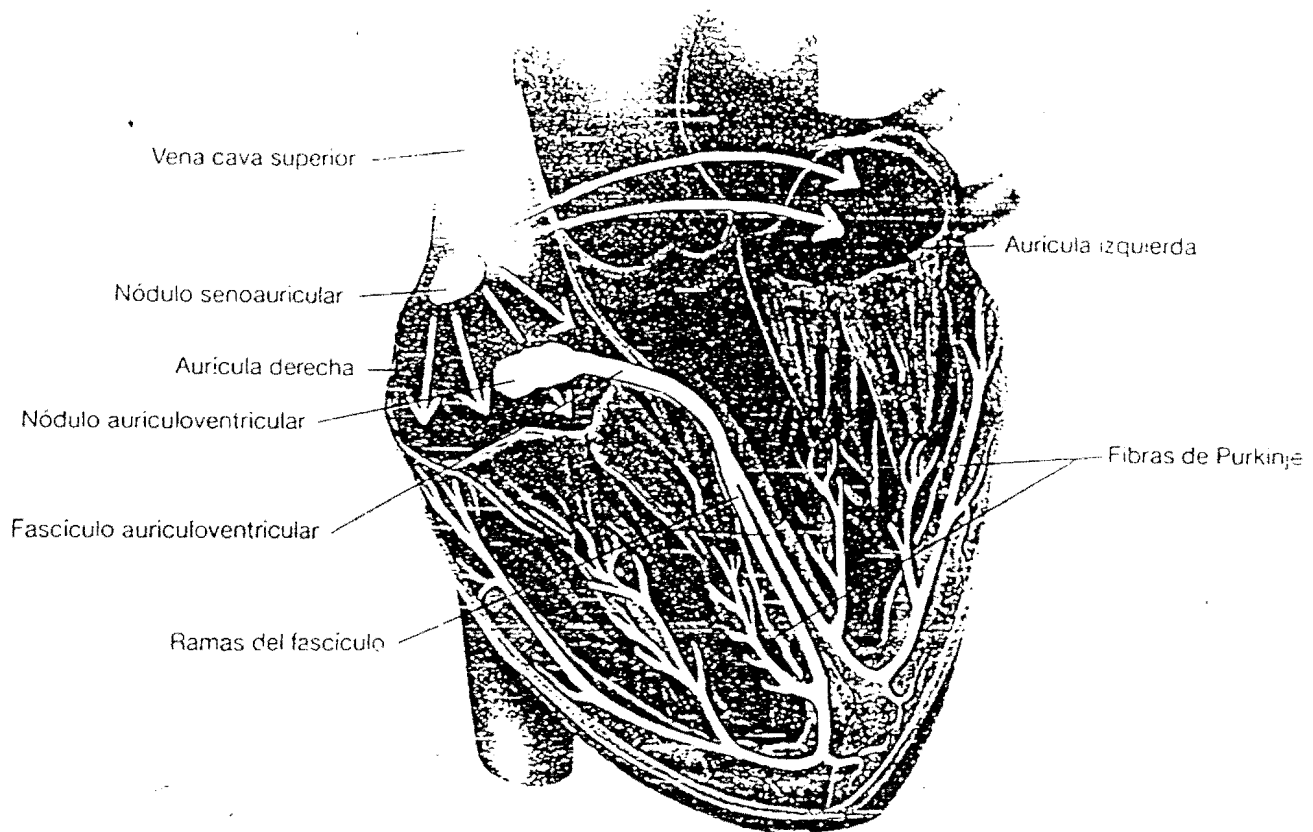


Figura 8.3 Sistema de conducción cardíaca.

madamente 0,13 s cuando pasa a través del nódulo auriculoventricular, y después entra en el fascículo auriculoventricular. Este retraso permite que las aurículas se contraigan antes de que lo hagan los ventrículos, maximizando el llenado ventricular. El fascículo auriculoventricular viaja a lo largo del tabique ventricular y luego envía ramificaciones de los fascículos derecho e izquierdo hacia ambos ventrículos. Estas ramificaciones envían el impulso hacia el ápice cardíaco, y luego hacia fuera. Cada rama del fascículo se divide en otras mucho menores que se extienden por toda la pared ventricular. Estas ramas terminales del fascículo auriculoventricular son las fibras de Purkinje. Transmiten el impulso a través de los ventrículos aproximadamente seis veces más deprisa que a través del resto del sistema de conducción cardíaca. Esta rápida conducción permite que todas las partes del ventrículo se contraigan aproximadamente al mismo tiempo.

Control extrínseco de la actividad del corazón

Aunque el corazón inicia sus propios impulsos eléctricos (control intrínseco), su sincronización y efectos pueden ser alterados. Bajo condiciones normales, esto se logra principalmente a través de tres sistemas extrínsecos:

1. El sistema nervioso parasimpático.
2. El sistema nervioso simpático.
3. El sistema endocrino (hormonas).

Ocasionalmente, se desarrollan problemas crónicos dentro del sistema de conducción cardíaca, estorbando su capacidad para mantener un ritmo apropiado del seno a través del corazón. En tales casos, puede instalarse quirúrgicamente un marcapasos artificial. Éste es un pequeño estimulador eléctrico con una batería, implantado generalmente bajo la piel, con electrodos adheridos al ventrículo derecho. Un ejemplo de cuándo resulta útil es en el caso de una condición llamada bloqueo auriculoventricular. Con este trastorno, el nódulo senoauricular activa su impulso, pero el impulso es bloqueado en el nódulo auriculoventricular y no puede llegar a los ventrículos. El marcapasos artificial asume la función del nódulo auriculoventricular imposibilitado, aportando el necesario impulso eléctrico y controlando de este modo la contracción ventricular.

Aunque aquí se ofrece una visión general de sus efectos, éstos se tratan con más detalle en los capítulos 3 y 6.

El sistema parasimpático, una rama del sistema nervioso autónomo, actúa sobre el corazón mediante el nervio vago (nervio craneal X). En reposo, la actividad del sistema parasimpático predomina en un estado referido como tono vagal. El nervio vago tiene un efecto deprimente sobre el corazón: disminuye la velocidad del impulso de conducción y, por lo tanto, reduce la frecuencia cardíaca. La estimulación vagal máxima puede reducir la frecuencia cardíaca entre 20 y 30 latidos/min. El nervio vago también reduce la fuerza de la contracción cardíaca.

El sistema nervioso simpático, la otra rama del sistema autónomo, tiene efectos opuestos. La estimulación simpática incrementa la velocidad de conducción del impulso y, por lo tanto, la frecuencia cardíaca. La estimulación simpática máxima permitirá que la frecuencia cardíaca se eleve hasta 250 latidos/min. La entrada simpática incrementa también la fuerza de la contracción. El sistema simpático predomina en las situaciones de estrés físico o emocional, cuando las exigencias corporales son más elevadas. Una vez el estrés remite, el sistema parasimpático vuelve a predominar.

El sistema endocrino ejerce su efecto a través de las hormonas liberadas por la médula adrenal: la noradrenalina y la adrenalina. Estas hormonas son conocidas también como catecolaminas. Al igual que el sistema nervioso simpático, estas hormonas estimulan el corazón, incrementando su ritmo. De hecho, la liberación de estas hormonas se inicia por la estimulación simpática en las ocasiones de estrés y sus acciones prolongan la respuesta simpática.

El ritmo normal del corazón en reposo suele oscilar entre 60 y 85 latidos/min. Con periodos largos de entrenamiento de resistencia (meses o años), la frecuencia cardíaca en reposo puede descender hasta 35 latidos/min o incluso menos. Hemos observado una frecuencia cardíaca en reposo de 28 latidos/min en un corredor de fondo de categoría mundial. Se dice que estos reducidos ritmos cardíacos son el resultado de una mayor estimulación parasimpática (tono vagal), con una reducida actividad simpática que probablemente representa un papel menos importante.

Arritmias cardíacas

En ocasiones, determinadas alteraciones en la secuencia normal de los acontecimientos cardíacos pueden llevar a un ritmo irregular del corazón, llamado arritmia. El grado de gravedad de estos trastornos varía. La bradicardia y la taquicardia son dos tipos de arritmias. Bradicardia significa "corazón lento" e indica una frecuencia cardíaca en reposo inferior a 60 latidos/min, mientras que taquicardia significa "corazón rápido" e indica una frecuencia cardíaca superior a 100 latidos/min. Con estas arritmias, el ritmo sinusal resulta alterado con frecuencia. La función del corazón puede ser normal, pero su sincronización es anormal, lo cual puede afectar la circulación. Entre los síntomas de ambas arritmias se hallan la fatiga, vértigos, mareos y desvanecimientos. La taquicardia también puede causar palpitaciones.

También tienen lugar otras arritmias. Por ejemplo, contracciones ventriculares prematuras que producen la sensa-

ción de palpitaciones o latidos extra, son relativamente comunes y son el resultado de impulsos que se originan fuera del nódulo senoauricular. El flúter auricular, en el que las aurículas se contraen a ritmos de 200 a 400 latidos/min, y la fibrilación auricular, en la que las aurículas se contraen de un modo rápido y descoordinado, son arritmias más graves que hacen que las aurículas bombeen poca o ninguna sangre. La taquicardia ventricular, definida como tres o más contracciones ventriculares prematuras, es una arritmia muy grave que produce una fibrilación ventricular en la que la contracción del tejido ventricular es descoordinada. Cuando esto sucede, el corazón no puede bombear sangre. La mayoría de las muertes cardíacas son consecuencia de fibrilaciones ventriculares. El uso de un desfibrilador para provocar mediante una sacudida que el corazón vuelva a su ritmo sinusal normal debe llevarse a cabo antes de transcurridos unos pocos minutos para que la víctima sobreviva. La reanimación cardiopulmonar impone un ritmo normal al corazón y puede mantener la vida durante varias horas, pero las posibilidades de supervivencia son mayores si el tratamiento de emergencia, incluida la desfibrilación, se facilita con rapidez.

Curiosamente, los deportistas con un alto grado de entrenamiento de resistencia con frecuencia desarrollan bajos ritmos cardíacos en reposo, una adaptación ventajosa, como resultado del entrenamiento. Asimismo, nuestra frecuencia cardíaca, naturalmente, se acelera durante la actividad física para satisfacer las mayores demandas de esfuerzo. Estas adaptaciones no deben confundirse con la bradicardia ni con la taquicardia, que son alteraciones anormales en la frecuencia cardíaca en reposo que suelen indicar la existencia de un trastorno patológico.

ECCG

La actividad eléctrica del corazón debe registrarse para diagnosticar potenciales problemas cardíacos o para controlar cambios en el corazón. El principio implicado es sencillo: los fluidos corporales son buenos conductores eléctricos. Los impulsos eléctricos generados en el corazón son conducidos a través de los fluidos corporales hasta la piel, donde pueden detectarse e imprimirse mediante una máquina sensible llamada electrocardiógrafo. Esta impresión se llama **electrocardiograma**, o ECG (ver figura 8.4). Tres componentes del ECG representan aspectos de la función cardíaca:

1. La onda P.
2. El complejo QRS.
3. La onda T.

La onda P representa la despolarización auricular y tiene lugar cuando el impulso eléctrico viaja desde el nódulo senoauricular a través de la aurícula hasta el nódulo auriculoventricular. El complejo QRS representa una despolarización ventricular y se produce cuando el impulso se difunde desde el fascículo auriculoventricular hasta las fibras de Purkinje y a través de los ventrículos. La onda T representa la repolarización ventricular. La repolarización auricular no puede verse.

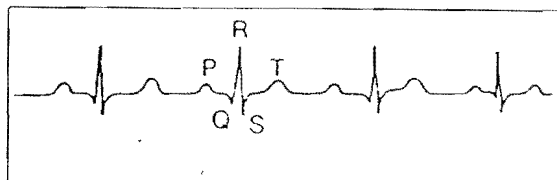
ya que tiene lugar durante la despolarización ventricular (complejo QRS).

Con frecuencia se obtienen ECG de esfuerzo. Éstas son valiosas pruebas diagnósticas. Cuando la intensidad del ejercicio aumenta, el corazón debe latir más deprisa y realizar un esfuerzo más duro para aportar más sangre a los músculos activos. Si el corazón está enfermo, puede aparecer una indicación en el ECG cuando el corazón incrementa su ritmo de trabajo. Los ECG de esfuerzo han sido también herramientas extremadamente valiosas para investigar en fisiología del esfuerzo ya que facilitan un cómodo método para rastrear los cambios cardíacos durante el ejercicio agudo y crónico.

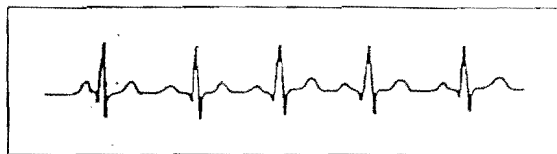
Terminología de la función cardíaca

Los términos siguientes son esenciales para comprender el esfuerzo realizado por el corazón y para nuestro futuro análisis de la respuesta cardíaca durante la actividad:

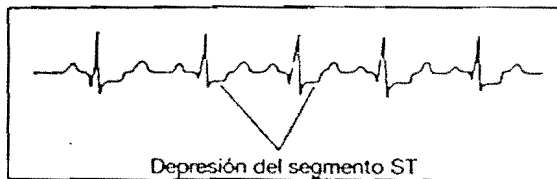
- a. Electrocardiograma en reposo
Frecuencia cardíaca: 150 latidos/min;



- b. Electrocardiograma de esfuerzo
Frecuencia cardíaca: 150 latidos/min



- c. Respuesta isquémica durante el ejercicio



- d. Contracción ventricular prematura

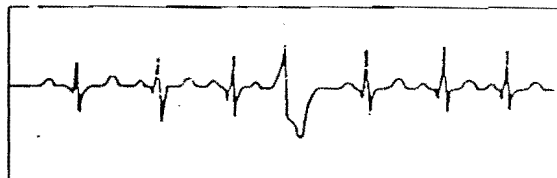


Figura 8.4 (a) Un ECG normal en reposo (b) un ECG normal haciendo ejercicio; (c) un ECG haciendo ejercicio que muestra una respuesta isquémica (depresión del segmento ST) que puede indicar la presencia de una enfermedad de las arterias coronarias, y (d) un ECG que muestra una contracción ventricular prematura.

- Ciclo cardíaco.
- Volumen sistólico.
- Gasto cardíaco (\dot{Q}).

Ciclo cardíaco. El ciclo cardíaco incluye todos los hechos que se producen entre dos latidos cardíacos consecutivos. En términos mecánicos, consiste en que todas las cámaras del corazón pasan por una fase de relajación (diástole) y una fase de contracción (sístole). Durante la diástole, las cámaras se llenan de sangre. Durante la sístole, las cámaras se contraen y expulsan su contenido. La fase diastólica es más larga que la fase sistólica. Consideremos un individuo con una frecuencia cardíaca de 74 latidos/min. Con esta frecuencia cardíaca, todo el ciclo del corazón tarda 0,81 s en completarse ($60\text{ s}/74\text{ latidos}$). Del ciclo cardíaco total a este ritmo, la diástole representa 0,50 s, o el 62% del ciclo, y la sístole 0,31 s, o el 38%. Cuando la frecuencia cardíaca aumenta, estos intervalos absolutos de tiempo se reducen proporcionalmente.

Observemos el ECG normal de la figura 8.4a. Un ciclo cardíaco comprende el tiempo transcurrido entre una sístole y la siguiente. La contracción ventricular (sístole) comienza durante el complejo QRS y finaliza en la onda T. La relajación ventricular (diástole) se produce durante la onda T y continúa hasta la siguiente contracción. En esta ilustración puede verse que aunque el corazón parece estar siempre trabajando, en realidad pasa ligeramente más tiempo en la fase de reposo que en la de trabajo.

Volumen sistólico. Durante la sístole, cierto volumen de sangre es eyectado desde el ventrículo izquierdo. Esta cantidad es el volumen sistólico (VS) del corazón, o el volumen de sangre bombeada por cada latido (contracción). Esto se muestra en la figura 8.5a. Para entender el volumen sistólico, consideremos la cantidad de sangre en el ventrículo antes y después de la contracción. Al final de la diástole, justo antes de la contrac-

RESUMEN

1. Las aurículas reciben sangre en el corazón; los ventrículos eyectan sangre desde el corazón.
2. Puesto que el ventrículo izquierdo debe tener más potencia que las otras cámaras, su miocardio es más espeso, debido a la hipertrofia.
3. El tejido cardíaco es capaz de realizar autoconducción y tiene su propio sistema de conducción. Inicia su impulso sin control neural.
4. El nódulo senoauricular es el marcapasos del corazón, estableciendo el pulso y coordinando la actividad a través del corazón.
5. La frecuencia cardíaca y la fuerza de la contracción pueden ser alteradas por el sistema nervioso autónomo o por el sistema endocrino.
6. El ECG es un registro del funcionamiento eléctrico del corazón. Un ECG realizado durante el ejercicio puede revelar trastornos cardíacos subyacentes.

ción, el ventrículo ha completado el llenado. El volumen de la sangre que ahora contiene se denomina **volumen diastólico final** o VDF. Al final de la sístole, justo después de la contracción, el ventrículo ha completado su fase de eyección. El volumen de sangre restante en el ventrículo se denomina **volumen sistólico final** o VSF. El volumen sistólico es el volumen de sangre que ha sido eyectada, y es meramente la diferencia entre la cantidad que originariamente había y la restante después de la contracción. Así el volumen sistólico es simplemente la diferencia entre VDF y el VSF.

Fracción de eyección. La proporción de sangre bombeada fuera del ventrículo izquierdo en cada latido es la fracción de eyección. Este valor, tal como se ve en la figura 8.5b, se determina dividiendo el volumen sistólico por el volumen diastólico final. Revela que parte de la sangre que entra en el ventrículo es verdaderamente eyectada durante la contracción. La fracción de eyección, expresada generalmente como un porcentaje, es de promedio de un 60% en reposo. Por lo tanto, el 60% de la sangre en los ventrículos al final de una diástole es eyectada con la siguiente contracción y el 40% restante permanece.

Producción cardíaca. El **gasto cardíaco (Q)**, tal como se muestra en la figura 8.5c, es el volumen total de sangre bombeada por los ventrículos por minuto, o simplemente el producto de la frecuencia cardíaca (FC) por el volumen sistólico (VS). El volumen sistólico en reposo en posición de pie es de promedio de 60 a 80 ml de sangre en la mayoría de adultos. Por lo tanto, con una frecuencia cardíaca en reposo de 80 latidos/min el gasto cardíaco oscilará entre 4.8 y 6.4 l/min. El cuerpo adulto medio contiene alrededor de 5 litros de sangre; por lo tanto, esto significa que toda nuestra sangre es bombeada a través del corazón una vez cada minuto.

La comprensión de la actividad mecánica del corazón proporciona una base para conocer el esfuerzo del sistema cardiovascular, pero el corazón es solamente una parte de este sistema. Volvamos seguidamente nuestra atención hacia el vasto sistema de vasos que llevan la sangre a todos los tejidos del cuerpo.

Sistema vascular

El sistema vascular se compone de una serie de vasos que transportan sangre del corazón a los tejidos y a la inversa:

- Arterias
- Arteriolas

UNTO CLAVE

$$VS = VDF - VSF$$

$$\text{Fracción de eyección} = (VS / VDF) \times 100$$

$$Q = FC \times VS$$

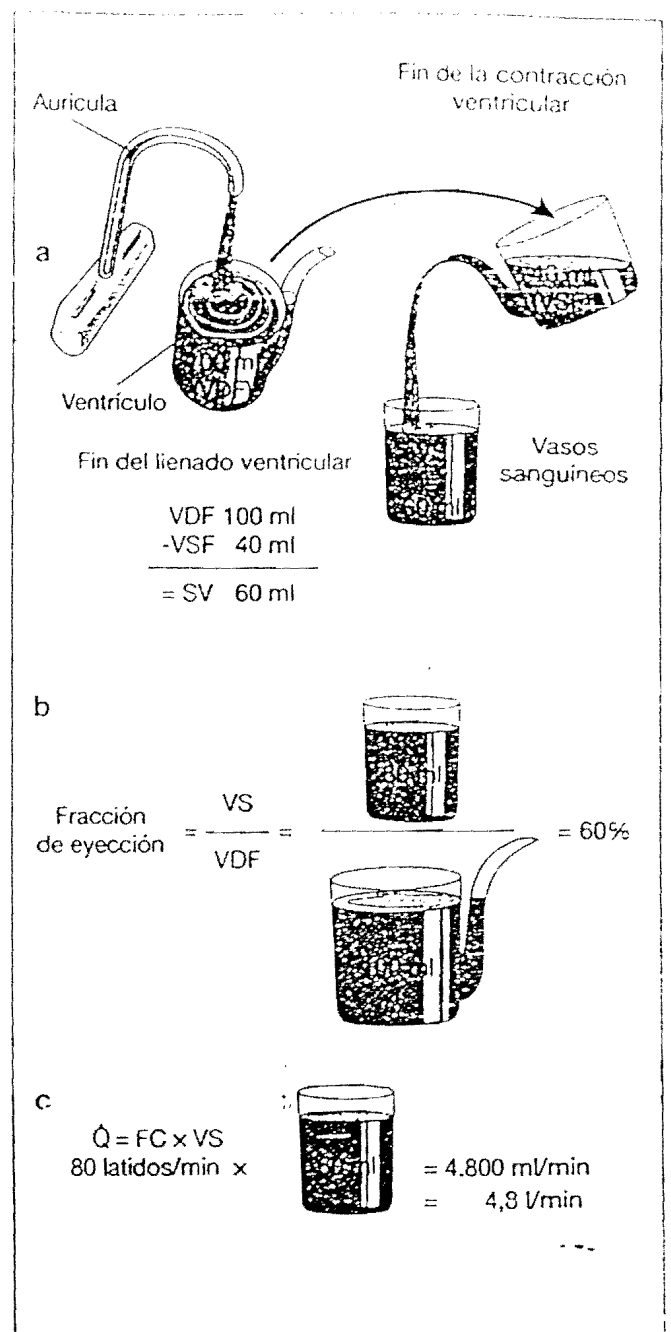


Figura 8.5 Cálculos de (a) volumen sistólico (VS), que es la diferencia entre el volumen diastólico final (VDF) y el volumen sistólico final (VSF); (b) fracción de eyección, y (c) gasto cardíaco (Q).

- Capilares
- Vénulas
- Venas

Recordemos que las arterias son normalmente los vasos más grandes, más musculares y más elásticos, y siempre llevan la sangre del corazón a las arteriolas. Desde éstas, la sangre entra en los capilares. Éstos son los vasos más estrechos, fre-

cuentemente con paredes del espesor de una sola célula. Virtualmente, todos los intercambios entre la sangre y los tejidos tienen lugar en los capilares. La sangre abandona los capilares para iniciar el camino de regreso hasta el corazón en las vénulas, y de éstas a los vasos más grandes –las venas– que completan el circuito.

Además de las divisiones pulmonar y sistémica del sistema vascular, el corazón, como músculo activo, requiere su propio sistema vascular para suministrar los nutrientes necesarios y para eliminar los productos de deshecho. Las arterias coronarias, que tienen su origen en la base de la aorta cuando abandona el corazón, abastecen el miocardio. Estas arterias son muy susceptibles a la aterosclerosis, o estrechamiento, que puede hacer enfermar las arterias coronarias. Esta enfermedad se tratará con mucho mayor detalle en el capítulo 20.

Durante la contracción, cuando la sangre es impedida a abandonar el ventrículo izquierdo mediante una fuerte presión, la válvula aórtica semilunar es forzada a abrirse. Cuando esta válvula se abre, sus aletas bloquean las entradas a las arterias coronarias. Cuando la presión en la aorta disminuye, la válvula semilunar se cierra y estas entradas quedan descubiertas, por lo que la sangre puede entrar en las arterias coronarias. Este diseño asegura que dichas arterias no tengan que soportar las muy altas presiones creadas por la contracción del ventrículo izquierdo, protegiendo de este modo a aquellos vasos de posibles daños.

Retorno sanguíneo al corazón

Debido a que pasamos tanto tiempo de pie, el sistema cardiovascular precisa una cierta ayuda para superar la fuerza de la gravedad cuando la sangre que regresa de las partes inferiores del cuerpo vuelve al corazón. Existen tres mecanismos básicos que facilitan este proceso:

1. La respiración.
2. La bomba muscular.
3. Las válvulas.

Cada vez que inspiramos y espiramos, los cambios de presión en las cavidades abdominal y torácica facilitan el retorno sanguíneo al corazón. Cuando se contraen, los músculos esqueléticos de las piernas o del abdomen comparten esta función. Durante la respiración y la contracción muscular esquelética, las venas de la zona inmediata se comprimen y la sangre es empujada hacia arriba en dirección al corazón. Estas acciones son facilitadas por una serie de válvulas en las venas que permiten que la sangre fluya en una sola dirección, impidiendo así el reflujó y la acumulación de la sangre en la parte inferior del cuerpo.

Distribución de la sangre

La distribución de la sangre hacia los diversos tejidos del cuerpo varía tremendamente en función de las necesidades inmediatas de un tejido específico y de todo el cuerpo. En reposo bajo condiciones normales, los tejidos más activos metabólicamente reciben el mayor aporte sanguíneo. El hígado y los riñones juntos reciben casi la mitad de la sangre que circula

(el 27 y el 22%, respectivamente), y los músculos esqueléticos en reposo reciben solamente alrededor del 15%.

Durante el ejercicio, la sangre se dirige hacia las áreas en donde es más necesaria. Durante la realización de ejercicios que requieren una gran capacidad de resistencia, por ejemplo, esta redistribución es bastante notable –los músculos reciben hasta un 80% o incluso más de la sangre disponible–. Esto, junto con incrementos en el gasto cardíaco (que trataremos más adelante), permite un flujo de sangre hasta 25 veces mayor hacia los músculos activos. La figura 8.6 ilustra una distribución típica de la sangre por el cuerpo en reposo y durante la realización de ejercicios pesados. Los valores se expresan en porcentajes relativos del total de sangre disponible y como volúmenes absolutos.

Del mismo modo, después de tomar una gran comida, nuestro sistema digestivo recibe más sangre que cuando estamos en reposo. Durante una creciente tensión ambiental por el calor, el aporte de sangre a la piel aumenta cuando el cuerpo intenta mantener la temperatura normal. Considerando que las necesidades de los diversos tejidos del cuerpo están cambiando constantemente, es verdaderamente asombroso que el sistema cardiovascular pueda responder tan eficazmente, garantizando un adecuado flujo de sangre a las áreas donde es más necesario.

La distribución de la sangre a las diversas áreas es controlada principalmente por las arteriolas. Estos vasos presentan dos características importantes. Tienen una fuerte pared muscular que puede alterar significativamente el diámetro de los vasos. Responden también a los mecanismos que controlan el flujo de sangre: la autorregulación y el control neural extrínseco. Examinemos estos mecanismos.

Autorregulación. El control de la distribución de la sangre recibe el nombre de **autorregulación** porque las arteriolas de áreas específicas se controlan ellas mismas. La autorregulación se refiere a la capacidad de los vasos para autorregular su propio flujo de sangre dependiendo de las necesidades inmediatas de los tejidos a los que abastecen. Las arteriolas experimentan vasodilatación, abriéndose para permitir que entre más sangre en un área que la necesita.

El incrementado flujo de sangre es una respuesta directa a los cambios en el ambiente químico local de los tejidos. La demanda de oxígeno parece ser el estímulo más fuerte. Cuando aumenta la utilización de oxígeno por el tejido, el oxígeno disponible disminuye. Las arteriolas locales se dilatan para permitir que pase más sangre, y, por lo tanto, más oxígeno, a esta área. Otros cambios químicos que pueden proporcionar estímulo son disminuciones en otros nutrientes e incrementos en productos de deshecho (CO_2 , K^+ , H^+ , ácido láctico) o sustancias químicas inflamatorias. El aporte incrementado de sangre puede traer sustancias necesarias o eliminar otras perjudiciales.

Control nervioso extrínseco. Aunque el concepto de autorregulación explica la distribución local de sangre dentro de un órgano o de la masa de un tejido, no puede explicar cómo el sistema cardiovascular como un todo sabe enviar menos sangre a una parte del cuerpo cuando hace falta más en algún otro lugar. La redistribución en el sistema o a nivel del cuerpo es

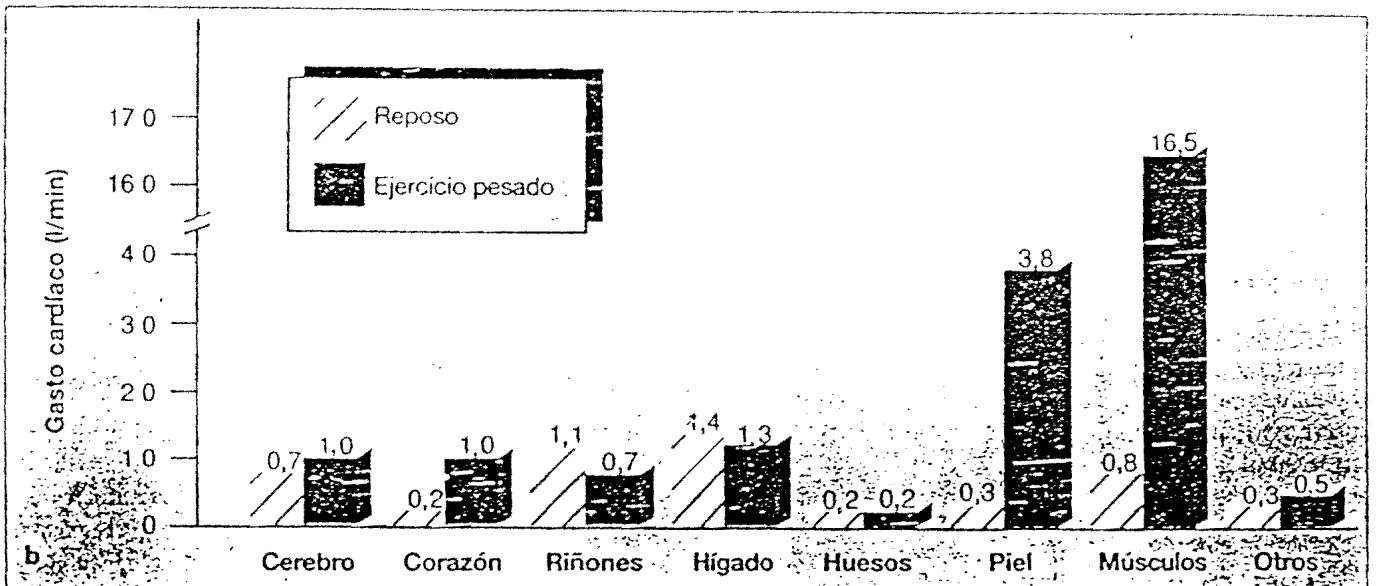
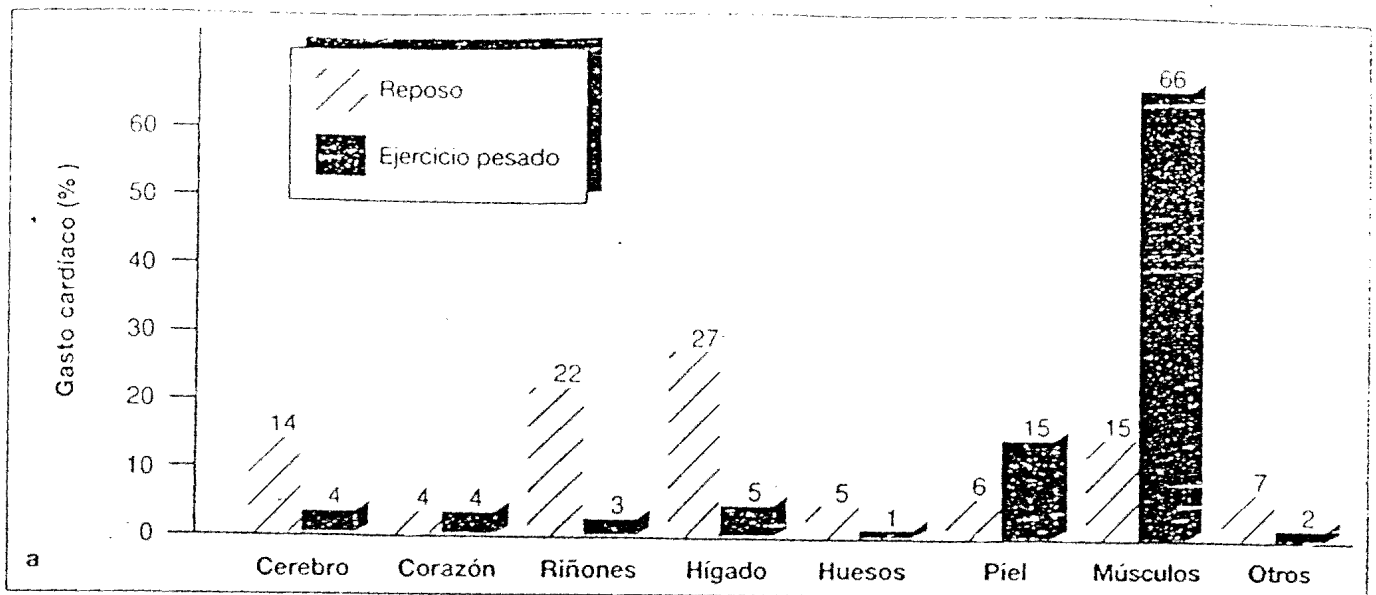


Figura 8.6 Distribución del gasto cardíaco en reposo y durante el ejercicio intenso, expresado (a) en relación con el volumen sanguíneo total y (b) en valores absolutos.

controlada por mecanismos neurales. Esto se conoce como **control nervioso extrínseco** del flujo sanguíneo porque el control viene desde fuera del área específica (extrínseco) en lugar de desde dentro de los tejidos (intrínseco) como en la autorregulación.

El flujo sanguíneo a todas las partes del cuerpo se regula en gran parte por el sistema nervioso simpático. El músculo de las paredes de todos los vasos de la circulación sistémica es inervado por los nervios simpáticos. En la mayoría de los vasos, la estimulación por estos nervios hace que las células musculares se contraigan, construyendo este vaso de modo que pueda pasar menos sangre a través de él.

Bajo condiciones normales, los nervios simpáticos transmiten impulsos continuamente a los vasos sanguíneos, manteniendo los vasos en un estado de constricción moderada para mantener una tensión arterial adecuada. Este estado de constricción parcial recibe la denominación de **tono vasomotor**. Cuando la estimulación simpática aumenta, una mayor constricción de los vasos sanguíneos en un área específica reduce el flujo de sangre hacia esta área y permite que vaya más sangre hacia otras partes. Pero si la estimulación simpática disminuye por debajo de lo necesario para mantener el tono, la constricción de los vasos en esta área se reduce, por lo que los vasos se dilatan, incrementando el flujo de sangre hacia esta

área. En consecuencia, la estimulación simpática ocasionará vasoconstricción en la mayoría de los vasos pero el flujo de sangre es alterado por el incremento o la reducción de la intensidad de la vasoconstricción relativa al tono vasomotor normal.

El sistema simpático también puede producir directamente vasodilatación mediante algunas de sus fibras. Un tipo diferente de fibra simpática abastece algunos vasos sanguíneos en los músculos esqueléticos y en el corazón. La estimulación de estas fibras produce vasodilatación, incrementando el flujo de la sangre hacia los músculos y el corazón. Este sistema funciona durante la clásica respuesta de "lucha o huida" e incrementa el flujo de sangre hacia los músculos esqueléticos y hacia el corazón en momentos de crisis. Esta respuesta también es activa durante el ejercicio, cuando los músculos esqueléticos y el corazón están trabajando más duro, necesitando mucha más sangre que cuando están en reposo.

Redistribución de la sangre venosa. Ahora hemos discutido los mecanismos que controlan la redistribución de la sangre desde un área del cuerpo a otra. Pero la distribución de la sangre por el cuerpo varía no solamente por los tejidos que están siendo abastecidos, sino también por la localización de la sangre en el sistema vascular. En reposo, el volumen sanguíneo se distribuye por el sistema vascular tal como se ve en la figura 8.7. La mayor parte de la sangre se localiza en los canales venosos de retorno (venas, vénulas, senos venosos). Por lo tanto, el sistema venoso proporciona una gran reserva de sangre fácilmente disponible para satisfacer las necesidades aumentadas. Cuando esta necesidad se presenta, la estimulación simpática de las vénulas y de las venas construye estos vasos. Esto ocasiona una rápida redistribución de la sangre desde la circulación venosa periférica devolviéndola al corazón, y luego hacia aquellas áreas que tienen mayores necesidades. No solamente se desvía sangre desde otros tejidos, sino que se envía más sangre a la circulación arterial desde el sistema venoso, asegurando con ello un incremento sustancial del flujo de sangre a un área necesitada.

Tensión arterial

La tensión arterial (TA) es la presión ejercida por la sangre sobre las paredes de los vasos, y el término se refiere generalmente a la presión de la sangre en las arterias. Se expresa con dos números: la tensión arterial sistólica (TAS) y la tensión arterial diastólica (TAD). El número más elevado es la TAS de la sangre. Representa la presión más alta en la arteria y corresponde a la sístole ventricular del corazón. La contracción ventricular empuja la sangre a través de las arterias con una fuerza tremenda, que ejerce una elevada presión sobre la pared arterial. El número más bajo es la TAD de la sangre y representa la presión más baja en las arterias, correspondiendo a la diástole ventricular cuando el corazón está en reposo. La sangre que se mueve a través de las arterias durante esta fase no es empujada por una contracción enérgica.

La tensión arterial media representa la presión media ejercida por la sangre cuando se mueve por las arterias. Una aproximación de la tensión arterial media es como sigue:

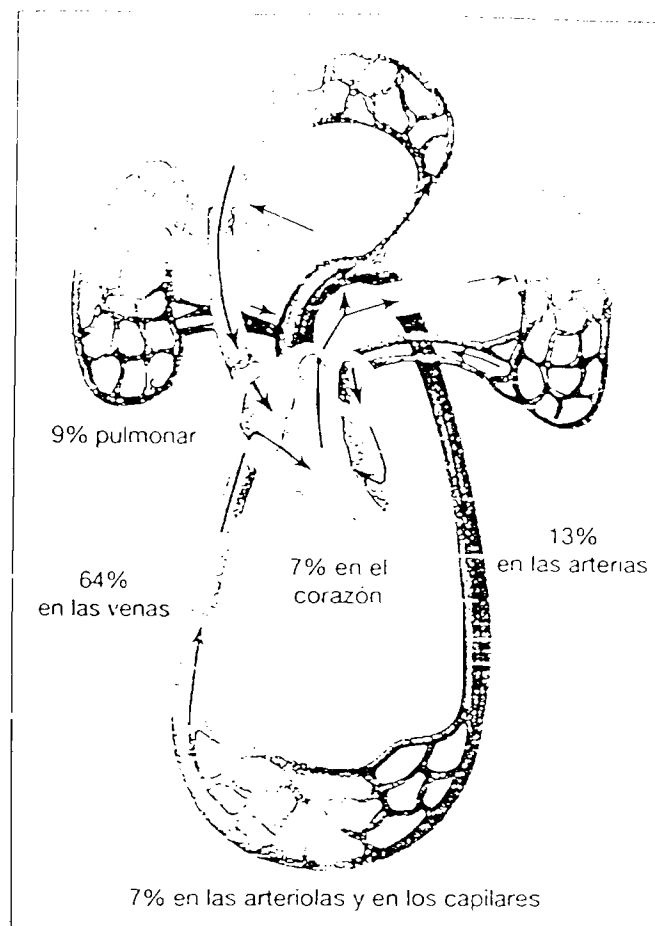


Figura 8.7 Distribución de la sangre por el sistema vascular cuando el cuerpo se halla en reposo.

$$\begin{aligned} &\text{Tensión arterial media} \\ &= \text{TA diastólica} \\ &+ [0,333 (\text{TA sistólica} - \text{TA diastólica})] \end{aligned}$$

Como muestra, con una TAS de 120 mmHg y una TAD de 80 mmHg, la tensión arterial media = $80 + [0,333 \times (120 - 80)] = 93$ mmHg. Obsérvese que esta relación no es una simple media de los valores sistólicos y diastólicos. Recordemos que el corazón está más tiempo en diástole que en sístole, por lo que las arterias experimentan presiones diastólicas más prolongadas que las sistólicas; esto se representa en la ecuación.

Las alteraciones en la tensión arterial se controlan en gran medida por cambios específicos en las arterias, arteriolas y venas descritas previamente. La constricción generalizada de los vasos sanguíneos incrementa la tensión arterial, y la dilatación generalizada la reduce. La hipertensión es el término clínico que describe la condición en la cual la tensión arterial está crónicamente por encima de su nivel normal sano. La causa de la hipertensión suele ser desconocida en el 90% de los casos, pero generalmente se puede controlar efectivamente.

te perdiendo peso, con una dieta adecuada y con ejercicio, aunque puede requerir también una medicación apropiada. En el capítulo 20 se analiza esto con mayor detalle.

RESUMEN

1. La sangre vuelve al corazón a través de las venas, ayudada por la respiración, por el bombeo muscular y por las válvulas que hay dentro de los vasos.
2. La sangre se redistribuye por el cuerpo según las necesidades de los tejidos individuales. Los tejidos más activos son los que reciben más sangre.
3. La redistribución se controla localmente por la autorregulación. Ésta produce vasodilatación en respuesta a cambios químicos locales, incrementando así el aporte de sangre al área.
4. El control nervioso extrínseco de la distribución lo lleva a cabo el sistema nervioso simpático, principalmente mediante la vasoconstricción (aunque tiene lugar una cierta vasodilatación en los vasos que abastecen a los músculos esqueléticos activos y al corazón).
5. La tensión arterial sistólica es la más elevada dentro del sistema vascular. La tensión arterial diastólica es la presión más baja. La tensión arterial media es la presión media sobre las paredes de los vasos.

Sangre

El tercer componente de cualquier sistema de circulación es una sustancia circulante. En el cuerpo humano, se trata de la sangre y la linfa. Estos fluidos son responsables del verdadero transporte de varios materiales entre las diferentes células o tejidos del cuerpo.

Recordemos de la fisiología básica la relación existente entre la sangre y la linfa: cierta cantidad del plasma de la sangre se filtra desde los capilares a los tejidos, convirtiéndose en fluido (tejido) intersticial. Gran parte del fluido intersticial vuelve a los capilares después de que se haya producido el intercambio, pero regresa menos del que se había filtrado originalmente. El exceso de fluido entra en los capilares de la linfa, y entonces recibe la denominación de linfa, que acaba por volver a la sangre.

Claramente, el sistema linfático juega un papel crucial en el mantenimiento de niveles apropiados de fluidos en los tejidos, así como en el mantenimiento de un volumen adecuado de sangre, asegurando que el fluido intersticial regrese. Esta función adquiere mayor importancia durante el ejercicio, cuando el flujo va aumentando de sangre hacia los músculos activos y la tensión arterial incrementada provocan la formación

de más fluido intersticial. El sistema linfático previene la turgencia en las áreas activas y mantiene al sistema cardiovascular funcionando eficazmente. Este sistema es extrema-

damente importante para coordinar la función fisiológica y la salud general. Pero actualmente, aparte de su función en el retorno del fluido, el sistema linfático no es un área de interés importante para la fisiología del esfuerzo y del deporte. En su lugar nos concentraremos en la sangre.

La sangre sirve para muchos propósitos útiles en la regulación de la función corporal normal. Las tres funciones de importancia principal en el ejercicio y el deporte son:

- el transporte;
- la regulación de la temperatura; y
- el equilibrio acidobásico (pH).

Estamos muy familiarizados con las funciones de transporte de la sangre. Además, la sangre tiene una importancia crítica en la regulación de la temperatura durante la actividad física, llevando el calor desde el centro del cuerpo o desde áreas de actividad metabólica incrementada y disipándolo por el cuerpo durante la prevalencia de condiciones normales y hacia la piel cuando el cuerpo está excesivamente caliente (ver capítulo 11). La sangre puede amortiguar los ácidos producidos por el metabolismo anaeróbico, manteniendo el pH apropiado para una actividad eficaz de los procesos metabólicos (ver capítulo 9).

Volumen y composición de la sangre

El volumen total de sangre en el cuerpo varía considerablemente con el tamaño del individuo y el nivel de entrenamiento alcanzado. Los grandes volúmenes de sangre están asociados con grandes tamaños corporales y altos niveles de entrenamiento de resistencia. Los volúmenes de sangre de personas con un tamaño corporal medio y una actividad física normal (que no siguen entrenamientos aeróbicos) generalmente oscilan entre 5 y 6 litros en el caso de los hombres y entre 4 y 5 litros en el caso de las mujeres.

La sangre se compone de plasma (principalmente agua) y de células en suspensión (ver figura 8.8). El plasma normalmente constituye entre el 55 y el 60% del volumen total de la sangre, pero puede reducirse un 10% o más con ejercicios intensos realizados en un ambiente caluroso o incrementarse un 10% o más con el entrenamiento de resistencia o con la aclimatación al calor y a la humedad. Aproximadamente, el 90% del volumen del plasma es agua, un 7% son proteínas plasmáticas y el restante 3% son nutrientes celulares, electrolitos, enzimas, hormonas, anticuerpos y productos de deshecho.

La fracción corpuscular, que suele constituir aproximadamente entre el 40 y el 45% del volumen total de la sangre, son los glóbulos rojos (eritrocitos), glóbulos blancos (leucocitos) y plaquetas (trombocitos). Los glóbulos rojos constituyen más del 99% del volumen de la fracción corpuscular; los glóbulos blancos y las plaquetas juntos representan menos del 1%. El porcentaje del volumen total de la sangre compuesto por glóbulos rojos es denominado hematócrito. Normalmente, oscila entre el 40 y el 45%.

Los glóbulos blancos protegen el cuerpo de la invasión de organismos patógenos, destruyendo directamente a los agentes invasores mediante fagocitosis (ingestión) o formando anti-

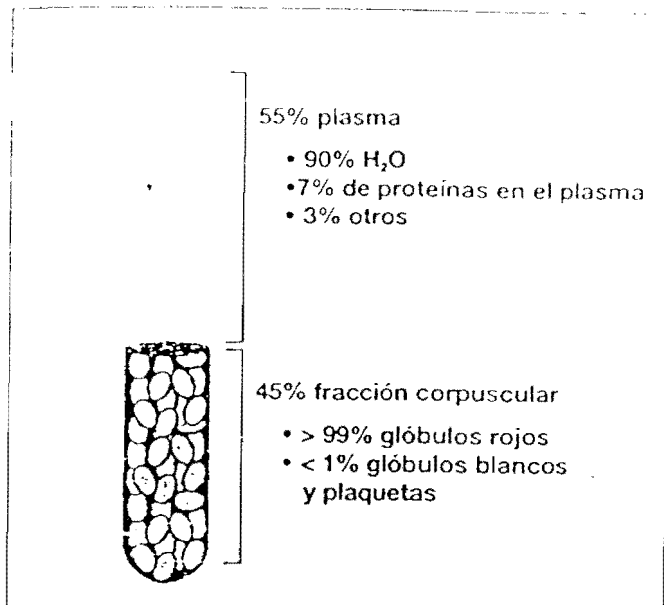


Figura 8.8 Composición de la sangre.

cuerpos para destruirlos. Los adultos tienen aproximadamente 7.000 glóbulos blancos por milímetro cúbico de sangre.

Las restantes células son las plaquetas. En realidad no son células en absoluto, si no más bien fragmentos de células. Estos pequeños discos son necesarios para la coagulación, que impide la pérdida excesiva de sangre. No obstante, lo que más nos interesa son los glóbulos rojos, por lo que nuestro análisis se centrará en ellos.

Glóbulos rojos

Los glóbulos rojos maduros (eritrocitos) no tienen núcleo, por lo que no pueden reproducirse. Deben ser reemplazados por nuevas células. La duración normal de la vida de un glóbulo rojo es tan sólo de unos 4 meses. Por lo tanto, estas células se están produciendo y destruyendo constantemente al mismo ritmo. Este equilibrio es muy importante, porque el aporte adecuado de oxígeno a los tejidos del cuerpo depende de que se disponga de un número suficiente de elementos de transporte —los glóbulos rojos—. Las disminuciones en su número o en su función pueden dificultar el aporte de oxígeno y afectar, por lo tanto, el rendimiento.

Los glóbulos rojos pueden ser destruidos durante el ejercicio. La membrana celular parece verse alterada por el desgaste y el desgarro asociados con un ritmo de circulación incrementado y con una mayor temperatura corporal. Hay incluso estudios que han demostrado que el constante golpeteo de la planta de un pie contra el zapato durante las carreras de fondo puede aumentar la fragilidad y la destrucción de los glóbulos rojos.

Los glóbulos rojos transportan oxígeno principalmente unido a su hemoglobina. La hemoglobina se compone de una

proteína (globina) y un pigmento (hem). Hem contiene hierro que se combina con el oxígeno. Cada glóbulo rojo contiene aproximadamente 250 millones de moléculas de hemoglobina, y cada una de ellas capaz de unirse con 4 moléculas de oxígeno, por lo que cada glóbulo rojo puede unirse con hasta un billón de moléculas de oxígeno. Hay un promedio de 15 g de hemoglobina por cada 100 ml de sangre completa. Cada gramo de hemoglobina puede combinarse con 1,35 ml de oxígeno, por lo que puede haber hasta 20 ml de oxígeno en cada 100 ml de sangre.

Viscosidad de la sangre

La viscosidad se refiere al espesor de la sangre. Cuanto más espeso es un fluido, más resistencia opone a la circulación. La densidad de la sangre suele ser el doble de la del agua. La viscosidad de la sangre, y, por lo tanto, la resistencia a fluir, se incrementa con la elevación del hematócrito.

Debido al transporte de oxígeno por los glóbulos rojos, sería deseable un incremento en su número para optimizar el transporte de oxígeno. Pero si el aumento del número de glóbulos rojos no va acompañado de un incremento similar en el volumen del plasma, la viscosidad de la sangre aumentará, lo cual puede restringir el flujo sanguíneo. En general, esto no es un problema, a menos que el hematócrito llegue al 60% o más.

A la inversa, la combinación de un hematócrito bajo con un alto volumen de plasma, reduciendo la viscosidad de la sangre, parece ser algo beneficiosa para la función de transporte de la sangre porque ésta puede fluir más fácilmente. Desgraciadamente, un hematócrito bajo es con frecuencia el resultado de un número reducido de glóbulos rojos, como en enfermedades tales como la anemia. Bajo estas circunstancias, la sangre puede fluir fácilmente, pero contiene menos transportadores, por lo que el transporte de oxígeno se ve dificultado. Para la actividad física, es deseable un bajo hematócrito con un número normal o ligeramente elevado de glóbulos rojos. Esta combinación debe facilitar el transporte de oxígeno. Muchos deportistas de deportes de resistencia alcanzan esta condición como parte de la adaptación normal de su sistema cardiovascular. Esto se verá en el capítulo 10.

Al donar sangre, la extracción de una unidad, casi 500 ml, representa aproximadamente entre un 8 y un 10% de reducción en el volumen total de sangre y en el número de glóbulos rojos circulantes. A los donantes se les aconseja tomar fluidos en abundancia. Puesto que el plasma es principalmente agua, el simple reemplazo de los fluidos vuelve el volumen del plasma a su nivel normal al cabo de 24 a 48 h. No obstante, se necesitarán al menos 6 semanas para reconstituir el número de glóbulos rojos, ya que deben desarrollarse plenamente antes de que resulten funcionales. Esto pone gravemente en entredicho el rendimiento de los deportistas de resistencia al reducir la capacidad de transporte de oxígeno.

RESUMEN

1. La sangre y la linfa son las sustancias que transportan materiales hacia y desde los tejidos corporales.
2. El fluido del plasma entra en los tejidos, convirtiéndose en líquido intersticial. La mayor parte del fluido intersticial vuelve a los capilares, pero cierta cantidad entra en el sistema linfático como linfa, volviendo posteriormente a la sangre.
3. La sangre está constituida por entre un 55 y un 60% de plasma y entre un 40 y un 45% de células.
4. El oxígeno se transporta principalmente combinado con la hemoglobina de los glóbulos rojos.
5. Cuando la viscosidad de la sangre aumenta, también lo hace la resistencia a fluir.

Respuesta cardiovascular al ejercicio

Ahora que hemos visto la anatomía y la fisiología básicas del sistema cardiovascular, podemos centrarnos específicamente en cómo responde este sistema a las mayores demandas impuestas al cuerpo durante el ejercicio. Al realizar ejercicio, la demanda de oxígeno en los músculos activos aumenta de forma acusada. Se utilizan más nutrientes. Los procesos metabólicos se aceleran, por lo que se crean más productos de desecho. Durante la realización de ejercicios prolongados o practicados en un ambiente caluroso, la temperatura del cuer-

po aumenta. En el ejercicio intenso, la concentración de iones hidrógeno aumenta en los músculos y en la sangre, reduciendo su pH.

Durante el ejercicio se producen numerosos cambios cardiovasculares. Todos comparten un objetivo común: permitir que el sistema satisfaga las demandas impuestas sobre él al desempeñar sus funciones con la máxima eficacia. Para comprender mejor los cambios que se producen, debemos observar más de cerca las funciones cardiovasculares específicas. Examinaremos los cambios en todos los componentes del sistema cardiovascular, observando específicamente los siguientes:

- Frecuencia cardíaca.
- Volumen sistólico.
- Gasto cardíaco.
- Flujo de la sangre.
- Tensión arterial.
- Sangre.

Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC) es uno de los parámetros cardiovasculares más sencillos e informativos. Medirla implica simplemente tomar el pulso del sujeto, normalmente en el punto radial o carotídeo, tal como se muestra en la figura 8.9. La frecuencia cardíaca refleja la intensidad del esfuerzo que debe hacer el corazón para satisfacer las demandas incrementadas del cuerpo cuando está inmerso en una actividad. Para entender esto, debemos comparar la frecuencia cardíaca en reposo y durante el ejercicio.



Figura 8.9 Procedimiento para tomar (a) el pulso radial y (b) el pulso carotídeo.

Frecuencia cardíaca en reposo

La frecuencia cardíaca en reposo de promedio es de 60 a 80 latidos/min. En individuos sedentarios, desentrenados y de mediana edad el ritmo en reposo puede superar las 100 latidos/min. En deportistas muy en forma que siguen entrenamientos de resistencia se han descrito frecuencias en reposo que oscilan entre 28 y 40 latidos/min. La frecuencia cardíaca normalmente decrece con la edad. Se ve afectada también por factores ambientales; por ejemplo, aumenta con la temperatura y la altitud.

Antes del inicio del ejercicio, nuestra frecuencia cardíaca previa al ejercicio suele aumentar muy por encima de los valores normales de reposo. Esto se denomina respuesta anticipatoria. Esta respuesta es mediada por la liberación del neurotransmisor noradrenalina desde el sistema nervioso simpático, y la hormona epinefrina desde la glándula adrenal. El tono vagal probablemente también se reduce. Puesto que la frecuencia cardíaca previa al ejercicio es elevada, las estimaciones fiables de la verdadera frecuencia cardíaca en reposo deben hacerse solamente bajo condiciones de total relajación, tales como a primeras horas de la mañana al levantarse después de un sueño reparador durante la noche. La frecuencia cardíaca previa al ejercicio no debe usarse como estimación de la frecuencia cardíaca en reposo.

Frecuencia cardíaca durante el ejercicio

Cuando comenzamos a hacer ejercicio, nuestra frecuencia cardíaca se incrementa rápidamente proporcionalmente a la intensidad del ejercicio. Esto se ilustra en la figura 8.10. En esta figura, la intensidad del ejercicio se representa mediante el consumo de oxígeno porque los dos están en relación directa. Cuando el ritmo (intensidad) del esfuerzo está controlado y medido con precisión (por ejemplo, sobre un cicloergómetro), puede predecirse el consumo de oxígeno. Por lo tanto, expresar la intensidad del esfuerzo o del ejercicio en términos de consumo de oxígeno no es sólo un modo preciso, sino también apropiado, para comparar a distintas personas o a un individuo en diferentes circunstancias.

Frecuencia cardíaca máxima. Nuestra frecuencia cardíaca aumenta directamente cuando incrementamos la intensidad del ejercicio (ver figura 8.10), hasta llegar cerca del punto de agotamiento. Conforme nos aproximamos a este punto, el ritmo de nuestro corazón comienza a nivelarse. Esto indica que nos aproximamos al valor máximo. La **frecuencia cardíaca máxima (FC máx)** es el valor de la frecuencia cardíaca más alto que alcanzamos en un esfuerzo total hasta el punto del agotamiento. Éste es un valor muy fiable que permanece constante de un día para otro y cambia sólo ligeramente de un año a otro.

La frecuencia cardíaca máxima puede calcularse tomando como punto de partida la edad, puesto que la frecuencia cardíaca máxima muestra una leve pero constante reducción proximalmente 1 latido por año, iniciándose a los 10 o 15 años de edad. Restando nuestra edad de 220 obtenemos una aproximación de nuestra frecuencia cardíaca máxima media. No obstante, esto es solamente una estimación; los valo-

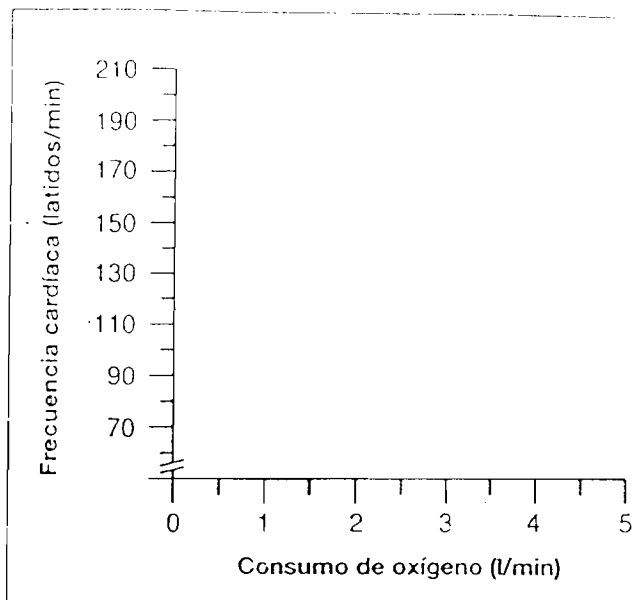


Figura 8.10 Cambios en la frecuencia cardíaca con intensidades crecientes de esfuerzo.

res individuales varían considerablemente de este valor promedio. Como ejemplo, para una persona de 40 años de edad, la frecuencia cardíaca máxima se estimará en 180 latidos/min ($FC\ máx. = 220 - 40$). Sin embargo, de todas las personas de 40 años de edad, el 68% tendrá una frecuencia cardíaca máxima real entre 168 y 192 latidos/min (con una desviación estándar de ± 1), y el 95% tendrá entre 156 y 204 latidos/min (con desviaciones estándar de ± 2). Esto pone de manifiesto el potencial de error en la estimación de la frecuencia cardíaca máxima de una persona.

PUNTO CLAVE

Para calcular la frecuencia cardíaca máxima:

$FC\ máx. = 220 - \text{edad en años}$

10 mp seg
X. 60
X. 70

Estado estable de la frecuencia cardíaca. Cuando el ritmo de esfuerzo se mantiene constante a niveles submáximos de ejercicio, la frecuencia cardíaca se incrementa muy rápidamente hasta llegar a estabilizarse. Este punto de estabilización es conocido como el **estado estable de la frecuencia cardíaca**, y es el ritmo óptimo del corazón para satisfacer las exigencias circulatorias a este ritmo específico de esfuerzo. Para cada incremento posterior de intensidad, la frecuencia cardíaca alcanzará un nuevo valor estable al cabo de 1 o 2 min. No obstante, cuanto más intenso es el ejercicio, más se tarda en alcanzar este estado estable.

El concepto de frecuencia cardíaca estable constituye la base de varias pruebas que se han desarrollado para estimar el nivel de *fitness*. En una de estas pruebas, a los individuos se les sitúa en un dispositivo para hacer ejercicio, como por ejemplo un cicloergómetro, y se les hace ejercitarse a dos o tres ritmos de esfuerzo distintos. Los que están en mejores condiciones físicas, basándose en su resistencia cardiorrespiratoria, tendrán estados estables más bajos de la frecuencia cardíaca a un ritmo determinado de esfuerzo que quienes no están en tan buena forma. Por lo tanto, la frecuencia cardíaca estable es un pronosticador válido de la eficacia del corazón -una frecuencia cardíaca menor refleja un corazón más eficaz-.

Cuando el ejercicio se ejecuta a un ritmo constante durante un período prolongado de tiempo, particularmente bajo condiciones de calor, la frecuencia cardíaca tiende a aumentar en lugar de mantener su valor estable. Esta respuesta es parte de un fenómeno llamado desplazamiento cardiovascular (tratado más adelante en este capítulo).

Volumen sistólico

El volumen sistólico cambia también durante el ejercicio para permitir que el corazón trabaje más eficazmente. Cada vez ha quedado más claro que, con ritmos de esfuerzo casi máximos y máximos, el volumen sistólico es un determinante importante de la resistencia cardiorrespiratoria. Examinemos el fundamento de esto.

El volumen sistólico viene determinado por cuatro factores:

1. El volumen de sangre venosa que regresa al corazón.
2. La distensibilidad ventricular, o capacidad para agrandar los ventrículos.
3. La contractilidad ventricular.
4. La tensión arterial aórtica o pulmonar (la presión contra la cual deben contraerse los ventrículos).

Los dos primeros factores influyen en la capacidad de llenado de los ventrículos, determinando cuánta sangre está disponible para llenar los ventrículos y la facilidad con éstos se llenan con la presión disponible. Los dos últimos factores influyen en la capacidad de los ventrículos para vaciarse, determinando la fuerza con la que es eyectada la sangre y la presión contra la que debe fluir en las arterias. Estos cuatro factores controlan directamente las alteraciones en el volumen sistólico en respuesta a la creciente intensidad del ejercicio.

Aumento del volumen sistólico con el ejercicio

Los investigadores están de acuerdo en que el volumen sistólico aumenta por encima de los valores de reposo durante el ejercicio. Pero hay informes contradictorios sobre los cambios en el volumen sistólico al pasar de ritmos muy bajos de esfuerzo a esfuerzos máximos o al agotamiento. La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que el volumen sistólico

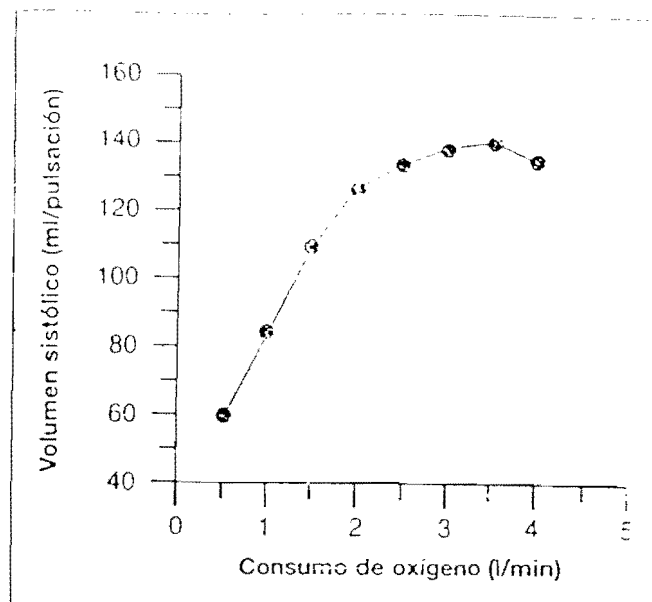


Figura 8.11 Cambios en el volumen sistólico con intensidades crecientes de esfuerzo.

aumenta con ritmos crecientes de esfuerzo, pero solamente hasta intensidades de ejercicio de entre el 40 y el 60% de la capacidad máxima. En este punto, se cree que el volumen sistólico se estabiliza, tal como se muestra en la figura 8.11, permaneciendo esencialmente invariable incluso al alcanzar el punto de agotamiento.

Cuando el cuerpo está en posición erguida, el volumen sistólico casi dobla los valores máximos en reposo. Por ejemplo, en individuos activos pero no entrenados, aumenta desde 50 o 60 ml en reposo hasta 100 o 120 ml durante el ejercicio máximo. En deportistas que siguen entrenamientos muy fuertes de resistencia, el volumen sistólico puede aumentar desde 80 a 110 ml en reposo hasta entre 160 y 200 ml durante la realización de ejercicios máximos. Durante la realización de ejercicios en posición supina, como por ejemplo en la natación, el volumen sistólico también aumenta, pero generalmente sólo un 20 o un 40%, mucho menos que en posición erguida. ¿Por qué hay esta diferencia dependiendo de la posición del cuerpo?

Cuando el cuerpo está en posición supina, la sangre no se acumula en las extremidades. Por ello, la sangre regresa con más facilidad al corazón, lo cual significa que los valores del volumen sistólico en reposo son mucho más altos en posición supina que en posición erguida. Por consiguiente, el incremento del volumen sistólico durante el ejercicio máximo no es tan grande en posición supina como en posición erguida. Curiosamente, el volumen sistólico más alto posible durante la realización de ejercicios en posición erguida es sólo ligeramente mayor que el valor en reposo en posición reclinada. La mayor parte del incremento del volumen sistólico durante la realización de esfuerzos de un nivel entre bajo y moderado parece estar compensando la fuerza de la gravedad.

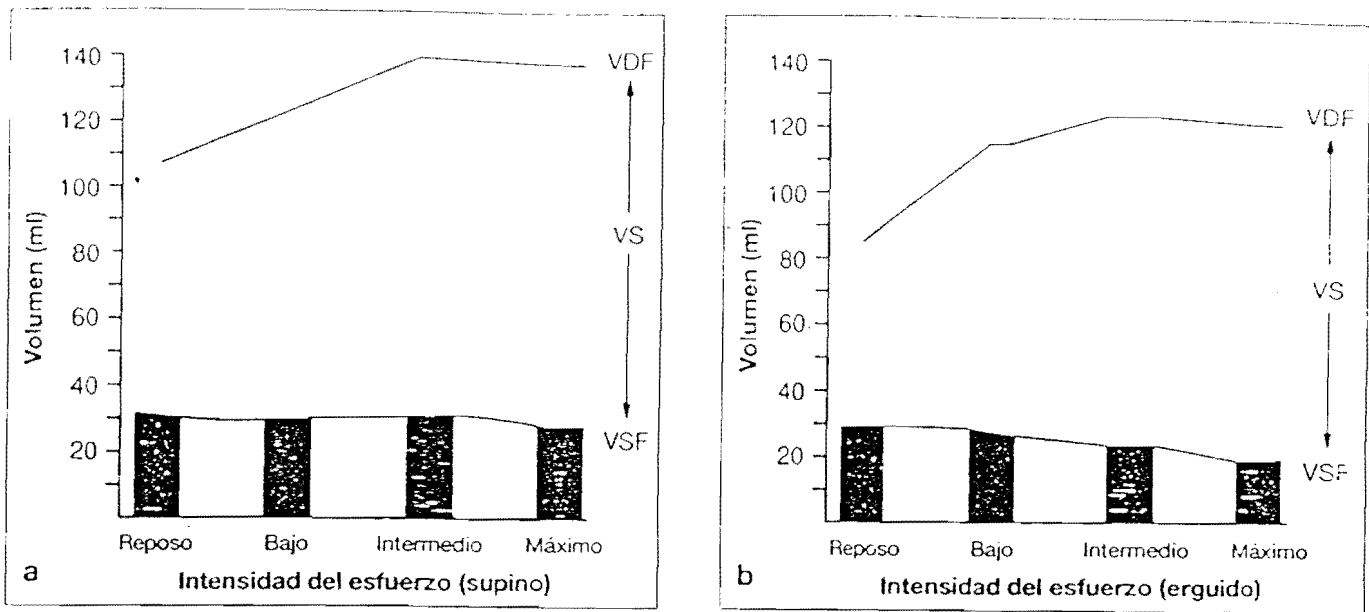


Figura 8.12 Cambios en el volumen ventricular izquierdo diastólico final, en el volumen sistólico final y en el volumen sistólico en reposo y durante la realización de un esfuerzo de baja intensidad, de intensidad intermedia y de intensidad máxima cuando el sujeto se halla (a) en posición supina y (b) en posición erguida. Adaptado de Poliner y cols. (1980).

Explicaciones del incremento del volumen sistólico

Aunque hay acuerdo en que el volumen sistólico aumenta al pasar del estado de reposo al de ejercicio, hasta hace poco no estaba bien documentado cómo se producía este incremento. Una explicación es la ley de Frank-Starling, que afirma que el factor principal en el control del volumen sistólico es el grado de estiramiento de los ventrículos. Cuando los ventrículos se estiran más, se contraerán con más fuerza. Por ejemplo, si un gran volumen de sangre entra en la cámara cuando los ventrículos se llenan durante la diástole, las paredes de los ventrículos se estirarán más que cuando entra un volumen menor. A fin de eyectar esta mayor cantidad de sangre, los ventrículos deben reaccionar a este superior estiramiento contrayéndose con más fuerza. Esto recibe el nombre de **mecanismo de Frank-Starling**. A la inversa, el volumen sistólico puede también aumentar si la contractilidad de los ventrículos fuese mayor, incluso sin un volumen diastólico final aumentado. ¿Cuál de estos mecanismos es responsable del incremento del volumen sistólico?

Varias nuevas técnicas de diagnóstico cardiovascular han hecho posible determinar exactamente cómo cambia el volumen sistólico con el ejercicio. Se han usado con éxito técnicas ecocardiográficas (empleando ondas de sonido) y de radionúclidos (empleando radiaciones electromagnéticas) para determinar cómo responden las cámaras del corazón a las crecientes demandas de oxígeno durante el ejercicio. Con ambas técnicas, pueden tomarse imágenes continuas del corazón en reposo y hasta ritmos casi máximos de ejercicio.

La figura 8.12 ilustra los resultados de un estudio en sujetos normales, activos, pero no entrenados. En este estudio, los participantes fueron sometidos a pruebas en posición supina y

en posición erguida en un cicloergómetro en cuatro situaciones distintas:

1. En reposo.
2. Con ritmos bajos de esfuerzo.
3. Con un ritmo intermedio de esfuerzo.
4. Con un ritmo de esfuerzo máximo.¹¹

Un incremento en el volumen ventricular izquierdo diastólico final (un mayor llenado) indicaría que el mecanismo de Frank-Starling está actuando, y una reducción en el volumen ventricular izquierdo sistólico final (un mayor vaciado) indicaría la existencia de un mayor grado de contractilidad.

Estos resultados indican que tanto el mecanismo de Frank-Starling como la aumentada contractilidad son importantes en el incremento del volumen sistólico. El mecanismo de Frank-Starling parece tener su mayor influencia en los ritmos bajos de esfuerzo, y la contractilidad tiene sus mayores efectos en ritmos de esfuerzo más altos. Otros estudios han reforzado esta interpretación.

Recordemos que la frecuencia cardíaca aumenta con la intensidad del ejercicio. La nivelación o una pequeña reducción en el volumen ventricular izquierdo diastólico final pueden ser ocasionados por un menor tiempo de llenado ventricular. Un estudio observó que el tiempo de llenado ventricular se redujo desde 500 o 700 ms en reposo hasta alrededor de 150 ms con ritmos cardíacos más altos (aproximadamente entre 150 y 200 latidos/min).¹⁷ Por lo tanto, con ritmos crecientes de esfuerzo aproximándose a frecuencias cardíacas máximas, el tiempo diastólico de llenado puede reducirse lo bastante como para limitar el llenado. En consecuencia, el volumen diastólico final puede nivelarse o comenzar a disminuir.

Investigaciones contradictorias sobre el incremento del volumen sistólico

Aunque los investigadores están de acuerdo en que el volumen sistólico aumenta cuando el ritmo de esfuerzo aumenta del 40 al 60% del máximo, los informes sobre lo que sucede pasado este punto difieren ampliamente. Un análisis de estudios realizados entre mediados de los años sesenta y principios de los noventa no revela ningún modelo claro de aumento del volumen sistólico más allá del 40 al 60% del alcance del ritmo de esfuerzo. El examen tanto de algunas de las primeras investigaciones como de otras recientes revela que el conflicto continúa. Varios estudios han descubierto una nivelación del volumen sistólico a aproximadamente el 50% del $\dot{V}O_2$ máx., produciéndose pocos o ningún cambio con incrementos mayores.^{1, 3, 8, 12, 16} Sin embargo, otros estudios han demostrado que el volumen sistólico continúa aumentando más allá de este nivel de esfuerzo.^{3, 5, 7, 14}

Este aparente desacuerdo puede ser el resultado del tipo de pruebas de esfuerzo empleadas o del nivel de entrenamiento de los participantes. Estudios que muestran nivelaciones del 40 al 60% del rango del $\dot{V}O_2$ máx. normal-

mente han usado cicloergómetros. Estudios previos han demostrado que la sangre queda atrapada en las piernas durante el ejercicio con cicloergómetros. Por lo tanto, la nivelación en el volumen sistólico puede ser exclusiva del ejercicio en cicloergómetros, siendo el resultado de un menor retorno venoso de la sangre desde las piernas.

En estudios en que el volumen sistólico continuó aumentando hasta ritmos máximos de ejercicio, los sujetos solían ser deportistas con un alto nivel de entrenamiento. Muchos de estos deportistas pueden seguir incrementando sus volúmenes sistólicos después de rebasar el nivel comprendido entre el 40 y el 60% del $\dot{V}O_2$ máx., debido quizás a las adaptaciones al entrenamiento. Por último, el volumen sistólico es difícil de valorar, particularmente con ritmos de esfuerzo más altos, por lo que las diferencias entre estudios pueden ser el resultado de utilizar técnicas distintas para medir el rendimiento cardíaco o el volumen sistólico, y de la precisión de estas técnicas con diferentes intensidades de ejercicio. Todavía tiene que llevarse a cabo una investigación definitiva.

Para que el mecanismo de Frank-Starling funcione, la cantidad de sangre que entra en los ventrículos debe aumentar.

Para que esto ocurra, el retorno de sangre venosa al corazón debe incrementarse. Esto puede suceder rápidamente con la redistribución de la sangre por la activación simpática de las arterias y de las arteriolas en áreas inactivas del cuerpo y por la activación simpática general del sistema venoso. Asimismo, los músculos son más activos durante el ejercicio, por lo que su acción de bombeo se incrementa. Además, la respiración aumenta, por lo que los cambios en las presiones intratorácica e intraabdominal también lo hacen. Todos estos cambios incrementan el retorno venoso.

Gasto cardíaco

Después de haber tratado los dos componentes del gasto cardíaco, podemos reunir esta información para entender lo que le sucede al gasto cardíaco durante el ejercicio. Puesto que los cambios en el gasto cardíaco son el producto de la frecuencia cardíaca y del volumen sistólico, son predecibles con el incremento de los niveles de esfuerzo, tal como se ve en la figura 8.13. El valor en reposo para el gasto cardíaco es aproximadamente de 5.0 l/min. El gasto cardíaco aumenta en proporción directa con el incremento de la intensidad del ejercicio hasta al menos 20 o 40 l/min. El valor absoluto varía con el tamaño del cuerpo y el acondicionamiento de resistencia. No obstante, la relación lineal entre el gasto cardíaco y el ritmo de esfuerzo no debe sorprendernos puesto que el propósito principal del incremento del gasto cardíaco es satisfacer la incrementada demanda de oxígeno de los músculos.

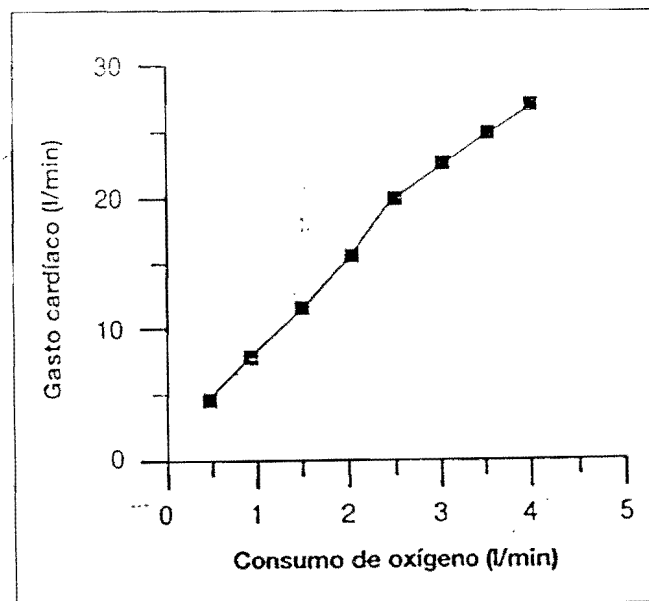


Figura 8.13 Cambios en el gasto cardíaco con crecientes intensidades de esfuerzo.

Cambios generales en la función cardíaca

Puesto que $\dot{Q} = FC \times VS$, los cambios en la frecuencia cardíaca o en el volumen sistólico tendrán un impacto sobre el otro componente. Tras haberlos visto por separado, ahora necesitamos reunirlos.

Consideremos el ejemplo siguiente. Nos levantamos desde una posición de tendidos sentándonos y luego nos ponemos de pie. Comenzamos a caminar. El caminar se convierte en *jogging*, y finalmente comenzamos a correr. ¿Cómo responde nuestro corazón? Conforme vamos pasando de una posición de tendido a carrera, nuestro sistema cardiovascular efectúa continuas adaptaciones que nos permiten incrementar progresivamente nuestro ritmo de esfuerzo.

Si nuestra frecuencia cardíaca cuando estamos tendidos es de 50 latidos/min, aumentará a 55 latidos/min cuando estamos sentados y a 60 al ponernos de pie. ¿Por qué aumenta el ritmo de nuestro corazón? Cuando nuestro cuerpo pasa de una posición de tendido a otra de pie, el volumen sistólico cae inmediatamente. Esto se debe principalmente a los efectos de la gravedad que hacen que la sangre se acumule en las piernas, lo cual reduce el volumen de sangre que vuelve al corazón. Al mismo tiempo, el ritmo de nuestro corazón aumenta. Este incremento en la frecuencia cardíaca cuando se pasa a una postura erguida es simplemente una adaptación para mantener el gasto cardíaco, puesto que $\dot{Q} = FC \times VS$.

Cuando comenzamos nuestra actividad, pasando de estar de pie a caminar, nuestra frecuencia cardíaca aumenta de 60 a 90 latidos/min aproximadamente. Haciendo *jogging* a un ritmo moderado se pasa a 140 latidos/min, y se puede llegar hasta 180 latidos/min o incluso más si se corre a gran velocidad. El incremento en la frecuencia cardíaca cuando se cambia de posición mantiene el gasto cardíaco, pero el incremento en una mayor actividad permite enviar una cantidad sustancialmente mayor de sangre a los músculos en funcionamiento

para satisfacer los requerimientos de oxígeno de la creciente actividad. El volumen sistólico también aumenta con el ejercicio, incrementando todavía más el gasto cardíaco. Estas relaciones se hallan ilustradas en la figura 8.14.

Durante las fases iniciales del ejercicio, el mayor gasto cardíaco se debe a un aumento en la frecuencia cardíaca y en el volumen sistólico. Cuando el nivel de ejercicio rebasa el 40 o el 60% de la capacidad individual, el volumen sistólico se ha nivelado o ha comenzado a aumentar a un ritmo mucho más lento. Por lo tanto, los nuevos incrementos del gasto cardíaco son el resultado principalmente de aumentos de la frecuencia cardíaca.

La tabla 8.1 ilustra estas relaciones. Usando tres actividades (correr, ciclismo y natación), dicha tabla muestra los cambios esperados en la frecuencia cardíaca (FC), en el volumen sistólico (VS), y en el gasto cardíaco (\dot{Q}) desde el reposo hasta niveles máximos de ejercicio. Es importante entender que hay muchas reacciones específicas de cada una de las modalidades.

Durante el ejercicio, el gasto cardíaco aumenta principalmente para satisfacer la necesidad de un mayor aporte de oxígeno a los músculos en actividad.

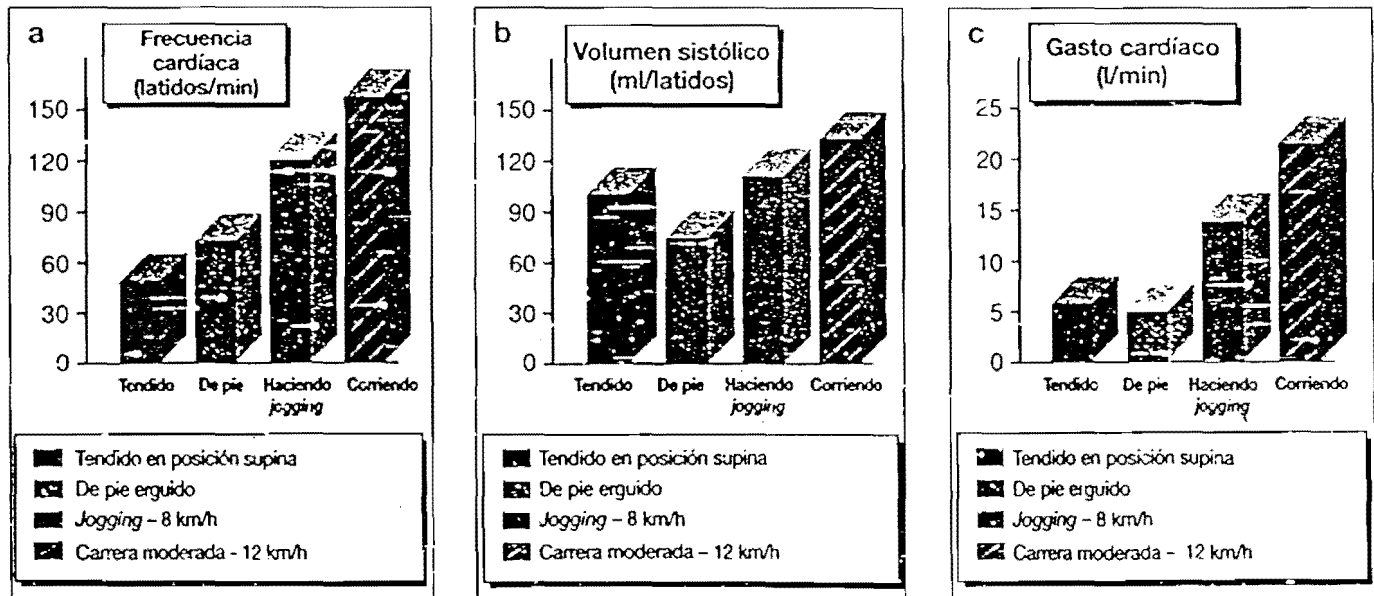


Figura 8.14 Cambios en (a) la frecuencia cardíaca, (b) el volumen sistólico y (c) el gasto cardíaco con los cambios en la postura y en el nivel de ejercicio.

Asimismo, el ritmo metabólico del tejido muscular aumenta durante el ejercicio. En consecuencia, los productos metabólicos de deshecho comienzan a acumularse. El incrementado metabolismo produce un aumento de la acidez, del CO_2 y de la temperatura en el tejido muscular. Estos cambios locales provocan vasodilatación mediante la autorregulación, incrementando el flujo sanguíneo a través de los capilares locales. La autorregulación se activa también por la presión parcial del oxígeno (PO_2) en el tejido (mayor demanda de oxígeno), por la contracción muscular y posiblemente por otras sustancias vasoactivas liberadas como resultado de la contracción.

La regulación de la temperatura corporal se controla de modo muy parecido. Durante el ejercicio intenso (o incluso en reposo en un ambiente caluroso) el calor se acumula en el cuerpo y debe disiparse. Para lograrlo, la sangre se redirige o relega hacia la piel mediante una reducida estimulación simpática, que provoca la dilatación de los vasos superficiales. Esto facilita la pérdida de calor, porque el calor del interior del cuerpo puede ser liberado cuando la sangre se traslada hacia la piel. Esto permite el mantenimiento de una temperatura corporal constante. A la inversa, cuando está expuesto a un ambiente frío, el cuerpo conserva el calor incrementando la estimulación simpática a los vasos de la piel, haciendo que se contraigan para alejar la sangre de la piel fría.

Desplazamiento cardiovascular

Con el ejercicio prolongado o el ejercicio en un ambiente caluroso, el volumen sanguíneo se reduce debido a la pérdida de agua a través de la sudoración y a un trasvase generalizado de fluidos desde la sangre hacia los tejidos. Esta última condición recibe el nombre de edema. Con el volumen sanguíneo total disminuyendo gradualmente a medida que aumenta la duración del ejercicio y con una redistribución de más sangre hacia la periferia para enfriarla, la presión de llenado cardíaco se reduce. Esto ocasiona un menor retorno venoso hacia el lado derecho del corazón. A su vez, esto reduce el volumen sistólico (VDF se reduce; $\text{VS} = \text{VDF} - \text{VSF}$). La frecuencia cardíaca aumenta, compensando de esta manera el volumen sistólico disminuido en un esfuerzo por mantener el gasto cardíaco ($\dot{Q} = \text{FC} \times \text{VS}$).

Estas alteraciones reciben la denominación de *desplazamiento cardiovascular*. Esta respuesta nos permite continuar haciendo ejercicio a intensidades entre bajas y moderadas. Sin embargo, el cuerpo es incapaz de compensar totalmente nuestro menor volumen sistólico a intensidades elevadas porque nuestra frecuencia cardíaca alcanza su máximo valor a una intensidad de ejercicio mucho más baja, limitando de esta manera nuestra capacidad de rendimiento máximo.

Competencia por el suministro de sangre

Cuando las demandas del ejercicio se imponen por añadidura a todas las otras demandas del cuerpo, puede producirse una competencia por el limitado volumen de sangre disponible. Consideremos la siguiente investigación que examinó las relaciones entre la programación de la alimentación y la de la competición. Trabajando con cerdos enanos, McKirnan y cols.

estudiaron los efectos de la alimentación frente a los del ayuno sobre la distribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio.¹¹ Los cerdos fueron divididos en dos grupos. Un grupo ayunó entre 14 y 17 h. El otro grupo tomó su ración de la mañana distribuida en dos tiempos –una mitad se alimentó entre 90 y 120 min antes del ejercicio, y la otra mitad entre 30 y 45 min antes del ejercicio–. Los dos grupos de cerdos corrieron a aproximadamente el 65% de su VO_2 máx.

El flujo de sangre a los músculos de las extremidades posteriores durante el ejercicio fue un 18% menor en el grupo que se alimentó que en el grupo que ayunó. El flujo de sangre gastrointestinal aumentó un 23% en el grupo que se alimentó. Waaler y cols. informaron sobre resultados similares en humanos, concluyendo que la redistribución del flujo sanguíneo gastrointestinal hacia los músculos en actividad es menos acusada después de una comida que antes de la misma.¹² Esto sugiere que los deportistas deberían tener mucho cuidado a la hora de programar sus comidas antes de una competición, puesto que quieren tanto flujo de sangre como pueda estar disponible para los músculos activos durante el ejercicio.

La redistribución de la sangre por el cuerpo tiene lugar principalmente para satisfacer las demandas de los tejidos activos. Esto exige no sólo el suministro de una cantidad suficiente de sangre a los tejidos activos, sino también que se produzca un intercambio entre la sangre y el fluido activo. Para que el intercambio sea efectivo, debe ser un proceso continuo, que requiere que la sangre esté fluyendo constantemente, circulando para traer nutrientes y llevarse los productos de deshecho. A continuación, volveremos nuestra atención hacia la fuerza que impulsa el flujo sanguíneo: la tensión arterial.

Tensión arterial

Al examinar las diferencias en la tensión arterial durante el ejercicio, debemos distinguir entre la tensión arterial sistólica (TAS) y la diastólica (TAD), puesto que muestran cambios distintos. Con actividades de resistencia que implican a todo el cuerpo, la TAS aumenta en proporción directa con la incrementada intensidad del ejercicio. Las TAS de 120 mmHg en reposo pueden superar los 200 mmHg al llegar al agotamiento. TAS de entre 240 y 250 mmHg han sido declaradas en deportistas normales y sanos de un alto nivel de entrenamiento a niveles máximos de ejercicio.

Una TAS aumentada es la consecuencia del mayor gasto cardíaco (\dot{Q}) que acompaña a intensidades crecientes de esfuerzo. Ayuda a conducir rápidamente la sangre a través del sistema vascular. Asimismo, la tensión arterial determina cuánto fluido abandona los capilares, entrando en los tejidos y transportando los suministros necesarios. Por lo tanto, la mayor TAS facilita el proceso de transporte.

La TAS cambia poco o nada durante la realización de ejercicios de resistencia, con independencia de la intensidad. Recordemos que la TAD refleja la presión en las arterias cuando el corazón está en reposo. Ninguno de los cambios que hemos discutido altera esta presión significativamente, por lo que no hay razón para esperar que aumente. Los aumentos en la TAD de 15 mmHg o más son considerados como 177

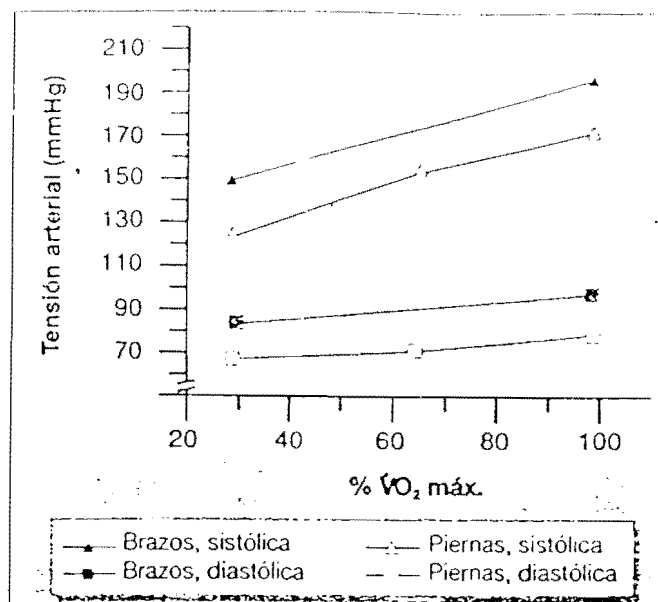


Figura 8.15 Respuesta de la tensión arterial al ciclismo de las piernas y de los brazos a los mismos ritmos absolutos de consumo de oxígeno. Adaptado de Åstrand y cols. (1965).

respuestas anormales al ejercicio y son una de las varias indicaciones de que hay que detener inmediatamente una prueba diagnóstica con ejercicios. La figura 8.15 ilustra una respuesta típica de la tensión arterial al pedalear con los brazos y las piernas con ritmos crecientes de esfuerzo.

La tensión arterial alcanza un punto en que se estabiliza durante la realización de ejercicios de resistencia con una intensidad submáxima constante. Si el ejercicio de intensidad estable se prolonga, la TAS puede comenzar a reducirse gradualmente, pero la TAD permanece constante. La reducción de la TAS, si se produce, es una respuesta normal que simplemente refleja una dilatación incrementada de las arteriolas de los músculos activos, lo cual reduce la resistencia periférica total (recordemos de la fisiología básica que la tensión arterial = gasto cardíaco \times resistencia periférica total).

Las respuestas de la tensión arterial al ejercicio contra resistencia, tales como la halterofilia, son exageradas. Con los entrenamientos contra resistencia de alta intensidad, la tensión arterial puede superar los 480/350 mmHg.¹⁰ En este tipo de ejercicios, el uso de la maniobra de Valsalva es muy común. Esta maniobra tiene lugar cuando una persona intenta espirar mientras su boca, nariz y glotis están cerradas. Esta acción produce un enorme incremento en la presión intratorácica. Gran parte del incremento en la subsecuente tensión arterial es la consecuencia del esfuerzo del cuerpo por superar las elevadas presiones internas creadas durante la maniobra de Valsalva.

En ejercicios del mismo ritmo absoluto de consumo energético, el uso de la musculatura de la parte superior del cuerpo, en contraposición a la musculatura de la parte inferior, produ-

ce también una respuesta de incremento de la tensión arterial, tal como se ve en la figura 8.15. Lo más probable es que ello se deba a la menor masa muscular y menor número de vasos de la parte superior del cuerpo en comparación con la parte inferior del mismo. Esta diferencia de tamaño produce una mayor resistencia al flujo sanguíneo y, por lo tanto, un incremento de la tensión arterial para superar esta resistencia.

Esta diferencia en la respuesta de la TAS al ejercicio en las partes superior e inferior del cuerpo tiene importantes implicaciones para el corazón. El consumo miocárdico de oxígeno y el flujo miocárdico de sangre son directamente proporcionales al producto de la frecuencia cardíaca y de la TAS. Este valor es llamado doble producto ($DP = FC \times TAS$). En los ejercicios estáticos o dinámicos contra resistencia o esfuerzos con la parte superior del cuerpo, el doble producto es elevado, lo cual indica un coste mucho más alto para el corazón.

Sangre

Hemos examinado los cambios cardiovasculares inducidos por el ejercicio. El componente restante del sistema cardiovascular es la sangre —el fluido que transporta sustancias necesarias para los tejidos y que se lleva las perjudiciales—. Cuando el metabolismo aumenta durante el ejercicio, las funciones de la sangre se hacen más vitales para que el rendimiento sea eficaz. Ahora examinaremos los cambios que tienen lugar en la sangre para satisfacer estas demandas incrementadas.

Contenido de oxígeno

En reposo, el contenido de oxígeno de la sangre varía desde 20 ml de oxígeno por cada 100 ml de sangre arterial hasta 14 ml de oxígeno por cada 100 ml de sangre venosa. La diferencia entre estos dos valores (20 ml – 14 ml = 6 ml) recibe la denominación de diferencia arteriovenosa de oxígeno ($\text{dif. a-}\bar{v}\text{O}_2$). Este valor representa la medida en que es extraído o eliminado el oxígeno de la sangre a medida que pasa por el cuerpo. Con ritmos crecientes de ejercicio, la $\text{dif. a-}\bar{v}\text{O}_2$ aumenta progresivamente. La $\text{dif. a-}\bar{v}\text{O}_2$ puede llegar a aumentar aproximadamente hasta tres veces desde el reposo hasta los niveles máximos de ejercicio (ver figura 8.16). Esto refleja un decreciente contenido de oxígeno venoso. Los músculos activos requieren más oxígeno, por lo que se extrae más oxígeno de la sangre. El contenido de oxígeno venoso se reduce aproximándose a cero en los músculos activos, pero la sangre venosa mezclada en la aurícula derecha del corazón rara vez cae por debajo de 2 o 4 ml de oxígeno por cada 100 ml de sangre. Esto es así porque la sangre que vuelve de los músculos activos se mezcla con sangre de áreas inactivas cuando regresa al corazón. El uso de oxígeno en los tejidos inactivos es muy inferior al de los músculos. El contenido arterial de oxígeno permanece esencialmente invariable; no obstante, ha habido informes de contenidos arteriales de oxígeno reducidos en deportistas muy entrenados a niveles máximos de ejercicio.⁴

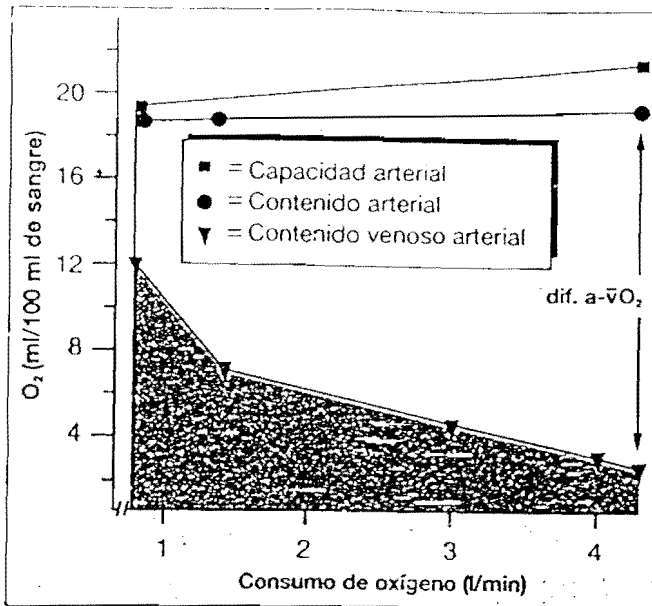


Figura 8.16 Cambios en la diferencia de oxígeno arteriovenosa (dif. a- $\bar{v}O_2$) desde niveles bajos hasta niveles máximos de ejercicio. Adaptado de Åstrand y Rodahl (1986).

Volumen de plasma

Al iniciar el ejercicio hay un aumento casi inmediato de pérdida de volumen del plasma sanguíneo hacia el espacio del fluido intersticial. Esto es probablemente la consecuencia de dos factores. Cuando la tensión arterial aumenta, la presión hidrostática dentro de los capilares también lo hace. Por lo tanto, el incremento de la tensión arterial fuerza al agua a salir desde el compartimento vascular hacia el intersticial. Asimismo, cuando los productos metabólicos de desecho se acumulan en los músculos activos, la presión osmótica intramuscular aumenta, y esto atrae el fluido hacia los músculos.

Con esfuerzos prolongados puede producirse una reducción de entre el 10 y el 20% o superior en el volumen del plasma. Se han observado reducciones de entre el 10 y el 20% en el volumen del plasma en series de 1 min de duración de ejercicio agotador.¹⁵ En los entrenamientos contra resistencia, la pérdida de volumen de plasma es proporcional a la intensidad del esfuerzo, con pérdidas desde el 7,7% cuando se hace ejercicio al 40% de una repetición máxima, hasta el 13,9% al entrenarse al 70%.²

Si la intensidad del ejercicio o las condiciones ambientales provocan sudoración, es de esperar una pérdida adicional de plasma. Aunque la fuente principal de fluido para la sudoración es el fluido intersticial, éste disminuirá si la sudoración continúa. Esto incrementa la presión osmótica en el espacio intersticial, que provoca que una cantidad todavía mayor de plasma entre en los tejidos. La medición directa y precisa del volumen del fluido intracelular es imposible, pero las investigaciones sugieren que también se pierde fluido desde el com-

partimiento intracelular e incluso desde los glóbulos rojos, que pueden encogerse.

Una reducción del volumen de plasma probablemente dificultará el rendimiento. Para actividades de larga duración en las que la pérdida de calor es un problema, el flujo total de sangre hacia los tejidos activos puede reducirse para permitir desviar una cantidad creciente de sangre hacia la piel a fin de intentar perder calor corporal. El menor volumen de plasma también produce una mayor viscosidad de la sangre, que puede impedir el flujo de ésta limitando así el transporte de oxígeno, especialmente si el hematócrito supera el 60%.

En actividades que requieren varios minutos o menos, los cambios en el fluido corporal y en la regulación de la temperatura tienen poca importancia práctica. Cuando la duración del ejercicio aumenta, los cambios en el fluido corporal y en la regulación de la temperatura se vuelven importantes para que el rendimiento sea eficaz. Para el jugador de fútbol americano o para el corredor de maratón, estos procesos son cruciales, no sólo para la competición, sino también para la supervivencia. Se han producido muertes por deshidratación e hipertermia durante o como resultado de diversas actividades deportivas. Estos temas los trataremos con mayor detalle en el capítulo 11.

Hemoconcentración

Cuando el volumen del plasma se reduce, se produce la hemoconcentración. Esto significa que la porción fluida de la san-

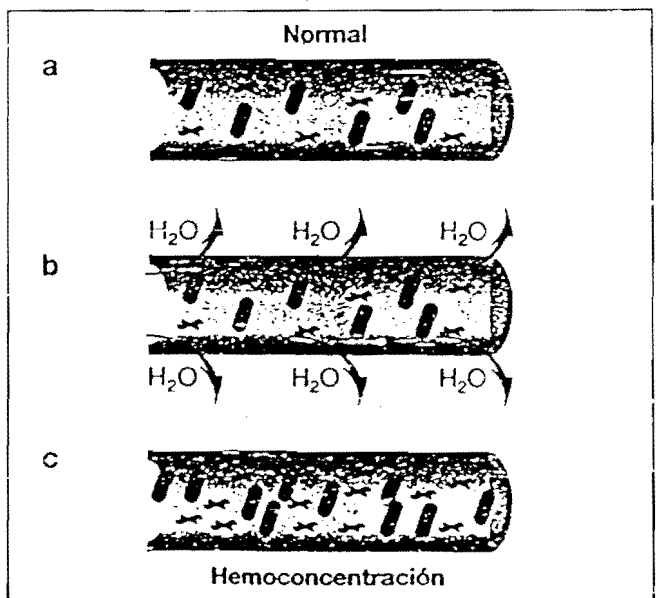


Figura 8.17 (a) Vaso sanguíneo con una concentración normal de sangre. (b) La hemoconcentración tiene lugar cuando el H_2O abandona los vasos sanguíneos. (c) Incrementando la concentración de las sustancias que permanecen en el vaso.

gre se reduce y que la fracción corpuscular y de proteínas representan una fracción más grande del volumen total de la sangre, tal como se ve en la figura 8.17. Por lo tanto, quedan más concentradas en la sangre. Esta hemoconcentración incrementa sustancialmente la concentración de glóbulos rojos (entre un 20 o un 25%). El hematócrito aumenta entre un 40 y un 50%. No obstante, el número o contenido total de glóbulos rojos es poco probable que cambie sustancialmente.

Cuando el hematócrito se eleva, el efecto neto, incluso sin un aumento del número total de glóbulos rojos, es incrementar la cantidad de glóbulos rojos por unidad de sangre puesto que las células están más concentradas. Cuando la concentración de glóbulos rojos aumenta, también lo hace el contenido de hemoglobina por unidad de sangre. Esto incrementa sustancialmente la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, lo cual es ventajoso durante el ejercicio.

RESUMEN

Los cambios que se producen en la sangre durante el ejercicio demuestran que la sangre realiza sus tareas necesarias. Éstos son los cambios más importantes observados:

1. La $\text{diff. a-}\bar{v}\text{O}_2$ aumenta. Esto sucede porque la concentración de oxígeno venoso disminuye durante el ejercicio, reflejando una mayor concentración de oxígeno para ser usado por los tejidos activos.
2. El volumen del plasma se reduce durante el ejercicio. El fluido (agua) es expulsado de los capilares por incrementos en la presión hidrostática cuando la tensión arterial aumenta y es llevado hacia los músculos por la incrementada presión osmótica resultante de la acumulación de productos de deshecho. No obstante, con los ejercicios prolongados, o con ejercicios realizados en ambientes calurosos, se pierde una cantidad creciente de fluido del plasma por la sudoración intentando mantener la temperatura del cuerpo, poniendo a la persona en situación de riesgo de deshidratación.
3. La hemoconcentración se produce cuando se pierde el fluido del plasma (agua). Aunque el verdadero número de glóbulos rojos puede que no incremente, el efecto neto de este proceso es aumentar el número de glóbulos rojos por unidad de sangre, lo cual incrementa la capacidad de transporte de oxígeno.
4. El pH de la sangre cambia significativamente durante el ejercicio, volviéndose más ácido cuando pasa de un valor ligeramente alcalino en reposo de 7,4 a 7,0 o menor. El pH muscular se reduce incluso más. La reducción del pH es el resultado principalmente de una mayor acumulación de lactato en la sangre durante la ejecución de ejercicios de mayor intensidad.

Hubo un tiempo en que se pensaba que la respuesta hemoconcentración reflejaba una aportación de glóbulos rojos del bazo a la sangre para facilitar el transporte de oxígeno. Este punto de vista suponía que dado que muchos animales pueden incrementar el número de glóbulos rojos en circulación liberando células almacenadas en el bazo, los humanos también podían hacerlo. Esta explicación fue rechazada en gran medida durante los años cincuenta y sesenta por algunas limitadas pruebas que existían indicaban que el bazo no podía a cabo esta función en los humanos. Ahora sabemos que el bazo tiene una capacidad de almacenamiento de unos 500 millones de glóbulos rojos concentrados. Flamm y cols., usando técnicas con radionúclidos, informaron sobre una progresiva reducción del volumen total de sangre en el bazo con crecientes ritmos de esfuerzo.* El incremento en el hematócrito se producía paralelamente a una reducción en el volumen de sangre del bazo. Esto fue confirmado en un estudio posterior.† La importancia de la función del bazo durante el ejercicio está por determinar todavía.

PH sanguíneo

Por último, el pH sanguíneo puede cambiar considerablemente con la realización de ejercicios de intensidad entre moderada y alta. Recordemos que el pH neutro es de 7,0; si es mayor de 7,0 es alcalino o básico, y si es menor de 7,0 es ácido (véase capítulo 9). En reposo, el pH de la sangre arterial permanece constante a alrededor de 7,4 (ligeramente alcalino).

Pocos cambios se producen al pasar del estado de reposo al de ejercicio de una intensidad aproximada del 50% de la capacidad aeróbica máxima. Cuando la intensidad aumenta por encima del 50%, el pH comienza a reducirse al mismo tiempo que la sangre se vuelve más ácida. Esta caída es gradual al principio, pero se vuelve más rápida cuando el cuerpo se acerca al agotamiento. Se han detectado valores de pH sanguíneo de 7,0 o menores después de la realización de un ejercicio *sprint* máximo. El pH en los músculos activos disminuye incluso más, hasta 6,5 o menos.

La caída en el pH sanguíneo es la consecuencia principalmente de una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico y se corresponde con incrementos en el lactato sanguíneo observados con intensidades crecientes de ejercicio.

Conclusión

En este capítulo hemos revisado la estructura y la función del sistema cardiovascular y hemos examinado cómo responde este sistema durante el ejercicio para satisfacer las necesidades incrementadas de los músculos activos. Hemos explorado su función en el transporte y entrega de oxígeno y nutrientes a los tejidos activos mientras se lleva los productos metabólicos de deshecho, incluido el ácido de carbono. Sabiendo cómo se transportan estas sustancias dentro del cuerpo, podemos ahora observar más de cerca el movimiento

del oxígeno y del dióxido de carbono. En el capítulo siguiente exploraremos el aparato respiratorio, considerando cómo se transporta el oxígeno hacia dentro y hacia fuera del cuerpo, cómo se entrega a los tejidos activos, y cómo se extrae el dióxido de carbono de los mismos. Luego examinaremos cómo cambia la función respiratoria para satisfacer las demandas de un cuerpo activo.

Expresiones clave

autorregulación	gasto cardíaco (\dot{Q})
cambio cardiovascular	hemoglobina
ciclo cardíaco	mecanismo de Frank-Starling
control nervioso extrínseco	miocardio
electrocardiograma (ECG)	volumen diastólico final (VDF)
estado constante de la frecuencia cardíaca	volumen sistólico (VS)
frecuencia cardíaca en reposo	volumen sistólico final (VSF)
frecuencia cardíaca máxima (FC máx)	

Cuestiones a estudiar

1. Describir la estructura del corazón, el modelo de flujo sanguíneo a través de las válvulas y cámaras del corazón, de qué manera, como músculo, es abastecido de sangre el corazón y qué sucede cuando el corazón en reposo debe abastecer súbitamente a un cuerpo en ejercicio.
2. ¿Qué fenómenos tienen lugar que permiten que el corazón se contraiga, y cómo se controla la frecuencia cardíaca?
3. ¿Cuál es la diferencia entre sístole y diástole, y qué relación tiene esto con las tensiones sistólica y diastólica de la sangre?
4. ¿Cómo se controla el flujo de sangre a las diversas regiones del cuerpo? ¿Cómo varía con el ejercicio?
5. Describir cómo la frecuencia cardíaca, el volumen sistólico y el gasto cardíaco responden a ritmos crecientes de esfuerzo.
6. ¿Cómo se determina la frecuencia cardíaca máxima? ¿Cuáles son los métodos alternativos que usan estimaciones indirectas? ¿Cuáles son las principales limitaciones de estas estimaciones indirectas?
7. Describir dos importantes mecanismos para el retorno de la sangre al corazón cuando se hace ejercicio de pie.
8. ¿Cuáles son las principales adaptaciones cardiovasculares llevadas a cabo por el cuerpo cuando se sobrecalienta durante el ejercicio?

9. ¿Qué es el desplazamiento cardiovascular? ¿Por qué puede ser un problema en los ejercicios prolongados?
10. Describir las funciones principales de la sangre.
11. ¿Qué cambios tienen lugar en el volumen del plasma con niveles crecientes de ejercicio? ¿y con ejercicios prolongados en un ambiente caluroso?

Referencias

1. Åstrand, P.-O., Cuddy, T.E., Saltin, B., & Stenberg, J. (1964). Cardiac output during submaximal and maximal work. *Journal of Applied Physiology*, *19*, 268-274.
2. Collins, M.A., Cureton, K.J., Hill, D.W., & Ray, C.A. (1989). Relation of plasma volume change to intensity of weight lifting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *21*, 178-185.
3. Crawford, M.H., Petru, M.A., & Rabinowitz, C. (1985). Effect of isotonic exercise training on left ventricular volume during upright exercise. *Circulation*, *72*, 1237-1243.
4. Dempsey, J.A. (1986). Is the lung built for exercise? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *18*, 143-155.
5. Ekblom, B., & Hermansen, L. (1968). Cardiac output in athletes. *Journal of Applied Physiology*, *25*, 619-625.
6. Flamm, S.D., Taki, J., Moore, R., Lewis, S.F., Keech, F., Maltais, F., Ahmad, M., Callahan, R., Dragotakes, S., Alpert, N., & Strauss, H.W. (1990). Redistribution of regional and organ blood volume and effect on cardiac function in relation to upright exercise intensity in healthy human subjects. *Circulation*, *81*, 1550-1559.
7. Hermansen, L., Ekblom, B., & Saltin, B. (1970). Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, *29*, 82-86.
8. Higginbotham, M.B., Morris, K.G., Williams, R.S., McHale, P.A., Coleman, R.E., & Cobb, F.R. (1986). Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man. *Circulation Research*, *58*, 281-291.
9. Laub, M., Hvid-Jacobsen, K., Hovind, P., Kanstrup, I.-L., Christensen, N.J., & Nielsen, S.L. (1993). Spleen emptying and venous hematocrit in humans during exercise. *Journal of Applied Physiology*, *74*, 1024-1026.
10. MacDougall, J.D., Tuxen, D., Sale, D.G., Moroz, J.R., & Sutton, J.R. (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, *58*, 785-790.

11. McKirnan, M.D., Gray, C.G., & White, F.C. (1991). Effects of feeding on muscle blood flow during prolonged exercise in miniature swine. *Journal of Applied Physiology*, **70**, 1097-1104.
12. Plotnick, G.D., Becker, L.C., Fisher, M.L., Gerstenblith, B., Renlund, D.G., Fleg, J.L., Weisfeldt, M.L., & Lakatta, E.G. (1986). Use of the Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal upright exercise. *American Journal of Physiology (Heart and Circulation Physiology)*, **251**, H1101-H1105.
13. Poliner, L.R., Dehmer, G.J., Lewis, S.E., Parkey, R.W., Blomqvist, C.G., & Willerson, J.T. (1980). Left ventricular performance in normal subjects: A comparison of the responses to exercise in the upright and supine position. *Circulation*, **62**, 528-534.
14. Scruggs, K.D., Martin, N.B., Broeder, C.E., Hofman, Z., Thomas, E.L., Wambsgans, K.C., & Wilmore, J.H. (1991). Stroke volume during submaximal exercise in endurance-trained normotensive subjects and in untrained hypertensive subjects with beta-blockade (propranolol and pindolol). *American Journal of Cardiology*, **67**, 416-421.
15. Sejersted, O.M., Vøllestad, N.K., & Medbø, J.I. (1986). Muscle fluid and electrolyte balance during and following exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, **128**(Suppl. 556), 119-127.
16. Stenberg, J., Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Royce, J., & Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups sitting and supine. *Journal of Applied Physiology*, **22**, 61-70.
17. Turkevich, D., Micco, A., & Reeves, J.T. (1988). Noninvasive measurement of the decrease in left ventricular filling time during maximal exercise in normal subjects. *American Journal of Cardiology*, **62**, 650-652.
18. Waaler, B.A., Eriksen, M., & Janbu, T. (1990). The effect of a meal on cardiac output in man at rest and during moderate exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, **140**, 167-173.
- Clausen, J.P. (1977). Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiological Reviews*, **57**, 779-815.
- Costill, D.L., & Fink, W. (1974). Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *Journal of Applied Physiology*, **37**, 521-525.
- Cummin, A.R.C., Iyawe, V.I., Mehta, N., & Saunders, K.B. (1986). Ventilation and cardiac output during the onset of exercise, and during voluntary hyperventilation, in humans. *Journal of Physiology*, **370**, 567-583.
- Dowell, R.T. (1983). Cardiac adaptations to exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **11**, 99-117.
- Guyton, A.C. (1991). *Textbook of medical physiology* (8th ed.). Philadelphia: Saunders.
- Hossack, K.F., Bruce, R.A., Green, B., Kusumi, F., DeRouen, T.A., & Trimble, S. (1980). Maximal cardiac output during upright exercise: Approximate normal standards and variations with coronary heart disease. *American Journal of Cardiology*, **46**, 204-212.
- Hossack, K.F., Kusumi, F., & Bruce, R.A. (1981). Approximate normal standards of maximal cardiac output during upright exercise in women. *American Journal of Cardiology*, **47**, 1080-1086.
- Laughlin, M.H., & Armstrong, R.B. (1985). Muscle blood flow during locomotory exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **13**, 95-136.
- Pivarnik, J.M., Montain, S.J., Graves, J.E., & Pollock, M.L. (1988). Alterations in plasma volume, electrolytes and protein during incremental exercise at different pedal speeds. *European Journal of Applied Physiology*, **57**, 103-109.
- Rowell, L.B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, **54**, 75-159.
- Rowell, L.B. (1986). *Human circulation: Regulation during physical stress*. New York: Oxford University Press.
- Saltin, B. (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *American Journal of Cardiology*, **55**, 42D-47D.
- Saltin, B., & Rowell, L.B. (1980). Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Federation Proceedings*, **39**, 1506-1513.
- Senay, L.C., Jr., & Pivarnik, J.M. (1985). Fluid shifts during exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **13**, 335-387.

Lecturas seleccionadas

Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Messin, R., Saltin, B., & Stenberg, J. (1965). Intraarterial blood pressure during exercise with different muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, **20**, 253-256.

Carlsten, A., & Grimby, G. (1966). *The circulatory response to muscular exercise in man*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.

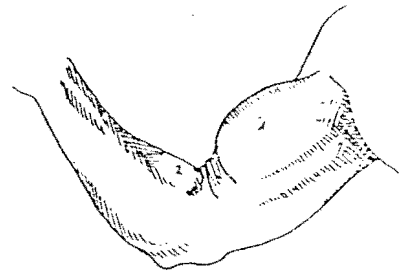
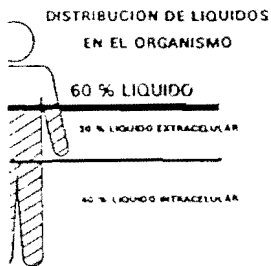
- Smith, E.E., Guyton, A.C., Manning, R.D., & White, R.J. (1976). Integrated mechanisms of cardiovascular response and control during exercise in the normal human. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 18, 421-443.
- Steingart, R.M., Wexler, J., Slagle, S., & Scheuer, J. (1984). Radionuclide ventriculographic responses to graded supine and upright exercise: Critical role of the Frank-Starling mechanism at submaximal exercise. *American Journal of Cardiology*, 53, 1671-1677.
- Stone, H.L., Dormer, K.J., Foreman, R.D., Thies, R., & Blair, R.W. (1985). Neural regulation of the cardiovascular system during exercise. *Federation Proceedings*, 44, 2271-2278.
- Sullivan, M.J., Cobb, F.R., & Higginbotham, M.B. (1991). Stroke volume increase by similar mechanisms during upright exercise in normal men and women. *American Journal of Cardiology*, 67, 1405-1412.
- Vanoverschelde, J.-L., Essamri, B., Vanbutsele, R., D'Hondt, A.-M., Cosyns, J., Detry, J.-L.R., & Melin, J.A. (1993). Contribution of left ventricular diastolic function to exercise capacity in normal subjects. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), 2225-2233.



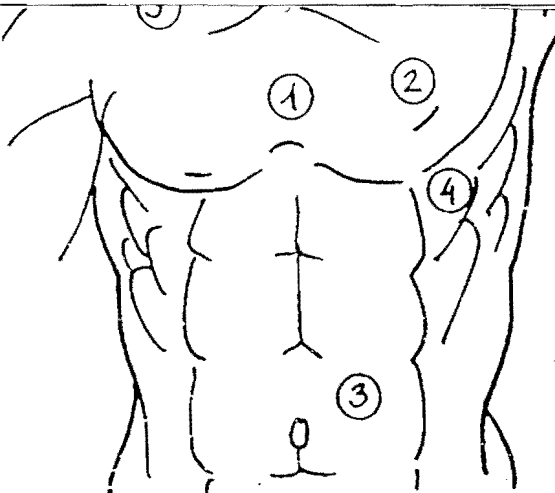
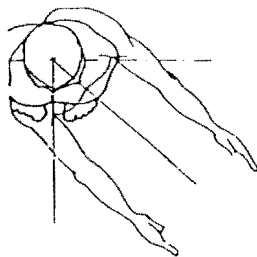
Patxi Aranzabal

EL MOVIMIENTO HUMANO

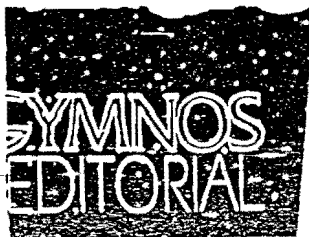
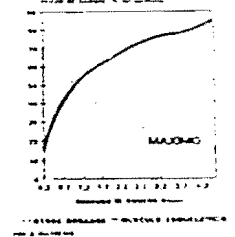
BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS



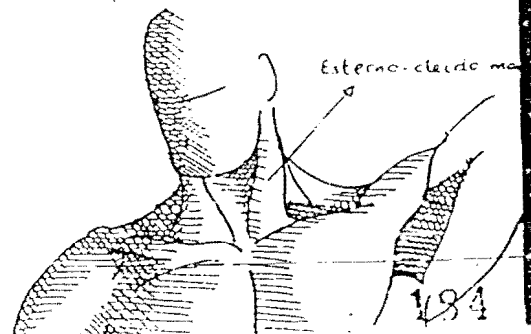
Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Aparato cardio-circulatorio", en *El movimiento humano. Bases anatomico-fisiológicas*, Madrid, Gymnos (Deporte y Salud), pp. 125-140.



EFFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN SANGUÍNEA



Colección
Deporte
y
Salud



APARATO CARDIO-CIRCULATORIO

En los seres unicelulares la célula establece directamente los intercambios precisos con el medio, ya que su membrana contacta con el medio en toda su extensión; sin embargo en los seres pluricelulares sólo las células 'exteriores' podrían funcionar de esta manera; dado que esto daría lugar al correcto funcionamiento de una mínima parte del conjunto celular, en los seres pluricelulares va a existir un sistema especializado en el transporte de sustancias, que permita surtir a todas las células de los nutrientes necesarios, así como eliminar los desechos que se produzcan como consecuencia de su metabolismo. Este papel es el que cumple el aparato cardiocirculatorio.

Es el aparato por el que circula la sangre, la cual es la encargada de transportar los elementos necesarios para el funcionamiento celular como el oxígeno, compuestos energéticos, hormonas,... al igual que los desechos producidos por éste, como puede ser el CO_2 , el lactato,... Igualmente va a ser el aparato cardio-circulatorio quien se va a encargar de 'homogeneizar' la temperatura corporal, equilibrando el calor producido en un lugar concreto, con el resto del organismo en función de las necesidades. Para el mantenimiento de la vida, el funcionamiento correcto de este aparato, junto con el sistema nervioso y el respiratorio puede considerarse crítico. Una parada de este aparato durante más de 5 minutos, convierte en irreversible el daño que produce en algunos sistemas esenciales.

El aparato cardio-circulatorio consta de un "sistema de bombeo" que corresponde al corazón y de una "red vial" que corresponde a las arterias, venas y capilares. El conjunto supone un circuito cerrado, en el que la sangre es siempre la misma, aunque la existencia de sistemas de filtrado e intercambio, determinan que la composición química de la sangre sea cambiante en función de la localización, y a la vez constante en el tiempo.

La circulación por la "red vial" depende en gran medida de la fuerza de propulsión generada por el corazón, pero no es la única responsable de que la sangre circule.

APARATO CARDIO-CIRCULATORIO

En los seres unicelulares la célula establece directamente los intercambios precisos con el medio, ya que su membrana contacta con el medio en toda su extensión; sin embargo en los seres pluricelulares sólo las células 'exteriores' podrían funcionar de esta manera; dado que esto daría lugar al correcto funcionamiento de una mínima parte del conjunto celular, en los seres pluricelulares va a existir un sistema especializado en el transporte de sustancias, que permita surtir a todas las células de los nutrientes necesarios, así como eliminar los desechos que se produzcan como consecuencia de su metabolismo. Este papel es el que cumple el aparato cardiocirculatorio.

Es el aparato por el que circula la sangre, la cual es la encargada de transportar los elementos necesarios para el funcionamiento celular como el oxígeno, compuestos energéticos, hormonas,... al igual que los desechos producidos por éste, como puede ser el CO₂, el lactato,... Igualmente va a ser el aparato cardio-circulatorio quien se va a encargar de 'homogeneizar' la temperatura corporal, equilibrando el calor producido en un lugar concreto, con el resto del organismo en función de las necesidades. Para el mantenimiento de la vida, el funcionamiento correcto de este aparato, junto con el sistema nervioso y el respiratorio puede considerarse crítico. Una parada de este aparato durante más de 5 minutos, convierte en irreversible el daño que produce en algunos sistemas esenciales.

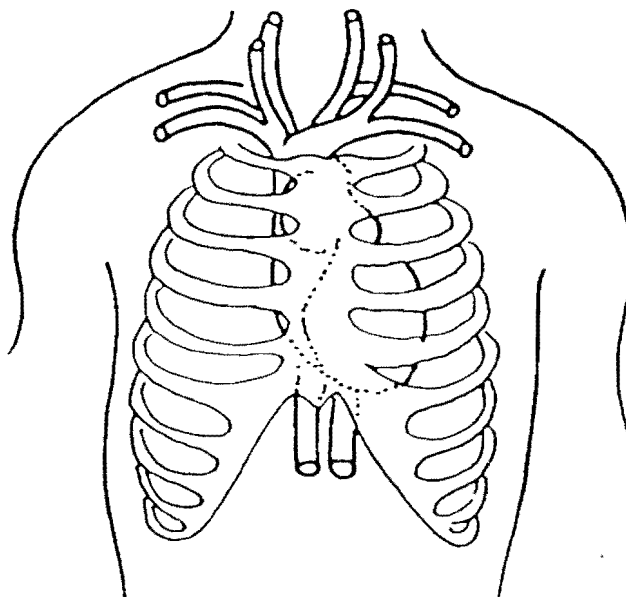
El aparato cardio-circulatorio consta de un "sistema de bombeo" que corresponde al corazón y de una "red vial" que corresponde a las arterias, venas y capilares. El conjunto supone un circuito cerrado, en el que la sangre es siempre la misma, aunque la existencia de sistemas de filtrado e intercambio, determinan que la composición química de la sangre sea cambiante en función de la localización, y a la vez constante en el tiempo.

La circulación por la "red vial" depende en gran medida de la fuerza de propulsión generada por el corazón, pero no es la única responsable de que la sangre circule.

COMPOSICIÓN

1.- Corazón.

Organo muscular hueco, situado entre los pulmones en la cavidad torácica. A pesar de que habitualmente se presente al corazón situado en el lado izquierdo de la cavidad torácica, su situación real es central, aunque con una ligera desviación izquierda.



El corazón hemos dicho que es un músculo hueco, pero la existencia en su interior de dos 'tabiques' uno vertical y otro horizontal, determina que realmente esté compuesto de cuatro cavidades:

- 2 aurículas, que llamamos así a las cavidades superiores del corazón (por encima del 'tabique' horizontal), existiendo una cavidad (aurícula) derecha y otra cavidad (aurícula) izquierda, separadas por el 'tabique' vertical.
- 2 ventrículos, que llamamos así a las cavidades situadas por debajo del 'tabique' horizontal y que el tabique vertical da lugar a una cavidad (ventrículo) derecha y otra cavidad (ventrículo) izquierda.

No existe comunicación normal entre aurículas o ventrículos de ambos lados (derecho e izquierdo), debido a que el tabique vertical que los separa no tiene ninguna 'fisura', pero sí existe entre las aurículas y ventrículos de cada lado, ya que el 'tabique' horizontal presenta unas válvulas que van a permitir el paso de sangre de una aurícula al ventrículo del mismo lado. Por ello se suele hablar de corazón derecho y de corazón izquierdo.

Las comunicaciones aurículo-ventriculares, presentan un sistema valvular que impide el reflujo de sangre desde los ventrículos hacia las aurículas, ya que son unas válvulas que sólo permiten el paso de sangre en una dirección; de donde se



deduce que cuando se contrae el ventrículo y su espacio interior disminuye, la sangre debe salir por las arterias; este sistema valvular da lugar al sentido de la circulación, con lo que la sangre que viene a través de las venas entra al corazón en las aurículas, de donde pasa a los ventrículos, y saliendo de éstos hacia el exterior del corazón a través de las arterias.

La estructura cardíaca está formada por:

- Una capa interna que tapiza la cavidad cardíaca, en contacto con la sangre, llamado Endocardio.

- Una capa media, muscular, llamada Miocardio. La fibra muscular es estriada y de contracción involuntaria. Podemos decir que el músculo cardíaco tiene una similitud con la estructura de un músculo esquelético (también estriado como hemos visto con anterioridad), pero también tiene diferencias significativas. Podríamos decir que la principal diferencia estriba en que no hay una separación de tejido conjuntivo entre las diferentes fibras, lo que va a determinar que el impulso eléctrico se pueda propagar, y de hecho así lo haga, por todas las fibras musculares cardíacas, cosa que no sucede en el músculo esquelético, en el que la activación eléctrica de una fibra muscular no se propaga a las fibras vecinas.

- Una capa externa, fibrosa, que rodea al corazón llamada Pericardio.

El corazón recibe además la sangre necesaria para su propio funcionamiento

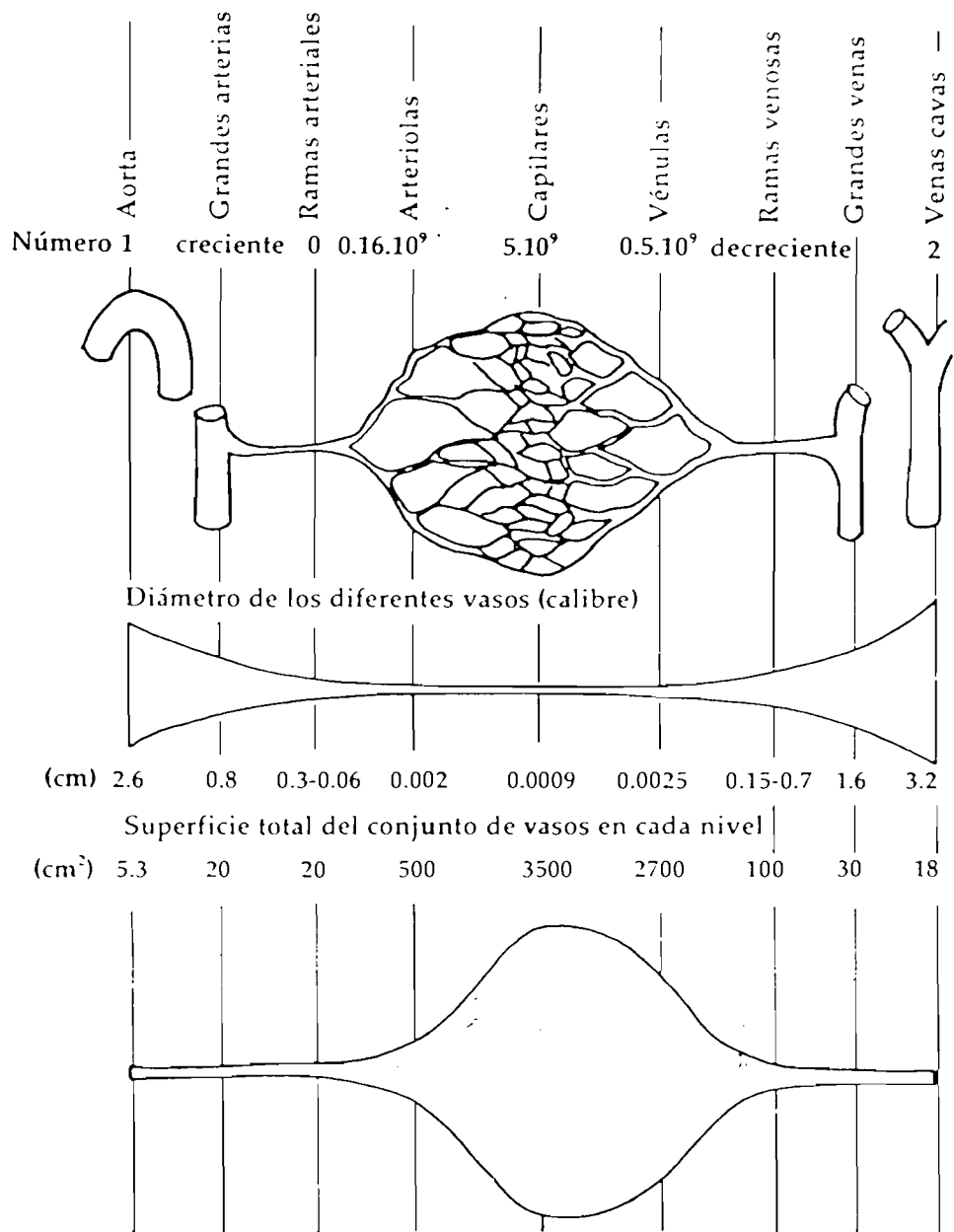
como todo órgano, por unas arterias llamadas Coronarias. La obstrucción de éstas, da lugar a una falta de aporte de diferentes sustancias, principalmente de O_2 , con lo que el funcionamiento de las células musculares se ve afectado, afectación que si se mantiene en el tiempo va a dar lugar a una necrosis (muerte celular) que es lo que conocemos como infarto de miocardio.

2.- Arterias.

Por definición anatómica, son llamadas arterias todos los vasos en los cuales la sangre lleva una dirección centrífuga, es decir que la sangre sale y se aleja del corazón.

Tienen una pared espesa, compuesta de diferentes capas, entre las que cabe destacar una elástica y otra muscular. La capa elástica se encarga de 'absorber' parte de la presión sistólica (la presión que ejerce el corazón sobre las arterias en el momento de la contracción ventricular o sístole) que ejerce el corazón, dilatándose para que una vez que disminuye la presión que ejerce el corazón (cuando se relaja el ventrículo), vuelve a su estado normal ayudando a que se mantenga en movimiento la sangre; con la edad, va disminuyendo esta capacidad elástica y al no 'absorber' parte de la presión que ejerce el corazón, se transmite una presión más alta a través de todo el sistema circulatorio. Con ello consiguen mantener y transmitir la presión ejercida por la "bomba" cardíaca al resto de la red arterial, la cual cada vez se va dividiendo en arterias más pequeñas, hasta llegar a los capilares, que son los elementos de la circulación que están en contacto con sus objetivos, es decir las células del organismo. El hecho de que también tengan una capa muscular, (principalmente a nivel de las arterias de menor calibre, también llamadas arteriolas), va a dar lugar a que si se contrae esa capa muscular, disminuya el calibre de esa tubería, con lo que disminuye el flujo de sangre que pasa; es una manera de controlar el direccionamiento del flujo de sangre, estando sujetas estas variaciones a mecanismos tanto centrales como locales.

La red arterial tal y como hemos apuntado comienza en el corazón con una 'tubería' que va ramificándose según se aleja del corazón para de esta manera poder llegar a todas las células del organismo. Es como si pensáramos en el sistema de distribución de agua de una ciudad, que se abastece de un embalse de donde parte una tubería, para ir ramificándose por barrios, manzanas, pisos..., con lo que al final de la red el número de tuberías diferentes puede alcanzar millones de unidades. En el caso de nuestro organismo ello da lugar a que la suma de las secciones de las tuberías situadas al mismo nivel vaya aumentando de forma exponencial (pasa de una sección de 5-6 cm^2 a la salida del corazón a tener una sección de 3500 cm^2 a nivel capilar). Ello va a traer consigo que la sangre circule a diferentes velocidades en los diferentes tramos, y al comienzo de la red arterial la velocidad es alta, mientras que a nivel capilar la sangre circula a una velocidad muy baja; ello da



lugar a un mayor tiempo de contacto, lo que junto con unas paredes vasculares muy finas permiten a la sangre establecer intercambios con las células que de otra manera sería imposible realizar, como sucede en otras zonas vasculares.

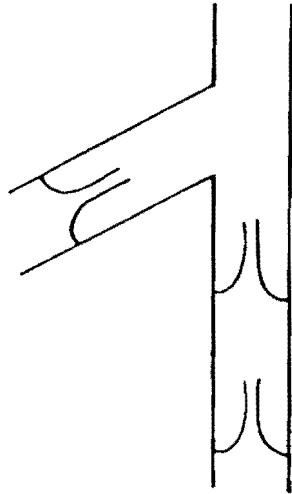
3.- Venas.

Por definición anatómica, llamamos venas a todos los vasos en los cuales la sangre lleva una dirección centrípeta, es decir se acerca al corazón.

El sistema venoso, o de retorno al corazón, se inicia sin solución de continuidad donde se termina el sistema arterial, es decir en los capilares, concentrándose en vasos cada vez más gruesos, a medida que se acerca al corazón .

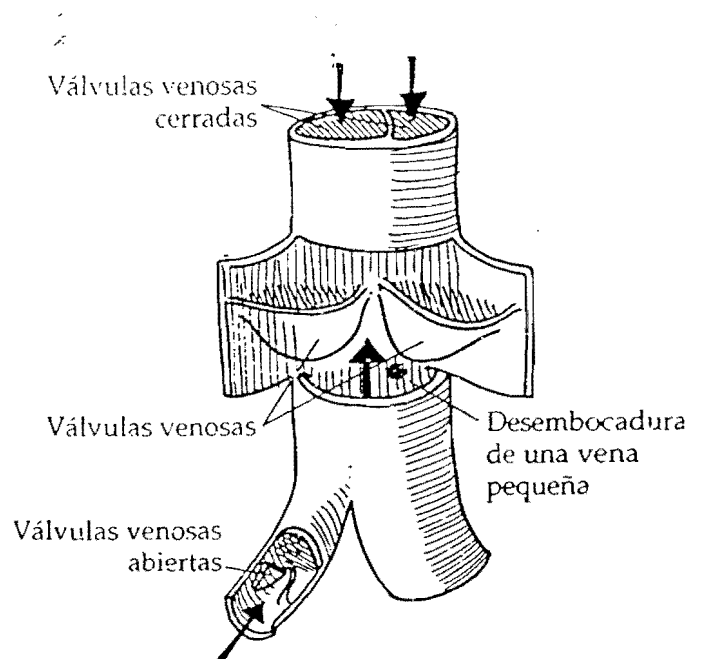
Normalmente la sangre en la mayor parte del sistema venoso (todo territorio que se encuentre por debajo del nivel físico en que se encuentra el corazón) deberá luchar contra la gravedad y por eso este sistema está dotado de un sistema de válvulas que favorecen el retorno, impidiendo que la sangre vuelva hacia atrás. De esta manera, si una vena está circulando entre diferentes músculos, la contracción de

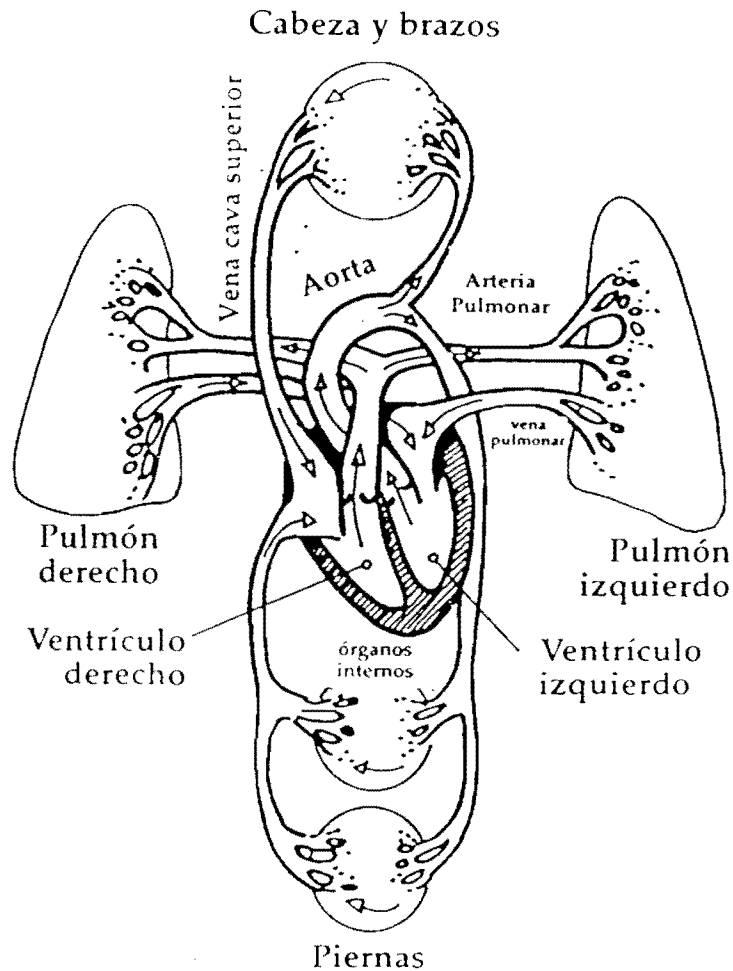
éstos va a provocar un 'aplastamiento' de la vena, con lo que su contenido tiene que salir de esa situación, y la única salida que tiene es en sentido ascendente; una vez que se relajan los músculos, la sangre no puede retroceder debido a la existencia de esas válvulas que hemos comentado. Caso de que esos músculos que hemos comentado se contraigan de manera cíclica, como sucede en muchos deportes, provocarán una circulación de la sangre venosa, mejorando sustancialmente el retorno venoso al corazón; por tanto, la combinación de ese sistema valvular existente en las venas, junto con contracciones musculares cíclicas en ese territorio van a mejorar de manera significativa la circulación de retorno.



DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA CARDIO-CIRCULATORIO

Para poder realizar las diferentes funciones que se le exigen a la sangre, como son entre otras el transporte de oxígeno, la eliminación del CO₂ producido como consecuencia del metabolismo aeróbico, el aporte de otros nutrientes a las células,... existen dos "circulaciones" cuya función es transportar la sangre pero con distintas finalidades.





Así llamamos:

- Circulación menor a la que partiendo del ventrículo derecho y a través de las arterias pulmonares llega a los pulmones, distribuyéndose por una red capilar al igual que sucede en la circulación de sangre al resto del organismo, de manera que con el intermedio de una membrana la sangre llega a estar casi en contacto con el aire que se encuentra al final del árbol respiratorio (alvéolos), realizando de esta manera su función y vuelve a la aurícula izquierda a través de las venas pulmonares. Su función es llevar el CO_2 (anhídrido carbónico) para eliminarlo por los pulmones y captar el O_2 (oxígeno) para poder distribuirlo luego, por la circulación mayor al organismo.
- Circulación mayor a la que partiendo del ventrículo izquierdo a través de la arteria aorta, lleva la sangre enriquecida en O_2 , así como toda clase de nutrientes necesarios para el correcto funcionamiento celular, se va distribuyendo por el territorio arteriolar y posteriormente capilar por todo el organismo, establece los intercambios precisos con todas las células, y 'carga' los desechos celulares volviendo a la aurícula derecha del corazón.

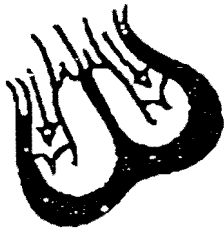
Con estas dos circulaciones, la sangre recorre un circuito doble, uno destinado principalmente a oxigenarse en los pulmones (circulación menor) y a continuación dirigir ese oxígeno a la totalidad de las células constituyendo la llamada circulación mayor.

MECÁNICA CARDIO-CIRCULATORIA

El corazón para realizar su función de 'captar' sangre y a continuación expulsarla actúa con 2 mecanismos que de manera coordinada suceden primero en las aurículas y posteriormente en los ventrículos. En un esquema temporal, veríamos:



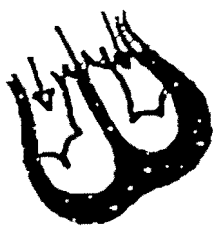
FASE 1.- A la vez que se produce la relajación de los ventrículos, tiene lugar la contracción de las aurículas, con lo que su contenido atraviesa las válvulas aurículo-ventriculares pasando a los ventrículos.



FASE 2.- Comienza la contracción de los ventrículos; la presión generada en su interior bloquea las válvulas aurículo-ventriculares, con lo que impide que siga fluyendo sangre desde las aurículas.



FASE 3.- La progresión de la contracción de los ventrículos da lugar a un aumento de la presión interna tal, que provoca la salida de la sangre hacia las arterias (las válvulas aurículo-ventriculares siguen cerradas).



FASE 4.- Coincidiendo prácticamente en el tiempo con la fase anterior, se produce la relajación de las aurículas, con lo que éstas se llenan de sangre. De esta manera se completa el ciclo cardíaco.



FASE 1.- Comienza un nuevo ciclo cardíaco, repitiéndose por tanto las 4 fases que ya hemos visto.

Hay que significar que lo verdaderamente importante es el funcionamiento de los ventrículos, con lo que habitualmente centramos toda la mecánica cardíaca a la actividad ventricular. De esta manera, podemos decir que existen dos tipos de actividad ventricular:

Contracción o Sístole y Relajación o Diástole.

Con la sístole (contracción) se envía la sangre al sistema arterial, generando una tensión en las arterias que hace que se distiendan (ya hemos comentado que las arterias tienen una capa elástica) y pueda ser perceptible en arterias superficiales; es lo que llamamos "pulso".

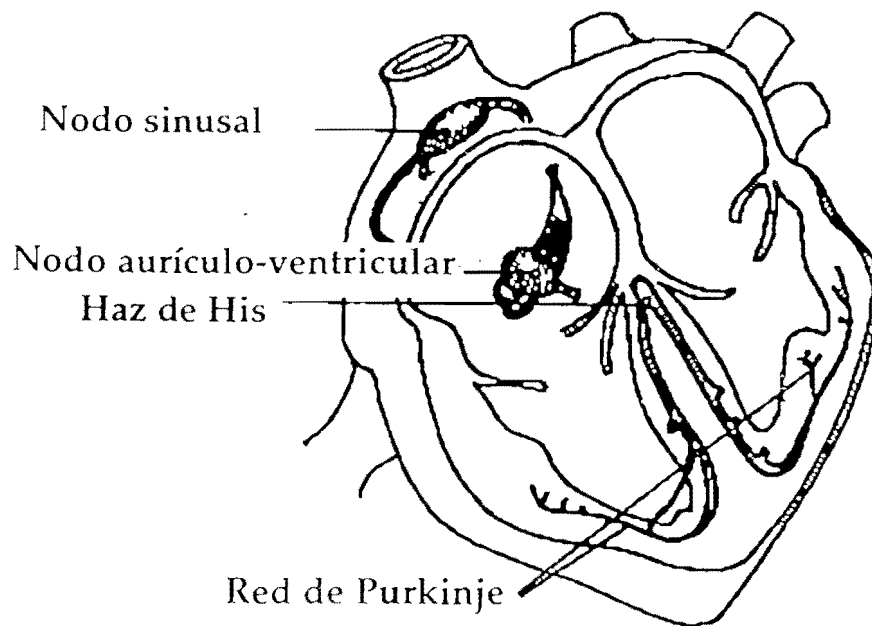
La diástole (relajación) es el momento de relleno de las cavidades cardíacas, actuando como presión negativa, formando una especie de vacío y por tanto que absorbe, favoreciendo el retorno venoso hacia el corazón. De esta manera el propio corazón está ayudando a que le llegue sangre a las aurículas; la sangre arterial no puede retroceder hasta los ventrículos, ya que en la salida de los ventrículos existen unas válvulas (similares a las aurículo-ventriculares) que evitan ese reflujo.

En el retorno de la sangre hacia el corazón, no interviene para nada la presión ejercida por el corazón mediante la sístole, sino que es la presión ejercida por la musculatura de las piernas, el sistema valvular de las venas, un juego de presiones entre la cavidad torácica y abdominal y el vaciado cardíaco, los que realizan el retorno de sangre al corazón.

AUTOMATISMO CARDÍACO

El corazón comporta dos tipos de células:

- Células que producen y transmiten impulsos eléctricos. El origen de los impulsos está en el propio órgano, al contrario de lo que sucede con los músculos esqueléticos, se habla por ello de "contracción espontánea" o "autonomía del corazón". La excitación del corazón nace normalmente en el nodo sinusal, a partir de ahí la excitación se extiende a las aurículas y al nodo aurículo-ventricular, donde tras una ligera parada ese estímulo eléctrico termina en la Red de Purkinje tras atravesar el Haz de His y sus dos ramas; tanto el Haz de His como la Red de Purkinje son vías de transmisión rápida del impulso eléctrico, para que la contracción muscular de los ventrículos se realice al unísono y de manera homogénea. La Red de Purkinje conduce la excitación al miocardio, generando la contracción.



- Células musculares que responden a estos estímulos con un acortamiento (contracción). Estas células representan el miocardio. El miocardio actúa por la ley de "todo o nada", es decir que si se produce un estímulo de contracción en cualquier parte del corazón, se genera una contracción de todo el corazón, no de unas pocas células musculares, debido a que al contrario de lo que sucede en el músculo esquelético, las células musculares cardíacas no tienen un aislamiento eléctrico, y por ello el impulso eléctrico se propaga de una célula muscular a la contigua.

ADAPTACIÓN AL ESFUERZO

Para efectuar un trabajo físico es preciso consumir energía, energía que debe ser restablecida a posteriori cuando se trata de un trabajo intenso y de corta duración, o por el contrario existe un equilibrio entre la energía formada y la consumida cuando la intensidad del trabajo no es muy elevada y el metabolismo aeróbico puede satisfacer tal demanda. En todo caso, bien en el propio momento, bien a posteriori, siempre el metabolismo aeróbico va a encargarse de equilibrar la balanza, pero para ello van a aumentar las necesidades de oxígeno; ya hemos comentado que el transporte de oxígeno (junto con otras funciones) va a ser responsabilidad del aparato cardio-vascular, y si hay una mayor necesidad de oxígeno, este aumento debe ser cubierto de manera directa por el funcionamiento cardio-vascular.

La sangre tiene múltiples componentes (agua en un 90% aproximadamente, células, nutrientes, minerales,...) y entre ellos el que más nos interesa ahora es la

hemoglobina que se encuentra en los glóbulos rojos o hematíes; la hemoglobina es lo que más nos interesa ya que el oxígeno no puede ir disuelto directamente en la sangre (salvo una mínima cantidad), sino que para que pueda ser transportado debe unirse a la hemoglobina; por tanto, cuanto más hemoglobina tengamos en la sangre, mayor capacidad de transporte de oxígeno vamos a tener. Pero los niveles de hemoglobina no varían demasiado en tiempos relativamente cortos, por lo que vamos a considerar que siempre y en todos los deportistas haya la misma cantidad de hemoglobina, y la misma composición de la sangre.

¿Cómo se encarga el sistema cardio-vascular de satisfacer ese aumento en las necesidades de oxígeno de los músculos en actividad?

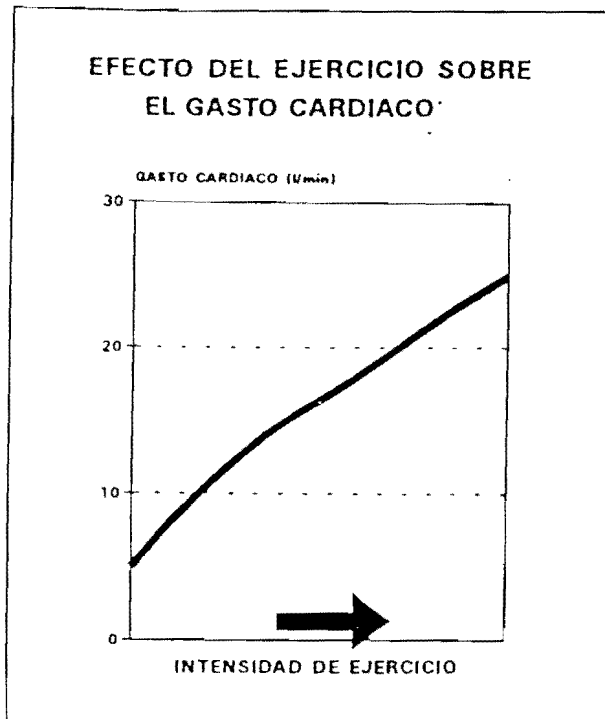
Visto que no van a producirse variaciones sustanciales en cuanto a volumen y composición de la sangre (siempre existen algunas, pero no vamos a entrar en ello para favorecer la comprensión de los aspectos más importantes), las modificaciones que se van a producir van a ir dirigidas a un aumento en la velocidad de la sangre y con ello a aumentar el volumen de sangre movilizado en la unidad de tiempo, y a conseguir una mejor direccionalidad de la sangre. También va a contribuir a obtener una mayor o menor cantidad de oxígeno por parte de los músculos, la capacidad de los propios músculos de captar el oxígeno que hay en la sangre, que es lo que denominamos la diferencia arterio-venosa de oxígeno, pero no es objeto de este apartado.

GASTO CARDÍACO

El gasto cardíaco supone el volumen de sangre que bombea el corazón en un minuto, y en función del mayor o menor gasto cardíaco la sangre va a transportar más o menos O_2 , haciendo frente a las diferentes necesidades. Existe por tanto un Gasto Cardíaco para cada situación, oscilando entre la situación basal (en reposo, sin digestión, a buena temperatura,..) y la situación de esfuerzo máximo, donde el Gasto Cardíaco será también máximo.

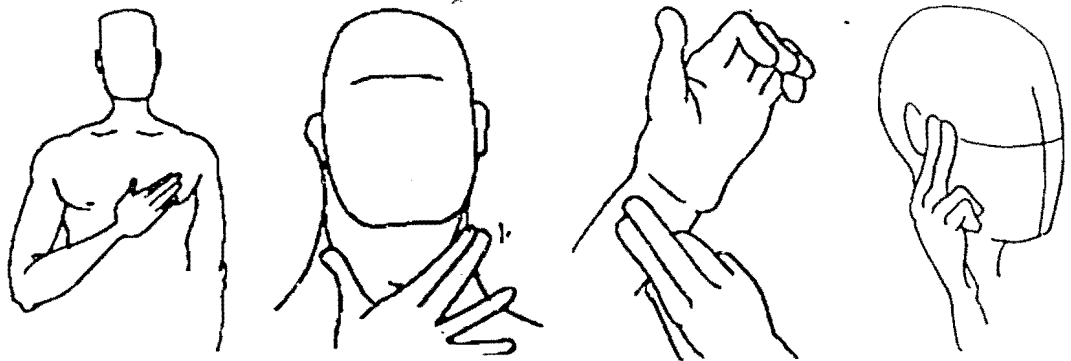
Hay una relación directa entre el Gasto Cardíaco y la Intensidad de ejercicio. Si desde una situación de reposo comenzamos a realizar un ejercicio suave, aumentan las necesidades energéticas, y para hacer frente a esas necesidades aumentadas se incrementa el Gasto Cardíaco aportando mayor cantidad de O_2 al músculo. Si seguimos aumentando la intensidad del ejercicio, sigue aumentando igualmente el Gasto Cardíaco. Vemos pues en el gráfico que existe una relación directa entre la Intensidad de Ejercicio y el Gasto Cardíaco. Está en relación con el Volumen Sistólico (Volumen de sangre que bombea el corazón en un latido) y con la Frecuencia Cardíaca.

$$\text{GASTO CARDÍACO} = \text{VOL. SISTÓLICO} * \text{FRECUENCIA CARDÍACA}$$



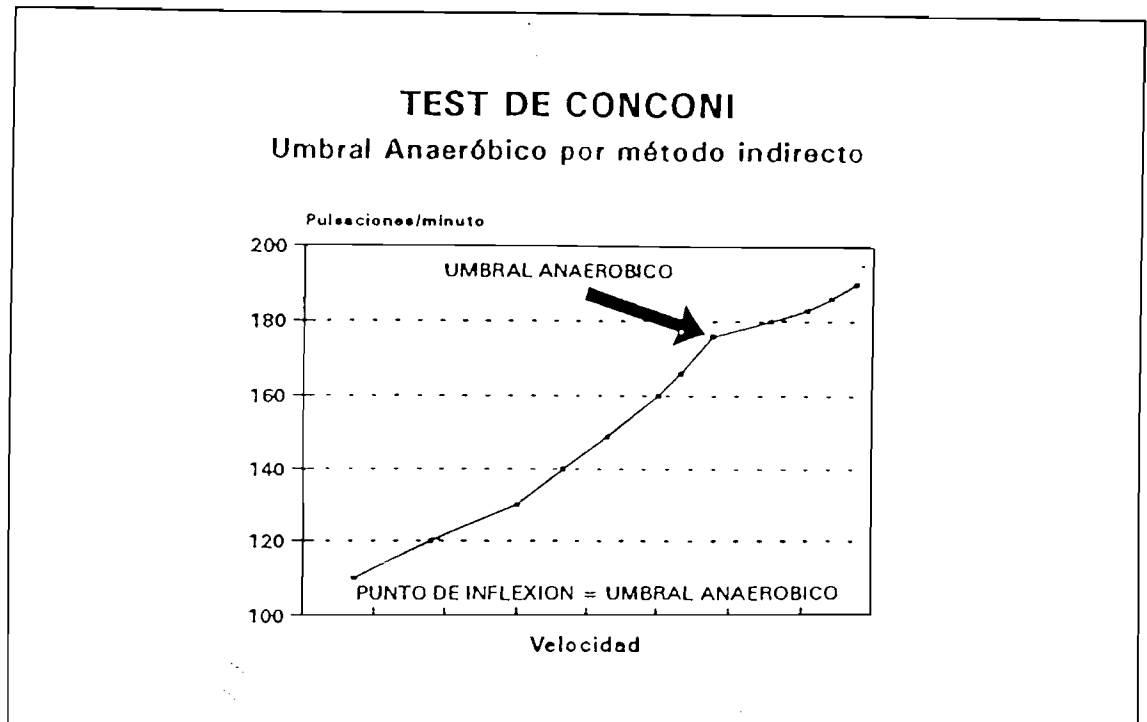
La variación de cualquiera de los dos factores que intervienen, va a dar lugar a una modificación del Gasto Cardíaco. Si el corazón fuera una bomba mecánica como puede ser el motor de un coche, las modificaciones del Gasto Cardíaco vendrían motivadas exclusivamente por las variaciones de la Frecuencia; en el motor de un coche, el cubicaje (lo que en el corazón sería el Volumen Sistólico) es fijo, y las variaciones vienen dadas por el mayor o menor número de revoluciones del motor (lo que en el corazón supone la Frecuencia Cardíaca). Sin embargo, en el caso del corazón, puede variarse y de hecho varían, tanto el Volumen Sistólico como la Frecuencia Cardíaca.

FRECUENCIA CARDÍACA



La Frecuencia Cardíaca es el número de contracciones cardíacas por minuto, lo que es fácilmente medible, bien en el canal radial, a nivel del cuello (carótida), a nivel preauricular (temporal) e incluso cuando se realiza un esfuerzo a nivel precordial (corazón). En una situación de reposo la frecuencia oscila en torno a 60 latidos/minuto, aunque tiene una gran variabilidad en función principalmente del grado de acondicionamiento físico de la persona; no es raro ver frecuencias en torno

Frecuentemente se observa que en un ejercicio de intensidad progresiva creciente, la frecuencia cardíaca sigue directamente esa elevación, pero que llegado un momento la elevación de la frecuencia cardíaca es inferior a la elevación producida en la intensidad, con lo que se produce un punto de inflexión; a este punto de inflexión algunos autores lo relacionan con el Umbral Anaeróbico, tal y como vemos en el siguiente gráfico.



VOLUMEN SISTÓLICO

Ya hemos comentado que denominamos Volumen Sistólico a la cantidad de sangre que expulsa el corazón en una contracción o sístole; este volumen es variable de unas personas a otras, tanto en reposo como en ejercicio. Podemos encontrar personas sedentarias que en reposo tienen un Volumen Sistólico de 50-70 ml, mientras que en deportistas puede llegar a ser de 100-120 ml en reposo.

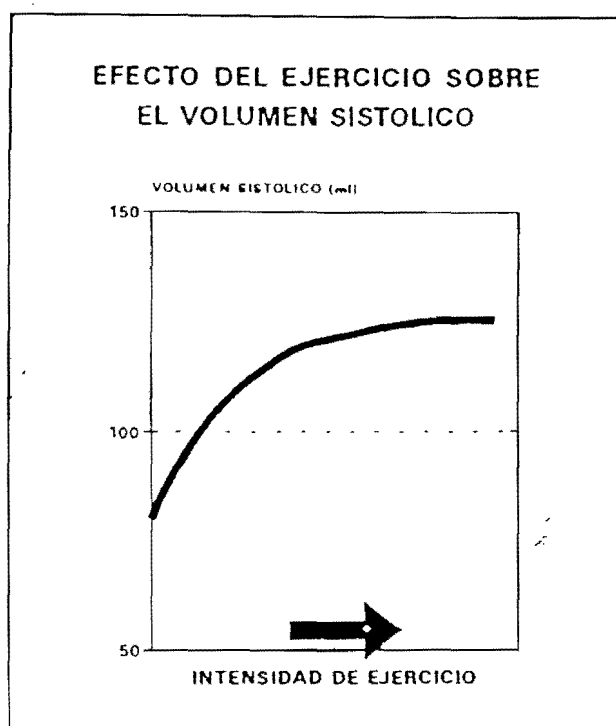
Este volumen sistólico aumenta con el ejercicio, debido a dos factores:

Hay un aumento del retorno venoso con el ejercicio, por lo que el llenado ventricular es mayor, y de esta manera puede igualmente expulsar más sangre, aumentando el volumen sistólico. Antes quizá se le daba más importancia a este factor.

Durante el ejercicio hay un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático, que va a dar lugar a que el corazón se contraiga con más fuerza, siendo

capaz por ello de expulsar más sangre del ventrículo al final de la sístole; hay que decir, que habitualmente siempre queda un cierto volumen de sangre en el ventrículo al final de una sístole, que algunos consideran que es de hasta un 50% en reposo, y es este volumen el que disminuye por el aumento de la contractilidad.

El volumen sistólico aumenta rápidamente con la intensidad del ejercicio, alcanzando sus valores máximos rápidamente, considerándose que a una intensidad en torno al 50% del Consumo Máximo de O_2 , se alcanza ya el volumen sistólico máximo, que suele ser entre un 20 y un 90% superior a los valores de reposo, en función del nivel de entrenamiento y tipo de actividad física (en natación el aumento está entre un 20-40% debido a la posición en que se desarrolla la actividad principalmente).

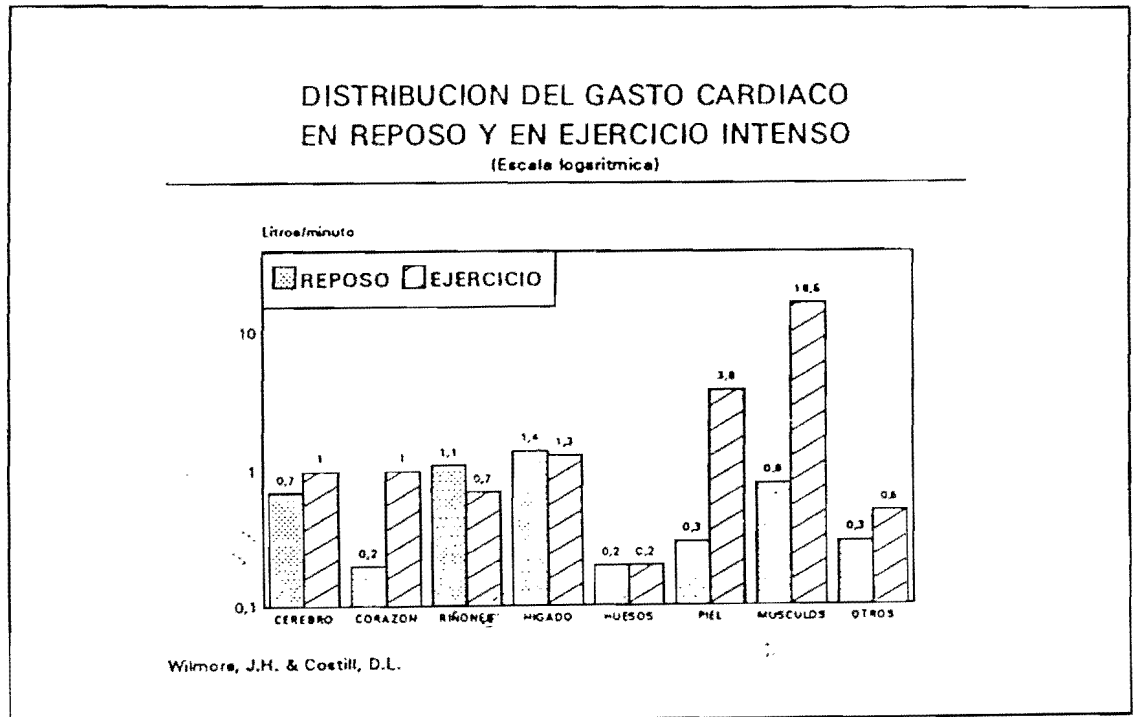


CAMBIOS EN LA CIRCULACIÓN DURANTE EL EJERCICIO

Cuando se realiza un ejercicio de larga duración, los músculos que trabajan pueden usar oxígeno en una proporción de 10 a 20 veces más que cuando están en reposo. Para suministrar el oxígeno extra necesario, hemos visto que una de las modificaciones que se producían era el aumento del gasto cardíaco, que de 5 litros/minuto aproximadamente en reposo, puede llegar a ser de 40 litros/minuto durante un ejercicio máximo en deportistas de fondo, pero además de este aumento del gasto cardíaco, hay un cambio en cuanto a la distri-

bución de esa sangre por el organismo. En una situación de reposo, la sangre es dirigida a todo el organismo, pero cuando se realiza un esfuerzo, hay un cambio en las prioridades de los diferentes órganos y aparatos y debido a ello se produce una redistribución de sangre. Manteniendo el flujo sanguíneo dirigido al Sistema Nervioso (que a pesar del aumento de actividad física no modifica su flujo) y al propio Corazón (que aumenta sustancialmente en términos absolutos) en función de sus necesidades, dado que son sistemas vitales en el funcionamiento del resto del organismo, los mayores cambios se producen a la baja en el Aparato Digestivo y en el Renal, que disminuyen en gran medida su actividad debido a esa disminución de flujo (sobre todo si lo consideramos en porcentaje del gasto cardíaco), flujo que es direccionado a los Músculos en actividad; de esta manera el aumento del flujo mus-

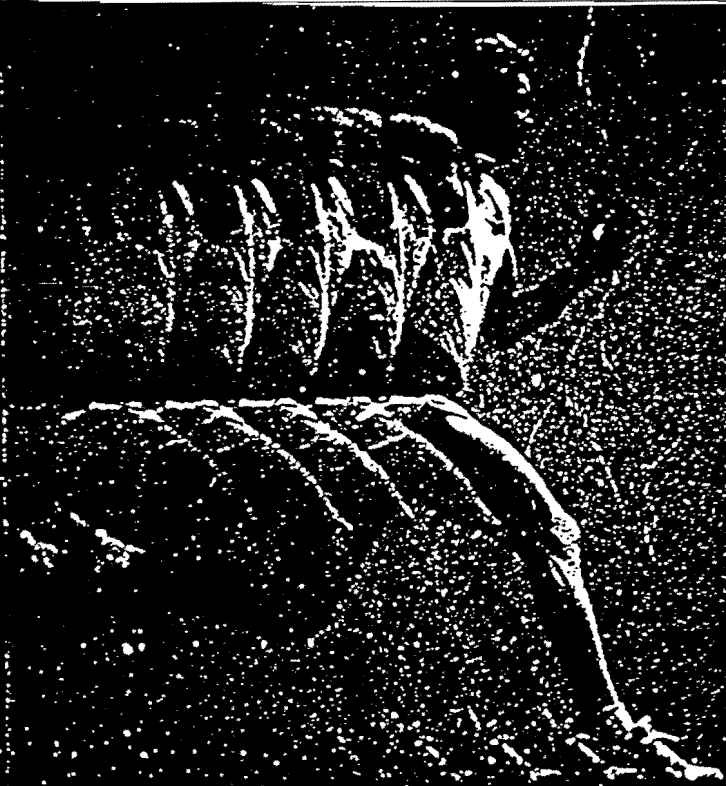
cular no es proporcional al aumento del gasto cardíaco, sino que se ve ampliamente aumentado por esta redistribución del gasto; caso de que la actividad se prolongue y la temperatura externa no sea muy baja, va a producirse un direccionamiento importante de sangre al territorio Cutáneo, con el fin de evacuar el calor y mantener la temperatura del organismo más o menos estable, ya que no debemos olvidar en ningún momento que el calor también es transportado a través de la sangre. Estos cambios se ven en el siguiente gráfico, donde los flujos se expresan en términos absolutos (litros/minuto y no porcentajes del total) y se ha utilizado una escala logarítmica en el eje Y, con lo que no existe una proporcionalidad directa en los diferentes valores.



Para modificar esa direccionalidad de la sangre, se producen diferentes ajustes vasculares, con lo que va a haber arteriolas que disminuyan de manera importante su diámetro (por medio de una contracción de su capa muscular), mientras que los vasos dirigidos a los territorios principalmente activos aumentan al máximo su diámetro, bajo la influencia de mecanismos nerviosos, humorales,...

MANUAL DEPORTIVO

Pascual Brumós, Isabel *et al.* (1997), "Sistema cardiocirculatorio y respiratorio", en *Manual del técnico deportivo. Primer nivel*, España, Mira, pp. 93-104.



PRIMER NIVEL

MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

PRIMER NIVEL

Isabel Pascual Brumós
Alfredo Boné Pueyo
Julia Quilez
J. M. Cúcullo López
Alfredo Boné Pueyo
Fernando Gimeno Marco
J. A. Valet Felices
José Luis Pueyo Bardavío
Julio Latorre Peña
Sánchez Bañuelos
Mikel Chivite Izco
Rafael Gericó Lizalde
Alfonso Muniesa Ferrero
Pedro Pablo Fernández Ruiz
Manuel Bueno
M.^a Jesús García Ceballos
Carlos Muniesa Ferrero
Fernando París Roche

MIRA EDITORES

202

1.- EL SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO. ESTRUCTURA Y FUNCIONES

1.1- Introducción

Para que cada una de las células del organismo, incluida la célula muscular, pueda mantener su actividad es necesario que se cumplan dos requisitos:

- Que el oxígeno y los nutrientes resultantes del proceso de la digestión lleguen adecuadamente al interior de la célula.
- Que los desechos secundarios al metabolismo celular sean eliminados del interior de la célula.

Para que estas funciones sean llevadas a cabo es preciso que, entre otros, por ejemplo, el sistema renal, digestivo, hormonal, etc., exista el adecuado funcionamiento de dos sistemas íntimamente relacionados entre sí, el sistema cardiovascular y el sistema respiratorio.

1.2.- Estructura y funciones del sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular, también llamado cardiocirculatorio, puede compararse a un circuito cerrado de corriente continua que consta de una bomba, que en este caso es el corazón o bomba cardíaca, y un sistema de conducción formado por tuberías de diferente diámetro que son los vasos sanguíneos; el líquido que transportan estos vasos es la sangre.

1.2.1.- La sangre

Es un líquido viscoso compuesto por:

1.2.1.1.- Células

Éstas son glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas; la mayor parte de ellas se forman en la médula ósea y en mayor proporción en los huesos planos que en los largos.

- **GLÓBULOS ROJOS:** También llamados hematíes o eritrocitos, tienen forma de discos bicóncavos. Las cifras consideradas normales son de 4,5 a 5 millones por mm^3 en el hombre y de 4 a 4,5 millones por mm^3 en la mujer.

La vida media de los hematíes es de unos 100 a 120 días.

El componente fundamental de los glóbulos rojos es la hemoglobina (hierro más una proteína llamada globina) que tiene una gran facilidad para unirse a las moléculas de oxígeno (O_2); por ello, la función principal de los hematíes es transportar el oxígeno desde los pulmones a los tejidos y el anhídrido carbónico (CO_2), desde los tejidos a los pulmones.

La disminución de los glóbulos rojos por debajo de los límites considerados normales se denomina anemia, situación relativamente frecuente entre las adolescentes que realizan actividades físicas. Las consecuencias fisiológicas de la anemia son:

- Aumento de la frecuencia cardíaca.
- Disminución del gasto cardíaco.

- Disminución de la oxigenación a nivel de los tejidos.

El caso contrario, es decir, el aumento de los glóbulos rojos por encima de los límites considerados normales se denomina policitemia; es lo que ocurre, entre otras situaciones, cuando se efectúan entrenamientos o estancias prolongadas en grandes altitudes. Sus efectos fisiológicos son:

- Aumento de la viscosidad de la sangre.
- Aumento de la tensión arterial.

- GLOBULOS BLANCOS: También llamados leucocitos, son mucho menos numerosos que los rojos, las cifras normales oscilan entre 5.000 y 10.000 por mm³. Su función principal es la de actuar como sistema defensivo frente a las infecciones, siendo transportados por la sangre hasta el territorio infectado y reduciendo allí a los gérmenes invasores mediante un mecanismo llamado fagocitosis que consiste en englobar, y en ocasiones digerir, a dichos gérmenes para que sean eliminados del organismo.

Existen diferentes tipos de leucocitos cuyos nombres y porcentajes se citan a continuación:

FÓRMULA LEUCOCITARIA

Basófilos	0-2 por ciento
Eosinófilos	0,5-4 por ciento
Linfocitos	23-35 por ciento
Monocitos	4-8 por ciento
Neutrófilos en cayado	0-5 por ciento
Neutrófilos segmentados	55-65 por ciento

PLAQUETAS: También llamadas trombocitos, los valores normales oscilan entre 150.000 a 400.000 por mm³; la función de las plaquetas es activar el mecanismo de coagulación sanguínea.

1.2.1.2.- Plasma

Es un líquido de color ámbar formado por agua, proteínas e iones (cloro, sodio, potasio, etc), glucosa, ácidos grasos, aminoácidos, hormonas, enzima, etc.

Su función principal es transportar las diferentes sustancias que contiene; además las proteínas y los iones mantienen la presión osmótica, que es un factor fundamental para que pueda efectuarse el intercambio de líquidos entre los diferentes compartimentos de organismo.

1.2.2.- El corazón

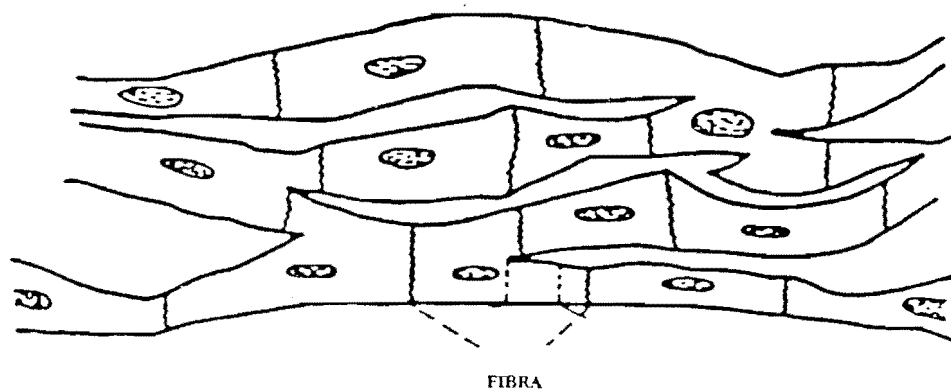
El músculo cardíaco. La bomba cardíaca.

Hay tres tipos fundamentales de músculos en el corazón: Los músculos auriculares, el músculo ventricular y las fibras especiales que constituyen el sistema específico de conducción y excitación.

Los músculos auriculares y ventriculares efectúan el fenómeno de contracción de una manera análoga al músculo esquelético, disponiendo igualmente de miofibrillas que contienen filamentos de actina y miosina.

El músculo cardíaco, cuyas fibras tienen una distribución tipo red, disponiendo sus núcleos en posición central, emitiendo ramas que se anastomosan (que se unen comunicándose) con otras adyacentes dando una impresión de continuidad. Entre dichas estructuras de células, se encuentran unos «discos intercalares» cuya misión es la de separar las células musculares. Así pues, las fibras musculares cardíacas son un conjunto de células conectadas en serie unas con otras (ver figura nº1). Generalmente, se puede con-

siderar que el músculo cardíaco es lo que se llama un «sincitio funcional», en el que todas las células musculares están íntimamente unidas, de manera que cuando una célula se excita por un estímulo, éste se propaga por toda la red.



* MTD

FIGURA 1

En el corazón hay dos grandes sincitios funcionales, el auricular y el ventricular, ambos separados por unas estructuras fibrosas que rodean a los anillos valvulares (mitral y tricúspide).

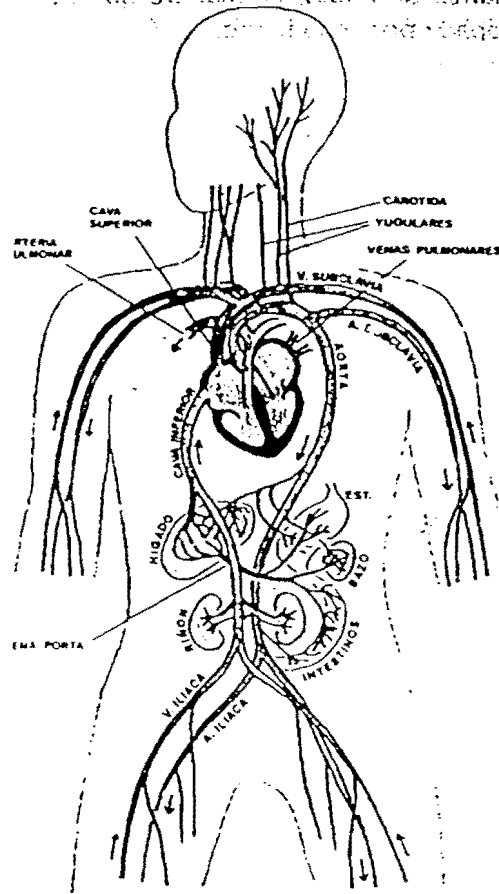
La propagación del estímulo a través de estos sincitios se efectúa mediante el sistema específico de conducción. Dicho sistema de conducción está compuesto por: nódulo sinusal (Keith-Flack), vías internodales, nódulo aurículo-ventricular (Aschoff-Tawara), haz de His, ramas ventriculares.

Este sistema de conducción está prácticamente desprovisto de fibras contráctiles, por lo cual sólo se contrae débilmente y, en cambio, si hay un gran predominio de células con capacidad de propagar el estímulo a lo largo de todo el sistema específico de conducción, confiriendo al corazón una actividad rítmica que es incesante desde los primeros momentos de vida embrionaria hasta la muerte.

La bomba cardíaca: El corazón está situado en la caja torácica, entre los dos pulmones con la punta vuelta hacia la izquierda, hallándose en contacto con el diafragma.

Es un órgano hueco, dividido en cuatro cavidades, dos auriculares y dos ventriculares, ambos separados por las válvulas mitral y tricúspide.

El corazón actúa como una bomba pulsátil de cuatro cavidades. La función auricular es principalmente la de servir de entrada a los ventrículos, aunque también impulsa la sangre hacia las cavidades ventriculares. Éstas proporcionan la principal fuerza contráctil para expulsar la sangre al sistema circulatorio periférico y a los pulmones.



CAPILARES PULMONARES

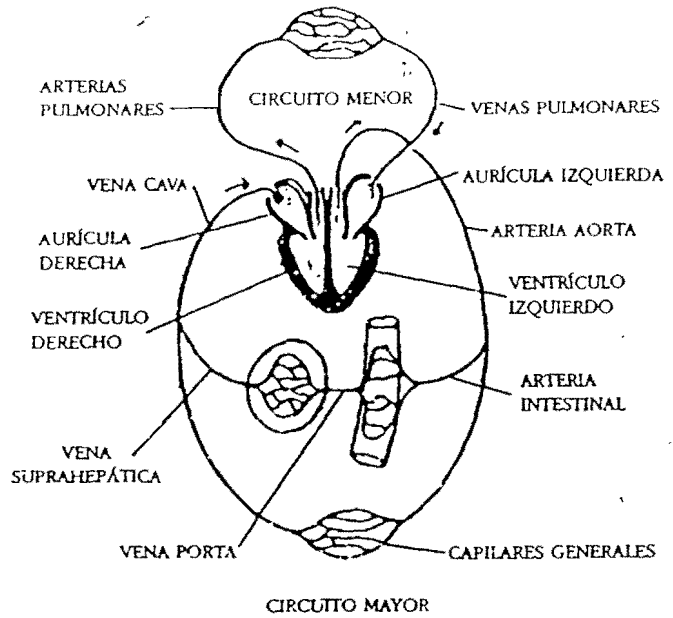


FIGURA 2

El corazón se contrae de una manera rítmica, siendo su frecuencia regulada por el sistema nervioso (simpático y parasimpático); normalmente oscila entre 70-90 por minuto.

Encontramos durante el ciclo cardíaco dos fases bien definidas, una, la contracción tanto de las aurículas como de los ventrículos, llamada sístoles y otra de relajación denominada diástole.

- a) Durante la diástole, las aurículas están llenas de sangre que reciben de las venas. A través de las válvulas mitral y tricúspide la sangre se vierte a los ventrículos.
- b) Las aurículas se contraen rechazando la sangre que contienen hacia los ventrículos. Las paredes de los ventrículos se hallan, pues, distendidas.
- c) Los ventrículos se contraen. Enseguida, a consecuencia de la presión de la sangre, los velos de las válvulas mitral y tricúspide se juntan y cierran el paso entre las aurículas y ventrículos, impidiendo así que la sangre suba hacia las aurículas. La sangre choca igualmente contra las válvulas sigmoideas situadas en la raíz de la aorta y de la arteria pulmonar. Entre tanto, las aurículas que se han relajado comienzan a recibir la sangre de las venas cavas y de las venas pulmonares.
- d) La presión en el interior de los ventrículos se hace lo suficientemente intensa como para separar las válvulas sigmoideas.

Los ventrículos se vacían; posteriormente se relajarán e inmediatamente la sangre que contienen las aurículas empezarán a caer en éstos y se inicia el nuevo ciclo.

El músculo cardíaco es único porque tiene la capacidad de mantener su propio ritmo. Si se le dejase a esta rítmica inherente, el corazón latiría firmemente entre 70 y 90 pulsaciones por minuto. Sin embargo, los nervios que van directamente al corazón, además de algunas sustancias químicas que circulan dentro de la sangre, pueden cambiar la frecuencia cardíaca rápidamente.

La regulación nerviosa del corazón está influida por el sistema nervioso simpático y el parasimpático.

El sistema nervioso simpático aumenta todas las actividades cardíacas, es decir, aumenta la frecuencia cardíaca, aumenta la fuerza de contracción, aumenta el flujo coronario. Actúa en todas aquellas situaciones que exigen una circulación sanguínea rápida como son el ejercicio, esfuerzo etc.

El sistema nervioso simpático, junto a factores hormonales, modifican el ritmo propio del corazón, permitiéndole acelerarse rápidamente en anticipación al ejercicio y aumentar hasta 200 latidos por minuto o más durante el ejercicio máximo.

El sistema nervioso parasimpático tiene efectos opuestos al simpático: disminuye la frecuencia cardíaca, disminuye la fuerza de contracción y disminuye el flujo a través de las coronarias. Actúa durante el sueño o en estados de relajación profunda.

1.2.3.- Los vasos sanguíneos o aparato circulatorio

El aparato circulatorio constituye un circuito continuo, formado por el corazón, actuando como bomba impulsora de sangre, y los vasos (arterias y venas) transportando dicha sangre a todo el organismo.

Se diferencian dos grandes circuitos: La circulación general o mayor y la circulación pulmonar o menor (ver figura nº 2).

La sangre sale del ventrículo izquierdo, expulsada en la sístole ventricular y a través de la arteria aorta llega a todos los órganos, músculos, glándulas, etc., menos al pulmón. Avanza por el interior de estos órganos, a través de los capilares y vuelve a salir por las venas, que van confluyendo hasta formar vasos cada vez mayores, desembocando en la vena cava inferior, que conduce a la sangre hacia la aurícula derecha, este trayecto se denomina circulación mayor, cuya misión es por un lado transportar oxígeno y sustancias

nutritivas y por otro recoger el dióxido de carbono producido en el organismo y las sustancias de desecho (Ver figura nº 2).

Posteriormente, esta sangre pasa al ventrículo derecho de donde es expulsada en la sístole ventricular derecha hacia las arterias pulmonares llegando a los pulmones en donde se realiza el fenómeno de la "oxigenación". Posteriormente, pasa al sistema venoso pulmonar para que, finalmente, desemboque en la aurícula izquierda. Este trayecto se denomina circulación menor (Ver figura nº2).

Así pues, se puede considerar que existe una doble circulación; la sangre pasa dos veces por el corazón, realizando un doble circuito, el mayor y el menor.

Los vasos: Desde el punto de vista anatómico se pueden clasificar en arterias, arteriolas, capilares y venas.

Las arterias tienen unas paredes resistentes y elásticas, gracias a las fibras elásticas de colágeno y músculo liso que contienen en su pared. Debido a este poder de elasticidad, dichas arterias se retraen después del estiramiento producido por la eyección de la sangre desde el corazón, lo cual va a permitir un flujo intermitente en continuo, haciendo que la sangre fluya rápidamente a los tejidos.

Las arteriolas son las últimas ramas del sistema arterial, actuando como válvula de control, a través de las cuales se manda sangre hacia los capilares.

Los capilares son unos vasos muy finos, en donde la sangre circula muy lentamente y cuya misión es el intercambio de líquidos y elementos nutritivos entre la sangre y los espacios intersticiales.

Las venas funcionan como conductos para el transporte de la sangre desde los tejidos hacia el corazón. Las válvulas son frecuentes en las venas de las extremidades inferiores. Las venas más grandes disponen de capa muscular. Por lo tanto, tienen capacidad para contraerse y dilatarse, lo que les confiere potestad para almacenar la sangre según las necesidades.

Los vasos que irrigan al corazón se denominan coronarias.

Para terminar de comprender el sistema cardiocirculatorio o vascular es conveniente conocer determinados conceptos que pasamos a definir a continuación:

Gasto cardíaco es el volumen total de sangre expulsado por el corazón y que en situación de reposo es aproximadamente de 5 litros por minuto. Este volumen puede aumentar hasta 20 ó 30 litros por minuto en un ejercicio enérgico o disminuir a 1,5 litros por minuto tras una hemorragia grave.

El gasto cardíaco es el primer indicador de la capacidad funcional de la circulación para satisfacer las demandas de la actividad física.

El gasto del corazón, al igual que el de cualquier bomba, es determinado por el ritmo de bombeo (frecuencia cardíaca) y la cantidad de sangre expulsada con cada latido (volumen sistólico). Por lo tanto, el gasto cardíaco se calcula como sigue:

$$\text{Gasto cardíaco} = \text{frecuencia cardíaca} * \text{volumen sistólico.}$$

Presión sanguínea de los vasos o tensión arterial: es la fuerza que ejerce la sangre contra la pared del vaso. El vaso se distiende porque es elástico (las venas unas 6 veces más que las arterias).La presión conduce la sangre por los vasos y es la responsable de mantener un flujo continuo por todo el organismo.

Cuando el ventrículo izquierdo se contrae expulsa sangre hacia las arterias de la circulación general; expulsa un pequeño volumen con cada latido, con lo cual durante el sístole la presión aumenta pero disminuye en la diástole; de tal forma que la presión sistólica es la máxima y la diastólica es la mínima.

Se consideran cifras normales de tensión arterial en reposo 120 y 80 máxima y mínima, respectivamente, y se mide en milímetros de Hidrógeno.

Cuando actúa el sistema nervioso simpático aumenta la presión arterial y cuando lo hace el parasimpático disminuye.

La presión sanguínea sistólica aumenta en proporción al consumo de oxígeno y al gasto cardíaco durante el ejercicio progresivo, mientras que la presión diastólica permanece relativamente igual o aumenta sólo ligeramente.

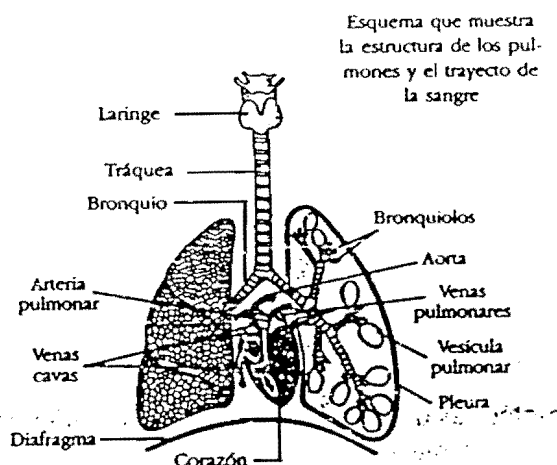
2.- ESTRUCTURA Y FUNCIONES DEL SISTEMA RESPIRATORIO

2.1.- El aparato respiratorio. La respiración

El aparato respiratorio está constituido por dos pulmones y unas vías respiratorias que conducen el aire a los mismos.

Las vías respiratorias están formadas por las siguientes partes:

- Fosas nasales, que se abren al exterior por las ventanas de la nariz, siendo su misión la de acondicionar el aire, ya que lo calientan, humidifican y lo filtran. En el tiempo que le cuesta al aire llegar desde el exterior a la garganta puede pasar de una temperatura de 0 grados (en invierno) a temperatura corporal (37 grados).
- Boca-Faringe, encrucijada donde se cruzan las vías respiratorias y digestivas, con función parecida a la anterior.
- Laringe, sostenida por un cartilago, posee unos pliegues internos que forman las cuerdas vocales, es el órgano de la voz.
- Tráquea, conducto de 10 a 15 cms. de largo, que está constituido por una veintena de anillos cartilaginosos.
- La tráquea se bifurca en otros dos conductos de menor calibre llamados Bronquios principales, ya en el interior de los pulmones éstos se van ramificando en otros análogos de menor calibre denominados bronquiolos para terminar en unas estructuras en forma de sacos; son las vesículas pulmonares, que tienen unas paredes muy finas, con unas abolladuras, los alvéolos. A su vez, la unión de cierto número de vesículas pulmonares forma un «segmento pulmonar» y la unión de varios segmentos constituyen el «lóbulo pulmonar» habiendo 5 lóbulos en todo el pulmón (3 en el derecho y 2 en el izquierdo).



* MTD

FIGURA 3

En el interior de las vías respiratorias hay un tapiz de células ciliadas, que se mueven de una forma organizada y cuya misión es defender y expulsar del sistema respiratorio elementos que le puedan resultar perjudiciales, como partículas de polvo por ejemplo. (Ver figura nº 3).

Los pulmones están irrigados por las arterias pulmonares; éstas siguen el mismo trayecto que las vías respiratorias. Las arteriolas siguen a los bronquiolos hasta los alvéolos y suministran finos capilares que rodean al terminal de las vías respiratorias. Estando así cada alvéolo recubierto por una red capilar, pudiendo considerarla como una lámina de sangre que flota a lo largo de la superficie alveolar.

La respiración: El funcionamiento del aparato respiratorio se realiza mediante los procesos mecánicos de la ventilación, consistente en la entrada y salida de aire entre la atmósfera y los alvéolos capilares, por medio de la inspiración y la espiración. También intervienen otros procesos como es el intercambio de gases.

Los pulmones pueden dilatarse y contraerse por la acción de diversos músculos. Sabemos que el pulmón en sí está desprovisto de musculatura y lo que hace es seguir de manera pasiva las variaciones de la cavidad torácica.

La inspiración es producida, principalmente, por la contracción del diafragma, que al contraerse se desplaza hacia abajo, aumentando la dimensión de la capacidad torácica; los pulmones siguen esta expansión. También intervienen otros músculos: intercostales externos, esternocleidomastoideo, etc.

La espiración es un proceso puramente pasivo; cuando el diafragma se relaja, las estructuras elásticas del pulmón, caja torácica y el tono de los músculos abdominales, empujan al diafragma hacia arriba.

La respiración se verifica de modo automático. Normalmente, un adulto moviliza 6-7 litros de aire cada minuto y su frecuencia respiratoria es de 12-18 respiraciones por minuto. Hay dos controles que regulan la respiración: el voluntario y el automático. Mediante el primero se puede aumentar o disminuir la ventilación según los deseos del individuo, mientras que el automático regula la ventilación según las necesidades del organismo, mediante una serie de receptores (cambio de presión del oxígeno, del anhídrido carbónico, pH, receptores mecánicos y neuromusculares) y de mecanismos humorales (composición de la sangre y de los humores hísticos).

La ventilación por minuto varía como promedio entre 6 y 10 litros en reposo, mientras que durante el ejercicio máximo los aumentos de la frecuencia (la frecuencia respiratoria durante el ejercicio se duplica) y profundidad respiratoria pueden producir ventilaciones de hasta 200 litros por minuto.

2.2.- Intercambio y transporte de gases

La función primordial del pulmón consiste en asegurar que el intercambio gaseoso sea el correcto, es decir, garantizar un nivel adecuado de oxígeno (imprescindible para la vida celular) y permitir simultáneamente la correcta eliminación de anhídrido carbónico (CO_2). (Ver figura nº 4).

Estos dos elementos (O_2 y CO_2) junto con el nitrógeno, son los tres gases que el pulmón moviliza constantemente.

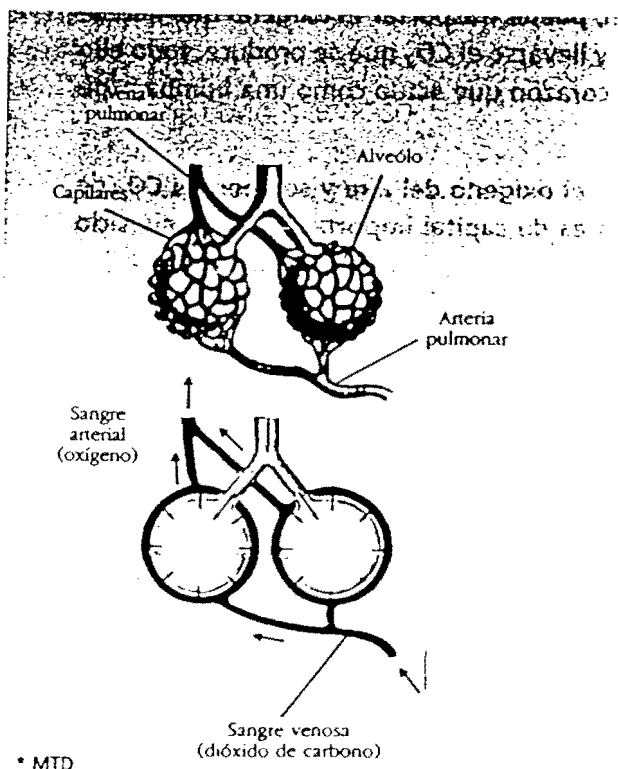
Después que los alvéolos se han ventilado con aire fresco, el siguiente paso en el proceso respiratorio es la difusión del oxígeno, desde los alvéolos a la sangre pulmonar y el paso del CO_2 en dirección opuesta, lo cual se logra por el flujo de sangre a través de capilares sumamente pequeños.

En los pulmones y los tejidos, las moléculas de gas difunden por sus gradientes de concentración desde un área de concentración mayor (presión más alta) a una de concentración menor (presión más baja).

Son las diferencias de presión entre los gases en el plasma y los tejidos las que establecen los gradientes para la difusión.

El proceso de difusión, en condiciones normales, es muy rápido y simple, produciéndose como un movimiento de moléculas gaseosas a través de la membrana alveo-

lo-capilar. Este proceso está en dependencia de una serie de condicionantes: espesor de la membrana, su superficie, coeficiente de difusión, gradiente de presión, etc.



* MTD

FIGURA 4

El organismo no elimina todo el dióxido de carbono que contiene ya que mantener un "nivel base" de dióxido de carbono es vital porque proporciona la entrada química para el control de la respiración mediante su efecto en el centro respiratorio del cerebro.

Si no fuera por nuestra capacidad de respirar, se produciría un equilibrio entre la presión alveolar y la sanguínea y la difusión cesaría. Sin embargo al inspirar cada bocanada de aire, el contenido de oxígeno de los alveolos aumenta y el dióxido de carbono se diluye.

En reposo, la sangre permanece en los capilares pulmonares y de los tejidos alrededor de 0,75 segundos; durante el ejercicio máximo el tiempo de tránsito se reduce alrededor de 0,4 segundos, pero este tiempo es todavía suficiente para asegurar una aireación completa de la sangre.

La composición de gas alveolar permanece bastante constante incluso durante el ejercicio vigoroso, situación

en la que puede aumentar tanto el consumo de oxígeno como la producción de anhídrido carbónico en unas 25 veces.

En reposo y durante el ejercicio, ocurren ajustes en la ventilación alveolar; por lo tanto la concentración del gas alveolar permanece bastante constante. Las presiones de oxígeno y dióxido de carbono se mantienen alrededor de 100 mm Hg y 40 mm Hg, respectivamente. Dado que la sangre venosa contiene oxígeno a una presión menor y dióxido de carbono a una presión mayor que los gases alveolares, el oxígeno difunde a la sangre y el dióxido de carbono difunde a los pulmones.

Una vez que se ha completado el proceso de difusión, el oxígeno, aproximadamente el 97 por ciento, es transportado de los pulmones a los tejidos en combinación química con la hemoglobina de los hematíes. La cantidad de O_2 unida a la hemoglobina dependerá de ciertos factores:


- Cantidad de hemoglobina existente.
- De la capacidad máxima de transporte O_2 .
- Del grado de saturación de la hemoglobina, es decir, de la relación existente entre la cantidad de O_2 realmente unida a la hemoglobina y la cantidad que potencialmente pudiera haberse combinado con ella.

El dióxido de carbono también es transportado en forma doble: Disuelto (5 por ciento) y combinado (en forma de bicarbonato).

RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

La sangre gracias a su composición, puede transportar el oxígeno que necesitan los músculos para su actividad y llevarse el CO_2 que se produce, todo ello gracias al sistema circulatorio y al corazón que actúa como una bomba aspirante.

En los pulmones es donde se capta el oxígeno del aire y se libera el CO_2 de la sangre. Este complicado sistema es de capital importancia en el ejercicio físico y en la vida misma.



fisiología del esfuerzo y del deporte

Wilmore, Jack y David Costill (2001). "Regulación respiratoria durante el ejercicio" en *Fisiología del esfuerzo y el deporte*, Barcelona, Paidotribo, pp. 191-213.

Visión general del capítulo

No podemos vivir sin oxígeno. Nuestras células dependen del mismo para sobrevivir, y, tal como hemos aprendido en el capítulo 5, el oxígeno es esencial para la producción de la energía que alimenta todas las actividades de nuestro cuerpo. La capacidad de resistencia depende del aporte de cantidades suficientes de oxígeno a nuestros músculos y de un consumo celular adecuado de este gas una vez llega allí. Pero al mismo tiempo, los procesos metabólicos que tienen lugar en nuestros músculos activos generan otro gas, el dióxido de carbono, que, a diferencia del oxígeno, es tóxico. La actividad celular normal requiere oxígeno, pero se ve dificultada cuando los niveles de dióxido de carbono aumentan.

Las necesidades cruciales de nuestros músculos para un aporte adecuado de oxígeno y respecto a una adecuada eliminación del dióxido de carbono son satisfechas por el aparato respiratorio. Tal como hemos visto en el capítulo anterior, el sistema cardiovascular transporta estos gases. Pero el aparato respiratorio lleva oxígeno a nuestros cuerpos y nos libera del exceso de dióxido de carbono. En este capítulo nos centraremos en este sistema. Comenzaremos con una visión general de las fases que intervienen en la respiración y en el intercambio de gases, y luego examinaremos cómo se regulan estos procesos. Consideraremos cómo funciona el aparato respiratorio cuando estamos haciendo ejercicio y de qué manera puede limitar el rendimiento. Por último, analizaremos la especial función del aparato respiratorio en el mantenimiento del equilibrio acidobásico en nuestro cuerpo y la trascendencia de este equilibrio durante la actividad física.

Wilmore, Jack y Costill, David (2001), "Regulación respiratoria durante el ejercicio", en *Fisiología del esfuerzo y el deporte*, Barcelona, Paidotribo, pp.191-213.

Esquema del capítulo

- Ventilación pulmonar 192
 - Inspiración 193
 - Espiración 193
- Difusión pulmonar 194
 - Membrana respiratoria 195
 - Presiones parciales de los gases 196
 - Intercambio de gases en los alveolos 196
- Transporte de oxígeno y de dióxido de carbono 198
 - Transporte de oxígeno 198
 - Transporte de dióxido de carbono 200
- Intercambio de gases en los músculos 201
 - Diferencia arteriovenosa de oxígeno 201
 - Factores que influyen en el transporte y consumo de oxígeno 201
 - Eliminación del dióxido de carbono 202
- Regulación de la ventilación pulmonar 202
 - Mecanismos de regulación 203
 - Ventilación pulmonar durante el ejercicio 204
 - Problemas asociados con la respiración durante el ejercicio 205
- Ventilación y metabolismo energético 206
 - Equivalente ventilatorio para el oxígeno 206
 - Punto de máxima tensión ventilatoria tolerable 206
 - Umbral anaeróbico 207
- Limitaciones respiratorias al rendimiento 208
- Regulación respiratoria del equilibrio acidobásico 209
- Conclusión 212
- Expresiones clave 212
- Cuestiones a estudiar 212
- Referencias 213
- Lecturas seleccionadas 213

Fue así que la natación requiere una respiración controlada. Muchos nadadores de competición intentan mejorar su capacidad de controlar la respiración procurando nadar largos períodos de natación por debajo de la superficie sin respirar. En 1963, Imenius y O'Dell, estaba entrenando a un atleta de instituto, un grupo de sus nadadores intentó averiguar quien podía nadar más lejos y más tiempo del agua, inspirando y bufando a intervalos varias veces antes de sumergirse en la piscina hasta que la necesidad de respirar se hizo intolerable. La mayoría de ellos apenas nadaron más allá de la longitud de la piscina (un total de 50 m). Pero un nadador nadó el largo de la piscina dos veces y comenzó una cuarta travesía. A medio camino de vuelta, a una profundidad de 1 m, él repentinamente se sumergió y se quedó inconsciente. Uno de los otros nadadores se sumergió rápidamente en la piscina y recuperó su conciencia inconsciente. Afortunadamente, cuando llegó a la superficie comenzó a respirar y recuperó la conciencia en 15 o 20 s. No hace falta decir que nunca más volvimos a usar este tipo de entrenamiento.

El sistema respiratorio y el sistema cardiovascular se combinan para facilitar un eficaz sistema de suministro que lleva oxígeno a los tejidos de nuestro cuerpo y elimina el dióxido de carbono de los mismos. Este transporte comprende cuatro procesos separados:

1. Ventilación pulmonar (respiración), que es el movimiento de los gases hacia dentro y hacia fuera de los pulmones.
2. Difusión pulmonar, que es el intercambio de gases entre los pulmones y la sangre.
3. Transporte de oxígeno y dióxido de carbono por la sangre.
4. Intercambio capilar de gases, que es el intercambio de gases entre la sangre capilar y los tejidos metabólicamente activos.

Los dos primeros procesos reciben la denominación de **respiración externa** porque suponen el traslado de gases desde el exterior del cuerpo a los pulmones y luego a la sangre. Una vez los gases están en la sangre deben viajar hasta los tejidos. Cuando la sangre llega a los tejidos, tiene lugar la cuarta fase de la respiración. Este intercambio de gases entre la sangre y los tejidos se llama **respiración interna**. Por lo tanto, la respiración externa y la interna están enlazadas por el sistema circulatorio. En las secciones siguientes examinaremos los cuatro componentes de la respiración.

Ventilación pulmonar

La **ventilación pulmonar**, comúnmente llamada respiración, es el proceso por el que hacemos entrar y salir aire en nuestros pulmones. En la figura 9.1 se ilustra la anatomía del aparato respiratorio. Normalmente, el aire es llevado hacia los pulmones por la nariz, aunque también puede usarse la boca cuando la demanda de aire supera la cantidad que puede llevarse cómodamente a través de la nariz. Llevar aire hacia

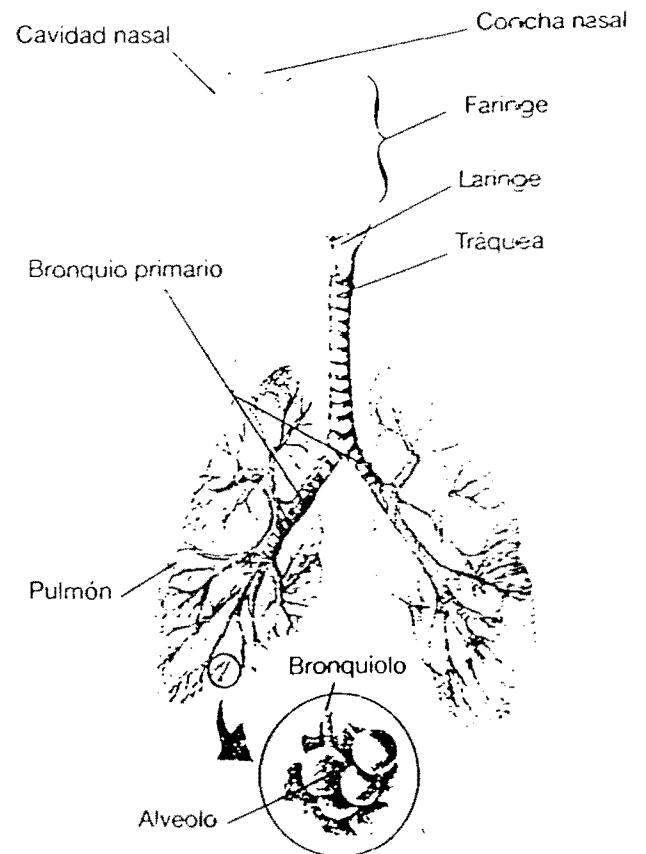


Figura 9.1 Anatomía del aparato respiratorio.

dentro a través de la nariz tiene ciertas ventajas sobre la respiración por la boca. El aire se calienta y humedece cuando se arremolina por las superficies irregulares del interior de la na

riz. Igualmente importante, el arremolinamiento agita el aire inspirado, provocando que el polvo y otras partículas contacten y se adhieran a la mucosa nasal. Esto lo filtra todo excepto las partículas más diminutas, minimizando la irritación y la amenaza de infecciones respiratorias. Desde la nariz y la boca, el aire viaja a través de la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los bronquiolos, hasta que finalmente llega a las unidades respiratorias más pequeñas: los alveolos. Los alveolos son los lugares donde se produce el intercambio de gases en los pulmones.



Respirar por la nariz ayuda a humedecer y calentar el aire durante la inspiración y filtra las partículas del aire.

Los pulmones no están directamente adheridos a las costillas. Más bien, están suspendidos por los sacos pleurales. Estos sacos envuelven los pulmones y contienen una fina capa de fluido pleural que reduce la fricción durante los movimientos respiratorios. Además, estos sacos están conectados a los pulmones y a la superficie interior de la caja torácica, haciendo que los pulmones adopten la forma y el tamaño de la caja cuando el pecho se expande y se contrae.

Estas relaciones entre los pulmones, los sacos pleurales y la caja torácica determinan el flujo del aire hacia dentro y fuera de los pulmones. Examinemos las dos fases implicadas: inspiración y espiración.

Inspiración

La **inspiración** es un proceso activo que implica al diafragma y a los músculos intercostales externos. En la figura 9.2 se muestra la dinámica de la inspiración. La figura 9.2a muestra las dimensiones en reposo de los pulmones y de la caja torácica. La figura 9.2b indica los movimientos que se producen durante la inspiración. Las costillas y el esternón son movidos por los músculos intercostales externos. Las costillas oscilan hacia arriba y abajo, de modo muy similar al movimiento del asa de un cubo. Al mismo tiempo, el diafragma se contrae, aplastándose hacia el abdomen.

Estas acciones aumentan las tres dimensiones de la caja torácica, expandiendo a su vez los pulmones. Cuando ocurre esto, el aire del interior tiene más espacio que llenar, por lo que la presión dentro de los pulmones se reduce, tal como se muestra en la figura 9.2c. En consecuencia, la presión en los pulmones (presión intrapulmonar) es inferior a la presión del aire fuera del cuerpo. Puesto que el tracto respiratorio está abierto hacia el exterior, el aire se precipita hacia los pulmones para reducir esta diferencia de presiones. Por lo tanto, durante la inspiración se lleva aire hacia los pulmones.

Durante la respiración forzada o laboriosa, como, por ejemplo, en la realización de ejercicios intensos, la inspiración

es asistida todavía más por la acción de otros músculos, como los escalenos (anterior, medio y posterior), así como por el esternocleidomastoideo en el cuello y los pectorales en el pecho. Éstos ayudan a levantar todavía más las costillas que durante la respiración regular.

Los cambios de presión requeridos para una ventilación adecuada en reposo son verdaderamente muy pequeños. Por ejemplo, en una presión atmosférica estándar (760 mmHg), la inspiración puede reducir la presión en los pulmones (presión intrapulmonar) en solamente unos 3 mmHg. Sin embargo, durante un esfuerzo respiratorio máximo, como, por ejemplo, durante un ejercicio agotador, la presión intrapulmonar puede reducirse entre 80 y 100 mmHg.

Espiración

En reposo, la **espiración** suele ser un proceso pasivo que supone la relajación de los músculos inspiratorios y el retroceso elástico del tejido pulmonar. Esto se representa en la figura 9.3a. Cuando el diafragma se relaja, vuelve a su posición normal arqueada hacia arriba. Cuando los músculos intercostales externos se relajan, las costillas y el esternón vuelven a bajar hacia sus posiciones de reposo. Mientras esto sucede, la naturaleza elástica del tejido pulmonar hace que se encoja hasta adoptar su tamaño de reposo. Tal como se ve en la figura 9.3b, esto aumenta la presión en el tórax, con lo que el aire es forzado a salir de los pulmones. De este modo se lleva a cabo la espiración.

Durante la respiración forzada, la espiración se convierte en un proceso más activo. Los músculos intercostales internos pueden tirar activamente de las costillas hacia abajo. Esta acción puede ser facilitada por los músculos dorsal ancho y cuadrado lumbar. La contracción de los músculos abdominales aumenta la presión intraabdominal, forzando las vísceras abdominales hacia arriba contra el diafragma y acelerando su regreso a la posición abovedada. Estos músculos también tiran de la caja torácica hacia abajo y hacia dentro.

Los cambios en la presión intraabdominal e intratorácica que acompañan a la respiración no sólo facilitan la respiración forzada, sino que facilitan también el retorno de la sangre venosa al corazón. Cuando estas presiones aumentan, se transmiten a las grandes venas que transportan la sangre nuevamente hacia el corazón a través de las áreas abdominal y torácica. Cuando las presiones se reducen, las venas vuelven a su tamaño original y se llenan de sangre. Las presiones cambiantes dentro del abdomen y del tórax comprimen la sangre en las venas, estimulando su retorno mediante una acción de ordeño. Ésta es una parte esencial del retorno venoso. Del mismo modo, las contracciones musculares durante el ejercicio producen también este tipo de acción de ordeño para facilitar el retorno venoso.

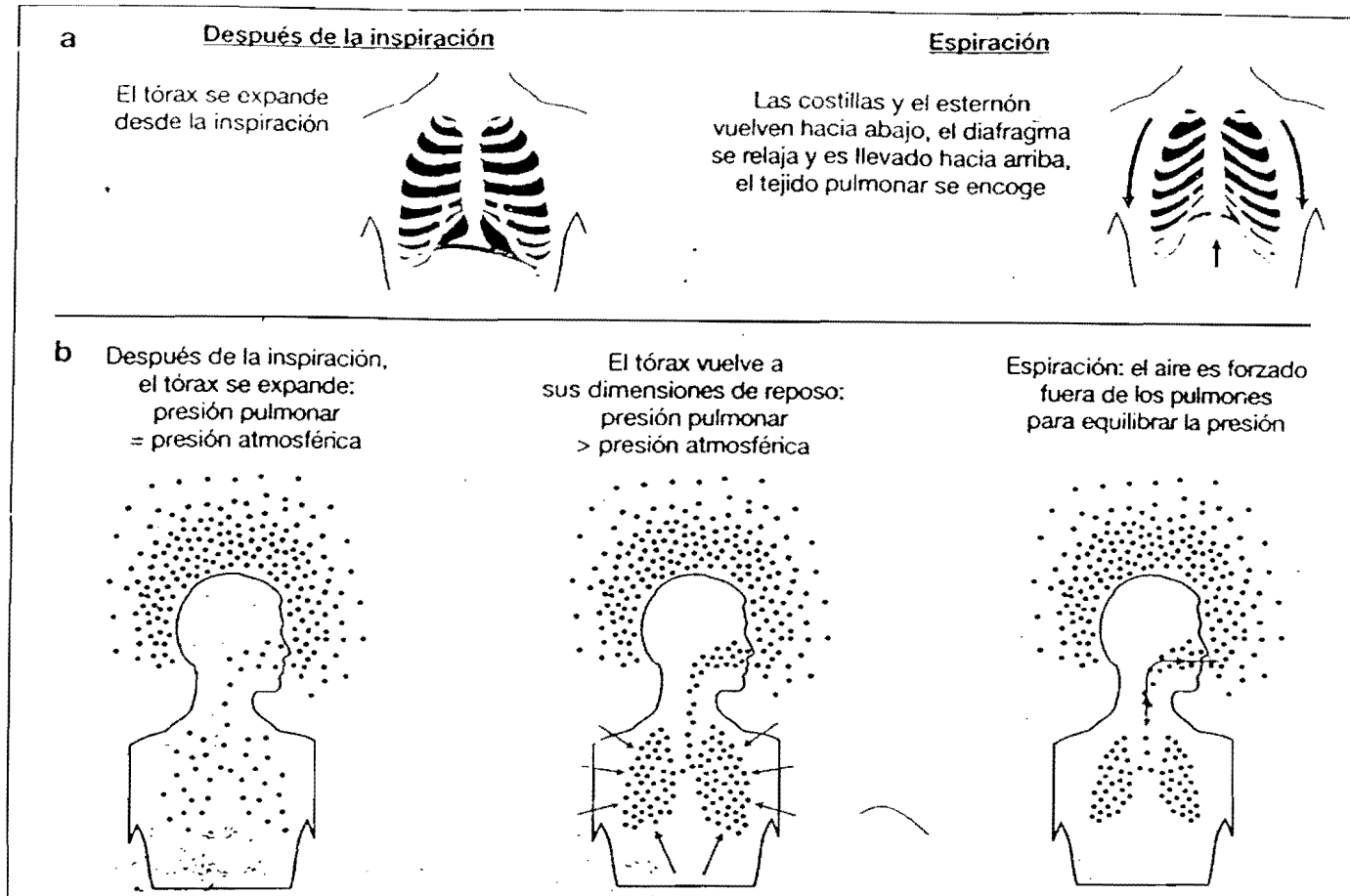


Figura 9.3 Los procesos de respiración, (a) devolviendo el tórax a sus dimensiones de reposo y (b) forzando al aire a salir de los pulmones.

RÉSUMEN

1. La ventilación pulmonar (respiración) es el proceso por el que se introduce y se extrae aire de los pulmones. Tiene dos fases: inspiración y espiración.
2. La inspiración es un proceso activo mediante el cual el diafragma y los músculos intercostales externos incrementan sus dimensiones, y, por lo tanto, el volumen de la caja torácica. Esto reduce la presión en los pulmones y lleva aire a los mismos.
3. La espiración normal es un proceso pasivo. Los músculos inspiratorios se relajan y el tejido elástico de los pulmones se encoge, devolviendo la caja torácica a sus dimensiones normales, más pequeñas. Ello incrementa la presión en los pulmones y fuerza al aire a salir de los mismos.
4. La inspiración y la espiración forzadas o laboriosas son procesos activos, dependientes de acciones musculares.

La sangre de la mayor parte del cuerpo regresa a través de la vena cava al lado pulmonar (derecho) del corazón. Desde el ventrículo derecho, esta sangre es bombeada a través de la arteria pulmonar hacia los pulmones, abriéndose camino al final hacia los capilares pulmonares. Estos capilares forman una densa red alrededor de los sacos alveolares. Estos vasos son lo bastante pequeños para que los glóbulos rojos deban pasar por ellos de uno en uno, exponiendo cada célula al tejido pulmonar circundante. Aquí es donde tiene lugar la difusión pulmonar.

Membrana respiratoria

El intercambio de gases entre el aire en los alveolos y la sangre en los capilares pulmonares tiene lugar a través de la membrana respiratoria (también llamada membrana alveolo-capilar). Esta membrana, representada en la figura 9.4, se compone de:

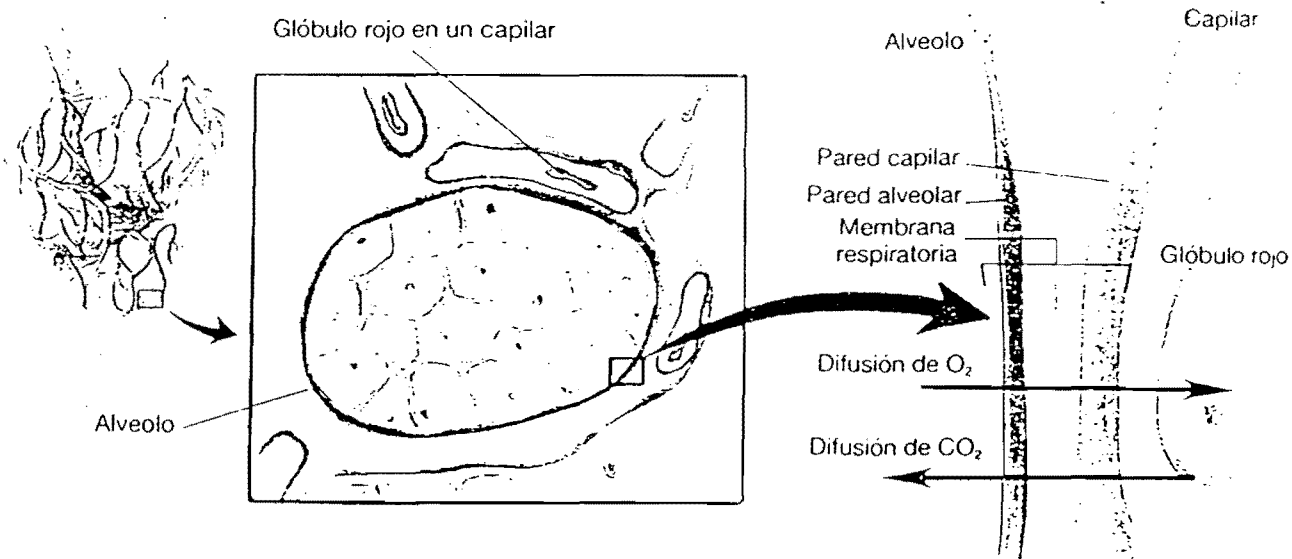


Figura 9.4 La membrana respiratoria.

- la pared alveolar,
- la pared capilar y
- sus membranas subyacentes.

La **membrana respiratoria** es muy delgada, midiendo tan sólo entre 0,5 y 4,0 μm . En consecuencia, los gases en los casi 300 millones de alveolos están muy próximos a la sangre circulante a través de los capilares. No obstante, esta membrana ofrece una barrera potencial para el intercambio de gases. Examinemos cómo se produce el repetido intercambio de gases.

Presiones parciales de los gases

El aire que respiramos es una mezcla de gases. Cada uno ejerce una determinada presión proporcional a su concentración en la mezcla de gases. Las presiones individuales de cada gas en una mezcla reciben el nombre de **presiones parciales**. Según la ley de Dalton, la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de los gases individuales de esta mezcla.

Consideremos el aire que respiramos. Está compuesto por un 79,04% de nitrógeno (N_2), un 20,93% de oxígeno (O_2) y un 0,03% de dióxido de carbono (CO_2). A nivel del mar, la presión atmosférica (o barométrica) es de aproximadamente 760 mmHg, que recibe también el nombre de presión atmosférica estándar. Ésta es considerada como la presión total, o 100%. Por lo tanto, si la presión atmosférica total es de 760 mmHg, entonces la presión parcial del nitrógeno (PN_2) en el aire es de 600,7 mmHg (79,04% de la presión total de 760 mmHg). La presión parcial del oxígeno (PO_2) es de 159,0 mmHg (20,93% de 760 mmHg), y la presión parcial del dióxido de carbono (PCO_2) es de 0,3 mmHg (0,03% de 760 mmHg).

Los gases se disuelven en nuestro cuerpo en fluidos tales como el plasma sanguíneo. Según la ley de Henry, los gases se disuelven en líquidos en proporción a sus presiones parciales, dependiendo también de sus solubilidades en los fluidos específicos y de la temperatura. La solubilidad de un gas permanece relativamente constante. Por lo tanto, el factor más crítico para el intercambio de gases entre los alveolos y la sangre es el gradiente de presión entre los gases en las dos áreas.

Intercambio de gases en los alveolos

Las diferencias de las presiones parciales de los gases en los alveolos y de los gases en la sangre crean un gradiente de presión a través de la membrana respiratoria. Ello forma la base del intercambio de gases durante la difusión pulmonar. Si las presiones sobre cada lado de la membrana fueran iguales, los gases estarían en equilibrio y sería poco probable que se mo-

PUNTO CLAVE

La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de presiones parciales de los gases individuales de esta mezcla.

viesen. Pero las presiones no son iguales. Consideremos primero las presiones del oxígeno.

Intercambio del oxígeno

El PO_2 del aire a una presión atmosférica estándar es de 159 mmHg. Pero cae hasta 100 o 105 mmHg cuando se inspira aire y entra en los pulmones. El aire inspirado se mezcla con el aire de los alveolos, y el aire alveolar contiene una gran cantidad de vapor de agua y de dióxido de carbono que contribuye a la presión total en aquel lugar. El aire fresco que ventila los pulmones se mezcla constantemente con el aire de los alveolos, mientras que una parte de los gases alveolares son espirados al ambiente. En consecuencia, las concentraciones de gases alveolares permanecen relativamente estables.

La sangre, despojada de una gran parte de su oxígeno por los tejidos, normalmente entra en los capilares pulmonares con un PO_2 de 40 a 45 mmHg (ver figura 9.5). Esto es aproximadamente entre 55 a 65 mmHg menos que el PO_2 de los alveolos. Dicho de otro modo, el gradiente de presión para el oxígeno a través de la membrana respiratoria es normalmente de 55 a 65 mmHg. Tal como se ha indicado antes, este gradiente de presión es lo que lleva al oxígeno desde los alveolos hacia la sangre para equilibrar la presión del oxígeno sobre cada lado de la membrana.

El PO_2 en los alveolos permanece relativamente estable a aproximadamente 104 mmHg. En el extremo arteriolar de los capilares, justo cuando el intercambio comienza, el PO_2 en la sangre es sólo de unos 40 mmHg. Pero cuando la sangre sigue avanzando por los capilares, se produce más intercambio.

Cuando se llega al extremo venoso de los capilares, la presión parcial del oxígeno en la sangre igualará a la de los alveolos. El PO_2 a los dos lados de la membrana se equilibra rápidamente, por lo que tanto la sangre alveolar como la capilar tienen valores de PO_2 de 104 mmHg. Por lo tanto, la sangre que abandona los pulmones a través de las venas pulmonares para volver al lado sistémico del corazón tiene un rico aporte de oxígeno para suministrar a los tejidos.

El ritmo al que el oxígeno se difunde desde los alveolos hacia la sangre recibe la denominación de **capacidad de difusión de oxígeno**. En reposo, alrededor de 23 ml de oxígeno se difunden por la sangre pulmonar cada minuto por cada 1 mmHg de diferencia de presión. Durante la realización de un esfuerzo máximo, el consumo de oxígeno puede incrementarse hasta 45 ml/kg/min en personas no entrenadas y hasta 80 ml/kg/min en deportistas de elite de resistencia. El incremento en la capacidad de difusión de oxígeno desde el estado de reposo al de ejercicio se debe a la existencia de una circulación relativamente ineficaz y lenta a través de los pulmones

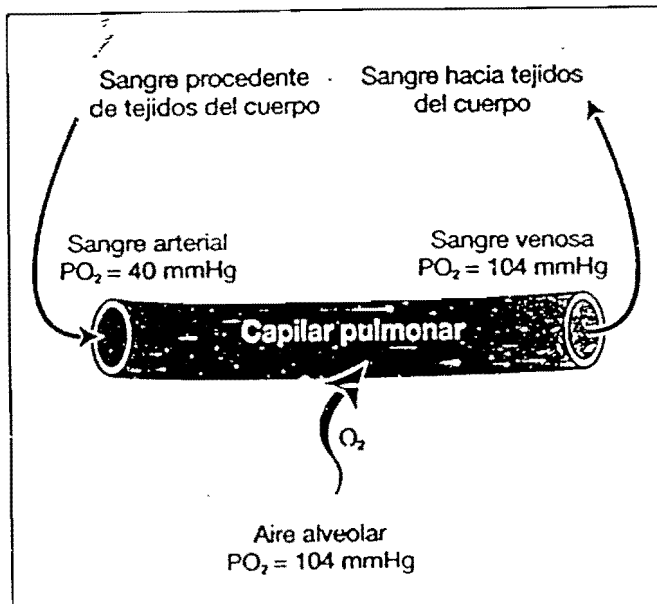


Figura 9.5 Presión parcial del oxígeno en la sangre moviéndose a través de un capilar pulmonar.

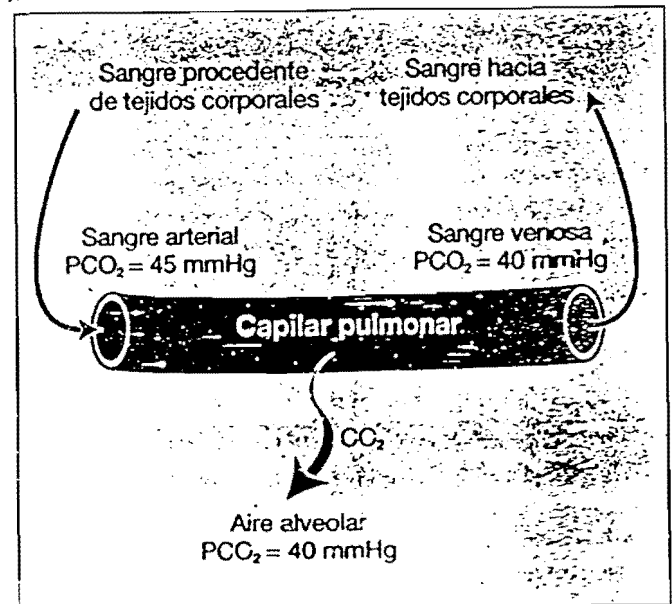


Figura 9.6 Presión parcial de dióxido de carbono en la sangre moviéndose a través de un capilar pulmonar.

en reposo, que es la consecuencia principalmente de una perfusión limitada de las regiones superiores de los pulmones debido a la gravedad. No obstante, durante la realización de ejercicios máximos, el flujo sanguíneo a través de los pulmones es mayor, principalmente debido a la mayor tensión arterial, incrementando con ello la perfusión pulmonar.

Los deportistas con gran capacidad aeróbica tienen también con frecuencia mayor capacidad de difusión de oxígeno. Ello es probablemente la consecuencia combinada de un mayor gasto cardíaco, de una mayor superficie alveolar y de una menor resistencia a la difusión a través de las membranas respiratorias.

Intercambio del dióxido de carbono

El intercambio de dióxido de carbono, igual que el intercambio del oxígeno, se mueve a lo largo de un gradiente de presión. Tal como se ve en la figura 9.6, la sangre que pasa a través de los alveolos tiene un PCO_2 de unos 45 mmHg. En los alveolos, el aire tiene un PCO_2 de unos 40 mmHg. Aunque estos resultados constituyen un gradiente de presión relativamente pequeño de tan sólo unos 5 mmHg, éste es de sobras adecuado. La solubilidad del dióxido de carbono en la membrana es 20 veces superior que la del oxígeno, por lo que el CO_2 puede difundirse a través de la membrana respiratoria con mucha mayor rapidez.

En la tabla 9.1 se resumen las presiones parciales de los gases implicados en la difusión pulmonar.

Tabla 9.1 Presión parcial de gases respiratorios a nivel del mar

Gas	Presión parcial (mmHg)				Gradiente de difusión
	% en aire seco	Aire seco	Aire alveolar	Sangre venosa	
Total	100,0	760,0	760	760	0
H_2O	0	0	47	47	0
O_2	20,93	159,1	104	40	64
CO_2	0,03	0,2	40	45	5
N_2	79,04	600,7	573	573	0

RESUMEN

1. La difusión pulmonar es el proceso por el cual los gases son intercambiados a través de la membrana respiratoria en los alveolos.
2. La cantidad de intercambio de gas que tiene lugar a través de la membrana depende principalmente de la presión parcial de cada gas, aunque la solubilidad y la tem-

peratura del mismo también son importantes. Los gases se difunden mediante un gradiente de presión, pasando de un área de presión más elevada a otra de presión más baja. Así, el oxígeno entra en la sangre y el dióxido de carbono la abandona.

3. La capacidad de difusión del oxígeno aumenta cuando pasamos del estado de reposo al de ejercicio. Cuando nuestro cuerpo necesita más oxígeno, se facilita el intercambio de oxígeno.
4. El gradiente de presión para el intercambio de dióxido de carbono es menor que para el intercambio de oxígeno; pero la solubilidad del dióxido de carbono en la membrana es 20 veces superior a la del oxígeno, por lo que el dióxido de carbono cruza la membrana fácilmente, incluso sin un gran gradiente de presión.

Transporte de oxígeno y de dióxido de carbono

Ya hemos analizado cómo llevamos aire a los pulmones mediante la ventilación pulmonar y cómo se produce el intercambio de gas mediante la difusión pulmonar. A continuación, veremos cómo se transportan los gases en nuestra sangre para llevar oxígeno a los tejidos y para eliminar el dióxido de carbono que dichos tejidos producen. Analicemos por separado el transporte de cada gas.

Transporte de oxígeno

El oxígeno se transporta por la sangre combinado con la hemoglobina (Hb) de los glóbulos rojos (>98%) o disuelto en el plasma de la sangre (<2%). Sólo aproximadamente 3 ml de oxígeno están disueltos en cada litro de plasma. Suponiendo un volumen total de plasma de entre 3 y 5 l, solamente se pueden transportar entre 9 y 15 ml de oxígeno en estado de solución. Esta limitada cantidad de oxígeno no puede satisfacer adecuadamente las necesidades ni siquiera de los tejidos corporales que están en reposo, que generalmente requieren más de 250 ml de oxígeno por minuto (dependiendo del tamaño del cuerpo). Afortunadamente, la hemoglobina, contenida en una cantidad de 4 a 6 billones de glóbulos rojos de la sangre, permite transportar cerca de 70 veces más oxígeno del que puede disolverse en el plasma.

Saturación de la hemoglobina

Cada molécula de hemoglobina puede transportar cuatro moléculas de oxígeno. Cuando el oxígeno se combina con la hemoglobina forma oxihemoglobina; la hemoglobina que no se combina con el oxígeno recibe el nombre de desoxihemoglobina. La combinación del oxígeno con la hemoglobina depende del PO_2 de la sangre y de la fuerza del enlace, o afinidad,

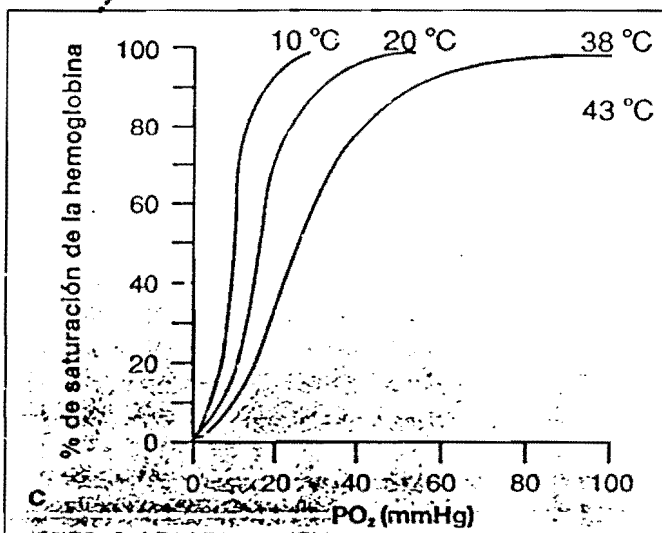
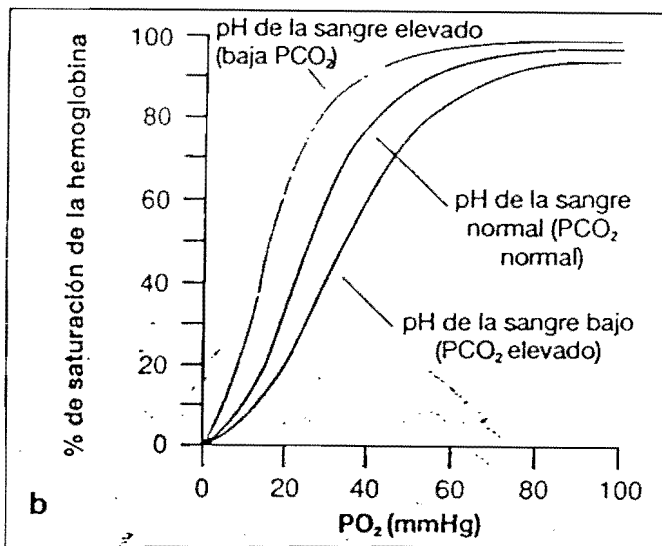
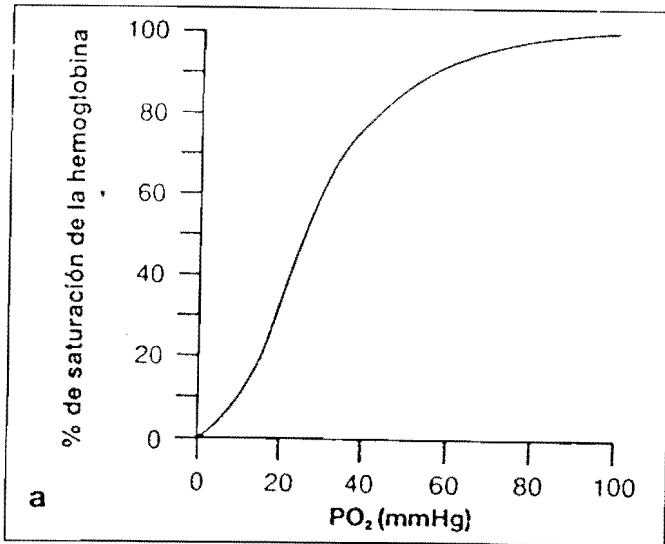


Figura 9.7 (a) La curva normal de disociación oxígeno-hemoglobina y los efectos de (b) el pH de la sangre y (c) la temperatura de la sangre en su forma.

entre la hemoglobina y el oxígeno. La figura 9.7 muestra una curva de disociación entre el oxígeno y la hemoglobina que revela la intensidad de la saturación de la hemoglobina a diferentes valores de PO_2 . Una elevada PO_2 en la sangre produce una casi completa saturación de la hemoglobina, que indica la cantidad máxima de oxígeno que se combina. Pero cuando la PO_2 se reduce, también lo hace la saturación de la hemoglobina.

Son muchos los factores que pueden influir en la saturación de la hemoglobina. Si, por ejemplo, la sangre se vuelve más ácida, la curva de la disociación se desplaza hacia la derecha. Esto quiere decir que hay más oxígeno que está siendo descargado de la hemoglobina en el nivel de los tejidos. Este desplazamiento de la curva hacia la derecha (ver figura 9.7b) debido a un declive en el pH recibe la denominación de efecto Bohr.* El pH en los pulmones suele ser alto, por lo que la hemoglobina que pasa a través de los pulmones tiene una fuerte afinidad por el oxígeno, favoreciendo una elevada saturación. No obstante, al nivel de los tejidos, el pH es más bajo, provocando que el oxígeno se disocie de la hemoglobina, suministrando con ello oxígeno a los tejidos. Con el ejercicio, la capacidad para descargar oxígeno a los músculos aumenta cuando el pH muscular se reduce.

La temperatura de la sangre también afecta la disociación del oxígeno. Tal como se ve en la figura 9.7c, el aumento de la temperatura de la sangre desplaza la curva de disociación hacia la derecha, indicando que el oxígeno se descarga más eficazmente. Por ello, la hemoglobina descargará más oxígeno cuando la sangre circule a través de los músculos activos calentados metabólicamente. En los pulmones, donde la sangre puede ser un poco más fría, la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno aumenta. Esto favorece la combinación con el oxígeno.

PUNTO CLAVE

El aumento de la temperatura y de la concentración de los iones hidrógeno (H^+) en los músculos activos afectan la curva de la disociación del oxígeno, permitiendo que haya más oxígeno que se disocie para abastecer a los músculos activos.

Capacidad de la sangre para transportar oxígeno

La capacidad de la sangre para transportar oxígeno es la cantidad máxima de oxígeno que la sangre puede transportar. Depende principalmente del contenido de hemoglobina de la sangre. Cada 100 ml de sangre contienen un promedio de 14 a 18 g de hemoglobina en los hombres y de 12 a 16 g en las mujeres. Cada gramo de hemoglobina puede combinarse con alrededor de 1,34 ml de oxígeno, por lo que la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre es de 16 a 24 ml por cada 100 ml cuando la sangre está totalmente saturada de oxígeno. Cuando esta pasa a través de los pulmones, está en contacto

con el aire alveolar durante aproximadamente 0,75 s. Esto es tiempo suficiente para que la hemoglobina se combine con casi todo el oxígeno que pueda retener, produciendo una saturación del 98%.

Las personas con bajos contenidos de hemoglobina, como, por ejemplo, las que tienen anemia, tienen capacidades de transporte de oxígeno reducidas. Dependiendo de la gravedad de la condición, estas personas pueden que no perciban muchos de los efectos de la anemia cuando están en reposo porque su sistema cardiovascular es capaz de compensar el reducido contenido de oxígeno en la sangre incrementando el gasto cardíaco. No obstante, durante la realización de actividades en las que el transporte de oxígeno puede constituir una limitación, como, por ejemplo, en los esfuerzos aeróbicos altamente intensos, el reducido contenido de oxígeno en la sangre limita su producción de energía y su rendimiento.

Transporte de dióxido de carbono

El dióxido de carbono también depende de la sangre para su transporte. Una vez el dióxido de carbono es liberado de las células, es transportado en la sangre principalmente de tres maneras:

1. Disuelto en el plasma.
2. Como iones de bicarbonato resultantes de la disociación del ácido carbónico.
3. Combinado con la hemoglobina.

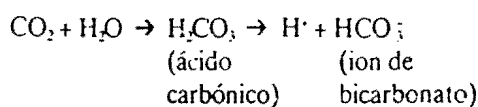
Examinemos cada uno de estos tres métodos de transporte.

Dióxido de carbono disuelto

Parte del dióxido de carbono liberado desde los tejidos se disuelve en el plasma. Pero sólo una pequeña cantidad, normalmente entre un 7 y un 10% es transportado de esta manera. Este dióxido de carbono disuelto abandona la solución donde la PCO_2 es baja, como, por ejemplo, en los pulmones. Allí sale de los capilares hacia los alveolos para ser espirado.

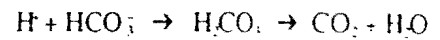
Iones de bicarbonato

Con mucha diferencia, la mayor parte del dióxido de carbono es transportado en forma de iones de bicarbonato. Esta forma es responsable del transporte de entre el 60 y el 70% del dióxido de carbono en la sangre. Las moléculas de dióxido de carbono y de agua se combinan para formar ácido carbónico (H_2CO_3). Este ácido es inestable y se disocia con rapidez, liberando un ion hidrógeno (H^+) y formando un ion de bicarbonato (HCO_3^-):



Posteriormente, el ion H^+ se combina con la hemoglobina y esta combinación provoca el efecto Bohr, mencionado

antes, que desplaza hacia la derecha la curva de disociación del oxígeno y la hemoglobina. Por lo tanto, la formación de iones de bicarbonato favorece la descarga de oxígeno. Mediante este mecanismo, la hemoglobina actúa como un amortiguador, combinando y neutralizando los H^+ y previniendo a cualquier acidificación significativa de la sangre. Más adelante en este capítulo discutiremos el tema del equilibrio acidobásico con mayor detalle. Cuando la sangre entra en los pulmones, donde el PCO_2 es menor, los iones H^+ y de bicarbonato vuelven a unirse para formar ácido carbónico, que entonces se descompone en dióxido de carbono y agua:



El dióxido de carbono que vuelve a formarse de este modo puede entrar en los alveolos y ser espirado.

La mayor parte del dióxido de carbono producido por los músculos activos es transportado de nuevo hacia los pulmones en forma de iones de bicarbonato.

RESUMEN

1. El oxígeno es transportado en la sangre principalmente combinado con la hemoglobina (como oxihemoglobina), aunque una pequeña parte de éste se disuelve en el plasma de la sangre.
2. La saturación de oxígeno en la hemoglobina se reduce:
 - cuando el PO_2 se reduce;
 - cuando el pH se reduce, y
 - cuando la temperatura aumenta.

Cada una de estas condiciones puede reflejar un aumento de la demanda local de oxígeno. Incrementan el oxígeno descargando en el área necesaria.

3. La hemoglobina suele estar saturada aproximadamente con un 98% de oxígeno. Esto refleja un contenido mucho más alto de oxígeno del que necesita nuestro cuerpo, por lo que la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre casi nunca limita el rendimiento.
4. El dióxido de carbono es transportado en la sangre principalmente como iones de bicarbonato. Esto impide la formación de ácido carbónico, que puede provocar que los H^+ se acumulen, reduciendo el pH. Cantidades menores de dióxido de carbono son transportadas disueltas en el plasma o combinadas con la hemoglobina.

Carboxihemoglobina

El transporte de dióxido de carbono también se produce cuando el gas está combinado con la hemoglobina, formando un compuesto llamado carboxihemoglobina. El compuesto se llama así porque el dióxido de carbono se combina con aminoácidos en la parte globina de la molécula de hemoglobina, en lugar de con el grupo hem como lo hace el oxígeno. Dado que la combinación del dióxido de carbono tiene lugar sobre una parte diferente de la molécula de hemoglobina de donde lo hace la molécula de oxígeno, los dos procesos no compiten entre sí. La combinación del dióxido de carbono depende de la oxigenación de la hemoglobina (la desoxihemoglobina se combina con el dióxido de carbono más fácilmente que la oxihemoglobina) y de la presión parcial del CO_2 (el dióxido de carbono es liberado desde la hemoglobina cuando la PCO_2 es baja). Por lo tanto, en los pulmones, donde la PCO_2 es baja, el dióxido de carbono se libera rápidamente de la hemoglobina, entrando en los alveolos para ser espirado.

Intercambio de gases en los músculos

Ya hemos visto cómo nuestro aparato respiratorio y sistema cardiovascular llevan aire a los pulmones, intercambiando oxígeno y dióxido de carbono en los alveolos, y transportando oxígeno a los músculos (y llevándose el dióxido de carbono de ellos). Todo lo que queda por hacer es considerar la liberación de oxígeno desde la sangre capilar hasta los tejidos musculares y la eliminación del dióxido de carbono producido metabólicamente. Este intercambio de gases entre los tejidos y la sangre en los capilares es nuestra cuarta y última fase en el transporte de gas: la respiración interna.

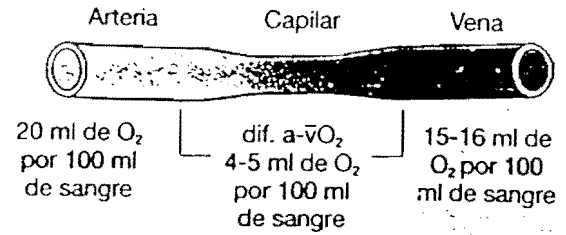
Diferencia arteriovenosa de oxígeno

En reposo, el contenido de oxígeno de la sangre es de unos 20 ml de oxígeno por 100 ml de sangre. Tal como se ve en la figura 9.8a, este valor cae hasta 15 o 16 ml de oxígeno por 100 ml cuando la sangre pasa a través de los capilares hacia el sistema venoso. Esta diferencia en el contenido de oxígeno entre la sangre arterial y la venosa recibe la denominación de **diferencia arterio-venosa de oxígeno (dif. a- $\bar{v}\text{O}_2$)**, que refleja los 4 o 5 ml de oxígeno por 100 ml de sangre tomados por los

PUNTO CLAVE

La dif. a- $\bar{v}\text{O}_2$ aumenta desde un valor en reposo de 4 o 5 ml por 100 ml de sangre hasta valores de 15 o 16 ml por 100 ml de sangre durante la realización de ejercicios intensos. Este incremento refleja una extracción incrementada de oxígeno desde la sangre arterial por los músculos activos, reduciendo así el contenido de oxígeno de la sangre venosa.

a. En reposo:



b. Durante el ejercicio intenso:

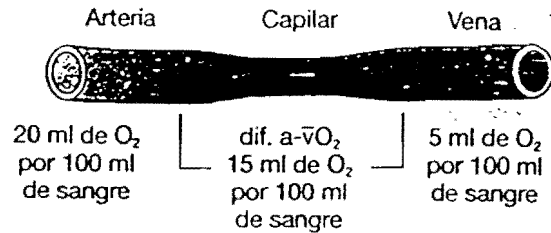


Figura 9.8 La diferencia de oxígeno arteriovenoso (dif. a- $\bar{v}\text{O}_2$) (a) en reposo y (b) durante el ejercicio intenso.

tejidos. La cantidad de oxígeno tomada es proporcional a su uso para la producción de energía oxidativa. Así, cuando el ritmo de utilización de oxígeno aumenta, la dif. a- $\bar{v}\text{O}_2$ también lo hace. Por ejemplo, durante la realización de ejercicios intensos, tal como se muestra en la figura 9.8b, la dif. a- $\bar{v}\text{O}_2$ en los músculos que se contraen puede incrementarse hasta 15 o 16 ml por 100 ml de sangre. Durante la realización de este esfuerzo, la sangre descarga más oxígeno a los músculos activos porque la PO_2 en los músculos es drásticamente menor que en la sangre arterial.

Factores que influyen en el transporte y consumo de oxígeno

Los ritmos de liberación y consumo de oxígeno dependen de tres variables importantes:

1. El contenido de oxígeno de la sangre.
2. La intensidad de flujo de la sangre.
3. Las condiciones locales.

Cuando comenzamos a hacer ejercicio, cada una de estas variables debe ajustarse para asegurar un transporte aumentado de oxígeno a nuestros músculos activos. Hemos analizado el contenido de oxígeno de la sangre y sabemos que en circunstancias normales la hemoglobina está saturada al 98% con oxígeno. Cualquier reducción en la capacidad normal de transporte de oxígeno de la sangre dificultará el suministro de oxígeno y reducirá el consumo celular de éste.

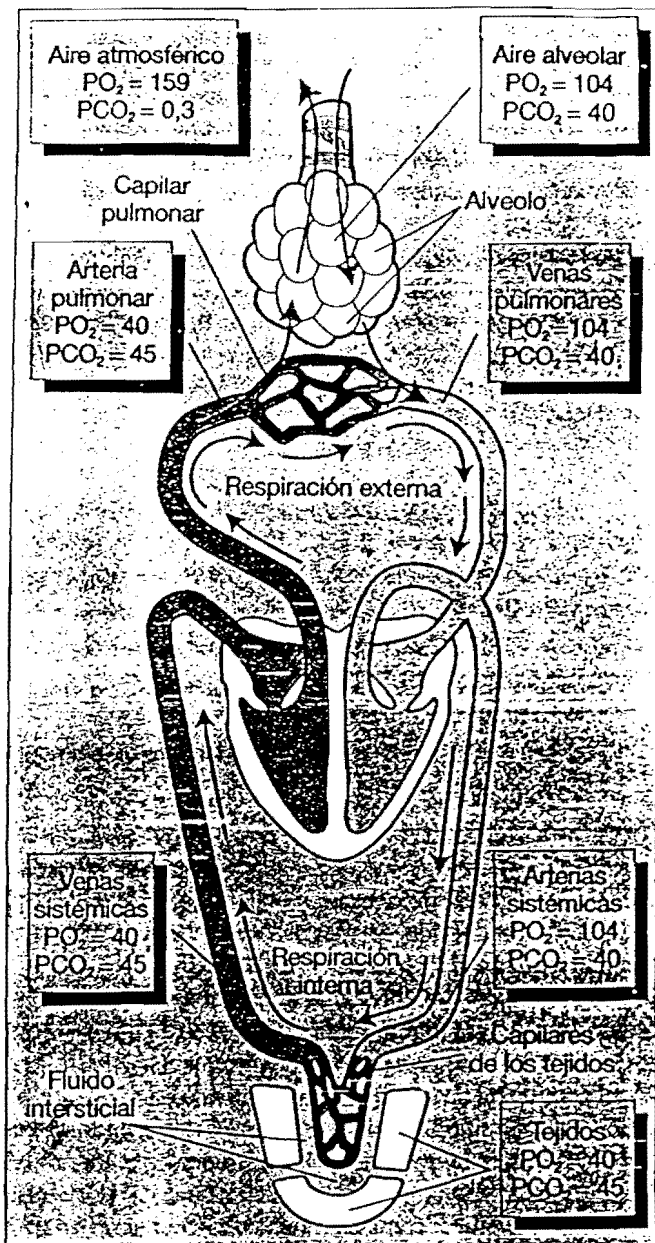


Figura 9.9 Resumen de las respiraciones externa e interna.

temperatura muscular y la concentración de dióxido de carbono aumentan debido al mayor metabolismo. Todo ello incrementa la descarga de oxígeno desde las moléculas de hemoglobina, facilitando el suministro y el consumo de oxígeno por los músculos.

No obstante, durante la realización de ejercicios máximos, cuando forzamos nuestro cuerpo al límite, los cambios en cualquiera de estas áreas pueden dificultar el suministro de oxígeno y limitar nuestra capacidad de satisfacer las demandas oxidativas. Trataremos de estas limitaciones potenciales más adelante en este capítulo.

Eliminación del dióxido de carbono

El dióxido de carbono sale de las células por simple difusión en respuesta al gradiente de presión parcial entre la sangre de los tejidos y la sangre capilar. Por ejemplo, los músculos generan dióxido de carbono mediante el metabolismo oxidativo, por lo que la PCO_2 en los músculos será relativamente alta en comparación con la de la sangre capilar. En consecuencia, el CO_2 se difunde desde los músculos a la sangre para ser transportado a los pulmones.

Hemos completado nuestro análisis de cómo es llevado el oxígeno al interior del cuerpo, de cómo es liberado a los tejidos y de cómo es extraído el dióxido de carbono desde los tejidos y llevado a los pulmones para ser eliminado. En la figura 9.9 se resumen estos procesos.

RESUMEN

1. La $dif. a-\bar{v}O_2$ es la diferencia en el contenido de oxígeno de la sangre arterial y de la venosa. Esta medida refleja el volumen de consumo de oxígeno de los tejidos.
2. El suministro de oxígeno a los tejidos depende del contenido en oxígeno de la sangre, del volumen del flujo de sangre a los tejidos, y de las condiciones locales.
3. El intercambio de dióxido de carbono en los tejidos es similar al intercambio del oxígeno, con la salvedad de que el primero abandona los músculos, donde se forma, y entra en la sangre para ser transportado a los pulmones para su eliminación.

Tal como se muestra en el capítulo 8, el ejercicio incrementa el flujo de sangre a través de los músculos. Cuando hay más sangre transportando oxígeno a través de los mismos hay que extraer menos oxígeno por cada 100 ml de sangre (suponiendo que la demanda no varíe). Por lo tanto, el flujo incrementado de la sangre mejora el suministro y el consumo de oxígeno.

Muchos cambios locales en los músculos durante el ejercicio afectan el suministro y el consumo de oxígeno. Por ejemplo, la actividad muscular incrementa la acidez de los músculos debido a la producción de lactato. Asimismo, la

Regulación de la ventilación pulmonar

El mantenimiento del equilibrio homeostático en la PO_2 , la PCO_2 , y el pH en la sangre requiere un alto grado de coordinación entre el aparato respiratorio y el sistema circulatorio. Gran parte de esta coordinación se consigue con la regulación involuntaria de la ventilación pulmonar. Este control todavía no se conoce del todo, aunque se han identificado muchos de los intrincados controles neurales. Examinemos algunos de ellos.

Mecanismos de regulación

Los músculos respiratorios están bajo el control directo de neuronas motoras, que a su vez están reguladas por **centros respiratorios** (inspiratorio y espiratorio) localizados dentro del tronco cerebral (en el bulbo raquídeo y la protuberancia). Estos centros establecen el ritmo y la profundidad de la respiración enviando impulsos periódicos a los músculos respiratorios.

No obstante, los centros respiratorios no actúan solos en el control de la respiración. Su regulación también está deter-

minada por un cambiante ambiente químico en el cuerpo. Por ejemplo, determinadas áreas sensibles en el cerebro responden a cambios en los niveles de dióxido de carbono y de H^+ . Cuando estos niveles aumentan, se envían señales al centro inspiratorio ordenándole incrementar la eliminación de dióxido de carbono y de H^+ . Además, los quimiorreceptores en el arco aórtico (los cuerpos aórticos) y en la bifurcación de la arteria carótida común (los cuerpos carotídeos) son principalmente sensibles a los cambios en la PO_2 de la sangre, pero también responden a los que se producen en la concentración de H^+ y de PCO_2 . En conjunto, de los diversos estímulos, la

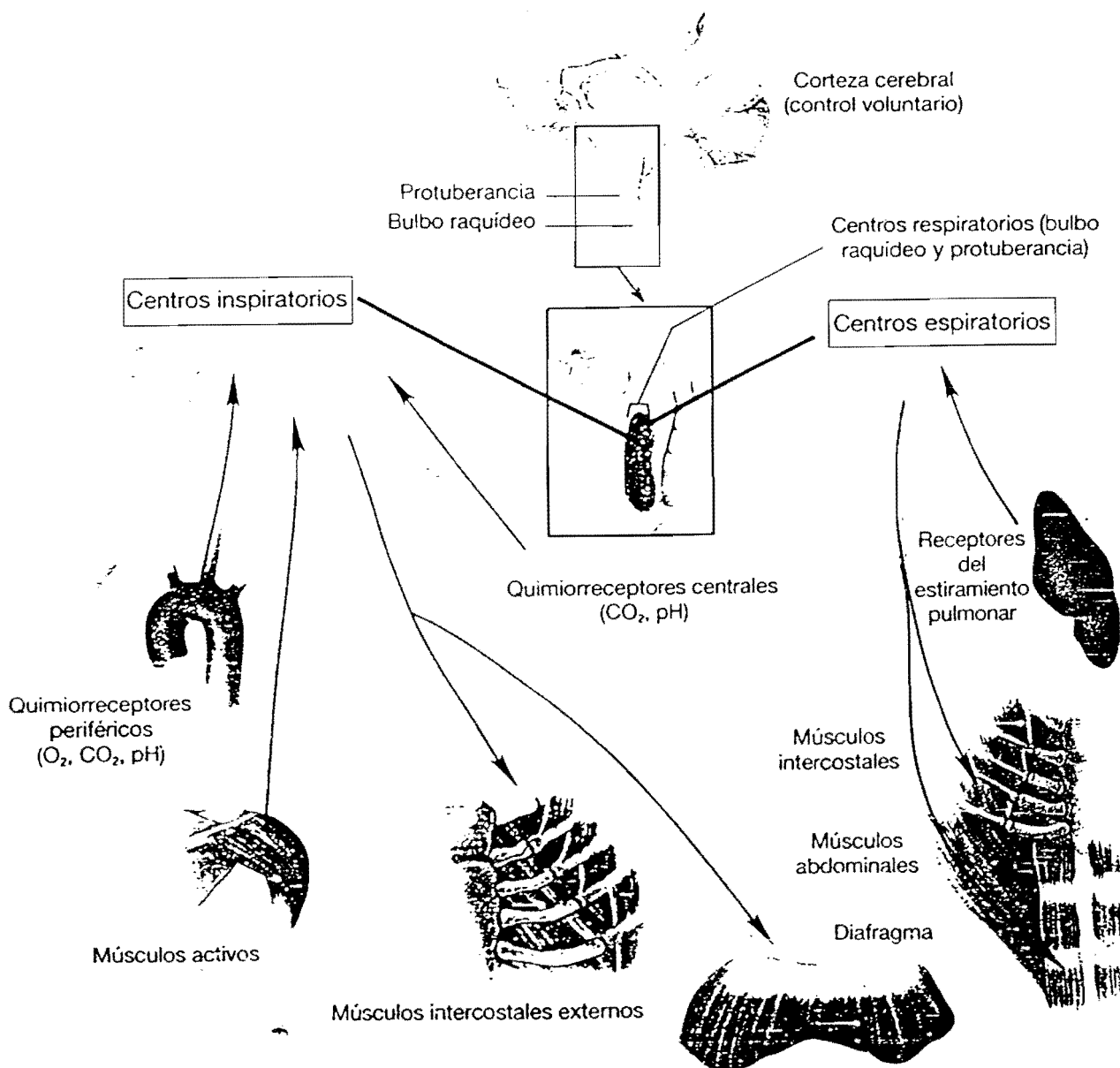


Figura 9.10 Visión general de los procesos que intervienen en la regulación respiratoria.

PCO_2 parece ser el más fuerte para la regulación de la respiración. Cuando los niveles de dióxido de carbono llegan a ser demasiado elevados, recordemos que se forma ácido carbónico, que luego se disocia rápidamente, dando H^+ . Si éste se acumula, la sangre se volverá demasiado ácida (el pH caerá). Por lo tanto, un incremento en la PCO_2 estimula al centro inspiratorio a incrementar la respiración, no a traer más oxígeno, sino a liberar al cuerpo del exceso de dióxido de carbono y a minimizar los cambios en el pH.

Además de los quimiorreceptores, hay otros mecanismos nerviosos que influyen en la respiración. La pleura, los bronquiolos y los alveolos contienen receptores del estiramiento. Cuando estas áreas están excesivamente estiradas, esta información es transmitida al centro espiratorio, que responde abreviando la duración de una inspiración, lo cual a su vez reduce el riesgo de hiperinsuflación de las estructuras respiratorias. Esto se conoce como el reflejo de Hering-Breuer.

Podemos ejercer cierto control voluntario sobre nuestra respiración a través de la corteza motora cerebral. No obstante, este control voluntario puede ser invalidado por el control involuntario del centro respiratorio. Intentemos contener la respiración durante 5 min. En determinado momento, a pesar de nuestra decisión consciente de suprimir la respiración, nuestros niveles de dióxido de carbono y de H^+ llegan a ser muy altos, el nivel de oxígeno cae y nuestro centro inspiratorio decide que la respiración es imperativa y nos fuerza a inspirar.

Por lo tanto, podemos ver que hay muchos mecanismos de control que intervienen en la regulación de la respiración, tal como se muestra en la figura 9.10. Un estímulo tan sencillo como es una alteración emocional o un cambio abrupto de la temperatura de nuestros alrededores puede tener un cierto impacto. Pero todos estos mecanismos de control son esenciales. El objetivo de la respiración es mantener unos niveles apropiados de gases en la sangre y en los tejidos, y mantener un pH adecuado para la función celular normal. Incluso cambios relativamente pequeños en cualquiera de éstos, si no se controlan cuidadosamente, pueden dificultar la actividad física y poner en peligro la salud.

Ventilación pulmonar durante el ejercicio

El inicio de la actividad física va acompañado por un incremento de la ventilación en dos fases. Se produce un notable aumento casi inmediato, seguido por una elevación continua y más gradual de la profundidad y del ritmo de la respiración. Esto se muestra en la figura 9.11 para los ejercicios ligeros, moderados y pesados. Esta adaptación de dos fases indica que la elevación inicial de la ventilación se produce por la mecánica del movimiento corporal. Cuando el ejercicio comienza, pero antes de que se produzca ninguna estimulación química, la corteza motora se vuelve más activa y transmite impulsos estimuladores al centro inspiratorio, que responde incrementando la respiración. Asimismo, la realimentación propioceptiva de los músculos esqueléticos activos y de las articulaciones proporciona una entrada adicional al movimiento y, en consecuencia, el centro respiratorio puede adaptar su actividad.

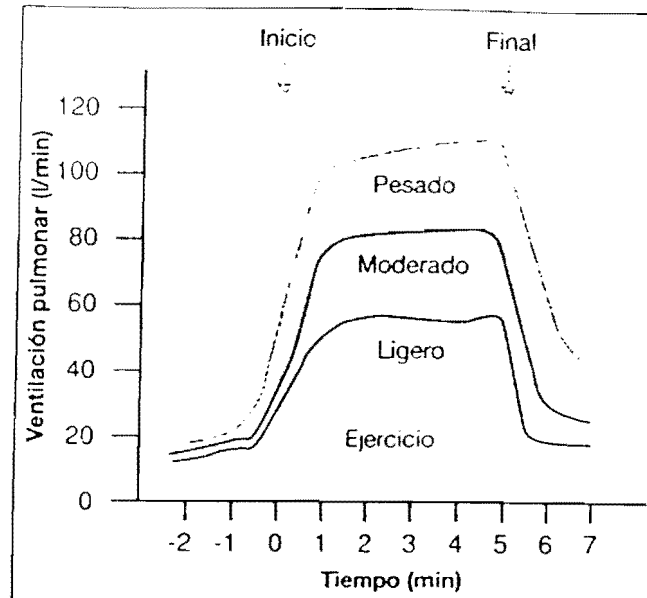


Figura 9.11 Respuesta ventilatoria al ejercicio ligero, moderado, y pesado.

La segunda fase del incremento respiratorio, que es más gradual, se produce por cambios en la temperatura y en el estado químico de la sangre arterial. A medida que el ejercicio progresa, el metabolismo incrementado de los músculos genera más calor, más dióxido de carbono y más H^+ . Todo esto favorece la descarga de oxígeno en los músculos, lo cual incrementa la dif. $a-\bar{v}O_2$. Asimismo, entra más dióxido de carbono en la sangre, que incrementa los niveles de dióxido de carbono y de H^+ en la misma. Ello es percibido por los quimiorreceptores, que a su vez estimulan el centro inspiratorio, incrementando el ritmo y la profundidad de la respiración. Algunos investigadores han sugerido que es posible que los quimiorreceptores de los músculos intervengan también. Además, hay datos que indican que los receptores en el ventrículo derecho del corazón envían información al centro inspiratorio, por lo que incrementos en el gasto cardíaco pueden estimular la respiración durante los primeros minutos de ejercicio.

La ventilación pulmonar durante el ejercicio aumenta hasta intensidades de esfuerzo casi máximas, en proporción directa con las necesidades metabólicas del cuerpo. A intensidades más bajas de ejercicio, esto se consigue incrementando el volumen respiratorio —la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones durante la respiración regular. A intensidades más elevadas, el ritmo de la respiración también aumenta. Los ritmos máximos de ventilación pulmonar dependen del tamaño del cuerpo. Los ritmos de ventilación máxima de aproximadamente 100 l/min son comunes en individuos más pequeños, pero ritmos que superan los 200 l/min se observan en individuos más grandes.

Al final del ejercicio, la demanda muscular de energía cae casi inmediatamente hasta niveles de reposo. Pero la ventilación pulmonar vuelve a su estado normal a un ritmo relativamente lento. Si el ritmo de la respiración se adapta perfectamente a las demandas metabólicas de los tejidos, la respiración descenderá al nivel de reposo pocos segundos después de acabado el ejercicio. Pero la recuperación respiratoria precisa varios minutos, lo que indica que la respiración posterior al ejercicio se regula principalmente por el equilibrio acidobásico, por la PCO_2 y por la temperatura de la sangre.

Problemas asociados con la respiración durante el ejercicio

Idealmente, durante el ejercicio nuestra respiración será regulada de una manera que maximice nuestra capacidad para rendir. Desgraciadamente, esto no sucede siempre. El ejercicio puede ir acompañado por muchos problemas respiratorios que dificulten el rendimiento. Examinemos unos pocos.

Disnea

La sensación de **disnea** (respiración corta) durante el ejercicio presenta su mayor frecuencia entre individuos con una mala condición física que intentan hacer ejercicio a niveles que elevan notablemente sus concentraciones arteriales de dióxido de carbono y de H^+ . Tal como hemos indicado antes, ambos estímulos envían fuertes señales al centro inspiratorio para incrementar el ritmo y la profundidad de la ventilación. Aunque la disnea inducida por el ejercicio es percibida como una incapacidad para respirar, la causa subyacente es una incapacidad para reajustar la PCO_2 y los H^+ de la sangre. La reducción insuficiente de estos estímulos durante el ejercicio parece tener relación con un mal acondicionamiento de los músculos respiratorios. A pesar de un fuerte impulso nervioso para ventilar los pulmones, los músculos respiratorios se fatigan fácilmente y son incapaces de restablecer una homeostasis normal.

Hiperventilación

La anticipación o la angustia por el ejercicio, así como algunos trastornos respiratorios, pueden ocasionar un repentino incremento de la ventilación que rebasa la necesidad metabólica de oxígeno. Esta sobrerrespiración recibe el nombre de **hiperventilación**. En reposo, la hiperventilación voluntaria reduce la PCO_2 normal de 40 mmHg en la sangre de los alveolos y de las arterias hasta alrededor de 15 mmHg. Cuando los niveles de dióxido de carbono caen, también lo hacen los niveles de H^+ . Por lo tanto, el pH de la sangre aumenta. Estos efectos reducen el impulso ventilatorio. Puesto que la sangre que abandona los pulmones está casi siempre saturada con oxígeno al 98%, reflejando un aumento en la PO_2 alveolar no aumenta el contenido de oxígeno de la sangre. En consecuencia, el reducido deseo de respirar y la mejorada capacidad de contener la respiración después de la hiperventilación es la consecuencia de la **descarga de dióxido de carbono más que del incrementado volumen de oxígeno de la sangre**. Cuando se lleva a cabo duran-

te tan sólo unos segundos, esta respiración rápida y profunda puede provocar mareos e incluso pérdida de la conciencia. Este fenómeno revela la sensibilidad de la regulación por el aparato respiratorio del dióxido de carbono y del pH.

Con la esperanza de reducir el agotamiento respiratorio, los nadadores se hiperventilan frecuentemente antes de la competición. La contención de la respiración durante la natación de competición ofrece algunas ventajas a la mecánica de las brazadas, por lo que la mayoría de los nadadores se hiperventilan inmediatamente antes de iniciar pruebas en las que hay que hacer un *sprint*. Aunque pueden sentir pocos deseos de respirar durante los primeros 8 o 10 s de la carrera, sus contenidos alveolares y arteriales de oxígeno pueden declinar hasta niveles críticamente bajos ya que el oxígeno se está usando pero no reemplazando. Esto puede dificultar la oxidación muscular y el aporte de oxígeno al sistema nervioso central. Los beneficios de la hiperventilación previa al ejercicio no están claros, pero puede dificultar el rendimiento más que mejorarlo. Quizá futuros estudios proporcionen alguna idea de los efectos de esta práctica.

La hiperventilación previa al ejercicio es también común entre personas que intentan nadar durante mucho tiempo bajo el agua. La hiperventilación antes de una inmersión reduce el deseo de respirar, pero no incrementa las reservas de oxígeno del cuerpo. La contención de la respiración suele hacerse intolerable cuando la PCO_2 en la sangre arterial llega a 50 mmHg. Desgraciadamente, durante una inmersión precedida por hiperventilación, el oxígeno contenido en la sangre puede llegar a niveles críticamente bajos mucho antes de que la acumulación del dióxido de carbono indique al nadador que suba a la superficie y que respire. Estas pruebas pueden hacer que un buceador pierda la conciencia antes de experimentar el deseo de respirar.

Maniobra de Valsalva

Un procedimiento respiratorio que es frecuentemente ejecutado en ciertos tipos de ejercicio y que puede ser potencialmente peligroso recibe el nombre de **maniobra de Valsalva**. Esto sucede cuando el individuo hace lo siguiente:

1. Cierra la glotis (la abertura entre las cuerdas vocales).
2. Incrementa la presión intraabdominal contrayendo de manera forzada el diafragma y los músculos abdominales.
3. Incrementa la presión intratorácica contrayendo de manera forzada los músculos respiratorios.

Como consecuencia de estas acciones, el aire es atrapado y presurizado en los pulmones. Esta maniobra es ejecutada frecuentemente durante el levantamiento de objetos pesados cuando la persona intenta estabilizar la pared del tórax.

Las altas presiones intraabdominales e intratorácicas restringen el retorno venoso colapsando las venas grandes. Esta maniobra, si se mantiene durante un período prolongado de tiempo, puede reducir mucho el volumen de sangre que vuelve al corazón, reduciendo el gasto cardíaco. Aunque la maniobra de Valsalva puede ser útil en ciertas circunstan-

cias, puede ser peligrosa y las personas que sufren hipertensión o que tienen limitaciones cardiovasculares conocidas deben evitarla.

RESUMEN

1. Los centros respiratorios en el tronco cerebral establecen el ritmo y la profundidad de la respiración.
2. Los quimiorreceptores centrales del cerebro responden a los cambios de las concentraciones de dióxido de carbono y de H^+ . Cuando cualquiera de estas dos concentraciones se eleva, el centro inspiratorio incrementa la respiración.
3. Los receptores periféricos en el arco de la aorta y en la bifurcación de la arteria carótida común responden principalmente a los cambios en los niveles de oxígeno de la sangre, pero también a los cambios en los niveles de dióxido de carbono y de H^+ . Si los niveles de oxígeno descienden demasiado, o si los otros niveles se elevan, estos quimiorreceptores transmiten su información al centro inspiratorio, que a su vez incrementa la respiración.
4. Los receptores del estiramiento en las vías aéreas y en los pulmones pueden hacer que el centro espiratorio acorte las respiraciones para impedir la hiperinsuflación de los pulmones. Además, podemos ejercer un cierto control voluntario sobre nuestra respiración.
5. Durante el ejercicio, la ventilación muestra un aumento casi inmediato, resultante de una estimulación incrementada del centro inspiratorio producida por la propia actividad muscular. A esto le sigue un aumento más gradual como consecuencia de la elevación de la temperatura y de los cambios químicos en la sangre arterial ocasionados por la actividad muscular.
6. Entre los problemas asociados con la respiración durante el ejercicio se hallan la disnea, la hiperventilación y la ejecución de la maniobra de Valsalva.

Ventilación y metabolismo energético

Durante largos períodos de actividad suave con un estado estable, la ventilación parece mantenerse al nivel del metabolismo energético. Tiende a variar proporcionalmente al volumen de oxígeno consumido y de dióxido de carbono producido por el cuerpo. Examinemos hasta qué punto se ajusta la respiración al consumo de oxígeno.

Equivalente ventilatorio para el oxígeno

La proporción entre el volumen de aire ventilado (\dot{V}_E) y la cantidad de oxígeno consumido por los tejidos ($\dot{V}O_2$) indica la

economía del oxígeno. Esta proporción recibe la denominación de **equivalente ventilatorio para el oxígeno**, o $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$. Se mide generalmente en litros de aire respirado por litros de oxígeno consumido.

En reposo, el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ puede oscilar entre 23 y 28 litros de aire por litro de oxígeno consumido. Este valor cambia muy poco durante la realización de ejercicios suaves, tales como andar. Pero cuando la intensidad del esfuerzo se incrementa hasta cerca del máximo, el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ puede ser mayor de 30 litros de aire por litro de oxígeno consumido. No obstante, en general, el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ permanece relativamente constante en un amplio abanico de niveles de ejercicio. Esto indica que los sistemas de control para la respiración están ajustados apropiadamente a las necesidades de oxígeno del cuerpo. Incluso en actividades tales como la natación, donde la respiración debe sincronizarse con el ciclo de las brazadas, el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ no se diferencia del de otras actividades de respiración libre.

Punto de máxima tensión ventilatoria tolerable

Cuando la intensidad del ejercicio aumenta acercándose al máximo, en un cierto punto la ventilación se incrementa desproporcionadamente en comparación con el consumo de oxígeno. Este punto recibe la denominación de **punto de máxima tensión ventilatoria tolerable**, ilustrado en la figura 9.12. Cuando la intensidad del esfuerzo es superior al 55 o al 70% del $\dot{V}O_2$ máx., el aporte de oxígeno a los músculos no puede seguir sosteniendo los requerimientos de oxígeno de la oxidación. Para compensarlo, se obtiene más oxígeno a partir de la glu-

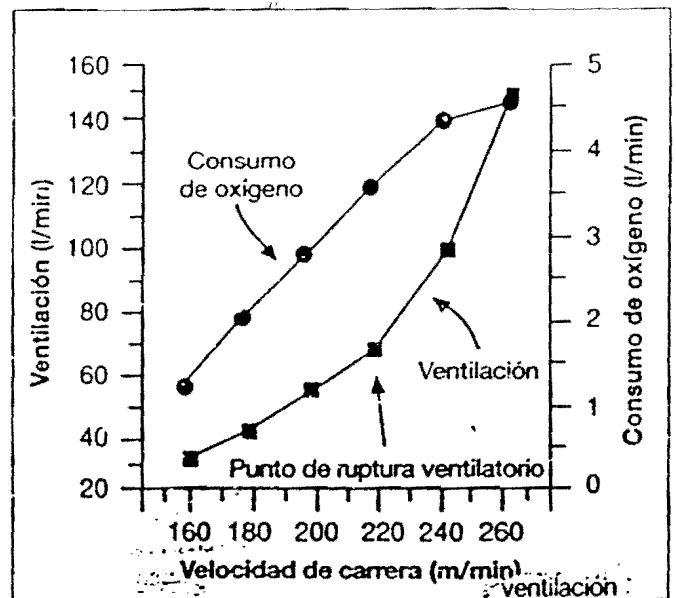


Figura 9.12 Cambios en la ventilación pulmonar durante el ejercicio, ilustrando el punto de ruptura ventilatorio.

cólisis. Ello ocasiona una mayor producción y acumulación de ácido láctico. Éste se combina con el bicarbonato sódico (que amortigua el ácido) y forma lactato sódico, agua y dióxido de carbono. Como sabemos, el aumento del dióxido de carbono estimula a los quimiorreceptores, que indican al centro inspiratorio, que aumente la ventilación. Por lo tanto, el punto de máxima tensión ventilatoria tolerable refleja la respuesta respiratoria al incremento de los niveles de dióxido de carbono. La ventilación aumenta espectacularmente más allá del punto de máxima tensión ventilatoria tolerable, tal como se ve en la tabla 9.2.

Tabla 9.2 Proporción entre ventilación pulmonar (\dot{V}_T) y consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$)

Velocidad de carrera (m/min)	$\dot{V}_T/\dot{V}O_2$
160	21,5
180	20,0
200	20,4
220	20,3
240	24,9
260	33,3

Nota. Obsérvese el súbito incremento en $\dot{V}_T/\dot{V}O_2$ en el punto de ruptura ventilatoria.

PUNTO CLAVE

La ventilación se incrementa durante el ejercicio en proporción directa a la intensidad del esfuerzo que se está ejecutando hasta el punto de máxima tensión ventilatoria tolerable. Más allá de este punto, la ventilación aumenta desproporcionadamente conforme el cuerpo intenta eliminar el exceso de CO_2 .

Umbral anaeróbico

El desproporcionado incremento de la ventilación sin un auge el hecho que el punto de máxima tensión ventilatoria tolerable puede estar relacionado con el umbral del lactato (el punto en que el lactato sanguíneo comienza a acumularse por encima de los niveles de reposo durante una prueba de esfuerzo progresiva). El punto de máxima tensión ventilatoria tolerable refleja un incremento en el volumen de dióxido de carbono producido por minuto ($\dot{V}CO_2$). Recordemos del capítulo 5 que la relación de intercambio respiratorio (R) es la proporción entre la producción de dióxido de carbono y el consumo de oxígeno. Por lo tanto, la mayor producción de dióxido de carbono provoca que R aumente también.

El mayor $\dot{V}CO_2$ se creía que era el resultado del exceso de dióxido de carbono liberado del bicarbonato que amortiguaba el ácido láctico. Wasserman y McIlroy acuñaron el término **umbral anaeróbico** para describir este fenómeno porque suponían que el repentino aumento del CO_2 reflejaba un cambio hacia un metabolismo más anaeróbico.¹⁰ Emplearon el incremento de R como marcador del umbral anaeróbico y creyeron que ésta era una buena alternativa no invasiva a la toma de muestras de sangre para detectar el inicio del metabolismo anaeróbico.

Con los años, este concepto ha sido refinado considerablemente. La técnica más precisa para la identificación del umbral anaeróbico parece implicar ahora el control del equivalente ventilatorio para el oxígeno ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) y el equivalente ventilatorio para el dióxido de carbono ($\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$), que es la proporción entre la cantidad de aire respirado y la cantidad de dióxido de carbono producido. El criterio más específico para la estimación del umbral anaeróbico es un incremento sistemático en el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ sin un aumento concomitante en el $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$. Esto se ilustra en la figura 9.13. El equivalente respiratorio para el dióxido de carbono permanece relativamente constante, indicando que la ventilación se mantiene al nivel de las necesidades del cuerpo para eliminar el CO_2 . El incremento en el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ indica que el aumento de la ventilación para eliminar el CO_2 es desproporcionado en relación con las necesidades del cuerpo para proporcionar oxígeno.

El umbral anaeróbico se ha usado como una estimación no invasiva del umbral del lactato, y bajo la mayoría de las condiciones ambos se producen en el mismo momento de una serie de ejercicio creciente, o en el mismo porcentaje de con-

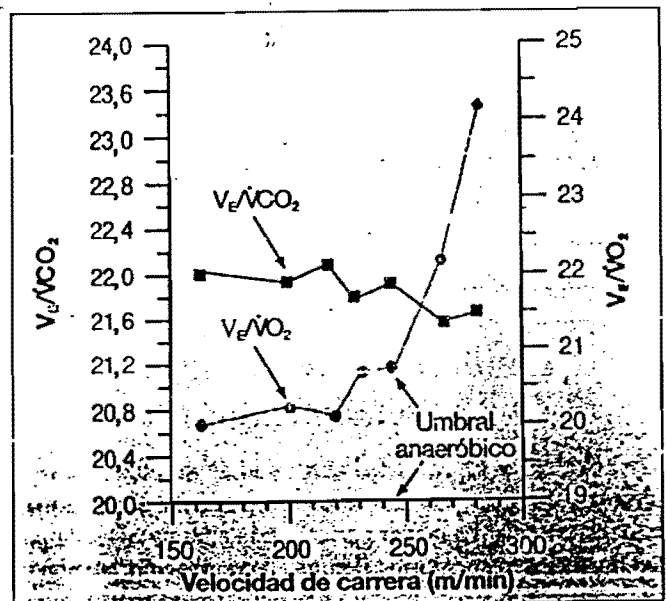


Figura 9.13 Cambios en el equivalente ventilatorio para el dióxido de carbono ($\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$) y el equivalente ventilatorio para el oxígeno ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) durante intensidades crecientes de carrera.

sumo máximo de oxígeno. No obstante, hay excepciones.¹ Por ejemplo, las personas con la enfermedad de McArdle son incapaces de incrementar los niveles de lactato y de H⁺ en sangre durante el ejercicio debido a una falta de fosforilasa muscular. Muestran un claro umbral anaeróbico durante la realización de ejercicios de intensidad creciente, aunque la concentración de lactato en sangre siga siendo la de los niveles en reposo. El agotamiento de las reservas de glucógeno antes del ejercicio también altera la relación entre el umbral anaeróbico y el del lactato.

El umbral anaeróbico refleja con precisión el umbral del lactato en la mayoría de las condiciones; no obstante, ciertamente la relación no es perfecta.

RESUMEN

1. Durante la realización de ejercicios suaves con un estado constante, la ventilación refleja con precisión el ritmo del metabolismo energético. La ventilación evoluciona en paralelo al consumo de oxígeno. La proporción de aire ventilado con el oxígeno consumido es el equivalente ventilatorio del oxígeno ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$).
2. El punto de máxima tensión ventilatoria tolerable es el momento en que la ventilación se incrementa abruptamente, aunque el consumo de oxígeno no lo haga. Este incremento refleja la necesidad de eliminar el exceso de dióxido de carbono.
3. El umbral anaeróbico puede determinarse identificando el punto en que el $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ muestra un súbito incremento mientras el $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ permanece relativamente estable. El umbral anaeróbico se ha usado como una estimación no invasiva del umbral del lactato.

Limitaciones respiratorias al rendimiento

Como todos los aspectos de la actividad de los tejidos, la ventilación pulmonar y el transporte de gases en el cuerpo requieren energía. La mayor parte de esta energía es usada por los músculos respiratorios durante la ventilación pulmonar. En reposo, sólo alrededor del 2% del total de la energía usada por el cuerpo es utilizada por los músculos respiratorios para respirar. Cuando el ritmo y la profundidad de la ventilación aumentan, también lo hacen sus costes de energía. Más del 15% del oxígeno consumido durante la realización de ejercicios pesados puede ser usado por el diafragma, los músculos

intercostales y los abdominales para la ventilación. Durante la recuperación, la respiración continúa exigiendo mucha energía, representando entre el 9 y el 12% del total del oxígeno consumido.

Aunque los músculos respiratorios están muy cargados durante el ejercicio, la ventilación es suficiente para prevenir una elevación del dióxido de carbono alveolar o un declive de la PO_2 alveolar durante actividades que duran sólo unos pocos minutos. Incluso durante la realización de esfuerzos máximos la ventilación no suele ser llevada hasta la capacidad máxima de una persona para hacer entrar y salir aire de los pulmones. Esta capacidad se denomina ventilación voluntaria máxima (VVM). No obstante, recientemente se han encontrado pruebas que sugieren que la ventilación pulmonar puede ser un factor limitante en los sujetos altamente entrenados durante la realización de ejercicios máximos agotadores.¹

Algunos investigadores han sugerido que una respiración fuerte durante varias horas (como, por ejemplo, corriendo una maratón) puede producir el agotamiento del glucógeno y la fatiga de los músculos respiratorios. No obstante, unas ratas no entrenadas estudiadas mientras hacían ejercicio experimentaron un ahorro sustancial de su glucógeno muscular respiratorio, comparado con el glucógeno muscular de sus extremidades posteriores. Desgraciadamente, no se dispone de datos similares de humanos, pero nuestros músculos respiratorios aparentemente están mejor diseñados para las actividades de larga duración que los músculos de nuestras extremidades. El diafragma, por ejemplo, tiene una capacidad oxidativa dos o tres veces mayor (enzimas oxidativas y mitocondrias) y más densidad capilar que otros músculos esqueléticos. En consecuencia, se puede obtener más energía de la oxidación de las grasas en el diafragma que en otros músculos.

La resistencia en los conductos respiratorios y la difusión de los gases en los pulmones no limitan el ejercicio en un individuo normal y sano. Aunque el volumen de aire inspirado puede incrementarse 10 o 20 veces durante el ejercicio, la resistencia de los conductos respiratorios se mantiene a niveles casi de reposo debido a la dilatación de los mencionados conductos respiratorios (mediante un incremento en la apertura de la laringe y por broncodilatación). La sangre que sale de los pulmones permanece casi saturada de oxígeno incluso durante la realización de esfuerzos máximos. Es decir, que el sistema respiratorio está bien diseñado para acomodarse a las demandas de la respiración intensa durante la realización de esfuerzos físicos de corta y de larga duración. No obstante, los individuos que consumen cantidades inusualmente grandes

PUNTO CLAVE

Se ha demostrado que los corredores de fondo muy entrenados tienen limitaciones respiratorias en su rendimiento. No pueden ventilar suficientemente sus pulmones para impedir una reducción de la PO_2 de la sangre arterial, lo que conlleva a una menor saturación de la hemoglobina.

de oxígeno durante la realización de ejercicios agotadores pueden encontrarse con algunas limitaciones respiratorias.

El aparato respiratorio puede limitar también el rendimiento de personas con conductos respiratorios anormalmente estrechos u obstruidos. Por ejemplo, el asma produce la constricción de los tubos bronquiales y la inflamación de sus membranas mucosas. Estos efectos producen una considerable resistencia a la ventilación, así como falta de aliento. Se sabe que el ejercicio tiene un efecto adverso en algunas personas con asma. El mecanismo o mecanismos por los que el ejercicio induce la obstrucción de los conductos respiratorios en individuos con asma no se conocen a pesar de haberse llevado a cabo extensos estudios. Sly y Eggleston han presentado minuciosos estudios sobre este tema.^{4*}

RESUMEN

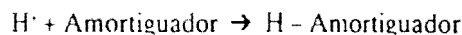
1. Más del 15% del consumo total de oxígeno del cuerpo durante la realización de ejercicios pesados puede tener lugar en los músculos respiratorios.
2. La ventilación pulmonar no suele ser un factor limitante del rendimiento, incluso durante la realización de esfuerzos máximos, aunque puede limitar el rendimiento en unas pocas personas altamente entrenadas.
3. Los músculos respiratorios parecen estar mejor diseñados para evitar la fatiga durante las actividades de larga duración que los músculos de las extremidades.
4. La resistencia de los conductos aéreos y la difusión de los gases no suele limitar el rendimiento de los individuos normales y sanos.
5. El aparato respiratorio puede limitar el rendimiento de personas con trastornos respiratorios restrictivos u obstructivos.

Regulación respiratoria del equilibrio acidobásico

Tal como se ha indicado antes, la actividad muscular intensa ocasiona con frecuencia la producción y acumulación de lactato y de H^+ . Esto puede dificultar el metabolismo energético y reducir la fuerza contráctil de los músculos. Aunque la regulación corporal del equilibrio acidobásico supone algo más que el mero control de la respiración, lo incluimos aquí porque el aparato respiratorio juega un papel crucial en el ajuste rápido del estatus acidobásico del cuerpo durante e inmediatamente después del ejercicio.

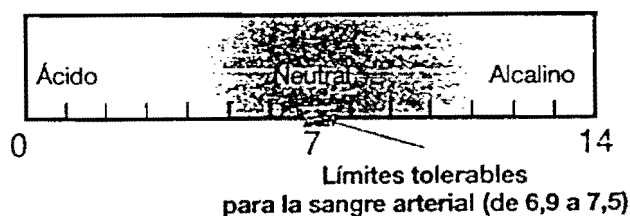
Los ácidos, tales como el ácido láctico y el ácido carbónico, liberan iones de hidrógeno (H^+). Tal como se ha indicado en el capítulo 5, el metabolismo de los hidratos de carbono, de las grasas o de las proteínas produce ácidos inorgánicos que se

disocian, incrementando la concentración de H^+ en los fluidos corporales. Para minimizar los efectos de los H^+ libres, la sangre y los músculos contienen sustancias base que se combinan con los H^+ y, por lo tanto, los amortiguan o neutralizan.



En condiciones de reposo, los fluidos corporales tienen más bases (tales como el bicarbonato, los fosfatos y las proteínas) que ácidos, produciendo un pH en los tejidos que oscila entre 7,1 en los músculos y 7,4 en la sangre arterial. Los límites tolerables para el pH de la sangre arterial van desde 6,9 hasta 7,5, aunque estos extremos pueden tolerarse solamente durante unos pocos minutos (ver figura 9.14). Una concentración de H^+ por encima de lo normal recibe el nombre de

a. pH de la sangre arterial



b. pH del músculo

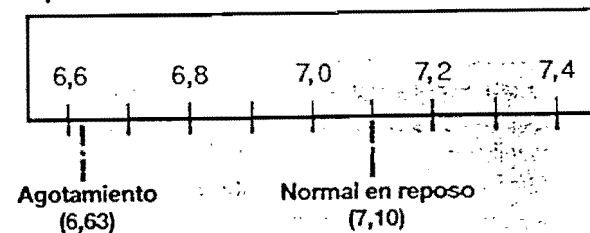


Figura 9.14 Límites tolerables para (a) el pH de la sangre arterial y (b) el muscular en reposo y en el agotamiento. Obsérvese la pequeña amplitud de la tolerancia fisiológica tanto para el pH muscular como para el pH de la sangre.

acidosis, mientras que una reducción de los H^+ por debajo de su concentración normal recibe la denominación de alcalosis.

El pH de los fluidos corporales intra y extracelulares es mantenido dentro de una amplitud relativamente limitada por:

- amortiguadores químicos;
- ventilación pulmonar y
- la función de los riñones.

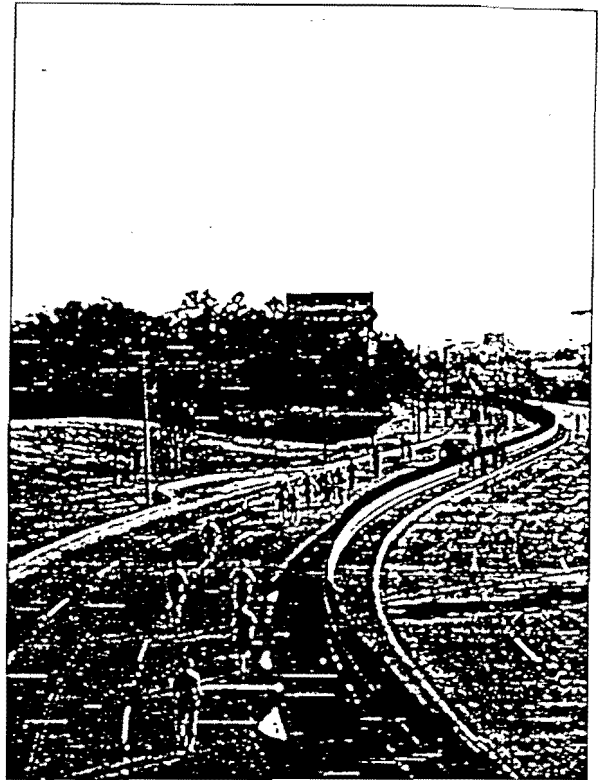
Los tres amortiguadores químicos más importantes del cuerpo son el bicarbonato (HCO_3^-), los fosfatos (P_i) y las pro-

Contaminación atmosférica

Durante los últimos 20 años, ha aumentado la preocupación por los posibles problemas asociados con la práctica del ejercicio en un ambiente contaminado. El aire de muchas ciudades está contaminado con pequeñas cantidades de gases y partículas que no se encuentran de modo natural en el aire que respiramos. Cuando el aire se estanca o cuando se produce una inversión de temperatura, algunos de estos contaminantes alcanzan concentraciones que dificultan significativamente el rendimiento deportivo. Los contaminantes que más preocupan son el monóxido de carbono, el ozono y los óxidos de azufre.

El monóxido de carbono (CO) es un gas inoloro que entra rápidamente en la sangre cuando es respirado y puede resultar letal. La afinidad de la hemoglobina por el monóxido de carbono es aproximadamente 240 veces mayor que su afinidad por el oxígeno, por lo que la hemoglobina se combina preferentemente con el monóxido de carbono. Los niveles de monóxido de carbono en sangre son directamente proporcionales a los existentes en el aire inspirado. Diversos estudios han informado sobre una reducción lineal en el $\dot{V}O_2$ máx. con incrementos de los niveles de monóxido de carbono en la sangre. Estudios de la literatura sobre este tema han concluido que la reducción del $\dot{V}O_2$ máx. no es estadísticamente significativa hasta que los niveles de monóxido de carbono superan el 4,3%, aunque el tiempo cronometrado sobre cinta ergométrica se ha reducido con niveles de monóxido de carbono de tan sólo el 2,7%.^{5,6} El ejercicio submáximo a menos del 60% del $\dot{V}O_2$ máx. no parece quedar afectado hasta que los niveles de monóxido de carbono en la sangre rebasan el 15%.

El ozono (O_3) es el oxidante fotoquímico más común. Produce muchos trastornos subjetivos cuando su concentración en el aire inspirado es alta. La irritación de los ojos, la rigidez en el pecho, la falta de aliento, la tos y la náusea son trastornos comunes. El ozono afecta especialmente el conducto respiratorio. Se producen reducciones en la función pulmonar con el incremento de las concentraciones de ozono, así como con la exposición y la ventilación incrementadas. Se ha descubierto que el $\dot{V}O_2$ máx. se reduce significativamente después de 2 h de ejercicio intermitente con la exposición a 0,75 ppm de ozono. Esta reducción del $\dot{V}O_2$ máx. está relacionada probablemente con la transferencia de oxígeno a los pulmones, como consecuencia del reducido intercambio de aire alveolar.



© JStocky Knellen/Text stock Photo Inc.

El dióxido de azufre (SO_2) es otro de los contaminantes que preocupa. Las investigaciones sobre el dióxido de azufre y el ejercicio son limitadas, pero sabemos que los niveles en el aire de este gas superiores a 1,0 ppm producen notables molestias y perjudican el rendimiento.⁸ El dióxido de azufre es principalmente un irritante del conducto respiratorio superior y de los bronquios.

Ciertas ciudades han iniciado alertas de contaminación del aire. Suelen codificarse mediante colores que indican la gravedad de la contaminación. Es preciso establecer normas dentro del ámbito nacional y controlar el aire en consecuencia. Aumenta la certeza de que es aconsejable suspender todos los juegos y prácticas deportivas cuando los niveles de contaminación ponen en peligro la salud de los deportistas.

Esperemos que las investigaciones actuales y futuras proporcionen una comprensión más clara de las limitaciones impuestas por los contaminantes del aire.

teínas. Además de éstos, la hemoglobina de los glóbulos rojos, tal como se ha mencionado anteriormente, también es un importante amortiguador. La tabla 9.3 ilustra las contribuciones relativas de estos amortiguadores en el control de los ácidos de la sangre. Recordemos que el bicarbonato se combina con los H^+ para formar ácido carbónico, eliminando con ello su influencia acidificante. A su vez, el ácido carbónico forma dióxido

de carbono y agua en los pulmones. Luego el CO_2 es espirado y sólo queda agua.

La cantidad de bicarbonato que se combina con los H^+ iguala la cantidad de ácido amortiguado. Cuando el ácido láctico hace bajar el pH desde 7,4 hasta 7,0, se ha usado más de 60% del bicarbonato inicialmente presente en la sangre. Incluso en condiciones de reposo, el ácido producido por lo

Tabla 9.3 Capacidad de amortiguación de los componentes de la sangre

Amortiguador	Stykes*
Bicarbonato	18,0
Hemoglobina	8,0
Proteínas	1,7
Fosfatos	0,3
Total	28,0

* Miliequivalentes de iones de hidrógeno tomados por cada litro de sangre desde un pH de 7,4 hasta 7,0.

productos finales del metabolismo eliminará una porción importante del bicarbonato de la sangre, si no hay otro modo de eliminar los H^+ del cuerpo. Afortunadamente, a la sangre y a esos amortiguadores sólo se les requiere transportar ácidos metabólicos desde sus lugares de producción (los músculos) hasta los pulmones o los riñones, donde pueden ser eliminados. Una vez se ha completado el transporte, las moléculas amortiguadoras pueden usarse de nuevo.

En las fibras musculares y en los túbulos de los riñones, los H^+ son amortiguados principalmente por fosfatos, tales como el ácido fosfórico y el fosfato sódico. Lamentablemente, no se sabe tanto sobre la capacidad de los amortiguadores albergados en las células, aunque sabemos que las células contienen más proteínas y fosfatos, y menos bicarbonato, que los fluidos extracelulares.

Tal como se ha indicado anteriormente, cualquier incremento de los H^+ libres de la sangre estimula al centro respiratorio a incrementar la ventilación. Esto facilita el enlace de H^+ y de bicarbonato y la eliminación del dióxido de carbono. El resultado final es una reducción de los H^+ libres y un incremento del pH de la sangre. Por lo tanto, los amortiguadores químicos y el aparato respiratorio facilitan medios temporales de neutralización de los efectos agudos de la acidosis del ejercicio. Para mantener una reserva amortiguadora constante, los H^+ acumulados son eliminados del cuerpo por los riñones y por el sistema urinario. Los riñones filtran H^+ de la sangre junto con otros productos de deshecho. Esto proporciona un medio para eliminar los H^+ del cuerpo, manteniendo simultáneamente la concentración del bicarbonato extracelular.

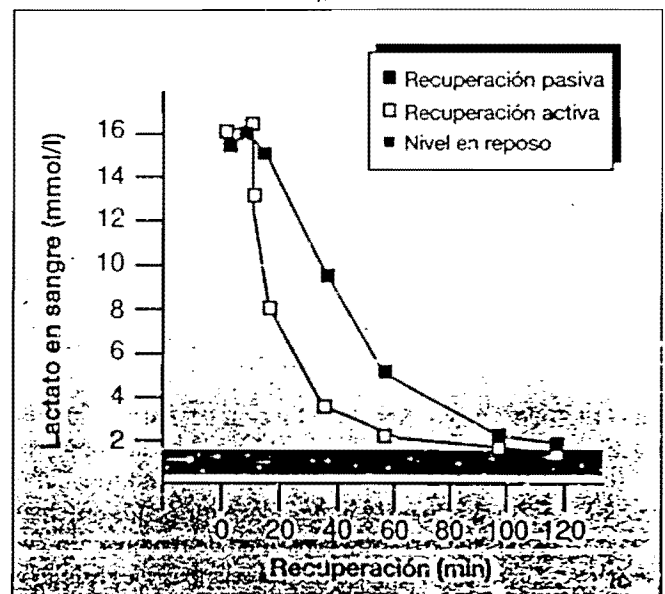
Durante la realización de ejercicios con *sprint*, los músculos generan una gran cantidad de lactato y de H^+ , lo cual reduce el pH muscular desde un nivel de reposo de 7,08 hasta menos de 6,7. Tal como se muestra en la tabla 9.4, un *sprint* a fondo de 400 m produce una caída en el pH de los músculos de las piernas, situándolo en 6,63, y una elevación en el lactato muscular desde un valor en reposo de 1,2 mmol/kg hasta 19,7 mmol/kg en los músculos. Tal como se ha indicado anteriormente, tales trastornos en el equilibrio acidobásico dificultan la contractilidad muscular y su capacidad para generar ATP. El lactato y los H^+ se acumulan en los músculos, en parte porque no se difunden libremente a través de las membranas de las

fibras. Aparte de la gran producción de lactato y de H^+ durante los 60 s requeridos para correr 400 m, estos productos de deshecho se difunden por los fluidos corporales y alcanzan el equilibrio después de sólo 5 o 10 min de recuperación. Cinco minutos después del ejercicio, los corredores evaluados para la tabla 9.4 tenían valores de pH en la sangre de 7,10 y valores de lactato en la sangre de 12,3 mmol/l, en comparación con un nivel de pH en reposo de 7,40, y de lactato, de 1,5 mmol/l.

Tabla 9.4 pH y concentración de lactato en sangre y en los músculos después de una carrera de 400 m

Corredor	Tiempo (s)	Músculos		Sangre	
		pH	Lactato (mmol/l)	pH	Lactato (mmol/l)
1	61,0	6,68	19,7	7,12	12,6
2	57,1	6,59	20,5	7,14	13,4
3	65,0	6,59	20,2	7,02	13,1
4	58,5	6,68	18,2	7,10	10,1
Medio	60,4	6,63	19,7	7,10	12,3

El restablecimiento de niveles normales en reposo de lactato en sangre y en los músculos después de una serie tan agotadora de ejercicios es un proceso relativamente lento, que con frecuencia requiere de 1 a 2 h. Tal como se muestra en la figura 9.15, la recuperación del valor en reposo del lactato sanguíneo

**Figura 9.15** Efectos de la recuperación activa y pasiva de los niveles de lactato después de una serie de *sprint* agotadora.

es facilitada por un ejercicio continuo de menor intensidad, llamado **recuperación activa**.⁷ Después de unas series de *sprint* agotadores, los participantes en este estudio se sentaron silenciosamente (recuperación pasiva) o se ejercitaron a una intensidad del 50% del $\dot{V}O_2$ máx. El lactato sanguíneo se elimina más rápidamente durante la recuperación activa porque la actividad mantiene elevado el flujo de sangre a través de los músculos activos, lo que a su vez favorece la difusión del lactato fuera de los músculos y la oxidación del mismo.

Aunque el lactato sanguíneo permanece elevado durante 1 o 2 h después de un ejercicio altamente anaeróbico, las concentraciones de H^+ en sangre y en los músculos vuelven a sus niveles normales al cabo de 30 ó 40 min de recuperación. La amortiguación química, principalmente con el bicarbonato, y la eliminación respiratoria del exceso de dióxido de carbono son responsables de este relativamente rápido regreso a la homeostasis acidobásica normal.

RESUMEN

1. El exceso de H^+ (menor pH) dificulta la contractilidad muscular y la formación de ATP.
2. El aparato respiratorio desempeña una función integral en el mantenimiento del equilibrio acidobásico.
3. Siempre que los niveles de H^+ comienzan a elevarse, el centro respiratorio responde incrementando la respiración. La eliminación del dióxido de carbono es un medio esencial de reducción de las concentraciones de H^+ . El dióxido de carbono se transporta principalmente combinado con bicarbonato. Una vez llega a los pulmones, el dióxido de carbono se forma de nuevo y es espirado al aire.
4. Siempre que los niveles de H^+ comienzan a elevarse, a partir de la acumulación de dióxido de carbono o de lactato, los iones de bicarbonato pueden amortiguar los H^+ para prevenir la acidosis.

Conclusión

En el capítulo 8 hemos tratado la función del sistema cardiovascular durante el ejercicio. En este capítulo hemos observado el papel desempeñado por el aparato respiratorio. También hemos considerado las limitaciones que estos sistemas pueden imponer sobre nuestra capacidad de rendimiento. En el capítulo siguiente, examinaremos las adaptaciones fisiológicas que se producen en el sistema cardiovascular y el aparato respiratorio cuando están expuestos al estímulo repetido del entrenamiento. Veremos cómo estas adaptaciones mejoran la capacidad de estos sistemas para satisfacer las demandas de nuestro cuerpo y cómo pueden optimizar el rendimiento.

Expresiones clave

capacidad de difusión del oxígeno	hiperventilación
centros respiratorios	inspiración
diferencia arteriovenosa de oxígeno (dif. a- $\bar{v}O_2$)	maniobra de Valsalva
difusión pulmonar	membrana respiratoria
disnea	presiones parciales
equivalente respiratorio para el dióxido de carbono ($\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$)	punto de máxima tensión ventilatoria tolerable
equivalente respiratorio para el oxígeno ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$)	respiración externa
espiración	respiración interna
	saturación de la hemoglobina
	umbral anaeróbico
	ventilación pulmonar

Cuestiones a estudiar

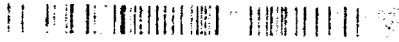
1. Describir las estructuras anatómicas implicadas en la ventilación pulmonar.
2. Identificar los músculos asociados con la respiración y su función en la ventilación pulmonar.
3. ¿Cuáles son las presiones parciales del oxígeno y del dióxido de carbono en el aire inspirado, en el aire alveolar y en la sangre arterial y en la venosa mezclada?
4. ¿De qué formas son transportados el oxígeno y el dióxido de carbono en la sangre?
5. ¿Cuáles son los estímulos químicos que controlan la profundidad y el ritmo de la respiración? ¿Cómo controlan la respiración durante el ejercicio? ¿Cómo se ven afectados durante la hiperventilación voluntaria?
6. ¿Qué otros estímulos controlan la ventilación durante el ejercicio?
7. ¿Cuál es el equivalente ventilatorio para el oxígeno? ¿Cuál es el equivalente ventilatorio para el CO_2 ?
8. Definir el punto de máxima tensión ventilatoria tolerable y el umbral anaeróbico.
9. Definir el umbral del lactato y el umbral anaeróbico. ¿Cómo están relacionados estos términos?
10. ¿Qué función desempeña el sistema respiratorio en el equilibrio acidobásico?
11. ¿Cuál es el pH normal en reposo para la sangre arterial?, ¿y para los músculos? ¿Cómo cambian estos valores como consecuencia de un ejercicio agotador como un *sprint*?
12. ¿Cuáles son los principales amortiguadores en la sangre?, ¿y en los músculos?
13. ¿Cuánto tiempo necesitan el pH y los niveles de lactato sanguíneo para volver a su estado normal después de un *sprint* máximo?

Referencias

1. Anderson, G.S., & Rhodes, E.C. (1989). A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Medicine*, **8**, 43-55.
2. Davis, J.A. (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **17**, 6-18.
3. Dempsey, J.A., Vidruk, E.H., & Mitchell, G.S. (1986). Is the lung built for exercise? *Medicine and Science in Sport and Exercise*, **18**, 143-155.
4. Eggleston, P.A. (1986). Pathophysiology of exercise-induced asthma. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, **18**, 318-321.
5. Folinsbee, L.J., & Raven, P.B. (1984). Exercise and air pollution. *Journal of Sports Sciences*, **2**, 57-75.
6. Guyton, A.C. (1991). *Textbook of medical physiology* (8th ed.). Philadelphia: Saunders.
7. Hermansen, L. (1981). Effect of metabolic changes on force generation in skeletal muscle during maximal exercise. In R. Porter and J. Whelan (Eds.), *Human muscle fatigue: Physiological mechanisms* (pp. 75-88). London: Pitman Medical.
8. Raven, P.B. (1979). Heat and air pollution: The cardiac patient. In M.L. Pollock & D.H. Schmidt (Eds.), *Heart disease and rehabilitation*. Boston: Houghton Mifflin.
9. Sly, R. M. (1986). History of exercise-induced asthma. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **18**, 314-317.
10. Wasserman, K., & McIlroy, M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology*, **14**, 844-852.

Lecturas seleccionadas

- Brooks, G.A. (1985). Response to Davis manuscript. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **17**, 19-21.
- Brooks, G.A., & Fahey, T.D. (1985). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications* (pp. 221-278). New York: Wiley.
- Comroe, J.H. (1974). *Physiology of respiration* (2nd ed.). Chicago: Year Book Medical.
- Costill, D.L. (1970). Metabolic response during distance running. *Journal of Applied Physiology*, **28**, 251-255.
- Costill, D.L., Barnett, A., Sharp, R., Fink, W.J., & Katz, A. (1983). Leg muscle pH following sprint running. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, **15**, 325-329.
- Costill, D.L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E., & Fink, W. (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: Influence of HCO₃⁻. *International Journal of Sports Medicine*, **5**, 228-231.
- Dempsey, J.A., Vidruk, E.H. & Mastenbrook, S.M. (1980). Pulmonary control systems in exercise. *Federation Proceedings*, **39**, 1498-1505.
- Dempsey, J.A., Vidruk, E.H., & Mitchell, G.S. (1985). Pulmonary control systems in exercise: Update. *Federation Proceedings*, **44**, 2260-2270.
- Dempsey, J.G. (1985). Exercise and chemoreception. *American Review of Respiratory Disease*, **129**, 31-34.
- Powers, S.K., & Howley, E.T. (1990). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance*. Dubuque, IA: Brown.
- Sharp, R.L., Costill, D.L., Fink, W.J., & King, D.S. (1986). Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *International Journal of Sports Medicine*, **7**, 13-17.
- Sutton, J.R., Jones, N.L. & Toews, C.J. (1981). Effect of pH on muscle glycolysis during exercise. *Clinical Science*, **61**, 331-338.



Bloque III

Movimiento corporal



Lora Risco, Josefa (s/f), "El movimiento", en *La educación corporal*, Barcelona, Paidotribo, pp. 49 - 64.

El movimien

El movimiento es la sin
del cu
Josefa Lc

➤ GENERALIDADES

El movimiento como sinónimo de vida representa un auténtico n. de expresión y comunicación. Al mismo tiempo que evidencia la en- vital del sujeto, exterioriza todas sus potencialidades: orgánicas, motr intelectuales y afectivas. El movimiento resulta así mucho más qu acción mecanizada que surge de una adecuada respuesta nerv constituye una forma de expresión, un auténtico lenguaje en el que c íntimamente unidos lo orgánico y lo vivido en su relación con el entc

El movimiento, ha dicho Wallon,(1965) constituye una fuente in table de experiencias, origen de conocimientos y afectos que al ext rizarse se convierten en el lenguaje primero de la expresión del hon lenguaje que conforme se va perfeccionando y enriqueciendo va c tituyéndose en la mejor vía de relación con el mundo de seres y obj

Rousseau, (1961) por su parte, expresa que la capacidad de movimi corporal es expresión primera de la libertad del hombre, y que, e encuentro con el mundo, surge como automanifestación y compraba

de las propias potencialidades, y como conciencia de su capacidad de relación.

En consecuencia, si el movimiento del hombre lleva implícita su propia libertad, será capaz de reconocer y ampliar sus propios límites y potencialidades. Asimismo, si en el movimiento se concreta la interacción del organismo con el medio, éste facilitará la actividad dialéctica de asimilación, adaptación y operación transformadora que es lo que constituye la base de la actividad superior del hombre.

Cada uno impregna su movimiento de un sello personal que identifica su carácter y su personalidad, tanto es así que nunca dos personas se mueven exactamente igual aunque los una un alto grado de parentesco o hayan sido criadas en un medio semejante. Esto se hace evidente cuando un grupo de personas ejecutan una misma actividad o el mismo patrón de movimiento. Más aún: la misma persona varía notablemente la calidad de sus movimientos según el estado de ánimo y las circunstancias en que se encuentre.

Estas características psicomotrices tipifican a cada persona y van determinándose con la intervención de factores tales como la herencia y el medio socioeconómico y cultural para fijar conductas motoras y psicomotoras.

El modo de caminar de un sujeto, por ejemplo, constituye un rastro característico de su estado de salud a la vez que de su ánimo y de la actitud relacional que mantiene con el mundo exterior. La forma cómo lleva su tronco y desplaza sus brazos está condicionada fisiológica y mecánicamente, pero las características de amplitud, dirección y acento del balance al alternar los brazos adelante y atrás son siempre diferentes. En cada caso está implícito el temperamento, las circunstancias y los hábitos que dotan a la persona de una actitud corporal propia. Igualmente, observando el caminar de un hombre en la ciudad, el campo o desplazándose en el recinto deportivo podemos distinguir en cada uno movimientos característicos, debido a que las circunstancias obligan a cambiar la intención, que es la expresión directa de la vivencia de quien ejecuta la acción.

Las respuestas activas del hombre ante las circunstancias no son meras respuestas motrices sino esencialmente psicomotrices donde lo mental, lo afectivo y lo cinético comparten por igual la consecución del movimiento planteándolo y comunicándolo. Un juicio sobre el movimiento involucra por tanto un juicio sobre la naturaleza de quien se mueve y del medio en donde se mueve.

INFLUENCIAS DEL MEDIO

Lo dicho anteriormente nos conduce a reconocer la importancia del medio en las proyecciones del movimiento del hombre. Al respecto podemos dejar de referirnos a las consecuencias que la industrialización está teniendo en la vida del ser humano.

Por tanto, es importante mencionar las condiciones del hábitat en el que el hombre vive y se desenvuelve durante gran parte de sus horas diarias, así como la actividad laboral, donde tiene que someterse a restricciones cinéticas que provienen principalmente de su ocupación. Estas circunstancias, por demás adversas, obligan al hombre a restringir al máximo su lenguaje cinético y, con ello, a dejar percibir el estímulo vital que representa para la conservación de la vida.

La influencia del medio sobre la cantidad y calidad del movimiento puede observarse en el hombre en contacto con la naturaleza, así como en las grandes ciudades, donde tiene que sujetarse a las normas establecidas. Indudablemente, la diferencia entre sus respectivos movimientos es palmaria. Ritmo, fluidez y amplitud de movimiento han sido influenciados por la ecología, la geografía y el ambiente social. Vemos, entonces, que el hombre que habita en contacto con la naturaleza conserva su movimiento variado y expresivo, un lenguaje auténtico en el que cada gesto es un símbolo que comunica ideas y sentimientos, aun sin necesidad de recurrir a la palabra hablada. Su riqueza de movimiento, ejercitado en su diálogo con la naturaleza, le permite expresar vivencias muy variadas, plenas de espontaneidad.

En el caso del hombre que incursiona en el ambiente industrial se pone de manifiesto las tensiones que se desprenden de su enfrentamiento con el medio, el cual lo conduce a estereotipar su gesto, sus habilidades y destrezas motoras en detrimento de su espontaneidad.

Más aún, en el primer caso el hombre estuvo obligado a recurrir permanentemente a su creatividad para resolver las situaciones, siempre cambiantes, planteadas por un mundo por conquistar; en el segundo, cambio el hombre está obligado a adaptarse a situaciones preestablecidas a condicionar su movimiento a las exigencias de la máquina y a las urgencias del rendimiento, condición que además le hace perder su libertad y, con ello, toda la posibilidad de ejercitar su don más preciado como ser humano: su creatividad.

Concluyo expresando que el movimiento humano, influenciado por el medio, tiene gran similitud con la comparación entre los movimientos

niño y del adulto. La relación elemental y franca que se establece entre el niño y el mundo de seres y objetos traduce un movimiento espontáneo rico que pone de manifiesto todas las posibilidades propias de su capacidad de movimiento. El niño, en su inquietud por explorar el mundo la necesaria búsqueda de nuevas maneras de actuar, mantiene en toda su pureza su capacidad de expresión y comunicación corporal.

El movimiento como dinámica relacional

El movimiento constituye el medio de expresión y relación concreta con el mundo exterior desde donde se origina y construye la conciencia, relaciones y correlaciones del niño, conjunto de sensaciones y percepciones con las que va organizando y autorregulando su conciencia.

En consecuencia, conciencia y conducta humanas representan un solo fenómeno en permanente pulsión dialéctica sin posibilidad de aislarse, ya que es por la acción como movimiento intencional, que el niño, unidad psicomotora, se relaciona con la realidad y gracias a él organiza las sensaciones y percepciones, tiempo que va conservando esas vivencias para conocerse y conocer. El desarrollo del niño resulta entonces, simultáneamente, de una perspectiva biológica, desde la cual se van organizando sensaciones y percepciones, y de una perspectiva social por la que sus interacciones con el adulto van orientando su experiencia con los demás. Interacciones que inicialmente dependen del lenguaje corporal, aunque posteriormente el lenguaje verbal entre niño y adulto va a convertirse en el medio regulador y controlador de su comportamiento (acción). En este proceso relacional, objetos e instrumentos representan una manera de relación con los otros. Zaporzhets y Elkonin califican este proceso como socializador, debido a que, en su relación con las cosas, el niño internaliza los valores sociales. El manipular los objetos y la participación en los juegos, por más simples que estos sean, resultan de gran significado en la vida individual y social del niño. Cuando más se detiene éste en el objeto, más profundo es su análisis y más diferenciada será la identificación de sus atributos.

Las acciones simples y económicas con que el niño inicia su actuar sobre las cosas van a ayudarlo a formular su proceso de generalización que será la base de las generalizaciones cognitivas. También en este proceso perceptivo-motor el lenguaje ocupa un lugar de excepción al asegurar el refuerzo de esas generalizaciones.

La motricidad, cada vez más precisa y ajustada al objetivo, otorga al niño mayor posibilidad psicomotriz, pues le permite liberar el córtex y disponerlo a nuevas adquisiciones de habilidades, conocimientos y hábitos, con lo que se incrementará su enriquecimiento y perfeccionamiento.

Nuevamente debemos destacar la influencia de la acción sobre el lenguaje, porque ella abre el camino a las instrucciones verbales. Al actuar sobre el objeto, el niño percibe su imagen como sustituto de lo real y, posteriormente, integra lo real por medio de la comunicación verbal.

El niño inicia su proceso cognoscitivo haciendo sin tomar en cuenta cómo lo hace; más adelante será capaz de comprender y planificar lo que hace. El primer momento de exploración es concreto (manual), basado especialmente en la observación, el segundo es eminentemente cognoscitivo y representativo, basado en asociaciones de imágenes y significaciones. Más aún, la acción orientada por el lenguaje ayuda a desarrollar las funciones de discriminación, asociación y decisión, todo lo cual se constituye en el soporte indispensable para la integración y el desarrollo de los aprendizajes.

Es importante anotar que por medio de las actividades motoras y, en especial, por intermedio de las experiencias motrices globales, el niño procesa toda su información visual y adquiere, al mismo tiempo, la capacidad de ensayar la coordinación y la correlación entre las variadas experiencias e informaciones. El niño que no domina estas actividades globales puede llegar fácilmente a entorpecer el proceso de maduración de su personalidad pudiendo desarrollar distintos comportamientos de inhibición. De aquí la importancia de los sistemas de locomoción y aprehensión, que han de posibilitar los aprendizajes simbólicos.

En consecuencia, corresponde a la sociedad y a la escuela en particular, garantizar al niño las condiciones para su desarrollo motor global, por ser éste el instrumento de orientación, vigilancia y control para la exploración del medio y, lógicamente, para los aprendizajes escolares.

Por su parte, Luria, (1979) destaca la importancia del movimiento en el desarrollo psicológico del niño. «Obsérvense», dice, «cómo desde los momentos iniciales de la vida el movimiento crea los inputs necesarios para la organización sensorial y, como consecuencia, crea también la necesidad de un soporte en el que pueda afianzarse toda la estructuración perceptiva, que es la que conduce a realizar movimientos intencionales, es decir, inteligentes.»

«Sin esta vía de cortilización», agrega, «sería imposible que el movimiento llegara a ser lenguaje.»

El córtex surge así como una gran constelación de trabajo. El cerebro resulta una galaxia conformada por millones de millones de neuronas integradas a un sistema operacional que otorga al hombre la capacidad de programar y orientar todas sus conductas intencionales. Queda así confirmado que no es posible separar los patrones de movimiento de los patrones cognitivos.

Resulta evidente que en cualquier conducta humana existe siempre la conexión entre los aspectos motor y cognitivo. El movimiento más simple y elemental compromete la actividad de análisis y síntesis del córtex, del mismo modo que todo movimiento está en relación con la actividad perceptiva.

German, (1968) considera que el movimiento surge como un verdadero instrumento de aprendizaje y que relegarlo o descuidarlo resulta desastroso para el proceso de explorar, conocer y conquistar el mundo. La exploración motriz prepara para la exploración visual y en ella «la mano adquiere el rol de investigador piloto del movimiento», mientras que la visión contribuye a captar la información.

Barch, (1968) a su vez, expresa que la percepción es movimiento y el movimiento es percepción. Ajustado al objetivo, el movimiento se constituye en el motor del desarrollo de la percepción y, en consecuencia, del fenómeno cognitivo. Del éxito o del fracaso del movimiento depende, fundamentalmente, la capacidad de percepción del cuerpo, del espacio, del tiempo y de los objetos.

Al mismo tiempo que el movimiento es soporte dialéctico y concreto de la percepción, ambos se complementan recíprocamente en términos de comportamiento.

ORGANIZACIÓN DEL MOVIMIENTO

El movimiento es siempre el testimonio de las relaciones y correlaciones entre las funciones periféricas, cumplidas por los músculos y los órganos sensoriales, y las funciones centrales, donde interviene el cerebro. Actividad dialéctica que representa la interdependencia funcional que es lo que constituye la unidad humana.

Las sensaciones, percepciones, imágenes, etc., por un lado y los movimientos, las conductas y comportamientos, por otro, comprenden

El movimiento

todo lo relacionado con la motricidad. De aquí el peligro que significa dividir la motricidad del psiquismo porque, al hacerlo, estaríamos separando la totalidad, ya que la motricidad es definitivamente la materialización del psiquismo. Es sobre este concepto que surge la denominación de psicomotricidad, para mantener vinculados estos dos importantes aspectos de la vida personal y social del hombre. Recordemos que el movimiento, ya sea de carácter involuntario, automático o voluntario, comprende siempre procesos nerviosos de activación e inhibición.

Origen, desarrollo y finalidad del movimiento

Por considerar valioso para el tema que nos ocupa el conocer el origen, desarrollo y finalidad del movimiento incluimos aquí el estudio, aunque somero, de los tres sistemas, *piramidal*, *extrapiramidal* y *cerebeloso*, que intervienen directamente en la organización del movimiento.

1. *El sistema piramidal*, localizado en la circunvolución frontal de la cisura de Rolando, en el área 4 de Broadman, está constituido por dos áreas fundamentales: *área electromotora* y *área psicomotora*, responsables una de la localización motora, donde se registran los engranajes motores, y la otra de la coordinación de movimientos que, a su vez, registran los somatogramas.

El sistema piramidal es el efector del movimiento voluntario; al relacionar la idea a la acción aparece el sistema ideocinético. Dirige además, el movimiento hacia un fin y controla la motricidad segmentada digitomanual.

En contacto directo con los *músculos distales* o de la superficie de cuerpo, conocidos también como de la vida de relación, este sistema es responsable de los movimientos intencionales, voluntarios e inteligentes.

Luria, (1979) resume la función del sistema piramidal diciendo que controla y selecciona la forma, dirección y coordinación adecuadas a una determinada situación y finalidad. Por esta razón se define como un comportamiento que expresa la materialización de la intención.

2. *El sistema extrapiramidal* está localizado en el mesencéfalo, en el subtálamo y en el tálamo, y es el lugar de convergencia de todas las vías de sensibilidad consciente.

Sus funciones son de control del movimiento automatizado, de movilización de las estructuras que orientan los ojos, la cabeza y el cuerpo en general. Está bajo su control la tensión inicial de la motricidad global y es también responsable del juego de los músculos agonistas y antagonistas. Este sistema está más en contacto con los músculos proximales o de profundidad del cuerpo y garantiza la regulación de la postura, que concede preparación y soporte al movimiento.

3. El sistema cerebeloso tiene su asiento en el cerebelo y está directamente ligado al tronco cerebral por pedúnculos que resultan ser la prolongación de la médula. Integrada a este sistema aparece la sustancia reticulada, responsable, a su vez, de la regulación tónica.

El sistema cerebeloso está conformado por dos elementos: el *neurocerebelo*, responsable de la armonía motora, y el *paleocerebelo* responsable del equilibrio y la resistencia a la gravedad.

Sus funciones principales son, pues, las de regular la armonía y el equilibrio interno del movimiento así como la psicomotricidad inconsciente.

Recibe las informaciones sensoriales que llegan de los músculos, de los tendones y las articulaciones, comprometiéndose con las sinergias musculares presentes en la coordinación y amplitud de los movimientos.

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL MOVIMIENTO HUMANO

El estudio del movimiento que hemos abordado nos permite sostener algunos principios básicos que forman el movimiento humano. Para ello acudimos a la teoría movigenética formulada por Barch, (1968) la que nos ayudará a fundamentar y ampliar nuestro punto de vista.

Anotamos los más significativos.

1. El ser humano existe para el movimiento, considerado como la clave y el significado de la vida. A través del movimiento, el hombre cumple su proceso de acomodación y adquiere las respectivas actitudes bio-sociales.

Esta concepción se inserta en la perspectiva de que la vida es una forma particular de movimiento, tanto dentro del organismo como fuera de él. Nada está quieto, todo se mueve en función de la supervivencia.

2. El fin último del movimiento es la supervivencia, porque el ser humano evoluciona luchando por mantener su vida. En este proceso es

imprescindible el aprendizaje, que impulsa a la búsqueda de lo inexplorado como medio para seguir viviendo cada vez en mejores condiciones.

3.- El movimiento se desarrolla en función de cómo se integra el mundo exterior a las propias experiencias. Desde que nace hasta que muere, la vida es transformación de energía captada del mundo exterior, en consecuencia, depende en gran manera de nuestras condiciones y capacidades el que esa capacitación energética sea positiva y armoniosa, en beneficio del hombre.

4. El terreno del movimiento es el espacio, acontece en él y sólo se justifica en relación a dos dimensiones: el cuerpo del individuo, por un lado, y el espacio que lo rodea, por otro. Obligado como está el ser humano a moverse en el espacio físico y cognitivo, será su nivel de ajuste al espacio que le rodea el que determine su éxito o fracaso, su eficacia o su torpeza.

5. El aprendizaje del movimiento acontece en una situación de estrés. El ser humano vive en permanente conflicto con el mundo porque todo lo que existe en él debe conquistarlo y en este camino tiene que aprender a hacerlo. Su éxito o fracaso en el aprendizaje radica en la manera cómo cada cual logra la tensión óptima o preferencial del correspondiente estrés movilizador de la acción a cumplir.

6. El circuito recorrido (*feed-back*) es base fundamental para la eficiencia del movimiento. El mencionado sistema concede el ajuste de movimiento que se regula por su propia acción. Cuando el niño salta un obstáculo, recibe simultáneamente una información visual y una información podal-cinestésica. Al mirar el obstáculo, asegurar su carrera y reconocer la altura a sobrepasar, interviene el mencionado sistema, que es automático, proporcionándole la información que necesita para ejecutar cada movimiento. Teniendo en cuenta su velocidad, la intervención del pie y el impulso de la pierna y los brazos, va creando, según su éxito o fracaso, los cambios necesarios para ir superando lo ejecutado. Su importancia en todo tipo de aprendizaje es manifiesta.

Concluimos asegurando que el niño tiene en el movimiento la potencialidad creadora que le permite actuar sobre las cosas con originalidad. En consecuencia, toda actividad creadora es por sí misma una totalidad psicomotora.

ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO HUMANO

Los campos en que se desarrolla la actividad del hombre influyen en la mecánica, calidad, amplitud e intencionalidad del movimiento. El hombre se mueve en el campo del arte, del trabajo, del deporte... pero fundamentalmente se mueve en su vida diaria. Ese constante y diverso actuar deja en él una huella indeleble, un sello que lo caracteriza. Es así que a lo largo de su vida, desde su nacimiento hasta su muerte, el movimiento se va modificando en calidad y cantidad, sujeto al proceso evolutivo e involutivo de su sistema nervioso, de su organismo y de las circunstancias vividas frente a un ambiente ecológico, geográfico y sociocultural determinado.

Es obvio, entonces, que el estudio del movimiento humano no concierne exclusivamente al campo de la educación física, puesto que sus proyecciones abarcan todas las actividades que el hombre realiza en su proceso existencial. Es por eso que nosotros, de acuerdo con los objetivos del presente trabajo, hemos creído conveniente analizarlo atendiendo a su origen y proceso neurofisiológico, a su calidad, a su funcionalidad y a su papel como factor relacional. Queremos con esto ayudar al educador, no muy preparado en el manejo del movimiento, a distinguir cada uno para que pueda otorgarle el valor que le corresponde dentro del proceso de desarrollo integral del educando.

Analicemos, entonces, los movimientos denominados:

- reflejo o involuntario
- voluntario o consciente
- natural y espontáneo
- artificial
- utilitario, funcional u objetivo
- expresivo o subjetivo
- mecanizado o automático
- vivido

1. *El movimiento reflejo, involuntario o indiferenciado*, es aquel en el que intervienen, en diferente grado, los componentes sensitivos y sensoriales, los centros nerviosos no corticalizados y los centros motores, de ejecución. Coste, (1978) nos dice que el movimiento reflejo representa la aparición de una tensión provocada por un estímulo y adaptado a él.

El movimiento reflejo en el recién nacido es un indicador del buen funcionamiento nervioso, en consecuencia, posee gran importancia para diagnosticar el proceso de desarrollo del niño.

2. *El movimiento voluntario* se identifica por la intervención activa de la corteza cerebral, cuya función radica en el control de movimiento de acuerdo con su capacidad de inhibición y con la intervención de la voluntad.

Ulmeanu, (1969) dice que el movimiento voluntario es un movimiento complejo en el que aparecen movimientos que se asocian en el tiempo y en el espacio. Su origen también la de regular formación, el desarrollo y la orientación del movimiento. La coordinación de este complejo proceso va desarrollándose día a día en la vida del hombre y su ejercitación lo lleva a poner en práctica las habilidades y destrezas más difíciles e insospechadas como son, por ejemplo, las que se cumplen en la gimnasia deportiva actual o las incursiones del hombre en el espacio.

Los movimientos voluntarios están determinados por el estado de todas las relaciones temporales existentes en la corteza cerebral en el momento actual y por toda la experiencia anterior del hombre y las diversas informaciones provenientes del medio interior y exterior.

3. *El movimiento natural* está directamente relacionado con la calidad del movimiento en sí y con la manera fluida y libre con que se manifiesta cuando trata de comunicar algo o relacionarse con el mundo de los objetos y de los demás. El movimiento natural es un tipo de respuesta motora que no se ajusta a patrón cinético alguno y únicamente se supedita a las leyes biomecánicas que rigen la estructura corporal.

4. *El movimiento espontáneo*, a su vez, está directamente relacionado con el estado afectivo del sujeto. Tampoco se sujeta a un patrón cinético y resulta una verdadera respuesta psicomotriz. En él se revela el hombre, con toda autenticidad, y lleva indeleble el sello característico de cada persona.

El movimiento espontáneo surge en el espacio y en el tiempo vivido de cada hombre y pone de manifiesto su pulsión predominante por lo que muchas veces escapa al control de la voluntad.

Al igual que el movimiento voluntario, éste está impregnado de un qué, un por qué y un para qué, lo que significa que siempre está ligado a la experiencia inmediata, como parte integral de ésta. Como el movimiento natural, se supedita a las leyes biomecánicas que rigen la actividad sinética en cuanto a su forma, amplitud y calidad.

El movimiento del niño, natural y espontáneo, al dejar explícito su modo de pensar y de sentir permite conocerlo y ayudarlo a desarrollarse de acuerdo con las potencialidades puestas de manifiesto.

5. *El movimiento artificial* se diferencia del movimiento natural en su calidad, porque se sujeta a normas o patrones orientados a alcanzar un objetivo preestablecido, patrones estos ajenos a los que el hombre realiza en su vida diaria.

El movimiento artificial puede ser parcial, cuando interviene uno o más segmentos del cuerpo, y total, cuando interviene todo el cuerpo. El escribir, el ballet clásico y la esgrima, etc., son movimientos artificiales. Este tipo de movimiento exige la intervención permanente de la voluntad para ajustar sus mecanismos de respuesta motriz al objetivo, generalmente orientado hacia el rendimiento.

6. *El movimiento automático* es el resultante de un movimiento repetido tal número de veces que, posteriormente no requiere la intervención de la voluntad. Este movimiento permite transferir la conciencia del acto realizado, a la ejecución de otras acciones, que pueden ser o no análogas.

El movimiento automático depende de la repetición y ejercitación. Por ser una actividad cada vez mejor coordinada, no necesita forzosamente comprometer a la conciencia, y apenas a la atención. Sin embargo, como dice Paoletti, (1979) el principio y el final del movimiento automático son siempre voluntarios.

El proceso de la automatización se efectúa, pues, progresiva y lentamente y evoluciona de forma paralela a los mecanismos de formación de los hábitos motores. Se basa, por lo tanto, en el fortalecimiento del estereotipo motor que, por su rigidez e invariabilidad, acaba constituyendo el estereotipo fijo.

«Los movimientos automáticos» son regulados, en gran parte, por el sistema extrapiramidal. Los hábitos motores, dice Rudi, (1973) se basan en conexiones temporales muy arraigadas, debido a la constante repetición de una acción. En la vida diaria se requiere de un enorme cantidad de movimientos automáticos, lo cual significa el establecimiento y fijación de un gran número de conexiones nerviosas. Conexiones que son las que garantizan la ejecución correcta de determinados gestos, base de la ejecución de las diferentes actividades que, por otro lado, permiten incrementar la capacidad de adaptación respecto a las condiciones siempre cambiantes del medio.

En el trabajo como en el deporte se requiere mayormente de movimientos automatizados. Pero ellos constituyen también los soportes de donde surgen los movimientos vividos y creativos. Sin embargo, muchas veces la necesidad de aprendizaje de *estructuras motrices tecnificadas*

limita la capacidad adaptativa y creativa ya que, en el momento inicial exige que se constituyan en estereotipo fijo.

En consecuencia, es necesario tener muy en cuenta que el niño, por su poco dominio corporal, su incipiente capacidad de análisis que depende fundamentalmente de su nivel de maduración nerviosa y, especialmente, por su gran plasticidad y su facilidad para formar hábitos, no puede ser sometido prematuramente al aprendizaje de patrones tecnificados de movimiento. Bastante tiene con lo que le plantea el aprendizaje de la compleja actividad que la escritura requiere con el gran esfuerzo motor y psicomotor. El movimiento automatizado de la escritura exige en un principio toda la voluntad del niño para pensar en la forma de mover su brazo, sostener el papel y desplazar su mano. Establecida su automatización, el niño es capaz de llevar su atención al texto escrito en sí. Cuando los mecanismos internos del movimiento son reajustados a nivel subcortical, el niño es capaz de cumplir correctamente la acción de comprender lo que escribe.

En consecuencia, el proceso orgánico y psicomotor del niño requiere de la puesta en actividad del mayor número de conexiones nerviosas (sinapsis), con lo cual se ejercitan tanto su capacidad de adaptación como de exploración de ese mundo que él empieza a explorar y que, más adelante, necesita dominar y transformar.

7. *El movimiento expresivo o subjetivo y el movimiento funcional, concreto, utilitario*, son dos formas del movimiento humano que se diferencian por la intencionalidad que cada uno conlleva: la de comunicar una idea o sentimiento, o la de servirse de él para dominar el mundo de los objetos.

El movimiento expresivo se orienta fundamentalmente a establecer relaciones hombre-hombre, al comunicar corporalmente una vivencia.

El funcional, como su calificativo lo expresa, es el que está «en función de»... y modifica la relación hombre-objeto.

El dominio del movimiento del danzarín, tanto como el del atleta o el del trabajador, representa la capacidad del hombre para expresarse de dos maneras muy diferentes; el primero hace recaer el mayor peso de su expresión psicomotriz en su *sentir*, mientras que en los dos últimos incide sobre su *hacer*.

Sin embargo, en la vida del hombre estas dos formas de expresión cinética aparecen constantemente vinculadas puesto que, de una u otra manera, el *querer* y el *hacer* se aúnan para lograr el dominio de la expresión y de la ejecución, de la necesidad y de la creatividad.

El movimiento vivido constituye para nosotros un movimiento de significado dentro del proceso de educación corporal.

Los interesantes estudios llevados a cabo dentro del campo de la psicología fenomenológica sobre el movimiento vivido lo explican comparándolo con el movimiento mecanizado, del que dicen, que se basa exclusivamente en las leyes de la física y de la fisiología, y se cumple en un proceso de índole muscular dentro de un cuerpo entendido literalmente como estructura mecánica. En cuanto el movimiento vivido lo definen partiendo de la siguiente reflexión: «Toda referencia a algo que se mueve implica el juicio de la naturaleza de aquello que se mueve». En consecuencia, si el hombre es un ser cargado de capacidad de sensibilidad, con un contenido interior, es incuestionable aceptar que el movimiento del hombre se cumple plenamente cuando está impregnado de sentir y dirigido por su intelecto. Cada sujeto, entonces, se tipifica en su movimiento frente a un contexto que, igualmente, lo influencia y caracteriza.

Strauss, (1966) dice, con mucha precisión, que el movimiento mecánico es un movimiento en posición, mientras que el movimiento vivido es un movimiento en situación, porque el movimiento vivido demanda la presencia de una serie de factores que afectan nuestra corporeidad y la llevan a responder, intencionalmente, con actos cargados de afectividad y racionalidad.

El movimiento vivido se da permanentemente en la vida cotidiana y resulta la expresión particular de cada ser.

El proceso educativo, en salvaguarda de la autenticidad del niño, debe tener muy presente el significado de este movimiento y ejercitarlo permanentemente, en especial durante los primeros años de la vida del niño, retardando al máximo su ingreso en la tecnificación, que, en buena cuenta, masifica a los niños y les hace perder su identidad. La escuela, someter al niño prematuramente al aprendizaje de patrones eméticos, consigna una de las dimensiones de la persona humana: lo anatomofisiológico y biomecánico, perdiendo de vista los avances de las ciencias humanas, que consideran al hombre como unidad indivisible a la que hay que atender no tal permanentemente.

Terminamos este análisis del movimiento humano refiriéndonos al estudio que hace Ulmeanu, (19679) sobre las bases fisiológicas del movimiento y que consideramos muy importante actualizar. El autor expresa que el movimiento tal como se manifiesta en los ejercicios

«físicos» es un sistema más o menos estable de procesos nerviosos que determinan la ejecución inmediata de la acción motora con la participación de distintos sistemas funcionales que aseguran el éxito. Este sistema organizado de los procesos de excitación e inhibición de la corteza cerebral ha sido denominado *esterotipo motor*.

Cuando varios excitantes actúan sobre la corteza cerebral y la respuesta motriz surge en un orden invariable en cuanto a su naturaleza, sucesión, intensidad e intervalo, etc., (es decir, que no admite variación), tenemos lo que se denomina *estereotipo fijo*. Cuando los procesos nerviosos corticales tienen un carácter dinámico que se manifiesta por la movilidad del sistema, por su capacidad de modificarse continuamente y readaptarse a las condiciones externas, imprevistas, se origina el estereotipo dinámico. Este proceso se ejercita justamente sobre la base de la *plasticidad* del sistema nervioso central, en consideración a sus posibilidades de adaptación frente a las circunstancias que, en permanente cambio, surgen del medio exterior.

El movimiento natural y espontáneo y el movimiento vivido se nutren permanentemente de los estereotipos dinámicos, que dan paso al ejercicio del sentido creativo y aun a la modificación del entorno.

LA PRAXIA

Completando nuestro intento de clasificar los movimientos del hombre creemos útil referirnos aquí al término praxia, tan empleado dentro de la actividad cinética.

El hombre, para llevar a cabo primero la función de asimilación y de adaptación al mundo, y para transformarlo luego, está obligado a poner en práctica sus ideas o sentimientos, es decir, a realizar acciones. Para cumplirlas con toda precisión y eficacia es necesario que se organice y enlace toda una secuencia de movimientos que estén claramente definidos con un objetivo o meta a alcanzar.

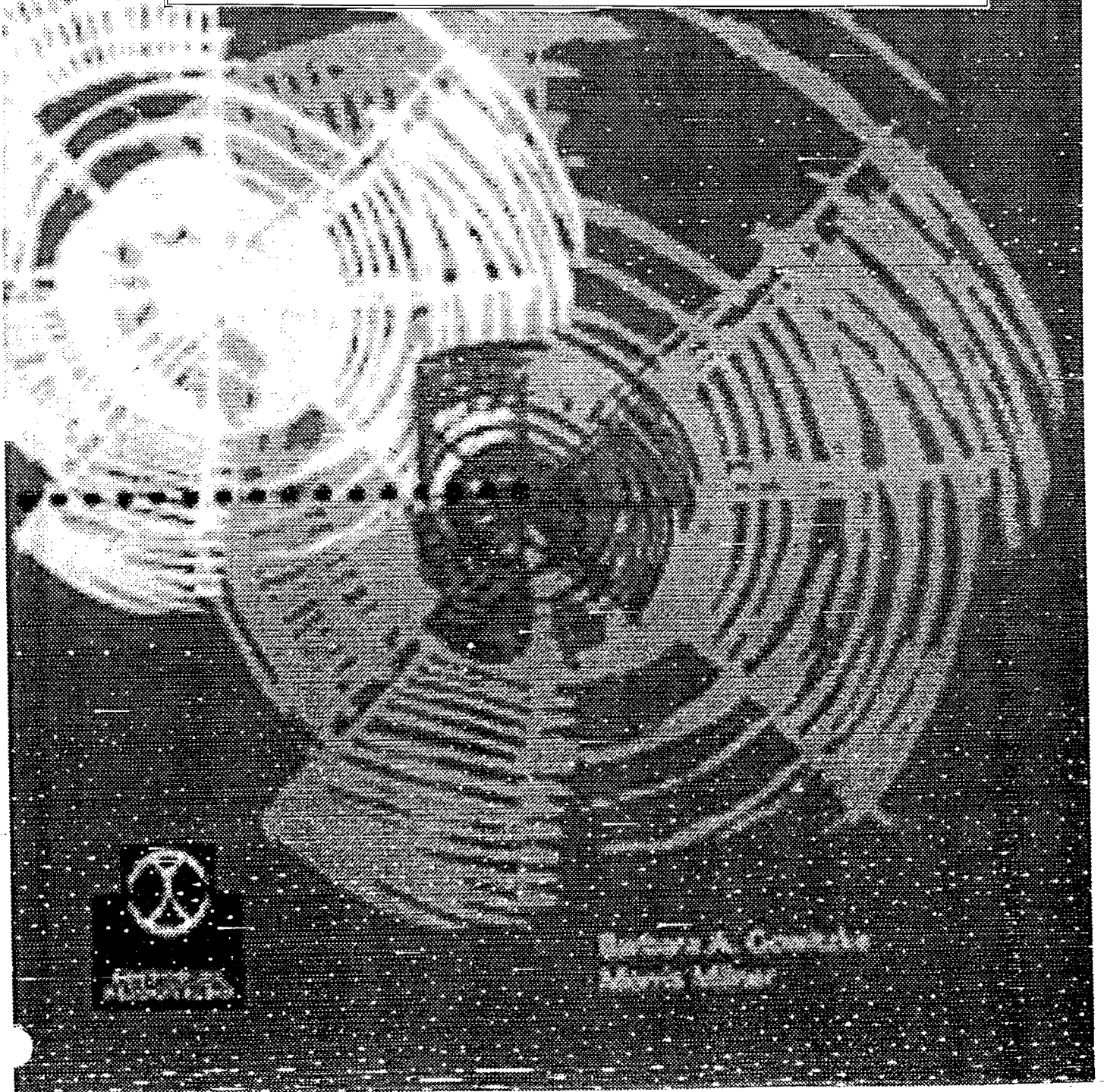
De acuerdo con Paoletti, (1979) el concepto de praxia reúne los aspectos ideomotor y motor de la respuesta motriz y hace referencia a la vez al aspecto consciente de la iniciación y del control voluntario (si es necesario) y al aspecto automático del desarrollo del acto.

Siguiendo a Le Boulch, (1978) decimos que las praxias representan sistemas de movimientos coordinados en función de un resultado o de una intención que son, a su vez, el resultado de una experiencia individual de comportamiento.

En este sentido, volvemos con Paoletti, (1979) para decir que el **endizaje motor** consiste en un perfeccionamiento cada vez más fino **todos los tipos de *feed-backs***, centrales y locales, que se han ido **calando**, los cuales permiten el desarrollo del acto motor con la mínima **intervención** de la conciencia.

EL CUERPO Y SUS MOVIMIENTOS BASES CIENTÍFICAS

Gowitzke, Barbara y Morris Milner (1999), "El sistema esquelético" en *El cuerpo y sus movimientos. Bases científicas*, Barcelona, Paidotribo. pp. 17-47.



El sistema esquelético

Gowitzke, Barbara y Milner, Morris (1999), "El sistema esquelético", en *El cuerpo y sus movimientos bases científicas*, Barcelona, Paidotribo, pp. 17-47.

INTRODUCCIÓN

El sistema esquelético es la estructura ósea que sostiene los órganos corporales, protege muchos de ellos y constituye el núcleo duro de todos los segmentos corporales. Sus muchas articulaciones aportan movilidad, y es la función de estas articulaciones móviles lo que nos interesa para facilitar descripciones del movimiento humano.

Las fuerzas directrices de los componentes o eslabones esqueléticos derivan de acciones musculares, que a su vez son controladas por el sistema nervioso. Los movimientos generales son, por tanto, una manifestación de actividades integradas en un complejo que a menudo se denomina sistema neuromuscular. Para mayor conveniencia y con objeto de facilitar nuestra comprensión de las partes que componen el sistema musculoesquelético, tendemos a diseccionar el sistema y observar cada una de sus partes de forma aislada, así como a simplificar las descripciones de rendimiento global o comportamiento de estas partes. Por ejemplo, el sistema esquelético se puede considerar como un sistema de eslabones interconectados (figura 2.1).

ESLABONES EN EL CUERPO

El concepto de eslabón, diseñado originalmente por ingenieros, fue utilizado por Dempster (1955), el primer cinesiólogo que aplicó este concepto a los problemas que implican tratamientos cinético y cinemático de los movimientos del cuerpo humano. Puesto que en ingeniería los eslabones implican solapar los miembros articulados unidos con pivotes que actúan como ejes de rotación, se considera que un eslabón

es una línea recta de una longitud constante que va de un eje a otro. Un sistema de eslabones es esencialmente una entidad geométrica para el análisis del movimiento por métodos geométricos o cinemáticos. "... En los mecanismos de ingeniería, los eslabones se mueven con respecto a una estructura, la cual constituye a su vez un eslabón en el sistema. Por tanto, para transmitir fuerza, los eslabones de la maquinaria deben formar un sistema cerrado en el que el movimiento de un eslabón tenga relaciones determinadas con todos los demás eslabones del sistema" (Reuleaux, citado por Dempster, 1955).

Reuleaux (1875) también introdujo el término "cadena cinemática" para referirse a un sistema mecánico de eslabones. En ingeniería, la cadena constituye un sistema cerrado en el que, como ya hemos citado, "el movimiento de un eslabón tiene unas relaciones determinadas con todos los demás eslabones del sistema" y "el sistema cerrado garantiza que las fuerzas se transmiten de formas positivas y predeterminadas". Por tanto, en ingeniería una cadena cinemática es un sistema cerrado de eslabones unidos de tal manera que si uno de ellos se mueve sobre un eslabón fijo, todos los demás eslabones se moverán siguiendo un patrón predecible (figura 2.2). Con algunas excepciones, el sistema de eslabones esqueléticos en el cuerpo humano no suele estar compuesto por cadenas cerradas, sino por cadenas abiertas, como los extremos periféricos de las extremidades (figura 2.1).

Las fuerzas pueden ser transmitidas de formas positivas, predeterminadas por el sistema nervioso central, pero éste se caracteriza por no realizar nunca el mismo acto exactamente del mismo modo que la vez anterior, aunque los resultados externos puedan parecer similares. Por tanto, al hablar de una cadena

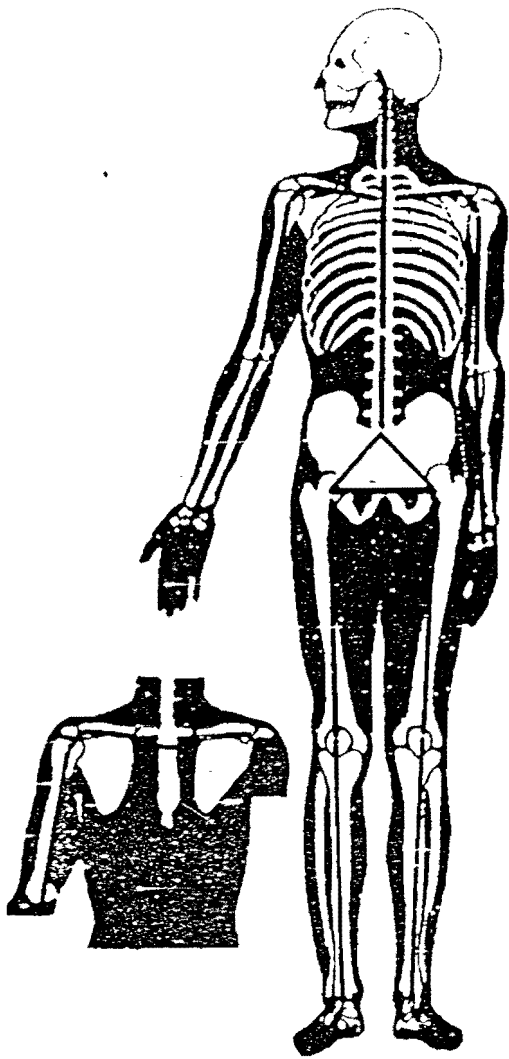


Figura 2.1. El esqueleto humano como sistema de eslabones. Obsérvense los segmentos simplificados dibujados entre las principales articulaciones que constituyen los eslabones anatómicos. (De Dempster, W. T., 1955. *Space Requirements for the Seated Operator*. Wright Air Development Center Technical Report 55159.)

cinemática viva, por regla general nos referimos a una serie de eslabones ordenados en un sistema abierto, cuyas dimensiones están determinadas por la distancia lineal de un eje de articulación a otro, pasando por alto la masa muscular, la estructura ósea y el tipo de articulación entre los segmentos corporales.

Aunque la mayoría de las cadenas cinemáticas vivas son abiertas, Brunnstrom (1983) define dos cadenas cinemáticas cerradas en el cuerpo. La primera es el cinturón pélvico, formado por tres segmentos óseos en las dos articulaciones sacroilíacas y en la

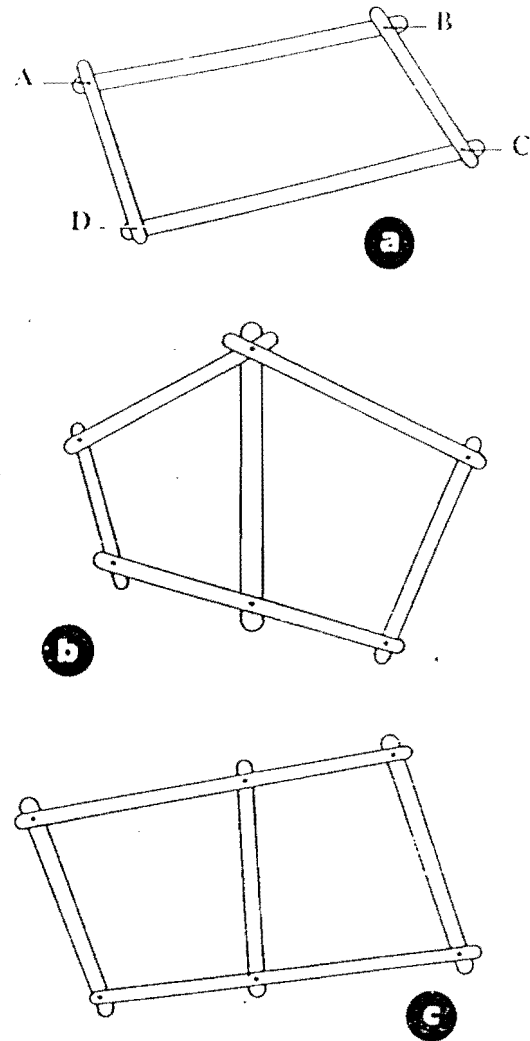


Figura 2.2. Tipos de cadenas cinemáticas cerradas. Todas las articulaciones están sujetas a un eje y tienen libertad de movimiento. Si por ejemplo en (a), el eslabón AB (sujeto en A y B) queda fijo, los eslabones BD, CD y DA, cuando uno o más de ellos se vean influidos por fuerzas de aplicación externa, se moverán siguiendo un patrón predecible que se puede determinar construyendo círculos con A y B como centros y AD y BC como radios respectivos. La distancia inicial entre C y D debe mantenerse a través de las amplitudes de movimiento de C y D para describir el patrón de movimiento posible resultante del sistema de eslabones. Es posible que el estudiante interesado quiera poner en práctica estas construcciones y hacer modelos sencillos para obtener visualizaciones apropiadas.

sífnisis púbica. Esta articulación difícilmente puede clasificarse como una cadena cinemática porque normalmente no se produce ningún tipo de movimiento en las articulaciones mencionadas. Dempster clasifica la pelvis como un único eslabón triangular (figura 2.1). La segunda cadena cinemática cerrada del cuer-

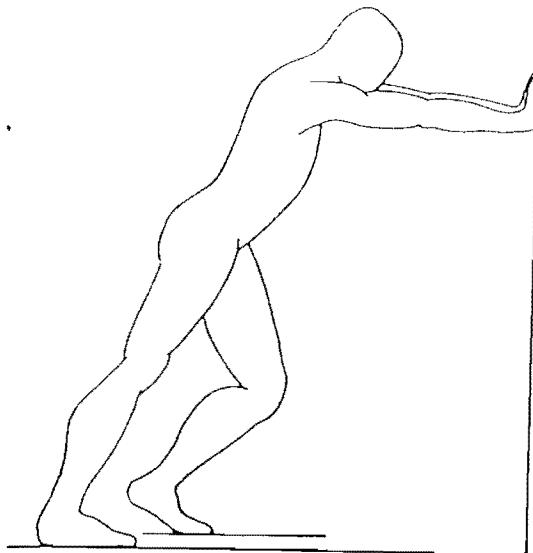


Figura 2.3. Ejemplo sugerido por Steindler de una cadena cinemática cerrada humana. La pared y el suelo ofrecen una resistencia "insuperable" en las articulaciones periféricas.

po de acuerdo con Brunnstrom es el tórax, donde las 10 costillas superiores están unidas a la columna vertebral y al esternón. El tórax, sin embargo, no constituye un sistema de cadenas cinemáticas cerradas porque las 10 costillas superiores del lado izquierdo no se pueden mover sin un movimiento similar de las 10 costillas del lado derecho, cuando levantan el esternón en la inhalación. Steindler* (1973) considera que existe una cadena cerrada viva (que él denomina cinética y no cinemática) en "todas las situaciones en las que la articulación periférica de la cadena se encuentra con una resistencia insuperable" (figura 2.3).

El especialista en rehabilitación puede hacer uso de este concepto al prescribir un ejercicio de movilización con ayuda del propio sujeto. Observemos el siguiente ejemplo, en el que el objetivo del tratamiento consiste en incrementar la flexión de la rodilla en un individuo con una amplitud de movimiento limitada. En la posición inicial, el sujeto está sentado sobre el suelo (o en una mesa de ejercicio) de modo que la rodilla implicada esté tan flexionada como sea posible y

* Aunque Brunnstrom y Steindler utilizaron el término "cadena" modificado por cinemática o cinética, respectivamente, al hacer referencia a una serie de segmentos corporales, no utilizaron el término "eslabones" en sus exposiciones.

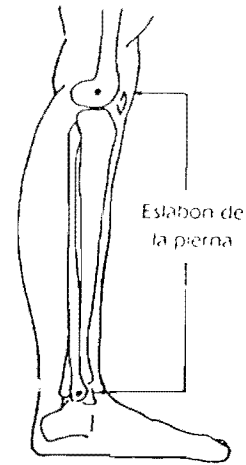


Figura 2.4. Eslabón de la pierna.

el pie esté plano sobre el suelo. Se le dice al sujeto que realice una flexión dorsal del tobillo mientras mantiene el talón en contacto con el suelo. Puesto que el suelo es una resistencia insuperable, se produce un sistema cerrado. Realizando una flexión dorsal del tobillo, se transmiten fuerzas a la articulación de la rodilla, produciéndose como resultado un aumento de la flexión de la rodilla.

Puesto que los huesos del cuerpo rara vez se solapan en la articulación como en el tobillo y, a excepción de la articulación atlantoaxoidea, no tienen ejes centrados con pivotes, y puesto que el movimiento de muchas articulaciones se puede producir en diferentes planos y direcciones, hay que volver a definir el concepto de ingeniería de eslabones para adaptarlo a las necesidades del kinesiólogo. Dempster propuso el uso del término "eslabón" en kinesiólogía como la distancia entre los ejes de la articulación; por ejemplo, el eslabón de la pierna se convierte en la distancia lineal entre los ejes de articulación que atraviesan el extremo distal del fémur y el extremo proximal del talón (o a través de los dos maléolos) abarcando de este modo las articulaciones de la rodilla y el tobillo (figura 2.4).

Puesto que ambos están unidos por un rígido eslabón, se dice que estos dos centros de articulación están obligados a mantener una distancia fija el uno del otro. Esto se denomina **restricción cinemática**.

En el esqueleto apendicular, un segmento corporal consta de un núcleo duro constituido por uno o más huesos envueltos en una masa irregular de tejido blando (músculo, tejido conectivo y piel). Los ligamentos y los tendones musculares atraviesan la articulación entre segmentos corporales contiguos, anclando en el hueso o huesos adyacentes y manteniendo

do todos los segmentos. El eje instantáneo en torno al que un segmento se mueve sobre otro pasa generalmente a través de uno de los huesos por un área cercana a la articulación.

EJES ARTICULARES Y GRADOS DE LIBERTAD

Anatomistas y cinesiólogos dicen que las articulaciones son uni, bi o multiaxiales y que tienen ciertos grados de libertad (Steindler, 1973; Brunnstrom, 1983; Terry y Trotter, 1995). Una articulación con un solo eje (**uniaxial**) tiene un grado de libertad; es decir, los huesos que se articulan sólo pueden desplazarse en un plano. Ejemplos en el cuerpo humano incluyen articulaciones de bisagra y pivote. Las articulaciones de **bisagra** son las del codo, la rodilla, la interfalángica y la del tobillo. Las articulaciones de **pivote** son la atlantooccipital en la columna vertebral y la radioulnar en el antebrazo. Las articulaciones que se pueden mover en dos ejes (**biaxiales**) tienen dos grados de libertad y, por tanto, producen movimiento en dos planos diferentes. La articulación de la muñeca, la metacarpofalángica y la metatarsofalángica son biaxiales. Las articulaciones que permiten el movimiento en los tres planos tienen tres grados de libertad, pero se denominan **multiaxiales** en vez de triaxiales. Esto es así porque el movimiento se puede

hacer en planos oblicuos además de en los tres planos principales, que se definen como tres planos mutuamente perpendiculares. Entre los ejemplos de articulaciones multiaxiales se incluyen las articulaciones de **rótula esférica** en las caderas y los hombros y las numerosas articulaciones planas del esqueleto axial. En este caso, el término "plano" es un adjetivo que hace referencia a las superficies articulares casi planas que pueden deslizarse una sobre otra, quedando el movimiento limitado únicamente por ligamentos o por la cápsula de la articulación. Algunos ejemplos incluyen las articulaciones entre las apófisis articulares de las vértebras y entre las costillas y las vértebras. Estas articulaciones tienen una cantidad de movimiento tan limitada en cualquiera de ellas que el movimiento total del torso sólo se produce gracias a la acción combinada de muchas articulaciones o de todas ellas y de sus grados de libertad.

Para el cinesiólogo, el uso del término "grado de libertad" tiene una clara ventaja: Mientras que ninguna articulación puede tener más de tres grados de libertad, los grados de las articulaciones adyacentes se pueden sumar para expresar la cantidad total de libertad de movimiento de un segmento distal en relación con uno proximal. Por ejemplo, las falanges dis-

tales de un pianista disfrutan de 17° de libertad en relación con su tronco: 1° en cada una de las articulaciones falangicas distales y proximales; 2° en las articulaciones metacarpofalángicas; 2° en la articulación de la muñeca; 1° en el antebrazo en las articulaciones radioulnares; 1° en el codo; 3° en el hombro; 3° en la articulación acromioclavicular, y 3° en la articulación esternoclavicular. La observación de muchos pianistas puede, sin embargo, llevarnos a añadir tres grados más de libertad a partir del movimiento de la columna vertebral. Esto expresaría la libertad de las falanges en relación con la pelvis, que descansa sobre la banqueta del piano, y no en relación con su torso, lo que supone que las yemas de los dedos disponen de un total de 20° de libertad.

El número de grados de libertad representa el número de ángulos que se deben controlar al estudiar el movimiento humano. Sin embargo, hay que señalar que hay varias limitaciones cinemáticas dentro de este sistema. La suma de los grados de libertad de las yemas de los dedos del pianista implica la enumeración de las articulaciones que se producen entre las falanges distales y la pelvis. Estas articulaciones unen los diferentes segmentos del cuerpo, que se mueven unos sobre otros como eslabones de una cadena. Por tanto, tenemos otro ejemplo de una cadena cinemática viva abierta.

Para ilustrar el impacto de la alteración del número natural de grados de libertad necesarios para llevar a cabo una tarea determinada, es posible que el lector quiera llevar a cabo el siguiente ejercicio. En primer lugar, andar varios cientos de metros y subir varios tramos de escaleras. Después, fijar la rodilla derecha en posición de extensión completa y repetir la tarea. Aunque probablemente se podrá llevar a cabo la segunda tentativa, hay una reducción evidente de la fluidez del movimiento, que va acompañada de un incremento en el gasto de energía a la hora de realizar la tarea.

LIMITACIONES DEL MOVIMIENTO

El tipo y la amplitud de movimiento en cualquier articulación determinada dependen de la estructura de la articulación y del número de sus ejes, las restricciones impuestas por los ligamentos y músculos que cruzan la articulación, y la masa de tejido adyacente. A causa de su estructura, una articulación con 3° de libertad puede tener una amplitud de movimiento muy limitada, como ya hemos indicado en el caso de las articulaciones intervertebrales, mientras que una articulación con un solo grado de libertad puede tener una gran amplitud de movimiento. Por ejemplo, el an-

El brazo puede desplazarse a través de una amplitud media de 150° desde una posición alineada con el brazo hasta una posición completamente doblada (flexión completa). La amplitud puede aumentar de 5 a 15° en el individuo que tiene una apófisis olécranon inferior a la media o una fosa del olécranon más profunda que la media, que permite el movimiento del antebrazo más allá de la posición alineada con el brazo (es decir, *hiperextendido*). Por el contrario, en un individuo con los músculos bíceps braquial y braquial anterior excesivamente desarrollados o con un exceso de tejido adiposo, la flexión puede estar limitada por la propia masa de tejido blando del brazo. Factores similares también puede afectar la amplitud de movimiento de otras articulaciones.

Los factores que limitan la amplitud de movimiento pasiva entran en dos categorías.

1. Factores asociados a la limitación normal del movimiento: (a) hueso sobre hueso, por ejemplo, hiperextensión en el codo; (b) rigidez capsular, por ejemplo, rotación externa en el hombro; (c) aposición de tejidos blandos, por ejemplo, flexión de la rodilla; (d) músculos de dos articulaciones, por ejemplo, flexión dorsal realizada con la rodilla extendida, estirando de este modo el gastrocnemio, y (e) ligamentos extracapsulares, por ejemplo, extensión de la rodilla.
2. Factores asociados con restricciones patológicas o anómalas del movimiento: (a) hueso sobre hueso, por ejemplo, extensión de la rodilla en la que hay una enfermedad degenerativa de la articulación; (b) rigidez capsular debida a la inmovilización prolongada, por ejemplo, hombro congelado; (c) rigidez capsular debida a la hinchazón intraarticular, por ejemplo, rodilla hinchada; (d) formación de adhesión no capsular, por ejemplo, adhesiones del ligamento talofibular anterior en el tobillo que restringen la flexión y la inversión plantar, o adhesiones entre el cuádriceps crural y el fémur que limitan la flexión de rodilla, y (e) cuerpos sueltos en la articulación, por ejemplo, fragmentos óseos o cartilaginosos insertados entre superficies de articulación.

En los ejemplos anteriores, hay que señalar que las limitaciones se refieren a restricciones sobre las amplitudes de movimiento de la articulación. Éstas no afectan los grados de libertad, a menos que reduzcan la amplitud de movimiento a cero.

PLANOS Y POSICIONES DE REFERENCIA

Por cuestiones de conveniencia a la hora de especificar las posiciones de los miembros anatómicos en

el espacio, hay que establecer un sistema de referencia. Este sistema se puede establecer en diversas localizaciones dependiendo de los detalles de la cuestión que se esté investigando. Por ejemplo, mientras que los movimientos de todo el cuerpo pueden compararse con un sistema de referencia cuyo origen esté situado en el centro de gravedad del cuerpo, los movimientos del dedo podrán definirse de un modo más conveniente por medio de un sistema de referencia cuyo origen se establezca en una articulación metacarpiana determinada. Tradicionalmente, los kinesiólogos han utilizado un sistema de orientación que define tres planos de orientación *cardinales* mutuamente perpendiculares, que tienen una intersección común en el *centro de gravedad*^b del cuerpo mientras éste ocupa la posición anatómica ejemplificada en la figura 2.5. Desde un punto de vista práctico, los tres planos de interés esenciales y mutuamente perpendiculares son el *sagital*, el *transversal* y el *frontal*. En la figura 2.6(a), (b) y (c) se pueden ver estos planos. Cada uno de los planos cardinales puede denominarse *primario* cuando pasa a través del centro de gravedad del cuerpo, porque divide el cuerpo en dos secciones iguales. De este modo, los planos cardinales son el *sagital*, que divide el cuerpo en secciones derecha e izquierda, el *plano frontal*, que divide el cuerpo anteroposterior en las secciones delantera y trasera, y el *plano transversal*, que divide el cuerpo en las secciones superior e inferior. La figura 2.7 es una representación esquemática de los principales planos de referencia cardinales. La localización de cualquier miembro anatómico se puede especificar señalando sus distancias con respecto a los tres ejes mutuamente perpendiculares que pasan a través del origen (en este caso el centro de gravedad del cuerpo).

Las figuras 2.8 a 2.16 muestran los ejes de articulación para los principales movimientos en torno al hombro, el codo, el antebrazo y la muñeca, los dedos, las articulaciones de la cadera y de la rodilla, el tobillo y el pie y, por último, el esqueleto axial. Los conocimientos de los descriptores del movimiento tratados en los siguientes párrafos resultarán útiles para interpretar las figuras antes mencionadas.

^b Este es el punto en el cuerpo o en torno al mismo a través del que la fuerza corporal resultante actuará debido a la atracción de la fuerza de la gravedad de la tierra (u otro entorno) sobre las masas de las diferentes partes del cuerpo. La situación del centro de gravedad cambia a medida que las extremidades varían sus posiciones respectivas. Desde un punto de vista práctico, no es la mejor opción de un origen de referencia ya que hay que aportar una gran cantidad de información anatómica para especificar su situación exacta. La situación del centro de gravedad se puede determinar utilizando los métodos descritos en el capítulo 5 bajo el epígrafe "Localización del centro de gravedad".



Figura 2.5. Posición anatómica.

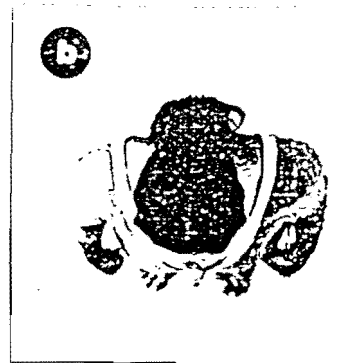


Figura 2.6. Planos de visión del cuerpo: (a) plano sagital; (b) plano transversal; (c) plano frontal.

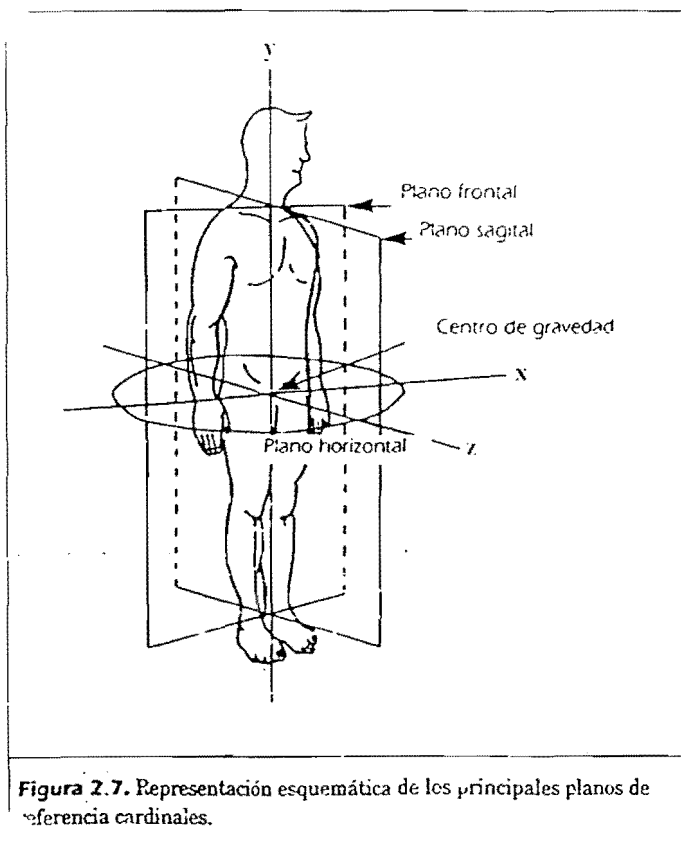


Figura 2.7. Representación esquemática de los principales planos de referencia cardinales.

DESCRIPTORES DEL MOVIMIENTO

Para ilustrar las explicaciones adjuntas a los descriptores de movimiento pertinentes, a continuación se utilizan fotografías. Hay que señalar que los movimientos en el plano frontal se describen mejor por medio de vistas frontales, mientras que los del plano sagital se basan principalmente en vistas laterales. Es necesario reconocer que las posiciones reproducidas se alcanzan desde la posición anatómica. Esto implica que se produce movimiento antes de alcanzar la posición concreta ilustrada.

Flexión-extensión

Por regla general se considera que la flexión es un movimiento que reduce el ángulo entre la parte que se mueve y el segmento adyacente (como en la flexión de codo o dedo), y la extensión es un movimiento que aumenta este ángulo (figura 2.17).

Para definir el movimiento de la articulación, es conveniente asumir que el cuerpo está en la posición anatómica (figura 2.5). La flexión y la extensión son movimientos en los que los segmentos en movimiento

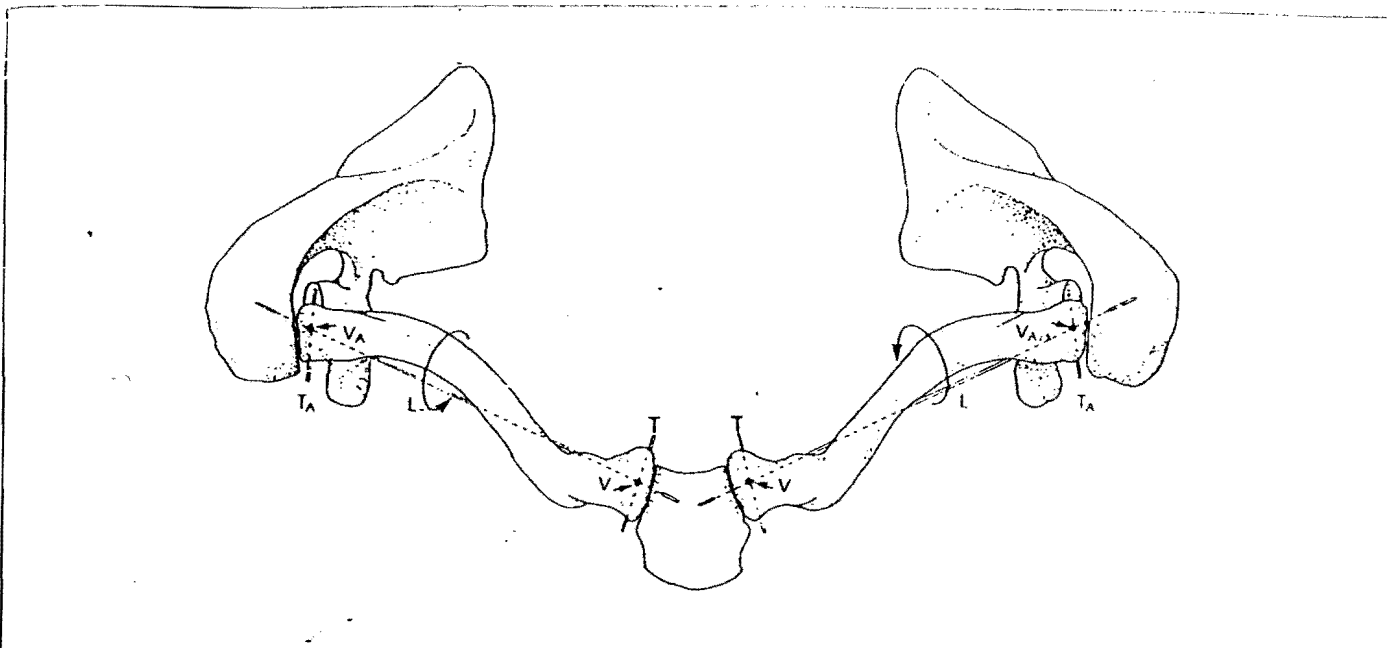


Figura 2.8. Ejes principales de la cintura escapular vistos desde arriba. V, eje vertical para la extensión y retracción de la cintura escapular; T, eje transversal para la elevación y depresión de la cintura escapular; I, eje longitudinal para los movimientos de rotación limitados de la clavícula; V_A , eje vertical, y T_A , eje transversal, en el extremo acromial de la clavícula para el movimiento escapular. (Ejes de articulación en las figuras 2.8 a 2.16 reproducidos de Grant, J. C. B. y Smith, C. G., 1953. En *Morris' Human Anatomy*, editado por J. P. Schaeffer. New York: The Blakiston Company.)

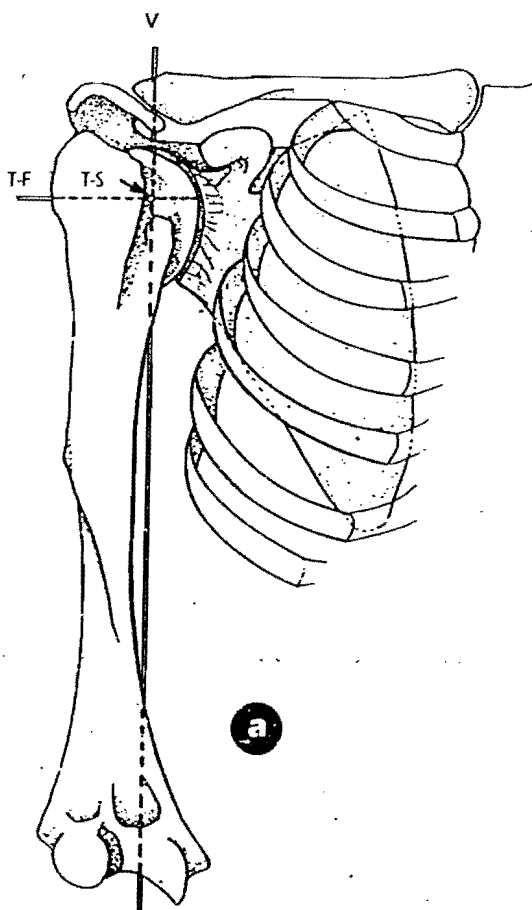
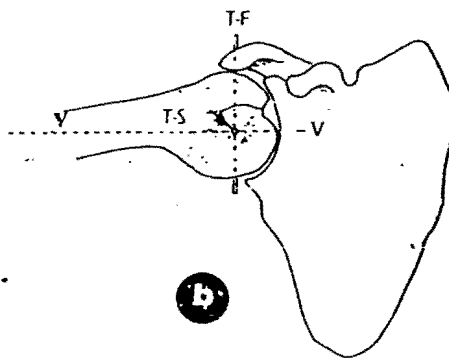


Figura 2.9. Ejes para movimientos en la articulación del hombro. (a) A partir de la posición anatómica. T-F, eje transversal en el plano frontal para movimientos de flexión y extensión; T-S, eje transversal en el plano sagital para movimientos de abducción y aducción; V, eje vertical que abarca toda la longitud del húmero para movimientos de rotación hacia adentro o afuera del brazo. (b) Los mismos ejes, pero el brazo está abducido 90°. Obsérvense las posiciones alteradas de los ejes T-F y T-S.



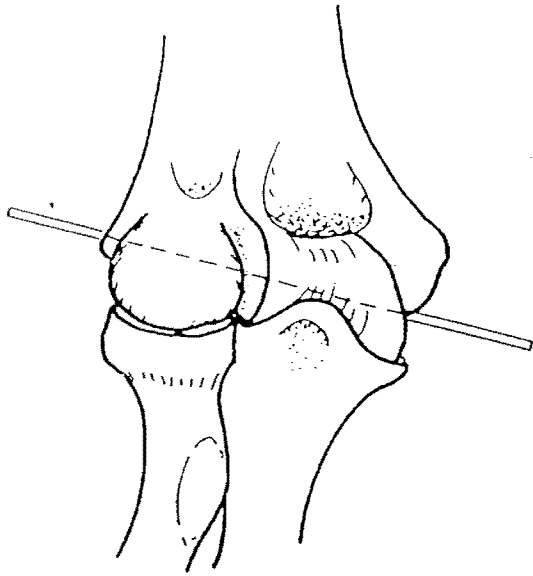


Figura 2.10. Eje transversal a través de la articulación del codo. Los movimientos son de flexión y extensión.

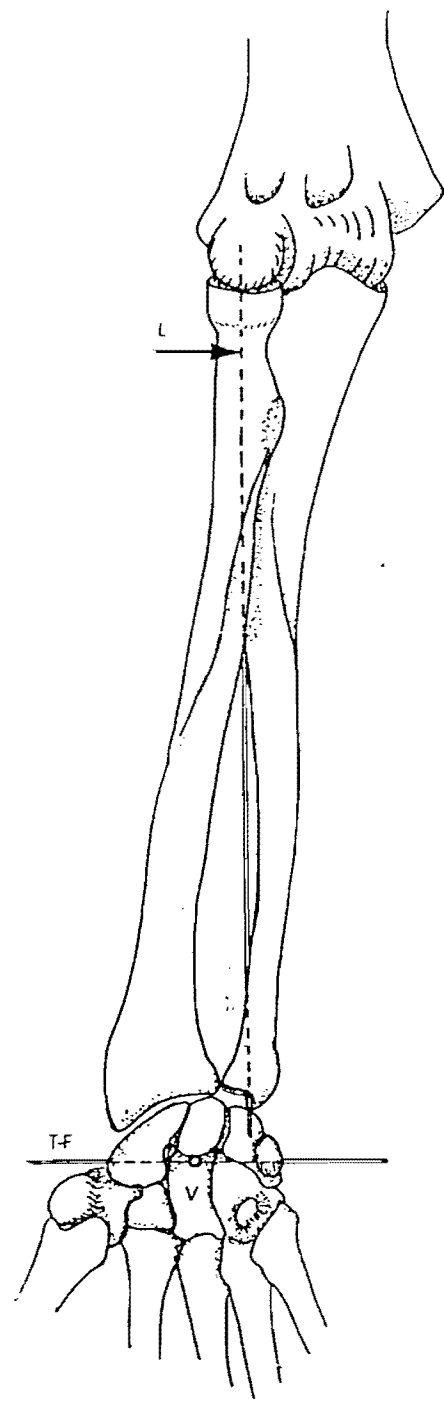


Figura 2.11. Ejes del antebrazo y la muñeca. L, eje largo del antebrazo para pronación y supinación; T-F, eje transversal en el plano frontal para la flexión y extensión de muñeca; V, eje volardorsal para la desviación radial y ulnar de la mano en la muñeca.

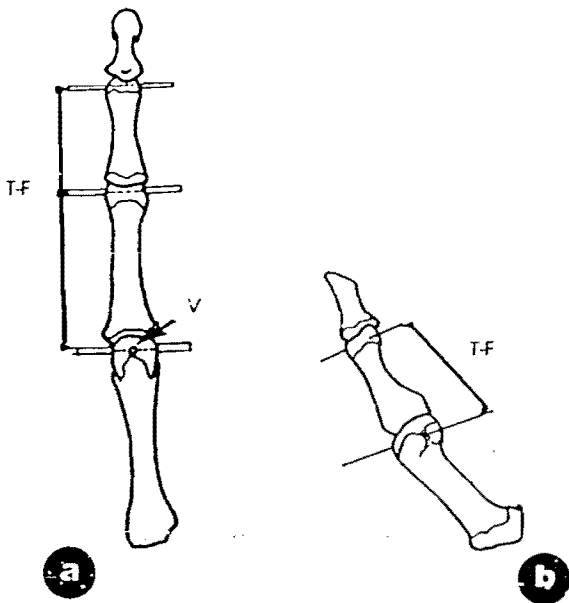


Figura 2.12. Ejes de los dedos: (a) dedos; (b) pulgar. T-F, ejes falángicos transversales en el plano frontal para la flexión y extensión de los dedos; V, eje volardorsal a través de los metacarpianos distales para la abducción y aducción de los dedos. Los primeros ejes carpometacarpianos no aparecen en la figura. Los ejes atarsofalángicos e interfalángicos del pie son similares.

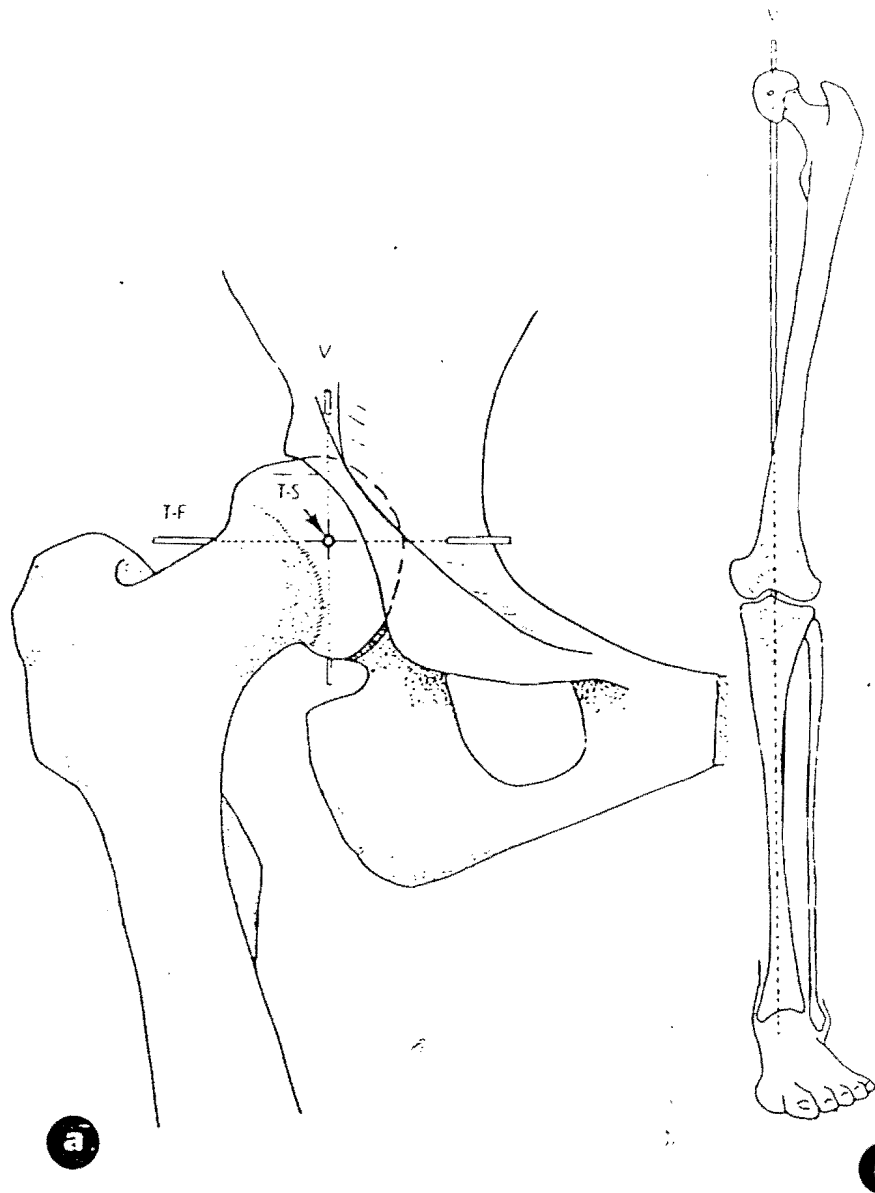


Figura 2.13: Ejes para el movimientos de la articulación de la cadera. T-F, eje transversal en el plano frontal para la flexión y extensión del muslo; T-S, eje transversal en el plano sagital para la abducción y aducción del muslo; V, eje vertical para la rotación hacia dentro y afuera (lateral y medial) del muslo. Obsérvese la localización del eje a lo largo de la extremidad inferior en (b).

se desplazan en el plano sagital en torno a un eje horizontal definido por los planos anatómicos frontal y transversal a través del eje. Aunque esta definición es adecuada hasta cierto punto, no se puede aplicar a todas las articulaciones. Una definición más satisfactoria que se puede aplicar a todas las articulaciones, excepto a las del hombro, se basa en el concepto anatómico de que la flexión es la aproximación de superficies ventrales o *volares*. Este concepto está basado en el desarrollo embriológico del feto humano. Poco

después de que aparezcan en el embrión los primordios que formarán un miembro (figura 2.18[a]), éstos se proyectan con los pulgares y los dedos gordos del pie en primer lugar (figura 2.18[b]). A medida que se van desarrollando las extremidades, se doblan hacia el vientre en los codos y las rodillas, de modo que los ápices de estas articulaciones señalan hacia fuera. Las palmas de las manos y las plantas de los pies (las superficies volares) están de cara al torso (figura 2.18[c]). Por último, ambos pares de extremidades r

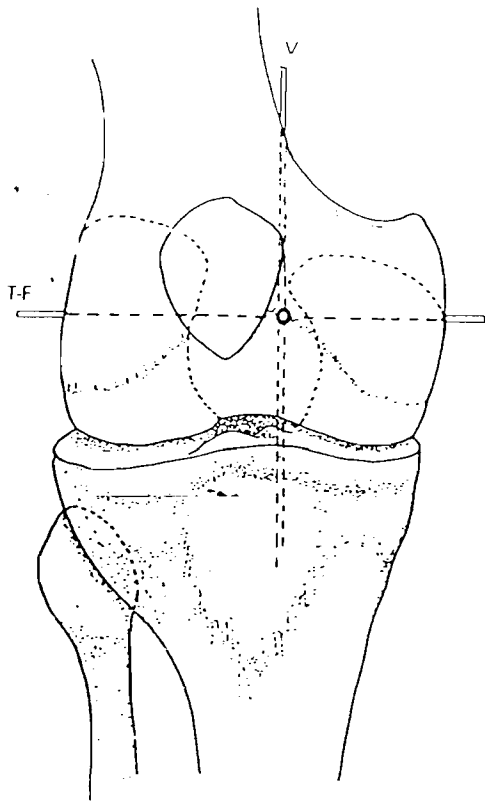


Figura 2.14. Ejes a través de la articulación de la rodilla. T-F, eje transversal en el plano frontal para flexión y extensión; V, eje vertical en torno al que la tibia puede rotar cuando se produce la flexión de la rodilla.

tan 90° pero en direcciones opuestas, realizándose estos movimientos en torno a los ejes largos de las extremidades (figura 2.18[d]). Las extremidades superiores rotan en sentido lateral de modo que el codo apunta hacia atrás, los pulgares señalan hacia fuera y las superficies ventrales y volares (palmares) están hacia fuera. La extremidad inferior rota en sentido medial de modo que las rodillas señalan hacia delante, los dedos gordos de los pies hacia dentro y las superficies ventrales hacia atrás, al igual que las plantas de los pies (superficies volares) cuando nos erguimos sobre los dedos de los pies. La superficie próxima de las articulaciones retiene su orientación embriológica en las regiones de las axilas y la ingle. A causa de esta situación, una amplia porción de la parte superior del muslo sigue presentando una cierta superficie ventral en la cara anterior; por tanto, un movimiento de la extremidad inferior hacia delante y hacia arriba en la articulación de la cadera (figura 2.17[b]) es una aproximación de las superficies ventrales y se ciñe a esta última definición de flexión. Puesto que la rotación de la rodilla es completa, la flexión de esta articulación también responde a la definición anatómica. La flexión y la extensión del hombro no coinciden por completo con ninguna de las dos definiciones, de modo que estos movimientos se correlacionan con la dirección de la cadera: la flexión del brazo en el hombro se define como un movimiento hacia delante y hacia arriba en el plano sagital y la extensión como un movimiento hacia abajo y hacia atrás en este mismo plano (figura 2.19). La figura 2.19 (c) muestra la hiperflexión del hombro. El prefi-

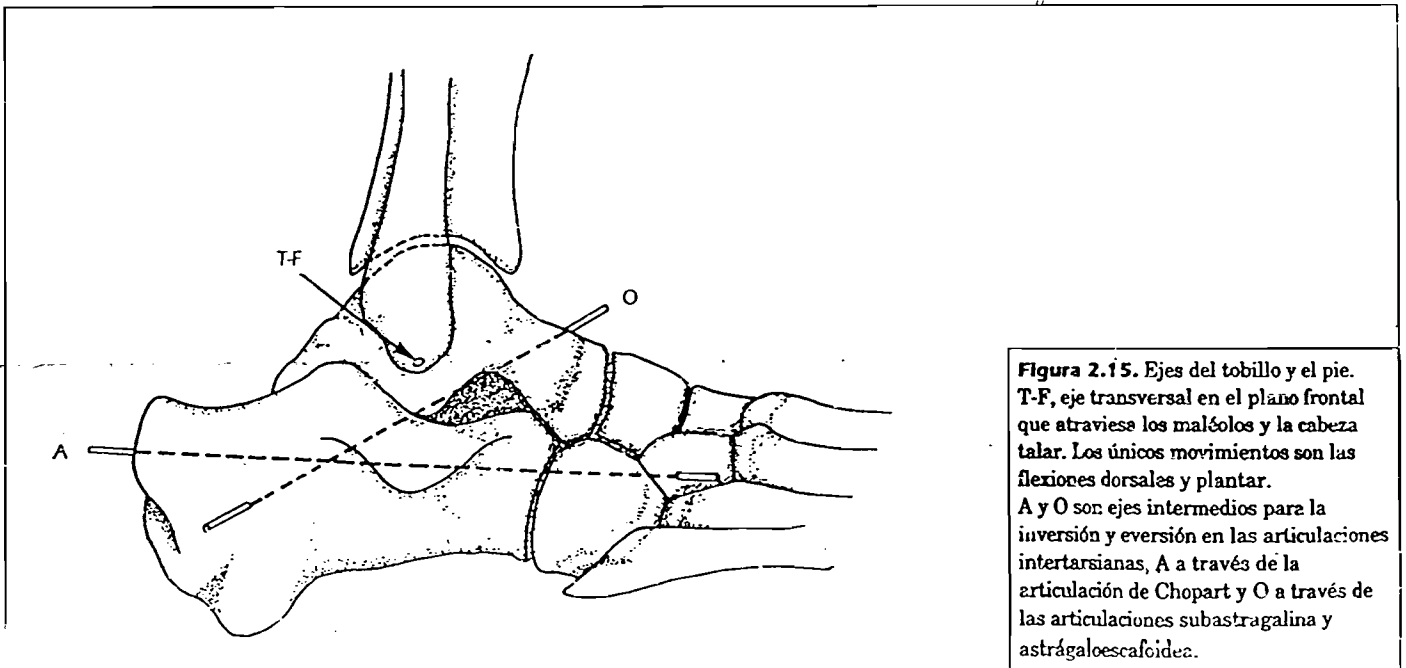


Figura 2.15. Ejes del tobillo y el pie. T-F, eje transversal en el plano frontal que atraviesa los maléolos y la cabeza talar. Los únicos movimientos son las flexiones dorsales y plantar. A y O son ejes intermedios para la inversión y eversión en las articulaciones intertarsianas, A a través de la articulación de Chopart y O a través de las articulaciones subastragalina y astrágaloescafoidea.

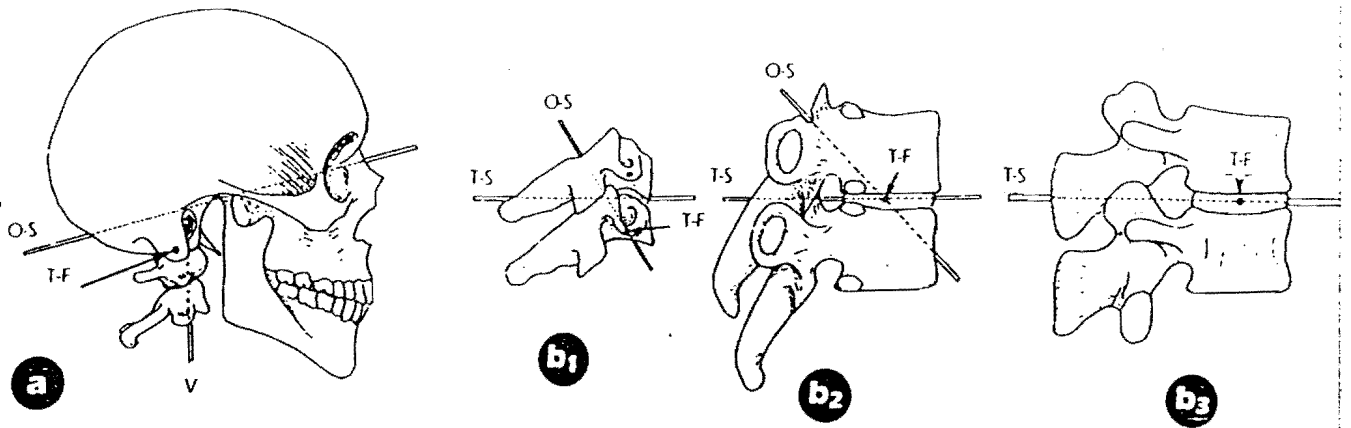


Figura 2.16a. Ejes de articulación del esqueleto axial para el movimiento del cráneo sobre las vértebras. O-S, eje oblicuo en el plano sagital para la flexión lateral de la cabeza; T-F, eje transversal en el plano frontal para la flexión en sentidos dorsal y ventral de la cabeza; V, eje vertical para la rotación de la cabeza, a derecha e izquierda.

Figura 2.16b. Ejes para el movimiento de una vértebra sobre la inmediatamente inferior: 1, cervical; 2, torácica; 3, vértebras lumbares. O-S, eje oblicuo en el plano sagital para movimientos de rotación combinados con abducción; T-F, eje transversal en el plano frontal para movimientos de flexión y extensión; T-S, eje transversal en el plano sagital para movimientos de flexión lateral (abducción) a derecha e izquierda.

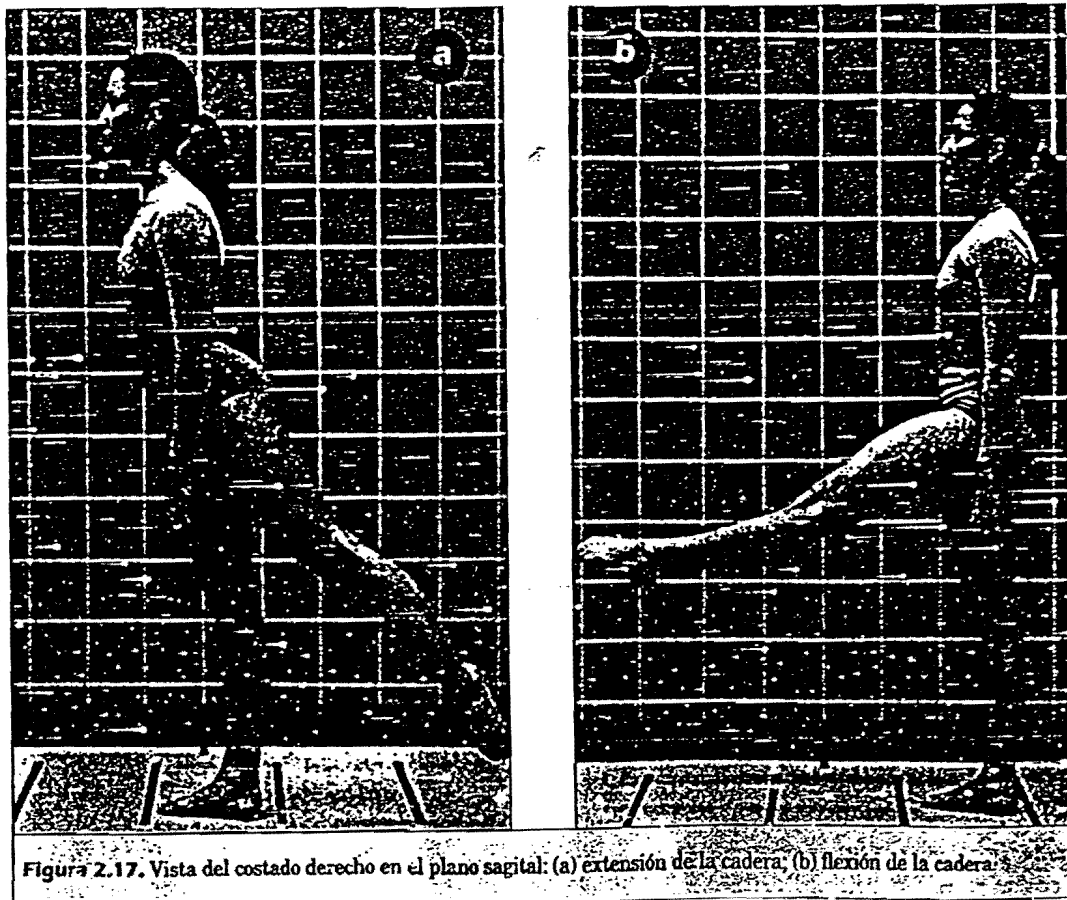


Figura 2.17. Vista del costado derecho en el plano sagital: (a) extensión de la cadera; (b) flexión de la cadera.

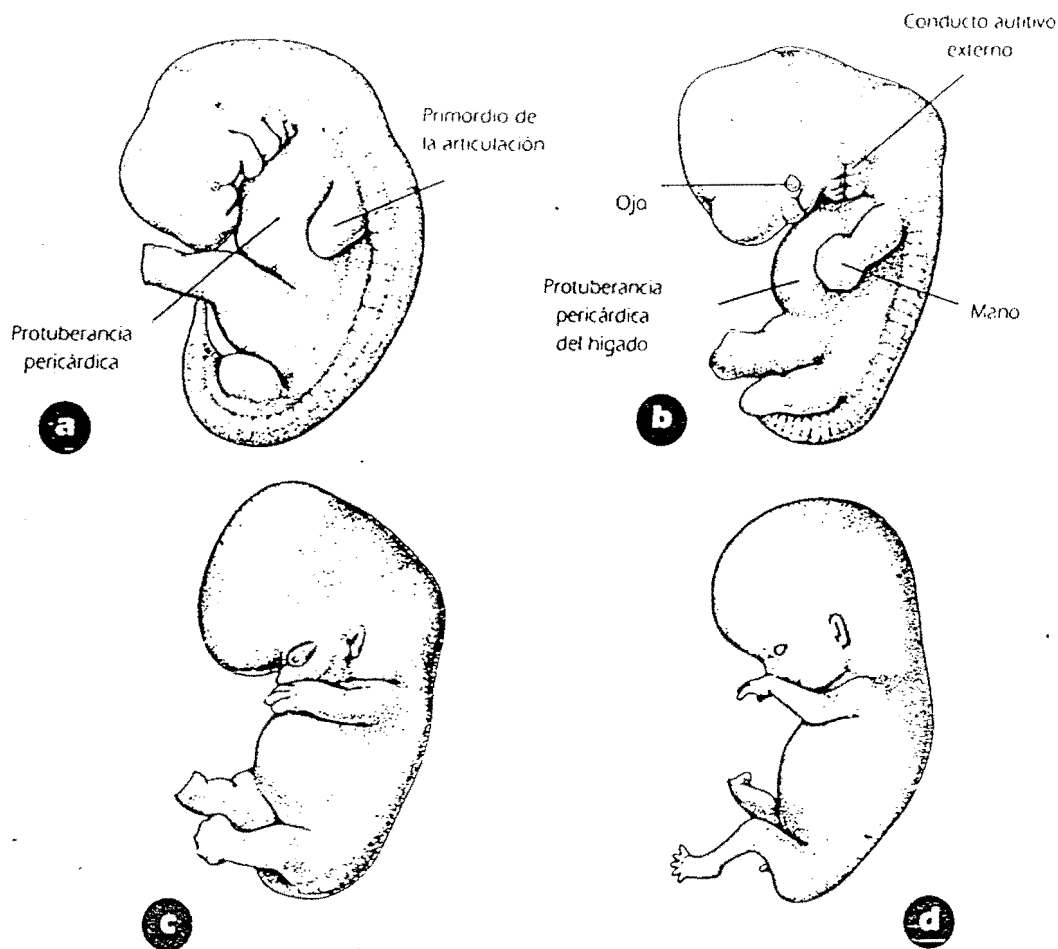


Figura 2.18. El embrión humano: (a) a las 5 semanas; (b) a las 6 semanas; (c) a las 7 semanas; (d) a las 8 semanas. (De Langman, J., 1969. *Medical Embriology: Human Development, Normal and Abnormal*. Baltimore: The Williams & Wilkins Company.)

jo "hiper" siempre describe una continuación excepcional de un movimiento. En la hiperextensión esto significa por regla general una continuación de la extensión más allá de la posición anatómica.

La flexión del codo, la muñeca, los dedos de las manos los dedos de los pies y la columna vertebral se ciñen a ambos conceptos, es decir, el concepto anatómico de aproximación a las superficies ventral o volar y el popular concepto de reducir el ángulo entre los segmentos del cuerpo. La extensión de estas mismas articulaciones es, claro está, el movimiento en la dirección opuesta. Sin embargo, este acuerdo entre definiciones anatómicas y populares se quiebra cuando se aplican las definiciones en las que están basados los movimientos que se producen en la articulación del tobillo.

El estudio de la figura 2.20 muestra esta divergencia. La disminución del ángulo entre el pie y la

pierna, la extensión anatómica, se conoce habitualmente como flexión del tobillo; la flexión anatómica se denomina popularmente extensión del tobillo. Consultando la figura 2.21 se puede ver de dónde proviene la terminología anatómica. A causa de esta paradójica situación, se ha adoptado el término **flexión dorsal** para la extensión anatómica/flexión en términos populares, y **flexión plantar** es el término aplicado a la flexión anatómica/extensión en términos populares.

Abducción-aducción

Este par de movimientos se produce en el plano frontal y tiene lugar en las articulaciones biaxiales (metacarpofalángica y metatarsofalángica) y multia-

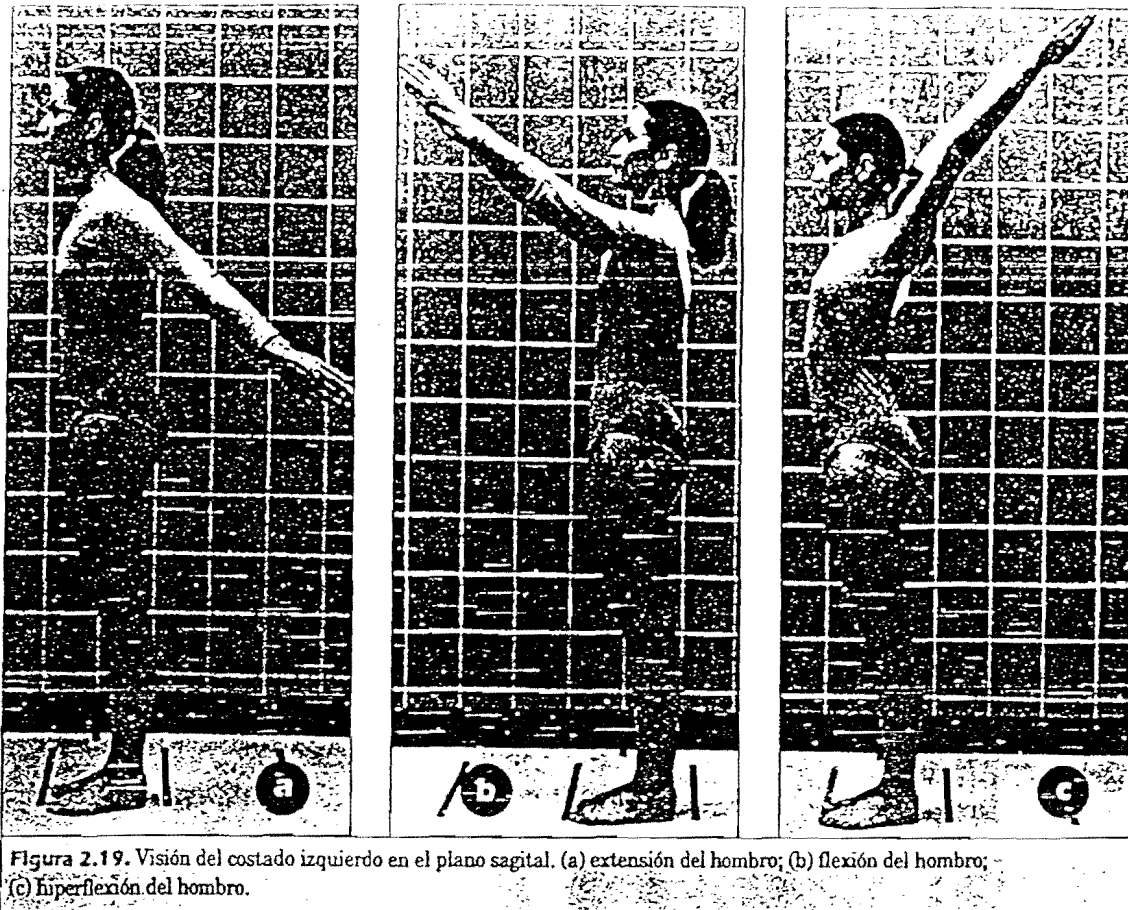


Figura 2.19. Visión del costado izquierdo en el plano sagital. (a) extensión del hombro; (b) flexión del hombro; (c) hiperflexión del hombro.

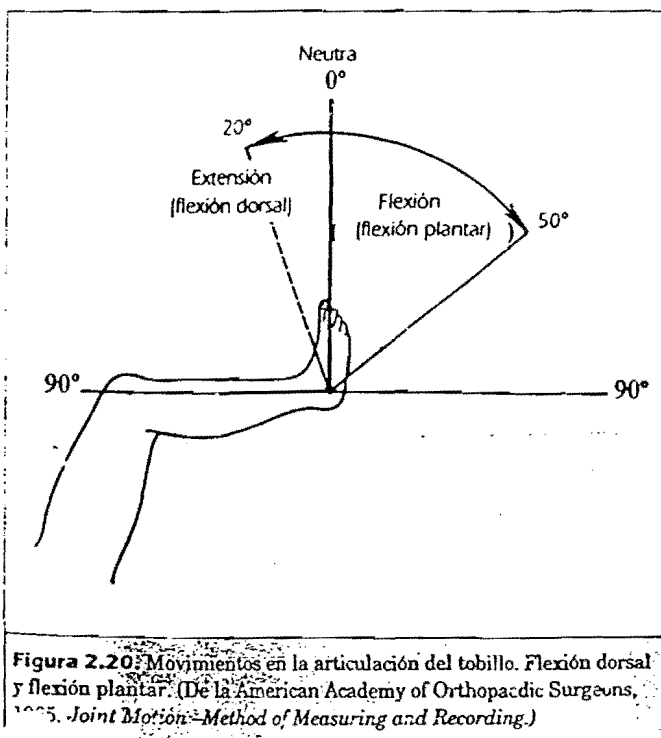


Figura 2.20. Movimientos en la articulación del tobillo. Flexión dorsal y flexión plantar. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1975. *Joint Motion: Method of Measuring and Recording.*)

xiales (hombro, cadera y primera carpometacarpiana). La **abducción** de los dedos de la mano y del pie es el movimiento de alejamiento del dedo medio, mientras que la **aducción** es el movimiento hacia dicho dedo.

La abducción en una articulación de rótula esférica (hombro o cadera) es el movimiento de la articulación hacia arriba y alejándose de la línea media (figura 2.22). En la articulación glenohumeral sólo se puede elevar el brazo 90° antes de que la tuberosidad mayor del húmero entre en contacto con la apófisis acromion. La continuación del movimiento de abducción se lleva a cabo a través de la rotación hacia arriba de la fosa glenoidea de la escápula (tal y como aparece representada en la figura 2.23). Como resultado, la amplitud total de abducción de la extremidad superior puede ser de hasta 180° . Más adelante se ofrecen detalles sobre los movimientos de la escápula. En la aducción, ya sea de la extremidad inferior o de la superior, se puede llevar la extremidad a través de la línea media del cuerpo (figura 2.24).

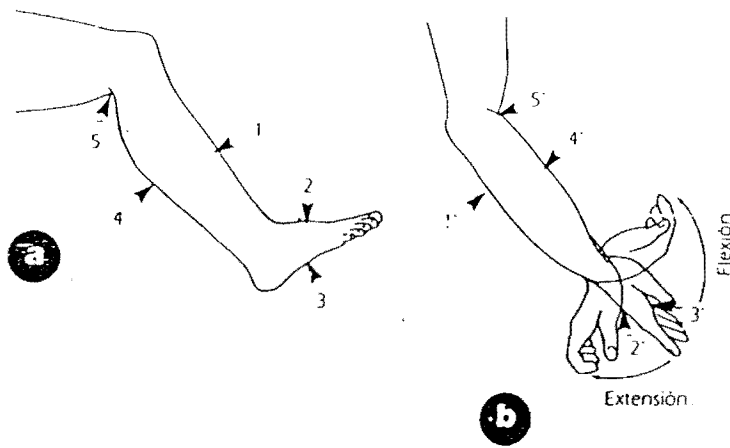


Figura 2.21. (a) Cara lateral de la extremidad inferior derecha. (b) Cara lateral de la extremidad superior. 1, superficie anterior de la pierna, homóloga a la parte posterior del antebrazo, 1'. 2, empeine o dorso del pie, homólogo al dorso de la mano, 2'. 3, planta del pie, homóloga a la palma de la mano, 3'. 4, parte posterior de la pierna, homóloga a la superficie ventral del antebrazo, 4'. 5, fosa poplítea homóloga a la fosa cubital del antebrazo, 5'.

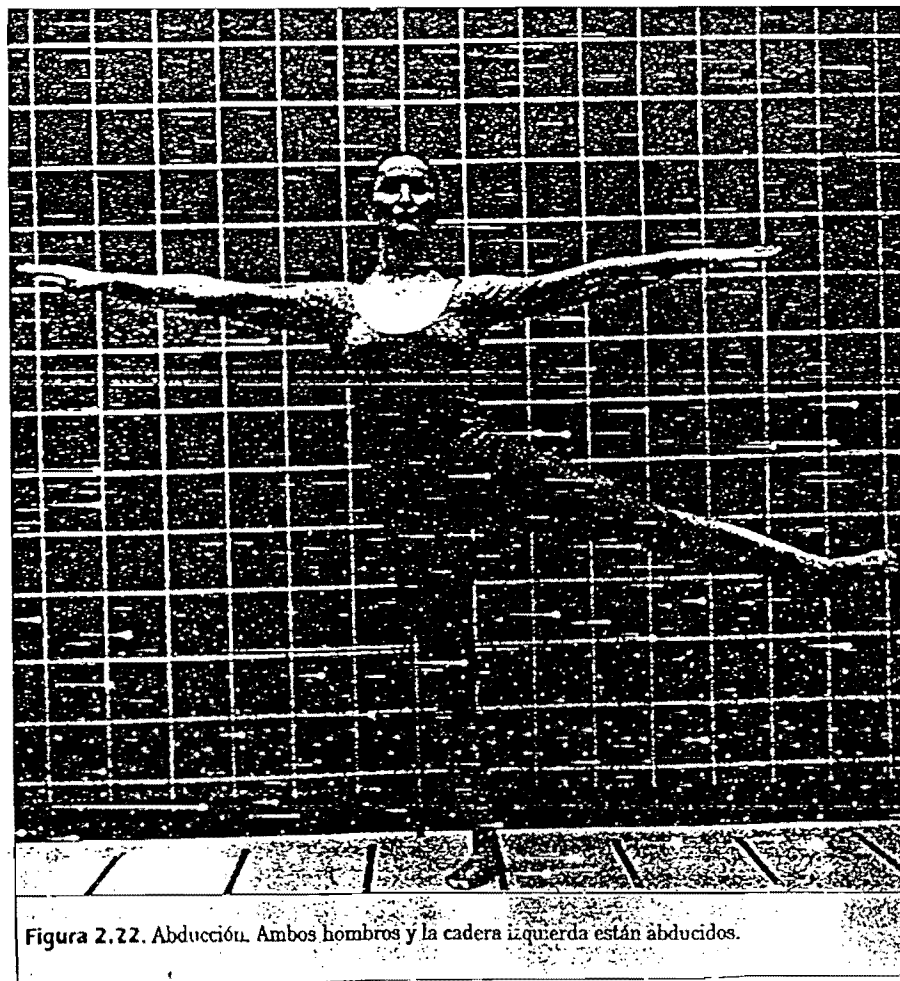


Figura 2.22. Abducción. Ambos hombros y la cadera izquierda están abducidos.

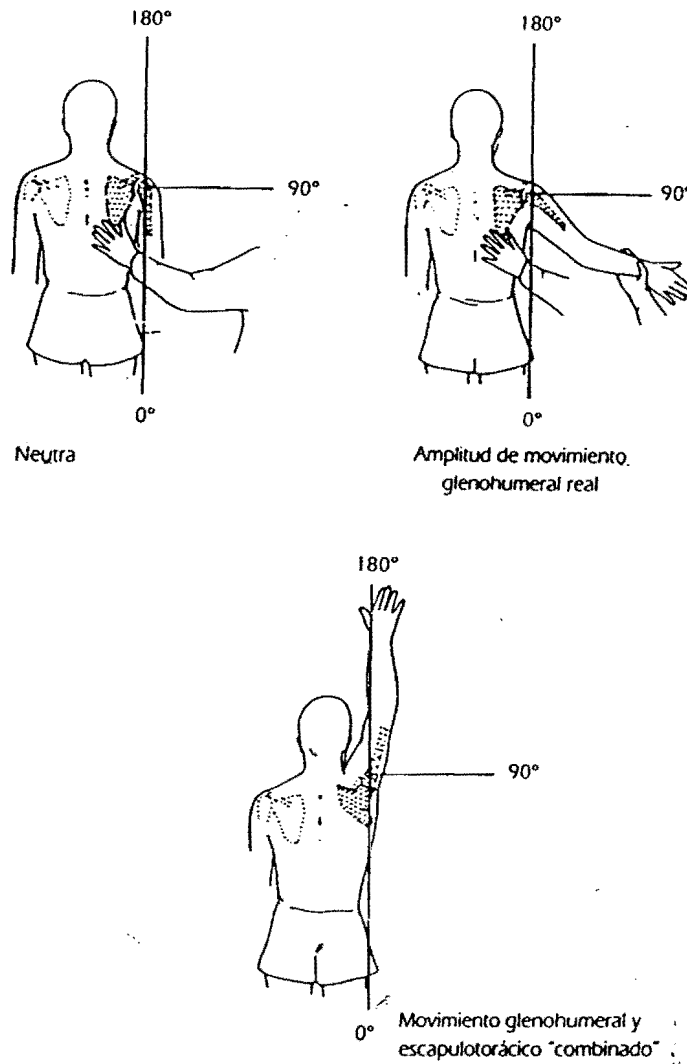


Figura 2.23. Movimiento glenohumeral. Obsérvese la rotación hacia arriba de la escápula a medida que se realiza la abducción. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965. *Joint Motion - Method of Measuring and Recording*.)

Flexión-extensión horizontal

Al hacer referencia a la figura 2.25 se verá que la extremidad superior lleva a cabo la **flexión horizontal** a partir de una posición de abducción; el movimiento de la extremidad tiene lugar en un plano horizontal y la extremidad se desplaza hacia delante a través de la parte frontal del cuerpo. La **extensión horizontal** es un movimiento similar en la dirección opuesta. Ha habido una tendencia entre ciertos pro-

fesionales a utilizar el término **aducción horizontal** para la flexión horizontal porque el brazo se desplaza a través de la línea media del cuerpo: Hay que señalar, sin embargo, que estos movimientos horizontales se producen en torno al mismo eje a través de la cabeza del húmero que la flexión y extensión del hombro realizadas a partir de la posición anatómica. La abducción del brazo ha cambiado meramente la orientación de este eje a través de la cabeza del húmero de la horizontal a la vertical (figura 2.9).

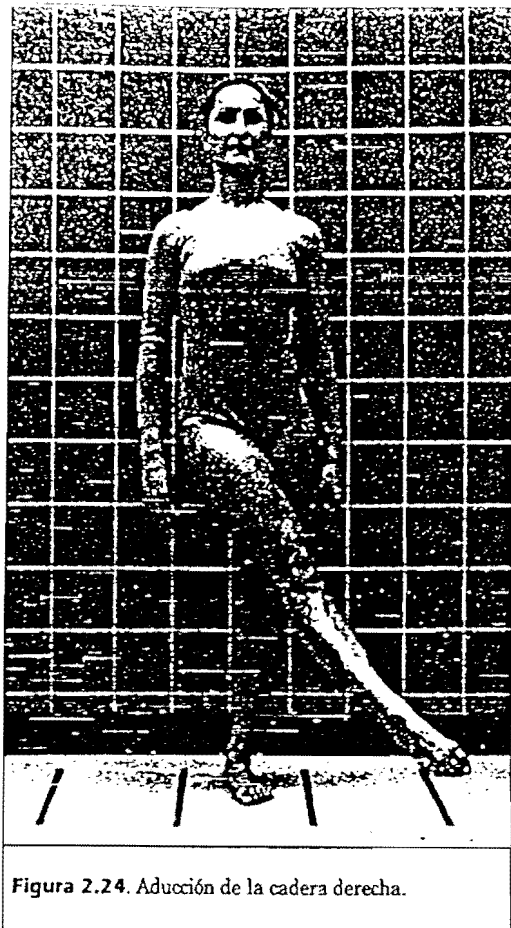


Figura 2.24. Aducción de la cadera derecha.

Rotación interna o medial (hacia dentro) y externa o lateral (hacia fuera)

Los movimientos de rotación se producen en articulaciones multiaxiales en torno al eje longitudinal que se prolonga a lo largo del hueso del segmento que realiza la rotación, pero no necesariamente dentro de la diáfisis del hueso (figuras 2.9, 2.11 y 2.13). Con la excepción del eje largo de la clavícula (que rota levemente con la mayoría de los movimientos de la extremidad superior, véase más adelante bajo el epígrafe "Movimientos de la cintura escapular"), los ejes de rotación son verticales o casi verticales cuando el cuerpo está en la posición anatómica. Puesto que los ejes verticales se definen por la intersección de los planos sagital y frontal, es lógico que el movimiento de rotación en torno a estos ejes deba ocurrir en el plano transversal. La rotación de una extremidad superior en cualquier dirección se ve con mayor claridad cuando se flexiona el codo, ya que este movimiento tiene el efecto de magnificación visual de la cantidad de rotación debido a la longitud del antebrazo y la mano (figura 2.26). La flexión del codo elimina asimismo la suma de pronación (o supinación)

a la posición de la mano como una indicación de la cantidad de rotación del hombro. La rotación interna o externa del húmero (figura 2.27) o del fémur (figura 2.28) puede producirse con el hueso en cualquier posición inicial, pero la rotación de la cadera es más limitada que la del hombro.

Circunducción

Se puede producir en cualquier articulación biaxial o multiaxial y es una combinación de flexión-abducción-extensión-aducción o a la inversa, y puede implicar rotación de la extremidad implicada. La extremidad se desplaza por un camino en forma de cono con el vértice en el fulcro de la articulación en la que se origina el movimiento (figura 2.29).

Las articulaciones de la cadera y el hombro, descritas como articulaciones multiaxiales, difieren en la cantidad de flexibilidad que permiten sus estructuras. En la articulación de la cadera, que requiere estabilidad, el hueco del hueso y el cartilago son excepcionalmente profundos. En el hombro, que requiere más flexibilidad, las partes óseas y de tejido blando del hueco son poco profundas. La holgura resultante de la extremidad superior ofrece la posibilidad de moverla a través de grandes amplitudes de flexión/ extensión y abducción/aducción.

La paradoja de Codman

Cuando se intenta llevar a cabo grandes amplitudes de movimiento se produce una interesante paradoja. La rotación de la extremidad superior en torno a su eje largo es concomitante a cualquiera de los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción. La figura 2.30 ilustra el hecho de que aproximadamente 180° de rotación lateral o externa se han producido como resultado directo de mover la extremidad superior derecha, en primer lugar, a través de 180° de flexión del hombro hasta que el brazo reposa junto a la oreja (figura 2.30[a], [b] y [c]), y en segundo lugar, a través de 180° de aducción del hombro hasta que la extremidad superior queda al lado del cuerpo (figura 2.30[d], [e] y [f]). Obsérvese la posición de la mano al principio y al final de las series (figura 2.30[a] y [f]). Invitamos al lector a demostrar personalmente el hecho de que se producen 180° de rotación medial o interna de la articulación del hombro cuando se utilizan combinaciones de abducción y extensión: desde la posición anatómica con la mano en posición neutral (es decir, con la palma de la mano de cara al muslo), abducir la extremidad superior 180° hasta que el brazo quede

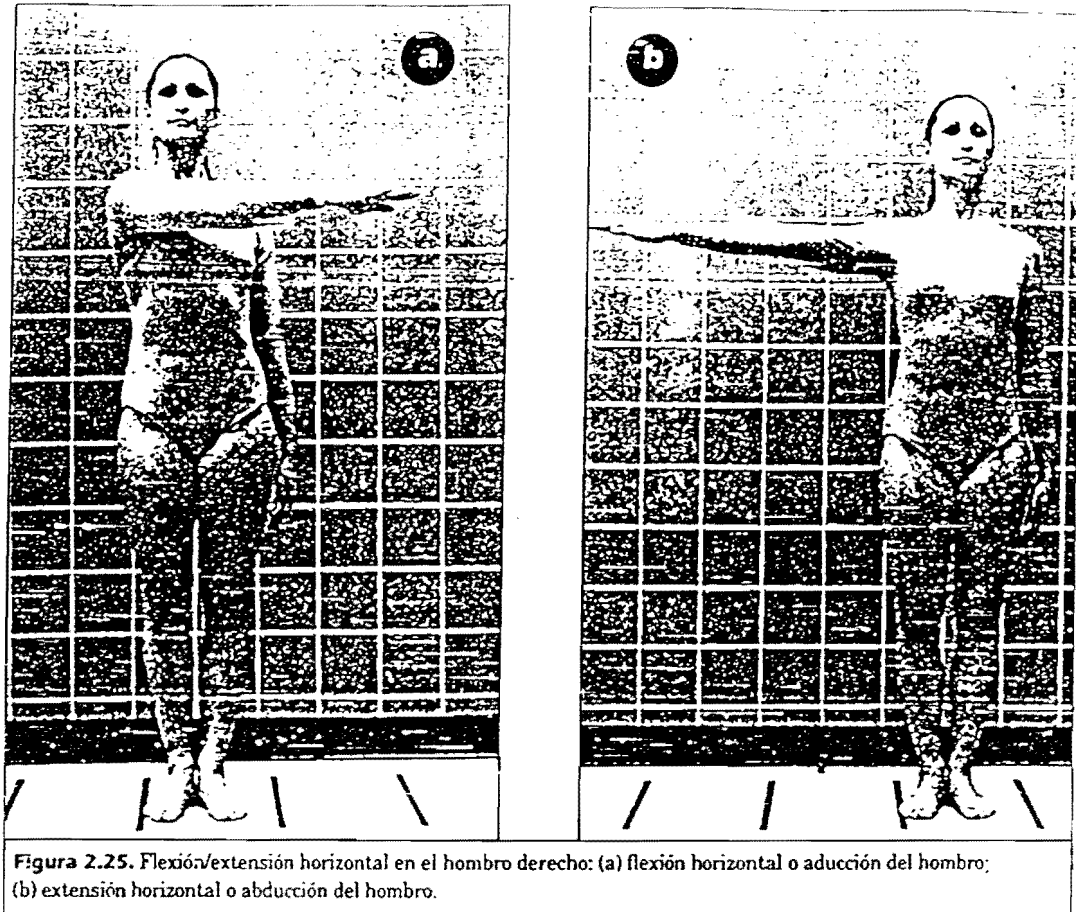


Figura 2.25. Flexión/extensión horizontal en el hombro derecho: (a) flexión horizontal o aducción del hombro; (b) extensión horizontal o abducción del hombro.

junto a la oreja; después, mover la extremidad superior a través de 180° de extensión hasta que la extremidad superior quede en sentido vertical junto al cuerpo; ahora el dorso de la mano estará de cara al muslo. Las amplitudes de movimiento inferiores a 180° producen cantidades de rotación menores, dependiendo de la cantidad de flexión, extensión, abducción o aducción. Evidentemente, ninguno de los movimientos de la articulación del hombro en el plano sagital y frontal puede clasificarse puramente como flexión/extensión o abducción/aducción, respectivamente, porque la estructura esquelética requiere que al mismo tiempo se produzca un movimiento de rotación en la articulación del hombro.

MOVIMIENTOS DEL ESQUELETO AXIAL (COLUMNA VERTEBRAL)

En la figura 2.31 se puede ver el aspecto de los principales movimientos de la columna vertebral.

En este caso resulta apropiada la definición de flexión como una aproximación de superficies ventrales y de extensión como un movimiento en la dirección opuesta (figura 2.31[a] a [d]). Los términos más ade-

cuados son flexión ventral y flexión dorsal, respectivamente. Mientras que los cirujanos ortopédicos denominan el movimiento del tronco hacia cualquiera de los dos lados inclinación lateral, los anatomistas lo llaman flexión lateral (o en algunos casos abducción) (figura 2.31[e]). La rotación a derecha o izquierda se puede producir en torno a la longitud del eje de las vértebras (figura 2.31[f]).

En las figuras 2.32 y 2.33 se puede ver el modo en que estos mismos movimientos afectan la cabeza cuando se producen en las vértebras cervicales. La figura 2.34 muestra los movimientos occipitoatloideos. La mayoría de los movimientos de cabeza requieren una combinación de movimiento en torno a los ejes cervicales intervertebral y occipitoatloideos.

MOVIMIENTOS DE LAS ARTICULACIONES DEL ANTEBRAZO

Pronación y supinación

Estos movimientos se producen en las articulaciones que sirven de pivote en el antebrazo, no en la mu-

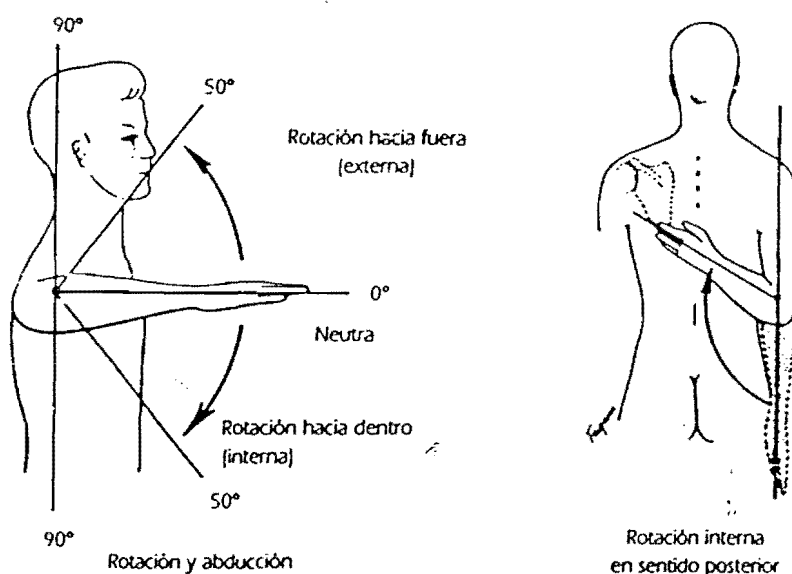
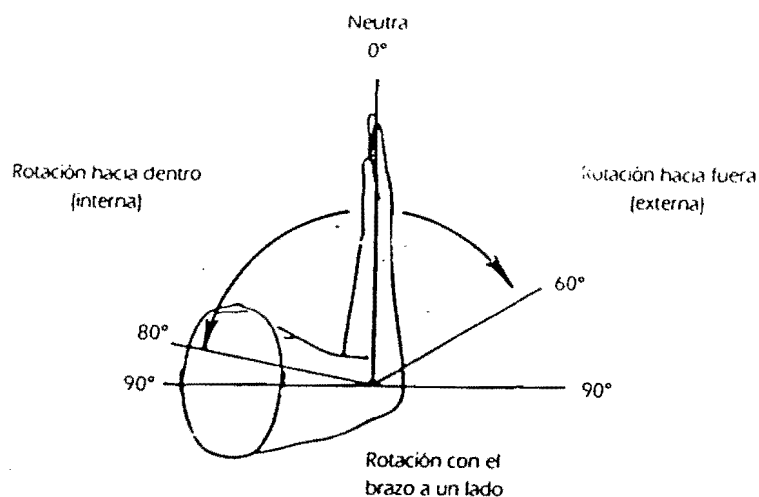


Figura 2.26. Rotación interna y externa (medial y lateral) del brazo. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965. *Joint Motion-Method of Measuring and Recording.*)

ñeca ni en el codo. El eje va del centro de la cabeza del radio al centro del cúbito (figura 2.11). En la posición anatómica, la palma está hacia delante porque el antebrazo está supinado. Cuando se flexiona el codo 90° con la palma perpendicular al suelo y el pulgar hacia arriba, el antebrazo está en posición neutra o posición media (figura 2.35). La rotación del antebrazo en sentido medial de forma que la palma se gire hacia abajo es el movimiento de pronación; la rotación del antebrazo en la dirección opuesta, es decir, en sentido lateral, gira la palma hacia arriba y

es el movimiento de supinación. En estos dos movimientos el cúbito permanece comparativamente estacionario, mientras que el radio es el hueso que se mueve. Cuando se supina el antebrazo, el radio adopta una posición casi paralela con el cúbito; cuando el antebrazo realiza un movimiento de pronación, el radio queda cruzado con el cúbito (figura 2.36). En la figura 2.37 se pueden ver los movimientos de pronación y supinación; ambas extremidades quedan abducidas en las articulaciones del hombro y flexionadas en las del codo.

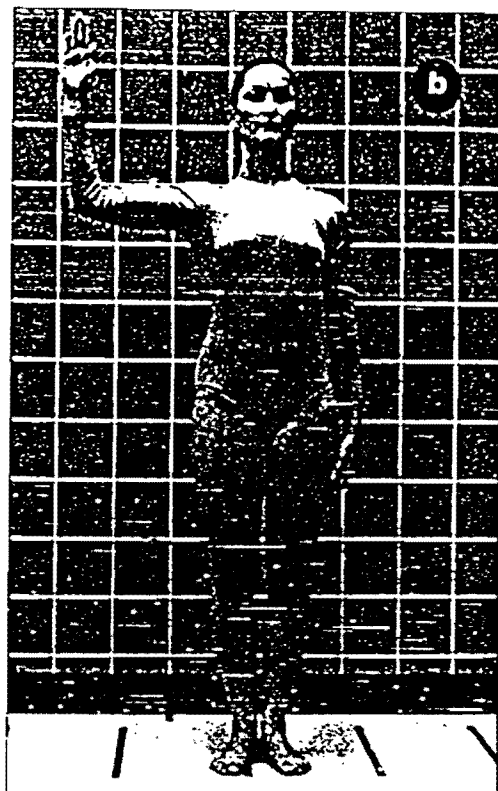
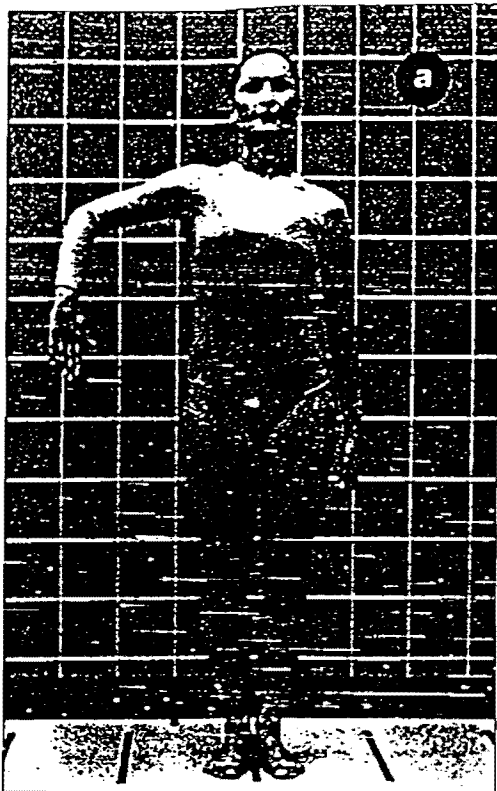


Figura 2.27. Rotación del húmero en el hombro derecho: (a) rotación interna con la extremidad superior abducida unos 90° en el hombro y flexionada 90° en el codo; (b) rotación externa con la extremidad superior abducida 90° en el hombro y flexionada 90° en el codo.



Figura 2.28. Rotación del muslo derecho en la cadera (la rodilla está flexionada para exagerar el movimiento): (a) rotación interna (hacia adentro); (b) rotación externa (hacia afuera).

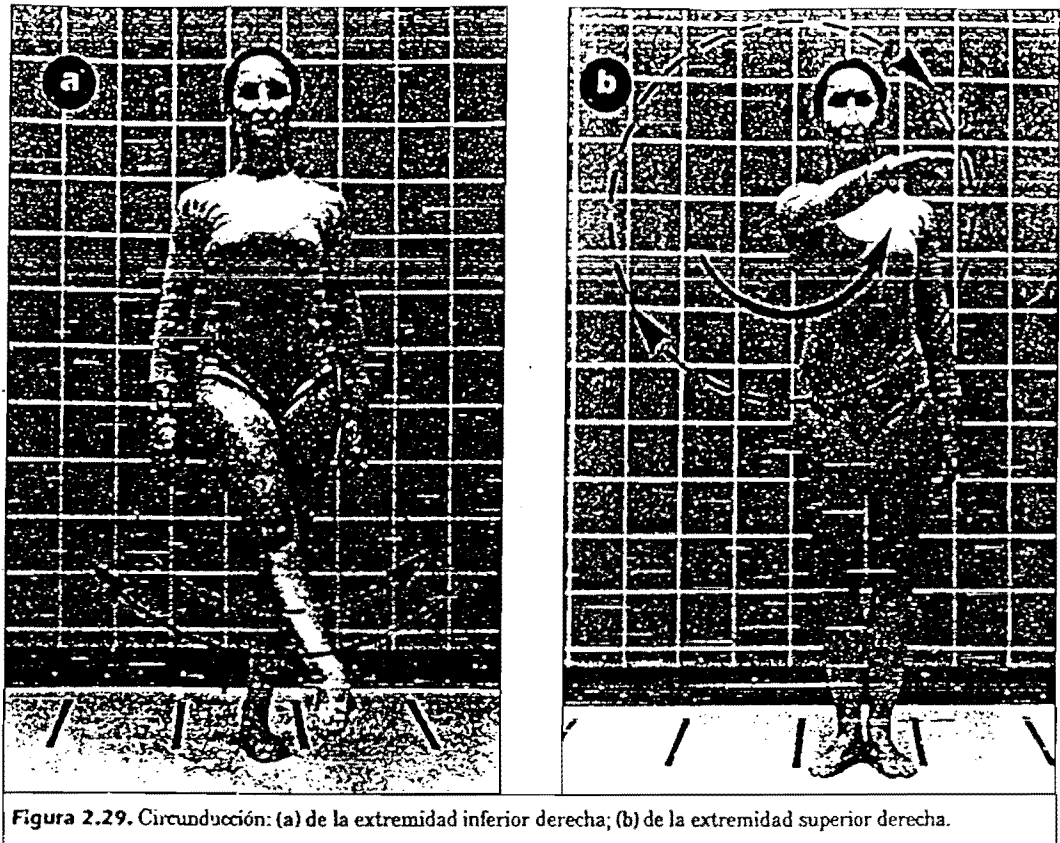


Figura 2.29. Circunducción: (a) de la extremidad inferior derecha; (b) de la extremidad superior derecha.

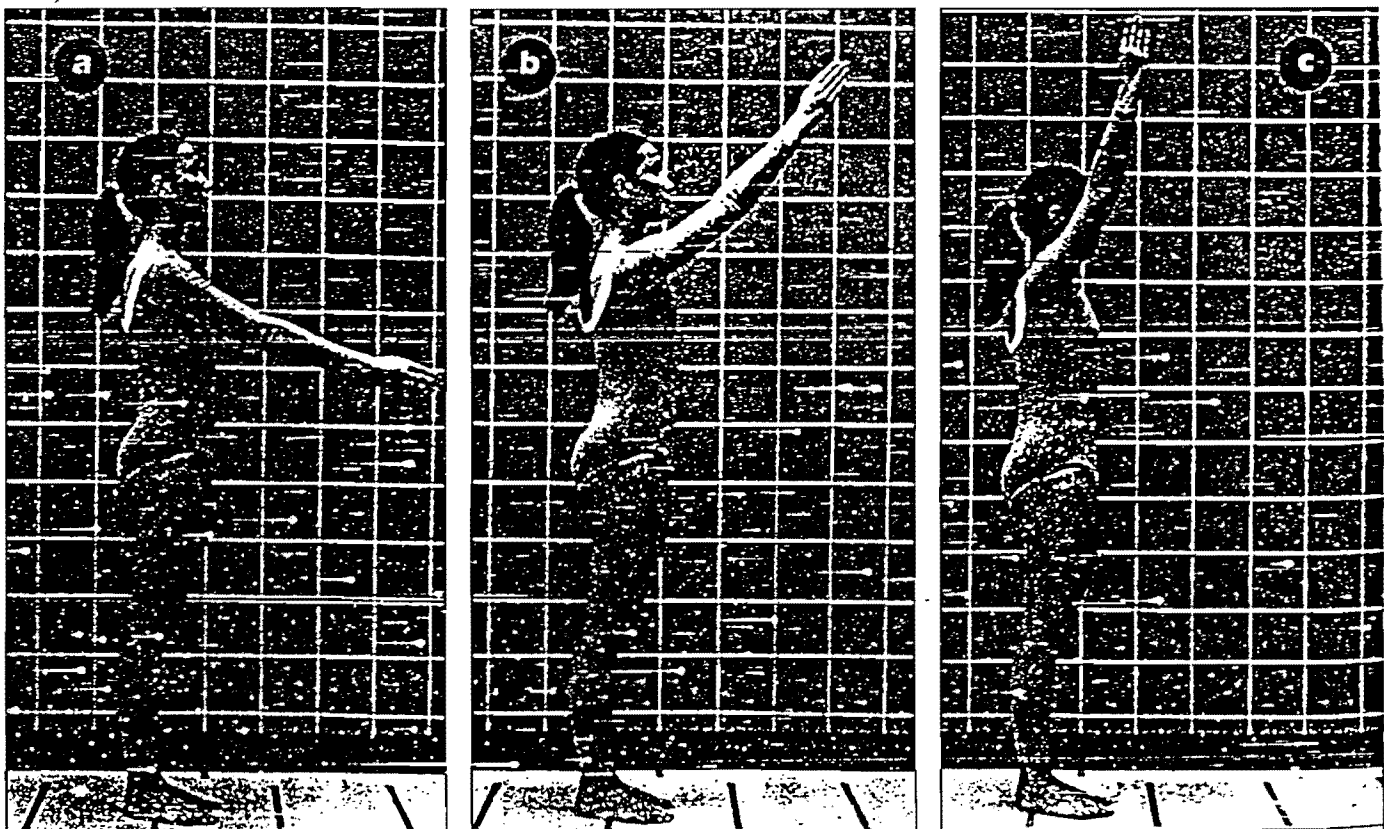


Figura 2.30: Paradoja de Codman: (a), (b) y (c) ilustran tres posiciones de una tarea de flexión del hombro que se ha iniciado con el brazo relajado junto al cuerpo; (d), (e) y (f) ilustran tres posiciones de una tarea de aducción del hombro que se ha iniciado con el brazo junto a la oreja, como en (c). Véase el texto para una explicación más detallada.

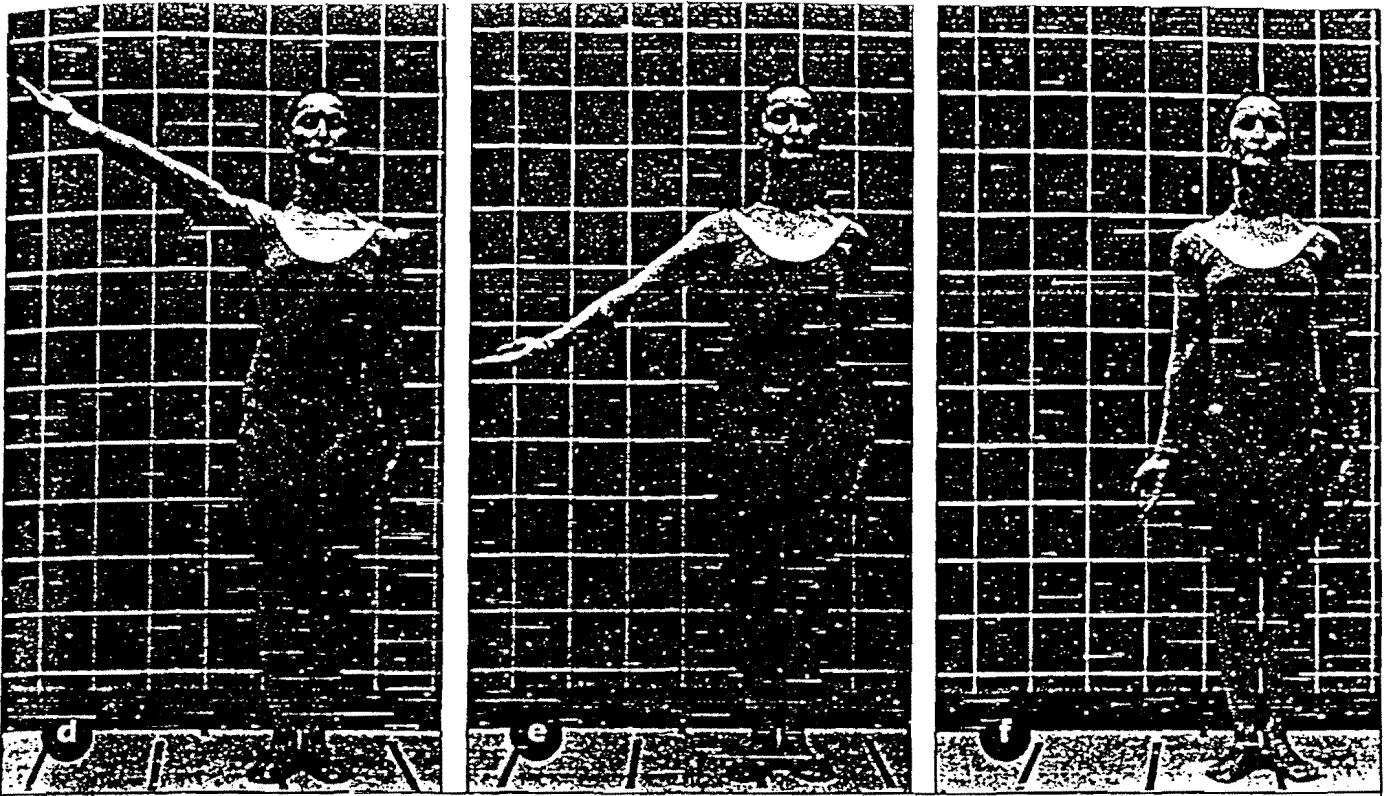


Figura 2.30. (d) a (f).

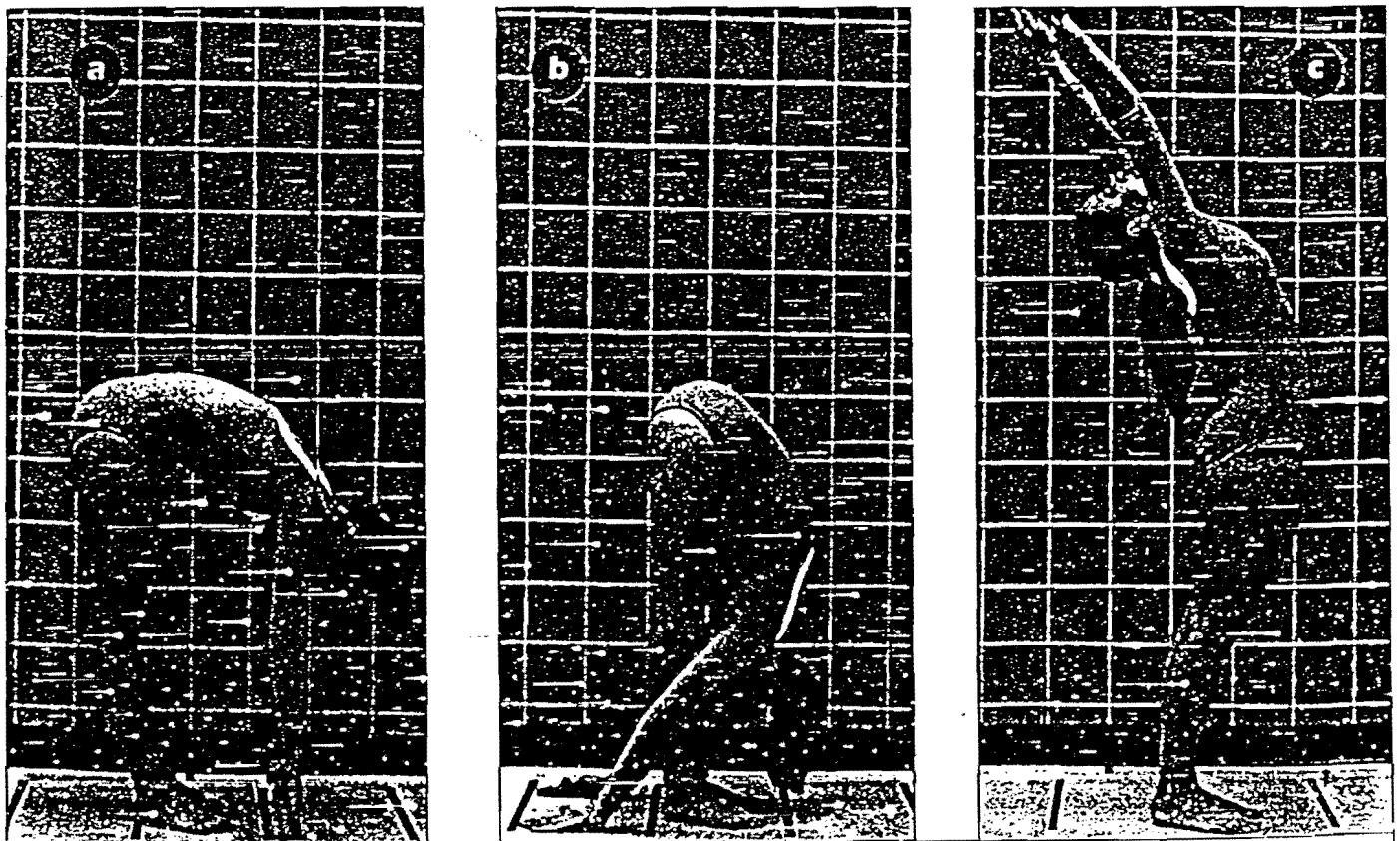


Figura 2.31: Movimientos de la columna vertebral: (a) flexión; (b) flexión combinada con la hiperflexión de la cadera; (c) extensión; (d) hiperextensión; (e) flexión lateral (abducción) hacia la derecha; (f) rotación hacia la izquierda.

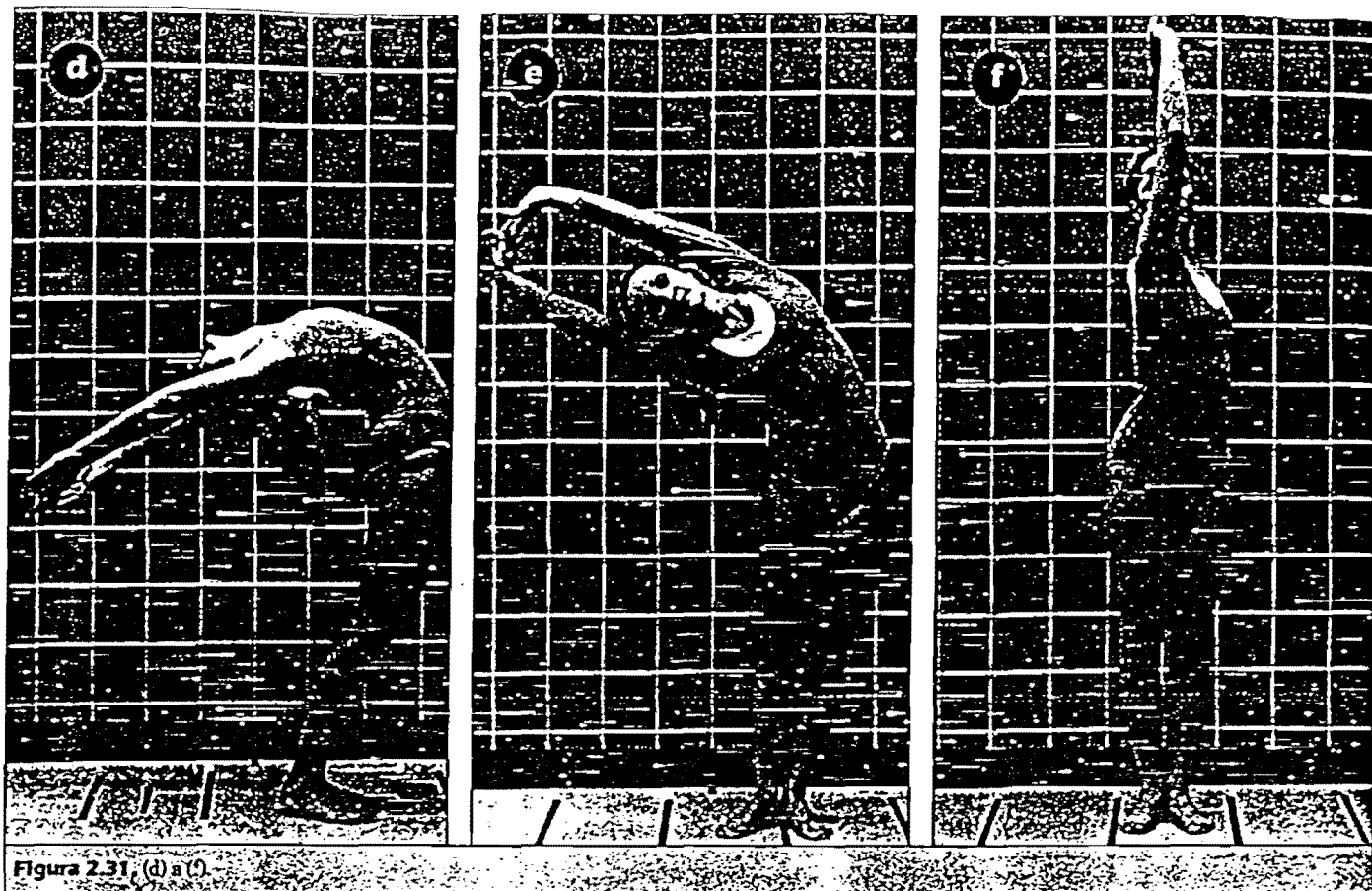


Figura 2.31. (d) a (f)

Desviación radial y ulnar de la mano en la muñeca

Estas acciones en la articulación de la muñeca se producen en el plano frontal cuando se mueve la mano hacia la cara radial del antebrazo (desviación radial) o hacia el lado ulnar (desviación ulnar) (figura 2.38). Desviación radial sustituye al término más antiguo de abducción radial, del mismo modo que desviación ulnar sustituye el de abducción ulnar.*

MOVIMIENTOS DE LAS ARTICULACIONES DEL PIE

Inversión y eversión

La inversión y la eversión (figura 2.39) son el resultado de numerosos movimientos pequeños de

deslizamiento entre las articulaciones intertarsianas y tarsometatarsianas. Hicks (1953) localizó hasta 12 ejes diferentes en el pie en torno a los cuales se pueden producir estos movimientos, contribuyendo cada uno de ellos a un movimiento final de inversión o eversión. Los ejes intermedios para estos movimientos están indicados en la figura 2.15.

El primero de estos movimientos, el de inversión, se ha definido como una elevación del borde medial del pie y/o una rotación de la planta del pie hacia dentro. La eversión es el movimiento en dirección opuesta e implica la elevación del extremo lateral del pie y/o la rotación de la planta del pie hacia fuera. Andar sobre un terreno escabroso, desigual o inclinado sería difícil, si no imposible, si no se pudieran realizar estos movimientos.

MOVIMIENTOS DE LA CINTURA ESCAPULAR

Las cinturas escapular y pélvica son comparables en tanto que ambas aportan apoyo y unión a las extremidades. Mientras que los huesos innominados de la pelvis están perfectamente anclados al esqueleto

* Los términos flexión radial y ulnar se utilizan algunas veces para describir estos movimientos; pero ya que los movimientos radial y ulnar no se ciñen a los criterios anatómicos de flexión (véase en "Flexión-extensión"), se prefiere el término "desviación".

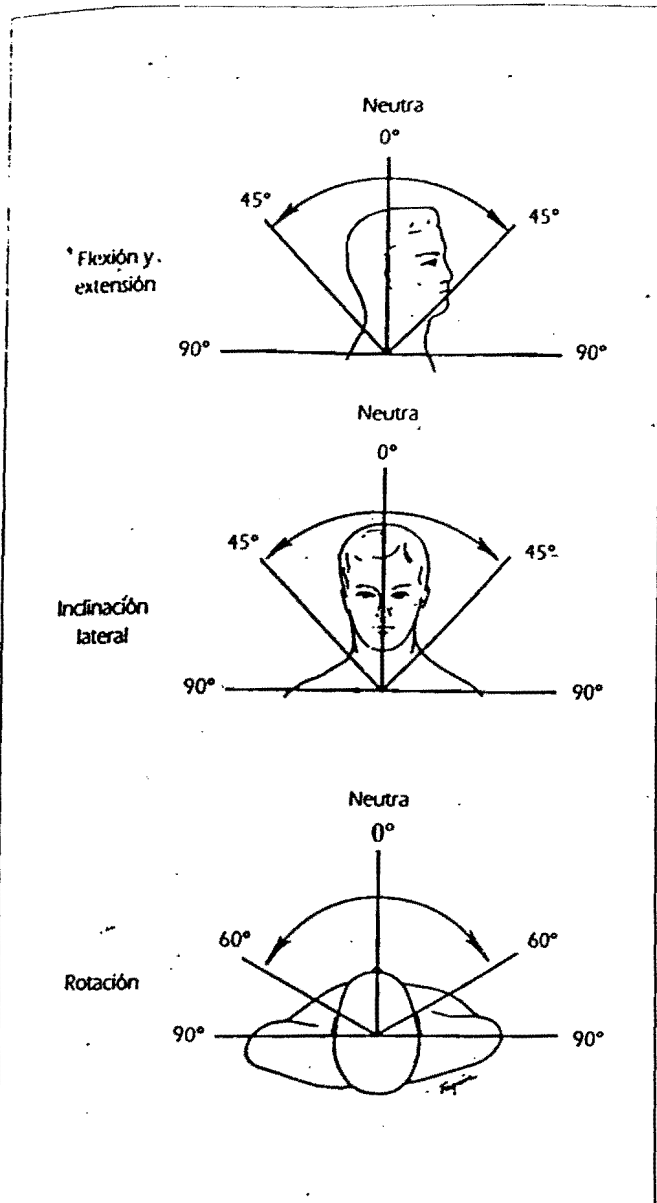


Figura 2.32. Acciones en la columna cervical. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965, *Joint Motion-Method of Measuring and Recording*.)

axial en el sacro, la cintura escapular sólo está unida al esqueleto axial por dos pequeñas articulaciones esternoclaviculares. La articulación sacroilíaca está tan firmemente unida por ligamentos fibrosos que sólo es posible una cantidad de movimiento insignificante, mientras que las articulaciones esternoclaviculares permiten una amplitud de movimiento limitada en torno a tres ejes diferentes, pasando a través del extremo proximal de la clavícula (figura 2.8). Estos movimientos, estudiados a continuación, son los de elevación-depresión, anteversión-retroversión, rotación interna y externa, y circunducción.

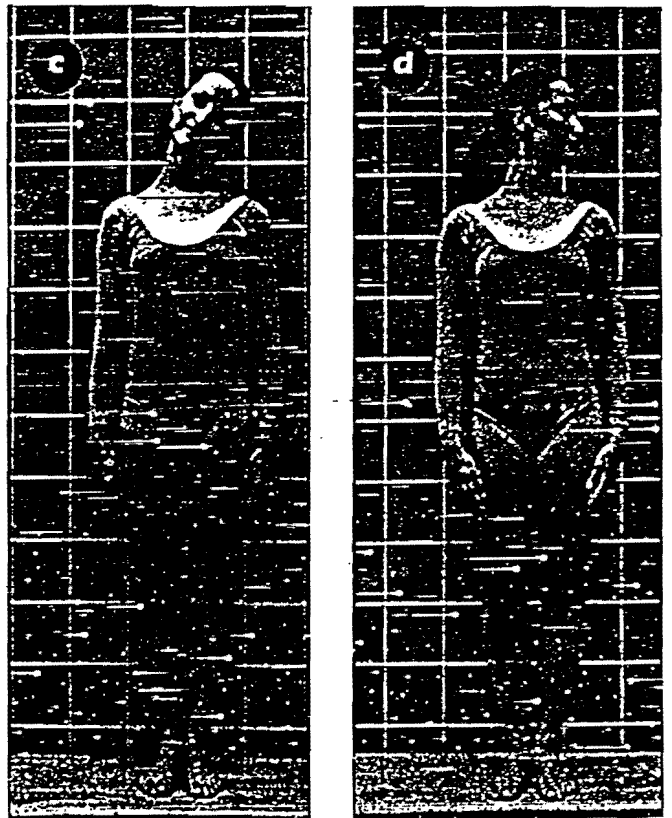
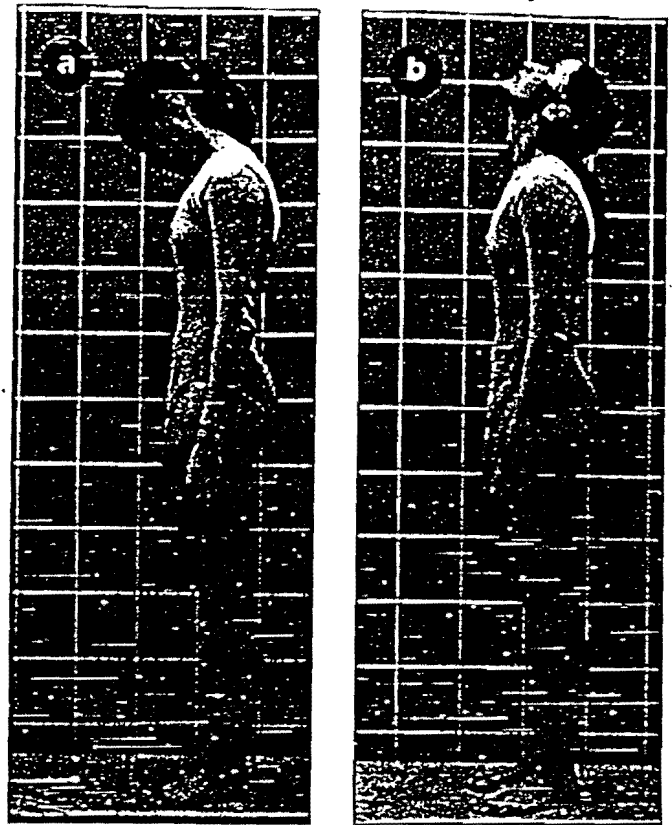


Figura 2.33. Movimientos de la columna cervical: (a) flexión ventral; (b) flexión dorsal; (c) flexión lateral; (d) rotación hacia la izquierda.



Figura 2.34. Movimientos occipitotiloideos: (a) flexión ventral; (b) flexión dorsal.

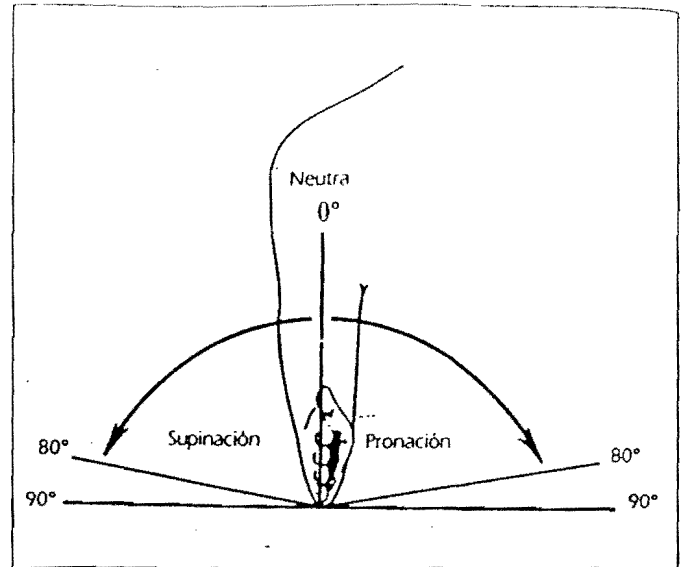


Figura 2.35. Pronación y supinación en las articulaciones radioulnares. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965. *Joint Motion—Method of Measuring and Recording.*)

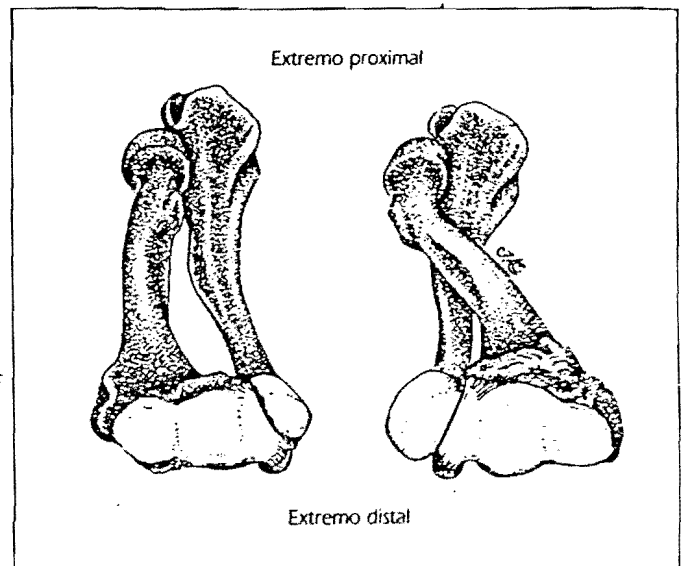


Figura 2.36. Los huesos del antebrazo derecho vistos desde la superficie volar: izquierda, en supinación; derecha, en pronación. (De MacConaill, M. A., y Basmajian, J. V., 1977. *Muscles and Movements: A Basis for Human Kinesiology.* Baltimore: The Williams & Wilkins Company.)

Elevación-depresión

Estos movimientos, que pueden verse en la figura 2.40, se producen en torno a un eje transversal levemente oblicuo al plano sagital (T en la figura 2.8). La excursión angular total de la clavícula de la depresión máxima a la elevación máxima se ha estimado en 60° (Steindler, 1973).



Figura 2.37. Pronación y supinación. La mano derecha está pronada; la mano izquierda supinada.



Figura 2.38. Desviación de la mano en el antebrazo. El sujeto presenta desviaciones radial derecha y ulnar izquierda de la mano hacia el antebrazo.

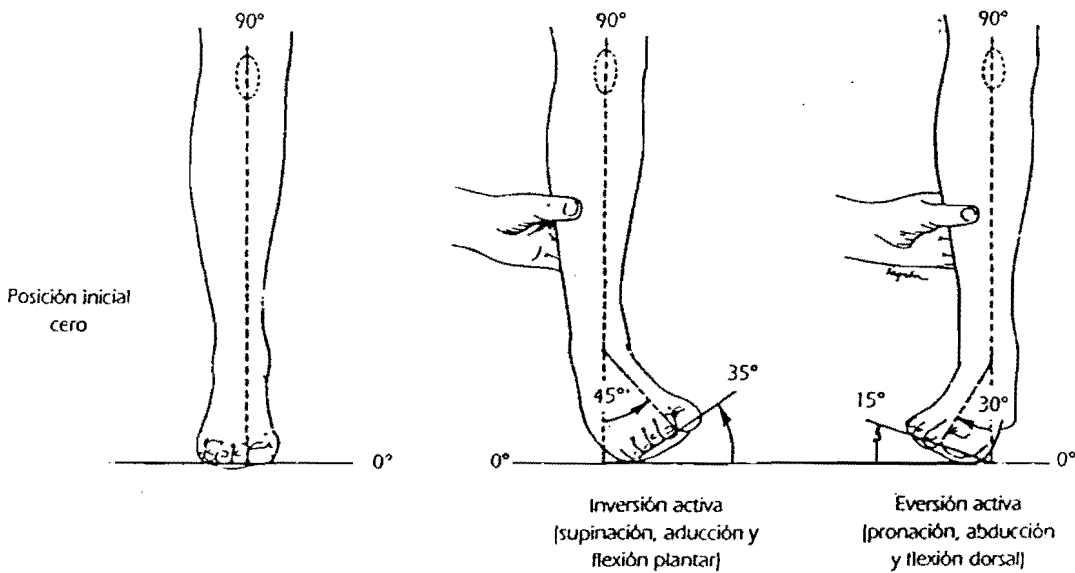


Figura 2.39. Movimientos de inversión y eversión del pie. (De la American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1965, *Joint Motion: Method of Measuring and Recording*)

Anteversión-retroversión (flexión-extensión)

Los movimientos de la figura 2.41 tienen lugar en torno al eje vertical a través del extremo proximal (esternal) de la clavícula (V en la figura 2.8). Aunque los anatomistas prefieren los términos **anteversión** para un movimiento hacia delante de los hombros y **retroversión** para un movimiento hacia atrás, la terminología flexión-extensión escogida por los cirujanos ortopédicos se ciñe a los criterios presentados anteriormente para estos movimientos (véase en "Flexión-extensión").

Rotación

La rotación se produce en torno al eje L largo en la figura 2.8. La **rotación hacia dentro (o arriba)** de la clavícula en torno a este eje es responsable en gran medida del movimiento de la fosa glenoide hacia delante durante la flexión del hombro, mientras que la **rotación hacia fuera (o abajo)** desplaza la fosa glenoidea hacia abajo y hacia atrás durante la extensión del húmero en el hombro.

Circunducción

Cuando se circunduce la extremidad superior, la amplitud de movimiento aumenta por **circunducción** de la clavícula.

Movimientos acromioclaviculares

A pesar de que la amplitud de movimiento en esta articulación es limitada en comparación con muchas otras, se trata de una articulación multiaxial y tiene tres grados de libertad. Esta libertad es la que permite a la escápula moverse sobre la clavícula de modo que la fosa glenoide pueda seguir rotando hacia arriba y de lado, hacia arriba y adelante, y hacia abajo, posibilitando de este modo las extremas amplitudes de movimiento de la extremidad superior.

Movimientos de la escápula

Los movimientos de la clavícula sobre el esternón antes descritos no están causados tanto por músculos que actúan directamente sobre la clavícula, como por otros que actúan de forma indirecta sujetando y moviendo la escápula sobre el tórax. Como consecuencia de ello muchos autores prefieren omitir el estudio de las acciones esternoclaviculares y limitarse a descri-

bir el comportamiento observado de la escápula, en términos anatómicos, del siguiente modo:

La **elevación** desplaza la escápula hacia arriba en el torso, mientras que la **depresión** la desplaza hacia abajo.

La **abducción** de la escápula es un movimiento de alejamiento de la columna vertebral, mientras que la **aducción** la acerca a ésta.

Rotación hacia arriba: el ángulo inferior de la escápula se mueve en sentido lateral y hacia arriba mientras que la fosa glenoidea, también gira hacia arriba.

Rotación hacia abajo: el ángulo inferior se mueve en sentido medial, mientras la fosa glenoidea se desplaza levemente hacia un lado y se gira hacia abajo.

"MICROASPECTOS" DEL MOVIMIENTO HUMANO

El estudio de la osteocinématica y la artrocinématica reviste un interés particular para los cinesiólogos y los profesionales de la salud que están interesados en la comprensión de la "microcinématica" del movimiento humano.

La mayor parte del trabajo en esta área lo ha realizado MacConaill (1946, 1950, 1958). Además, en el texto de MacConaill y Basmajian (1977) se puede consultar una revisión exhaustiva de esta obra.

Osteocinématica

MacConaill y Basmajian (1977) se refieren a la **osteocinématica** como el estudio de los movimientos de los huesos. Sugieren que cualquier movimiento óseo se puede describir en términos de giro y oscilación. **Giro** se define como una rotación en torno al eje prolongado de un hueso. Un ejemplo de giro se produce en el húmero durante la rotación interna y externa del hombro (la posición inicial se produce con el hombro abducido a 90°). **Oscilación** hace referencia a cualquier movimiento que no sea un giro puro. La oscilación se divide en: (1) **pura u. oscilación cardinal**, que se produce sin giro (figura 2.42[a]), y (2) **oscilación impura o movimiento arqueado**, que combina la ocurrencia simultánea de oscilación y giro (figura 2.42[b]).

Artrocinématica

Mientras que la osteocinématica se ocupa del estudio de los movimientos óseos, la **artrocinématica** se centra en la descripción de los movimientos de las

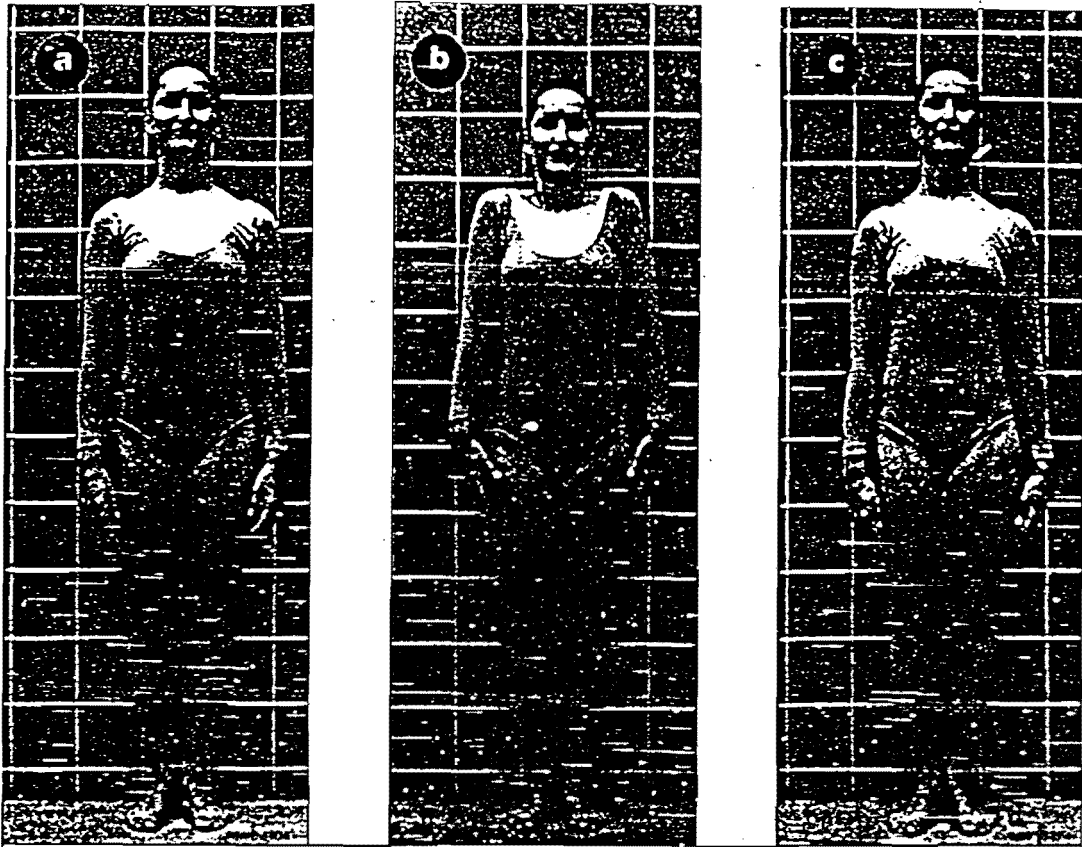


Figura 2.40. Movimientos de la cintura escapular en la articulación esternoclavicular (vistas frontales): (a) neutra; (b) elevación; (c) depresión.

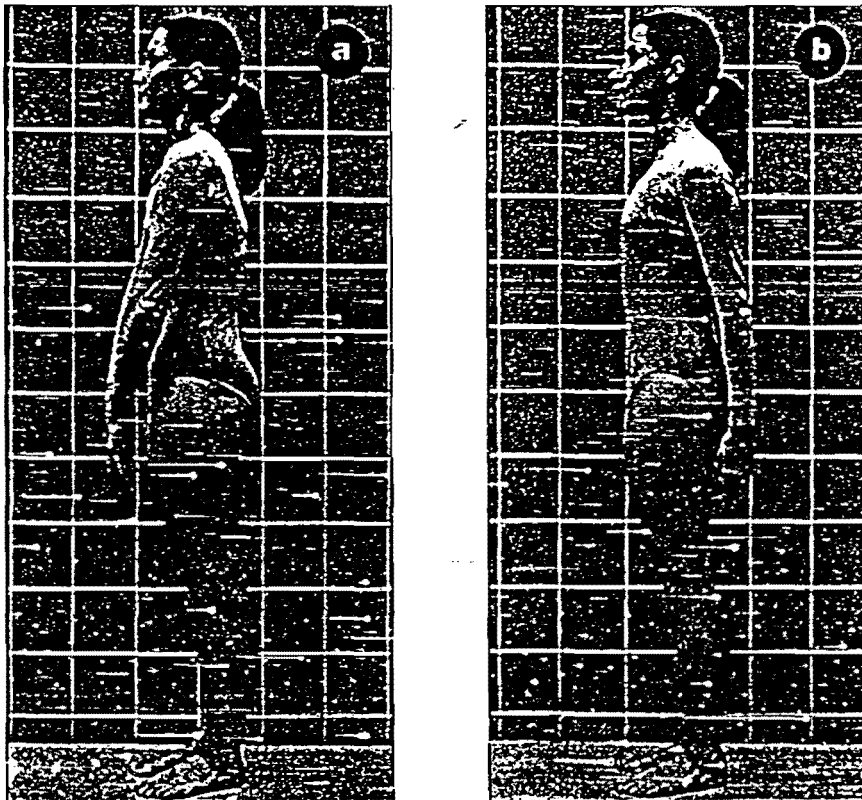


Figura 2.41. Movimientos de la cintura escapular en la articulación esternoclavicular (vistas laterales). (a) anteversión (flexión); (b) retroversión (extensión).

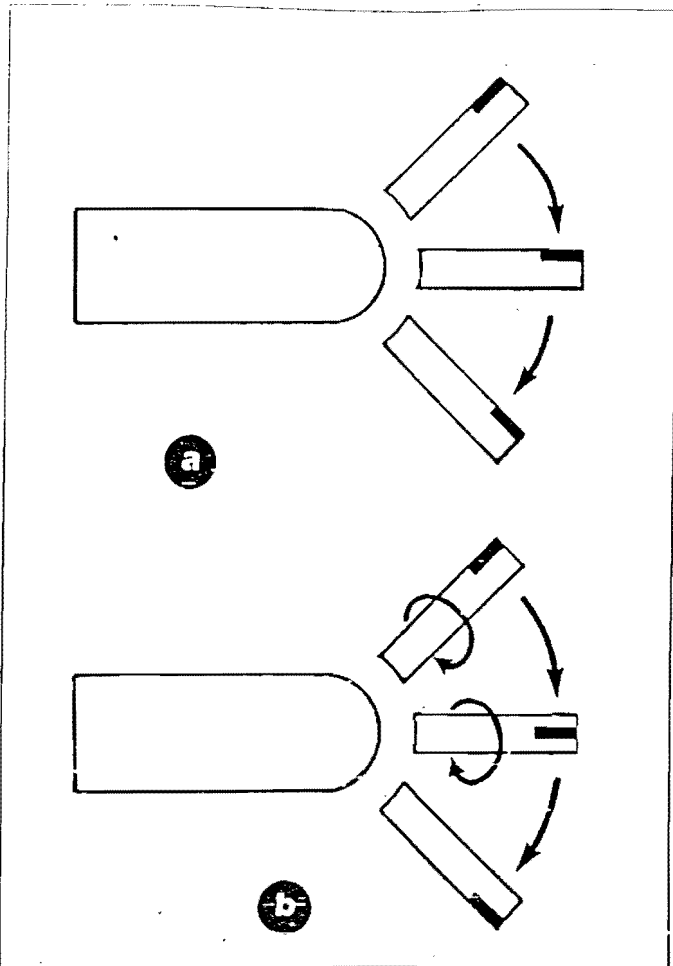


Figura 2.42. Esquema de oscilación: (a) oscilación pura; (b) oscilación impura.

articulaciones. Estos movimientos tienen lugar en articulaciones que se están desplazando libremente, es decir, **articulaciones sinoviales**. MacConaill y Basmajian (1977) aventuraron el siguiente esquema de clasificación para las articulaciones sinoviales:

1. **Ovoide no modificada.** Este tipo de articulación tiene tres grados de libertad. Las articulaciones del hombro y la cadera constituyen dos ejemplos.
2. **Ovoide modificada.** Este tipo de articulación tiene dos grados de libertad. Entre los ejemplos de la misma se incluyen las articulaciones metacarpofalángeas y la articulación radioscafoidea.
3. **Silla de montar no modificada.** Este tipo de articulación tiene dos grados de libertad. Un ejemplo es la primera articulación metacarpiana del trapecio.
4. **Silla de montar modificada.** Este tipo de articulación tiene un grado de libertad. Algunos ejemplos los constituyen la articulación de la rodilla y las interfalángeas de los dedos.

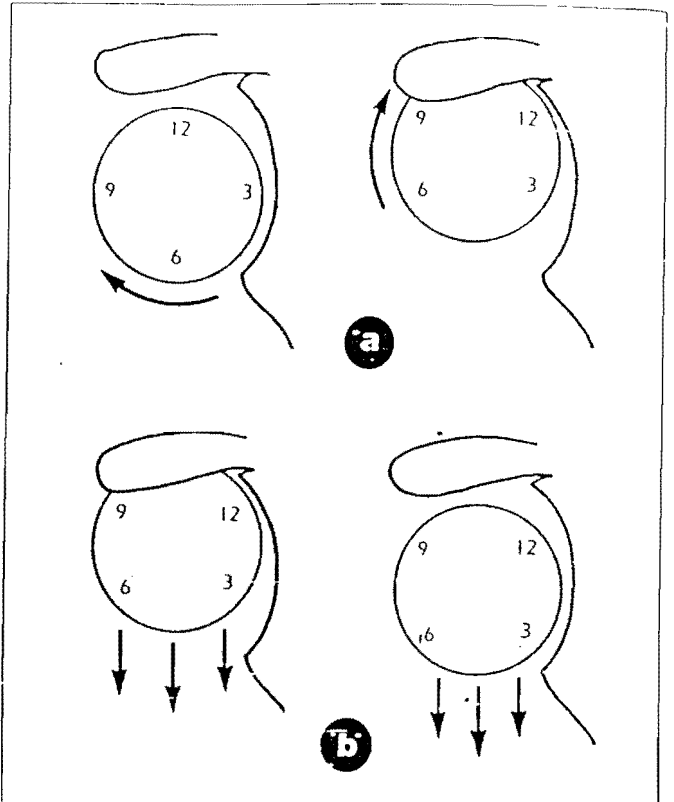


Figura 2.43. Esquema de la articulación glenohumeral. Para lograr una abducción, la cabeza humeral debe: (a) balancearse en sentido craneal y (b) deslizar en sentido caudal.

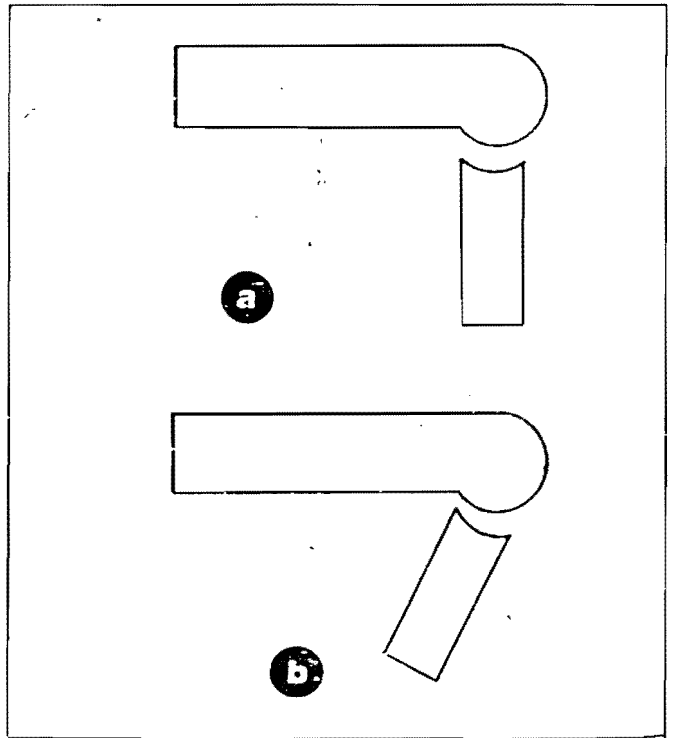


Figura 2.44. Esquema de la quinta articulación metacarpofalángica: (a) posición de macho y hembra en un punto de la amplitud; (b) ejemplo de oscilación del elemento hembra al final de la amplitud.

Se dice que los miembros de una articulación sinovial son bien machos, o bien hembras. En una articulación ovoide, el elemento macho se identifica como el componente con la superficie convexa, mientras que el elemento hembra tiene la superficie cóncava. En una articulación en silla de montar el elemento macho es el componente con la superficie de articulación más amplia.

También es interesante el concepto de **congruencia articular**, el grado en el que se adaptan unos elementos a otros. La posición de máxima congruencia se denomina **posición estable**, ya que es en esta posición en la que la curvatura del elemento macho más se asemeja a la del elemento hembra (MacConaill, 1950). También es en esta posición cuando la cápsula articular y los ligamentos colaterales están más tensos. Como consecuencia, en la posición abigarrada la articulación tiene un juego escaso o nulo. En todas las otras posiciones de articulación, la curvatura del elemento macho es inferior a la del elemento hembra. Esto conduce a una menor congruencia que se denomina **posición libre** (MacConaill, 1950).

Los movimientos de la articulación se identifican como giro, oscilación, deslizamiento y balanceo. El movimiento de **giro** que se produce en la articulación es análogo al giro descrito en la sección de osteocinemática. Para ilustrar los términos oscilación, deslizamiento y balanceo, se presentan dos ejemplos. El primer caso examina la abducción en la articulación glenohumeral, es decir, ovoide no modificada. En lo que a este ejemplo respecta, el elemento hembra (fosa glenoidea) es el componente fijo y el elemento macho (cabeza del húmero) es el componente móvil. Para que se produzca la abducción, debe producirse una combinación de oscilación y deslizamiento. La **oscilación** se produce cuando entran en contacto nuevos puntos del elemento macho con nuevos puntos del elemento hembra (figura 2.43). A partir de la figura 2.43(a), se puede ver que si la oscilación fuera el único movimiento que se produjese en el hombro, la cabeza del húmero se saldría por la parte de arriba de la fosa glenoidea o, más correctamente, se atascaría contra la cara inferior del acromion. El **deslizamiento** se produce cuando un punto constante de un hueso entra en contacto con nuevos puntos del segundo hueso (figura 2.43[b]). De este modo, para lograr la abducción de un modo adecuado, la cabeza humeral macho debe oscilar en sentido craneal y deslizarse en sentido caudal.

El segundo caso examina el movimiento de flexión en la quinta articulación metacarpofalángica, es decir, ovoide modificada. En este caso, se considerará que el elemento metacarpiano macho estará fijo y el

elemento falángico hembra estará en movimiento. MacConaill y Basmajian (1977) afirman que cuando un elemento hembra se desplaza sobre un elemento macho fijo, inicialmente se produce un breve **balanceo**, que es seguido por un deslizamiento (a veces acompañado de un leve balanceo), y finalmente se produce un balanceo al final de la amplitud (figura 2.44). Durante el movimiento de un elemento hembra sobre un elemento macho fijo, el balanceo y el deslizamiento siempre se producen en la dirección del movimiento.

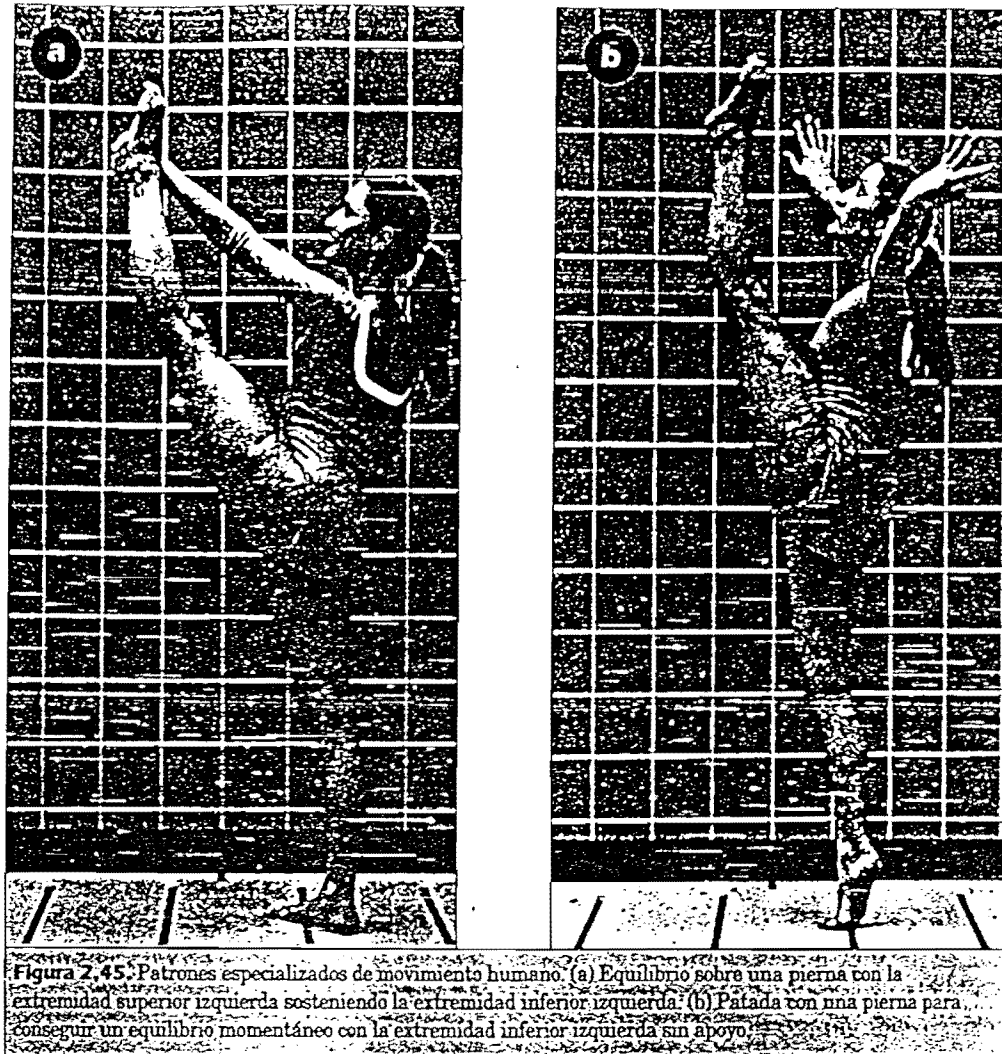
MOVIMIENTOS QUE SE PRODUCEN EN MÁS DE UNA ARTICULACIÓN

Patrones diagonales

El ser humano rara vez (si es que lo hace en algún caso) aísla el movimiento a una articulación, a menos que sea de flexión/extensión, en una de las articulaciones falángicas distales en la extremidad superior o inferior. Todos somos conscientes de la variedad de combinaciones de movimiento de las múltiples articulaciones que se pueden producir en cualquier momento determinado. Algunas de las combinaciones múltiples han captado el interés de los terapeutas, debido a los patrones predecibles que parecen quedar asegurados cuando está implicado un movimiento de articulación en particular. Knott y Voss los han identificado como las **diagonales de movimiento** (Knott y Voss, 1968). Se incluyen en este capítulo porque su existencia está directamente asociada con las distribuciones anatómicas y las capacidades funcionales del sistema musculoesquelético.

La alineación de músculo asociada con las acciones de hombro y cadera es rotativa y se produce en dirección diagonal, lo que indica que los movimientos de articulación rara vez se producen en los planos cardinales puros del cuerpo.

Se han identificado dos patrones de movimiento diagonales. Los patrones diagonales para las extremidades se describen de acuerdo con los tres grados de libertad, de lo que derivan los tres componentes de movimiento posibles en las articulaciones proximales: el hombro y la cadera. Cada patrón viene definido por uno de los dos movimientos asociados a cada uno de los tres componentes; por tanto, un patrón incluye un componente de flexión o extensión para el movimiento en el plano sagital, de abducción o aducción para el movimiento en el plano frontal y de rotación medial o lateral para el movimiento en el plano transversal.



Las articulaciones intermedias (el codo y la rodilla), cada una de las cuales tiene esencialmente un grado de libertad, pueden estar en una posición de flexión o extensión. Las articulaciones distales están en una posición coherente con las articulaciones proximales al margen de la acción en las articulaciones intermedias.

El **primer patrón diagonal** es el mismo para las extremidades superiores y las inferiores. La articulación proximal (hombro o cadera) es flexionada, aducida y rotada en sentido lateral. Las articulaciones intermedias están flexionadas o extendidas. Las articulaciones distales muestran patrones similares a los de las articulaciones proximales. Las acciones recíprocas en el hombro y la cadera son extensión, abducción y rotación medial.

El **segundo patrón diagonal** es diferente en las extremidades superiores y las inferiores. El segundo patrón diagonal está compuesto de flexión del hombro, abducción y rotación lateral, con unos patrones

coherentes en las articulaciones distales. El patrón recíproco consiste en extensión, aducción y rotación medial del hombro. El codo se flexiona o se extiende.

El segundo patrón diagonal para la extremidad inferior consiste en flexión, abducción y rotación medial de la cadera. Las acciones recíprocas son extensión, aducción y rotación lateral. Una vez más, las acciones de la articulación distal tienen un patrón similar a los de las articulaciones proximales y la rodilla se flexiona o se extiende.

El primer y el segundo patrones diagonales siempre se describen en relación con los componentes del plano sagital de las articulaciones proximales, por ejemplo, primer patrón de flexión diagonal, o primer patrón de extensión diagonal.

En la ejecución de un mate de bádmiton (véase figura 11.27) se pueden ver ejemplos de patrones diagonales funcionando en un deporte. Los movimientos de la extremidad superior derecha en la articulación del hombro, en especial desde el fotograma 20 hasta

el final, se consideran como extensión, aducción y rotación interna; de aquí todos los ingredientes para el segundo patrón de extensión diagonal en la extremidad superior. La extremidad superior izquierda también reúne los requisitos del segundo patrón de extensión diagonal, pero con una diferencia considerable: el codo está flexionado. Cabe destacar, como contraste, que los movimientos en la cadera izquierda del fotograma 1 al fotograma 10 son principalmente extensión y rotación medial, con una leve abducción visible, lo que lo convierte en un excelente ejemplo de primer patrón de extensión diagonal. Podría parecer que la extremidad derecha inferior, en especial del fotograma 12 al final, encaja en el segundo patrón de flexión diagonal principalmente debido a la flexión y abducción de la cadera. Es posible que el lector quiera explorar varios movimientos deportivos de un modo similar, con objeto de confirmar (o refutar) la presencia de patrones diagonales.

Patrones de movimiento especializados

Una vez adquirido el vocabulario necesario, es posible describir los patrones de movimiento incluso sin figuras. La figura 2.45 presenta a una gimnasta preparada en dos poses diferentes de equilibrio sobre una sola pierna. Con la excepción de la extremidad superior derecha que se utiliza para reforzar el cuerpo mecánicamente, todas las principales posiciones de articulación son visibles. Se da por sentado que en cada uno de los dos casos ilustrados el movimiento comenzó a partir de la posición anatómica.

Como ejercicio, invitamos al lector a describir todas las acciones de articulación más importantes que se producen en la figura 2.45 (a) y (b). Se recomienda un formato tabular, enumerando las articulaciones apropiadas bajo cada una de las partes del cuerpo implicadas, es decir, extremidades inferiores derecha e izquierda, columna vertebral, columna cervical, escápula izquierda y extremidad superior izquierda. En cada uno de los dos casos habría que enumerar los descriptores apropiados. Allí donde no hay movi-

miento de articulación, conviene indicar "posición anatómica".

Al comparar la figura 2.45 (a) y (b) hay que prestar especial atención a la posición de la extremidad superior izquierda, la amplitud del movimiento de la inferior izquierda y la posición del apoyo de la inferior derecha. Después de acabar el ejercicio, se debe consultar el Apéndice 1, donde aparece la descripción de los autores de los movimientos ilustrados.

En este ejercicio también conviene tomar nota de los planos de movimientos y/o de la posición de las partes del cuerpo con respecto a los planos cardinales. Además, merece la pena reparar en si se observan o no patrones diagonales y ver si hay algún rasgo distintivo en el estilo de esta gimnasta, en particular en la pose dinámica que aparece en la figura 2.45(b).

Después de realizar una serie de ejercicios similares a éste, el lector tendrá la capacidad de describir los patrones del movimiento humano completa y exhaustivamente. La habilidad para describir el movimiento humano en términos cinesiológicos es esencial para el especialista en el movimiento humano.

EL RETO A SEGUIR

Hemos estudiado el sistema esquelético, sus series de eslabones y las interacciones entre éstos. Hemos ofrecido descriptores comunes a modo de alfabeto motor para facilitar la tarea de comunicación con respecto al movimiento humano. Se han utilizado fotografías para ilustrar las descripciones de movimiento, y se ha sugerido a los lectores que imaginen los movimientos ocurridos antes y después del momento en que fue tomada la fotografía. Es esencial dominar la nomenclatura adecuada con objeto de describir y entender el movimiento humano en términos cinesiológicos. En los capítulos siguientes se pondrá a prueba el nivel de éxito en la comprensión, ya que es posible que no haya fotografías y se centre la atención del lector en el funcionamiento y en complejas aptitudes de movimiento.

