

Original

2do AEP
Libro de Forastado
Proposición
26/08/72 a Alejandro M. M.
Anonimo Miguel Angel
Hojas N° 10-53
106 copias

FISIOLOGIA DEPORTIVA

Rolando Osmar Ciró

Médico especializado en Medicina del Deporte y Profesor de
Fisiología del Ejercicio en el Instituto Nacional de Educación
Física, Santa Fe, Argentina

LIBRERIA "EL ATENEO" EDITORIAL
BUENOS AIRES - LIMA - RIO DE JANEIRO - CARACAS
MEXICO - BARCELONA - MADRID - BOGOTA



INDICE

1. BIOLOGIA. GENERALIDADES	1
Composición química de los seres vivos	1
Estructura celular	3
Concepto de fisiología	6
Fisiología aplicada a la educación física	6
Fisiología del trabajo	7
Fisiología del entrenamiento	8
2. ENERGIA PARA LA ACTIVIDAD	10
Trasformación de la energía	10
Trabajo anaeróbico	12
Trabajo aeróbico	14
Formación de ATP	14
Conclusión	15
Consumo de oxígeno	16
Provisión energética en las distintas actividades	16
Capacidad orgánica y física para el trabajo muscular	17
Medición del trabajo	17
Capacidad aeróbica de transformación energética	17
Límite anaeróbico	20
Capacidad anaeróbica de transformación energética	23
Recuperación de la energía	24
3. APARATO CIRCULATORIO	28
Circulación	29
Corazón	30
La regulación nerviosa del corazón	32
El ciclo cardíaco	32
Ruidos y soplos cardíacos	33
Circulación de la sangre en las arterias	35
Circulación en los capilares	35
Circulación en las venas	36
Volumen minuto cardíaco	37
Frecuencia cardíaca	38
Volumen sistólico	40
Tensión o presión arterial	40

INDICE

Efectos de la actividad física sobre la circulación	42
Respuesta cardíaca a la actividad física. Corazón de atleta	42
El electrocardiograma del atleta	44
Alteraciones del electrocardiograma del atleta	46
4. APARATO RESPIRATORIO	48
Anatomía funcional del aparato respiratorio	48
Mecánica respiratoria	53
Desarrollo del aparato respiratorio	55
Espacio muerto	55
Aire respirado	56
Aire alveolar	57
Regulación de la respiración	57
Regulación de la respiración durante la actividad física	58
Frecuencia y amplitud respiratorias	59
Hematosiis	60
Efectos de la actividad física sobre el aparato respiratorio	63
Respuesta respiratoria al entrenamiento	66
Segundo aliento	66
5. MEDIO INTERNO	69
Agua	69
Sangre	71
Equilibrio ácido-base	75
Intercambios líquidos entre la sangre y los tejidos	76
Intercambios líquidos entre el espacio intercelular y las células	77
Alteraciones del equilibrio líquido	77
6. EMPERATURA CORPORAL	83
Regulación de la temperatura corporal	83
Efectos del ejercicio sobre la temperatura	84
Aclimatación al calor	85
Alteraciones producidas por el calor	86
El trabajo en el calor	86
Exposición al frío	86
Ejercicios a grandes alturas	87
7. SISTEMA NERVIOSO	89
Organización del sistema nervioso	89
La neurona	89
Estructura y función de la sinapsis	92
La sensación	93
Médula espinal y reflejo espinal	94
Postura	95
Cerebelo	97
Corteza cerebral	97
Reflejos condicionados	98

INDICE XV

8. SISTEMA MUSCULAR	101
El músculo estriado	101
La fibra muscular estriada	101
Fibras rojas, blancas e intermedias	102
Irrigación del músculo	103
Inervación del músculo	104
Número y tipos de músculos	104
Estructura de la miofibrilla	104
Teoría del mecanismo de deslizamiento durante la contracción muscular	107
Procesos químicos de la contracción muscular	109
Tipos de contracción muscular	110
Respuesta muscular a la estimulación	110
Factores que influyen en la contracción muscular	111
Trabajo y potencia musculares	112
Fuerza muscular	112
9. SISTEMA NEUROMUSCULAR	115
Trasmisión del impulso nervioso	115
Trasmisión neuromuscular	116
Potencial de acción muscular	117
Regulación nerviosa de la contracción muscular	117
Funciones del cerebelo	122
Movimientos voluntarios	123
Aprendizaje motor	124
10. GLANDULAS DE SECRECION INTERNA	127
Hipófisis	127
Tiroides	129
Paratiroides	129
Páncreas	129
Suprarrenales	130
Ovarios	130
Testículos	131
11. METABOLISMO Y NUTRICION	132
Medición del metabolismo	132
Metabolismo de los hidratos de carbono	133
Metabolismo de las grasas	134
Metabolismo de las proteínas	134
Utilización metabólica durante el ejercicio	135
Necesidad calórica	135
Digestión	137
Nutrientes energéticos	138
Vitaminas y minerales	138
Generalidades de la alimentación del deportista	139
La alimentación después de la competencia	141
Reglas fundamentales para la alimentación del deportista	142
Alimentación del deportista	143

12. ENTRENAMIENTO DEPORTIVO	146
Concepto de aptitud	148
Efectos orgánicos del entrenamiento	149
Psicología del entrenamiento	155
Metodología del entrenamiento deportivo	156
Métodos de trabajo en el entrenamiento deportivo	159
13. FATIGA Y DOLORS MUSCULARES	171
Fatiga general	171
Fatiga localizada	172
Dolores y rigideces musculares	173
Calambres musculares	174
Contractura muscular	174
Desgarros musculares	175
Entrada en calor	175
Estrés	176
14. EL DEPORTE EN LA INFANCIA	178
Educación física, juego y deporte	180
La problemática del deporte precoz	181
Efectos de los entrenamientos intensivos a temprana edad	182
Repercusiones psicológicas	183
Iniciación de la actividad física	184
15. LA MUJER EN EL DEPORTE	189
Diferenciaciones morfológicas entre los sexos	193
Deportes más aptos para la mujer	195
Ciclo menstrual y deporte	196
Deporte y embarazo	197
16. ACTIVIDAD DEL SEDENTARIO, DEL CARDIOPATA Y DEL ANCIANO	198
Actividad física en el cardíopata	199
Actividad física en el anciano	201
17. EL DOPING EN EL DEPORTE	203
Elementos utilizados como doping	204
El hábito de fumar	206
Alcohol y ejercicio	206

BIOLOGIA. GENERALIDADES | 1

El conjunto de objetos de la naturaleza puede dividirse en dos grandes grupos, los vivos u orgánicos y los no vivos o inorgánicos.

La *biología* (del griego *bios*, vida, y *logos*, tratado) es la ciencia que estudia todo lo que está dotado de vida. Tomado en un sentido más amplio, el término designa la suma de conocimientos relativos a los seres vivos y, por consiguiente, abarca los contenidos del estudio de los vegetales (*botánica*), de los animales (*zoología*) y del hombre (*antropología*).

Los seres vivos tienen diferentes niveles de organización, desde los más sencillos hasta los que poseen tejidos, órganos y sistemas de órganos, con una acentuada diversificación de las actividades biológicas en cada tipo particular de vegetal o animal. En los organismos complejos es necesario el concurso de diversos órganos para realizar cada una de las funciones.

Los seres vivos presentan ciertas características ausentes en los seres inanimados: reproducción, herencia, desarrollo orgánico, traslación, nutrición, metabolismo, respiración, circulación, reacción a estímulos, etcétera.

Como ya dijimos, el estudio del hombre le compete a la antropología, y comprende la evolución del hombre a lo largo del tiempo, su comportamiento social y su conformación. La conformación del hombre es estudiada por dos grupos de ciencias, las morfológicas y las fisiológicas. Las ciencias morfológicas se ocupan de su constitución macroscópica (anatomía) y microscópica (histología). Las ciencias fisiológicas investigan las funciones de las células, tejidos y órganos. Por constituir los fenómenos físicos y químicos una parte integral de la vida, en cada una de las ciencias se tratan los aspectos físicos y químicos. Otra parte integral de la antropología está representada por las ciencias médicas, que estudian las enfermedades y procuran mantener el mejor estado físico y psíquico del hombre.

Las implicancias de las diferentes etapas de la vida y de las enfermedades en la recreación y el deporte, y el conocimiento de los efectos del deporte en la salud han favorecido el desarrollo de la *medicina del deporte*, especialidad que requiere un profundo conocimiento de todas las ciencias del hombre, en particular de la fisiología del ejercicio.

COMPOSICION QUIMICA DE LOS SERES VIVOS

Más de treinta elementos químicos son esenciales para los seres vivos; algunos son indispensables para todas las especies y otros son necesarios para ciertas especies solamente. Se los divide en *macroelementos* o *constituyentes principales* (con concentración mayor del 1%), y son el carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O) y el nitrógeno (N); y en *microelementos* (con concentración menor del 1%), que son *constituyentes necesarios*. Entre ellos se distinguen: el sodio (Na), que es el principal catión extracelular y actúa en la transmisión del impulso nervioso y en la regulación de la presión osmótica celular; el potasio (K), principal catión intracelular, que actúa en la transmisión del impulso nervioso, en la contracción muscular y en la constitución de algunas enzimas; el cloro (Cl), que regula la presión

osmótica celular; el calcio (Ca), que constituye el tejido óseo e interviene en la coagulación sanguínea y en la contracción muscular; el magnesio (Mg), que integra algunas enzimas; el fósforo (P), que constituye el tejido óseo y es fundamental para la transferencia de la energía, y el azufre (S), que forma parte de algunas moléculas orgánicas. También existen *elementos vestigiales*, que son aquellos necesarios en pequeñas cantidades; por ejemplo: el hierro (Fe), un componente de la molécula de hemoglobina y mioglobina; el cobre (Cu), que se encuentra en pigmentos respiratorios; el manganeso (Mn), el cinc (Zn) y el yodo (I); esencial para la función tiroidea.

El principal componente inorgánico de las células es el agua, que constituye el medio donde ocurren los procesos fisicoquímicos vitales.

Los componentes orgánicos de los seres vivos están representados por lípidos, hidratos de carbono, proteínas y ácidos nucleicos.

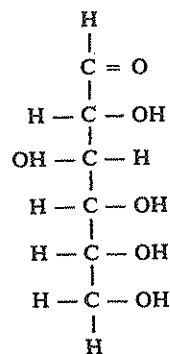
Lípidos

Se caracterizan por su falta de solubilidad en agua y su solubilidad en sustancias como el éter, benceno, etc. Están compuestos fundamentalmente por carbono, oxígeno e hidrógeno. Su principal función es la de integrar o ser precursores de moléculas más complejas o ser combustible celular, que puede degradarse para producir energía.

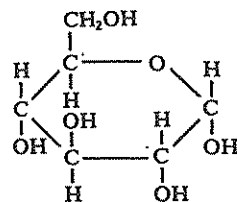
Hidratos de carbono

Químicamente son polialcoholes con una función aldehído o cetona y se los clasifica en monosacáridos, disacáridos y polisacáridos.

Los *monosacáridos* son sustancias cristalinas solubles en agua y de sabor dulce. El principal monosacárido del organismo es la glucosa:



Glucosa lineal



Glucosa cíclica

La función principal de la glucosa es la de ser combustible celular. Actúa como intermediario en procesos metabólicos importantes y forma parte de moléculas mayores.

Los *disacáridos* están formados por la unión de monosacáridos. El más importante es la sacarosa o azúcar común. Los *polisacáridos* están constituidos por muchas unidades de monosacáridos, y entre ellos se distinguen la celulosa, el almidón y el glucógeno. El glucógeno es un polímero de la glucosa, muy ramificado, que constituye la reserva energética animal y fundamentalmente se acumula en el hígado y en los músculos.

Proteínas

Son macromoléculas formadas por grupos de aminoácidos, compuestos orgánicos que poseen un grupo carboxilo $-\text{COOH}$ y un grupo amino $-\text{NH}_2$, ambos unidos a un mismo carbono.

Según su conformación, las proteínas pueden ser fibrosas, como la miosina, o globulares, como la actina.

Funcionalmente actúan como componentes de la membrana y el protoplasma de las células y como estructuras de sostén; integran las enzimas y pueden actuar como reserva energética. Toman parte de ciertas hormonas, algunas forman anticuerpos y otras actúan en la coagulación sanguínea, en la contracción muscular, en el transporte de gases, etcétera.

Ácidos nucleicos

Son moléculas grandes resultantes de la unión de los nucleótidos, los que a su vez están formados por una base nitrogenada, una aldopentosa y un grupo fosfato.

Los nucleótidos se unen entre sí para dar lugar a los polinucleótidos y éstos a los polirribonucleótidos, uno de cuyos integrantes es el *ácido ribonucleico (ARN)*, del cual existen tres variedades: el *ARN ribosómico*, que forma parte de la estructura de los ribosomas, lugar donde ocurre la síntesis proteica celular; el *ARN mensajero*, que se ocupa de indicar cuál debe ser la secuencia de aminoácidos que formará la proteína que se está sintetizando, y el *ARN de transferencia*, que interviene en el transporte específico de aminoácidos.

El *ácido desoxirribonucleico (ADN)*, por su parte, es un polidesoxirribonucleótido que transmite la información genética de una célula a otra.

ESTRUCTURA CELULAR

La célula es la unidad básica de los seres vivos. Se la puede definir como el último elemento anatómico y fisiológico capaz de cumplir las funciones vitales de nacer, crecer, reproducirse y morir.

Todos los seres vivos están constituidos por células: una sola en el caso de los organismos unicelulares o billones como en los organismos superiores. En la célula ocurren los procesos metabólicos que condicionan el mantenimiento y la perpetuación de los seres vivos.

La forma de las diferentes células es extremadamente variable: esférica, ovoide, alargada, en espiral, poliédrica, fusiforme, discoidal, irregular, etcétera.

Las células animales están compuestas por una pared celular, un citoplasma y el núcleo. Describiremos cada uno de estos elementos con sus componentes y funciones.

Pared celular

Secretada por la misma célula, es rígida, fuerte y porosa, y tiene como función proporcionar rigidez, soporte y protección a las células.

Membrana plasmática

Se encuentra adosada a la pared celular y comunica a ésta con el citoplasma. Está constituida por proteínas y lípidos. Su función es efectuar el intercambio (control de entrada y salida) de sustancias, pues es semipermeable o de permeabilidad selectiva. El proceso de entrada y salida de sustancias puede ser por: a) *difusión*, que obedece al gradiente de concentración de aquéllas; b) por *transporte*, donde las sustancias se unen a proteínas que

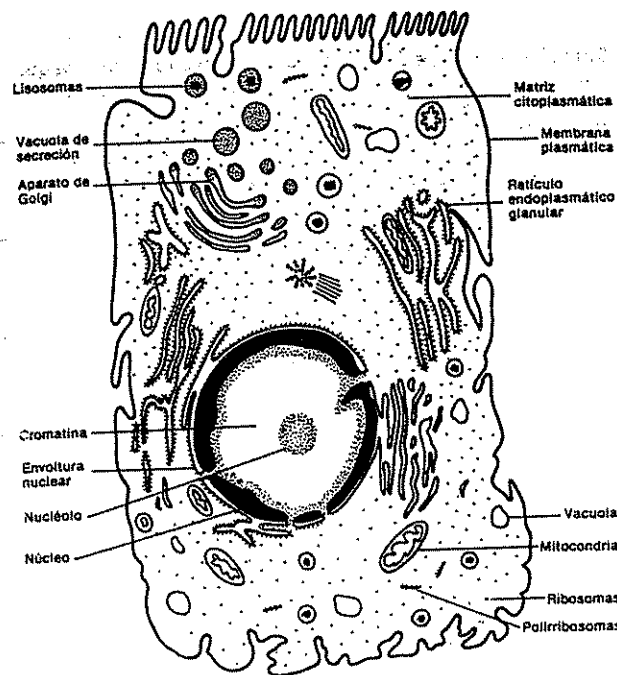


Fig. 1-1. Estructura de una célula animal. (Tomado de De Robertis, E. D. P. y De Robertis, E. M. F.: *Biología celular y molecular* 11a. ed. Ed. El Ateneo, 1986.)

facilitan el transporte a través de la membrana; c) por *transporte activo*, en contra del gradiente de concentración, como en el caso de la bomba de Na^+ y K^+ , mecanismo por el cual se utilizan moléculas transportadoras, que son proteínas, e implica un gasto de energía, derivada del ATP; d) *transporte en masa*, que se emplea para incorporar o eliminar una sustancia de tamaño relativamente grande y puede ser por *fagocitosis*, si se trata de sustancias sólidas, o de *pinocitosis*, si son líquidas.

Citoplasma

Es la parte del protoplasma que rodea al núcleo y donde se cumplen la mayor parte de las actividades celulares.

De contenido heterogéneo, está compuesto por una sustancia fundamental y por organelas e inclusiones en suspensión en ese medio.

Hialoplasma. Sustancia fundamental o matriz, es un gel casi líquido que contiene un sistema de fibras, el citoesqueleto, en el cual se encuentran las formaciones intracelulares. Está constituido por agua, iones inorgánicos y proteínas. En este hialoplasma, verdadero medio interno de la célula, se llevan a cabo la glucólisis, las fermentaciones y la síntesis proteica.

Mitocondrias. Son orgánulos citoplasmáticos membranosos. Presentan distintas formas, pero la más común es la ovoide o cilíndrica. Están formadas por dos membranas, una interna, plegada, y otra externa, lisa. Son orgánulos semiautónomos y autoduplicables, y en su matriz contienen ADN. Intervienen en la oxidación de moléculas orgánicas; utilizan

do oxígeno como aceptor de electrones, y obtienen energía química que se almacena en uniones de alta energía, como el ATP. En ellas se oxidan el ácido pirúvico, los ácidos grasos y algunos aminoácidos; participan por lo tanto en la respiración celular, proceso de la combustión que provee energía.

Plástidos. Son vacuolas que tienen por función principal la de almacenar sustancias de reserva como el almidón o el glucógeno, aceites y proteínas.

Sistema vacuolar citoplasmático. Está integrado por cuatro sistemas membranosos, conectados entre sí, que son:

1. **Retículo endoplasmático liso.** Actúa en la circulación intracelular y en la síntesis de lípidos. En las células musculares, con el nombre de retículo sarcoplásmico, está relacionado con la coordinación de la contracción de las miofibrillas.

2. **Retículo endoplasmático granular.** Actúa en la circulación intracelular y en la síntesis de proteínas.

3. **Aparato de Golgi.** Actúa en la circulación intracelular, en la síntesis de algunos hidratos de carbono y la unión de éstos con algunas proteínas, y en la concentración y formación de enzimas.

4. **Envoltura nuclear.** La describiremos con el núcleo.

Lisosomas. Tienen la forma de vesículas esféricas u ovals y en su interior se encuentran enzimas que intervienen en la digestión celular.

Vacuolas. Son vesículas de diverso tamaño y su función es la de almacenamiento.

Ribosomas. Se presentan como cuerpos esféricos, compuestos por ARN y proteínas, en donde tiene lugar la síntesis de éstas.

Centríolos. Están formados por microtúbulos y actúan en la formación del huso acromático durante la división celular.

Cilios y flagelos. Son apéndices motores que proveen la locomoción activa a las células o actúan como sistema de barrido, por ejemplo en la tráquea.

Microtúbulos. Forman parte del citoesqueleto que provee la forma de la célula; actúan en el transporte de sustancias, en la migración de los cromosomas durante la división celular y en los movimientos de cilios y flagelos.

Microfilamentos. Tienen el aspecto de hebras y están compuestos por actina, miosina y otras proteínas. Forman parte del citoesqueleto, y al ser contráctiles, provocan el movimiento celular; constituyen las miofibrillas de la célula muscular.

Sistema microtrabecular. Es una red de fibras muy delgadas, que completa el citoesqueleto y donde se hallan los distintos orgánulos intracelulares.

Núcleo

Puede presentar forma regular o irregular, y ser único o múltiple. Consta de una envoltura, la membrana nuclear, y contiene el jugo nuclear, la cromatina y el nucléolo. Por poseer cromatina, el núcleo es el depósito de casi toda la información genética y, por lo tanto, el centro de control de la actividad celular.

La membrana nuclear regula el intercambio de líquidos y sustancias entre el núcleo y el citoplasma.

La cromatina se presenta como finos filamentos dispersos y está formada por ADN y proteínas, pero antes de comenzar la división celular se compacta y forma los cromosomas. El material genético o hereditario está contenido en el ADN, encargado de supervisar las funciones celulares, guiar la síntesis del ARN que intervendrá en la síntesis de proteínas, regular el metabolismo y dirigir la multiplicación celular.

El nucléolo es un cuerpo esférico u oval, generalmente único, aunque en algunas células puede ser múltiple. En él se efectúa el armado de las subunidades de ribosomas que luego en el citoplasma actúan en la síntesis de proteínas.

CONCEPTO DE ENERGIA

Todos los procesos vitales son el resultado de cambios de energía, que según el principio de la termodinámica no puede crearse ni destruirse, sino solo transformarse.

Las formas de energía que utilizan los seres vivos son la química, la luminica, la eléctrica, la mecánica y la calórica. La casi totalidad de la energía proviene del sol, la cual se transforma luego en energía química y ésta, a su vez, en las otras formas de energía.

La energía química de un átomo o de una molécula está relacionada con los electrones que contiene; cuanto más lejos se encuentra un electrón respecto del núcleo, mayor será la energía que posee.

En los seres vivos, los átomos y las moléculas reaccionan produciendo sustancias simples o complejas; estas reacciones químicas generan un intercambio de energía.

Por lo común, en nuestro organismo el acople energético tiene lugar a través de sustancias intermedias con capacidad de almacenar energía. El intermediario celular más importante es el ATP (adenosintrifosfato), un nucleótido con tres grupos fosfato. La unión de estos grupos requiere el suministro de energía; por consiguiente, la ruptura de sus enlaces libera la energía acumulada en ellos. La transformación más frecuente es la que sigue: $ATP \rightleftharpoons ADP + P + \text{energía}$.

Es decir que en la célula ocurren reacciones para obtener energía, la cual es transportada hacia donde se la necesita por los intermediarios (fundamentalmente el ATP), que la pueden transferir en forma rápida.

Todas las reacciones químicas requieren cierta energía de activación, que es la mínima energía para que un sistema de partículas pueda comenzar una reacción química. El encargado de reducir la energía de activación se denomina catalizador. Los catalizadores especializados de las células son las enzimas. Están formadas por proteínas, actúan en cantidades muy pequeñas, no son químicamente alteradas por la reacción, modifican la velocidad de ésta y son específicas para determinadas reacciones.

CONCEPTO DE FISILOGIA

La fisiología (del griego *fisio*, función, y *logos*, tratado o estudio) es la ciencia que estudia los fenómenos propios de los seres vivos y las leyes que rigen a estos fenómenos.

La vida es el resultado de la actividad combinada y armónica de todos los órganos, aparatos y sistemas, y de las transformaciones energéticas. Tales funciones tratan de mantener un estado de composición y estructura constantes. Este estado se denomina *homeostasis*, es decir, equilibrio orgánico.

Todos los seres vivos, sean vegetales o animales, tanto si están formados por una sola célula como si tienen una estructura compleja, siempre funcionan sinérgicamente: sus órganos se interrelacionan y se complementan para lograr la armonía de todas las funciones vitales.

FISILOGIA APLICADA A LA EDUCACION FISICA

Es la ciencia que estudia las modificaciones orgánicas determinadas por la actividad muscular productiva, controlada y organizada. Investiga los cambios ocasionados por la actividad muscular, sus beneficios y sus efectos adversos, así como las diferentes edades en que deben comenzar las distintas actividades para evitar que entorpezcan el desarrollo o alteren la morfología individual. Hay actividades, en efecto, que producen un gran desarrollo muscular, lo cual no es aconsejable a temprana edad ya que ello podría influir en la evolución normal del individuo. Asimismo, hay deportes apropiados para un sexo, que podrían causar alteraciones morfofuncionales en el otro.

El ser humano posee una serie de aparatos y sistemas completamente independientes, pero correlacionados entre sí, de tal manera que actúan en conjunto para realizar las distin-

tas funciones vitales. Este actuar en conjunto es una consecuencia de la perfecta coordinación de los distintos sistemas de comando orgánicos, representados fundamentalmente por el sistema nervioso y el sistema humoral, aunque también algunas sustancias de desecho, como el dióxido de carbono, comandan determinadas funciones orgánicas.

Durante la actividad física se producen cambios adecuados y coordinados en todo el organismo, en los diferentes aparatos y sistemas; también tienen importancia las condiciones ambientales, climáticas, de altura y de humedad, el estado de nutrición y el psiquismo del individuo.

La actividad física mantiene la agilidad corporal, proporciona placer y ejerce influencias sociales y psicológicas, es decir, favorece tanto la salud física como la psíquica.

FISILOGIA DEL TRABAJO

El elemento fundamental de la movilidad es el músculo y en forma secundaria el esqueleto y las articulaciones. El músculo tiene la facultad de modificar su metabolismo y de variar su intensidad en forma rápida. Cuando el músculo trabaja pueden aumentar los procesos oxidativos hasta 50 veces los valores de reposo, y esto trae como resultado el aumento proporcional de los productos de desecho, como el dióxido de carbono y el agua, cambios del pH, exceso de calor, etcétera.

Para mantener el equilibrio del medio interno, donde se encuentran las células, debe producirse un activo transporte e intercambio de sustancias desde las células hacia el líquido intercelular y entre éste y las células; ese mantenimiento depende fundamentalmente de los órganos encargados de preservar el equilibrio del medio interno, como el aparato circulatorio, el respiratorio, el urinario, etcétera.

Como consecuencia del incremento de la producción de calor, rápidamente deben comenzar a actuar los mecanismos reguladores de la temperatura y lograr una rápida transferencia del calor desde los músculos hacia la piel. La transpiración profusa puede modificar la función circulatoria y renal; además, como se produce un exceso en el consumo energé-

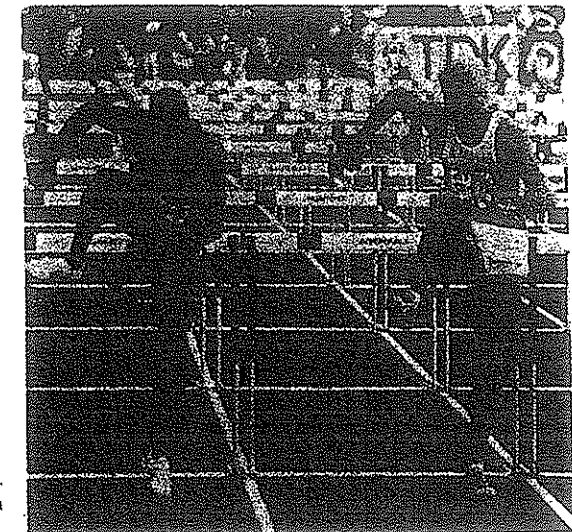


Fig. 1-2. Con un perfecto entrenamiento se logra una buena performance.

tico, la dieta debe proveer los nutrientes necesarios. Algunas glándulas de secreción interna incrementan su trabajo de regulación en el mantenimiento de la función circulatoria, metabólica y renal, y también aumenta la actividad del sistema nervioso central.

La actuación física de un individuo está determinada por varios factores: la capacidad de producción de energía, tanto en procesos anaeróbicos como aeróbicos; la capacidad de absorción y transporte de oxígeno; la función neuromuscular, de la cual depende la fuerza, coordinación y técnica en la ejecución de los movimientos; la movilidad articular y, por último, el estado psicológico, como la motivación y el estrés.

FISILOGIA DEL ENTRENAMIENTO

El entrenamiento es el proceso en el que se somete al organismo a una serie de excitaciones motrices sistemáticas, controladas, con el objeto de obtener una respuesta adaptativa que produzca una mejoría en la capacidad para realizar un trabajo físico.

Cuando las condiciones ambientales lo exigen, el ser humano tiene la capacidad de efectuar modificaciones estructurales y funcionales que lo llevan a realizar lo que se llama adaptación; esta adaptación también surge durante la actividad física sistemática, la cual provoca adecuaciones a corto y a largo plazo.

Actualmente, el proceso de entrenamiento humano posee una alta complejidad, y como es imposible que una sola persona pueda realizarlo, se requiere la actuación de todo un equipo de especialistas, cuyas tareas se complementan, integrado por el entrenador, el mé-

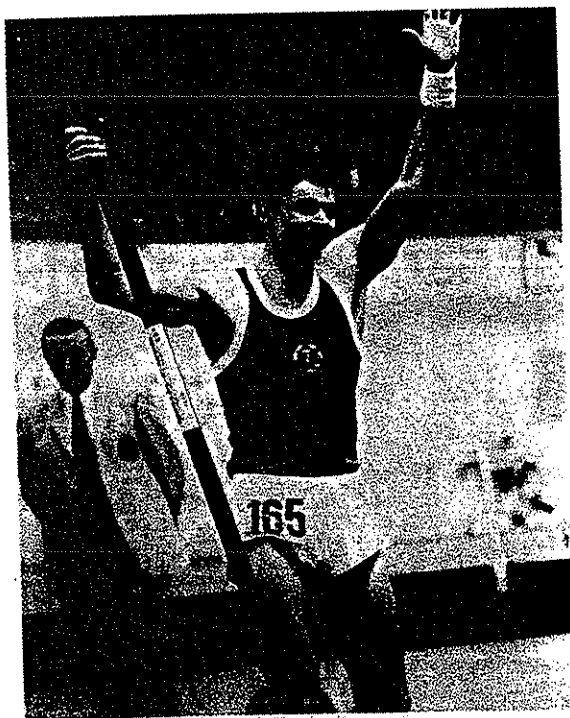


Fig. 1-3. Buena salud, buen entrenamiento, buen resultado.

dico, el psicólogo, el nutricionista, el educador físico y el kinesiólogo, cada uno de ellos con una función definida, pero todos de acuerdo con un plan general. El trabajo en equipo debe significar una permanente comunicación entre sus integrantes, una unificación de propósitos, tendiente al logro del objetivo general planteado.

El proceso de entrenamiento exige un control riguroso, dinámico y periódico, ya que los resultados obtenidos van condicionando nuevos ajustes para un mejor rendimiento. Nunca debe perderse la concepción integral del ser humano ante la actividad física y el deporte, y no se olvidará que éste debe estar al servicio del hombre, de su mejoría global, y no al revés.

Al entrenamiento siempre se lo asocia con el deporte competitivo, y es lógico, pues cuando se compete se trata de lograr el mejor rendimiento.

En el deportista, la obtención de mejores rendimientos, gracias al entrenamiento, puede ocasionarle satisfacciones morales, económicas y sociales, pero fundamentalmente le brinda la conformación de un cuerpo sano y fuerte y le asegura una vida larga y productiva.

BIBLIOGRAFIA

- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Médica Panamericana.
- Castro, R. J.; Handel, M. y Rivolta, G. R.: *Actualizaciones en biología*. EUDEBA. Buenos Aires, 1983.
- De Robertis, E. D. P. y De Robertis, E. M. F.: *Biología celular y molecular*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1984.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.

2 | ENERGIA PARA LA ACTIVIDAD

El ser humano puede ser definido como una máquina en continuo trabajo, y sólo deja de hacerlo en el momento de su muerte. Como cualquier máquina, para poder realizar este trabajo, debe transformar permanentemente energía.

Toda transformación energética en el organismo se hace por medio de combustiones que convierten la energía química de los alimentos en energía mecánica (movimiento), secreción, etc. Las combustiones, producen, además, calor y sustancias de desecho.

La gran cantidad de actividades que pueden realizar los movimientos humanos requieren un permanente suministro energético, requerimiento que varía continuamente, aun para actividades similares.

El sistema muscular transforma la energía química en mecánica, o sea, en trabajo, el cual en física se define como el producto de fuerza por distancia ($T = F \times d$), aunque a veces la actividad muscular solo desarrolla fuerza (contracción isométrica); al sostener un peso, por ejemplo, la distancia se reduce a cero.

La actividad física responde a contracciones musculares, las que solo pueden realizarse cuando participan tres factores, sin los cuales es imposible la contracción: el estímulo (nervios), la energía (química) y el acortamiento de las fibras (mecánica), que es la resultante de los otros dos.

TRANSFORMACION DE LA ENERGIA

Todas las fuentes de energía biológica en nuestro planeta provienen de los rayos solares. La energía solar es captada por las plantas verdes y transformada en sustancias orgánicas, las que cumplen la cadena biológica hasta llegar al ser humano en sus diferentes formas.

Así como el agua que fluye por una represa genera energía que se puede aprovechar mediante una turbina y transformar en electricidad, los compuestos químicos, como la glucosa, por ejemplo, producen un potencial energético de alrededor de 4 calorías por gramo, que puede utilizarse a medida que se degrada en dióxido de carbono y agua. Lo contrario sería resintetizar la molécula de glucosa, para lo cual se necesita energía externa; además, la degradación de la glucosa provee calor.

La glucosa libera energía por oxidación y esta energía queda disponible para los procesos que la requieran.

Químicamente, la oxidación es la pérdida de electrones de un átomo o molécula y la reducción es la ganancia de electrones. Los principales dadores de electrones son los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos; el oxígeno es el aceptor final de electrones u oxidante. Este proceso, denominado respiración celular o combustión aeróbica, se cumple por acción de enzimas, que pueden desdoblar moléculas grandes o formadas a partir de otras más pequeñas. Las enzimas oxidativas se encuentran en las mitocondrias, organoides presentes en el citoplasma celular; son trasductores de energía, en los cuales la energía química

se convierte en uniones potenciales de alta energía adenosintrifosfato (ATP) por medio de la fosforilación oxidativa. Esas uniones son luego utilizadas en las distintas actividades de la célula.

Para el arranque de las máquinas se almacena energía en las baterías o acumuladores. Nuestras células almacenan energía en los compuestos fosforados, el principal de los cuales es el ATP; existen varias moléculas con estas propiedades, como el GTP (guanosintrifosfato) y el UTP (uridintrifosfato); pero el ATP es el más utilizado en la energía de los sistemas biológicos. Estos compuestos liberan su energía mediante reacciones simples de transferencia de fosfatos o por hidrólisis, y al igual que un acumulador, necesitan recargarse de energía, lo cual se logra mediante un proceso inverso de resíntesis del ATP desde el ADP y el fosfato. Por lo tanto, el ATP es el productor universal de energía intracelular y la puede transferir a todos los procesos intracelulares que la necesiten.

La célula muscular tiene otra sustancia química que provee energía, la fosfocreatina (PC), que actúa como depósito para recuperar ATP; pero, como este depósito energético se agota rápidamente, serán siempre necesarios los procesos oxidativos para la resíntesis del ATP.

Las reservas de ATP y PC (fosfágenos) que tiene el músculo son limitadas, y es entonces escasa la cantidad de energía obtenida a través de estos sistemas. La real utilidad de los fosfágenos reside en la rápida disponibilidad de la energía, más que en su cantidad, por la celeridad con la cual se resintetizan una vez que son utilizados.

Una combustión es una oxidación, aunque no necesariamente con el oxígeno, sino que también puede ser una deshidrogenación, por la cual los átomos de hidrógeno son llevados a través de diferentes reacciones y al fin forman agua con el oxígeno. Por consiguiente, la combustión puede ser aeróbica, con oxígeno, o anaeróbica, sin éste.

Los principales combustibles dadores de energía son los hidratos de carbono en forma de glucógeno y los ácidos grasos en forma de triglicéridos.

Para que exista contracción muscular es necesaria la energía y esta se obtiene de la desintegración del ATP, de su desdoblamiento, que deja fósforo inorgánico libre; pero el ATP se gasta y debe ser resintetizado, hecho que se logra durante la recuperación del músculo por procesos oxidativos.

Química de la contracción muscular

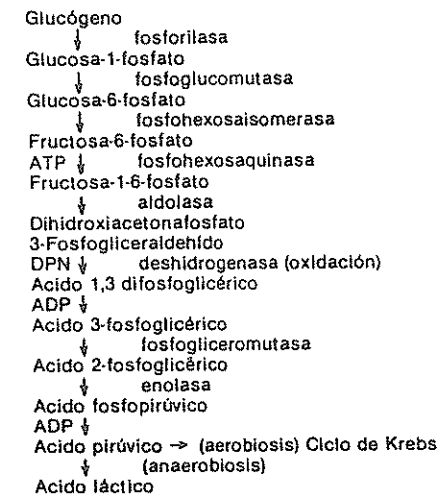


Fig. 2-1. Proceso de la glucólisis.

La provisión de energía siempre comienza en forma anaeróbica; se la designa como anaeróbica alactáica, pues termina en piruvato, y se debe a la desintegración del ATP, que libera cerca de 10 kcal por molécula de ATP.

La resíntesis del ATP por vía de la glucólisis anaeróbica se efectúa con poco rendimiento, pero mediante la oxidación (ciclo de Krebs) se llega a la resíntesis de 38 moles de ATP (proceso aeróbico), en tanto que solo se forman 2 en caso de llegar a ácido láctico (proceso anaeróbico lactácido).

Los procesos de liberación de la energía en el músculo ocurren de la siguiente manera.

La estimulación nerviosa produce:

- 1) Liberación de dos iones de calcio (Ca^{2+}) del retículo sarcoplásmico.
- 2) Formación de la actomiosina (unión de las proteínas contráctiles de la miofibrilla), que posee propiedades ATPásica y desencadena:
- 3) Desintegración del ATP en ADP y P inorgánico, liberando energía para la contracción muscular.
- 4) Iniciación del desarrollo de tensión o contracción de la fibra muscular.
- 5) El ADP resintetiza ATP por utilización de la fosfocreatina.
- 6) El proceso oxidativo resintetiza los ATP.

TRABAJO ANAEROBICO

Cuando el tipo de trabajo lo exige, es necesario recurrir a las fuentes anaeróbicas de energía. Estas fuentes pueden ser de dos tipos:

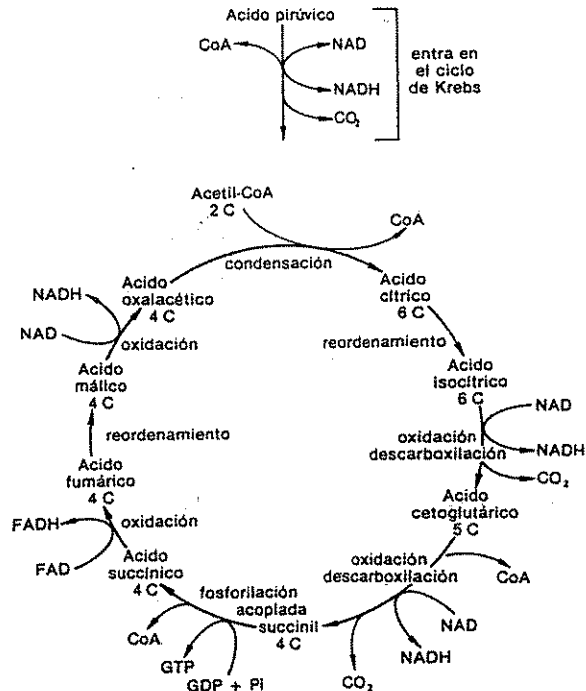


Fig. 2-2. Ciclo de Krebs o del ácido tricarboxílico. Proceso oxidativo.

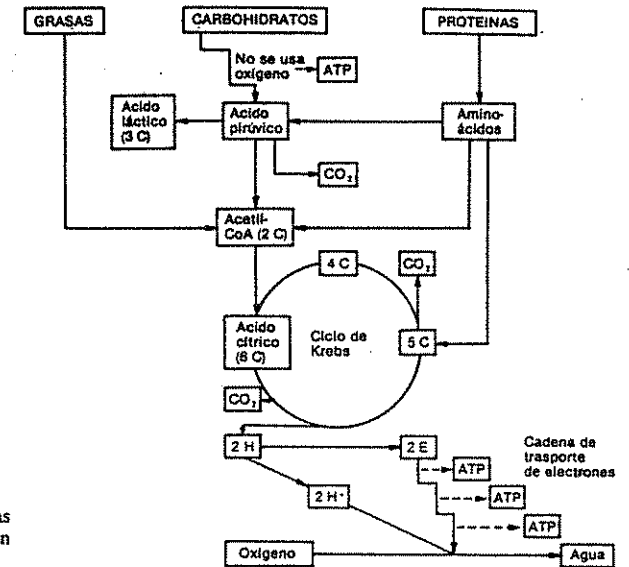


Fig. 2-3. Resumen de las combustiones y formación de ATP.

a) Derivadas de la ruptura de las uniones fosfóricas del ATP y de la fosfocreatina (PC) sin producir lactato, por lo que se llama contracción anaeróbica alactáica, con una duración aproximada de 30 segundos.

b) Derivada de la glucólisis anaeróbica con producción de ácido láctico y una duración aproximada de 150 segundos; se denomina contracción anaeróbica lactácida.

Este tipo de trabajo presenta desventajas; es aproximadamente 18 veces más caro que el metabolismo aeróbico y se gasta más energía. Además, el producto es el ácido láctico, sustancia que interfiere en la función neurometabólica, es productora de fatiga y solo permite un corto tiempo de trabajo.

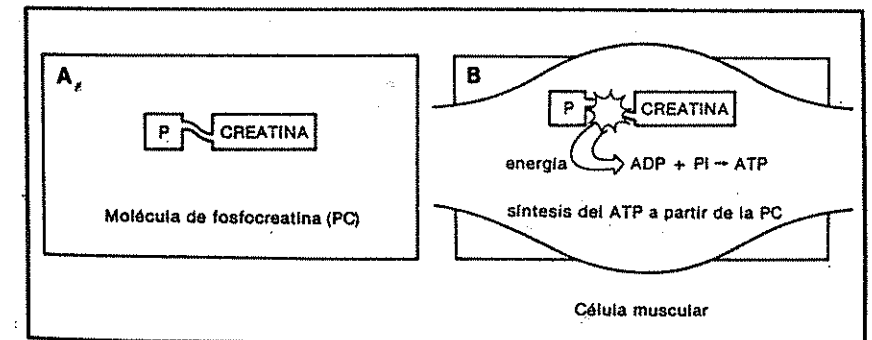


Fig. 2-4. Proceso del fosfígeno. (Tomado de Fox.)

Tabla 2-1. Características de los sistemas energéticos

Sistema ATP (fosfágeno)	Sistema del ácido láctico	Sistema del oxígeno
Anaeróbico muy rápido combustible químico: PC	Anaeróbico rápido combustible alimenticio: glucógeno	Aeróbico lento combustibles alimenticios: glucógeno, grasas, proteínas
Producción muy limitada de ATP	Producción limitada de ATP	Producción ilimitada de ATP
Reservas musculares limitadas	Subproducto: ácido láctico que origina fatiga muscular	No hay subproductos que originen fatiga
Se utiliza en carreras rápidas o actividades de alta potencia y corta duración	Se utiliza en actividades de uno a tres minutos de duración	Utilizado en actividades de resistencia o prolongadas

Tomado de Fox: Fisiología del deporte. Ed. Médica Panamericana, 1984.

CONSUMO DE OXIGENO

El ser humano posee reservas de combustible, pero no de comburente. El oxígeno debe ser provisto permanentemente, ya que hay células (neuronas) que solo viven 3 minutos sin su aporte. El consumo de oxígeno se expresa en VO_2 , es decir en volúmenes de oxígeno; el término VO_2 máx. significa máximo consumo de oxígeno, el cual se incrementa durante el ejercicio y particularmente, en el atleta.

Cuando una cantidad de oxígeno entra en combustión con cierta cantidad de glucógeno, se desprende energía; así, 134.4 l de oxígeno oxidan 180 g de glucógeno y liberan 686 kcal; alrededor de la mitad de esa energía forma ATP, mientras que el resto produce calor para mantener la temperatura corporal.

Se sabe que el consumo de un litro de oxígeno genera 5 kcal de calor; por lo tanto hay una perfecta relación entre el consumo de oxígeno y la producción de energía: calor corporal.

El gasto de energía es entonces la cantidad de kilocalorías necesarias para una determinada actividad, y por lo común se mide en consumo de oxígeno, o sea, VO_2 .

Por ejemplo, durante una carrera, una persona de 70 kg de peso corre 1500 metros llanos. El gasto es de 0,2 ml de oxígeno por kilo de peso corporal y por metro recorrido; entonces: $0,2 \times 70 \times 1500 = 210$ l de oxígeno consumido; multiplicando por 5, tenemos 105 kcal de energía producidos y gastados en la carrera.

PROVISION ENERGETICA EN LAS DISTINTAS ACTIVIDADES

En las actividades físicas de corta duración y de gran intensidad, como los 100 metros llanos o los lanzamientos, el sistema del fosfágeno (ATP y PC) suministra toda la energía; si la actividad es intensa y dura menos de 30 segundos, basta este tipo de metabolismo.

Por otro lado, en las actividades físicas prolongadas y de no mucha intensidad, como el maratón, la energía deriva casi exclusivamente del metabolismo aeróbico. Si el tiempo de actividad supera los 3 minutos, el principal sistema energético es el metabolismo aeróbico.

Entre ambos extremos de la actividad se hallan las de mucha intensidad y de 30 a 90 segundos de duración, como las carreras de 400 y 800 metros llanos. En este caso, la principal fuente energética deriva primero del metabolismo anaeróbico alactácido y luego del lactácido.

En actividades de mayor duración que las precedentes se combinan los metabolismos anaeróbico alactácido, anaeróbico lactácido y aeróbico.

CAPACIDAD ORGANICA Y FISICA
PARA EL TRABAJO MUSCULAR

El desempeño deportivo de un individuo es el resultado de su capacidad orgánica y de su rendimiento físico. Los factores genéticos son importantes. El tipo somático indicará las actividades a que mejor se adapta. Asimismo, reviste importancia la mejora que logra el entrenamiento en el rendimiento deportivo, aunque debe destacarse que también se logran mejoras con el perfeccionamiento de la técnica.

En cuanto al trabajo físico, la capacidad significa la energía total disponible, y la potencia, la energía por la unidad de tiempo.

Por la gran diversidad de actividades físicas, se utilizan distintos tipos de procesamiento de la energía; por ejemplo, en un maratón la utilización es predominantemente aeróbica; en cambio, en los lanzamientos, o sea, en esfuerzos máximos de corta duración, el procesamiento energético es puramente anaeróbico alactácido, y en las carreras de duración intermedia, como los 400 metros llanos, es anaeróbico lactácido.

Es fundamental para el atleta tener un perfecto estado de salud, hecho que debe ser constatado con un exhaustivo examen médico.

MEDICION DEL TRABAJO

En física se define al trabajo (W) como la fuerza (F) por la distancia (D), y su unidad es el kilográmetro (kgm); es decir, la energía necesaria para desplazar 1 kg de peso a 1 m de distancia. Potencia (P) es la cantidad de trabajo (W) efectuado en la unidad de tiempo; por lo tanto es igual a fuerza (F) por velocidad (V).

Los ergómetros son los encargados de medir la potencia.

La potencia ejercida por un atleta en ergometría frecuentemente se relaciona con la frecuencia cardíaca, presión arterial, ventilación pulmonar y consumo de oxígeno, y se la indica en kgm/min o en vatios, sabiendo que 1 vatio es igual a 6 kgm/min.

Existen diferentes tipos de ergómetros; por ejemplo: el remoergómetro, las piletas especiales, donde el nadador se encuentra en el mismo lugar y la que corre es el agua a distintas velocidades; el banco escalonado, el cicloergómetro, posiblemente el más difundido, y por último, el piso rodante.

Por ser el más utilizado, describiremos el cicloergómetro, en el cual el gasto energético es igual para distintos tipos de atletas en cuanto a su peso y para una misma intensidad de trabajo. Consiste en una bicicleta fija, donde la fuerza se realiza en un pedal de 17,5 cm de brazo de palanca y en la que el individuo debe estar ubicado de tal modo que en la máxima extensión del miembro inferior quede apenas flexionada la rodilla. Se puede graduar la carga y de esa manera saber los kilogrametros que debe vencer el atleta. Una aguja marca la velocidad que éste imprime al pedal; por lo tanto, si mantenemos la velocidad y aumentamos la carga, se incrementa el trabajo.

La mayoría de los estudios se hacen en 50 rpm para pruebas submáximas y en 60 para las máximas.

CAPACIDAD AEROBICA DE TRASFORMACION ENERGETICA

En actividades de mediana o larga duración la posibilidad de realizar trabajo depende de la capacidad del organismo de captar, transportar y utilizar el oxígeno. A medida que aumenta el consumo de oxígeno, se eleva la capacidad de transformación aeróbica de la energía, la que se mide en VO_2 máx.; es decir, consumo máximo de oxígeno en litros por minuto.

TRABAJO AEROBICO

La oxidación aeróbica de la glucosa es igual a la anaeróbica hasta llegar a piruvato. Si hay bastante oxígeno, muy pocas cantidades de piruvato se reducen a lactato; en cambio, el piruvato pasará a las mitocondrias, y por medio de reacciones enzimáticas comienza una nueva serie de reacciones, conocida como descarboxilación oxidativa, en las cuales el piruvato se fija a la acetilcoenzima A, reacción irreversible. Esta última se combina con el oxalacetato y se introduce en el ciclo de Krebs del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarboxílico, que es una secuencia cíclica de reacciones químicas donde intervienen muchas enzimas, produciendo CO_2 y átomos de hidrógeno, que al combinarse con el oxígeno forman agua.

También las grasas participan en los procesos oxidativos, pues los ácidos grasos originan acetilcoenzima A.

Por último, la formación de acetilcoenzima A a partir del piruvato es un paso irreversible y para ello es necesario que el proceso químico penetre en la mitocondria celular, donde se encuentran las enzimas oxidativas.

FORMACION DE ATP

A partir de la glucólisis, durante el proceso anaeróbico (tanto alactácido como lactácido), se obtienen 2 ATP; en cambio, si el proceso penetra en las mitocondrias, se forman 36 ATP por la oxidación aeróbica, que sumados a los anteriores nos da un total de 38 ATP. También las grasas producen ATP a partir de la acetilcoenzima A.

Entonces el glucógeno puede engendrar 13 veces más ATP por unidad de glucosa en forma aeróbica que en forma anaeróbica.

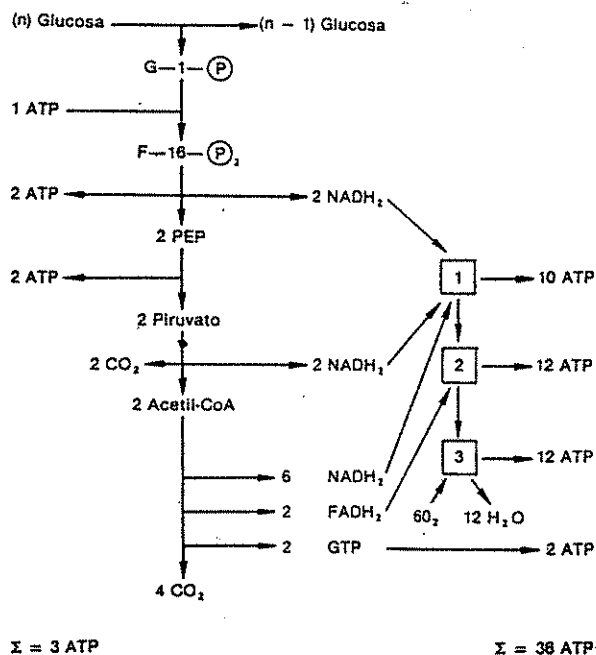


Fig. 2-5. Recomposición del ATP. (Tomado de Astrand.)

CONCLUSION

Cuando se realiza un trabajo continuo y con aumento progresivo de su intensidad, se produce un incremento permanente y gradual de ácido láctico, que alcanza su valor más elevado con la máxima intensidad del trabajo, lo cual sugiere que el trabajo anaeróbico aumenta con el aumento de la intensidad del trabajo. Pero el aumento del trabajo anaeróbico se relaciona con el consumo de oxígeno. Por lo tanto, a medida que aumenta el consumo de O_2 , disminuye la cantidad de trabajo anaeróbico.

El contenido de ácido láctico de la sangre se denomina lactacidemia y es el resultado de la producción y eliminación de ácido láctico. Los valores de reposo son de 11 a 16 mg por 100 ml de sangre y pueden llegar, según algunos autores, hasta los 200 mg por 100 ml en actividades intensas. Estas cifras indican las cantidades en sangre, no la totalidad producida, pues en parte es reducido dentro de la célula por los buffers intracelulares, mientras que el sanguíneo es disociado y amortiguado por el sistema del bicarbonato de la siguiente manera: ácido láctico + bicarbonato de Na \rightarrow lactato de Na + ácido carbónico; luego este por acción de la enzima anhidrasa carbónica es transformado en CO_2 y H_2O .

El proceso descrito aumenta la cantidad de CO_2 sanguíneo y de iones ácidos, los cuales estimulan a los quimiorreceptores respiratorios, y por este mecanismo se produce un aumento de la ventilación pulmonar destinado a mantener el equilibrio metabólico (hacer más metabolismo aeróbico).

Midiendo la formación de ácido láctico, los autores alemanes relacionan el umbral anaeróbico con la producción de 36 mg/100 ml de ácido láctico en sangre; por encima de esta proporción predominaría el metabolismo anaeróbico sobre el aeróbico. La disponibilidad de oxígeno intracelular determinará por lo tanto el cambio metabólico en anaerobiosis o aerobiosis.

Durante el reposo y en actividades leves, el oxígeno resulta suficiente y el metabolismo energético es aeróbico; en consecuencia, la producción del ATP es alta, pero a medida que aumenta la actividad, disminuye la producción de ATP.

Como la glucólisis anaeróbica provee la decimotercera parte de ATP que la oxidación aeróbica, se deberá acelerar 13 veces, lo cual origina un gran gasto energético y la aparición temprana de la fatiga.

Cuando se inicia una actividad física, siempre comienza con metabolismo anaeróbico, hasta que se verifican los cambios circulatorios y respiratorios que tienden a suministrar la cantidad necesaria de oxígeno para llegar al metabolismo aeróbico, proceso que dependerá del tiempo de aparición y del estado físico del sujeto, y que puede calcularse en 45 a 90 segundos. Cuando termina el ejercicio, los procesos generadores de oxígeno siguen funcionando para reponer la energía y eliminar el lactato generado, proceso que se conoce como recuperación post-ejercicio. Si la actividad es muy vigorosa, predomina la utilización del ATP y de la fosfocreatina; luego, la formación anaeróbica de lactato y, finalmente, la oxidación del glucógeno y de las grasas.

Si se hace metabolismo anaeróbico láctico, solo se pueden formar 3 moles de ATP por cada 180 g de glucógeno. Las pruebas de corta duración, como las carreras de 400 u 800 metros, dependen en gran medida de este sistema metabólico.

Si se hace metabolismo aeróbico, 180 g de glucógeno elaboran 39 moles de ATP, totalmente necesarios para las pruebas de largo aliento. También en este sistema pueden actuar las grasas, pues la degradación de 256 g de grasa produce 130 moles de ATP.

Para sintetizar un mol de ATP se necesitan 3,5 litros de oxígeno si el combustible es el glucógeno y 4 litros si es la grasa.

En reposo, el consumo de oxígeno es de 200 a 300 ml, o sea que se elabora un mol de ATP cada 12 a 20 minutos. Este proceso se acelerará enormemente durante el ejercicio y más aún en el sujeto entrenado, por su mayor absorción de oxígeno.

Para medir el VO_2 máx. se pueden utilizar métodos directos o indirectos; los primeros, a su vez, pueden efectuarse a través de circuitos cerrados o abiertos, métodos descritos en el capítulo de *Metabolismo*.

El método directo, gracias a mediciones de laboratorio, determina el porcentaje de O_2 y CO_2 en el aire espirado; comparándolo con el porcentaje de los mismos gases en el ambiente, se comprueba la cantidad de CO_2 producida.

Los investigadores aplican esta metodología a los métodos indirectos que se usan en pruebas de campo, reproduciendo las mediciones de laboratorio.

Cualquier método utilizado para medir el VO_2 máx., o sea, el máximo consumo de oxígeno, debe cumplir ciertos requisitos: a) debe participar un gran grupo de músculos; b) debe ser posible medir la carga de trabajo; c) los resultados deberán ser comparables y reproducibles; d) la prueba deberá ser fácilmente tolerada por los individuos normales.

La medición de la frecuencia cardíaca es la forma de determinar la capacidad funcional circulatoria durante y después del ejercicio. Tiene en cuenta que el volumen minuto cardíaco para un consumo dado de oxígeno solo varía dentro de límites razonables.

La determinación directa del VO_2 máx., que suministra valores precisos, exige un laboratorio muy bien equipado y personal entrenado. Cuando no es necesaria tanta exactitud, se puede recurrir a los métodos indirectos, que brindan valores aproximados y con variables constantes. Estos métodos se basan en: a) la existencia de una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno en actividades submáximas; de tal modo, midiendo aquella, podemos extrapolarla a ésta; b) el resultado del desempeño físico se relaciona con el VO_2 máx. en actividades aeróbicas; c) es posible calcular el VO_2 máx. a partir de la mayor carga que puede alcanzarse en una prueba ergométrica progresiva.

El método indirecto más utilizado es la prueba de Cooper, que consiste en correr en un terreno llano durante 12 minutos y calcular la distancia recorrida. El estudio de los resultados presenta una correlación de 0,897 entre la distancia y el consumo máximo de oxígeno. Esto genera una ecuación para determinar el VO_2 máx. a partir de la distancia recorrida:

$$\text{VO}_2 \text{ máx.} = \frac{d - 504}{45}$$

donde d es la distancia en metros recorridos, y 504 y 45, dos constantes matemáticas de la regresión lineal correspondiente; se expresa el VO_2 máx. en ml/kg/min .

Evaluación de la capacidad de trabajo físico

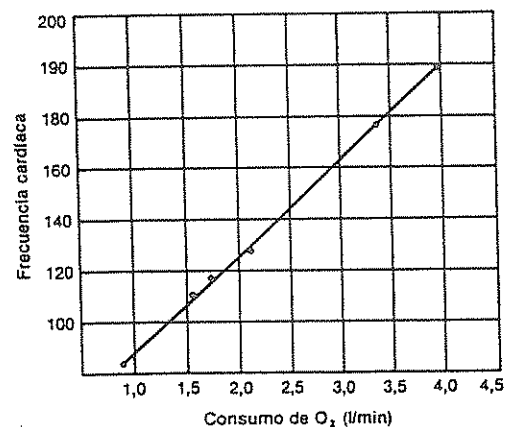


Fig. 2-6. Relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno en la bicicleta ergométrica.



Fig. 2-7. Capacidad aeróbica de transformación de la energía. Pekka Vasala, ganador de los 1500 m en Munich.

A partir de esta ecuación puede elaborarse una tabla que permita una fácil lectura. Esta prueba tiene la ventaja de que su ejecución es simple, por lo que puede ser realizada en grandes grupos.

Ejemplo: Un individuo normal de 17 años recorre en 12 minutos una distancia de 3000 metros; la fórmula es:

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ máx.} &= \frac{d - 504}{45} \\ &= \frac{3000 - 504}{45} \\ &= \frac{2,496}{45} = 55,46 \text{ ml/kg/min} \end{aligned}$$

Este es el consumo de oxígeno máximo. En la tabla 2-2 figura que para 3000 m el índice es 55,5, lo cual indica que su respuesta es normal.

Tabla 2-2. Distancias recorridas en la prueba de Cooper y consumo máximo de oxígeno expresado en ml/kg/min.

Distancia en metros y VO ₂ máx.					
m	VO ₂ máx.	m	VO ₂ máx.	m	VO ₂ máx.
1500	22,2	2350	41,6	3200	60,2
1550	23,4	2400	42,4	3250	61,4
1600	24,5	2450	43,5	3300	62,3
1650	25,6	2500	44,6	3350	63,3
1700	26,7	2550	45,7	3400	64,7
1750	27,8	2600	46,5	3450	65,8
1800	28,9	2650	47,9	3500	66,9
1850	30,0	2700	49,0	3550	68,0
1900	31,2	2750	50,2	3600	69,1
1950	32,2	2800	51,3	3650	70,3
2000	33,4	2850	52,1	3700	71,4
2050	34,5	2900	53,3	3750	72,3
2100	35,6	2950	54,6	3800	73,3
2150	36,7	3000	55,5	3850	74,8
2200	38,8	3050	56,9	3900	75,9
2250	39,9	3100	58,0	3950	77,0
2300	40,1	3150	59,1	4000	78,1

Cooper, K. H.: A mean of assessing maximal oxygen intake. JAMA, 1968.

Prueba de Astrand en la bicicleta ergométrica

Esta prueba se basa en la relación lineal que existe entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca (FC). Astrand y Rhyming prepararon una tabla para calcular el VO₂ máx. a partir de cargas submáximas; se representa en ella el VO₂ máx. en litros por minuto deducido a partir de la frecuencia cardíaca establecida para la carga seleccionada, que será aplicada como mínimo durante 6 minutos. La FC se determina al final del 5° o 6° minuto, estando el individuo en equilibrio entre el trabajo que produce y el oxígeno que consume.

Para el hombre se usan cargas que oscilan entre 600 y 900 kgm/min, y para las mujeres, entre 450 y 600. Además, deben considerarse la edad y el entrenamiento del atleta.

Técnica. a) Ajustar el asiento de la bicicleta de acuerdo con la altura del individuo, para no hacer una extensión completa de la rodilla.

b) Indicar el mantenimiento de la aguja a 50 rpm.

c) Utilizar el ergómetro en la carga que se ha seleccionado.

d) Tomar la FC antes y al final de cada minuto.

e) Registrar la FC al final del 5° y 6° minuto y observar si hay equilibrio entre ellos, si con la misma carga la variación no es mayor del 5%.

f) Terminar con menos carga para efectuar una recuperación activa.

g) Comparar la FC y los kgm/min en la tabla, para conocer el VO₂ máx.

h) Si es necesario, de acuerdo con la edad, aplicar la tabla correctiva.

i) El valor obtenido se expresa en ml/kg/min, igual que en la prueba de Cooper.

LIMITE ANAEROBICO

Indudablemente, el VO₂ máx. no es el parámetro perfecto para medir la capacidad aeróbica o, mejor dicho, el límite entre aerobiosis y anaerobiosis. Hay muchos casos en que personas con VO₂ máx. bajo obtienen mejores resultados en actividades prolongadas que otros con VO₂ máx. mucho más altos, pero es un índice que representa bastante fielmente la realidad.

Tabla 2-3. Cálculo del VO₂ máx. a partir de la FC y de la potencia desarrollada en la bicicleta ergométrica.

Hombres					
Frecuencia cardíaca	VO ₂ máx./V/min.				
	300	600	900	1200 (kgm/min)	1500
120	2,2	3,5	4,8		
121	2,2	3,4	4,7		
122	2,2	3,4	4,6		
123	2,1	3,4	4,6		
124	2,1	3,3	4,5	6,0	
125	2,0	3,2	4,4	5,9	
126	2,0	3,2	4,4	5,8	
127	2,0	3,1	4,3	5,7	
128	2,0	3,1	4,2	5,6	
129	1,9	3,0	4,2	5,6	
130	1,9	3,0	4,1	5,5	
131	1,9	2,9	4,0	5,4	
132	1,8	2,9	4,0	5,3	
133	1,8	2,8	3,9	5,3	
134	1,8	2,8	3,9	5,2	
135	1,7	2,8	3,9	5,1	
136	1,7	2,7	3,8	5,0	
137	1,7	2,7	3,7	5,0	
138	1,6	2,7	3,7	4,9	
139	1,6	2,6	3,6	4,8	
140	1,6	2,6	3,6	4,8	6,0
141		2,6	3,5	4,7	5,9
142		2,5	3,5	4,6	5,8
143		2,5	3,4	4,6	5,7
144		2,5	3,4	4,5	5,7
145		2,4	3,4	4,5	5,6
146		2,4	3,3	4,4	5,6
147		2,4	3,3	4,4	5,5
148		2,4	3,2	4,3	5,4
149		2,3	3,2	4,3	5,4
150		2,3	3,2	4,2	5,3
151		2,3	3,1	4,2	5,2
152		2,3	3,1	4,1	5,2
153		2,2	3,0	4,1	5,1
154		2,2	3,0	4,0	5,1
155		2,2	3,0	4,0	5,0
156		2,2	2,9	4,0	5,0
157		2,1	2,9	3,9	4,9
158		2,1	2,9	3,9	4,9
159		2,1	2,8	3,8	4,8
160		2,1	2,8	3,7	4,7
161		2,0	2,8	3,7	4,7
162		2,0	2,8	3,7	4,6
163		2,0	2,8	3,7	4,6
164		2,0	2,7	3,6	4,5
165		2,0	2,7	3,6	4,5
166		1,9	2,7	3,6	4,5
167		1,9	2,6	3,5	4,4
168		1,9	2,6	3,5	4,4
169		1,9	2,6	3,5	4,3
170		1,8	2,6	3,4	4,3

(continúa)

Con el entrenamiento aeróbico se logra una mejoría en el VO₂ máx., es decir que el individuo entrenado puede trabajar más tiempo en condiciones aeróbicas, cercanas a su VO₂ máx., sin tener necesidad de recurrir al metabolismo anaeróbico.

Tabla 2-3. (Continuación)

	Mujeres				
	Frecuencia cardíaca	VO ₂ máx./l/min.			
	300	450	600	750 (kgm/min)	900
120	2,6	3,4	4,1	4,8	
121	2,5	3,3	4,0	4,8	
122	2,5	3,2	3,9	4,7	
123	2,4	3,1	3,9	4,6	
124	2,4	3,1	3,8	4,5	
125	2,3	3,0	3,7	4,4	
126	2,3	3,0	3,6	4,3	
127	2,2	2,9	3,5	4,2	4,8
128	2,2	2,8	3,5	4,2	4,8
129	2,2	2,8	3,4	4,1	4,7
130	2,1	2,7	3,4	4,0	4,6
131	2,1	2,7	3,3	3,9	4,5
132	2,0	2,6	3,2	3,8	4,4
133	2,0	2,6	3,2	3,7	4,4
134	2,0	2,6	3,1	3,7	4,3
135	2,0	2,6	3,1	3,6	4,2
136	1,9	2,5	3,0	3,6	4,2
137	1,9	2,5	3,0	3,5	4,1
138	1,8	2,4	2,9	3,5	4,0
139	1,8	2,4	2,8	3,4	4,0
140	1,8	2,4	2,8	3,4	3,9
141	1,8	2,3	2,8	3,3	3,8
142	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8
143	1,7	2,2	2,7	3,2	3,8
144	1,7	2,2	2,7	3,2	3,7
145	1,6	2,2	2,6	3,2	3,7
146	1,6	2,2	2,6	3,1	3,6
147	1,6	2,1	2,6	3,0	3,6
148	1,6	2,1	2,6	3,0	3,5
149		2,1	2,5	3,0	3,5
150		2,0	2,5	3,0	3,4
151		2,0	2,5	2,9	3,4
152		2,0	2,4	2,9	3,3
153		2,0	2,4	2,8	3,3
154		2,0	2,4	2,8	3,2
155		1,9	2,4	2,8	3,2
156		1,9	2,3	2,7	3,2
157		1,8	2,3	2,7	3,1
158		1,8	2,2	2,7	3,1
159		1,8	2,2	2,6	3,0
160		1,8	2,2	2,6	3,0
161		1,7	2,2	2,6	2,9
162		1,7	2,1	2,5	2,9
163		1,7	2,1	2,5	2,9
164		1,7	2,1	2,5	2,8
165		1,7	2,1	2,4	2,8
166		1,6	2,1	2,4	2,8
167		1,6	2,0	2,4	2,7
168		1,6	2,0	2,4	2,7
169		1,6	2,0	2,4	2,7
170		1,8	2,0	2,4	2,7

Astrand, P. O. y Rodahl: *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill. N. York, 1970.

El límite anaeróbico es aquel en el cual el ácido láctico comienza a elevarse en la sangre. En las personas no entrenadas, este límite ocurre cuando se encuentra en las proximidades del 55% de su VO₂ máx.; en los entrenados, alrededor del 70%, y en los muy bien entrenados puede llegar al 85% de su VO₂ máx.

Si los aparatos circulatorio y respiratorio proveen suficiente oxígeno a los músculos activos y la demanda no es superior a su aporte, en esos músculos se realiza el metabolismo aeróbico, que terminará en CO₂ y H₂O, con muy poca producción de lactato. En cambio, si el aporte de oxígeno es insuficiente, el metabolismo muscular será eminentemente anaeróbico, con producción de lactato, y la acidosis resultante, que bloquea enzimas musculares, paraliza reacciones químicas productoras de energía dentro del músculo y aumenta la acidosis sanguínea, amortiguada por el bicarbonato, que termina en CO₂ y H₂O. Este CO₂ se suma al CO₂ respiratorio provocando un aumento de la ventilación pulmonar.

El límite anaeróbico se puede medir efectuando análisis sanguíneos seriados para conocer el aumento de la lactacidemia, o a través de las variables respiratorias medidas con el espirómetro en trabajos submáximos; en estos casos se necesitan complejos aparatos de medición.

CAPACIDAD ANAEROBICA DE TRANSFORMACION ENERGETICA

Durante un trabajo submáximo el metabolismo aeróbico demora en cubrir las necesidades energéticas; es decir que comienza el trabajo con metabolismo anaeróbico. Esto se denomina *deuda de oxígeno*, que debe ser saldada al final del ejercicio.

Pagando la deuda de oxígeno durante la recuperación se busca restablecer las reservas de fosfágeno y de oxígeno de la mioglobina y eliminar el exceso de ácido láctico y de calor generado por el trabajo.

La capacidad anaeróbica se puede explorar por medio de pruebas de laboratorio y de campo, que por lo común ofrecen ciertas dificultades.

La prueba más conocida es la de Margaria, que mide la potencia muscular de un atleta que sube una escalera de 12 escalones, con una altura de 17 cm cada uno, para obtener su máxima velocidad; el atleta sube los escalones de dos en dos y utiliza solo 6 escalones. La velocidad del ascenso se mide con un cronómetro accionado por interruptores de contacto colocados en el 6° y 10° escalón. Esta prueba se repite 5 veces y el menor tiempo se utiliza para el cálculo por medio de la siguiente ecuación:

$$PAA = \frac{PT \times h}{|Pt \times t|}$$

donde PAA: Potencia anaeróbica alactácida expresada en kgm/kg de peso corporal y por segundo. PT: Peso corporal en kg. h: Distancia vertical recorrida expresada en metros. t: tiempo mínimo en pasar del 6° al 10° escalón, en segundos.

Luego se compara con un gráfico que reproduce valores medios para hombres y mujeres con distinto grado de entrenamiento.

Tabla 2-4. Potencia anaeróbica alactácida estimada por el método de Margaria (en kg/kg de peso).

Sexo	Personas jóvenes sedentarias	Estudiantes de educación física	Atletas de 100 y 200 m llanos
Masculino	1,50 ± 0,14	1,75 ± 0,11	1,82 ± 0,08
Femenino	1,32 ± 0,17	1,43 ± 0,13	1,64 ± 0,12

Con el nombre de prueba de Wingate se designa un método para medir el metabolismo anaeróbico en el cicloergómetro. Esta prueba, modificada por Labemorf, utiliza un tiempo de 40 segundos de máxima velocidad del cicloergómetro. La técnica es la siguiente:

- 1) Calentamiento de 5 minutos con una carga de 300 kg para hombres y de 150 kg para mujeres.

- 2) Recuperación pasiva de 4 minutos sobre la bicicleta.
- 3) Trabajo intenso al 100% de las posibilidades durante 40 segundos con una carga de 75 g/kg de peso corporal para varones y de 60 g para mujeres.
- 4) Registro de las revoluciones por minuto del volante del ergómetro por períodos de 5 segundos por vez, expresado en kilogrametros por segundo.
- 5) Recuperación del esfuerzo por actividad de 3 a 5 minutos con una carga similar a la del calentamiento.

Se emplea entonces la siguiente fórmula:

$$\text{Trabajo anaeróbico} = \frac{D \times \pi \times \text{rpm} \times \text{kg} \times 5}{60} \text{ kgm/5 seg}$$

donde D: diámetro del volante; rpm: revoluciones por minuto; kg: kilogramos de carga im-puesta, y π : 3,1416

RECUPERACION DE LA ENERGIA

Es importante saber cómo se recupera la energía y cuánto tiempo se requiere para ha-cerlo, ya que a veces se somete a los atletas a pruebas muy seguidas entre sí y no pueden re-cuperarse como corresponde, disminuyendo su rendimiento.



Fig. 2-8. Capacidad anaeróbi-ca. Viktor Saneyev, ganador olímpico del salto triple en 1968, 1972 y 1976.

Recuperación de las reservas de fosfágeno

Al comienzo de cualquier actividad deportiva se utilizan las fuentes energéticas del ATP y PC (sistema del fosfágeno), y solo éstas si la actividad es de muy corta duración y de elevada intensidad (por ejemplo, los lanzamientos). La recuperación del fosfágeno es rápi-da y prácticamente termina en 2 o 3 minutos. La reposición es permanente si la actividad se sucede con períodos de reposo, o sea, si es intermitente.

Para que se repongan los fosfágenos gastados se requiere energía, que proviene del metabolismo aeróbico y muy poco del anaeróbico láctico; ya vimos que éste repone 2 ATP y el aeróbico 38 ATP. Ello se refleja en el aumento del consumo de oxígeno durante el proceso de recuperación posejercicio, es decir, saldar la deuda de oxígeno, la que tiene dos componentes: el alactácido, que dura pocos minutos, y el láctico, más lento y prolonga-do.

Recuperación del oxígeno muscular

El oxígeno muscular se encuentra en la mioglobina, proteína análoga a la hemoglobina sanguínea que almacena y facilita la difusión del oxígeno desde la sangre hacia las mito-condrias donde aquél se consume produciendo el metabolismo aeróbico.

Las fibras con más cantidad de mioglobina son las de contracción lenta, de mayor ca-pacidad aeróbica, por lo cual también se las llama fibras rojas.

La reserva de oxígeno de la mioglobina es escasa, pero suministra una fuente rápida para los músculos, que son los primeros en utilizarlo hasta que llegue el oxígeno absorbido por los pulmones y transportado por la sangre.

Las reservas de oxígeno de la mioglobina son abastecidas prontamente durante la re-cuperación, fase en la que es suministrado por la sangre, que llega en forma rápida por el aumento del volumen minuto cardíaco.

Recuperación del glucógeno muscular

Es importante la cantidad de hidratos de carbono consumidos en una dieta apropiada para una perfecta reposición del glucógeno muscular; en cambio, si la dieta es pobre en hidratos de carbono, la reposición del glucógeno muscular es muy lenta, hecho que se debe tener en cuenta en entrenamientos agotadores y continuados.

Después de trabajos intensos y sostenidos, a pesar de una dieta adecuada, se necesitan a veces hasta 48 horas para la reposición total del glucógeno muscular, aunque gran canti-dad se recompone en las primeras 10 horas.

Si el ejercicio, no obstante ser intenso, es de corta duración o intermitente, no se re-quiere una dieta muy rica en hidratos de carbono, sino que basta una dieta normal; en este caso se recupera todo el glucógeno muscular en 24 horas, y la recuperación es muy rápida en las primeras 5 horas.

Se observa hipoglucemia en ejercicios prolongados por agotamiento de las reservas he-páticas, fenómeno que no ocurre en los ejercicios intermitentes. Por lo tanto, si el atleta se entrena para actividades intensas y duraderas, debe tener varios días de descanso para su total recuperación o, por lo menos, alrededor de 10 horas de reposo; si el trabajo es inter-mitente, necesita 24 horas de reposo, o 5 horas como mínimo, para una reposición acep-table del glucógeno muscular, además de una dieta rica en hidratos de carbono.

Las reservas de glucógeno muscular pueden aumentarse con la sobrecompensación, lo cual significa reposo muscular y dieta rica en hidratos de carbono después de sesiones de entrenamientos exhaustivos.

Parte del glucógeno se recompone a partir del ácido láctico producido, proceso llama-do neoglucogénesis, pero la fuente principal la constituyen los hidratos de carbono prove-nientes de la dieta.

Eliminación del ácido láctico

Es importante la rápida eliminación del ácido láctico, producido durante el ejercicio, dado que su presencia provoca fatiga muscular y acidosis metabólica.

Parte del ácido láctico formado se convierte en glucógeno muscular, parte en glucógeno hepático, parte en glucosa y parte en ácido pirúvico, que a través del ciclo de Krebs termina en CO_2 y H_2O , y genera energía aeróbica. Una parte se elimina con la orina y disminuye su pH.

La deuda de oxígeno lactácido se cancela entre 30 minutos y 1 hora.

Resumiendo: La recuperación al cabo de un ejercicio exhaustivo es la siguiente: para la recuperación del fosfágeno muscular (ATP y PC) se necesitan entre 2 y 3 minutos; para saldar la deuda de oxígeno alactácido, entre 3 y 5 minutos; para restaurar el oxígeno de la mioglobina muscular, 1 y 2 minutos; para recomponer el glucógeno muscular, entre 10 y 46 horas, en caso de ejercicio prolongado, y entre 5 y 24 horas si éste es intermitente; para eliminar el ácido láctico muscular y sanguíneo, entre 30 minutos y 1 hora, si se hace recuperación por ejercicios de menor intensidad, y entre 1 y 2 horas si se hace recuperación por reposo; por último, para cancelar la deuda de oxígeno lactácido se necesitan entre 30 minutos y 1 hora.

BIBLIOGRAFIA

- Asmussen, E.: Aerobic recovery after anaerobiosis in rest and work. *Acta Physiol. Scand.* 11:197, 1976.
- Astrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.* 49, 1960.
- Astrand, I.: Aerobic working capacity in men and women in some professions. *Förssarsmedicin* 3:163, 1967.
- Astrand, P. O.; Hallbäck, J.; Hedman, R. y Saltin, D.: Blood lactates after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.* 18:619, 1963.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Méd. Panamericana.
- Baldwin, E.: Dynamic aspects of biochemistry, 5a. ed. Cambridge University Press. N. York, 1967.
- Barac, M.: *Conceptos elementales del metabolismo energético*. V. del Valle. Cali, 1979.
- Bergström, J.: Local changes of ATP and Phosphocreatine in human muscle tissue in connection with exercise. *Circulat. Res. (supl.)*. 1-91-1-98, 1967.
- Bergström, J. y Hultman, E.: Muscle glycogen synthesis after exercise. An enhancement factor localized to the muscle cells in man. *Nature*, 1966.
- Bergström, J.; Hermansen, L.; Hultman, E. y Saltin, B.: Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 1967.
- Brooks, G. A.; Brauner, K. F. y Casens, R. G.: Glycogen synthesis and metabolism of lactic acid after exercise. *Am. J. Physiol.* 1973.
- Cain, D. F. y Davies, R. E.: Breakdown of adenosine triphosphate during a single contraction of working muscle. *Biochem. Biophys. Res.* 8:361-366, 1962.
- Cerretelli, P.: *Fisiología del lavoro e dello sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1973.
- Cerretelli, P. y Cantone, A.: The role of different energy sources in exhaustive exercise. *Med. Sport*, 1976.
- Cooper, K. H.: A mean of assessing maximal oxygen intake. *JAMA*. 1968.
- Costill, D. L.; Bowen, R. W.; Branans, G. y Sperks, K.: Muscle glycogen utilization during prolonged exercise on successive days. *J. Appl. Physiol.* 1971.
- Cureton, K. J.; Sparling, P. B.; Evans, B. W.; Johnson, S. M.; Kon, V. D. y Purvis, J. W.: Effects of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. *Med. Sci. Sport*. 10:194-199, 1978.
- Di Prampero, P. E.; Pertus, I. y Margaria, R.: Alactic oxygen debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 1973.
- Dotan R. y Bar-or, O.: Climatic heat stress and performance in the wingate anaerobic test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 44:237-243, 1980.
- Essen, B.: Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. *Ann. N. York Acad. Sci.*, 1977.
- Fox, E. L.: Measurement of the maximal capacity in man. *Med. Sci. Sport.*, 1973.
- Fox, E. L.: Physical training methods and effects. *Orthop. Clin. N. Am.*, 1977.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Méd. Panamericana, 1984.
- Gollnick, P. D.; Armstrong, R. B.; Sembrowich, W. L. y Saltin, B.: Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibers after heavy exercise. *Appl. Physiol.*, 1973.
- Guyton, A.: *Tratado de fisiología médica*. Ed. Interamericana. México, 1977.
- Harris, R. C.; Haltman, H.; Kayser, L. y Nordesjo, L. O.: The effect of circulatory occlusion on isometric exercise capacity and energy metabolism of the quadriceps muscle in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1975.
- Hermansen, L.; Hultman, J. y Saltin, B.: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 1967.
- Hultman, J.: Studies on muscle metabolism of glycogen and active phosphate in man with special reference to exercise and diet. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1967.
- Hultman, E. y Bergström, J.: Muscle glycogen synthesis in relation to diet in normal subjects. *Acta Med. Scand.*, 1967.
- Karlson, J.: Lactate and phosphagen concentration in working muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, 1977.
- Karlson, J. y Saltin, B.: Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise. *Acta Physiol. Scand.* 1971.
- Keul, I.; Keppler, D. y Doll, E.: Standard bicarbonate, pH, lactate and pyruvate concentrations during and after muscular exercises. *Guman Med. Monthly*. 12:156, 1967.
- Lam, D. R.: Physiology of exercise, responses and adequations. Mac Millan. N. York, 1978.
- Lehninger, A. L.: *Biochemistry*. Worth Publishers. N. York, 1970.
- Lehninger, A. L.: *Bioenergetics*. W. A. Benjamin. Menlo Park. Calif., 1973.
- Margaria, R.: *Fuentes de la energía muscular*. Folleto, 1972.
- Margaria, R.; Cerretelli, P.; Aghemo, P. y Sassi, G.: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.*, 1963.
- Margaria, R.; Edwards, H. T.; Dill, D. B.: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.*, 1963.
- Margaria, R.; Aghemo, P. y Rovelt, E.: Indirect determination of maximal O_2 consumption in man. *J. Appl. Physiol.* 20:1070, 1965.
- Mathews, D. K.: Measurements in physical education. W. B. Saunders. Filadelfia, 1974.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1981.
- Narvaez, P. G. E.: *Determinación de la potencia aeróbica-anaeróbica a partir de tests indirectos de campo y directos de laboratorio*. V Jornadas Oficiales de Medicina del Deporte. Ministerio de Educación y Cultura. Comisión Nacional de Educación Física. División Medicina. Montevideo, 1982.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieris, C.: *Evaluación y entrenamiento*. Labemorf, 1985.
- Needham, D. M.: *Machina carnis*. The biochemistry of muscular contraction in its historical development. University Press. Cambridge, 1971.
- Nöcker, J.: Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento. Ed. Kapelus. Buenos Aires, 1980.
- Pini, M. C.: *Medicina Esportiva*. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Rittel, H. F.: *Sistema muscular y deporte*. Convenio Colombo-Alemania de Educación Física, Deportes y Recreación. Tomo 3. Ed. Copiservicio. Medellín, 1980.
- Saltin, B.: Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, 1964.
- Wahren, J. L.; Hagenfeld, L. y Felig, P.: Glucose and free fatty acid utilization in exercise. *Israel J. Med. Sci.*, 1975.

3 | APARATO CIRCULATORIO

Los seres unicelulares, como la ameba, por ejemplo, viven en un medio externo del cual obtienen todos los elementos indispensables para su mantenimiento, es decir, el combustible y el combustible necesarios para su combustión vital, y es también en ese medio externo donde eliminan sus desechos y los productos finales de la combustión, todo ello a través de la membrana celular.

Las células de los tejidos de los organismos superiores se hallan alejadas del medio externo que aporta los nutrientes y en el que eliminan desechos. Es por ello que están rodeadas de un medio interno donde efectúan tales funciones. El medio interno, constituido por el líquido extracelular, debe permanecer constante, siempre proveyendo nutrientes, siempre retirando desechos.

El encargado de mantener la constancia del medio interno es el aparato circulatorio a través de la sangre. Para conseguirla, ésta debe estar en continuo movimiento, lo cual se logra gracias a la función de una bomba impelente, el corazón, y un sistema de tuberías de transporte, las arterias y las venas, que la llevan y retiran de los capilares, donde se produce el intercambio que mantiene constante el medio interno.

El aparato circulatorio está formado entonces por los vasos arteriales, capilares y venosos y la bomba propulsora, el corazón, ayudada por la elasticidad arterial, el retorno venoso con sus válvulas, la presión que producen las contracciones musculares y la aspiración que el tórax ejerce en cada inspiración. Todo ello constituye un verdadero corazón periférico que coopera con el corazón para impeler la sangre siempre en una misma dirección.

Además, los vasos arteriales, capilares y venosos pueden variar de calibre, disminuyéndolo (vasoconstricción) o aumentándolo (vasodilatación), y de esa manera dirigir la sangre hacia los lugares donde más se la necesita, como los sitios activos. De tal modo se producirá vasodilatación activa (lugares con más trabajo) con vasoconstricción pasiva compensadora (lugares con menos trabajo) por participación directa de los mecanismos vasorreguladores que obedecen a las estimulaciones químicas, nerviosas u hormonales.

Durante la actividad muscular intensa habrá vasodilatación en los músculos que trabajan y vasoconstricción compensadora en los órganos abdominales digestivos y urinarios.

Como hemos dicho, esto obedece a causas químicas, nerviosas u hormonales. Después de la estimulación nerviosa, se produce en la fibra muscular la salida del ion K^+ , que aumenta su concentración extracelular y que posee acción vasodilatadora. Además, durante la contracción muscular se eleva la presión osmótica en el espacio intercelular como consecuencia del aumento del ácido láctico y de la concentración de iones hidrógeno, y aumentan también el CO_2 y la temperatura local por el incremento en las combustiones, al tiempo que disminuye la tensión parcial de O_2 . Todos estos factores son vasodilatadores y favorecen el intercambio de sustancias entre la sangre y el líquido intercelular (líquido extracelular que rodea a las células) a través de la pared capilar.

Los factores nerviosos y hormonales actúan en conjunto a través del sistema nervioso de la vida vegetativa. Los vasos están inervados por las fibras nerviosas adrenérgicas (vasoconstrictoras) y colinérgicas (vasodilatadoras).

Los tejidos del organismo poseen reserva de combustible, pero muy poca de combustible. Se calcula que la reserva de oxígeno en los músculos, sangre y pulmones no supera los 2500 ml, pero este oxígeno no circula en caso de paro cardíaco y las neuronas mueren cuando les falta el oxígeno durante más de 3 minutos. Como consecuencia de la poca reserva de oxígeno, si aumenta la demanda, como ocurre durante el ejercicio, se debe aumentar la absorción a nivel pulmonar, lo cual se logra a través de regulaciones, como los aumentos del volumen minuto respiratorio y del volumen minuto cardíaco, la vasoconstricción compensadora de los lugares no activos y una mayor rapidez del intercambio; todo ello para mantener el equilibrio homeostático del organismo.

CIRCULACION

A la circulación, es decir, al traslado de la sangre por los vasos, se la divide en microcirculación y macrocirculación.

La *microcirculación*, o *circulación capilar*, es la que se efectúa a nivel de los capilares, en contacto con los tejidos, donde se produce el intercambio que mantiene constante el medio interno.

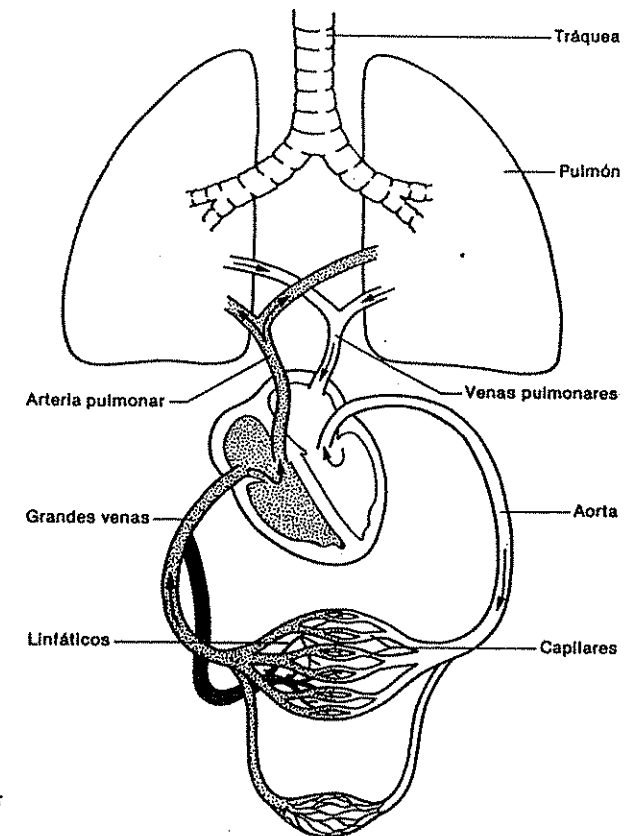


Fig. 3-1. Circulación mayor y circulación menor.

La macrocirculación comprende a su vez la pequeña circulación, circuito menor o pulmonar, y la gran circulación o sistémica, circuito mayor o aórtico.

La pequeña circulación podría llamarse corazón-pulmón-corazón y cumple la función de que la sangre a nivel de los alvéolos pulmonares capte oxígeno y se desprenda del dióxido de carbono que lleva. Su recorrido es el siguiente: del ventrículo derecho sale la arteria pulmonar, que se divide en dos, una para cada pulmón; se ramifica dentro de ellos, se capilariza y de la confluencia de estos capilares se forman las venas que, uniéndose entre sí, dan lugar a las cuatro venas pulmonares, dos de cada pulmón, que transportan sangre oxigenada a la aurícula izquierda.

La gran circulación, que comprende el circuito corazón - todo el organismo - corazón, cumple la función de mantener el medio interno, oxigenar los tejidos y captar el dióxido de carbono acumulado. Su recorrido es el siguiente: del ventrículo izquierdo sale la arteria aorta, que se ramifica extraordinariamente y se capilariza a nivel de los tejidos, donde ocurren los intercambios; del lado eferente de los capilares se forman las venas, que se unen entre sí, constituyen vasos de mayor calibre y forman finalmente las venas cava superior e inferior, que desembocan en la aurícula derecha.

CORAZÓN

El corazón es la bomba que imprime, durante su contracción, la energía cinética que produce el desplazamiento de la sangre dentro de las arterias.

Está ubicado en la parte anterior, inferior e izquierda del mediastino, cavidad central del tórax limitada a ambos lados por los pulmones, hacia atrás por la columna vertebral dorsal, por delante por el esternón, hacia arriba por la base del cuello y por debajo por el diafragma.

El corazón posee en su interior cuatro cavidades, en donde desembocan venas y de donde salen arterias.

Las aurículas, posterosuperiores, se hallan separadas entre sí por el tabique interauricular; los ventrículos, anteroinferiores, también están separados entre sí por otro tabique, el interventricular. Ambos tabiques, después del nacimiento y en condiciones normales, están cerrados, lo cual evita la comunicación entre esas cavidades.

La aurícula derecha está separada del ventrículo derecho por el tabique auriculoventricular derecho. Este presenta un orificio, el orificio auriculoventricular donde está alojada la válvula tricúspide, que consta de tres valvas.

La aurícula izquierda está separada del ventrículo del mismo lado por el tabique auriculoventricular izquierdo, con su orificio correspondiente, donde se encuentra la válvula bicúspide (que posee dos valvas) o mitral (por su parecido a la mitra, el gorro de los obispos).

A la aurícula derecha llegan las venas cava superior e inferior que traen sangre carboxigenada de todo el organismo; esta sangre pasa al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide y de éste sale por la arteria pulmonar, que posee la válvula sigmoidea pulmonar, constituida por tres valvas. Es decir que la arteria pulmonar transporta sangre carboxigenada y no oxigenada hacia la circulación menor.

Desde los pulmones llega la sangre oxigenada a través de las cuatro venas pulmonares, que desembocan en la aurícula izquierda; de allí pasa al ventrículo del mismo lado y de él sale por la arteria aorta, que posee la válvula sigmoidea aórtica, también con tres valvas. Este vaso, por medio de sus ramificaciones, distribuye la sangre por todo el organismo. Las válvulas cardíacas son de una sola vía, es decir, permiten el paso de la sangre en un sentido único.

El ventrículo izquierdo presenta la forma de un cono, con una capacidad media de 140 a 230 ml; sus paredes tienen un espesor aproximado de 13 mm. El ventrículo derecho, en forma de pirámide, posee una capacidad de 160 a 230 ml y un espesor de sus paredes de 5 a 7 mm. La aurícula derecha tiene una capacidad de 110 a 145 ml, y la izquierda, de 110 a 130

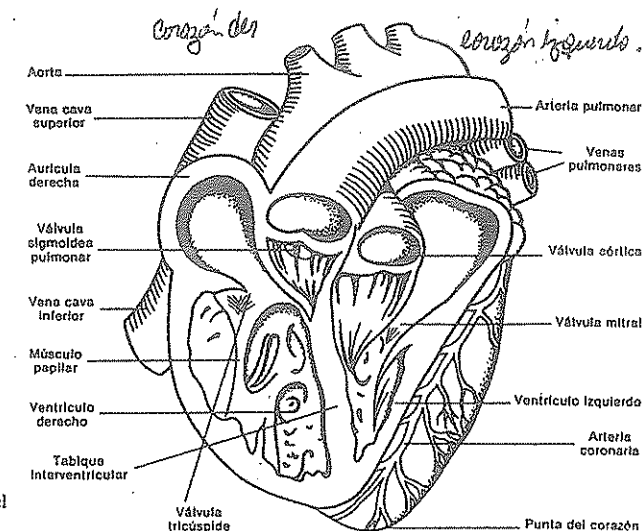


Fig. 3-2. Estructura del corazón.

ml. Las paredes de ambas aurículas son delgadas, con poco poder contráctil, y su función principal es la recolección de la sangre que procede del sector venoso, con la cual, durante su contracción, terminan de llenar los ventrículos.

Desde el punto de vista estructural, el corazón está formado por tres capas, que desde la periferia al centro son el pericardio, el miocardio y el endocardio. El pericardio es un tejido firme e inextensible, formado por dos hojas, la parietal, en contacto con los órganos del mediastino y la visceral, en contacto con el miocardio; son láminas serosas que delimitan entre sí la cavidad pericárdica, normalmente virtual, que permite los desplazamientos originados por la contracción cardíaca.

El endocardio, membrana fibrosa, dura e inextensible, también se divide en dos hojas, la parietal, que recubre interiormente las cavidades cardíacas, y la valvular, que forma las válvulas.

El miocardio es la parte carnosa del corazón y está constituido por fibras musculares. Comprende a su vez el miocardio común y el especializado, o sistema excitoconductor, integrado por un complejo sistema de fibras especializadas.

El estímulo nace normalmente en el nódulo sinoauricular de Keith y Flack, o marcapaso, ubicado en la desembocadura de la vena cava superior en la aurícula derecha y el cual define la frecuencia cardíaca. El estímulo se desplaza por las paredes auriculares y llega al segundo nódulo, auriculoventricular o de Aschow-Tawara, situado en la unión de los tabiques interauricular e interventricular. De allí se distribuye a ambos lados de la pared del tabique interventricular por medio de las dos ramas del haz de His, derecha e izquierda; esta última emite dos porciones, una anterior y otra posterior, y ambas ramas se ramifican en las paredes ventriculares a través de la red de Purkinje.

La fibra miocárdica presenta cinco propiedades fundamentales:

1) **Automatismo.** Es la capacidad de originar en sí mismo el impulso que determina su contracción. Esta propiedad, llamada *cronotrópica*, impone la actividad rítmica del corazón y se produce fundamentalmente en el sistema excitoconductor.

2) **Conductividad.** Normalmente, el impulso para la contracción nace en el marcapaso y luego se difunde o se propaga a lo largo del corazón. Gracias a esta propiedad, la con-

ductividad es muy parecida a la que ocurre a lo largo de los nervios y también se la llama *dromotrópica* (del griego *drómos*, correr y *trópein*, girar).

3) **Excitabilidad.** Es la capacidad de responder a un estímulo, influencias externas de diferente tipo que pueden provocar la contracción. Estos estímulos pueden ser mecánicos, eléctricos, químicos, etc. Si el estímulo se produce en la sístole, el corazón no responde a él; esta propiedad se denomina *batmotrópica* (del griego *bathmós*, grado).

4) **Contractilidad.** Por la acción de los estímulos, sean internos o externos, el corazón responde con una contracción. La sucesión de los estímulos determina el ritmo cardíaco; esta propiedad recibe el nombre de *inotrópica* (del griego *ínos*, fibra).

5) **Tono cardíaco.** Es una propiedad muy discutida, equivalente a distensibilidad. Un corazón hipertónico se distiende poco en diástole y uno hipotónico lo hace más, admitiendo un mayor volumen sanguíneo.

LA REGULACION NERVIOSA DEL CORAZON

Gracias a la función de automatismo, el corazón podría funcionar por sí solo, pero además el sistema nervioso de la vida vegetativa influye tanto en la aceleración como en la moderación de la actividad cardíaca; por otra parte, el corazón tiene *inervación sensitiva*.

El sistema cardiomodulador está a cargo del parasimpático, del nervio neumogástrico o vago, y su estimulación produce bradicardia, con disminución de la conductividad y contractilidad, actuando como mediador químico la acetilcolina. Además existen zonas *reflexógenas cardiomoduladoras*, de tal modo que un golpe en el plexo epigástrico puede ocasionar *lipotimia* por bradicardia (*knock-out* del golpe en la boca del estómago). También se provoca bradicardia por la compresión de los globos oculares y por la estimulación de los nervios de Cyon y de Hering, que son *presorreceptores*, es decir, receptores a la presión arterial; cuando ésta aumenta, producen bradicardia y *vasodilatación compensadora*.

El sistema cardioacelerador está constituido por el simpático, proveniente de la región dorsal. Fundamentalmente, la aceleración cardíaca se debe a una disminución del tiempo de diástole y muy poco al de sístole. Como consecuencia de la taquicardia aumenta la presión arterial; también aquí la *acción simpática* se ejerce a través de *mediadores químicos*, las *catecolaminas* (*adrenalina y noradrenalina*).

EL CICLO CARDIACO

La función principal del corazón es el trabajo de bomba, extraer la sangre del sistema venoso e impulsarla al sistema arterial. Esta bomba está compuesta por dos partes, el corazón derecho y el izquierdo, que actúan en forma bastante independiente. La función de bomba se logra gracias a procesos de contracción o sístole y de relajación o diástole, y a la disposición de las válvulas cardíacas, tanto las auriculoventriculares como las arteriales, que hacen que la sangre siga un solo camino y actúan en forma alternada, impidiendo el retroceso de aquélla.

El ciclo cardíaco comprende entonces todos los procesos de contracción, relajación y acción valvular que eyectan la sangre a las arterias. Comenzaremos a describirlo desde la parte final de la diástole auriculoventricular.

El corazón está en reposo, las válvulas sigmoideas aórtica y pulmonar están cerradas, pues la presión dentro de las arterias supera a la de los ventrículos, y las válvulas auriculoventriculares mitral y tricúspide están abiertas; la sangre penetra entonces en la aurícula derecha por las venas cavas superior e inferior y de la aurícula pasa al ventrículo derecho, penetra en la aurícula izquierda por las cuatro venas pulmonares y desde allí se dirige al ventrículo izquierdo por estar, como dijimos, la válvula mitral abierta.

Cuando el corazón se halla distendido por la sangre que lo ocupa, se produce la estimulación del marcapaso, que, como ya vimos, se encuentra en la aurícula derecha; la exci-

tación de ambas aurículas trae como consecuencia su contracción o sístole auricular, que termina de llenar de sangre a los ventrículos.

Luego el estímulo se propaga a lo largo del sistema excitoconductor a través del nódulo auriculoventricular, del haz de His y de la red de Purkinje; se excitan los ventrículos y el miocardio responde a la excitación con una contracción. La sístole ventricular, que en un primer momento es isométrica, aumenta la presión dentro de los ventrículos, y a causa de la diferencia de presiones con las aurículas, la sangre tiende a volver hacia atrás y determina el cierre de las válvulas auriculoventriculares mitral y tricúspide. El chasquido que ocasiona este cierre es el origen del primer ruido cardíaco. Continúa la contracción ventricular y llega un punto en que el aumento de la presión dentro de los ventrículos supera a la presión intraarterial; se abren entonces las válvulas arteriales y sobreviene la fase o período isotónico de la sístole con la expulsión de la sangre hacia las arterias.

Le sigue después la relajación o diástole auriculoventricular. Al relajarse los ventrículos disminuye rápidamente la presión en el interior de ellos, y por ser alta la presión dentro de las arterias, la sangre trata de volver hacia atrás; se produce de tal modo el cierre de las válvulas arteriales pulmonar y aórtica y esto genera el segundo ruido cardíaco. Nuevamente nos encontramos en la condición del principio: el corazón se llena otra vez con sangre de origen venoso, y como no hay presión, las válvulas auriculoventriculares se abren.

Entre el primero y el segundo ruido se encuentra el pequeño silencio, y entre el segundo ruido y el primero del ciclo cardíaco siguiente, el gran silencio. Normalmente, en reposo, este ciclo cardíaco se repite entre 60 y 80 veces por minuto.

RUIDOS Y SOPLOS CARDIACOS

Los ruidos cardíacos son originados por el cierre de las válvulas: el primero por el cierre de las válvulas mitral y tricúspide, y el segundo por el de las válvulas sigmoideas pulmonar y aórtica.

Estos ruidos a veces suelen alterarse por trastornos valvulares estructurales o funcionales.

Los ruidos cardíacos se pueden auscultar directamente sobre la pared costal, pero hay sitios donde mejor se escucha cada válvula cardíaca. Estos lugares se denominan *focos*. El foco mitral se localiza en el 4° o 5° espacio intercostal izquierdo, a la altura de la línea hemiclavicular; el foco tricúspide, en el cuarto o quinto espacio intercostal izquierdo, a la altura del esternón, en su borde; el foco aórtico se ausculta mejor en el segundo espacio intercostal derecho, al lado del esternón, y el foco pulmonar en el segundo espacio intercostal izquierdo, también junto al esternón.

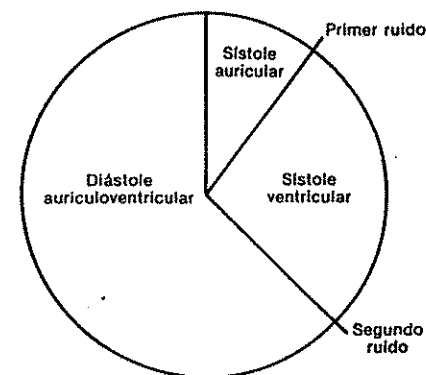


Fig. 3-3. El ciclo cardíaco.

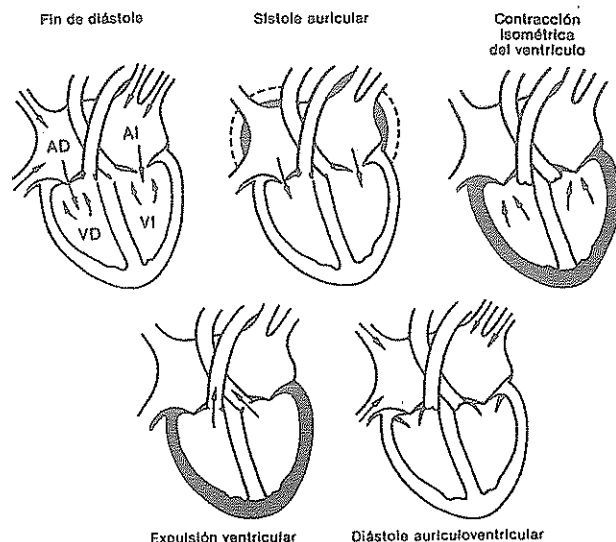


Fig. 3-4. El ciclo cardíaco. (Tomado de Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*, 2a. ed. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1983.)

Las alteraciones valvulares más frecuentes causan los *soplos*, es decir, el sonido que suscita un líquido (la sangre) al pasar a presión por un lugar estrechado. Pueden ser producidos por estenosis o por insuficiencia valvular. En el primer caso, la válvula no deja pasar libremente la sangre; en el segundo permite el regreso hacia atrás del flujo sanguíneo.

Un soplo de estrechez se ausculta antes del ruido y uno de insuficiencia después de éste. El soplo de estrechez de la válvula mitral o tricúspide se percibe antes del primer ruido, en los lugares específicos de su auscultación, y el de insuficiencia de estas válvulas se ausculta después del primer ruido y en los mismos lugares. Un soplo de estrechez de las válvulas sigmoideas aórtica o pulmonar se ausculta antes del segundo ruido cardíaco y en los focos de auscultación ya mencionados; el de insuficiencia se ausculta después del segundo ruido cardíaco.

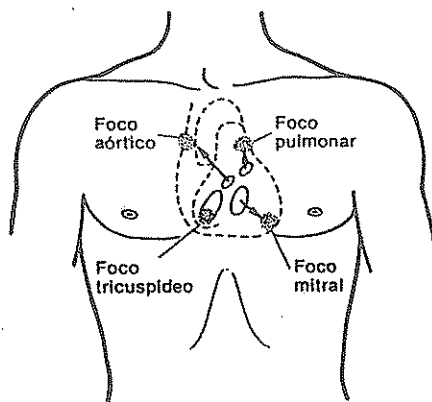


Fig. 3-5. Lugares de la pared torácica donde se escucha mejor cada válvula cardíaca. (Tomado de Houssay, A. B. y cols.: *Fisiología humana*, 5a. ed. Ed. "El Ateneo", 1980.)

En los atletas bien entrenados suele encontrarse un soplo, aunque por supuesto no siempre, al cual se denomina funcional porque no obedece a trastornos valvulares estructurales. Se cree que es consecuencia de la hipertrofia cardíaca del atleta, que es exclusivamente del miocardio y no está acompañada de cambios en el endocardio. Ello causa un aumento del orificio valvular, y las valvas al cerrarse no alcanzan a obliterarlo del todo; se trata de un soplo de insuficiencia y, por lo tanto, se lo auscultará después de los ruidos cardíacos.

CIRCULACION DE LA SANGRE EN LAS ARTERIAS

Las arterias son las encargadas de llevar la sangre, y por ende el oxígeno, desde el corazón hacia los lugares donde se realiza la combustión celular.

Las arterias son tubos formados por tres capas: una exterior, la adventicia, una media, muscular o elástica, y una interior, la íntima, en contacto con la sangre. Existen arterias (las grandes) que poseen capa elástica y otras (las pequeñas) que son musculares, lo cual significa que las arterias grandes tienen elasticidad y las pequeñas contractilidad.

Cada sístole ventricular impulsa una "oleada" de sangre dentro de la arteria pulmonar, a la derecha, y dentro de la aorta, a izquierda, que distiende las paredes arteriales. A causa de su elasticidad, las paredes vuelven a la posición inicial y crean una continua onda de traslación, que actúa como un verdadero corazón periférico, el cual impulsa la sangre en un solo sentido y constituye el pulso, sensación palpable de la expansión periódica que coincide con la sístole ventricular. Se palpa en todas las arterias, pero es más fácilmente percibido cuando se las oprime sobre una superficie dura, como el hueso.

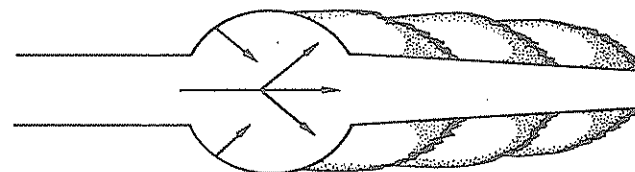


Fig. 3-6. Circulación en las arterias. La contracción ventricular envía una "oleada" de sangre que distiende a las paredes arteriales, las que por su elasticidad vuelven a la posición inicial, formando una onda de progresión que constituye el pulso.

La velocidad de la sangre en las arterias es inversamente proporcional a la amplitud del lecho vascular; como las arterias se dividen en forma extraordinaria, la suma de estas subdivisiones determina un aumento progresivo del lecho arterial a medida que se alejan del corazón y la consecuente disminución de la velocidad de la sangre. A causa de ello la red capilar tiene una capacidad de 800 a 1000 veces la correspondiente a la sección de la aorta. Se calcula que el flujo sanguíneo aórtico es de 320 ml por segundo, en tanto que en los capilares es de 0,3 ml por segundo, lo cual favorece el intercambio de sustancias entre la sangre y los tejidos a través de la fina pared capilar.

CIRCULACION EN LOS CAPILARES

Los capilares, lugar fundamental de los intercambios que mantienen la constancia del medio interno, se reproducen fácil y extraordinariamente, es decir, presentan un alto grado de proliferación.

La arquitectura capilar varía en los diferentes órganos. Los capilares están formados por pequeños vasos anastomosados entre sí, continuación de las arteriolas terminales, los que en su extremo distal constituyen las vénulas, que se unen entre sí y dan lugar finalmente a las venas.

La disposición exacta es la siguiente: las arteriolas forman las metarteriolas y éstas los capilares verdaderos, que poseen en su extremo proximal un esfínter precapilar que regula el paso de la sangre de acuerdo con las necesidades metabólicas de los tejidos, de manera que pueden aumentar, disminuir o abolir el paso sanguíneo. Estas metarteriolas son la vía preferente para el paso sanguíneo, el lugar de paso normal de la sangre. Pero además, existe otra a través de las anastomosis arteriovenosas (AAV). Constituyen una comunicación directa entre las arteriolas y las vénulas, y permiten un flujo sanguíneo más rápido a través de los tejidos. Cuando la temperatura del ambiente es elevada, en la piel, por ejemplo, la circulación a través de las AAV es mayor para irradiar el calor interno.

Esto significa que, de acuerdo con las condiciones metabólicas locales, la sangre puede circular por tres circuitos en la red capilar:

- 1) En reposo, por la vía preferente a través de las metarteriolas.
- 2) Cuando la actividad local es intensa, a través de los capilares verdaderos.
- 3) Cuando se debe irradiar calor del cuerpo, por las anastomosis arteriovenosas.

La variación del lecho capilar obedece a estimulaciones neurohormonales y químicas locales, y también a la acción de los esfínteres precapilares, que pueden dirigir el flujo sanguíneo directamente a través de las AAV o hacerlo pasar por toda la red, donde la sangre recorrerá un camino más largo, lo cual disminuye su velocidad. Estos esfínteres son estimulados por el simpático, a través de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), y por agentes químicos locales como el aumento de la cantidad de CO_2 , de los hidrogeniones y de la temperatura local.

La red capilar, con su vasoconstricción, regula la presión arterial, interviene en la regulación hídrica, etcétera.

CIRCULACION EN LAS VENAS

Después de dejar los capilares, la sangre regresa al corazón por las venas, un conjunto de tubos confluentes originados en los distintos lugares del organismo que se anastomosan entre sí para formar las venas cavas superior e inferior (circulación mayor), las cuales de-

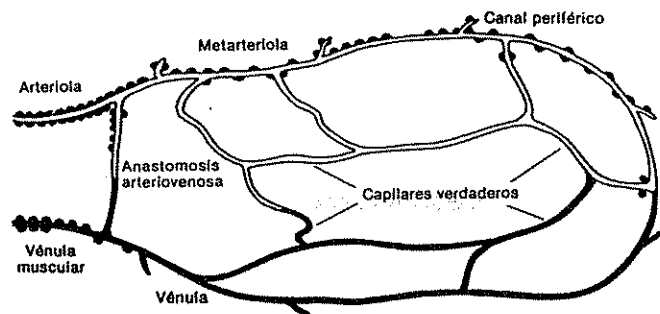


Fig. 3-7. Estructura de la red capilar. La sangre de una metarteriola puede dirigirse por el canal periférico preferente; los capilares verdaderos se abren si hay aumento de las necesidades metabólicas, y si no lo hay, la sangre puede derivarse por las anastomosis arteriovenosas. (Josiah Macy Jr. Foundation N. York.)

sembocan en la aurícula derecha. En la circulación menor, las cuatro venas pulmonares desembocan en la aurícula izquierda.

Las venas poseen una actividad dinámica y son capaces de contraerse y dilatarse almacenando grandes cantidades de sangre, que puede ser utilizada para regular el volumen minuto cardíaco de acuerdo con las necesidades.

Estructuralmente, son conductos depresibles de paredes flácidas, y su calibre aumenta a medida que se acercan al corazón.

La presión dentro de las venas varía según la presión hidrostática del peso de la columna líquida. La presión en la aurícula derecha es igual a 0 mm de mercurio, en posición de pie; en la vena cava inferior, en su origen abdominal, es de 22 mm; en la vena femoral es de 40 mm, y llega a 90 mm en las venas del pie. En la posición de pie la sangre debe ir en contra de la corriente para llegar a la aurícula derecha. La gravedad favorece a la vena cava superior pero entorpece a la inferior. Para vencer esta presión hidrostática las venas requieren tres elementos que en forma escalonada, desde el pie hasta el tórax, empujan la sangre, ayudados por la presencia de válvulas de una sola vía, en forma de nidos de paloma, en las venas del miembro inferior.

Los miembros inferiores cuentan con tres sistemas venosos, el superficial, el profundo y el comunicante. Normalmente, la sangre va de la superficie a la profundidad y de abajo hacia arriba, hasta donde la vena femoral se transforma en iliaca externa, nivel en el que se encuentra la última válvula venosa.

Los tres elementos que intervienen en el retorno venoso son de abajo hacia arriba: el "vis a tergo", la acción de masaje de los músculos esqueléticos y la aspiración torácica.

"Vis a tergo" significa literalmente fuerza de atrás y actúa desde la planta del pie hasta la mitad de la pierna. Es el empuje que la sangre, desde las arterias, a través de los capilares, ejerce sobre la columna sanguínea venosa.

La acción de masaje de los músculos esqueléticos actúa desde la mitad de la pierna hasta el pliegue inguinal, donde la vena femoral se transforma en iliaca externa y también donde se encuentra la última válvula. Por la disposición de las válvulas venosas, el recorrido de la sangre es de la superficie a la profundidad y de abajo hacia arriba. Al contraerse, los músculos esqueléticos comprimen a las venas, fácilmente colapsables, y desplazan a la sangre contenida en su interior, que por la disposición de las válvulas solo puede dirigirse hacia arriba.

Desde allí hasta la aurícula derecha actúa el tercer factor, que es la aspiración ejercida por el tórax durante la inspiración, gracias a la acción muscular y fundamentalmente a la del diafragma. Este en su descenso origina una presión negativa en el tórax y positiva en el abdomen. De acuerdo con las leyes de la hidrodinámica, los líquidos van de los lugares de mayor presión a los de menor presión; la sangre asciende entonces durante la inspiración hasta la aurícula derecha y las venas cavas inferiores se llenan desde abajo durante la espiración. De esta manera, la sangre venosa vence a la presión hidrostática y llega a la aurícula derecha.

VOLUMEN MINUTO CARDÍACO

El volumen minuto cardíaco (VMC) es el índice más importante de la función cardíaca y corresponde a la cantidad de sangre que el corazón impulsa a las arterias en un minuto.

El valor en reposo varía con la posición del individuo: si está acostado es de 3,5 a 6 litros; sentado, de 4 a 5 litros, y de pie, de 3,5 a 4 litros; ello se debe a la acción de la gravedad sobre el retorno venoso. Durante la actividad física intensa puede llegar en una persona sedentaria a 20-25 litros y en un atleta bien entrenado a 30-40 litros por minuto. Como se aprecia, el aumento del VMC está relacionado con el máximo consumo de O_2 , es decir, con la capacidad aeróbica.

El VMC es el resultado del producto de la frecuencia cardíaca por el volumen sistólico (cantidad de sangre que el corazón expulsa en cada sístole). La frecuencia cardíaca está re-

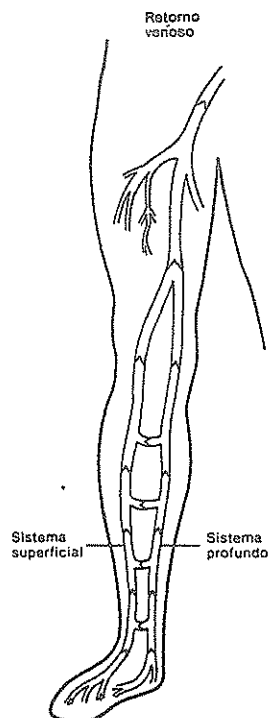


Fig. 3-8. Disposición de las válvulas venosas que solo permiten la circulación de la sangre de la superficie a la profundidad y de abajo hacia arriba.

gulada por el sistema simpático y el volumen sistólico por factores mecánicos del miocardio. En el esfuerzo submáximo hay aumento de la frecuencia cardíaca (taquicardia) y en el esfuerzo máximo aumenta el volumen sistólico sin modificaciones de la frecuencia cardíaca; todo ello con el objeto de aumentar el VMC.

FRECUENCIA CARDIACA

Es el número de ciclos cardíacos en un minuto. Para un adulto en reposo varía entre 60 y 80; la *American Heart Association* considera normales cifras de 50 a 100.

Un aumento por encima de los valores máximos normales se denomina taquicardia (del griego *tachýs*, rápido y *kardýa*, corazón) y una disminución por debajo de los mínimos, bradicardia (del griego *bradýs*, lento).

Existen muchas causas normales o anormales de cambios en la frecuencia cardíaca (FC): la edad, el reposo o el trabajo, la menstruación, el embarazo, etc.

— En el feto el ritmo cardíaco es pendular, de modo que tanto el pequeño como el gran silencio son iguales; al nacer, la FC es de alrededor de 130 latidos por minuto, cifra que disminuye progresivamente hasta los valores normales citados, que se alcanzan en la pubertad, y luego vuelven a aumentar en la vejez. También se altera la FC según la hora del día, el sueño, la posición, el período digestivo, el estado emocional y la temperatura corporal. Al respecto, se considera que por cada grado de aumento de la temperatura por encima de la normal la FC se eleva en 10 latidos por minuto.

La frecuencia cardíaca durante el ejercicio. Se han encontrado, en cortos periodos de actividad máxima, cifras de hasta 240-250, y se cita el caso de un atleta que llegó a los 320 latidos por minuto durante un trabajo muscular exhaustivo.

El aumento de la frecuencia cardíaca durante el trabajo muscular depende de muchos factores: el estado físico, la duración e intensidad de la tarea, la temperatura y humedad del ambiente, la altura donde se efectúa la prueba, el grado de entrenamiento y el estado emocional. Es muy importante controlar la FC antes de iniciar la actividad y durante su desarrollo. La FC de la iniciación de la actividad no es la misma que la del reposo y se la llama "pulso de partida".

McCurdy observó que la FC es menor en los atletas que realizan tareas anaeróbicas que en aquellos en quienes predominan la fuerza muscular (levantadores de pesas), y mayor en los que efectúan trabajos rápidos e intensos, como carreras, ciclismo, natación, etcétera.

En una persona entrenada, en un trabajo submáximo, la FC aumenta rápidamente y alcanza su nivel máximo en los primeros segundos de la actividad física; y luego permanece al parecer en equilibrio entre el consumo y la absorción de oxígeno (*steady-state* o fase estable), pero si la intensidad del trabajo aumenta, se produce otro incremento de la FC hasta llegar a un nuevo nivel de equilibrio. Después de la finalización de la actividad física la FC cae bruscamente en los primeros minutos y después con más lentitud, hasta llegar a los valores iniciales. El descenso es tanto más rápido cuanto más eficiente es el corazón; en otras palabras, cuanto mejor entrenado se encuentre el sujeto.

En la persona sedentaria, con actividades submáximas la FC no mantiene un nivel constante, sino que aumenta mientras dura el trabajo, hasta alcanzar valores que a veces impiden la continuación de la actividad.

El retorno a la FC normal después de la actividad física está condicionado por varios factores: grado de entrenamiento, intensidad y duración del trabajo realizado, temperatura y humedad ambientales, etc. Cotton y Dill comprobaron que a continuación de una actividad física la FC disminuye en una pulsación por segundo durante los primeros 10 segundos; la disminución es luego más rápida y a veces se llega a niveles inferiores al "pulso de partida".

En los ejercicios extenuantes la vuelta a la normalidad es muy variable y puede ser de minutos hasta horas, lo que depende del grado de entrenamiento.

Durante la actividad física la FC aumenta al mismo tiempo que lo hace el consumo de oxígeno. Cuando se inicia el ejercicio se produce una disminución rápida de la absorción del oxígeno con respecto a su utilización, generando siempre una deuda que se saldará durante la recuperación. En su transcurso la absorción de oxígeno llega más rápido a los niveles de reposo que la frecuencia cardíaca, lo cual parece estar en función de regulaciones relacionadas con la disminución de la velocidad circulatoria en el circuito menor, con la consecuente disminución en la absorción de oxígeno. Esto no significa que disminuya la necesidad de oxígeno por la deuda contraída, la que se saldará en la recuperación posejercicio.

Regulación de la frecuencia cardíaca en el ejercicio. El aumento de la FC durante el ejercicio es paralelo al del consumo de oxígeno; esto obedece a la estimulación simpática y refleja con punto de partida en los músculos y articulaciones en movimiento.

Al comienzo de la actividad hay una disminución de la acción parasimpática (que es cardiorretardadora) y luego se produce un aumento de la estimulación simpática, que eleva rápidamente la frecuencia cardíaca. A medida que el corazón se acelera, la contractilidad miocárdica aumenta, y ello ocasiona un aumento del volumen sistólico y, como consecuencia, del VMC.

Durante la estimulación simpática tiene lugar un aumento de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), que incrementan la fuerza de la contracción ventricular, y por lo tanto, la estimulación simpática, a través de sus mediadores químicos, aumenta la excitabilidad y la velocidad de conducción de la fibra miocárdica.

Además, el aumento del CO_2 o la disminución del O_2 sanguíneo, o una disminución del pH, estimula las fibras nerviosas de los corpúsculos aórticos y carotídeos, los que por sus impulsos a través del simpático producen taquicardia; también existen reflejos originados en los músculos activos que estimulan el simpático. Cuando la actividad física, además de ser intensa es prolongada, se incrementa la acción del simpático sobre la frecuencia cardíaca hasta sus límites máximos, provocando en ocasiones un agotamiento que impide continuar el ritmo de la actividad.

Efectos del entrenamiento sobre la frecuencia cardíaca. En reposo un atleta entrenado presenta bradicardia. Es común encontrar cifras de frecuencia cardíaca de 50, 40 y a veces hasta 35. La causa puede ser una hipertonía del parasimpático. Lo indudable es el aumento del volumen sistólico, hecho que se observa más frecuentemente en atletas que efectúan entrenamiento aeróbico.

La disminución de la frecuencia cardíaca en reposo se asocia, por lo común, con una disminución de la presión arterial.

Para un mismo tipo de trabajo físico, un individuo entrenado tiene una aceleración cardíaca similar a la del no entrenado, pero al final del trabajo el retorno a los valores de reposo es más rápido en el atleta que en el sedentario. Lo cual significa que el tiempo de recuperación del entrenado es menor y que posee una mayor reserva circulatoria para un trabajo más prolongado. En cambio, en el sedentario la aceleración de la frecuencia cardíaca es igual, pero no permanece estable, sino que tiene oscilaciones y demora más en llegar a los valores de reposo durante la fase de recuperación.

VOLUMEN SISTOLICO

El volumen sistólico (VS) es la cantidad de sangre que en cada sístole envía el ventrículo a la arteria correspondiente. Durante el reposo la contracción ventricular sistólica no es total, sino que algo de sangre queda dentro del ventrículo (*residuo sistólico*). Este residuo no permanece durante la actividad, pues al aumentar la fuerza de la contracción el corazón se vacía totalmente. Ello determina un aumento del VS durante la actividad física, con el consecuente aumento del VMC.

El VS es influido por numerosos factores: peso corporal, estado emotivo, posición corporal con sus variaciones del retorno venoso, tipo de trabajo muscular, estado de entrenamiento, etcétera.

Por lo común, un tipo de trabajo submáximo produce un aumento máximo del VS, y si entonces se pasa a un trabajo mayor, el VS no puede aumentar más; por lo tanto, el aumento del VMC tiene lugar sobre la base de un aumento de la FC.

Es necesario aclarar que el aumento de la FC durante el trabajo físico intenso favorece el aumento del VMC hasta los 120 latidos por minuto; de allí en más, y como consecuencia del acortamiento del lleno diastólico, el VS disminuye gradualmente, hecho que no ocurre con el corazón entrenado hasta los 180 a 200 latidos por minuto. Esto da un mejor rendimiento tanto en VS como en VMC para el atleta, como se comprueba con las cifras del VMC obtenidas durante actividades máximas.

En reposo, en posición de pie, en el individuo sedentario el VS es de 60 a 90 ml y en el atleta entrenado de 100 a 125 ml; en condiciones de trabajo muscular intenso alcanza a 100-120 ml en el sedentario y a 180-200 y hasta 220 en el atleta.

Por todo ello debemos decir que en el trabajo muscular intenso y prolongado la eficacia cardíaca del atleta es muy superior a la del sedentario, y ello se logra exclusivamente con un entrenamiento bien reglamentado y ejecutado.

TENSION O PRESION ARTERIAL

La tensión o presión arterial o sanguínea (TA) es la fuerza con la cual circula la sangre, fuerza ejercida sobre las paredes arteriales y de la que escaparían si no constituyeran un circuito cerrado. Esta fuerza es creada por la contracción ventricular y mantenida por la resis-

tencia que los pequeños vasos oponen al paso de la sangre. Es mayor en los grandes troncos arteriales, junto a los ventrículos, y es menor en los grandes vasos venosos, junto a las aurículas.

La disminución gradual de la TA a lo largo del sistema vascular se debe a la pérdida de energía cinética cardíaca, y a pesar de disminuir la presión, aumenta la velocidad en las grandes venas con respecto al lecho capilar, a causa del menor caudal que éstas poseen en comparación con la gran cantidad de capilares, los cuales son tan finos que los glóbulos rojos deben atravesarlos en fila, de a uno, y a veces se ven obligados a modificar su forma para poder pasar.

La sangre circula gracias a la presión arterial, que está comprendida entre dos variantes, una presión arterial máxima o sistólica y una mínima o diastólica.

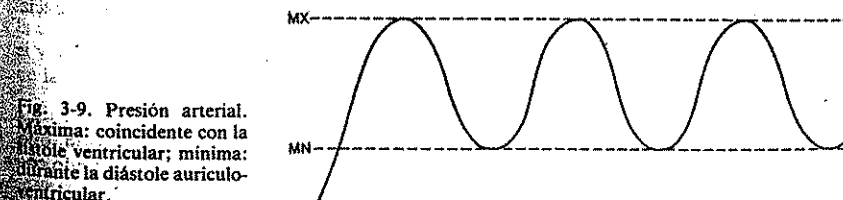
Si se punza una arteria, sale un chorro de sangre que no es continuo, sino intermitente (empujes y depresiones). Los empujes, coincidentes con el pulso, representan la presión arterial máxima, y las depresiones, la mínima. La primera ocurre en la sístole ventricular y la segunda en la diástole auriculoventricular, producida por la resistencia periférica. Entre la máxima y la mínima se encuentra la presión diferencial.

La TA se mide en milímetros de mercurio y los valores normales oscilan entre 100 y 150 mmHg para la máxima y entre 60 y 90 mmHg para la mínima. Presenta variaciones normales, motivadas por la edad (en el anciano es mayor por la arteriosclerosis), la digestión, el sueño o la vigilia, la menstruación y el estado emotivo o la actividad que realiza el sujeto.

Para medir la TA se utilizan aparatos llamados esfigmomanómetros o tensiómetros, que constan de un manguito inflable de goma, rodeado de una tela inextensible que posee un sistema de fijación. El manguito se conecta por tubuladura con una pera inflable que presenta una válvula de escape. El aparato lleva un manómetro de mercurio o aneróide que mide las presiones en milímetros de mercurio. Además se utiliza un estetoscopio biauricular.

Técnica. Con el manguito se rodea el brazo, algo por encima del codo, tratando de que comprima a la arteria humeral, que pasa por dentro del bíceps, y se conectan las tubuladuras. En la mitad del pliegue del codo se apoya el pabellón del estetoscopio y se comienza la operación inflando el manguito con la pera hasta por encima de los valores calculados como normales. En ese momento, si se ha superado la TA máxima, en el estetoscopio no se escucha nada. Se procede entonces con la válvula de escape a desinflar lentamente el manguito, con la vista fija en el manómetro. Llega un momento en que las presiones interior de la arteria y exterior del manguito se equilibran y se escuchan latidos fuertes, de golpe, en el estetoscopio, pues empiezan a pasar las ondas más elevadas; es la TA máxima cuyo valor se observa en el manómetro. Se continúa luego descendiendo la presión del manguito y se siguen escuchando sonidos; llega un momento en que éstos disminuyen bruscamente de intensidad o desaparecen. Significa que la presión ejercida por el manguito no interfiere el paso de la sangre por la arteria y se está en presencia de la TA mínima.

Variaciones de la TA. La postura no ejerce influencias sobre la TA, en tanto que el trabajo mental así como el estado emocional aumentan la máxima. En los atletas, las expectativas del inicio de la actividad aumenta la TA como consecuencia de impulsos ner-



viosos provenientes de la corteza cerebral, que estimulan a los centros cardíacos bulbares vasoconstrictores. En la actividad muscular siempre se produce un aumento de la TA máxima. Este aumento está en relación con la intensidad del trabajo y es el resultado del mayor trabajo circulatorio provocado por el aumento del consumo de oxígeno y también de la resistencia periférica en las pequeñas arterias, comprimidas por la acción muscular. En el trabajo de cierta duración se ha comprobado que la TA máxima aumenta bruscamente en los primeros minutos; luego lo sigue haciendo con más lentitud hasta determinado nivel, donde permanece en equilibrio con la intensidad del trabajo. Cuando éste termina, cae bruscamente y alcanza valores de reposo en lapso acorde con el tiempo que duró la actividad.

La presión diastólica ofrece pocas variaciones, del mismo tipo que las vistas en la presión sistólica. Terminado el trabajo, la TA mínima desciende más lentamente que la máxima y puede llegar a valores más bajos que los de reposo.

En actividades de muy poca intensidad, como una caminata, la TA disminuye poco, tanto la máxima como la mínima.

Producen un aumento más elevado de la TA máxima los ejercicios de fuerza, como las pesas y las carreras de cierta duración (los 400 metros, por ejemplo) y las de mediano fondo (800-1500 metros); luego, en orden decreciente, les siguen las de fondo (3000-5000 y 10.000 metros y maratón) y las de velocidad pura (100-200 metros).

El entrenamiento no ejerce gran influencia sobre la TA en el individuo entrenado, pero no llega a las cifras que se observan en el sedentario y disminuyen más rápidamente durante la recuperación.

EFFECTOS DE LA ACTIVIDAD FISICA SOBRE LA CIRCULACION

En reposo, el VMC es de 5 a 6 litros y se distribuye de la siguiente manera: un 4% para el corazón, 15% para el sistema nervioso, 20% para el aparato urinario, 26% para los músculos, huesos y piel, y 35% para el territorio visceral. Esto significa que los músculos reciben el 20% del flujo sanguíneo total en reposo, cifra que llega al 80 o 90% durante ejercicios intensos. El VMC aumenta de 5 a 20 o 25 litros y puede llegar en el atleta hasta 30 o 40 litros.

Durante la actividad las arteriolas aumentan rápidamente de volumen por vasodilatación, lo cual se acompaña de un aumento de la presión arterial y del volumen sistólico; de lo contrario, caería bruscamente la presión arterial por vasodilatación periférica.

El aumento de la irrigación muscular se instala rápidamente al comenzar el ejercicio y provee al músculo de gran cantidad de oxígeno. Esto quiere decir que la deuda de oxígeno que se observa al iniciar el trabajo físico no se debe a causas circulatorias, sino al tipo de metabolismo (anaeróbico) que realiza el músculo al comienzo de la actividad; en el curso de ésta, el aumento de la provisión de oxígeno está dado por la mayor absorción a nivel pulmonar y la mayor velocidad de transporte circulatorio. Todo esto es de fundamental importancia para el rendimiento deportivo, sobre todo para las actividades que implican un gran componente aeróbico.

Desde hace tiempo se sabe que el entrenamiento produce mayor capilarización, tanto en los músculos como en el miocardio y en los pulmones, además de la vasodilatación ya mencionada. Estos procesos aumentan la absorción de oxígeno a nivel pulmonar y su distribución a nivel muscular; la vasodilatación determina una disminución de la resistencia periférica y ello hace más económico el trabajo del corazón.

RESPUESTA CARDIACA A LA ACTIVIDAD FISICA. CORAZON DE ATLETA

— A medida que se realiza actividad muscular, se logra una adaptación del corazón, que responde a las exigencias suscitadas por el ejercicio; esta adaptación se ha interpretado como una reacción normal y semejante a la que ocurre en el músculo esquelético.

En experiencias con animales se observó que los que eran sometidos a trabajos prolongados e intensos presentaban un aumento del tamaño y del peso del corazón; también pudo comprobarse que los corazones de los atletas que realizan entrenamientos sistemáticos son más grandes que los de los individuos sedentarios de la misma edad y peso (el tamaño normal del corazón en una telerradiografía de tórax muestra que su diámetro trasverso cabe tres veces en el diámetro trasverso del tórax; esto se denomina índice cardiotórácico). Es decir que en reposo, radiológicamente, la sombra cardíaca es mayor de la que corresponde; es lo que se ha dado en llamar hipertrofia por trabajo y no debe confundirse con la dilatación que se ve en la insuficiencia cardíaca.

— Las adaptaciones cardíacas son consecuencia de una hipertrofia de las paredes del miocardio, en especial de las de los ventrículos, y son más frecuentes en los atletas que efectúan actividades de resistencia prolongadas. Esta hipertrofia del miocardio trae como consecuencia un aumento del volumen sistólico y ha sido llamada corazón de atleta.

El corazón de atleta es la resultante de las adaptaciones morfofuncionales que tienen lugar en el corazón de los atletas que practican actividades físicas de acentuada intensidad en forma prolongada y es producida por el aumento del tamaño del órgano, con hipertrofia de sus paredes y aumento del volumen de sus cavidades.

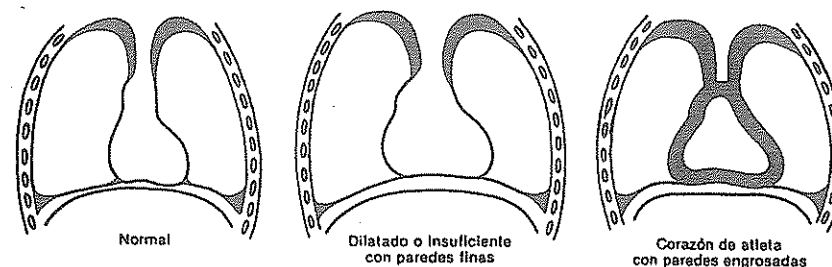


Fig. 3-10. Corazón de atleta.

Limzbach, refiriéndose al tema, expresa que el corazón de atleta está representado por un "armonioso crecimiento de sus paredes", evidenciado en los exámenes clínicos y radiológicos; es decir que las paredes son más gruesas que lo normal y hay un aumento del peso del órgano, en relación con el sujeto sedentario del mismo peso e igual altura.

— Venerando considera que se debe a una "dilatación tonógena" o "regulativa", que posee un mayor residuo sistólico en reposo que garantiza el rápido aumento del volumen sistólico requerido por un trabajo intenso.

La consecuencia es por lo tanto más funcional que estructural. Hay autores como Eckstein, Petren y otros que han encontrado un aumento en la capilarización del miocardio en animales entrenados, y Langens y col. comprobaron un aumento del número de mitocondrias.

— Durante el trabajo muscular se registra una disminución acentuada de los diámetros cardíacos en la sístole, con el consiguiente aumento del volumen sistólico por el aumento de la contractilidad del miocardio, que también empuja al residuo sistólico y llega a aumentar el volumen sistólico hasta un 50% de su valor de reposo. Además, se produce un aumento de la frecuencia cardíaca por estimulación nerviosa.

En el reposo, el corazón del atleta está bradicárdico, pero en el esfuerzo intenso su frecuencia aumenta más rápidamente que en el sujeto sedentario y llega más rápido a la fase estable, que es siempre menor para la misma actividad física que en el sedentario. La bradicardia de reposo del corazón de atleta es una verdadera "reserva de energía" que se utilizará en el trabajo intenso.

El corazón de atleta está bien irrigado, con un desarrollo importante de los capilares del miocardio.

Si el atleta abandona la práctica deportiva, con sus intensos entrenamientos, el volumen del miocardio se reduce, al igual que la musculatura esquelética, que pierde su hipertrofia.

EL ELECTROCARDIOGRAMA DEL ATLETA

El control del sistema cardiovascular del atleta, fundamental durante el rendimiento deportivo, exige datos y exámenes médicos periódicos, entre los cuales reviste gran importancia el electrocardiograma (ECG).

El ECG es un parámetro funcional de la actividad cardíaca, que permite el estudio de todas las fases del ciclo cardíaco y el estado de nutrición del miocardio.

El ECG es el registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón. Cuando se comenzó su estudio, el registro se efectuaba directamente sobre la superficie del corazón expuesto de animales de experimentación. El desarrollo de técnicas modernas hizo posible obtener el trazado de la actividad eléctrica del corazón colocando electrodos externos sobre la piel, y a través de sistemas inalámbricos se pueden obtener incluso registros a distancia.

Durante un entrenamiento intensivo, el electrocardiograma es un excelente medio para la evaluación cardiovascular del atleta y un recurso para la detección temprana de las posibles alteraciones que puede sufrir el miocardio por la sobrecarga que impone el entrenamiento.

El músculo cardíaco es diferente del estriado por su estructura celular y por su función de automatismo. El automatismo se cumple en el sistema excitoconductor que normalmen-

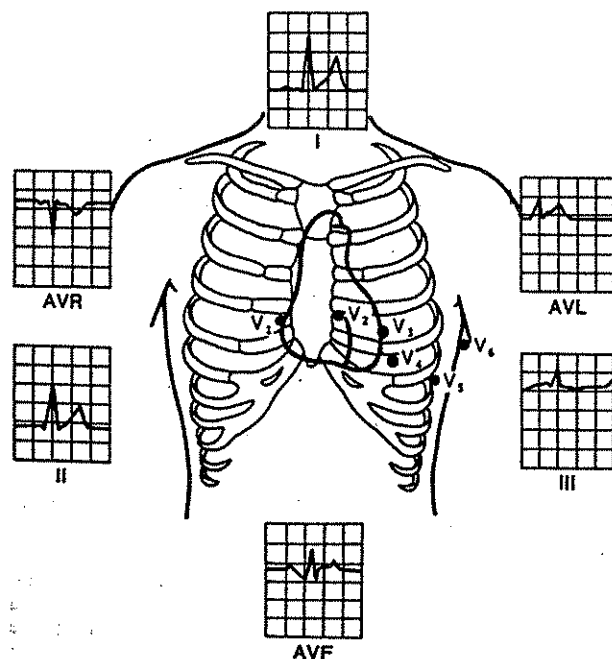


Fig. 3-11. Electrocardiograma. Distintos lugares donde se ponen los electrodos de las derivaciones precordiales y lugar de las derivaciones clásicas: I, II y III, y AVR, AVL y AVF.

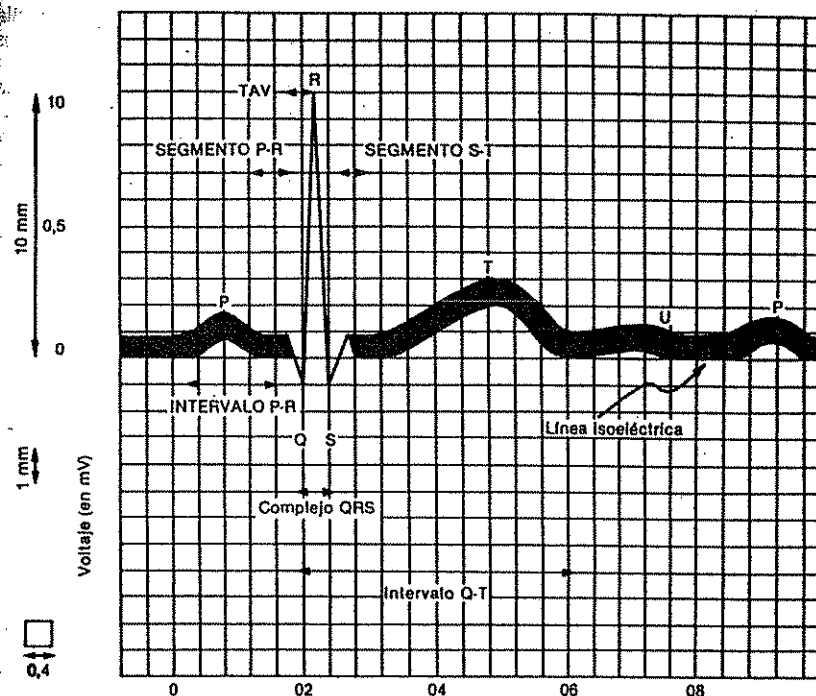


Fig. 3-12. Electrocardiograma normal.

te comanda el marcapaso y que genera en reposo entre 60 y 80 estímulos por minuto. Cuando toma el comando el nódulo auriculoventricular de Aschow-Tawara, la estimulación es de 40 a 60 por minuto, lo cual se denomina ritmo nodal. Las paredes ventriculares, en caso necesario, también pueden originar estímulos, pero con una frecuencia menor de 40 latidos por minuto.

Los estímulos cardíacos generados provocan alteraciones bioeléctricas de las células miocárdicas (alteraciones de potencial, despolarización y repolarización) que pueden ser captadas en forma externa por el electrocardiógrafo, técnica conocida como derivaciones unipolares, bipolares y precordiales, de acuerdo con la situación de los electrodos.

Para las derivaciones convencionales los electrodos se colocan en el brazo derecho, el brazo izquierdo y la pierna izquierda. Las derivaciones unipolares son: AVR cuando se aumenta el vector del brazo derecho, AVL cuando se aumenta el del brazo izquierdo y AVF cuando se lo hace en la pierna izquierda.

Las derivaciones bipolares toman de a dos vectores juntos: D I entre ambos brazos; D II entre el brazo derecho y la pierna izquierda, y D III, entre el brazo y la pierna izquierdos.

Las derivaciones precordiales son seis y se encuentran directamente sobre el corazón en el tórax y van de derecha a izquierda por el quinto espacio intercostal.

El ciclo cardíaco está integrado por la sístole y la diástole, que en el electrocardiograma son registradas por un trazado representado por diferentes ondas que parten de una línea recta de reposo, denominada isoelectrica (de igual electricidad). Las ondas producidas durante el ciclo cardíaco son las siguientes:

Onda P. Corresponde a la contracción de las aurículas y es de baja amplitud. En ella se pueden detectar signos de hipertrofia auricular derecha o izquierda o estímulos ectópicos originados fuera del marcapaso.

Complejo QRS. Conjunto de tres ondas correspondiente a la despolarización de la sístole ventricular derecha e izquierda; a la onda Q le corresponde la despolarización del tabique interventricular, a la onda R la despolarización de ambas paredes ventriculares y a la onda S la despolarización de la base de los ventrículos junto a las aurículas. Un aumento de una de estas ondas nos orienta hacia una hipertrofia ventricular, en tanto que su disminución o ausencia es sospechosa de isquemia miocárdica.

Onda T. Corresponde a la repolarización de la sístole ventricular. Sus alteraciones se ven en las hipervagotonías o en las afecciones coronarias. El segmento S-T es importante en las alteraciones isquémicas del miocardio y su desnivel es un signo sospechoso de futuro infarto de miocardio o de infarto en evolución.

La diástole auriculoventricular carece de manifestaciones eléctricas, pues no produce diferencias de potencial en el miocardio. La diástole auricular ocurre durante el complejo QRS y la diástole ventricular en el lapso entre la onda T y la P del ciclo cardíaco siguiente.

El electrocardiograma de esfuerzo (ergometría) presenta algunas variantes y permite determinar ciertas alteraciones que en reposo pasan inadvertidas.

ALTERACIONES DEL ELECTROCARDIOGRAMA DEL ATLETA

Desde hace tiempo se han observado alteraciones electrocardiográficas en atletas, sin ninguna significación patológica ni síntomas clínicos. La mayoría se encuentra en exámenes de rutina, no por síntomas previos. Se ha descrito achatamiento del intervalo PR después de pequeños esfuerzos físicos, ondas P altas o bifidas, segmento PR más corto con QRS normal o aumentado, desviación del QRS, alteraciones del segmento ST y arritmias.

La mayoría de estas alteraciones son atribuidas a la influencia del entrenamiento sobre el corazón y carecen de significación patológica; son limitrofes entre lo normal y lo patológico los trastornos de conducción auriculoventricular e interventricular.

Venerando, del Instituto de Medicina del Deporte de Roma, en un estudio sobre 2000 deportistas comprobó alteraciones particularmente en quienes practican actividades de resistencia, de larga duración. Las más frecuentes son cambios en la conducción y aumento del tiempo de conducción sinoauricular, auriculoventricular e interventricular, asociados con bradicardia, lo cual se relaciona con el estado de hipervagotonía provocado por el entrenamiento. También halló anomalías en la fase de repolarización, como, por ejemplo, en el segmento ST y en la onda T.

Puede ocurrir asimismo que haya una cardiopatía en curso, provocada por una enfermedad (por ejemplo, reumatismo, Chagas, etc.). En estos casos existen además signos clínicos que evidencian la insuficiencia cardíaca, lo cual contraindicaría la actividad.

En los pacientes asintomáticos se puede pensar en alteraciones metabólicas del miocardio o en neurodisonías, que permiten proseguir con la actividad.

En muchos atletas los trastornos electrocardiográficos desaparecen al dejar la actividad. Quienes continúan con ella persisten con sus alteraciones electrocardiográficas, sin síntomas clínicos, por lo que deben considerarse totalmente benignas.

BIBLIOGRAFIA

- Andersen, P.: Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, 1975.
Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
Bevegard, S.: Studies on the regulation of the circulation in man. *Acta Physiol. Scand.* 1962.
Bevegard, B. S. y Shepherd, J. T.: Regulation of the circulation during exercise in man. *Physiol. Rev.* 47:178, 1967.

- Braunwald, E. y otros: An analysis of the cardiac response to exercise. *Circulat. Res. (supl.)*, 11-44, 1967.
Braunwald, E.; Sonnenblick, E. H.; Ross, J. (Jr.); Glick, C. y Epstein, S. E.: An analysis of the cardiac response to exercise. *Circulation Res.*, 1967.
Burton, A. C.: *Physiology and biophysics of the circulation*. Year Book Medical Publishers Inc. Chicago, 1968.
Carlsters, A. y Grimby, G.: *The circulatory response to muscular exercise in man*. Charles C. Thomas Publisher. Springfield, 1966.
Clausen, J. P.: Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and patients with coronary artery disease. *Program. Cardiovasc. Disease*, 18:459, 1976.
Clausen, J. P.: Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol. Rev.*, 1977.
Clement, D. L. y Shepherd, J. T.: Regulation of peripheral circulation during muscular exercise. *Prog. Cardiovasc. Diseases*, 19:23, 1976.
Cossio, P. R.; Kreutzer, E. y Cossio, P. M.: Auscultación cardíaca. *La Prensa Médica Argentina*, 50-3053, 1963.
Delauchaux, A. y Rivieri, L.: Electrocardiogrammes anormaux chez les athletes. *Rev. Med. Act.* 15:424, 1948.
Eckstein, R. W.: Effect of exercise and coronary artery narrowing on coronary collateral circulation. *Circulation Res.* 5:230, 1957.
Eklblom, B.: Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol. Scand.*, 1968.
Eklblom, B. y Hermansen, L.: Cardiac outputs in athletes. *J. of Physiol.* 25:619, 1968.
Ekelund, L. G.: Circulatory and respiratory adaptation to prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* (supl. 292), 1967.
Evans, C. I.: The velocity factor in cardiac work. *J. Physiol.* 52:6, 1978.
Folkow, B. y Neil, E.: *Circulation*. Oxford University Press. Londres, 1971.
Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
Fox, E. L.; McKenzie, D. C. y Cohen, K.: *Specty of training. Metabolic and circulatory responses*, 1975.
Fox, E. L. y Costill, L. D.: Estimated cardiorespiratory responses during marathon running. *Archives of Environmental Health*, 1972.
Fulton, J. I.: *A textbook of physiology*. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1949.
Ganon, W. F.: *Fisiología médica*. São Paulo Athenes Editora. San Pablo, 1973.
Guillet, R. y Genety, J.: *Manual de medicina del deporte*. Toray Masson. Barcelona, 1975.
Guyton, A. C.: *Textbook of medical physiology*, 3a. ed. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1966.
Luisada, A. A.: From auscultation to phonocardiography. C. V. Mosby. St. Louis, 1965.
Masini, V. y Venerando A.: L'esame elettrocardiografico nella selezione e nel controllo degli atleti. *Sport Salute Roma*, 55-890, 1962.
Moran, N. C.: Adrenergic receptors within the cardiovascular system. *Mod. Conc. Cardiovasc. Dis.* 35:6-93, 1966.
Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1981.
Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieris, C.: *Evaluación y entrenamiento*. Labemorf, 1985.
Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento*. Ed. Kapelus. Buenos Aires, 1980.
Rowell, B.: *Circulation. Med. Sci. Sport*, 1:15, 1969.
Rowell, L. B.: Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.* 54-75, 1974.
Sarnoff, S. J. y Mitchell, J. H.: The regulation of the performance of the heart. *Amer. J. Med.* 30-747, 1961.
Schener, J. y Timpton, C. M.: Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology*, 1977.
Uvnar, B.: Cholinergic vasodilatador innervation to skeletal muscles. *Circulation Res.* 1967.
Venerando, A.: L'elettrocardiogramme ed il fonocardiogramma nel controllo del atleta. *Med. Sport.* 19-256, 1961.
Venerando, A.: Frequence et signification des principales anomalies de l'elettrocardiogramme chez l'athlete. *Med. et Hyg.* 26:1132, 1968.
Venerando, A. y Lubich, T.: *Medicina dello sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.

4 | APARATO RESPIRATORIO

Todos los seres vivos mantienen sus funciones vitales gracias a cambios energéticos que provienen del metabolismo celular, metabolismo que se realiza por medio de combustiones que proveen la energía. Para que estas combustiones se cumplan es necesario un combustible y un comburente; el combustible lo aporta el aparato digestivo o se utilizan reservas; el comburente, que es el oxígeno, es provisto permanentemente por el aparato respiratorio.

El ser humano, como muchas otras especies, tiene reservas de combustible, en forma de grasas, hidratos de carbono o proteínas, pero nadie posee reservas de comburente, de oxígeno, que debe ser aportado de manera continua; cuando falta sobreviene la muerte celular y, por lo tanto, la del individuo. No obstante hay células que viven más tiempo que otras en ausencia de oxígeno; las más sensibles a su falta son las neuronas.

A medida que aumenta la complejidad en la organización de los seres vivos, más compleja es la función respiratoria, de tal modo que en los seres unicelulares la difusión del oxígeno se hace por simple diferencias de concentración a través de la membrana celular, y lo mismo ocurre con los desechos de la combustión. En los organismos superiores, en cambio, se necesitan órganos especiales que capten el oxígeno y eliminen el dióxido de carbono, producto final de la combustión orgánica.

La función respiratoria se divide en varias partes:

- a) La respiración externa, o intercambio gaseoso con el exterior (hematosis), se realiza en órganos especializados, los pulmones, que poseen mecanismos que aseguran la renovación constante del aire sobre la superficie respiratoria.
- b) El transporte de los gases desde los lugares de absorción hacia los lugares de consumo es la función que cumple el aparato circulatorio por medio de la sangre, la cual lleva el oxígeno a los tejidos y el CO_2 desde éstos a los pulmones para su eliminación.
- c) La respiración interna está dada por los intercambios gaseosos entre la sangre y las células.
- d) La respiración celular es la utilización del oxígeno en la combustión que proveerá la energía; de ella se desprende CO_2 , producto final de esa combustión.

ANATOMIA FUNCIONAL DEL APARATO RESPIRATORIO

Funcionalmente, el aparato respiratorio está constituido por un sistema de conductos, las vías aéreas, que vehiculizan y acondicionan el aire que penetra hacia la superficie de absorción, y una superficie de difusión, representada por los pulmones, donde tienen lugar los intercambios entre el aire y la sangre. También lo integran elementos que actúan en la permanente renovación del aire: la caja torácica y los músculos respiratorios.

Las vías aéreas están compuestas por las fosas nasales, la faringe, la laringe, la tráquea y los bronquios, que con sus finas ramificaciones llegan a los alvéolos, donde se realiza la hematosis.

Fosas nasales. Son dos cavidades anfractuosas, separadas por un delgado tabique sagital, que están por encima de la boca y por dentro de las cavidades orbitarias. En su constitución interviene un esqueleto osteocartilaginoso y una mucosa, llamada pituitaria, que la tapiza por dentro. En la parte anterior y cercana a los orificios anteriores, en esa mucosa existen pelos.

El esqueleto óseo consta de dos paredes, un techo, un piso y sendos orificios: unos anteriores, las narinas, y otros posteriores, las coanas, que comunican las fosas nasales con la faringe.

La pared externa está formada por el cornete inferior y el maxilar superior, que contiene los cornetes medio y superior, debajo de los cuales se encuentran los orificios que comunican las fosas nasales con los senos, tanto maxilares como frontales y esfenoidales. Por detrás del cornete medio se encuentra el meato u orificio de Santorini, que a través de la trompa de Eustaquio comunica las fosas nasales con el oído medio, elemento que protege la membrana del tímpano de las variaciones de la presión. Otros huesos que forman la pared externa son el lagrimal o unguis, la lámina vertical del palatino, la apófisis pterigoides del esfenoides y el hueso propio de la nariz.

La pared interna se halla formada por la lámina perpendicular del etmoides, el vómer y el cartilago del tabique.

El techo está constituido en parte por el frontal y la lámina cribosa del etmoides, lugar por donde pasan las finas ramificaciones del nervio olfatorio.

El piso está formado por el maxilar superior y la porción horizontal del palatino.

Las fosas nasales tienen una función olfatoria, ya que es el lugar de recepción de las sensaciones que el cerebro computará como olfato, asociándolas con experiencias anteriores.

En cuanto a la función respiratoria, es el lugar de entrada del aire atmosférico y de salida del aire espirado.

Los pelos y el mucus que secreta la mucosa pituitaria filtran el aire, de manera que las sustancias irritativas que éste posee quedan retenidas en los pelos o se adhieren al mucus y luego son expulsadas mediante el estornudo.

Las anfractuosidades de las fosas nasales producidas por los cornetes están ricamente vascularizadas y ello favorece el calentamiento del aire inspirado.

Curva o depresión sinuosa.

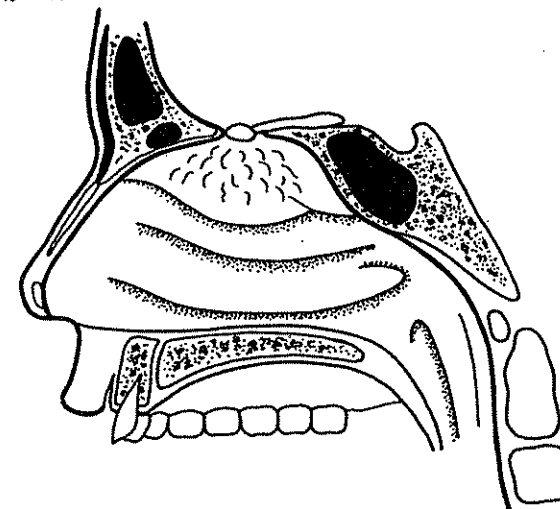


Fig. 4-1. Vista interior de la pared externa de las fosas nasales.

Además, como en la parte superior se encuentra el conducto lagrimal, las lágrimas que bañan a los ojos son volcadas a las fosas nasales y cumplen la función de humedecer el aire respirado.

Por lo tanto, las fosas nasales filtran, calientan y humedecen el aire que ingresa durante la inspiración.

Faringe. Es un conducto musculomembranoso situado entre la boca y la porción posterior de las fosas nasales, la laringe y el esófago, con el cual se continúa.

Laringe. Se halla en la parte media y anterior del cuello, por delante y por debajo de la faringe, por debajo del hueso hioides y por arriba de la tráquea. Está constituida por cartílagos, por músculos y por una mucosa que la reviste por dentro. Los cartílagos son el tiroides, el cricoides, los dos aritenoides y la epiglotis.

Por dentro de la laringe se encuentran las cuerdas vocales: las inferiores o verdaderas, constituidas por músculos, y las superiores o falsas, formadas por un repliegue de la mucosa; entre ambas se circunscribe una cavidad, el divertículo de Morgagni.

Las funciones de la laringe son tres. Una es la *respiratoria*, pues comunica la faringe, y a través de ella las fosas nasales, con la tráquea. Otra función es la *fonatoria*. La voz se produce por una espiración forzada, que hace vibrar a las cuerdas vocales inferiores, las cuales se cierran parcialmente y eso genera un sonido que adquiere resonancia en el divertículo de Morgagni y que luego es modulado en la boca.

Además, la laringe tiene una función *deglutoria*, ya que por ella pasa el bolo alimenticio desde la boca hacia el esófago mediante movimientos perfectamente coordinados que aíslan las fosas nasales y la laringe del bolo alimenticio. La deglución comienza con el em-

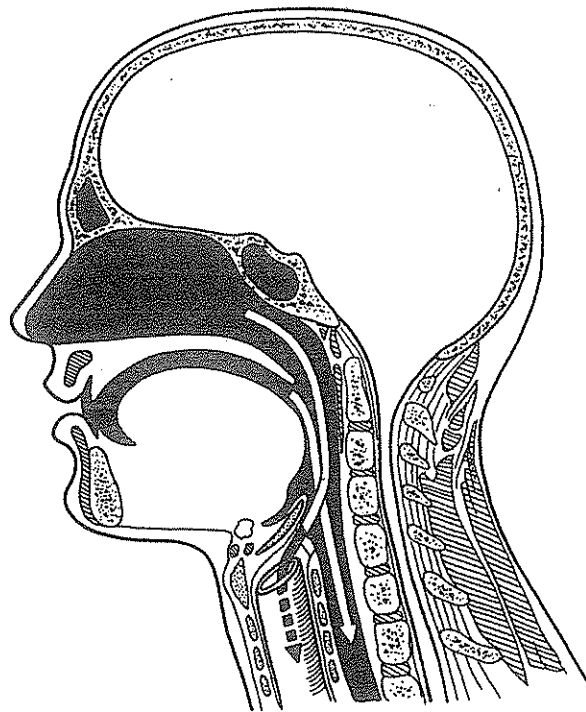


Fig. 4-2. Las flechas indican los posibles lugares de paso desde las fosas nasales y la boca hacia la faringe y el esófago respectivamente.

puje que efectúa la base de la lengua hacia atrás, y entonces el bolo alimenticio se encuentra con tres posibles caminos: arriba y atrás, a través de las coanas, hacia las fosas nasales; adelante y abajo, a través del orificio glótico, hacia la laringe, y abajo y atrás, hacia el esófago, único lugar donde debe ir. En el momento en que la base de la lengua empuja el bolo hacia atrás, comienza un acto involuntario que consiste en la elevación del velo del paladar por los músculos periestafilinos interno y externo; ello obtura las coanas e impide el paso de los alimentos hacia las fosas nasales. Al mismo tiempo se eleva toda la laringe y la epiglotis cierra el orificio glótico, de manera que solo queda expedito el camino hacia el esófago y, por medio de éste, hacia el estómago.

Tráquea. Es un conducto musculocartilaginoso que continúa a la laringe y termina bifurcándose en los bronquios. Se extiende desde la sexta vértebra cervical hasta la cuarta vértebra dorsal, y tiene la forma de un tubo cilíndrico, aplanado por detrás. Está formada por unos 20 anillos cartilagosos incompletos, en forma de herradura, con la parte abierta hacia atrás. Estos anillos se encuentran unidos entre sí por fibras conectivas y elásticas, lo cual impide que la tráquea se aplaste y al mismo tiempo le otorgan cierta elasticidad que hace posible su elongación.

Interiormente está tapizada por una mucosa, provista de cilios y mucus, que cumplen una función de limpieza.

Bronquios. Se da este nombre a las dos ramas principales de bifurcación de la tráquea, que corresponde a la altura de la quinta vértebra dorsal, y a las subdivisiones de esas ramas.

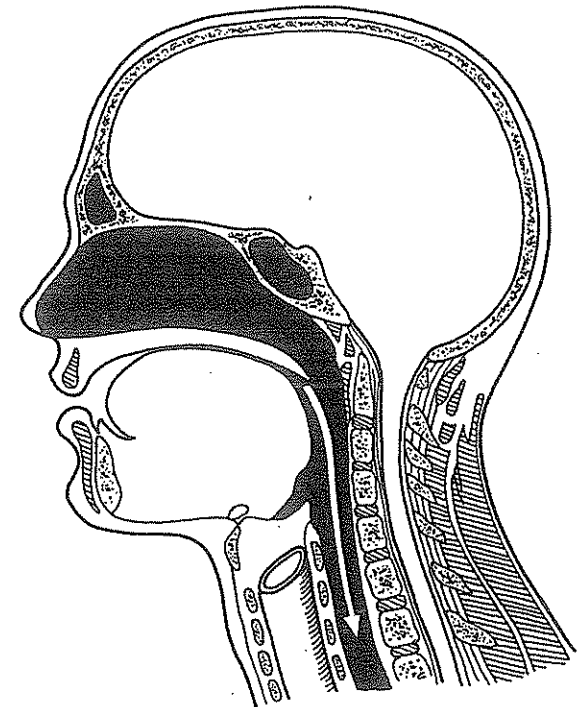


Fig. 4-3. Durante la deglución, al cerrarse la glotis y las coanas por la epiglotis y el velo del paladar, respectivamente, solo queda expedito el camino hacia el esófago.

El bronquio principal izquierdo forma un ángulo de 45° con la vertical y el derecho uno de 30° . Esta diferencia es provocada por la ubicación del corazón. Los bronquios principales, después de un corto recorrido, penetran en el pulmón correspondiente a través del hilio y luego se dividen en dos el izquierdo y en tres el derecho, uno para cada lóbulo pulmonar. Las ramas intrapulmonares, dentro de cada lóbulo, se subdividen en forma lateral y dicotómica en ramas cada vez más finas. No poseen anillos cartilaginosos como la tráquea, sino láminas en forma de media luna; el músculo liso rodea totalmente el orificio bronquial. Las ramas de menos de 1 mm de diámetro se denominan bronquiolos, los que continúan dividiéndose para formar los bronquiolos terminales que conducen a los bronquiolos respiratorios, los cuales desembocan en los alvéolos pulmonares.

Pulmones. Ocupan totalmente la caja torácica, con excepción del espacio destinado al mediastino. De forma irregular, se distingue en ellos una base, un vértice, dos caras y tres bordes. El vértice es redondeado y ocupa la bóveda pleural. La base, también llamada cara diafragmática, es ancha y cóncava, con una concavidad más pronunciada del lado derecho, dada la ubicación del hígado. La cara externa o costal es convexa y corresponde a la parte interior de la parrilla costal. La cara interna, también llamada mediastínica por su relación con ese espacio, presenta una concavidad donde se aloja el corazón.

Un poco por arriba del centro de la cara mediastínica se halla el hilio pulmonar, lugar por donde penetran y salen los componentes del pedículo pulmonar (entran bronquios, la arteria pulmonar, la arteria bronquial y nervios, y salen las venas pulmonares y linfáticos).

El borde anterior es delgado y algo irregular; el inferior une las caras costal y mediastínica a la base o cara diafragmática, y el borde posterior, romo, une las caras costal y mediastínica por detrás.

El pulmón derecho tiene dos cisuras que lo dividen en tres lóbulos, superior, medio e inferior; el pulmón izquierdo presenta una sola cisura, que lo divide en dos lóbulos, superior e inferior.

Pleuras. La pleura es una membrana que reviste a los pulmones, y después de replegarse sobre sí misma cubre interiormente la caja torácica y los órganos del mediastino. Está constituida por dos hojas, una visceral en contacto con los pulmones y otra parietal en contacto con las paredes. Entre ambas delimitan una cavidad, la cavidad pleural, que es virtual en condiciones normales. Por ser virtual, su presión es negativa respecto de la presión atmosférica; ello determina que, gracias a la elasticidad de los pulmones, estos órganos acompañen a los movimientos torácicos de expansión o disminución; de tal manera se mantiene una gran solidaridad toracopulmonar, que hace que los movimientos sean siempre compartidos.

Histología pulmonar

Los pulmones están constituidos por pequeños elementos de forma más o menos piramidal, llamados lobulillos pulmonares, que reciben una rama de la división bronquial y una rama de la división de la arteria pulmonar.

Los bronquiolos respiratorios se dividen dentro del lobulillo en conductos alveolares y alvéolos respiratorios. El sistema de sacos alveolares, rodeado por las divisiones vasculares, forma el *ácono pulmonar*, unidad anatomofuncional del aparato respiratorio.

El pulmón recibe sangre de dos orígenes, sangre oxigenada de la arteria bronquial, que nutre y lleva oxígeno a los pulmones, y sangre carboxigenada a través de la arteria pulmonar, la cual cumplirá la función de la hematosis.

La arteria pulmonar sufre similares divisiones que los bronquios a partir de las finas divisiones bronquiales, y al llegar a los alvéolos, se capilariza alrededor de éstos. Los capilares confluyen luego entre sí y dan lugar a los capilares venosos, los que al fusionarse originan las venas lobulillares. De la unión de éstas surgen las venas pulmonares, que desembocan en la aurícula izquierda transportando sangre oxigenada.

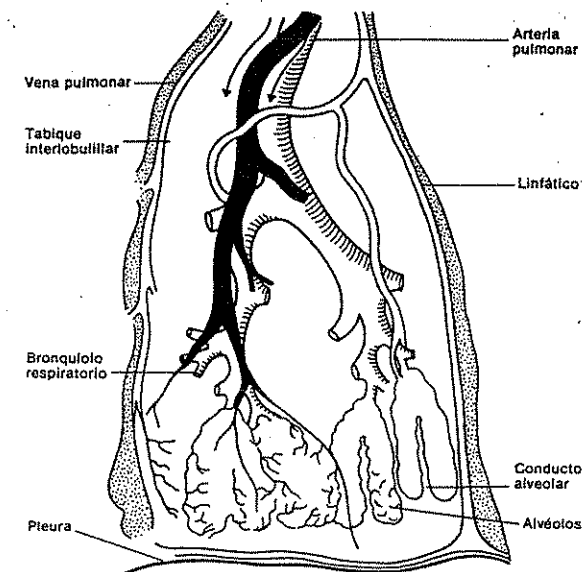


Fig. 4-4. Histología pulmonar.

Se aprecia entonces que el aire nunca está en contacto con la sangre; llega hasta el interior de los alvéolos y los intercambios gaseosos ocurren a través de dos membranas, la alveolar y la capilar, que se denomina alveolocapilar.

MECANICA RESPIRATORIA

Para que pueda cumplir su función de hematosis, el aire contenido dentro de los pulmones debe ser continuamente renovado, lo cual se logra mediante los movimientos respiratorios. Durante la inspiración los músculos respiratorios actúan sobre los diámetros torácicos, aumentándolos, y ello provoca la entrada de cierta cantidad de aire; durante la espiración, al cesar la actividad muscular, la elasticidad toracopulmonar, lleva al tórax a su posición inicial, expulsando la misma cantidad de aire que ingresó. Estos movimientos se alternan permanentemente en el curso de la vida.

La pared torácica está constituida por una estructura semirrígida y elástica, que se desplaza por la acción muscular; cuando ésta cesa, las paredes retornan a su posición inicial por su propia elasticidad.

La expansión de los pulmones durante la inspiración determina que penetre aire desde el exterior hasta los alvéolos respiratorios. La expansión pulmonar consiste fundamentalmente en el alargamiento y la dilatación de los bronquios. Los alvéolos se distienden muy poco durante la inspiración, pero son ventilados por las corrientes de difusión del aire que llega hasta ellos.

Los capilares que se encuentran alrededor de los alvéolos forman una fina red, y de esta manera el aire está separado de la sangre por la fina membrana alveolocapilar, que ofrece poca resistencia a la difusión de los gases. Se calcula que el número de capilares supera los 500 millones, y la superficie de difusión ha sido estimada entre 90 y 100 m², como consecuencia del gran plegamiento de la superficie alveolar (la superficie corporal es de 1,5 m² en el adulto).

Inspiración

Durante la inspiración el aire penetra en los pulmones a causa del aumento de volumen que experimenta la caja torácica. Al ser un fenómeno activo, los pulmones se distienden, disminuye la presión en su interior y el aire se dirige desde la atmósfera hacia ellos porque su presión es superior.

El principal músculo inspirador es el diafragma, y su sola acción basta para mantener una respiración normal en reposo. Tiene una aponeurosis central en forma de cúpula, llamada centro frénico, en cuya periferia se insertan fibras musculares, que desde allí y en forma radiada se van a fijar en los huesos de la caja torácica. Las fibras posteriores lo hacen en la columna vertebral dorsal y lumbar; las laterales y anteriores terminan en la cara interna de las seis últimas costillas y en el apéndice xifoides del esternón. La contracción de las fibras musculares diafragmáticas hace descender el centro frénico y de ese modo aumenta el diámetro longitudinal del tórax. Este descenso del centro frénico es de alrededor de 1 cm en reposo y puede llegar a 3 cm durante la hiperpnea del ejercicio. Al mismo tiempo, al traccionar las últimas costillas y a causa de que las dos inserciones son móviles, las elevan y con ello aumenta el diámetro trasverso del tórax. Esto provoca la elevación de las últimas costillas que, como tienen su articulación en la columna vertebral, al elevarse determinan que el esternón sea llevado hacia adelante, lo cual aumenta el diámetro anteroposterior. Es decir que el diafragma aumenta los tres diámetros torácicos.

La fijación de las últimas costillas se obtiene en parte por la acción de las vísceras abdominales, que impiden un movimiento de aproximación de éstas al contraerse las fibras diafragmáticas. El diafragma rechaza en su descenso a las vísceras abdominales, pero se le opone una resistencia que progresivamente aumenta por el tono de los músculos del abdomen.

Otros músculos que pueden actuar como inspiradores son los intercostales, que se insertan en el borde inferior de la costilla superior y en el borde superior de la costilla inferior. Su acción es la de acercar las costillas entre sí, y al efectuar este movimiento pueden

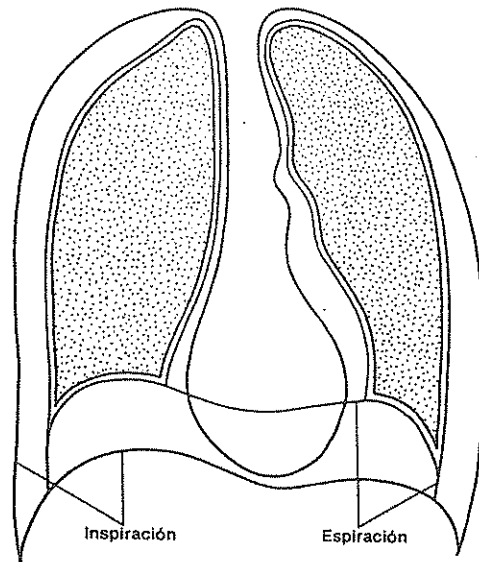


Fig. 4-5. Acción diafragmática durante la inspiración y la espiración.

ser tanto inspiradores como espiradores. Si por acción de los músculos del cuello se fijan las costillas superiores, la contracción de los músculos intercostales eleva toda la parrilla costal y, en consecuencia, se amplían los diámetros trasverso y anteroposterior del tórax.

Estos mismos músculos, variando el punto fijo de inserción en la parte inferior del tórax, por acción de los músculos abdominales, se convierten en espiradores, pues al estar fija la parte inferior de la parrilla costal, los intercostales bajan las costillas superiores al contraerse y disminuyen los diámetros trasverso y anteroposterior del tórax.

Espiración

Cuando termina la acción de los músculos inspiradores ocurre la espiración, que normalmente en reposo es pasiva, sin intervención de ningún músculo. Se produce por: a) la elasticidad toracopulmonar, que tiende a reducir los diámetros, hasta alcanzar su propio volumen de reposo; b) la retracción de los pulmones; c) la presión de las vísceras abdominales que ayuda a elevar el diafragma.

No obstante puede haber espiración activa, por acción muscular, en caso de ser forzada, como cuando se tose o se emite la voz. Los principales motores de la espiración forzada son los músculos abdominales (recto anterior, trasverso y oblicuos menor y mayor), que al contraerse en forma conjunta aumentan la presión intraabdominal, lo cual hace elevar el diafragma y disminuir el diámetro longitudinal del tórax. Estos mismos músculos, actuando en forma conjunta con los intercostales, disminuyen los diámetros trasverso y anteroposterior del tórax.

DESARROLLO DEL APARATO RESPIRATORIO

Durante la vida intrauterina los pulmones se hallan colapsados y los bronquios y alvéolos están cerrados; los pulmones llenan la caja torácica y su volumen es idéntico al de ésta, de manera que la cavidad pleural no tiene presión negativa.

A partir del nacimiento comienza la respiración pulmonar y los movimientos respiratorios provocan la expansión del tórax y con ello la distensión pulmonar y la apertura de la tráquea, bronquios y alvéolos.

En esta etapa de la vida el tórax es pequeño; en la inspiración, la presión pleural es negativa y se iguala a la atmosférica durante la espiración; las costillas son prácticamente horizontales y por esa causa la respiración es exclusivamente diafragmática. Cuando progresa el crecimiento aumenta la capacidad torácica y se produce la inclinación de las costillas, el esternón desciende y el tórax se ensancha lateralmente, sobre todo a nivel de la base. Este rápido desarrollo del tórax trae como consecuencia que la presión pleural se negativice también durante la espiración, y la oblicuidad costal hace que las costillas participen en la expansión torácica.

La respiración del hombre es fundamentalmente abdominal, lo cual significa que la acción del diafragma predomina sobre la intercostal. En la mujer predomina la respiración costal, pero la participación de los distintos músculos que intervienen en la respiración varía con los individuos, incluso en una misma persona, de acuerdo con las circunstancias, tanto fisiológicas como patológicas.

ESPACIO MUERTO

El espacio muerto está constituido por los conductos aéreos donde no se realiza la hematosis, es decir, las fosas nasales, faringe, laringe, tráquea y bronquios, hasta llegar a los bronquiolos respiratorios, donde por su comunicación con los alvéolos comienza a efectuarse ese proceso. El espacio muerto tiene una capacidad media de 150 ml, es decir que de

los 500 ml de aire que entran en cada inspiración, solo 350 ml se mezclan con el aire alveolar, que es el que realmente interviene en la hematosis.

El aire del espacio muerto, de composición similar al aire atmosférico, es el último en entrar durante la inspiración y el primero en salir durante la espiración.

AIRE RESPIRADO

Normalmente se respira aire atmosférico, que es una mezcla de gases: nitrógeno 79%, oxígeno 20,95% y dióxido de carbono 0,04%; además contiene en proporciones ínfimas gases raros como neón, argón, xenón y helio.

En la inspiración en reposo penetran en el aparato respiratorio alrededor de 500 ml de aire atmosférico y sale la misma cantidad durante la espiración; esto se llama volumen o aire corriente, es decir, la cantidad de aire que normalmente entra y sale en cada inspiración y espiración.

Además, la amplitud respiratoria puede aumentar como consecuencia de la voluntad o de la actividad física, por lo que se denomina volumen de reserva inspiratorio a la cantidad de aire que en forma forzada se puede inspirar después de una inspiración normal, y que como término medio es de 2000 ml. También en forma forzada se puede espirar cierta cantidad de aire tras una espiración normal; esto se llama volumen de reserva espiratorio y corresponde a unos 1500 ml.

La suma de aire corriente, volumen de reserva inspiratoria y volumen de reserva espiratoria constituye la capacidad vital, que se mide con el espirómetro y que es la cantidad de aire que se puede espirar en forma forzada, después de una inspiración también forzada. Su volumen oscila entre 3500 y 6000 ml.

Una vez expulsado en forma forzada todo el aire posible de los pulmones, queda aún en ellos un volumen residual, que sumado a la capacidad vital nos da la capacidad total respiratoria, la cual mide el mayor volumen que pueden alcanzar los pulmones y el tórax.

La capacidad funcional respiratoria es la suma del volumen de reserva espiratorio y del volumen residual, y es con esta cantidad de aire que se realiza la hematosis.

Además, la función respiratoria se puede estudiar desde un punto de vista dinámico, a través de la máxima ventilación voluntaria, el volumen espiratorio máximo por segundo y la ventilación alveolar.

La máxima ventilación voluntaria (MVV) es la mayor cantidad de aire que puede ventilarse voluntariamente en un minuto, y en condiciones normales varía entre 120 y 170 litros por minuto.

El volumen espiratorio máximo por segundo (VEMS) es la máxima cantidad de aire que se puede eliminar en los primeros segundos de una espiración forzada, a partir de una inspiración máxima. Se hace inspirar profundamente, se realiza una pequeña apnea, luego se hace espirar lo más rápido posible en un espirómetro y se mide la cantidad espirada al segundo y a los tres segundos, y se la relaciona con la capacidad vital del individuo. Normalmente se debe eliminar el 75% al segundo y el 95% a los tres segundos.

El volumen alveolar es de gran importancia en la función respiratoria. Se lo puede calcular conociendo el volumen corriente, el volumen del espacio muerto y la frecuencia respiratoria. Por ejemplo, si el VC es de 500 ml y el VEM es de 150 ml, en cada respiración llegan a los alvéolos $500 - 150 = 350$ ml, y si la frecuencia respiratoria es de 14 respiraciones por minuto, la ventilación alveolar por minuto es de $350 \times 14 = 4900$ ml.

Este volumen alveolar representa un equilibrio dinámico entre la absorción del oxígeno necesario para las combustiones orgánicas y la eliminación del dióxido de carbono formado en los tejidos. Es así como habrá hipoventilación cuando la ventilación pulmonar es insuficiente de acuerdo con las necesidades de oxígeno, y habrá hiperventilación cuando la renovación del aire alveolar supera las necesidades orgánicas, con excesiva eliminación de CO_2 y la consecuente alcalosis respiratoria.

AIRE ALVEOLAR

Con este término se identifica al aire que permanece en contacto con los alvéolos respiratorios y con el cual se realizan los intercambios gaseosos con la sangre durante la hematosis.

Tiene una composición diferente de la del aire atmosférico: nitrógeno 80%, dióxido de carbono 5,5% y oxígeno 14,5%. Esta composición permanece relativamente constante, con pequeñas variaciones durante la inspiración y la espiración. Esta relativa constancia equilibra el intercambio gaseoso y evita grandes fluctuaciones en la absorción de O_2 y en la eliminación de CO_2 , lo cual traería aparejado variaciones en la composición gaseosa de la sangre. La composición del aire alveolar permite que la sangre abandone los pulmones saturada con un 98% de su capacidad de absorción de oxígeno y habiendo perdido un volumen de CO_2 igual al que había ganado en los capilares de los tejidos.

El aire espirado es el que se elimina durante la espiración; es una mezcla de aire atmosférico del espacio muerto y de aire alveolar, y tiene una composición variable según las fluctuaciones del aire alveolar y la renovación del aire atmosférico.

REGULACION DE LA RESPIRACION

La respiración está gobernada por el sistema nervioso central, que actúa por medio de reflejos provocados por estímulos químicos o mecánicos.

Los centros respiratorios, ubicados en el bulbo raquídeo y en la protuberancia anular, actúan sobre las motoneuronas medulares de las regiones cervical y dorsal, las que también reciben estimulación periférica (excitadora o inhibitoria) proveniente de distintas partes del organismo. Todo ello produce el ritmo respiratorio.

Estimulación química

Los quimiorreceptores están situados en la cara ventral del bulbo raquídeo (centro respiratorio) y en los corpúsculos aórtico y carotídeo (periféricos), y son estimulados por las variaciones de la concentración del CO_2 , el O_2 y el pH sanguíneos.

La presión del CO_2 (pCO_2) de la sangre arterial es de alrededor de 40 mm Hg y ello produce la estimulación necesaria para mantener un ritmo respiratorio normal; cualquier variación en la pCO_2 causará variaciones en el ritmo respiratorio. Los quimiorreceptores periféricos son sensibles a la disminución de la presión de oxígeno (pO_2) de la sangre arterial y actúan estimulando al centro respiratorio bulbar. Esta disminución de la pO_2 es de fundamental importancia en el aumento de la ventilación pulmonar que se observa en la altura, donde el tenor del oxígeno atmosférico es bajo.

Los centros respiratorios también son sensibles a las variaciones del pH: cuando éste disminuye, como ocurre durante el trabajo físico intenso, el exceso de ácido láctico sanguíneo provoca acidosis que estimula a los centros respiratorios, y el resultado es un aumento de la frecuencia y de la amplitud respiratoria; en cambio, un aumento del pH (alcalosis) determina una disminución de la amplitud y de la frecuencia respiratoria.

Estimulación mecánica

La estimulación refleja tiene lugar a través de estímulos excitadores o inhibidores originados en diferentes partes del organismo. Proviene de los nervios de los corpúsculos aórtico y carotídeo, el vago y fibras aferentes de los propioceptores de los músculos, tendones y articulaciones, y además, de receptores ubicados en la mucosa de las vías aéreas.

Las variaciones de la presión arterial actúan sobre los corpúsculos aórtico y carotídeo. Cuando aquélla desciende se estimula la frecuencia respiratoria y lo contrario sucede cuando la presión arterial se eleva.

Otro elemento que actúa en la estimulación mecánica es el reflejo de Hering y Breuer, reflejo de estiramiento provocado por la entrada de aire en los pulmones, que excita a los receptores del estiramiento ubicados en los bronquiolos terminales, y éstos, por vía refleja, suprimen la inspiración y comienza la espiración, la que por vía refleja y a través del centro respiratorio estimula una nueva inspiración.

También actúan sobre la respiración los reflejos protectores. Es así como la estimulación de los nervios cutáneos que transmiten sensaciones dolorosas o térmicas actúan sobre el sistema nervioso central y éste sobre los centros respiratorios produciendo impulsos nerviosos que modifican la ventilación pulmonar. El dolor, por ejemplo, origina una fuerte inspiración seguida de un aumento de la frecuencia; las variaciones de la temperatura exterior también ocasionan modificaciones en el ritmo respiratorio.

El canto, la tos y el esfuerzo para defecar dan lugar a la maniobra de Valsalva, que es una inspiración seguida de un esfuerzo espiratorio con la glotis cerrada, lo cual determina una inhibición de la inspiración.

Centros respiratorios

Están constituidos por neuronas especializadas y comandan la función respiratoria. Son ellos:

✓ El centro inspiratorio, ubicado en el techo del cuarto ventrículo del bulbo raquídeo, cercano al origen del neumogástrico.

✓ El centro espiratorio, que se encuentra en la formación reticular del bulbo, cercano al anterior.

→ El centro apnéusico, localizado en la región mediana y caudal de la protuberancia, que actúa cuando no lo hacen los anteriores y provoca movimientos inspiratorios de tipo convulsivo con largas espiraciones.

El centro neumotáxico, situado en la parte dorsolateral de la protuberancia y que al actuar sobre los centros inspiratorio y espiratorio origina inspiraciones y espiraciones amplias pero de baja frecuencia.

Las neuronas de los dos primeros establecen sinapsis con las motoneuronas medulares espinales que inervan los músculos respiratorios.

Todavía no se conoce con exactitud cómo actúan estos centros, pero se piensa que lo hacen de la siguiente manera:

1) El centro apnéusico excita al centro inspiratorio y es periódicamente inhibido por el centro neumotáxico. Esta inhibición es el resultado del estiramiento bronquial (reflejo de Hering y Breuer) y de la excitación del centro espiratorio; tal interacción determina el ritmo respiratorio.

2) Cuando se produce la inspiración el centro inspiratorio inhibe al espiratorio y lo contrario ocurre durante la espiración.

3) El centro inspiratorio produce la estimulación de las motoneuronas medulares y bulbares, que estimula la contracción de los músculos inspiratorios.

4) La espiración es pasiva, y cuando cesa la acción inhibitoria del centro neumotáxico y de los receptores bronquiales al estiramiento, el ciclo recommienza con una nueva estimulación del centro inspiratorio.

Además, en condiciones especiales (tos, fonación, etc.) el centro espiratorio estimula a las motoneuronas correspondientes de los músculos espiratorios.

REGULACION DE LA RESPIRACION DURANTE LA ACTIVIDAD FISICA

Se ha visto que cuando se coloca un torniquete que impide la llegada de la sangre desde los miembros inferiores y se hace efectuar a éstos una actividad física, se provoca un incre-

mento de la frecuencia y de la amplitud respiratorias, aun con movilización pasiva; el torniquete impide el retorno venoso y se produce la llegada de los metabolitos formados por la contracción muscular (CO_2 , ácido láctico). Esto lleva a pensar que el aumento de la ventilación pulmonar ocurre por la estimulación de los receptores musculares, tendinosos y articulares. La estimulación de estos propioceptores activa a los centros respiratorios y tiene lugar un aumento de la ventilación pulmonar; además, la estimulación química causada por el aumento de la pCO_2 y la disminución de la pO_2 y del pH sanguíneos también excita a esos centros, y todo ello determina la llamada "hiperpnea del trabajo físico".

FRECUENCIA Y AMPLITUD RESPIRATORIAS

Se denomina frecuencia respiratoria al número de veces por minuto que se realizan los movimientos respiratorios. Esta cifra, directamente relacionada con la energía necesaria (metabolismo), es muy variable y se modifica con la edad, el sexo, el tamaño corporal, el período digestivo, el estado emocional y, en forma patológica, en distintas enfermedades.

Los valores normales de un adulto en reposo oscilan entre 14 y 18 respiraciones por minuto, y es lo que se denomina *eupnea*.

El aumento de la frecuencia respiratoria por encima de los valores normales de reposo recibe el nombre de *taquipnea* o *polipnea*, y la disminución por debajo de esos valores se llama *bradipnea*. La falta de movimientos respiratorios, o *apnea*, puede ser voluntaria o patológica, pero como nuestro organismo carece de reservas de oxígeno, la apnea es causa de muerte si se prolonga un tiempo.

La amplitud respiratoria es el volumen de aire que penetra en el aparato respiratorio durante la inspiración. Normalmente es de 500 ml durante la inspiración y la espiración de reposo, y cuando aumenta, se denomina *hiperpnea*.

La dificultad respiratoria o *disnea* puede ser inspiratoria o espiratoria, o bien total cuando comprende a las dos fases de la respiración.

Durante la actividad física intensa a veces se puede llegar a una taquipnea de 50 respiraciones por minuto; por encima de este valor la respiración se torna difícil, con sensación de disnea, tanto inspiratoria como espiratoria.

El volumen minuto respiratorio (VMR) es la cantidad de aire que entra y sale del aparato respiratorio por minuto, y es el producto de la frecuencia respiratoria por el volumen corriente. En reposo llega a unos 9000 ml por minuto.

$$\text{FR} \times \text{VC} = \text{VMR}$$

$$18 \times 500 = 9000 \text{ ml}$$

En un atleta entrenado, el VMR aumenta extraordinariamente durante las actividades exhaustivas, pues se elevan tanto la frecuencia como el volumen corriente, por la taquipnea y la hiperpnea, y alcanza a cifras tan altas como 150.000 ml:

$$\text{FR} \times \text{VC} = \text{VMR}$$

$$50 \times 3000 = 150.000 \text{ ml}$$

Como se observa, la ventilación pulmonar aumenta tanto a expensas de la frecuencia respiratoria como de la amplitud pulmonar, pero ésta es la más importante pues permite la utilización de mayor cantidad de aire y, por ende, de una proporción más elevada de oxígeno durante el ejercicio para mantener un mayor metabolismo aeróbico, necesario para recomponer mayor cantidad de ATP. Esta es la causa por la cual el atleta entrenado puede realizar actividades intensas durante mucho más tiempo que una persona no entrenada.

HEMATOSIS

Se denomina hematosi al intercambio de gases entre el aire alveolar y la sangre a través de la membrana alveolocapilar en los pulmones.

Como los intercambios se producen por difusión de los gases a través de la membrana, que es permeable, son de importancia las presiones parciales de cada gas a ambos lados de esa membrana.

Presiones parciales de los gases respiratorios y del vapor de agua, en reposo, valores aproximados

	O ₂	CO ₂	N	H ₂ O
Aire inspirado	159,1	0,2	600	57
Aire alveolar	100	40	566	47
Sangre arterial	100	40	566	47
Sangre venosa	40	46	566	47
Tejidos	30	50	566	47

La ley de Dalton establece que cuando hay una mezcla de gases que se difunden a través de una membrana permeable, la difusión se efectúa de acuerdo con las diferencias de presión parcial de cada gas.

La ley de Henry expresa que la concentración de las moléculas gaseosas disueltas en un líquido es proporcional a la presión del gas en contacto con ese líquido, concentración que depende de la solubilidad del gas en el líquido y de la temperatura de ambos.

Al disolverse un gas en un líquido, las moléculas de gas se dispersan en todas direcciones hasta establecer un equilibrio; si aumenta la presión del gas, se disolverán otras moléculas hasta alcanzar un nuevo equilibrio; por el contrario, si la presión disminuye, parte de las moléculas abandonarán el líquido hasta llegar a un nuevo estado de equilibrio.

La difusión de los gases a través de la membrana alveolocapilar depende de la diferencia de la presión parcial de cada gas a ambos lados de la membrana (gradiente de difusión), de la extensión de la superficie de difusión y del espesor de la membrana que separa el aire alveolar de la sangre.

El gradiente de difusión de una mezcla gaseosa depende de la presión parcial de cada gas a ambos lados de la membrana, o sea que es un gradiente provocado por diferencias de concentración. En los pulmones este gradiente de difusión es grande, lo cual permite que los gases se difundan rápidamente y la presión a ambos lados de la membrana se equilibre también con rapidez.

La superficie de la membrana alveolocapilar es de alrededor de 70 a 90 m², equivalente a la mitad de una cancha de tenis, y está rodeada en su totalidad por los capilares pulmonares. Para dar una idea de esta superficie diremos que durante una actividad física intensa es recorrida en cada segundo por 500 ml de sangre (alrededor de 30 litros por minuto); esto equivale a desparramar 500 ml de sangre en una superficie igual a la mitad de una cancha de tenis, es decir que existe un gran contacto entre el aire alveolar y la sangre, y ello favorece el intercambio gaseoso.

La membrana alveolocapilar no tiene poros, de manera que las moléculas gaseosas deben disolverse en el agua de sus paredes para atravesarla. Hay gases más solubles en agua que otros. Por ejemplo: el CO₂ es 20 o 30 veces más soluble que el O₂, hecho que explica que el gradiente de difusión para el primero sea solo de 6 mm Hg y para el segundo de 60 mm Hg (para el CO₂, la presión parcial es de 40 mm Hg en el aire alveolar y de 46 en la sangre venosa; en cambio, para el oxígeno es de 100 mm Hg en el aire alveolar y de 40 mm Hg en la sangre venosa).

Con respecto al espesor de la membrana, cuanto más fina sea, más fácil será la difusión de los gases. La hematosi se realiza a través de varias membranas de estructura elástica: la membrana alveolar, la membrana capilar y la membrana celular del glóbulo rojo.

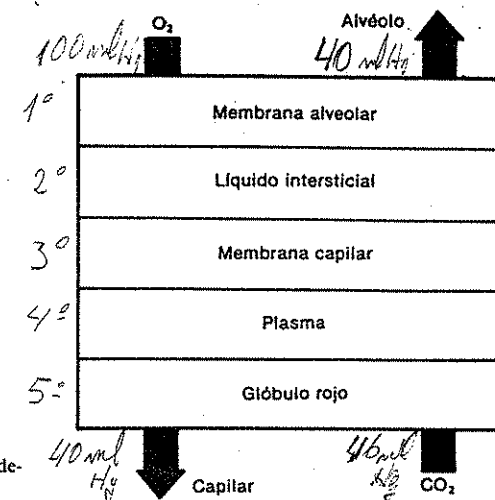


Fig. 4-6. Las distintas membranas que deben atravesar los gases respiratorios.

Los gases respiratorios efectúan intercambios entre diferentes superficies permeables por el proceso de difusión.

Una característica de los gases es la de presentar un movimiento continuo, expandirse y ocupar todo el espacio disponible; de ahí que se difunden desde donde están más concentrados hacia donde están menos concentrados, a fin de establecer un equilibrio. Si en ese movimiento encuentran una membrana permeable, interpuesta en su camino, ejercerán una presión contra sus paredes; la presión que soporta un gas es entonces la fuerza que determina su difusión en el lugar donde está contenido.

Conociendo la presión atmosférica y la concentración de cada gas que compone la atmósfera, podemos saber qué presión tiene cada uno.

En el aire atmosférico la concentración de oxígeno es de 20,95%. Si la presión atmosférica es de 760 mm Hg, la presión parcial de oxígeno será de: $\frac{20,95 \times 760}{100} = 159,2$ mm Hg; para el nitrógeno, que está en una proporción del 79%, su presión será de: $\frac{79 \times 760}{100} = 600,4$ mm Hg, y para el CO₂, cuya concentración es de 0,04, será de: $\frac{0,04 \times 760}{100} = 0,3$ mm Hg.

Como en el aire alveolar la concentración de los gases es diferente, también lo será su presión parcial. Teniendo en cuenta que la presión del oxígeno en el aire alveolar es de 713

mm Hg y su concentración de 14,5%, su presión parcial será: $\frac{14,5 \times 713}{100} = 103,3$ mm Hg;

el CO₂ tiene una concentración de 5,5% y su presión parcial será de: $\frac{5,5 \times 713}{100} = 39,2$

mm Hg; el nitrógeno tiene una concentración de 79,02 y su presión será de: $\frac{79 \times 713}{100} = 563$ mm Hg. Para facilitar el cálculo consideramos la pO₂ = 100 mm Hg y la

pCO₂ = 40 mm Hg.

Ya estamos en condiciones de considerar de nuevo la ley de Dalton: en una mezcla gaseosa cada gas ejerce una presión proporcional a su concentración en la mezcla, independientemente de la presión de los otros gases. Se aprecia entonces que la difusión de los gases depende fundamentalmente de las diferencias de presión parcial de cada gas.

Intercambio gaseoso en los pulmones. Los gases respiratorios se intercambian entre el aire alveolar y la sangre por simple difusión, que obedece a la diferencia de presión parcial de cada gas. El CO_2 es el más difusible, por ser más soluble en agua; esto hace que la diferencia de presión para el CO_2 sea mucho menor que para el O_2 .

La presión de O_2 en el aire alveolar es de 100 mm Hg y en la sangre venosa que trae la arteria pulmonar es de alrededor de 40 mm Hg; por lo tanto, el gradiente de difusión del oxígeno es de 60 mm Hg, lo cual permite un rápido pasaje de éste a través de la membrana alveolocapilar, después de lo cual se disuelve en el plasma y penetra en el glóbulo rojo combinándose con la hemoglobina y estableciéndose un equilibrio tensional entre el aire alveolar y la sangre, es decir, que cuando ésta llega por las venas pulmonares al corazón izquierdo y de allí es enviada a los tejidos, tiene una presión parcial de O_2 de 97 mm Hg, muy cercana a los 100 mm Hg del aire alveolar.

La presión del dióxido de carbono en la sangre venosa es de 45 a 46 mm Hg y en el aire alveolar de 40 mm Hg; por ende, el gradiente de difusión es de 5 a 6 mm Hg y pasa rápidamente desde la sangre venosa al aire alveolar; en la sangre arterial la presión parcial de CO_2 es de 40 mm Hg, igual a la del aire alveolar.

Intercambios gaseosos en los tejidos. Cuando la sangre arterial llega a los tejidos la presión parcial de O_2 es de 97 mm Hg y la de CO_2 de 40 mm Hg. En los tejidos la presión parcial de O_2 es de 40 mm Hg y entonces se difunde hacia ellos por un gradiente de difusión de 57 mm Hg, lo cual permite un rápido pasaje; la sangre venosa que abandona los tejidos posee una $p\text{O}_2$ de 40 mm Hg.

La $p\text{CO}_2$ de la sangre arterial, como vimos, es de 40 mm Hg, y de 45 a 46 mm Hg en los tejidos. Luego, el gradiente de difusión para el CO_2 es de 4 o 5 mm Hg, de modo que la sangre venosa que sale de los tejidos tendrá una $p\text{CO}_2$ de 45 o 46 mm Hg, presión con la cual llega a los pulmones y se reanuda el ciclo, cargándose de oxígeno y desprendiéndose del dióxido de carbono, para hacer lo contrario en los tejidos.

Trasporte de los gases en la sangre. El transporte de los gases en la sangre se efectúa de dos maneras, disueltos en el plasma y combinados con los glóbulos rojos; la segunda es cuantitativamente la más importante.

La cantidad de oxígeno disuelto en el plasma es proporcional a la presión de oxígeno de la sangre arterial. La cantidad combinada depende de la concentración de hemoglobina.

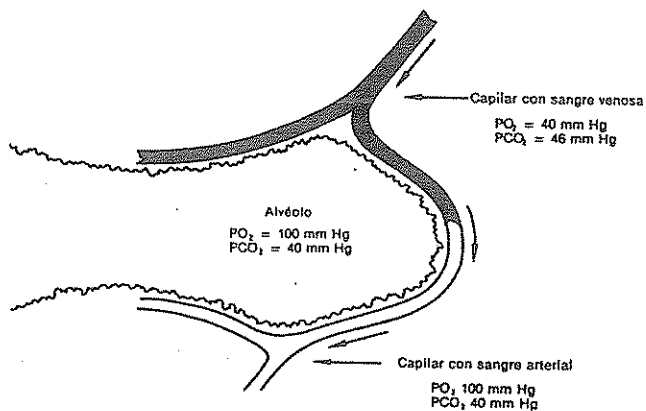


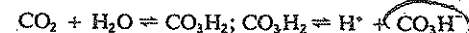
Fig. 4-7. Diferencias de presión de los gases en el alvéolo, en la arteria pulmonar (sangre carboxigenada) y en la vena pulmonar (sangre oxigenada).

en la sangre que, como término medio, es de 15 por 100 ml. Cada gramo de hemoglobina fija 1,35 ml de oxígeno; por lo tanto: $15 \times 1,35 = 20,25$, es decir, 100 ml de sangre contienen 20,25 ml de O_2 combinado con la hemoglobina. Como la saturación de la hemoglobina es del 97%, la concentración del O_2 será solo de 19,2 ml cada 100 ml de sangre arterial.

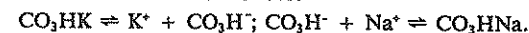
La hemoglobina es una proteína formada por globina y hem. El hem es una molécula compleja constituida por cuatro átomos de hierro, cada uno de los cuales puede combinarse con uno de oxígeno en forma de un compuesto reversible (combinación inestable) denominado oxihemoglobina (HbO_2), y como cada molécula de Hb posee cuatro átomos de Fe, puede combinarse con cuatro moléculas de O_2 .

Durante su pasaje por los tejidos la sangre arterial va perdiendo O_2 y disminuye la $p\text{O}_2$. De tal manera, al llegar al corazón derecho a través del sistema venoso presenta una $p\text{O}_2$ de 40 mm Hg, es decir, una saturación de Hb de apenas el 75%. Por consiguiente, salió de los pulmones con una saturación de Hb de 97% y regresa al corazón con una de 75%, por lo cual dejó en los tejidos un 22%; esto se denomina *diferencia arteriovenosa*. Ese 22%, en condiciones de trabajo intenso, puede llegar a un 80-90%, lo cual revela cuánto aumenta el consumo de oxígeno durante la actividad.

Con respecto al CO_2 , la sangre venosa contiene un 55%, con una presión de 45 a 46 mm Hg y se absorbe 5 a 6 mm Hg de este gas en los tejidos. Una parte se encuentra en el plasma sanguíneo y otra penetra en el glóbulo rojo y se combina con la hemoglobina. El compuesto resultante, muy inestable, se denomina carboxihemoglobina (HbCO_2). En el plasma el CO_2 se combina con el agua y forma ácido carbónico, que rápidamente se disocia de la siguiente manera:



este último, el ion bicarbonato, se combina con el ion K^+ formando bicarbonato de potasio: $\text{CO}_2\text{H}^- + \text{K}^+ = \text{CO}_2\text{HK}$, el cual luego se disocia y deja K^+ libre, en tanto que el ion bicarbonato se combina con el sodio:



Por último, en reposo, la sangre venosa llega a los capilares alveolares con una $p\text{O}_2$ de 40 mm Hg y una $p\text{CO}_2$ de 45 a 46 mm Hg, difundiendo los gases y repitiéndose el ciclo.

EFFECTOS DE LA ACTIVIDAD FISICA SOBRE EL APARATO RESPIRATORIO

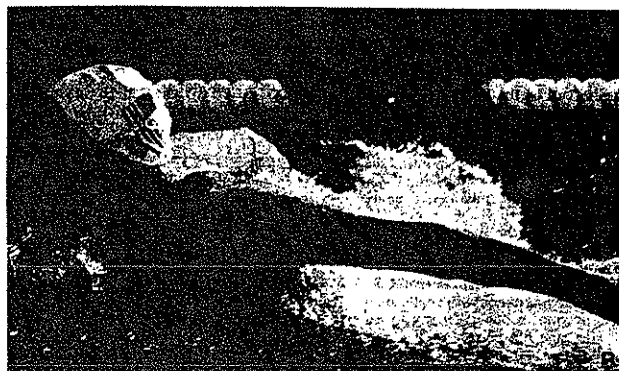
La actividad física actúa sobre el aparato respiratorio y determina un incremento en su frecuencia y amplitud (polipnea e hiperpnea); este aumento ocurre rápidamente una vez comenzada la actividad y a veces antes de iniciarla.

Los metabolitos provenientes de la contracción muscular (CO_2 , ácido láctico) tardan cierto tiempo en producirse y no son en consecuencia la única causa del incremento de la función respiratoria. Esto sugiere que los mecanismos que la aumentan durante la actividad física todavía no están suficientemente aclarados. Parecería que son varios; uno podría ser de origen nervioso, hiperventilación refleja como respuesta a la estimulación de los quimiorreceptores y a los mecanorreceptores musculares, y también una hiperventilación programada en los centros nerviosos que comandan la respiración. Ello explicaría el incremento respiratorio previo al ejercicio, incremento que se acompañaría de uno cardiovascular análogo.

Tanto la frecuencia como la amplitud respiratorias sufren variaciones para suplir la gran demanda de oxígeno durante la actividad física. Cuando la demanda queda satisfecha, el individuo se encuentra en una etapa compensatoria, denominada fase estable, durante la cual se produce un equilibrio entre la absorción y el consumo de oxígeno. Si el trabajo físico aumenta en intensidad puede llegar un momento en que las adaptaciones respiratorias no alcancen para satisfacer las necesidades, fase insuficiente del proceso que genera deuda de oxígeno y es la causa que el individuo deba realizar metabolismo anaeróbico y se produzca durante este proceso intensa disnea.



Fig. 4-8. Nadador estilo mariposa, de frente (A) y de perfil B), en fase inspiratoria.



Habitualmente, en las competencias deportivas se realiza un trabajo muscular de tipo máximo y ello determina que prevalezca el metabolismo anaeróbico, hecho que puede acarrear un rápido agotamiento. En este caso la necesidad de oxígeno supera ampliamente a la absorción y se constituye la deuda ya mencionada, que deberá saldarse durante la etapa de recuperación.

Durante el trabajo muscular se registra un incremento tanto de la frecuencia como de la amplitud respiratorias, pero prevalece esta última y es lo que se denomina *hiperpnea del trabajo físico*. El aumento del trabajo respiratorio también se acompaña de un aumento de la temperatura corporal, que el organismo trata de equilibrar con los mecanismos reguladores de la temperatura.

Durante una actividad moderada la ventilación pulmonar aumenta en forma progresiva con relación al consumo de oxígeno y además el trabajo respiratorio implica cierto consumo de oxígeno dado por la actividad de los músculos respiratorios, que es bajo cuando el ritmo respiratorio también lo es. Por ejemplo, hasta una ventilación pulmonar de 30 litros por minuto, la respiración se mantiene solo por la acción de los músculos inspiradores y la espiración es pasiva por la elasticidad toracopulmonar; a medida que aumenta el ritmo respiratorio, nuevos músculos entran en acción, la espiración se vuelve activa, y cuando se llega a los 100 litros por minuto, actúan todos los músculos accesorios de la respiración. De tal manera aumenta el consumo de oxígeno por parte de éstos, hasta el punto de que no hay

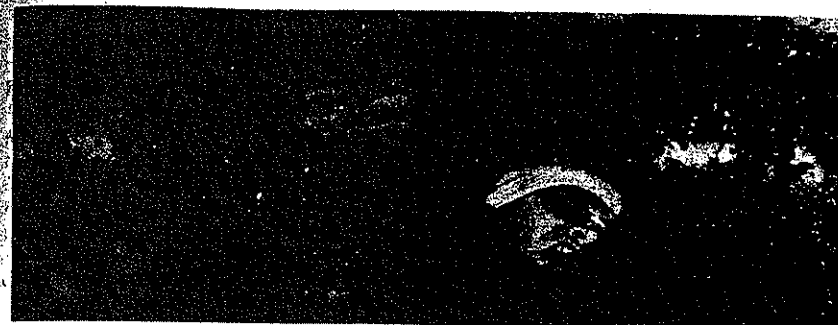


Fig. 4-9. Nadador estilo crawl. El ritmo respiratorio coincide con las brazadas.



Fig. 4-10. Nadador estilo espalda. La respiración es más sencilla por estar la cabeza con la boca fuera del agua.

más oxígeno disponible para el resto del organismo. Este límite ventilatorio es de alrededor de 120 a 150 litros por minuto para atletas jóvenes bien entrenados, de allí en más, cualquier aumento será consumido por los músculos respiratorios y no es útil al organismo.

Según lo visto, el máximo trabajo aeróbico desarrollado nunca provoca altos niveles de ventilación pulmonar; además, la absorción de oxígeno se ve limitada por la circulación sanguínea, es decir, por el tiempo en que los glóbulos rojos permanecen en contacto con la membrana alveolocapilar para efectuar la hematosis.

Cuando el consumo de oxígeno provocado por la actividad supera a la absorción, se entra en trabajo anaeróbico. La ventilación pulmonar aumenta rápidamente, como si los centros respiratorios originaran nuevos estímulos a la respiración, y a su vez estos centros serían estimulados por la disminución del pH sanguíneo y por reflejos con punto de partida muscular; por otra parte, como consecuencia de la hipoxia de los tejidos, comienzan a actuar los quimiorreceptores (corpúsculos carotídeo y aórtico) en forma similar a como lo hacen en la actividad en la altura.

RESPUESTA RESPIRATORIA AL ENTRENAMIENTO

Por el entrenamiento deportivo se producen modificaciones en el funcionamiento del aparato respiratorio, como aumento de la expansión torácica, que conlleva el de la amplitud respiratoria, así como un incremento de la frecuencia de la respiración.

En determinadas actividades deportivas se efectúa la maniobra de Valsalva, por la cual, después de varias inspiraciones y espiraciones profundas, se hace una inspiración profunda, se bloquea la glotis y se realiza un esfuerzo espiratorio; de esa manera se ofrece un buen punto de apoyo para los músculos del tronco y de los miembros superiores. Esto se observa en levantadores de pesas, lanzadores y saltadores; una vez terminada la actividad, se espira fuertemente, en forma explosiva.

En el remo, el ritmo respiratorio es afectado por la cadencia de las remadas y se aprovecha el tórax fijo, fundamentalmente en espiración, como punto de apoyo de los miembros superiores.

En las carreras cortas, de velocidad, por ejemplo 100 metros llanos, se efectúa la maniobra de Valsalva bloqueando el tórax desde la partida. Por lo común, la espiración solo se realiza después de la llegada.

En las carreras de medio fondo y de fondo se adapta el ritmo respiratorio a los movimientos; de acuerdo con las necesidades del atleta, se hacen movimientos respiratorios cada dos o tres pasos, procurando la economía de esfuerzos y una buena absorción de oxígeno.

En la natación, en procura de un mejor rendimiento mecánico, la cabeza del nadador debe permanecer sumergida la mayor parte del tiempo, y es por ello que la frecuencia respiratoria debe adaptarse a la frecuencia de las brazadas. Esta limitación en el nadador es compensada con un aumento en la amplitud respiratoria.

En los gimnastas se aprecia una armonía entre los movimientos musculares y los respiratorios.

SEGUNDO ALIENTO

También llamado cambio de aire, no es solo un ajuste respiratorio que puede ocurrir en las actividades submáximas o máximas, pero como el síntoma predominante es respiratorio, se lo tratará en este capítulo.

Son adaptaciones fisiológicas que pueden suceder en cualquier momento de un trabajo intenso; en el comienzo de estas adaptaciones el individuo siente ciertas sensaciones progresivas de incomodidad, hasta que de repente disminuyen de intensidad y se pasa a cierto estado de bienestar.

Estas sensaciones de incomodidad son de diverso tipo: mareos, respiración rápida e irregular, taquicardia arritmica, opresión torácica, pulsaciones en el cráneo, fatiga y dolor muscular, sobre todo en los miembros inferiores; sin embargo el síntoma predominante es la disnea o sensación de falta de aire.

Si el individuo resiste este mal momento y continúa la actividad, comienza a sentirse mejor, el aparato respiratorio y el circulatorio empiezan a trabajar más regularmente, aparece una traspiración profusa que regula la temperatura y ello determina un alivio. Se produce una mejor adaptación, con mejor irrigación sanguínea, mejora la contracción muscular, con una eficiente eliminación de los productos catabólicos de la combustión celular, y también mejora el equilibrio ácido-base del organismo.

El frío retarda y el calor favorece la aparición del segundo aliento. No obstante, esto es totalmente individual; hay atletas que no lo presentan nunca, y otros que lo esperan para un mejor rendimiento.

No se conocen con exactitud las causas que provocan los malestares previos ni las que determinan alivio posterior, pero se cree que los primeros se deben a un reflejo originado por el intenso estímulo de los centros respiratorios por la acumulación de los metabolitos celulares en los músculos activos y en la sangre, como consecuencia del incompleto transporte de oxígeno. El alivio posterior podría deberse a una mejoría del transporte por el incremento del volumen minuto respiratorio y del volumen minuto cardíaco y la vasodilatación activa muscular.

Durante las actividades rápidas e intensas, como la carrera, suele experimentarse dolor en la zona de los hipocondrios, derecho e izquierdo; por su localización se lo llama dolor en el bazo o en los flancos. Se observa más frecuentemente en individuos poco entrenados o con entrenamiento inadecuado. Se desconoce la causa exacta de estos dolores, pero podrían deberse a congestión visceral por trastornos vasomotores, falta de oxígeno en el músculo diafragma (hipoxia) o respiración defectuosa.

BIBLIOGRAFIA

- Asmusen, E.: Exercise and regulation of ventilation. *Circulation* 20:1-132, 1967.
- Asmusen, E. y Nielsen, M.: Physiological dead space and alveolar gas pressure at rest and during muscular exercise. *Acta Physiol. Scand.* 38:1, 1956.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Astrand, P. O. y Saltin, B.: Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercises. *J. Appl. Physiology*. 16:971, 1960.
- Comroe, J. H. (Jr.): *Physiology of respiration*. Year Book Medical Publisher Inc. Chicago, 1965.
- Comroe, J. H. (Jr.): The lung. *Sci. Amer.* 214-56, 1966.
- Craig, F. N.: Oxygen uptake at the beginning of work. *J. Appl. Physiol.* 33:611, 1972.
- Dejours, P.: *Principles of comparative respiratory physiology*. American Elsevier Publ. Company. New York, 1975.
- Delofoe, V.; Marenzi, A. D. y Stoppani, A. D. M.: *Química biológica*, 9a. ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1967.
- Eklblom, B.: Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol. Scand.*, 1969.
- Fenn, W. O. y Rahn, H. (eds.): *Handbook of Physiology*. Secc. 3, Respiration. American Physiological Society. Washington D.C., 1964.
- Flandrois, R.; Lefrançoise, R. y Teilac, A.: Comparaison de plusieurs grandeur ventilatoires dans deux types d'exercice musculaire. *Biotipologie*. 22:66, 1961.
- Fortes, R. E. y Crandell, E. D.: Pulmonary gass exchange. *Ann. Rev. Physiol.* 38:69, 1976.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
- Fox, E. L. y Costill, D. L.: Estimate cardiorrespiratory responses during marathon running. *Archives of Environmental Health*, 1972.
- Holmer, I.: Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, 1974.
- Keidel, W. D.: *Fisiología*. Salvat Editores. Barcelona, 1971.

- Mathevs, D. y Fox, E. L.: *The physiological basis of physical education and athletics*, 2a. ed. W. B. Saunders Company. Filadelfia, 1976.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Morehouse, L. E.: *Laboratory manual for physiology of exercise*. C. V. Mosby Co. St. Louis, 1972.
- Mountcastle, V. B.: *Fisiología Médica*. C.V. Mosby Company. St. Louis, 1977.
- Nager, G. G.: Regulation of respiration. *Ann. N. Y. Acad.*, 1963.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieri, C.: *Evaluación y entrenamiento*. La-bemorf, 1985.
- Niemeyer, H.: *Bioquímica general*. Universidad de Chile. Imprenta Universitaria. Santiago, 1962.
- Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y entrenamiento*. Ed. Kapelusz. Buenos Aires, 1980.
- Pini, C. M.: *Fisiología deportiva*. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Reuschlein, P.; Reddan, W.; Burpee, J.; Gee, J. y Rankin, J.: Effect of physical training on the pulmonary diffusing capacity submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, 1968.
- Saltin, B. y Astrand, P. O.: Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*. 23-353, 1967.
- Venerando, A. y Lubich, T.: *Medicina dello sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.
- Weibel, E. R.: Morphological basis of alveolar capillary gas exchange. *Physiol. Abv.* 53-419, 1972.
- West, J. B.: *Respiratory physiology — the essentials*. The Williams & Wilkins Company. Baltimore, 1974.

MEDIO INTERNO | 5

Todos los organismos viven rodeados por un medio externo, que puede ser gaseoso o líquido, pero sus células constitutivas se encuentran rodeadas por un medio líquido, denominado medio interno. Con este medio interno las células hacen un permanente intercambio de sustancias: en él toman los nutrientes y el oxígeno y allí depositan sus desechos.

Los líquidos orgánicos ocupan uno de dos espacios, el intracelular o el extracelular. El medio interno está constituido por el líquido extracelular, que a su vez se divide en intercelular (el que rodea a las células) e intravascular (el que se encuentra dentro de los vasos sanguíneos y linfáticos).

El líquido intercelular o intersticial, también llamado plasma intercelular, linfa o líquido lacunar, baña a las células y circula muy lentamente. Este líquido es recogido por los vasos linfáticos y finalmente por los vasos sanguíneos, donde se mezcla con la sangre.

En el organismo también existen otros líquidos en diversos lugares específicos, como el líquido cefalorraquídeo del sistema nervioso central, el humor acuoso del ojo y el líquido sinovial de las articulaciones.

El medio interno debe permanecer constante para cumplir normalmente su función, y el mantenimiento de su constancia lo realiza la sangre gracias a su continua movilización por la acción del aparato circulatorio.

Permanentemente se producen cambios de sustancias y energía, a pesar de lo cual el organismo mantiene estable la composición del medio interno. Este equilibrio constante de los procesos fisiológicos se denomina *homeostasis*; cada función tiene su homeostasis y también existe una homeostasis general de todo el organismo.

AGUA

Constituye el medio donde tienen lugar todos los procesos vitales. Es el elemento más abundante del organismo (sin agua no hay vida) y sirve de vehículo en los procesos de absorción, transporte, secreción, excreción e intercambio.

El agua cumple funciones fundamentales y una de ellas es la termorregulación. El elevado calor específico que posee le permite almacenar calor sin elevar mucho la temperatura; también ayuda a la distribución del calor, y desprende un elevado calor de evaporación: un litro de agua, al evaporarse, absorbe 600 kilocalorías (kcal).

El hombre tiene alrededor de 55-60% de agua y la mujer entre 50 y 55%, ya que para un mismo peso, en la mujer existe mayor proporción de grasa, tejido que retiene muy poca cantidad de agua. En el recién nacido el agua representa del 80 al 90% de su peso.

Ingreso del agua

El agua del organismo proviene de la ingerida con las bebidas y de la contenida en los alimentos; secundariamente deriva de las combustiones celulares que, como sabemos, ter-

minan en dióxido de carbono y agua. Esta, llamada *agua metabólica*, es de alrededor de 300 g diarios, en tanto que la cantidad de agua que ingresa por ingestión es muy variable, de 850 a 2500 ml diarios (término medio 1500 ml), lo que depende de la temperatura del ambiente. Los alimentos sólidos contienen gran cantidad de agua (entre el 60 y el 90% de su peso).

El agua se absorbe en el aparato digestivo, principalmente en el intestino delgado y en parte en el intestino grueso.

Pérdida de agua

El agua se elimina por varias vías. Por vía cutánea se eliminan entre 450 a 1100 ml, cumpliendo la función de termorregulación; por vía respiratoria, de 250 a 350 ml diarios, y sirve para humedecer el aire que se respira; esta humectación proviene de las lágrimas, que a través del conducto lagrimal llegan a las fosas nasales. Por el intestino se eliminan entre 50 y 200 ml diarios, con la cual la materia fecal se humecta y adquiere su pastosidad característica. Por vía renal se excretan entre 1000 y 1500 ml diarios, y con ello se cumple la función de desintoxicación de los elementos hidrosolubles, como la urea.

Distribución del agua

El agua se encuentra distribuida en los tres compartimientos orgánicos: el intracelular, el intercelular y el intravascular. Entre estos compartimientos existe un intercambio constante e intenso, y el plasma es el encargado de establecer el vínculo entre el medio interno y el externo.

El líquido extracelular, que rodea a las células, tiene una composición química diferente de la del líquido intracelular. En el líquido intracelular el principal catión es el potasio y los principales aniones son los fosfatos y las proteínas; en el extracelular predomina el catión sodio, y los principales aniones son el cloro y el bicarbonato.

Dentro del organismo el agua cumple un ciclo: primero se absorbe, luego es transportada por el plasma, de donde pasa al líquido intersticial y de allí a las células, y después en sentido inverso vuelve al plasma; por último es excretada por los órganos de eliminación, particularmente los riñones.

El intercambio de agua entre los compartimientos siempre se acompaña del intercambio de sustancias disueltas en ella, las que se encuentran en equilibrio osmótico. Existe un continuo paso de líquido entre los compartimientos motivado por la diferencia de concentración de sustancias a ambos lados de una membrana y la diferencia de presión osmótica entre el plasma y el líquido intersticial. El plasma contiene proteínas y coloides que atraen agua hacia la sangre. Por último cabe mencionar el transporte activo, que gasta ATP, como ocurre en el sistema de la bomba de Na^+ y K^+ , que actúa en contra de su gradiente de concentración. El sodio siempre va acompañado de agua, ya que la retención de este catión produciría edema (exceso de líquidos en el espacio intercelular); si se pierde sodio, también se pierde agua.

Regulación del volumen hídrico

El organismo tiende a mantener siempre el equilibrio hídrico; para ello debe haber una correspondencia entre su ingreso y su egreso.

La mayor parte del agua ingresa a través del aparato digestivo (puede ser por vía endovenosa) por la sensación subjetiva de sed. La sed aparece cuando la cantidad de agua del organismo es insuficiente. La causa más común de sed es el aumento de la presión osmótica del plasma, lo cual trae aparejado un aumento similar en los otros compartimientos, todo como resultado de la disminución hídrica. Uno de los síntomas característicos de la falta de agua es la sequedad de la boca.

La regulación de la cantidad de agua que debe poseer el organismo la efectúa el SNC a través del centro osmorregulador situado en el hipotálamo, y que es sensible a la presión osmótica del plasma. Durante la deshidratación, con abundante pérdida de agua, como sucede durante el exceso de calor, se produce una hemoconcentración que estimula a este centro osmorreceptor, el cual envía impulsos a la corteza cerebral; ello ocasiona la sensación subjetiva de sed. Al mismo tiempo envía impulsos nerviosos al sistema hipotálamo-hipofisario, que aumenta la secreción de hormona antidiurética, la que provoca mayor reabsorción de agua a nivel de los túbulos renales, disminuyendo la diuresis y aumentando la concentración urinaria. En el caso contrario, el exceso de líquido (hidremia) provoca disminución de la presión osmótica sanguínea, que a su vez inhibe por medio de los osmorreceptores la producción de hormona antidiurética, con mayor eliminación de agua con la orina, que lógicamente estará menos concentrada.

Las glándulas suprarrenales, por medio de los mineralocorticoides, regulan la excreción renal del sodio, y en consecuencia, influyen indirectamente en el metabolismo del agua.

SANGRE

La sangre es un tejido líquido, una suspensión de células en un espacio intercelular líquido, el plasma. Tiene funciones respiratorias, nutritivas, excretoras, inmunitarias y de correlación humoral. En ella se llevan a cabo los equilibrios endocrino y acuoso, regula la presión osmótica, interviene en la regulación térmica, en el equilibrio iónico y en el pH, y por su volumen también regula la presión arterial.

La sangre arterial es de color rojo escarlata, dado por la oxihemoglobina; la sangre venosa tiene un color rojo negruzco, por la presencia de hemoglobina reducida, sin oxígeno, con dióxido de carbono.

Las células sanguíneas son los glóbulos rojos, hematíes o eritrocitos, los glóbulos blancos o leucocitos y las plaquetas o trombocitos.

Glóbulos rojos

Son células que, como su nombre lo expresa, comunican el color rojo a la sangre; tienen una vida corta por carecer de núcleo.

El eritrocito es una célula en forma de disco circular bicóncavo, con un diámetro de 7 a 7,5 μ y un espesor de 1 μ en su centro y de 2,4 μ en la periferia.

El número normal de glóbulos rojos es de 5.000.000 a 5.500.000/mm³ de sangre en el hombre y de 4.300.000 a 4.800.000 en la mujer.

Viven como término medio 120 días, proceden de la médula ósea (hematopoyesis) y son destruidos en el hígado y en el bazo (hemocateresis). Su número permanece constante, lo cual significa que se forma la misma cantidad de células que muere; se ha calculado que se producen de 2 a 3 millones por segundo. Se originan en la médula ósea de los huesos planos y largos, proceso que para llevarse a cabo necesita de ciertos factores: factor intrínseco y factor extrínseco, la vitamina B₁₂ o cianocobalamina y ácido fólico.

El eritrocito presenta un estroma donde se encuentra la sustancia fundamental, la hemoglobina, constituida por una proteína (la globina) y un pigmento (la hematina). Este pigmento contiene hierro (Fe) con la propiedad de combinarse en forma inestable con el oxígeno y también con el dióxido de carbono, pero lo hace en forma estable con el monóxido de carbono, por lo cual la exposición a este gas causa efectos gravísimos, como anoxia de los tejidos y, con ello, la muerte de éstos.

La función del glóbulo rojo es la de la hemoglobina que contiene, o sea, fundamentalmente la función respiratoria de transporte de oxígeno desde los pulmones, donde es captado, hacia los tejidos, donde se utiliza; desde éstos transporta el dióxido de carbono (de-

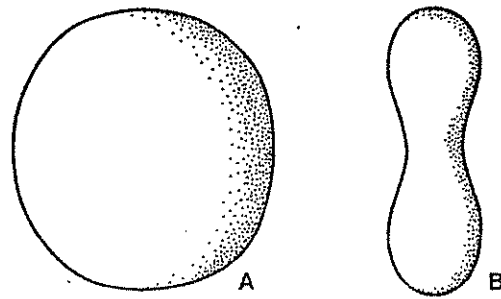


Fig. 5-1. Glóbulo rojo visto de frente (A) y de perfil (B).

secho metabólico de los hidratos de carbono y de las grasas) hacia los pulmones, que lo eliminan.

Cuando el glóbulo rojo ha cumplido su ciclo vital es destruido en el bazo o en el hígado y queda entonces la hemoglobina libre. El hígado la transforma en bilirrubina, que luego utiliza el aparato digestivo en la digestión de las grasas, proceso que se debe tener en cuenta para la absorción de las vitaminas liposolubles (A, D, E, K).

Efectos del ejercicio sobre los glóbulos rojos. Durante los primeros momentos del ejercicio, y a veces en el curso de su realización, hay un aumento relativo del número de eritrocitos, hecho que obedece a una simple hemoconcentración por el pasaje de líquidos desde la sangre hacia los tejidos. Si el ejercicio se prolonga y además después del ejercicio, el líquido vuelve a la sangre, sobre todo cuando el individuo toma agua para satisfacer su sed, y el recuento globular retorna a sus cifras normales.

Un esfuerzo agotador o sesiones de entrenamiento intensas y frecuentes pueden causar destrucciones de glóbulos rojos por el incremento de la velocidad de la sangre y por la compresión que los músculos ejercen sobre los capilares, por donde trascurren los eritrocitos. Esto explicaría la presencia de hemoglobina en la orina después de ejercicios intensos y prolongados.

Glóbulos blancos

Los leucocitos (del griego *leuco*, blanco y *cito*, célula) se encuentran en la cantidad de 5000 a 8000 por milímetro cúbico de sangre y se los divide de acuerdo con la presencia o ausencia de granulaciones en su protoplasma. Los que las poseen son los granulocitos; los que no las poseen, los agranulocitos.

De acuerdo con el color de las granulaciones se dividen en: neutrófilos, lo que captan colorantes neutros; eosinófilos, los que lo hacen con los ácidos, y basófilos, los que se tiñen con colorantes alcalinos.

Los agranulocitos se dividen en linfocitos y monocitos.

Es sabido que los glóbulos blancos tienen la función de defensa de nuestro organismo frente a las enfermedades infecciosas.

Un ejercicio de cierta intensidad da lugar a un aumento del número de los leucocitos, los cuales aumentan mucho durante el ejercicio intenso.

Después de breves períodos de actividad intensa se registra un incremento de los linfocitos; si el ejercicio se prolonga más tiempo, el aumento depende fundamentalmente de los neutrófilos.

Este aumento relativo de los glóbulos blancos es rápido, y se observaron cifras de hasta 35.000 a 40.000 por milímetro cúbico de sangre inmediatamente después de una carrera de 400 m que duró cerca de un minuto.

Se cree que la causa de ese aumento es que gran número de leucocitos están adosados a las paredes vasculares durante el reposo, y el incremento de la velocidad y del volumen sanguíneos durante el ejercicio arrastra a los leucocitos desde las paredes vasculares hacia el torrente circulatorio.

Cuanto mayor sea el esfuerzo durante el ejercicio, mayor será el número de leucocitos, fenómeno que no depende del grado de entrenamiento. Este estrés asociado a ejercicios agotadores, emociones intensas, etc., produce un aumento de la secreción de hormonas suprarrenales, que ocasiona una disminución del número de eosinófilos; tal disminución no es inmediata y sirve como índice de la intensidad del estrés que sufre el individuo.

Plaquetas

Las plaquetas o trombocitos son células muy pequeñas, que se encuentran en número de 200.000 a 300.000 por milímetro cúbico de sangre y actúan en la coagulación de ésta.

El ejercicio físico origina un aumento de la coagulabilidad sanguínea, acompañado siempre de cierta actividad fibrinolítica que evita las posibles trombosis.

Durante un ejercicio agotador se observa una elevación de la fibrinólisis; si se efectúa entrenamiento intenso, esta actividad fibrinolítica es más prolongada.

Plasma

El plasma es la sustancia intercelular de la sangre, y por ser líquida le da esta característica.

Está compuesto fundamentalmente por agua (90%) y por coloides y cristaloideos en solución. El agua del plasma actúa de vehículo para las sustancias en ella disueltas y las transporta por todo el organismo, hacia los lugares donde se las necesita.

Disueltas en el agua se encuentran glucosa, electrolitos, grasas, proteínas, ácido láctico, buffers, hormonas, etcétera.

Glucosa. Se halla en una proporción de 0,70 a 1,10 mg por 100 ml. La cantidad de glucosa en la sangre se llama glucemia; hiperglucemia es el exceso de glucosa en sangre e hipoglucemia su descenso por debajo del valor mínimo normal.

La glucemia es un índice del estado del metabolismo de los hidratos de carbono; el nivel depende del equilibrio entre el ingreso y el egreso de la glucosa en la sangre.

La entrada de glucosa en la sangre proviene de la absorción digestiva, de la glucosa del líquido intersticial o de su formación en el hígado.

La salida de la glucosa de la sangre se produce por pasaje al espacio intercelular, depósito hepático y muscular en forma de glucógeno, transformación en grasas y ubicación en los depósitos y combustión orgánica, fundamentalmente en los músculos, donde se degrada hasta formar dióxido de carbono y agua.

La regulación de la glucemia está a cargo de hormonas que la elevan o la disminuyen, manteniéndola en equilibrio.

La insulina, secretada en el páncreas por las células beta de los islotes de Langerhans, desciende el nivel de la glucosa en la sangre; incrementa su utilización por las células, y su acción produce un aumento de las combustiones celulares de los hidratos de carbono, una mayor formación de glucógeno muscular y un aumento de la transformación del glucógeno en grasas.

El glucagón, secretado por las células alfa de los islotes de Langerhans pancreáticos, es hiperglucemiante, es decir, aumenta la cantidad de glucosa en sangre, extrayéndola de los tejidos hepático y muscular, y transforma el glucógeno en glucosa.

La hipófisis, por medio de sus hormonas somatotrofina, corticotrofina y tirotrofina, tiende a elevar la glucemia, aumentando la liberación de glucosa por el hígado y su consumo periférico.

La adrenalina de las suprarrenales eleva la glucemia por descomposición del glucógeno hepático y muscular. Los glucocorticoides de la corteza suprarrenal elevan la glucemia por movilización del glucógeno hepático.

También interviene en la regulación de la glucemia el sistema nervioso autónomo. Actúa de dos formas, una es la vía simpático-adrenalino-hepática, que aumenta la glucogénesis hepática y eleva la glucemia, y otra es la vía vagoinular, que eleva la secreción de insulina y descende la glucemia. Como vemos, estos sistemas son antagónicos y mantienen la cifra normal de glucosa en sangre.

Efectos del ejercicio sobre la glucemia. La cantidad normal de glucosa en sangre es la consecuencia del equilibrio entre la proporción de glucosa que ingresa en ella y la que sale para ser utilizada en los tejidos.

Durante el ejercicio moderado el equilibrio se mantiene, no se producen grandes modificaciones y la glucosa que se gasta es repuesta por el glucógeno hepático o por la ingesta a través de la absorción intestinal.

En los ejercicios intensos y prolongados, al producirse hipoglucemia por el consumo aumentado de los tejidos, las hormonas suprarrenales, la adrenalina y los glucocorticoides, estimulan la liberación de glucosa proveniente del glucógeno que el hígado mantiene en reserva; esto hace elevar la glucemia. Si el ejercicio, además de ser agotador, dura mucho tiempo, el glucógeno hepático puede disminuir en forma pronunciada, con la consiguiente caída de la glucemia. Cuando ésta descende por debajo de las cifras normales puede aparecer agotamiento, con los síntomas propios de la hipoglucemia aguda: visión borrosa, incoordinación neuromuscular y mareos, hasta provocar lipotimia con pérdida del conocimiento. Todo esto se subsana con la rápida reposición de glucosa.

Proteínas. Las proteínas son fundamentales en la constitución del protoplasma de las células. Químicamente están compuestas por carbono, oxígeno e hidrógeno, y tienen además nitrógeno, azufre y a veces fósforo. Estos elementos se combinan para formar las unidades estructurales de las proteínas: los aminoácidos. Cuando la molécula proteica adopta una forma esférica, se la llama proteína globular (un ejemplo de ello es la actina). Otras tienen forma alargada y se denominan proteínas fibrosas (por ejemplo, la miosina), y ambas constituyen las proteínas que actúan en la contracción muscular.

Las proteínas de los alimentos se digieren hasta la forma de aminoácidos y luego se absorben y constituyen la proteína propia de cada tejido. Cierta cantidad de proteínas se transforman y desintegran continuamente, lo cual se denomina *catabolismo proteico*, y sus residuos son eliminados con la orina (urea).

Cuando el ingreso de nitrógeno proteico es mayor que la pérdida, se dice que hay balance positivo; esto ocurre en el crecimiento, en el embarazo y en el desarrollo muscular que provoca la actividad física.

El plasma contiene de 6 a 7 g de proteínas por litro, y fundamentalmente están constituidas por albúmina, globulinas y fibrinógeno. La primera, constituyente de los protoplasmas celulares, es importante en el desarrollo muscular provocado por el ejercicio; las globulinas actúan en la formación de anticuerpos y el fibrinógeno en la coagulación de la sangre.

Electrólitos. Los electrolitos son sustancias químicas con carga eléctrica; tienen una concentración constante en el plasma, que es muy rico en sodio y cloro. Ambos forman el cloruro de sodio, que se encuentra en una concentración de 9 g por litro y reviste gran importancia en la distribución del agua.

Los electrolitos están contenidos tanto en el líquido intracelular como extracelular y sus funciones son muy importantes: mantienen el equilibrio osmótico y ácido-base del organismo, y son constituyentes del esqueleto, en particular el calcio y el fósforo. El equilibrio iónico es primordial en la regulación de muchas funciones; por ejemplo, el calcio en la contracción muscular, el sodio y el potasio en la transmisión nerviosa, etcétera.

Grasas. Las grasas de los seres vivos son compuestos de ácidos grasos insolubles en agua. Las que se encuentran en el plasma constituyen la lipemia; las grasas plasmáticas son el colesterol, los ácidos grasos y los triglicéridos.

La concentración de lípidos en el plasma es muy variable; las grasas se unen a proteínas formando lipoproteínas.

La cantidad de lípidos en la sangre aumenta durante la absorción digestiva, el ejercicio intenso y el embarazo y la lactancia. La movilización de las grasas se observa cuando no hay suficientes hidratos de carbono disponibles, como sucede en el ayuno, y también en la exposición prolongada al frío, durante el cual el organismo recurre tanto a los hidratos de carbono como a los lípidos para mantener su temperatura.

EQUILIBRIO ACIDO-BASE

Se denomina pH (potencial de iones hidrógeno) al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia; el pH⁷ o neutro es el del agua químicamente pura; por debajo, la sustancia es ácida, y si excede el valor 7, es alcalina.

Se denomina ácido a una sustancia capaz de liberar iones H⁺, como por ejemplo el ClH (ácido clorhídrico) que se disocia en el agua en Cl⁻ (cloro) y H⁺ (hidrógeno). La acidez de una solución depende de la cantidad de iones H⁺ que pueda liberar, es decir que el ácido será más fuerte cuanto más H⁺ libere.

Por lo común, los ácidos orgánicos, como el pirúvico y el láctico, son débiles; en cambio, los ácidos minerales, como el clorhídrico y el sulfúrico, son fuertes porque su constante de disociación de H⁺ es mayor.

Una sustancia es alcalina cuando libera iones oxhidrilo (OH⁻). La fuerza del álcali dependerá de la concentración de oxhidrilos que puede liberar.

Los iones H⁺ y OH⁻ son los componentes del agua; a causa de su constancia, el agua es neutra, o sea no es ni ácida ni alcalina.

A medida que el pH se eleva de 7 a 14, aumenta la alcalinidad, de modo que una sustancia será más alcalina cuanto mayor sea su pH. De 7 a 0 las sustancias son ácidas, y serán más ácidas cuanto más disminuya su pH. Por cada unidad que descende el pH, la concentración de H⁺ aumenta 10 veces.

Sistemas buffers

Son sustancias que por su sola presencia atenúan las modificaciones que determinan los cambios del pH, actuando como reguladoras.

Un sistema *buffer* es una combinación de un ácido débil con su sal de base fuerte, o de una base débil con su sal de ácido fuerte. En nuestro organismo son mezclas de ácidos débiles y sales alcalinas, y están representados por los sistemas ácido carbónico/bicarbonato: CO₂H₂/CO₂HB, (donde B es la base alcalina), fosfato monobásico/fosfato dibásico: PO₄H₂B/PO₄HB₂, y proteína ácida/proteinato: PrH/PrB.

Actúan transformándose de álcali a ácido o a la inversa; por ejemplo, el CO₂HNa (bicarbonato de sodio, alcalino) se disocia en Na⁺ y CO₂H⁻ (sodio e ion bicarbonato) y el CO₂H⁻ se combina con el H⁺ formando CO₂H₂ (ácido carbónico); es decir, el CO₂HNa es alcalino porque predominan los OH⁻ y su pH es superior a 7; en cambio, el CO₂H₂ es ácido porque predominan los H⁺ y su pH es inferior a 7.

En nuestro organismo el bicarbonato es el sistema *buffer* más importante del plasma. Normalmente el pH sanguíneo es de 7,4, o sea, ligeramente alcalino; en este pH hay una parte de CO₂H₂ (ácido carbónico) cada 20 partes de CO₂HB (base bicarbonato), y cuando esa proporción se mantiene, el pH del plasma permanece constante.

Veamos cómo actúa el sistema CO₂H₂/CO₂HNa. Si a este sistema se le agrega un ácido fuerte como el ClH (ácido clorhídrico), por ejemplo, se descompone el CO₂HNa de la siguiente manera: CO₂HNa + ClH → ClNa + CO₂H₂; un ácido fuerte (ClH) es reemplazado entonces por un ácido débil (CO₂H₂), que fácilmente se descompone en CO₂, el cual se elimina por vía respiratoria, y H₂O; esto hace que la acidez del medio disminuya rápidamente por la presencia del buffer.

En el caso de que al sistema $\text{CO}_2\text{H}_2/\text{CO}_2\text{HNa}$ se le agregue una base fuerte como el NaOH (hidróxido de sodio), se producirá la siguiente reacción: $\text{CO}_2\text{H}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{CO}_2\text{HNa} + \text{H}_2\text{O}$; la base fuerte ha sido reemplazada por una base débil, el bicarbonato, y agua; el primero amortigua el pH alterado.

El líquido intersticial también presenta bicarbonato como *buffer* y existen asimismo sustancias *buffers* intracelulares que no se conocen con exactitud, pero se sospecha que son sales de fósforo y álcalis ligados a las proteínas celulares.

Efectos del ejercicio sobre el equilibrio ácido-base *Lactacidemia Normal 5 a 10 mg x 100 ml*

Cuando la llegada de oxígeno no es suficiente se produce en los músculos metabolismo anaeróbico láctico, es decir, ácido láctico, por lo cual la cantidad de éste en la sangre da una idea clara de la magnitud del metabolismo anaeróbico. Durante el reposo la lactacidemia normal es de 5 a 10 mg por 100 ml de sangre; siempre aumenta al comienzo del ejercicio porque la llegada de oxígeno a los músculos activos no es inmediata. Cuando se alcanza la fase estable, la lactacidemia se mantiene, no se eleva, pero si se aumenta la intensidad del ejercicio, la cantidad de ácido láctico asciende y puede elevarse a cifras de alrededor de los 200 mg por 100 ml; la máxima registrada hasta el momento fue de 357 mg por 100 ml en una prueba exhaustiva.

Si varias personas realizan la misma actividad, la elevación de la lactacidemia será mayor en quienes tienen menos eficiencia cardiovascular.

Cuando el ácido láctico aumenta considerablemente, desciende el pH y comienzan a actuar los *buffers*, primero los intracelulares y luego los extracelulares, del líquido intersticial y los de la sangre; el amortiguador fundamental es el bicarbonato, tanto intersticial como sanguíneo. Una actividad agotadora puede conducir a la formación de mucho ácido láctico, hasta el punto que el bicarbonato disminuye y empieza a aumentar la acidez sanguínea; es común entonces que ocurra el agotamiento del individuo. El entrenamiento incrementa la tolerancia a las concentraciones grandes de ácido láctico, pues eleva la reserva de bicarbonato (reserva alcalina).

INTERCAMBIOS LÍQUIDOS ENTRE LA SANGRE Y LOS TEJIDOS

El intercambio de los líquidos, elemento fundamental en la regulación del medio interno, se produce en los capilares. El intercambio no es solo de líquidos, sino también de sustancias disueltas en ellos, excepto las proteínas, que por ser moléculas de gran tamaño no atraviesan la pared capilar.

Los líquidos abandonan la sangre en el extremo arterial del capilar y vuelven a ingresar en su extremo venoso, proceso llamado *reabsorción*; todo esto depende de los cambios del equilibrio entre filtración y reabsorción que se producen en el capilar.

Actúan dos fuerzas, una trata de llevar los líquidos hacia fuera del capilar (es la presión arterial) y otra trata de atraer los líquidos hacia la sangre (es la presión osmótica coloidal de las proteínas de la sangre).

En el extremo arterial del capilar la presión tiene un valor aproximado a los 35 mm Hg, que es la fuerza que empuja hacia fuera del capilar. La presión osmótica coloidal de las proteínas es de 25 mm Hg, que atrae los líquidos hacia la sangre. El resultado es una fuerza ($35 - 25 = 10$ mm Hg) que impulsa los líquidos hacia los tejidos; estos líquidos se acompañan de las sustancias en ellos disueltas, menos las proteínas que continúan en la sangre, dentro de los capilares.

La presión sanguínea disminuye progresivamente a lo largo del capilar y llega a 15 mm Hg en el extremo venoso. En esas circunstancias, la presión que atrae hacia adentro del capilar es mayor: PO = 25 mm Hg; PA = 15 mm Hg, por lo cual los líquidos son reabsorbi-

dos en el extremo venoso del capilar a causa de esa diferencia de 10 mm Hg. De esta manera, en condiciones de reposo de los tejidos, existe permanentemente un equilibrio entre filtración y reabsorción de líquidos en los capilares: se filtra en el extremo arterial y se reabsorbe en el extremo venoso; de ahí que el volumen de líquido de los tejidos permanece constante.

Este equilibrio normal de reposo puede alterarse por distintos procesos, sean éstos normales, como estar mucho tiempo de pie, o el ejercicio, o bien patológicos, como la hipoproteínemia, por ejemplo.

Si la filtración es mayor que la reabsorción, tiene lugar un aumento de líquidos en el espacio intercelular y es lo que se denomina edema. Puede ocurrir en condiciones normales en una persona que permanece largo rato de pie; en este caso, el retorno venoso, disminuido por el ortostatismo, hace que aumente la presión arterial en el extremo venoso del capilar; de esa manera se encuentra igual la filtración y disminuye la reabsorción con el edema consiguiente.

Otra causa, ya patológica, es la insuficiencia cardíaca derecha que actúa con un mecanismo semejante. Otra es la hipoproteínemia, en que la causa de la disminución de la reabsorción se debe a la disminución de las proteínas en la sangre.

Si la filtración es menor que la reabsorción, se reduce el líquido en el espacio intercelular. Cuando la pérdida de líquidos es excesiva y el ingreso escaso, como ocurre durante los días agobiantes del verano, disminuye incluso el líquido intracelular y es lo que se denomina deshidratación.

INTERCAMBIOS LÍQUIDOS ENTRE EL ESPACIO INTERCELULAR Y LAS CELULAS

El intercambio de los líquidos entre el espacio extracelular y el intracelular ocurre generalmente por simple diferencia de concentración. El líquido del espacio intercelular permanece constante, con todos sus elementos siempre en la misma proporción, y es en la célula donde se gastan tales elementos, lo cual produce un gradiente de concentración que hace que los líquidos y las sustancias en ellos disueltas vayan hacia el interior de la célula. Lo mismo, pero al revés, sucede con las sustancias de desecho, que se forman por las combustiones vitales intracelulares y que por diferencia de concentración salen al espacio intercelular; por la misma causa van desde este espacio a la sangre y de allí a los emuntorios para su eliminación.

Normalmente, el líquido del espacio intercelular es constante, pero es posible que se produzcan alteraciones que hagan salir el agua de las células o entrar en ellas.

Si el organismo tiene exceso de sodio con respecto al agua, y además se produce deshidratación, por ejemplo, por transpiración profusa, el exceso de sodio intercelular atrae agua desde las células y origina deshidratación celular, motivo por el cual la ingestión de sodio debe acompañarse siempre de la ingestión de suficiente cantidad de agua.

ALTERACIONES DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO

El equilibrio líquido puede alterarse por la postura erecta prolongada o por el ejercicio físico intenso. Cuando una persona acostada se pone de pie, como consecuencia de la presión hidrostática aumenta la presión arterial en el extremo venoso del capilar en las partes más bajas del cuerpo; esto trae aparejado una disminución de la reabsorción y el consiguiente edema de los pies, observado en personas que permanecen mucho tiempo estáticas, como los cajeros de banco, los odontólogos, peluqueros, etc. Esto no ocurriría si pudieran caminar, porque las contracciones musculares facilitan el retorno venoso, que favorece el desagote del líquido intercelular.

Durante un ejercicio intenso, aunque sea breve, se produce pasaje de líquido desde la sangre hacia el espacio intercelular, y esto ocasiona hemoconcentración, que prácticamente no ocurre durante un ejercicio moderado. La hemoconcentración se acentúa si aumenta la temperatura ambiental. La causa fundamental del paso de líquido al espacio intercelular es el aumento de la presión arterial durante el ejercicio, aumento que provoca mayor filtración en el extremo arterial del capilar. Además, la traspiración provocada por el exceso de calor que determina el aumento de las combustiones y la temperatura del ambiente incrementa la hemoconcentración, que, como ya vimos, se regula aumentando la sed y la producción de hormona antidiurética, todo estimulado por los osmorreceptores del hipotálamo.

Por otra parte, como consecuencia del aumento de las combustiones celulares, con transformación de las moléculas grandes en pequeñas, se produce un mayor número de partículas intracelulares; esto aumenta la absorción osmótica de líquidos por parte de la célula desde el espacio intercelular e intravascular, y se intensifica la hemoconcentración.

Si durante un ejercicio prolongado se le suministra agua al individuo, se experimentan cambios de la volemia.

Deshidratación

Constituye un problema frecuente e importante durante la actividad física porque la pérdida de líquido está aumentada por la traspiración, particularmente en climas cálidos o en ambientes húmedos; el problema se incrementa por la dificultad para reponer los líquidos durante el ejercicio y más aún en los casos en que, por creencias equivocadas, los entrenadores o preparadores físicos evitan que el deportista ingiera líquidos.

En climas cálidos y en actividades intensas, la pérdida de líquidos suele ser muy pronunciada y llega a veces a cifras altas, como 4, 5 o más litros, lo cual ocasiona un aumento de la temperatura corporal. Su consecuencia, la deshidratación, origina una manifiesta disminución del rendimiento.

En la deshidratación se producen, en orden creciente, los siguientes síntomas: sed intensa, sequedad de piel y mucosas, elevación de la temperatura, taquicardia, disnea, incoordinación neuromuscular y mareos intensos. Se puede llegar al golpe de calor, que se manifiesta con convulsiones, alucinaciones y estado de sopor, y si no hay rápida rehidratación, sobreviene la muerte.

Durante la actividad física conviene efectuar la reposición del agua perdida, para lo cual no hay ninguna contraindicación, siempre que sea en pequeñas dosis y en varias veces. No hay que beber grandes cantidades de golpe porque puede producirse una distensión del estómago, que dificulta la normal excursión del diafragma y provoca sensación de disnea.

Durante ejercicios muy intensos en ambientes cálidos, además de la pérdida de agua, también se pierde sal (cloruro de sodio), la que debe reponerse durante las comidas, y si hay grandes pérdidas de agua, conviene aumentar la cantidad de sal en los alimentos para que el individuo sienta más sed y aumente el consumo de agua; de esa manera la retendrá más y, por lo tanto, podrá perder más, retardando la llegada de la deshidratación y manteniendo más tiempo la temperatura.

En el curso de actividades agotadoras que ocasionan rápida deshidratación conviene dar a beber agua con cloruro de sodio al 9 por mil, o hacer un preparado con dos cucharaditas de sal en cuatro litros de agua y dar a beber a medida que el deportista sienta sed, en forma periódica.

Si la deshidratación dura más de 24 horas, se la puede considerar crónica y por lo común es voluntaria. Los boxeadores y luchadores, para mantenerse en su categoría, restringen al máximo la ingestión de líquidos y de sal, y a veces esto es fomentado por los entrenadores o preparadores. No obstante, suele ser contraproducente si se considera la disminución de la fuerza, la velocidad y la resistencia, sobre todo la cardiocirculatoria, que ello provoca.

FUNCION RENAL

El riñón es el órgano más importante en el mantenimiento de la constancia del medio interno, que está regulada por lo que contiene, por lo que ingresa y particularmente por lo que egresa, función que cumple este órgano.

Además de su función depuradora (o sea, la eliminación de los residuos del metabolismo) regula el equilibrio líquido, el equilibrio osmótico y el balance iónico del plasma; en parte también regula el equilibrio ácido-base del organismo, modificando el pH de la orina según las necesidades.

El aparato urinario está compuesto por ambos riñones y las vías urinarias, formadas por los cálices, la pelvis renal, los uréteres, la vejiga y la uretra.

El riñón presenta una porción cortical y una medular; en la primera se encuentran los nefrones, que son la unidad anatómica y funcional del riñón. Cada riñón tiene alrededor de un millón de nefrones. En la zona central o medular se hallan los tubos colectores, que desembocan en los cálices renales.

El nefrón está constituido por el corpúsculo de Malpighi y el túbulo renal. El corpúsculo de Malpighi, situado en la cortical y formado por el extremo del túbulo renal que constituye la cápsula de Bowman, contiene arrollados los capilares arteriales que conforman el glomérulo de Malpighi. A estos capilares llega la arteria aferente y de ellos sale la arteria eferente.

Del corpúsculo de Malpighi nace el túbulo renal, compuesto por el tubo contorneado proximal, el asa de Henle, el tubo contorneado distal y los tubos colectores.

La arteria renal, rama de la aorta, se divide en forma extraordinaria dentro del riñón, y de estas divisiones nacen las arteriolas aferentes de los glomérulos. Dentro de la cápsula de Bowman la arteriola aferente se divide en una serie de capilares que forman un verdadero ovillo glomerular; estos capilares se reúnen entre sí y dan lugar a la arteriola eferente,

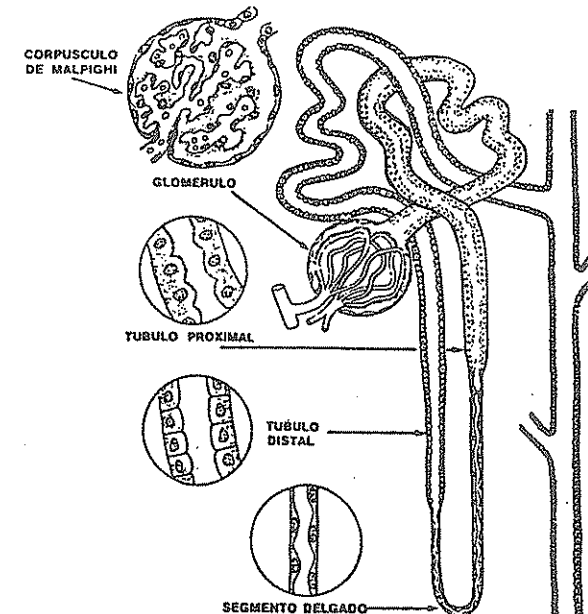


Fig. 5-2. Nefrón con su corpúsculo de Malpighi, formado por el glomérulo, la arteria aferente, la arteria eferente y los túbulos contorneados proximal y distal. (Tomado de Houssay, A. B. y cols.)

que al salir de la cápsula de Bowman vuelve a dividirse en una serie de capilares que rodean a los tubos contorneados, tanto proximales como distales, formando los capilares peritubulares. Estos se anastomosan luego entre sí y con las redes peritubulares de los nefrones vecinos y originan venas, las que uniéndose entre sí constituyen la vena renal, que desemboca en la vena cava inferior.

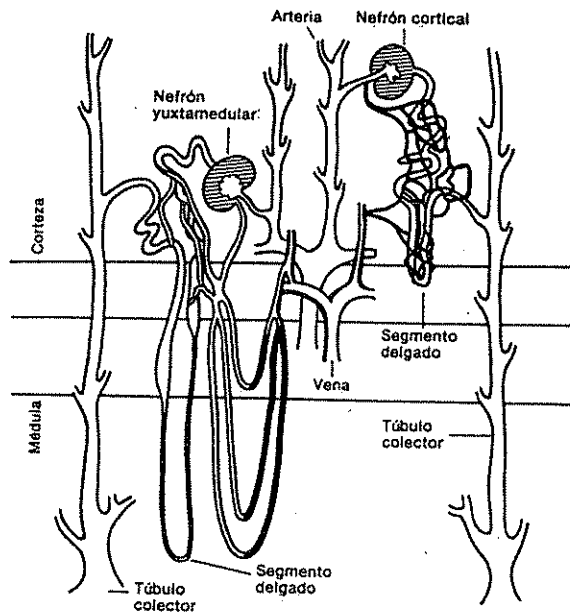


Fig. 5-3. Se ven dos nefrones. Obsérvese cómo la arteria eferente se capilariza alrededor de los túbulos contorneados y de la confluencia de estos capilares sale la vena renal. (Tomado de Houssay, A. B. y cols.)

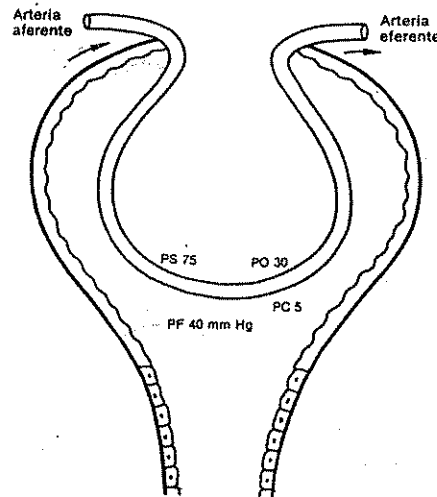


Fig. 5-4. Representación de las diferentes presiones en el glomérulo. PS: presión sanguínea: 75 mm Hg. PO: presión oncótica de las proteínas: 30 mm Hg. PC: presión existente en la cápsula de Bowman: 5 mm Hg. PF: presión de filtración: 40 mm Hg.

Funciones del riñón

Las funciones fundamentales del riñón son la filtración y la reabsorción. La filtración se cumple a nivel del glomérulo de Malpighi, donde se filtra el plasma sanguíneo, vertiendo en los túbulos renales el agua y los cristaloideos, no así las proteínas y otras moléculas de gran tamaño. Esta filtración tiene como única fuente de energía la presión arterial: para que la filtración ocurra la presión sanguínea debe ser mayor a la suma de la presión oncótica de las proteínas del plasma, más la presión existente en la cápsula de Bowman. Cuando desciende la presión sanguínea, también disminuye la filtración glomerular.

La reabsorción de agua y glucosa se observa a nivel tubular y estas sustancias pasan luego a la sangre de los capilares de la arteria eferente, capilares que en su confluencia forman las venas. La reabsorción es estimulada por la hormona antidiurética, y a medida que se produce se va concentrando la orina.

En los túbulos renales, junto con el agua y la glucosa se reabsorben algunos aminoácidos, ácido úrico y ciertos electrolitos.

La orina

El volumen de orina en una persona adulta oscila entre 1000 y 1500 ml diarios; varía según la cantidad de líquido ingerido y también según la eliminación de líquido por otras vías, como la piel.

Es de color amarillo ámbar, con una intensidad que difiere en relación con la concentración; su densidad es de 1015 a 1020, oscilando entre las cifras límites de 1002 y 1030; el pH es variable entre 4,5 y 8,2, pero lo habitual es que sea ácida.

En la orina se hallan sustancias disueltas, unas inorgánicas como los cloruros, sulfatos, fosfatos, sodio y amoníaco, y otras orgánicas, como la urea (producto final del metabolismo proteico), el ácido úrico, la creatinina, etcétera.

Efectos del ejercicio sobre la función renal

Las alteraciones que el ejercicio puede determinar sobre el riñón se ven reflejadas en sus dos funciones fundamentales: la filtración glomerular y la reabsorción tubular.

En el curso de un ejercicio más o menos intenso, desde el punto de vista cardiovascular se produce vasodilatación en los lugares activos con vasoconstricción compensadora en los lugares pasivos; por ser el riñón un lugar pasivo, durante el ejercicio experimenta vasoconstricción, que disminuye el aporte sanguíneo renal y ocasiona una disminución de la filtración glomerular.

Normalmente, de cada 100 ml de plasma que pasan por los glomérulos, se filtran 20 ml, es decir, alrededor de 120 ml por minuto. La mayor parte de ese filtrado se reabsorbe en los túbulos, de manera que solo se eliminan 1 a 2 ml de orina por minuto, reabsorción regulada por la hormona antidiurética.

Durante el ejercicio, como resultado de la mayor pérdida de agua por vía cutánea para mantener la temperatura y por el esfuerzo que lleva implícito, tiene lugar un aumento de la secreción de hormona antidiurética, que aumenta la reabsorción con el consiguiente incremento de la concentración urinaria.

Esta es la causa por la cual después del ejercicio se orina menor cantidad que lo habitual. Esa orina puede presentar características patológicas, tales como: hemoglobina, aumento de la cantidad de urea, glucosa, a veces algunas proteínas, aumento de la concentración y disminución del pH.

BIBLIOGRAFIA

- Altekruse, E. B. y Wilmore, J. H.: Changes in blood chemistries following a controlled exercise program. *J. Occup. Med.* 15:110, 1973.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Bartles, F. C.: Regulation of the volume and composition of extracellular and intracellular fluid. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 110:682, 1963.
- Brewer, C. J. y Eaton, J. W.: Erythrocyte metabolism, interaction with oxygen transport. *Science*. 171:1205, 1971.
- Davenport, H. W.: *The A.B.C. of acid-base chemistry*, 5a. ed. The University of Chicago Press. Chicago, 1969.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.
- Maverson, H. S.: Blood volume and its regulation. *Ann. Rev. Physiol.* 27:307, 1965.
- Merino, C.: *Blood*. 5:1, 1970.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, 1981.
- Pappenheimer, J. R.: Central control of renal circulation. *Physiol. Rev.* 40:35, 1960.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1983.
- Rittel, H. F. (ed.): Sistema muscular y deporte. Convenio Colombo-Alemán de Educación Física, Deportes y Recreación. Tomo 3. Ed. Copiservicio. Medellín, 1980.
- Varela, M. E.: *Fundamentos de hematología*. Ed. El Ateneo, 1958.
- West, E.; Todd, W.; Mason, H. y Van Bruggen, J.: *Bioquímica médica*. Ed. Interamericana. México, 1969.

TEMPERATURA CORPORAL | 6

El hombre, al igual que todos los mamíferos, tiene una temperatura constante; es decir, es homeotermo, no poiquilotermo como los reptiles, por ejemplo, cuya temperatura corporal se acerca a la del ambiente.

La temperatura corporal oscila entre los 36 y 37° C y es la resultante del equilibrio entre la producción y la pérdida de calor; cuando esta resultante es totalmente normal, la temperatura permanece constante.

Con la protección necesaria, el ser humano puede soportar temperaturas externas de -50° a 80° C, pero no puede tolerar, excepto en condiciones especiales, variaciones de más de 4° C en su interior. Si fuesen mayores se producirían lesiones en las estructuras celulares, en los procesos enzimáticos y en los procesos físicos y químicos intracelulares.

Una célula viva, aislada, puede tolerar temperaturas que van de 0° C hasta 45° C. Por debajo de 0° C se produce el congelamiento y los cristales de hielo que se forman destruyen a la célula; cerca de los 45° C, las proteínas celulares coagulan (se solidifican). Las células pueden tolerar solo por breves periodos temperaturas de alrededor de 41° C.

El problema principal lo crea el calor extremo, no tanto el frío, pues el ser humano puede protegerse con mayor facilidad. El organismo está dotado de mecanismos para regular tanto las temperaturas elevadas como las bajas.

Una de las funciones de la sangre en su circulación constante es la de transportar calor para calentar o enfriar diversos tejidos, según las necesidades locales, y llevar el exceso de calor corporal desde el interior hasta la piel, donde se elimina. La sangre puede transportar gran cantidad de calor; cuando por vasodilatación aumenta el flujo sanguíneo en la piel, se origina un aumento de su temperatura y se eleva su conductividad; por el contrario, al disminuir el flujo sanguíneo por vasoconstricción, se produce una disminución de la temperatura cutánea y se reduce su conductividad.

REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL

Siempre debe haber un equilibrio entre ganancia y pérdida de calor para que la temperatura se mantenga constante.

Normalmente, la mayor fuente de calor es el metabolismo, es decir, las combustiones celulares; como ya sabemos, combustión significa la transformación de un determinado tipo de energía en otro con producción de calor.

El calor se pierde por los procesos físicos de radiación, conducción, convección y evaporación, determinados por el aumento del flujo sanguíneo por vasodilatación cutánea y la secreción de sudor.

Como ya dijimos se requiere la máxima regulación para compensar la pérdida de calor; el aporte de calor se realiza gracias a las combustiones a través de los movimientos o titilando, o sea, mediante contracciones musculares que aumentan el metabolismo.

No obstante las variaciones térmicas, la temperatura corporal se mantiene constante por acción de los centros termorreguladores del hipotálamo, los que están informados de la temperatura interna por la sangre y de la temperatura exterior por la piel y los nervios sensitivos.

El calor se puede perder por conducción, cuando el organismo está en contacto con algo que tenga una temperatura más baja que él; por ejemplo, el agua o el aire. La proporción de la pérdida de calor depende de la diferencia de temperatura.

Puede perderse calor por convección, gracias al movimiento del medio (agua, aire) que se encuentra en contacto con la piel; este mecanismo se pone de manifiesto, por ejemplo, con la acción del viento producido por un ventilador.

Se pierde calor por radiación puesto que todo cuerpo caliente emite ondas electromagnéticas de calor como consecuencia de la temperatura ambiental; cuando ésta es más baja, se pierde calor por radiación; cuando es alta, se puede ganar calor y aumenta la temperatura corporal.

Por último, la pérdida más importante de calor ocurre por evaporación y está en función de la traspiración, que actúa siguiendo el principio físico de que un líquido al evaporarse enfría la superficie donde estaba apoyado. El agua al evaporarse absorbe 600 kilocalorías por litro. Es necesario aclarar que el sudor enfría la piel al evaporarse; si hay elevada humedad ambiental, el sudor no se evapora y no enfría la superficie del cuerpo.

La producción de calor, salvo la proveniente de la radiación solar, siempre se efectúa por el metabolismo. Aumenta durante el ejercicio y puede llegar en actividades intensas, hasta 30 veces los valores de reposo. En la exposición al frío puede incrementarse la formación de calor con las contracciones musculares que ocasiona el tiritar.

El calor es transportado por la sangre desde la profundidad a la superficie corporal. Cuando está en exceso, se origina vasodilatación en la piel; de esa manera, mayor cantidad de sangre está en contacto con la piel y aumenta la pérdida de calor. Lo contrario ocurre si el organismo necesita ahorrar calor, caso en el cual se produce vasoconstricción.

Otro mecanismo es la traspiración, que aumenta cuando hay exceso de calor, por acción directa de las glándulas sudoríparas. La regulación de la pérdida cutánea del calor está a cargo del sistema nervioso desde los centros termorreguladores del hipotálamo, y su actividad se traduce por vasodilatación y estimulación de las glándulas sudoríparas.

Se puede medir la temperatura cutánea o superficial en la axila, y la profunda en el recto; ambas se determinan con termómetros de bulbo de mercurio. La medición más fiel es la rectal, que debe hacerse a una profundidad de 5 a 8 cm. En reposo, la temperatura rectal es superior a la axilar y prácticamente igual a la de la sangre; por ello la temperatura rectal es un índice adecuado de los cambios que ocurren en la temperatura corporal profunda.

EFFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA TEMPERATURA

Si las condiciones ambientales son excelentes, con buena temperatura y humedad, el único problema técnico lo representa el exceso de calor producido por el metabolismo.

El solo hecho de iniciar una actividad física, por leve que sea, implica un aumento de las combustiones, con el consiguiente incremento de la producción de calor.

En estudios de laboratorio y en animales de experimentación se observó que la producción de calor puede aumentar de 10 a 20 veces, e incluso hasta 30 veces, con respecto al reposo, lo cual significa una gran tarea de los mecanismos encargados de la termorregulación, ya que las temperaturas altas aceleran el comienzo del agotamiento.

A medida que se incrementa el ejercicio, la temperatura corporal, aumenta, y por ende aumentan los estímulos que llegan al centro termostato del hipotálamo, con la consiguiente elevación de la temperatura sanguínea. Esto trae aparejado vasodilatación cutánea y aumento de la traspiración. Cuando el ejercicio es constante y consiste en actividades submáximas que no aumentan en su intensidad, el aumento de la temperatura corporal se estabiliza. Este aumento parecería corresponder a una acomodación del centro hipotalámico

a un nivel más elevado, provocado por el aumento de la producción de calor, momento en que comienzan a actuar los elementos reguladores.

Dado que la temperatura se origina en los músculos activos, se encuentra en ellos más elevada que en el resto del organismo y se establece una especie de gradiente desde el lugar de producción hasta el de eliminación.

Durante el ejercicio se tolera bien el aumento de la temperatura, pero no ocurre lo mismo en reposo; además, la actuación durante la actividad es favorecida con cierto aumento de la temperatura corporal.

Los deportistas que se entrenan toleran mejor las altas temperaturas, por el aumento del volumen minuto cardíaco, que permite un buen mantenimiento de la irrigación cerebral. Esto no ocurre en la hipertermia del reposo, en que hay un menor volumen minuto cardíaco y vasoconstricción cerebral por la alcalosis respiratoria que provoca la fiebre.

El aumento de la temperatura en los músculos activos es beneficiosa ya que ocasiona vasodilatación —con el consiguiente aumento del flujo sanguíneo—, facilita la disociación de la oxihemoglobina y disminuye la viscosidad interna del sarcoplasma, lo cual tiende a una mejor transferencia del oxígeno y a la activación del metabolismo muscular aeróbico.

ACLIMATACION AL CALOR

Si una persona no entrenada y no aclimatada realiza un ejercicio de cierta intensidad en un clima cálido, la gran necesidad sanguínea de los músculos y la piel puede superar la capacidad cardíaca de reajuste y dar lugar a una insuficiencia cardíaca transitoria, que se manifiesta con síntomas semejantes a los del shock hipovolémico: mareos, sensación de desmayo, incoordinación neuromuscular, palidez intensa y traspiración abundante, fría y pegajosa. Si se trata de continuar con el ejercicio, esta insuficiencia circulatoria puede traer graves consecuencias y llegar incluso al paro cardiocirculatorio.

Mediante la aclimatación lenta y progresiva al calor se aumenta la tolerancia. Una persona ya acostumbrada puede trabajar en ese ambiente con mejor termorregulación, menor incomodidad, temperatura rectal más baja y taquicardia. La causa de esta aclimatación parecería residir en una mejora de la circulación, que favorece la conducción hacia la periferia del exceso del calor, y en el aumento del volumen sistólico que disminuye la frecuencia cardíaca para igual volumen minuto.

El tiempo que dura la aclimatación es variable, pero por lo común se logra con breves períodos de trabajo en el calor; esta aclimatación es duradera.

En los atletas no aclimatados se produce un rápido agotamiento, que obliga a suspender la actividad.

Si se trabaja en climas calurosos, es importante una vestimenta adecuada que permita una fácil irradiación del calor y su rápida pérdida.

Una resultante de la aclimatación es el aumento de la traspiración, que produce un mayor enfriamiento por evaporación. Este enfriamiento más rápido de la piel lleva a una reducción de la temperatura de la sangre. Con la aclimatación se aumenta extraordinariamente la producción de calor.

Por lo común bastan 4 a 7 días de exposición a un ambiente caluroso para la aclimatación, la que se completa en 12 a 14 días.

Una persona bien entrenada se adapta más rápidamente y mejor al calor que una sedentaria, pero siempre necesita del proceso de aclimatación.

En el período de aclimatación y particularmente durante el tiempo de la exposición al calor es importante la reposición hidroelectrolítica.

Si una persona realiza un trabajo idéntico a distintas temperaturas ambientales, el aumento de su temperatura rectal será igual en todos los casos; sin embargo, cuando la temperatura del ambiente se eleva, aumenta la sudoración, proceso que se entorpece cuando el ambiente es húmedo. Si no se repone rápidamente el líquido perdido, sobreviene la deshidratación y se altera la regulación térmica.

ALTERACIONES PRODUCIDAS POR EL CALOR

Si la producción de calor o su eliminación no es compensada a través de los mecanismos termorreguladores, se producen alteraciones que llegan, en orden creciente, hasta el golpe de calor, a veces de fatales consecuencias.

En la exposición intensa al calor pueden presentarse dolores musculares y espasmos (calambres) como resultado de una gran pérdida de sodio por transpiración, trastorno que se alivia restableciendo el equilibrio hidrosalino.

Un cuadro más avanzado es el agotamiento por el calor, característico de las olas de calor que ocurren al comienzo del verano o en las actividades físicas intensas en días cálidos y en personas no aclimatadas. Aparecen dolores de cabeza, mareos, obnubilación mental, vómitos y pérdida de fuerzas. El tratamiento consiste en guardar reposo a la sombra y reponer el líquido y la sal perdidos.

En cambio, el golpe de calor puede llegar a ser grave y requiere tratamiento médico. Se manifiesta por: postración progresiva, en ocasiones con delirio, piel caliente y seca, boca seca, labios agrietados, lengua seca y temperatura corporal muy alta, que puede superar los 41 a 42° C, luego sobreviene incoordinación neuromuscular y convulsiones. Si no se lo trata rápidamente, puede producirse la muerte.

Algunos entrenadores, equivocadamente, no dan agua a sus atletas durante el ejercicio, lo cual es peligroso. Esta restricción, a la que se agrega la transpiración intensa, lleva a una rápida deshidratación y a la pérdida de electrolitos, sobre todo de sodio; puede aun causar algunas de las enfermedades por calor descritas. Durante la actividad física es muy importante la reposición del agua perdida por el sudor. En un clima cálido conviene beber agua antes del ejercicio. Además, la sal debe reponerse con los alimentos, para lo cual es preciso aumentar su cantidad durante las comidas. No convienen las tabletas de sal, ya que pueden provocar irritaciones gástricas y hasta hemorragias digestivas.

EL TRABAJO EN EL CALOR

Un individuo que trabaja en un ambiente de calor seco, si está a la sombra y la temperatura supera bastante la de su cuerpo, puede adquirir calor por conducción a partir del aire que lo circunda, adquisición que siempre es pequeña. En cambio, si está expuesto a los rayos solares hay mayor captación de calor por radiación; en este caso, la pérdida de calor por evaporación debe ser mayor y se ha de facilitar mediante la ingesta de líquidos y la ropa adecuada.

Si el trabajo se realiza en el calor húmedo, se dificulta la evaporación del sudor, caso en el cual se pierde por transpiración más agua que la que se puede absorber por vía digestiva; el individuo comienza entonces a padecer síntomas molestos como náuseas, vómitos, incoordinación y calambres. Se produce una gran sudoración con poco enfriamiento y la pérdida de agua y sal es excesiva, y puede llegarse a la deshidratación.

Es adecuada la ingesta de por lo menos 20 g diarios de sal. Si se disminuye en forma acentuada esta cantidad, disminuye también la ingesta de agua y aparecen los síntomas de deshidratación, con náuseas, vómitos, taquicardia, hipotensión, mareos y, eventualmente, colapso cardiocirculatorio.

La ingesta de sal debe acompañarse siempre de grandes cantidades de agua; es preferible hacerlo durante las comidas, para una mejor tolerancia.

EXPOSICION AL FRIO

La conservación del calor, necesaria en este caso, se logra a través de fenómenos termodinámicos y de aislación, en los que desempeñan un importante papel la vasoconstricción y el tejido adiposo.

Frente al frío el organismo realiza vasoconstricción periférica, con lo que se produce una disminución de la circulación en las zonas más expuestas. Esta regulación, que es función del hipotálamo, determina un descenso de la temperatura de la piel y la consiguiente disminución de la pérdida de calor por irradiación y conducción.

Se evita el enfriamiento de los tejidos profundos aumentando el metabolismo, por ejemplo, con la actividad física o tiritando, hechos que indudablemente aumentan las combustiones.

La pérdida de calor puede aumentar por el movimiento del aire y la humedad ambiental.

En los climas muy fríos se consigue mantener el equilibrio térmico con dietas ricas en grasas, las cuales tienen un alto contenido calórico. Las personas se sienten mejor comiendo poco por vez y frecuentemente, que con comidas copiosas y espaciadas.

En la exposición al frío intenso los primeros en sufrir las consecuencias son las manos y los pies; mientras el cuerpo no se ha calentado, resulta muy difícil calentar las extremidades; a medida que la temperatura corporal se normaliza se va produciendo vasodilatación en las extremidades y éstas entran en calor.

EJERCICIOS A GRANDES ALTURAS

Hay muchas personas que viven y trabajan a grandes alturas; otras escalan montañas por deporte. Hasta se han hecho olimpiadas a mediana altura, como la de México, en 1968, a 2300 m sobre el nivel del mar.

Desde el siglo XIX se sabe que con el aumento de la altura disminuye la presión parcial de oxígeno en la atmósfera. La presión y la densidad de la atmósfera son mayores a nivel del mar y disminuyen en forma progresiva a medida que aumenta la altura.

La tensión de oxígeno del aire alveolar, y por lo tanto de la sangre, está dada por la ventilación pulmonar y por la composición y presión del aire inspirado.

A causa de la baja densidad del aire a grandes alturas se afecta la mecánica respiratoria, pues el trabajo muscular debe vencer la resistencia de las vías aéreas (no olvidemos que la inspiración es activa). La menor densidad del aire hace que esa resistencia sea menor, lo cual reduce el trabajo para desplazar el volumen de aire respirado. La menor densidad del aire determina también una disminución de su resistencia a los movimientos corporales, lo cual podría mejorar la actuación de velocistas y lanzadores.

En la altura el aire es más frío y más seco, y esto incrementa la pérdida de agua a nivel respiratorio y contribuye a la deshidratación, produciendo sequedad e irritación de las vías aéreas superiores.

Al ser menor la fuerza de gravedad, el trabajo que se necesita para levantar y desplazar el cuerpo disminuye. Esto facilita ciertas actividades deportivas como el salto en alto y el salto en garrocha. Las pruebas que pueden beneficiarse con la altura son todas anaeróbicas; en cambio, la potencia aeróbica merma y se reduce la intensidad de la actividad que puede efectuarse en forma aeróbica.

En México se observó que en carreras, en pruebas de hasta 400 metros, no tuvo influencia la altura. A medida que aumenta el componente aeróbico de la competencia, se va advirtiendo su influencia; se comprobó de tal modo una merma del 3% en los 800 metros, y del 10% en los 5000 y 10.000 metros. Asimismo, el tiempo de recuperación aumentó significativamente con respecto a pruebas realizadas a nivel del mar. Las actividades de velocidad pura de corta duración y los levantamientos de pesas, que son predominantemente anaeróbicos, no resultaron afectados.

Al disminuir la tensión de oxígeno en el aire a causa de la altura, la posibilidad de trabajo máximo disminuye en forma proporcional.

En cuanto a la glucólisis anaeróbica y a la producción de lactato, no se observan diferencias provocadas por la altura; es similar a la de un trabajo igual al nivel del mar, pero la

concentración muscular de fosfatos de alta energía disminuye a medida que lo hace la captación de oxígeno.

Los valores máximos de frecuencia y de volumen minuto cardíacos no se alteran por la altura; tampoco se presentan trastornos electrocardiográficos, lo cual indicaría que no se produce compromiso cardíaco ni de las arterias coronarias. También señala que si el volumen minuto cardíaco es normal, la disminución del consumo máximo de oxígeno debe ser provocada por la reducción del contenido de oxígeno en la sangre arterial dada su baja tensión en la atmósfera.

Después de varios meses de permanencia en las grandes alturas desciende tanto la frecuencia cardíaca como el volumen sistólico, y ello sugiere que disminuye la potencia contráctil cardíaca por el menor aporte de oxígeno.

Cuando una persona llega a determinada altitud experimenta comúnmente trastornos respiratorios; algunas hipoventilan, pero la mayoría presentan polipnea e hiperpnea.

Al cabo de cierto tiempo de permanencia en la altura disminuye la capacidad sanguínea de regular la acidosis, así como la capacidad buffer por el aumento de la excreción urinaria de bicarbonato, que trata de compensar la alcalosis respiratoria ocasionada por la hiperventilación.

Si el individuo permanece cierto tiempo en la altura, su organismo se va aclimatando y aparece poliglobulia, es decir, aumenta el número de glóbulos rojos circulantes y la cantidad de hemoglobina, se normaliza el pH sanguíneo y mejora la circulación cerebral, mientras que en el músculo aumenta la cantidad de mioglobina; todo ello mejora la capacidad aeróbica afectada por la altura.

Por lo común, en el caso de atletas normales, basta un periodo de 2 a 3 semanas para aclimatarse, durante las cuales se efectuará un aumento constante de la intensidad y duración de los ejercicios de entrenamiento.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, W. C.; Bernauer, E. M.; Diel, D. B. y Bomar, J. B.: Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO_2 max and running performance. *J. Appl. Physiol.*, 1975.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Médica Panamericana.
- Burkirk, E. R.: *Decrease in physical working capacity at high altitude. Biomedicine of high terrestrial elevations*. U.S. Army Medical Research Institute of Environmental Medicine. Massachusetts, 1968.
- Daniels, J. T.: Effects of altitude on athletic accomplishment. *Modern Medicine*, 1972.
- Dill, D. B.: Physical performance in relation to external temperature. *Arbeits Physiol*, 1981.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*. Ed. El Ateneo, 1980.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, 1981.
- Saltin, B.: Aerobic and anaerobic work capacity at 2,300 meters. *Med. Thorac.* 24:205, 1967.
- Stemberg, J. B.; Ekblom, B. y Messin, R.: Hemodynamic response to work at stimulated altitude 4,000 m. *J. Appl. Physiol.* 21:1589, 1966.

SISTEMA NERVIOSO | 7

Nuestras funciones orgánicas y volitivas obedecen siempre a órdenes que parten del sistema nervioso, que las gobierna. El sistema endocrino transmite órdenes en algunos casos; ambos sistemas se encuentran permanentemente interrelacionados.

Una función muy importante de los seres vivos es la de reaccionar ante los cambios del medio en que viven; esto se denomina *irritabilidad* y comprende las respuestas a los estímulos que reciben.

ORGANIZACION DEL SISTEMA NERVIOSO

Desde un punto de vista anatómico y acorde con su localización, el sistema nervioso se divide en central y periférico. El central se encuentra alojado en la caja craneana y el conducto raquídeo; está integrado, en sentido craneocaudal, por: cerebro, pedúnculos cerebrales, protuberancia anular, bulbo raquídeo, médula espinal y cerebelo, todos ellos envueltos por las meninges. Pertenecen al sistema nervioso periférico los 12 pares de nervios craneales y los 31 pares de nervios espinales, que conectan el sistema nervioso central (SNC) con los distintos órganos desde donde se recibe información y a los cuales emite órdenes.

El sistema nervioso se divide desde el punto de vista funcional en el de la vida de relación y el de la vida vegetativa. El de la vida de relación, como su nombre lo indica, nos relaciona con el medio ambiente; es el volitivo que recibe información a través de los sentidos y envía órdenes para ejecutar los movimientos voluntarios. El de la *vida vegetativa, o autónoma*, es el que controla nuestras funciones orgánicas, pues al mismo tiempo que realizamos tareas volitivas, se cumplen en el organismo funciones de digestión, respiración, excreción urinaria, etc., las cuales están comandadas por el sistema nervioso autónomo. Este se halla constituido por el *simpático* y el *parasimpático*, que son antagónicos, es decir que cuando uno estimula, el otro deprime. El simpático estimula al aparato circulatorio y deprime a todos los demás aparatos; el parasimpático o vago actúa al revés, o sea, inhibe al circulatorio y estimula a los demás.

LA NEURONA

La unidad fundamental del sistema nervioso es la neurona, célula especializada en la conducción y transmisión de impulsos nerviosos. Las neuronas terminan su división en el período embrionario, lo cual significa que luego no se reproducen, aunque pueden cambiar de tamaño y aumentar el número y la complejidad de sus prolongaciones.

La neurona está provista de prolongaciones; las más cortas y múltiples son las dendritas, que llevan el impulso nervioso en sentido centrípeto. El cilindroeje o axón, de mayor longitud, conduce el impulso en sentido centrípeto, es decir, a otra neurona o al efector.

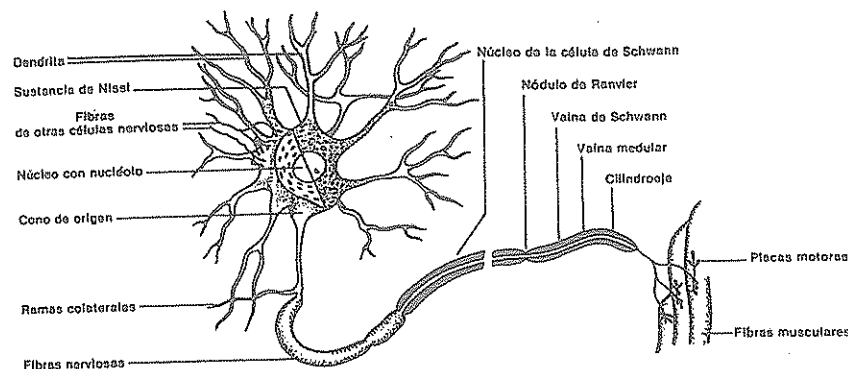


Fig. 7-1. Estructura de una neurona. (Tomado de Mioli, A. B.: *Biología*, 3a. ed. Ed. "El Ateneo", 1982.)

que realizará la orden. Al salir de la neurona el axón es recubierto por diferentes vainas; recibe entonces el nombre de fibra nerviosa, la cual concluye ramificándose en el telodendron o terminación nerviosa.

El cuerpo celular está formado por un núcleo esférico, con un nucléolo, rodeado por el citoplasma (pericarion) y envuelto, a su vez, por la membrana celular.

En el citoplasma se encuentran las mitocondrias, el aparato de Golgi y dos diferenciaciones: los gránulos de Nissl y las neurofibrillas. Los primeros desempeñan un papel metabólico en la neurona y desaparecen cuando ésta se encuentra fatigada o se altera. Las neurofibrillas atraviesan el citoplasma y se extienden a las prolongaciones; sus funciones son poco conocidas.

La fibra nerviosa es una prolongación protoplasmática (axón) del cuerpo de la neurona. El axón a veces presenta una vaina adiposa de mielina y en ocasiones posee también una membrana más fina, el neurilema; ambas envolturas sirven de aislantes para impedir la irradiación del impulso nervioso. Además, el neurilema actúa en la regeneración de la fibra nerviosa.

Funciones de la neurona

Las funciones de la neurona, además de las comunes a todas las células, excepto la de la reproducción, son la capacidad de recibir estímulos, elaborarlos y conducirlos. Tiene asimismo una función genética (crea sus prolongaciones) y una función trófica (mantiene sus prolongaciones).

Las neuronas pueden ser *aferentes*, y son las que reciben el impulso nervioso desde la periferia o *eferentes*, las que transmiten el impulso a los efectores (músculo, glándula). Un tercer tipo son las neuronas intercalares o internunciales, que establecen conexiones entre neuronas próximas entre sí.

La irritabilidad es la propiedad de producir una respuesta a un cambio determinado que actúa como estímulo. Es una característica de casi todas las células y está muy desarrollada en la neurona. La irritabilidad obedece a una excitación, que es un cambio de las condiciones de reposo de la membrana, causado por un estímulo que puede ser químico, eléctrico, térmico, mecánico, etcétera.

En reposo, la membrana plasmática muestra a ambos lados una distribución desigual de iones: el Na^+ se encuentra en mayor concentración en el lado extracelular y el K^+ presenta su mayor concentración en el lado intracelular. Para mantener esta distribución de los

*NO extracelular
- K^+ intracelular*

iones es necesaria la acción de un mecanismo de transporte activo a través de la membrana, que constantemente introduce K^+ en el interior de la célula y expulsa Na^+ desde ésta, en contra de sus gradientes de concentración. Es un mecanismo activo denominado bomba de Na^+ y K^+ ; ese mecanismo, por ser activo produce un gasto permanente de energía que proviene del ATP.

Esto significa que la membrana de la neurona y la de sus prolongaciones están polarizadas, es decir que presentan un desequilibrio de cargas, en el que el lado intracelular de la membrana es electronegativo y el extracelular electropositivo.

Lado extracelular	$\text{Na}^+ \text{K}^+ + + + +$
membrana	
Lado intracelular	$\text{K}^+ \text{Na}^+ - - - -$

Al actuar los diferentes estímulos sobre la membrana, originan un cambio de las condiciones de reposo, que da lugar a una alteración de la distribución de iones y de cargas, perturbación electroquímica llamada *impulso nervioso*.

Cuando la membrana es excitada, se observa un aumento de la permeabilidad al Na^+ ; la bomba de Na^+ y K^+ parece detenerse momentáneamente, de modo que el ion Na^+ se difunde en forma pasiva hacia el interior de la célula, impulsado por su gradiente químico de concentración y por su gradiente eléctrico; la rápida entrada de estas cargas positivas hace que la diferencia de potencial disminuya su valor, lo cual se denomina *despolarización*. Llegan un momento en el que la diferencia de potencial se anula y hasta se invierte, es decir, el lado intracelular queda electropositivo respecto del extracelular.

Transmisión del impulso nervioso

En el momento en que la fibra nerviosa se encuentra en reposo, los iones de Na^+ están concentrados en gran medida en la porción extracelular de la membrana nerviosa, volviéndola eléctricamente positiva, en tanto que la porción intracelular es electronegativa; por lo tanto existe una diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la fibra nerviosa, denominado potencial de reposo. Al aplicarse un estímulo al nervio, la membrana se torna permeable a los iones Na^+ , que penetran hacia el interior del nervio. Como resultado de ello, la parte exterior se vuelve negativa y la interior positiva, es decir, ocurre una inversión de la polaridad del nervio, llamada *potencial de acción*. Además, se genera un flujo local de corriente en la membrana desde el lugar en que se aplicó el estímulo, la cual se regenera a sí misma fluyendo hacia las zonas adyacentes del nervio y provocando en cada zona una inversión de la polaridad, que origina un nuevo potencial de acción y un nuevo flujo de corriente. Este proceso se repite hasta que el potencial de acción se propaga por toda la fibra nerviosa.

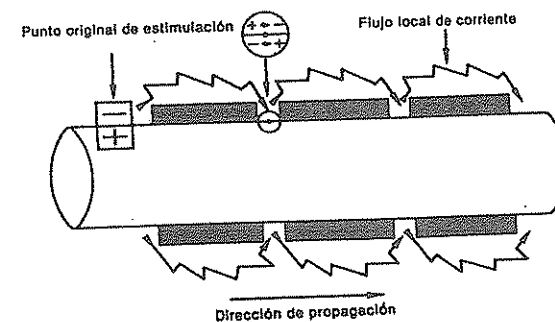


Fig. 7-2. Generación y propagación del impulso nervioso; el flujo de corriente provoca un nuevo potencial de acción y un nuevo flujo de corriente en forma de conducción saltatoria.

En los nervios completos, miélinicos y con neurilema, el impulso se propaga por los nódulos de Ranvier, de uno a otro, a lo largo de la fibra, produciendo una verdadera conducción saltatoria que aumenta la velocidad del impulso nervioso, el cual llega en estas fibras a completar velocidades de 60 a 100 m por segundo. En cambio, en las fibras aisladas, axones desnudos, la conducción es continua y se cumple a una velocidad de solo 6 a 10 m por segundo.

A medida que el impulso nervioso avanza, nuevas zonas de la membrana sufren inversiones de potencial y cambios iónicos, los que después del paso del estímulo retornan a las condiciones de reposo de la siguiente forma:

Tras la inversión del potencial (potencial de acción) la entrada de Na^+ a la fibra se detiene, puesto que se normaliza la permeabilidad de la membrana a ese ion. En este momento aumenta la permeabilidad al K^+ , que sale masivamente de la célula, restableciendo el potencial normal de la membrana (electropositivo del lado extracelular); esto se denomina *repolarización*. Por último, la actividad de la bomba de Na^+ y K^+ restituye la normalidad del reposo y la membrana vuelve a polarizarse.

ESTRUCTURA Y FUNCION DE LA SINAPSIS

La unión de las neuronas por medio de sus fibras nerviosas o su unión con los órganos efectores se llama *sinapsis*; a través de ella se transmiten acciones excitatorias o inhibitorias.

Estas sinapsis son eléctricas en los lugares donde hay un contacto directo de las membranas y donde el impulso nervioso pasa de una neurona a otra sin retardo. En la gran mayoría de las sinapsis, sin embargo, existe una transmisión química, donde se liberan transmisores específicos como la acetilcolina, la noradrenalina o algunos aminoácidos.

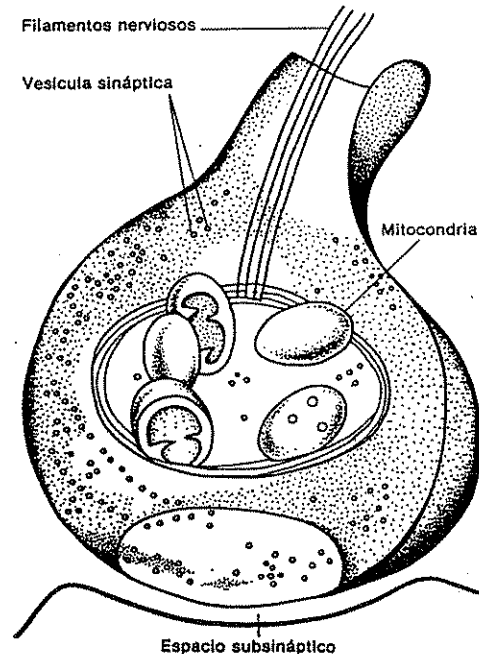


Fig. 7-3. Estructura de una sinapsis con sus filamentos nerviosos, mitocondrias y vesículas sinápticas.

Las sinapsis pueden ser *axodendríticas*, *axosomáticas* o *axoaxónicas*; con el microscopio electrónico se han visto *sinapsis dendrodendríticas*. Varios miles de sinapsis pueden hacer contacto con una neurona. Los contactos no son totalmente estables, sino susceptibles de cambiar durante el desarrollo y en relación con los estímulos que reciben las neuronas.

Cuando el impulso nervioso llega al botón terminal, las vesículas sinápticas allí localizadas se acercan a la membrana y se abren dejando en libertad al neurotransmisor, que al entrar en contacto con la membrana postsináptica perteneciente a otra neurona o al efector genera un nuevo impulso. El neurotransmisor luego es eliminado del espacio sináptico, eliminación que puede realizarse por acción enzimática o por su recaptación por la membrana presináptica.

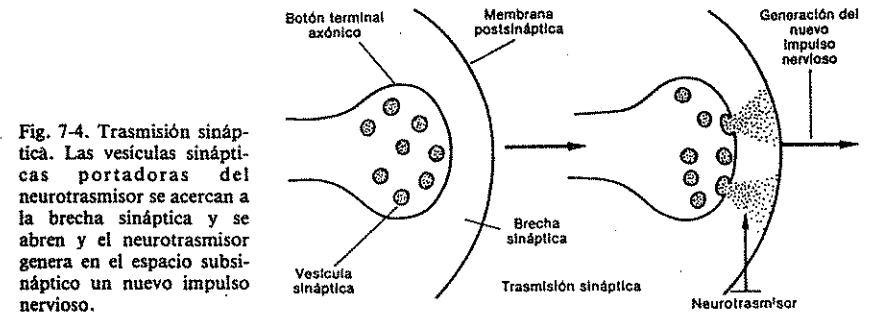


Fig. 7-4. Trasmisión sináptica. Las vesículas sinápticas portadoras del neurotransmisor se acercan a la brecha sináptica y se abren y el neurotransmisor genera en el espacio subsináptico un nuevo impulso nervioso.

LA SENSACION

La sensación es una señal del conocimiento provocada por una modificación del medio interno o externo. Esta modificación, capaz de alterar el estado normal de reposo, se llama estímulo, el cual puede provocar o no un movimiento como reacción del organismo.

Los estímulos excitan estructuras especializadas denominadas receptores. Estos receptores específicos para cada tipo de estímulo informan al SNC a través de sensaciones, con las que la mente construye el conocimiento de las cosas exteriores e interiores sobre la base de experiencias previas, proceso conocido como *aprendizaje*.

Cualquiera que sea el receptor (ojo, oído, piel, tacto, dolor, etc.), el estímulo provoca en las células receptoras una modificación que origina un potencial de acción, el cual se propaga por las vías nerviosas aferentes; en el cerebro, en el lugar correspondiente, se reciben y analizan las sensaciones.

Los receptores se dividen en somáticos y viscerales; los primeros pueden ser exteroceptores o propioceptores; los segundos son visceroceptores.

Los *exteroceptores* se hallan en la superficie corporal y son estimulados por cambios del medio externo. Originan sensaciones bien definidas y localizadas; pertenecen a este grupo el oído, la vista, el olfato y el gusto, que es de contacto, así como los receptores cutáneos: táctiles, térmicos y del dolor.

Los *propioceptores* son estimulados por la presión, el estiramiento muscular y los cambios de tensión de los tendones, que informan al cerebro cómo se encuentra cada una de las partes constitutivas del organismo. Esto se denomina *cinestesia* (del griego *kinesis*, movimiento y *estesia*, sensibilidad). Los propioceptores reciben sensaciones de los músculos, tendones y articulaciones y las transmiten al sistema nervioso central. Son tres los receptores propioceptivos: el huso muscular, el órgano tendinoso de Golgi y los corpúsculos de Pacini.

El huso muscular puede adoptar forma anulospiral o en manojos; es intrafusal, o sea, está dentro del fascículo muscular y es estimulado por el estiramiento del músculo. El órgano tendinoso de Golgi es en parte intrafusal y también se lo encuentra en los tendones; es estimulado por el estiramiento y por la contracción. Por su intermedio una persona sabe, por ejemplo, si tiene el codo flexionado, porque hay por lo menos un músculo estirado y otro contraído que envían información al cerebro.

El corpúsculo de Pacini es laminar y presenta una forma ovalada; se halla debajo de la piel y en las aponeurosis. Sensible a la presión profunda, es estimulado por la deformación de los tejidos que origina la presión; por ejemplo, un individuo sabe que está apoyado en algo por la presión que ejerce su peso sobre el sitio donde se apoya.

MEDULA ESPINAL Y REFLEJO ESPINAL

La médula espinal es la parte más inferior del neuroeje; se encuentra alojada en el conducto raquídeo, y está constituida por sustancia gris y por sustancia blanca. La sustancia gris, con células y fibras amielínicas, es central y adopta la forma de una H. Las dos ramas dorsales son las astas posteriores, y sus ramas ventrales, las astas anteriores. La rama transversal de la H es la comisura gris. La sustancia gris está rodeada por la sustancia blanca, compuesta por fibras mielínicas, que forman los cordones, los cuales trascurren en sentido vertical. La mitad posterior o dorsal de la médula es sensitiva y por lo tanto los cordones posteriores tienen una dirección ascendente; los anteriores, de dirección descendente, son motores.

El nervio espinal está integrado por dos raíces. La raíz posterior llega a la médula, al ganglio de la raíz posterior, y transporta sensaciones exteroceptivas y propioceptivas.

De las astas anteriores sale la raíz anterior; ambas raíces se unen y salen fuera de la columna vertebral formando el nervio espinal, al cual se agrega un ramo de la cadena del gran simpático. De esta manera se constituye el nervio espinal periférico, que es totalmente mixto: sensitivo, motor y de la vida vegetativa.

El reflejo es la resultante motora o secretora de un estímulo sensitivo. Puede ser sumamente complejo, con participación de varios estratos del neuroeje, o puramente espinal, constituyendo el reflejo espinal simple. En éste intervienen, en su forma más elemental, un receptor, una vía nerviosa aferente, una neurona sensitiva localizada en las astas posteriores; una sinapsis, habitualmente ubicada en la comisura gris, una neurona motora, en las astas anteriores, una vía eferente, la unión entre el nervio y el efector, y el efector, que ejecuta el acto reflejo.

La transmisión sináptica es fundamental en la función nerviosa y el reflejo es la unidad primaria de integración. La transmisión del estímulo a través de la sinapsis puede estar condicionada por dos factores, el estado de excitación central y el estado de inhibición central, descritos por Sherrington y de los cuales depende que el estímulo sea transmitido o bloqueado.

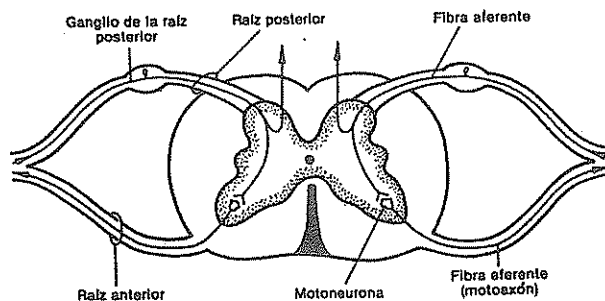


Fig. 7-5. Sección transversal de la médula espinal.

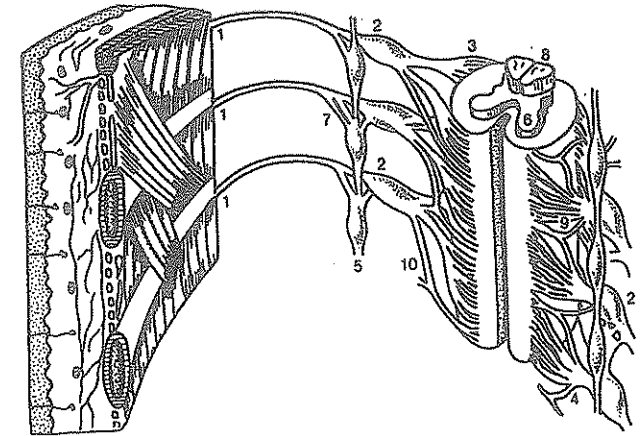


Fig. 7-6. La médula espinal y los nervios espinales. 1, Nervios intercostales; 2, ganglios espinales; 3, raíces dorsales; 4, raíces ventrales; 5, cadena ganglionar simpática; 6, asta anterior; 7, ramas comunicantes; 8, cordones dorsales; 9 y 10, intercambio nervioso entre fibras radiculares.

ado, que se difunda a gran número de neuronas o que esté circunscrito a unas pocas. Esto explica el fenómeno de la inhibición, que evita la respuesta motora a un estímulo que en otras condiciones la produciría; como ejemplo podemos citar que un pinchazo en la región glútea provocaría inmediatamente el reflejo de defensa de retirar la zona afectada, aunque esto no ocurre si nos aplican una inyección: el estímulo existe igualmente, pero se inhibe la respuesta motora.

Los reflejos pueden ser monosinápticos o polisinápticos; los primeros son pocos. Los polisinápticos utilizan además neuronas intermedias que conectan los distintos estratos del neuroeje, y pueden llegar a la corteza cerebral y hacer consciente tanto el estímulo como la respuesta.

Es muy difícil encontrar un reflejo monosináptico; siempre hay interconexión entre los diversos reflejos como consecuencia de la gran cantidad de uniones sinápticas; esta integración se lleva a cabo a niveles de complejidad creciente.

Una característica de los reflejos es la facilitación e inhibición que existe entre las neuronas motoras para que la actividad muscular se realice fácilmente. Un ejemplo de ello es el principio de inervación recíproca, que revela por qué la excitación de un miembro produce su flexión y al mismo tiempo la extensión del miembro del lado opuesto; en el miembro flexionado se contraen los flexores y se relajan los extensores (antagonistas), y en el miembro correspondiente del lado opuesto ocurre lo contrario: hay contracción de los extensores y relajación de los flexores. La inhibición refleja de los músculos antagonistas acompaña casi siempre a la estimulación refleja de los protagonistas.

Un estímulo puede excitar a un solo receptor o a varios de diversos tipos. Cuando los reflejos se originan en receptores diferentes y utilizan una vía final común, sea para excitar o para inhibir, sus efectos se refuerzan; se trata entonces de reflejos sumatorios. Al revés, cuando los estímulos llegan desde dos receptores distintos y causan efectos opuestos (uno de inhibición y otro de estimulación), los reflejos son antagonistas y la respuesta dependerá de la suma y resta de excitación-inhibición.

POSTURA

Las partes constitutivas del organismo guardan cierta relación entre sí, que se denomina *postura*; la característica humana es la postura erecta. En los vertebrados, la postura es activa y va contra la gravedad; es el producto de contracciones musculares que obedecen a

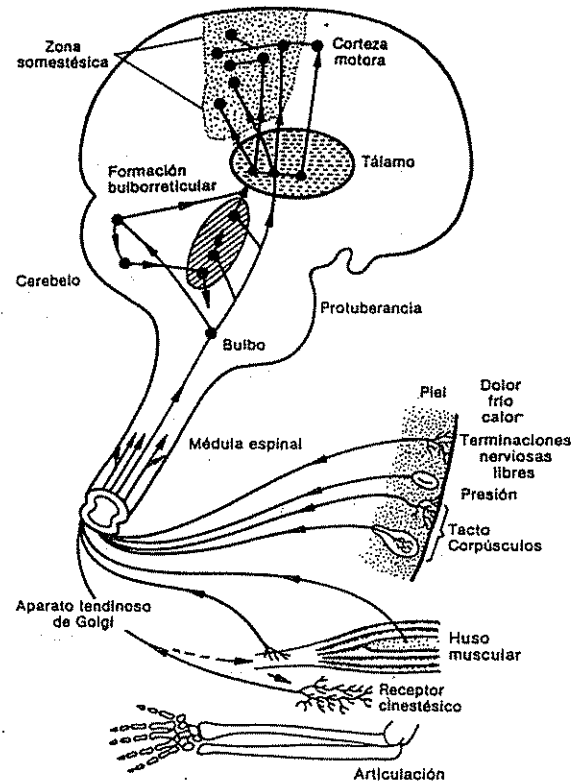


Fig. 7-7. Vías que siguen las distintas sensaciones (Guyton, 1976).

reflejos normales inconscientes, en particular de los músculos antigravitacionales, como son los extensores del tobillo, la rodilla, la cadera y la columna vertebral.

En el mantenimiento de la postura reviste gran importancia el reflejo miotático o de estiramiento y el tono muscular. El tono muscular es un estado de contracción muscular parcial, refleja y constante, mantenida por impulsos asincrónicos de las motoneuronas.

El reflejo miotático, que se observa más fácilmente en los músculos antigravitacionales, responde al estiramiento de un músculo con una contracción del mismo músculo, que ayuda al mantenimiento de la postura. Estando de pie, si nos inclinamos hacia adelante, por ejemplo, son estirados los músculos posteriores; a ese estiramiento responden con una contracción y nos vuelven a llevar a la posición erecta normal; lo mismo ocurre con los músculos anteriores si nos desplazamos hacia atrás.

El laberinto del oído interno también interviene en la regulación de la postura. Los receptores vestibulares, estimulados por acción de la gravedad o por movimientos rotatorios, dan origen a impulsos que al llegar a la corteza cerebral informan sobre la posición y movimientos de la cabeza. Estos receptores se hallan en el oído interno y están formados por el sáculo, el utrículo y los conductos semicirculares.

El sáculo y el utrículo son estimulados por la posición de la cabeza y originan reacciones estáticas de posición; en cambio, la estimulación de los conductos semicirculares depende de los cambios de velocidad del movimiento, sea rectilíneo o circular, que ocurren por aceleración o desaceleración.

CEREBELO

El cerebelo tiene una función reguladora sobre la actividad muscular y recibe información propioceptiva, táctil, visual, auditiva, neurovegetativa y de la corteza cerebral. Todas esas informaciones las utiliza para regular los movimientos a través de sus conexiones con las neuronas de la corteza cerebral y de la médula espinal. Aún no se conoce cómo el cerebelo integra un movimiento. Los trastornos cerebelosos se manifiestan por hipotonía muscular y ataxia, que es la pérdida de la coordinación de los movimientos, y también por astenia, que significa debilidad muscular.

CORTEZA CEREBRAL

Es el punto final de las vías aferentes y de donde parten las eferentes. Los impulsos que llegan a la corteza cerebral producen un cambio, las sensaciones, que originan o no una respuesta. Además existen movimientos o acciones que no tienen punto de partida en la estimulación de un receptor, sino que nacen en la misma corteza cerebral, por decisión propia, y son los actos voluntarios.

Los hemisferios cerebrales están divididos en cuatro lóbulos por las cisuras de Silvio, de Rolando y calcarina, a los que se denomina frontal, temporal, parietal y occipital.

La parte anterior de la cisura rolándica es predominantemente motora y la posterior fundamentalmente sensorial.

El área motora, ubicada en la zona prerrolándica, rige los movimientos coordinados del hemicuerpo del lado opuesto. Salvo los músculos del cráneo y la cara, los músculos de cada región del cuerpo tienen representación separada en el área motora. A medida que aumenta la complejidad de los movimientos, la región correspondiente tiene una mayor

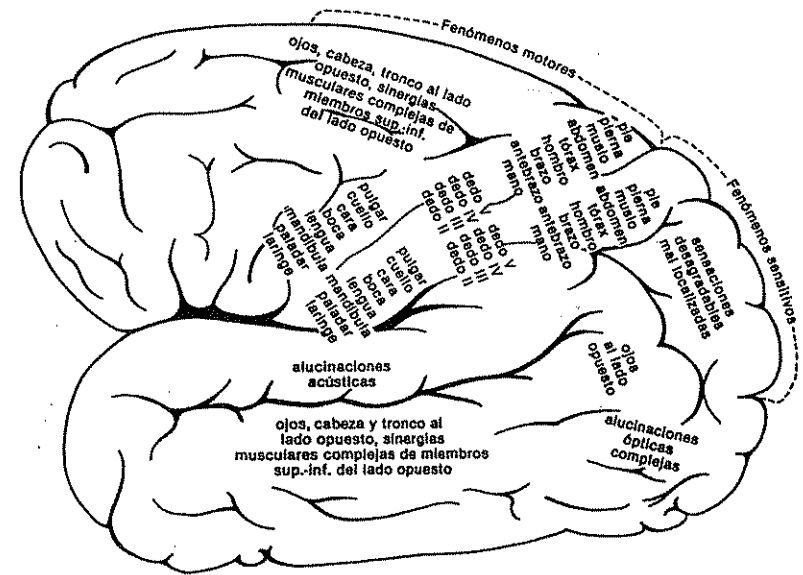


Fig. 7-8. La corteza y algunas localizaciones cerebrales.

representación cortical; por ejemplo: la superficie que controla los movimientos de la mano es más extensa que la que controla a todo el tronco.

Si se estimula a la corteza cerebral motora, se producen movimientos coordinados y no contracciones musculares aisladas, las cuales se logran por estimulaciones medulares.

REFLEJOS CONDICIONADOS

Todos los reflejos cumplen el siguiente recorrido: estímulo-receptor-vía aferente-sistema nervioso central-vía eferente-efector.

Hay reflejos innatos que no necesitan de una experiencia previa; son los congénitos o incondicionados, comunes a todos los seres humanos; por ejemplo, el reflejo de defensa, el de retirar un lugar afectado por algún estímulo doloroso, los reflejos del mantenimiento de la postura, el rotuliano, el palpebral, etcétera.

Además, existen otros reflejos, denominados condicionados por su descubridor Ivan Pavlov. Se elaboran en el transcurso de la vida y lo hacen merced al aprendizaje por la repetición; no son estables, pues pueden desaparecer transitoria o definitivamente. Estos reflejos cumplen un importante papel en la vida del hombre porque prevén ciertos acontecimientos y permiten anticiparse a ellos, como sucede con las alteraciones respiratorias y circulatorias que se producen antes de una actividad física.

Estos reflejos condicionados, o mejor dicho, el aprendizaje necesario para lograrlos, constituye la base de los movimientos automáticos. Hacen que el jugador no piense en los movimientos que realiza, sino que los ejecuta automáticamente, mientras su corteza cerebral discurre qué es lo que se hará en la próxima jugada o a qué compañero habrá de pasarse la pelota.



Fig. 7-9. Perfección y equilibrio.

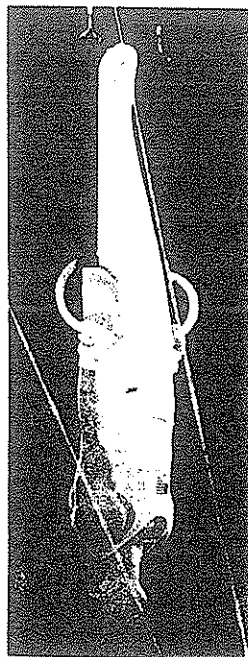


Fig. 7-10. Equilibrio en posición invertida en las argollas.



Fig. 7-11. Gracia, movimiento y equilibrio.

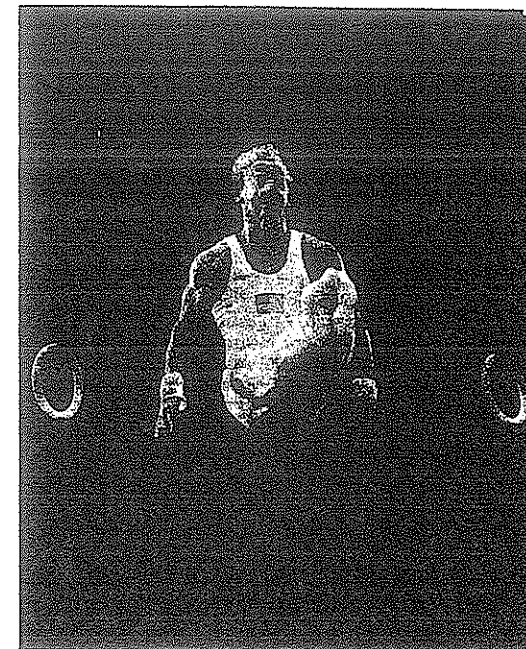


Fig. 7-12. Coordinación de movimientos.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, G. I. y Tsuhara, N.: Cerebro-cerebellar communication system. *Physiol. Rev.*, 1974.
- Asanuma, H.: Cerebral cortical control of movement. *Physiologist* 16:143, 1973.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Méd. Panamericana. Buenos Aires.
- Axelrod, J.: Neurotransmitters. *Sci. Am.*, 1974.
- Basmajian, J. V.: *Electrofisiología de la contracción muscular*. Ed. Méd. Panamericana. Buenos Aires, 1976.
- Brodal, A.: *Neurological anatomy in relation to clinical medicine*, 2a. ed. Oxford University Press. N. York, 1969.
- Casper, H.: Sistema nervioso central. En Keidel, W. D.: *Fisiología*, págs. 493-548. Salvat Editores. Barcelona, 1971.
- De Robertis, E. D. P. y De Robertis, E. M. F.: *Biología celular y molecular*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1984.
- Eccles, J. C.: The synapsis. *Sci. Am.*, 1965.
- Elias, M. H. y Pauly, J. E.: *Human microanatomy*, 2a. ed. Da Vinci Publ. Co. Chicago, 1961.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Méd. Panamericana, 1984.
- Gilbert, P.: How the cerebellum could memorize movements. *Nature*, 1975.
- Gutman, E. A.: Neurothrophic relation. *Am. Rev. Physiol.* 38:217, 1976.
- Granit, R.: The basis of motor control. Academic Press, Londres, 1970.
- Granit, R. y Burke, R. E.: The control of movement and posture. *Brain Res.* 1973.
- Guyton, A. C.: *Estructura e função do sistema nervoso*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1974.

- Hebb, C.: Biosynthesis of acetylcholine in nervous tissue. *Physiol. Rev.* 1972.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.
- Hubel, D. y col.: *El cerebro*. Ed. Labor. Barcelona, 1981.
- Keidel, W. D.: *Fisiología*. Salvat Editores. Barcelona, 1971.
- Lullies, H.: El nervio periférico. En Keidel, W. D.: *Fisiología*, págs. 353-393, Salvat Editores. Barcelona, 1971.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, 1981.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieris, C.: *Evaluación y entrenamiento*. Labemorf, 1985.
- Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento*. Ed. Kapelusz. Buenos Aires, 1980.
- Pavlov, I. P.: *Conditioned reflexes*. Oxford University Press, 1927.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1983.
- Poter, J.; Mora Rubio, J. y Vergara, I.: *Neuroanatomía básica*. Imprenta de la Universidad Nacional. Bogotá, 1963.
- Roberts, T.: *Neurophysiology of postural mechanisms*. Plenum Publ. Co. New York, 1967.
- Schadé, J. P.: Cómo funciona el sistema nervioso. *Rass.* N° 1 8:53, 1983.
- Selkurt, E. E.: *Fisiología*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1974.
- Timo, T. C.: *Efeitos da estimulação do cortex cerebelar sobre reflexos espinais monossinapticos*. Riberão Preto. S. Pablo, 1962.
- Venerando, A. y Lubich, T.: *Medicina dello sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.

SISTEMA MUSCULAR | 8

El músculo actúa como una máquina que transforma la energía proveniente de los alimentos en energía mecánica con desprendimiento de calor. Para que este proceso pueda ocurrir son necesarios tres elementos que actúan en forma sucesiva: un estímulo, que normalmente es nervioso, una serie de reacciones químicas que ceden energía y un acortamiento del diámetro mayor, del músculo, que es la consecuencia mecánica de los otros dos procesos.

En nuestro organismo existen tres tipos de tejido muscular, el estriado, el liso y el cardíaco. Dada la naturaleza de esta obra, estudiaremos solo el primero. El músculo liso es involuntario y se ocupa de los movimientos de las vísceras, por ejemplo, los movimientos peristálticos del tubo digestivo, en tanto que el cardíaco forma el miocardio, que con su contracción constituye la bomba cardíaca que mantiene la circulación.

EL MUSCULO ESTRIADO

El músculo estriado o esquelético está formado por células, llamadas fibras musculares, y además por tendones o aponeurosis que permiten su inserción ósea, de donde traccionarán o se fijarán para realizar su función.

Las fibras musculares son de forma cilíndrica, afinada en sus extremos. Tienen un diámetro de alrededor de 10 a 100 μ y una longitud que va desde 1 mm hasta 30 cm las más largas, que son las del músculo sartorio.

Unidades de 100 a 150 fibras musculares se unen, rodeadas de una vaina de tejido conectivo llamada perimisio, y constituyen un fascículo. Este se une a otros fascículos, siempre rodeados por perimisio, y forman un músculo completo, envuelto por otra membrana, el epimisio. Todas las membranas serosas se adosan entre sí en los extremos del músculo y constituyen el tendón, que lo fija al hueso. Por lo común existe una aponeurosis que recubre al músculo y le ofrece una protección adicional. Todas las vainas le forman al músculo una armazón estructural resistente y algo elástica.

LA FIBRA MUSCULAR ESTRIADA

La fibra muscular, como cualquier célula, está rodeada en toda su longitud por una membrana celular que recibe el nombre de *sarcolema*, que la aísla de las demás. Dentro se encuentra el sarcoplasma y numerosos núcleos situados en la periferia, junto al sarcolema; esta ubicación facilita los procesos contráctiles de la fibra. La organización estructural está adaptada al acortamiento unidireccional.

En el sarcolema se hallan los elementos comunes a todas las células y además tres componentes sumamente diferenciados. Unos son miofilamentos constituidos fundamentalmente por proteínas y que se llaman *miofibrillas*; el segundo componente es una diferen-

ciación del sistema de endomembranas, el *retículo sarcoplásmico*, que actúa en la conducción dentro de la fibra y en la coordinación de la contracción de las diferentes miofibrillas. El último componente está formado por las mitocondrias, que en la fibra muscular se llaman *sarcosomas* y que a veces alcanzan dimensiones considerables. El número de mitocondrias aumenta según la frecuencia con la cual el músculo se contrae y es grande, por ejemplo, en el miocardio.

FIBRAS ROJAS, BLANCAS E INTERMEDIAS

El característico color rojo del músculo está dado por un pigmento que se encuentra en el sarcoplasma y que se denomina *mioglobina*, de estructura química parecida a la de la hemoglobina de los glóbulos rojos. Tiene la capacidad de almacenar oxígeno dentro de la célula en forma de oximioglobina, la que cede ese oxígeno en los procesos aeróbicos de energía para la contracción muscular.

Hay fibras que poseen mayor cantidad de mioglobina, las fibras rojas; otras tienen poca cantidad, las fibras blancas, y entre ambas se encuentran las intermedias.

Hay autores que opinan que las fibras rojas contienen menor cantidad de glucógeno y mayor cantidad de sustancias granulosas en el sarcoplasma. En el corte trasversal de un fascículo, las fibras rojas se presentan de forma redondeada y ocupan la parte central, mientras que las blancas son poligonales y ocupan la periferia.

Estas fibras se hallan en todos los músculos y a veces predominan unas sobre otras, y de acuerdo con el tipo que prevalece toma el nombre el músculo.

Las fibras rojas son llamadas CL, es decir, de contracción lenta (tipo I o ST de los autores ingleses, *slow-twitch*), y las blancas son CR o de contracción rápida (tipo II o FT de los autores ingleses, *fast-twitch*).

Las fibras CL tienen gran capacidad oxidativa y poco poder glucolítico, por lo que son más apropiadas para esfuerzos prolongados (resistencia); por eso el músculo rojo presenta contracciones más lentas y fuertes y es más resistente a la fatiga. Son músculos rojos, por ejemplo, los músculos posturales y el diafragma.

Las fibras CR tienen poco poder oxidativo y gran capacidad glucolítica; son más aptas para los esfuerzos rápidos e intensos (velocidad, potencia) y por lo tanto son de contracción más rápida y potente, pero se fatigan más rápidamente que los rojos; como ejemplo de este tipo de músculo están los flexores de la mano.

A su vez, en las fibras CR se distinguen dos subtipos: el II A, con predominancia glucolítica, específico para el trabajo anaeróbico (velocidad pura), y el II B, con más proporción de componente oxidativo y mayor capacidad para un trabajo mixto anaeróbico y aeróbico, lo cual favorece la velocidad prolongada, como en los 800 y 1500 metros llanos.

En trasplantes musculares y en varias experiencias se ha comprobado que los músculos rojos, puestos en el lugar de los blancos y obligados a cumplir su función, con el tiempo sufren una disminución en su contenido de mioglobina y presentan menor resistencia a la fatiga; esto indica que las características funcionales de un músculo están relacionadas con el tipo de trabajo que debe realizar.

El entrenamiento provoca modificaciones estructurales de la fibra muscular, sin alterar el porcentaje de fibras rojas o blancas, lo cual depende de la herencia y es inalterable. En realidad, determina una hipertrofia de esa fibra, que consiste en aumento del sarcoplasma, aumento del tamaño y del número de las miofibrillas y de las mitocondrias y aumento de las enzimas, tanto glucolíticas como oxidativas, y de las reservas de glucógeno muscular.

Los atletas que se especializan en velocidad, salto, levantamiento de pesas y lanzamiento presentan mayor cantidad de fibras blancas (CR) en sus músculos. Por otro lado, los corredores de medio fondo (los fondistas y los ciclistas tienen mayor cantidad de fibras rojas, y son intermedias en quienes practican fútbol, tenis, voleibol u otros deportes en los que no predomina una determinada especialidad. Se podría saber a qué especialidad debe dedicarse un atleta conociendo, por medio de biopsias, su conformación muscular.

Tabla 8-1. Diferencias entre las fibras CR y CL

Diferencias	Fibras CR	Fibras CL
Histológicas		
Dimensión y color	Fibras grandes y blancas	Fibras menores y más rojas
Sarcoplasma	Sin granulaciones	Con granulaciones
Miofibrillas	Numerosas	Escasas
Mitocondrias	Grandes y numerosas	Pequeñas y numerosas
Líneas Z	Estrechadas	Anchas
Retículo sarcoplásmico y sistema tubular	Abundante y bien desarrollado	Escaso; rudimentario; el sistema tubular se confunde con las líneas Z
Inervación	Grandes motoneuronas con conducción rápida	Pequeñas motoneuronas con conducción lenta
Placas motoras	Bien separadas, pocos capilares	Difusas, con muchos capilares
Fisiológicas		
Tipo de contracción	Contracción y relajación rápidas	Contracción lenta y progresiva
Tétanos	Rápido y de poca duración	Lento, de gran duración
Potencial	Potencial de reposo más alto	Potencial de reposo más bajo
Actividad	Salida rápida al estado activo	Salida lenta al estado activo
Resistencia	Fatiga rápida	Mayor resistencia a la fatiga
Tensión desarrollada	Rápidamente llega a elevadas tensiones	Llega lentamente a la tensión máxima
Elasticidad	Baja	Grande
Bioquímicas		
Metabolismo	Principalmente glucolítico (gran actividad ATPásica)	Fundamentalmente oxidativo (gran actividad de la succinildeshidrogenasa)
Contenido en mioglobina	Bajo	Alto
Glucógeno	Gran reserva	Menor reserva
Na y K	Más K	Más Na
Aminoácidos	Concentraciones diferentes de aminoácidos	Concentraciones diferentes de aminoácidos

Tomado de Venerando y Lubich: *Medicina dello sport*. Società Editrice Universo, Roma, 1974.

IRRIGACION DEL MUSCULO

Los músculos reciben los elementos necesarios para su combustión (oxígeno y glucosa) a través del sistema circulatorio. Una o varias arterias penetran en cada músculo y se dividen en numerosas arteriolas y éstas, a su vez, en miles de capilares que trascurren dentro del

fascículo, entre las fibras musculares. Esos capilares tienen paredes muy finas que permiten el fácil paso de sustancias y oxígeno a las células, y desde ellas, el de los productos de desecho.

En las arteriolas y capilares musculares el flujo sanguíneo aumenta o disminuye por vasodilatación o vasoconstricción, lo cual responde a las necesidades metabólicas locales. En reposo las necesidades son pocas y hay vasoconstricción con pasaje escaso o nulo de sangre; cuando comienza la actividad, por efecto de los metabolitos ácidos y de la temperatura, se produce vasodilatación y aumenta el flujo sanguíneo.

En contracciones prolongadas e intensas, la circulación se detiene temporalmente por la compresión que ejercen sobre los capilares las fibras contraídas.

INERVACION DEL MUSCULO

En los músculos penetran uno o más nervios que contienen fibras nerviosas sensitivas y motoras provenientes del sistema nervioso central; estos nervios contienen gran cantidad de axones motores que inervan a cada fascículo.

Se llama *unidad motora* a la motoneurona, su axón con sus ramificaciones, la unión mioneural, la sinapsis neuromuscular o placa motora y todas las fibras inervadas por ese axón que corresponden a un fascículo. Esta unidad motora es la unidad anatomofuncional del sistema neuromuscular.

Existen unidades motoras de muchas fibras y otras de muy pocas, como en los músculos del ojo, donde cada unidad motora tiene escasas fibras, lo cual da una idea de la abundante cantidad de neuronas que los comanda, hecho que redundan en la gran precisión de los movimientos oculares.

NUMERO Y TIPOS DE MUSCULOS

El tejido muscular es indudablemente el mayor componente del organismo: representa del 40 al 45 % del peso corporal. Se ha calculado que existen alrededor de 250 millones de fibras musculares repartidas en aproximadamente 434 músculos, de los cuales unos 75 intervienen en la postura y movimientos de las palancas; los demás son pequeños y cumplen funciones específicas, como la fonación, la deglución, los movimientos oculares, etcétera.

Algunos músculos son laminares, planos, como los oblicuos del abdomen; otros son delgados y largos como el sartorio; otros fusiformes, como los isquiotibiales; otros en abanico, como los pectorales, etcétera.

ESTRUCTURA DE LA MIOFIBRILLA

Las miofibrillas, parte contráctil de la fibra muscular, son formaciones cilíndricas, alargadas, de alrededor de $1\ \mu$ de diámetro y con estriaciones transversales, es decir, bandas claras y oscuras alternadas. Las bandas claras se denominan bandas I, que es la inicial de isotrópica (esto quiere decir que la propagación de la luz polarizada a su través ocurre con la misma velocidad, cualquiera que sea el plano de incidencia, y posee por lo tanto el mismo índice de refracción). Las bandas oscuras se llaman bandas A, que es la inicial de anisotrópicas (en este caso la velocidad de propagación de la luz polarizada difiere según la dirección por la que la atraviesa, es decir que es birrefringente, porque presenta dos índices de refracción distintos).

En el centro de la banda A se encuentra una zona menos densa, que la divide en dos hemidisks oscuros, y se denomina línea H (disco de Hensen), en el centro de la cual se puede encontrar la línea M. En un músculo relajado, la banda A mide alrededor de $1,5\ \mu$ de largo y la banda I $0,8\ \mu$. En el centro de la banda I hay una zona más oscura, llamada línea o disco Z.

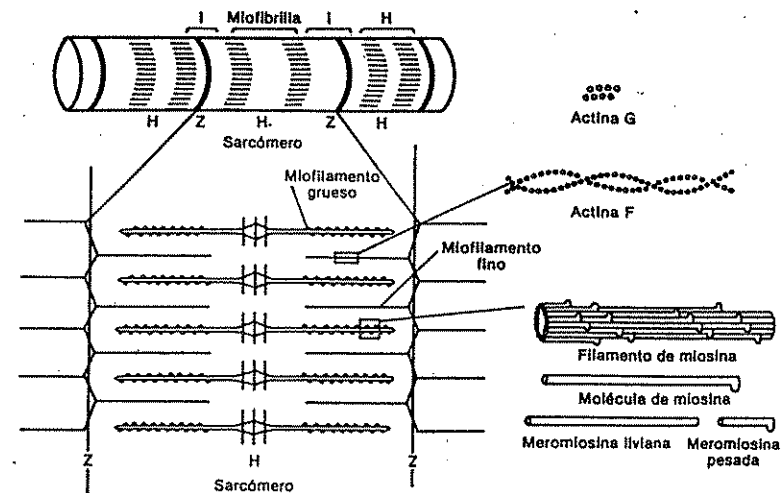


Fig. 8-1. Estructura de la miofibrilla. (Tomado de Pini, M.C.)

La unidad funcional de la miofibrilla es el *sarcómero* y se halla comprendida entre dos líneas Z. El sarcómero está compuesto entonces por una banda A rodeada por dos hemibandas I.

Observando con más aumento, se puede constatar que el sarcómero está constituido por filamentos finos y gruesos en forma intercalada, simétricamente y paralelos entre sí y en número de 70 a 2500 por sarcómero. Los filamentos finos están formados por actina y los gruesos por miosina, que son las proteínas musculares más importantes. Cada filamento grueso se halla rodeado por seis filamentos finos que delimitan un hexágono en una sección transversal de la miofibrilla.

La actina se presenta a modo de dos cadenas, entrelazadas, como finos collares, en que cada eslabón está formado por una molécula de actina. La molécula de miosina, por su parte, se asemeja a un palo de golf y está constituida por dos subunidades, la meromiosina liviana, que correspondería al mango del palo de golf, y la meromiosina pesada, que formaría la cabeza; ésta es la que posee actividad ATPásica y se liga a la actina en el proceso de la contracción muscular.

Los miofilamentos gruesos tienen $100\ \text{Å}$ de espesor y $1,5\ \mu$ de largo, y están separados por un espacio de $400\ \text{Å}$. Los miofilamentos finos tienen $50\ \text{Å}$ de espesor y $1\ \mu$ de largo, y además de actina, tienen moléculas de tropomiosina y troponina.

La molécula de actina es pequeña y de forma globular; la tropomiosina es lineal, larga y delgada, en forma de hilo, situado sobre la cadena de actina, en los surcos de la doble hélice. La troponina, de aspecto globular, se encuentra en la extremidad de cada molécula de tropomiosina, la cual cubre a siete moléculas de actina.

Como ya se dijo, ambos tipos de filamentos están al mismo nivel y se superponen en parte, lo cual depende del grado de contracción del sarcómero. Durante la relajación la banda I contiene solo filamentos finos, el disco H solo filamentos gruesos y la banda A filamentos finos y gruesos. Visto en un corte transversal, cada filamento grueso se halla rodeado por seis finos y cada filamento fino está entre tres gruesos.

Las líneas Z, que delimitan el sarcómero, no cambian durante la contracción y están formadas por alfa-actinina, proteína que se une a los filamentos finos de actina.

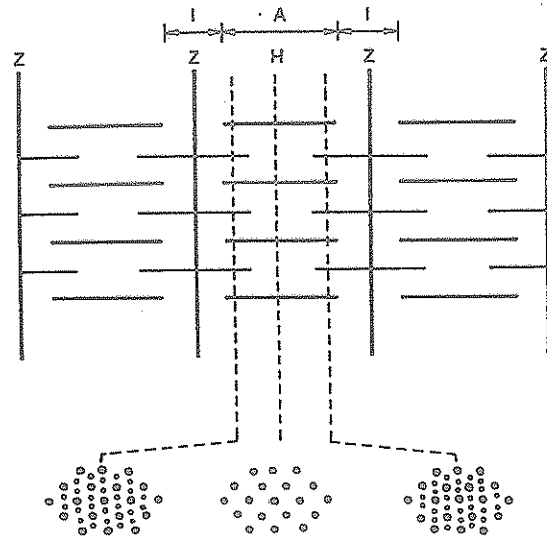


Fig. 8-2. Representación esquemática de la estructura de la miofibrilla. Obsérvese cómo cada filamento grueso está rodeado por seis filamentos finos y cada uno de éstos por tres gruesos. (Tomado de Pini, M.C.)

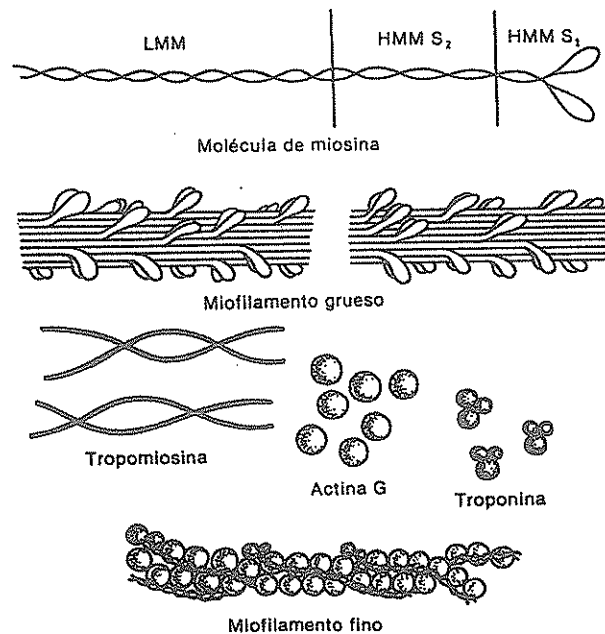


Fig. 8-3. Estructura de los miofilamentos finos y gruesos. LMM, meromiosina liviana; HMM S₁ y HMM S₂, meromiosinas pesadas. (Tomado de De Robertis, E.D.P. y De Robertis, E. M. F.)

TEORIA DEL MECANISMO DE DESLIZAMIENTO DURANTE LA CONTRACCION MUSCULAR

El proceso de la contracción muscular se explica por el deslizamiento, durante el cual los miofilamentos finos se desplazan con respecto a los gruesos y acercan las líneas Z.

En reposo, los puentes transversales constituidos por las "cabezas de palos de golf" de la miosina están separados de los filamentos finos. El movimiento se produciría por el acople y deslizamiento de este puente de la siguiente manera:

- 1) Un puente transversal (miosina) se une a un sitio determinado de una molécula de actina.
- 2) El puente transversal unido a la molécula de actina sufre un cambio, "se dobla", desplaza el punto de unión hacia el centro de la banda A y arrastra al filamento fino, se suelta y se une a la molécula de actina siguiente formando un nuevo puente transversal, con lo cual recomienza el ciclo. De tal manera movilizaría a los miofilamentos finos de actina de cada mitad del sarcómero hacia el centro de éste.

La energía de ese proceso deriva del ATP, degradado por una enzima, la ATPasa, presente en el puente transversal. El proceso de deslizamiento se debería a que las moléculas de actina se encuentran polarizadas en direcciones opuestas en cada medio sarcómero.

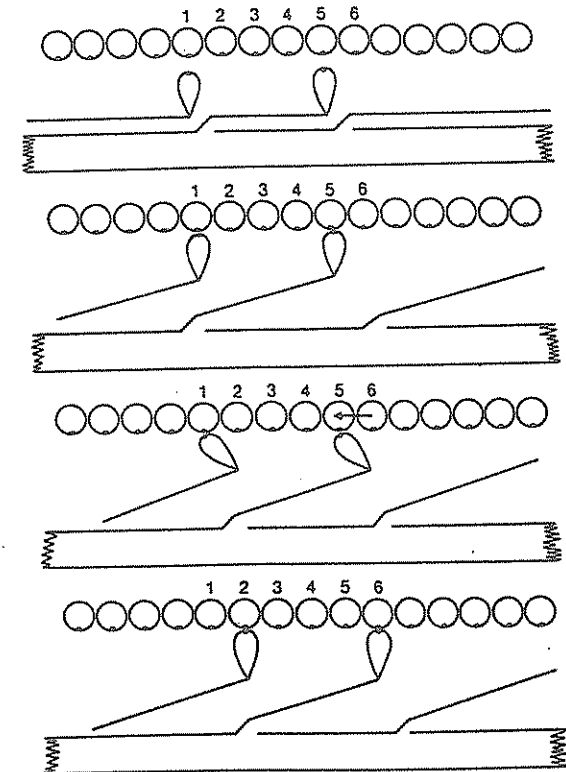


Fig. 8-4. Modo de actuar de los miofilamentos. Unión y rotación de las "cabecitas" de miosina hacia una molécula de actina; luego se separan y se unen a la siguiente. (Tomado de De Robertis.)

La transición entre reposo y actividad depende de la concentración del calcio libre, el cual está controlado por las proteínas reguladoras troponina y tropomiosina del siguiente modo: en ausencia del calcio, las proteínas reguladoras no permiten la unión actina-miosina. Cuando la concentración del calcio llega a cierto nivel, se produce la contracción al fijarse este ion a la troponina y luego la tropomiosina transmite la influencia de la troponina a lo largo de los siete monómeros de actina globular.

De la manera explicada, las miofibrillas forman la parte mecánica de la contracción; el combustible necesario que provee la energía se encuentra en el sarcoplasma, donde existen enzimas glucolíticas, proteínas como la mioglobina y mitocondrias, llamadas sarcosomas en las miofibrillas, de gran importancia en el proceso oxidativo. Además, el músculo contiene alrededor de 1% de glucógeno y 0,5% de fosfocreatina como fuente de energía, que proviene fundamentalmente de la degradación del ATP.

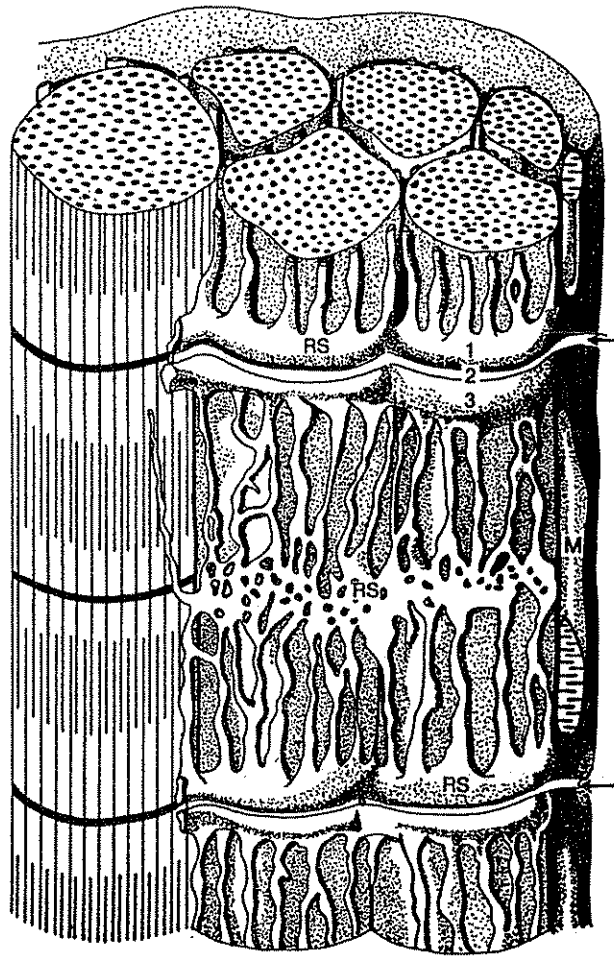


Fig. 8-5. Forma de actuar del retículo sarcoplásmático. A la derecha (flechas) parten los túbulos del sistema T, que se unen al sistema de las cisternas del retículo sarcoplásmico (RS) y de allí transmiten la excitación a las miofibrillas. (Tomado de Pini, M. C.)

El acoplamiento excitación-contracción es el mecanismo por el cual los impulsos nerviosos provocan la contracción muscular.

Al llegar el potencial de acción a la placa neuromuscular se produce la transmisión sináptica química. Tiene lugar entonces la despolarización de la membrana y el potencial de acción es conducido a lo largo de la fibra muscular, estimulando así la contracción.

El retículo sarcoplásmico se encuentra en el sarcoplasma y se extiende entre las miofibrillas. Es un sistema reticular continuo, limitado por membranas, que presenta dos componentes principales, uno longitudinal y otro transversal. El sistema transversal o T está formado por vesículas y túbulos situados a nivel de las líneas Z; el longitudinal se halla formado por tubos unidos entre sí, que cubren el sarcómero y terminan en las llamadas cisternas terminales, cerca de las líneas Z.

El sistema T se continúa con el sarcolema y actúa en la conducción de impulsos desde la superficie del sarcolema hasta la profundidad de la fibra.

El Ca^{2+} se acumula en el retículo sarcoplásmico. Cuando el músculo es estimulado, aumenta su concentración e induce la contracción. Al llegar el potencial de acción, se abren los canales de calcio y éste es liberado.

Entonces, a la llegada del impulso nervioso: a) la señal es recibida en las líneas Z por medio del sistema T; b) el acoplamiento del sistema T con las cisternas terminales da lugar a liberación de calcio; 3) el Ca^{2+} induce al proceso de la contracción mediante la interacción actina-miosina utilizando ATP como energía; y 4) el Ca^{2+} es retomado por el retículo sarcoplásmico por acción de la bomba de Ca^{2+} , y esto origina la relajación muscular.

PROCESOS QUÍMICOS DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

Los fenómenos químicos que aportan la energía para la contracción muscular, a partir del glucógeno y el ATP, y los procesos de recuperación del ATP, fueron descritos en la sección energía para la actividad; solamente nos referiremos a las bases moleculares de la contracción muscular.

Los procesos químicos que ocurren a nivel celular y que proveen energía son reversibles en su mayor parte. Pueden ser de dos tipos, anaeróbicos y aeróbicos. En los primeros se produce la contracción y en los segundos la recuperación muscular.

Las reacciones anaeróbicas son más rápidas que las aeróbicas por el hecho de que se efectúan con sustancias que están dentro de la fibra muscular; en cambio, las aeróbicas dependen del oxígeno transportado por la sangre.

Las reacciones químicas ocurren en forma encadenada y en tres etapas:

Primera etapa: Comprende la desintegración del ATP por acción de la enzima ATPasa, que da lugar a ADP y a un radical fosfórico altamente energético, que es utilizado para la contracción muscular.

El proceso continúa con la resíntesis del ATP a partir del ADP, resultante de la desintegración anterior, y de un radical fosfórico que proviene de la desintegración de la PC por acción de la enzima CPasa. Estas reacciones reversibles constituyen la reacción anaeróbica alactácida, en ausencia de oxígeno y sin producción de ácido láctico, la cual puede realizarse durante periodos muy cortos.

Segunda etapa: Corresponde al metabolismo anaeróbico láctico. En esta etapa de glucólisis anaeróbica cada molécula de glucosa se desdobla en dos moléculas de ácido pirúvico, con desprendimiento energético capaz de resíntetizar cuatro moléculas de ATP, pero las reacciones de refofosforilación consumen dos moléculas de ATP y el resultado es la recomposición de solo dos moléculas de ATP; por eso esta contracción puede realizarse durante un periodo breve.

Tercera etapa: Es la del metabolismo aeróbico, la que a través del ciclo de Krebs y del sistema de transporte de electrones ETS termina en CO_2 y H_2O , resíntetizando 36 moléculas de ATP.

Durante el ciclo de Krebs, o del ácido tricarboxílico, cada molécula de ácido pirúvico da como productos finales H_2O y CO_2 y los átomos de hidrógeno resultantes son captados por las enzimas transportadoras de hidrógeno NAD (nicotinamida-adenina-dinucleótido) y FAD (flavina-adenina-dinucleótido). El sistema de transporte de electrones, o ETS, está formado por una cadena de enzimas, los citocromos, los que transfiriendo electrones desprenden energía, la cual produce fosforilación con resíntesis de ATP. Los sistemas Krebs —ETS— recomponen en consecuencia 36 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa.

Vemos entonces que por cada molécula de glucosa se recomponen 2 ATP en forma anaeróbica y 36 ATP en forma aeróbica. Esto explica que cuando se realiza metabolismo aeróbico pueden continuar las contracciones durante mucho tiempo, pues la energía que se gasta es resintetizada.

TIPOS DE CONTRACCION MUSCULAR

Las contracciones musculares pueden ser de cuatro tipos diferentes:

Contracción isotónica. El músculo al contraerse disminuye uno de sus diámetros; se la llama también contracción *concéntrica* o *dinámica*. En este caso se produce trabajo, es decir, fuerza por distancia, y hay desplazamiento de por lo menos un punto de inserción, movilizand una palanca. Este tipo de contracción es la utilizada en la mayoría de las actividades.

Contracción isométrica. El músculo se contrae pero no se modifican sus diámetros; solamente se produce tensión, fuerza y no hay trabajo porque la distancia es igual a cero. Ejemplo de este tipo de contracción sería sostener un peso sin moverlo o tratar de levantar algo muy pesado, superior a la fuerza desarrollada; son contracciones de tipo estático.

Contracción excéntrica. El músculo se alarga a medida que produce tensión; esto se observa cuando bajamos un peso o resistimos un movimiento realizándolo contra la gravedad, como cuando se desciende una escalera.

Contracción isocinética. Es una contracción máxima a velocidad constante en todo el movimiento. A pesar de que las contracciones isotónicas e isocinéticas son concéntricas, no son iguales. Durante la isocinética se desarrolla una tensión máxima durante todo el movimiento, lo cual no ocurre en la contracción isotónica. Para utilizar contracciones isocinéticas se necesitan aparatos que fundamentalmente regulen la velocidad, de manera que se mantenga constante, cualquiera que sea la tensión ejercida por el músculo que se contrae.

RESPUESTA MUSCULAR A LA ESTIMULACION

Normalmente, los músculos responden a estímulos nerviosos provenientes del encéfalo o de la médula espinal, pero en el laboratorio, el músculo aislado, por lo común de batracio, es estimulado con corriente eléctrica de baja intensidad. Además en el músculo aislado podemos graficar la respuesta obtenida con los diferentes tipos de estimulación.

Sacudida muscular. Si se aplica una sola descarga eléctrica a un músculo aislado, la respuesta será una contracción seguida de una relajación, que se conoce como sacudida muscular. Presenta una curva de contracción, una curva de relajación, el tiempo de duración y la amplitud de la sacudida. Normalmente hay muy pocas sacudidas aisladas en nuestro organismo; un ejemplo podría ser el reflejo rotuliano. Ciertos músculos tienen una velocidad de sacudida muy rápida, como los músculos extraoculares (7,5 milésimas de segundo), y otros más lentos, como el sóleo (94 a 120 milésimas de segundo).

Tétanos. Si un músculo es estimulado dos o más veces, de tal manera que el segundo estímulo y los sucesivos caigan siempre dentro de la respuesta del anterior, en la curva de contracción, no permitiendo ningún tipo de relajación, obtenemos una contracción más

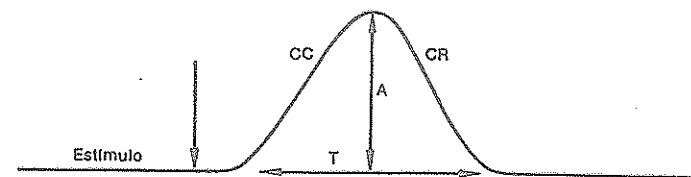


Fig. 8-6. Sacudida muscular. CC, curva de contracción; CR curva de relajación; T, tiempo que dura la sacudida; A, amplitud de la sacudida.

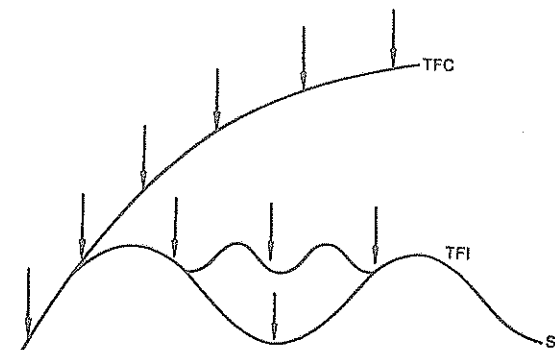


Fig. 8-7. Distintas respuestas con diferentes frecuencias de estimulación. TFC, tétanos fisiológico completo; TFI, tétanos fisiológico incompleto; SA, Sacudidas musculares aisladas.

potente. Si la frecuencia de estos estímulos es tal que no permitan la relajación, el resultado será una contracción constante y prolongada denominada *tétanos fisiológico completo*, durante el cual se desarrolla una tensión tres a cuatro veces superior a la de la sacudida aislada. La explicación de este hecho es que se necesita cierto tiempo para que el músculo realice su acortamiento máximo a causa de los cambios estructurales que deben tener lugar en las fibras musculares. La mayoría de las contracciones musculares son de este tipo.

Si la estimulación es menos frecuente y se permite cierta relajación al músculo, o sea, si el segundo estímulo y los sucesivos caen en la curva de relajación, se obtienen contracciones y relajaciones parciales que se denominan *tétanos fisiológico incompleto*.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTRACCION MUSCULAR

Ya hemos visto que un músculo ejerce mayor tensión durante el tétanos fisiológico completo que durante el incompleto o que durante una sacudida aislada. Por lo tanto, la frecuencia del estímulo determina en parte la fuerza de la contracción muscular.

También influye la intensidad del estímulo. En primer lugar se necesita cierta intensidad "umbral" para que el músculo responda. Superado este umbral, la fibra muscular aislada responde de acuerdo con la ley del todo o nada, es decir, se contrae o no. En cambio, un músculo completo no responde a esta ley, sino que a medida que se aumenta la intensidad del estímulo, aumenta la respuesta, aumenta la fuerza muscular, porque responde a un número mayor de fibras, pero si el estímulo es lo suficientemente intenso como para excitar a todas las fibras, por más que se siga aumentando la intensidad, la respuesta será siempre la misma.

Otro factor que influye en la contracción muscular es la resistencia que se le opone. En un músculo aislado la máxima velocidad se consigue con la menor resistencia, cual es vencer la gravedad, y la velocidad va disminuyendo a medida que se incrementa la resistencia.

TRABAJO Y POTENCIA MUSCULARES

Cuando se produce un movimiento, éste se debe a la energía cinética generada por una fuerza. La fuerza (F) desplaza una palanca a cierta distancia (d) y entonces se realiza un trabajo (T); por consiguiente, $T = F \times d$. La unidad de trabajo es el kilogrametro, que corresponde a la fuerza necesaria para desplazar un kilogramo a la distancia de un metro. Otra medida de trabajo es el joule o julio (J), que es el trabajo realizado por una fuerza de un newton (N) a la que se desplaza por un metro en su misma dirección. El newton (N) es la fuerza necesaria para imprimir a un kilogramo una aceleración de 1 m/seg^2 . Un kilogrametro corresponde a 9,81 joules.

El trabajo es el resultante de la transformación de la energía química contenida en los alimentos en energía mecánica y calor. Normalmente, entre el 70 al 80% de la energía química se transforma en calor y el resto corresponde al rendimiento mecánico.

La potencia muscular es la relación que existe entre el trabajo realizado y el tiempo que se empleó en su ejecución:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} \quad P = \frac{T}{t}$$

La potencia muscular se mide en watts o vatios y corresponde a un joule por segundo:

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ seg}}; \text{ también se la mide en caballos de fuerza o HP: } 1 \text{ HP} = 736 \text{ watts.}$$

La potencia asimismo es igual a fuerza por velocidad:

$$P = F \cdot V$$

Esto es importante, pues un atleta será más potente que otro cuando efectúa el mismo trabajo con mayor velocidad.

Las actividades físicas que emplean mucha potencia hacen ejecutar una gran cantidad de trabajo en poco tiempo; por ejemplo, los 100 metros llanos del atletismo, que se realizan a expensas del metabolismo anaeróbico, sobre todo del sistema ATP-PC, o sea, alactácido.

En las carreras de 200 a 400 metros llanos hay menor potencia pero mayor duración; en este caso se recurre a las fuentes anaeróbicas de energía, tanto alactácidas como lactácidas (ATP-PC y sistema del ácido láctico), y algo a fuentes aeróbicas. A medida que el trabajo se prolonga en el tiempo, se va pasando gradualmente a fuentes aeróbicas de energía; desde los dos minutos de duración del trabajo en adelante las fuentes aeróbicas predominan sobre las anaeróbicas.

La potencia explosiva corresponde a un trabajo a la máxima velocidad con una pequeña resistencia; es el caso típico de los lanzadores o saltadores.

FUERZA MUSCULAR

Es la tensión que se ejerce contra una resistencia, la que puede ser vencida o no.

La fuerza depende de factores nerviosos y puede ser regulada de dos formas, aumentando o disminuyendo el número de unidades motoras en acción, o aumentando o disminuyendo la frecuencia de la estimulación de cada unidad motora o del conjunto.

Una contracción potente se debe a una breve descarga de impulsos de gran número de neuronas motoras; una contracción lenta y menos potente responde a una descarga más prolongada y de menor frecuencia en un menor número de neuronas motoras. Todo esto es la función de diversos centros nerviosos, regidos por el área motora de la corteza cerebral y coordinados por el cerebelo, que mantiene conexiones con ella y con los receptores musculares y tendinosos.

También la fuerza depende del número y del tamaño de las fibras musculares, es decir, de su sección transversal.

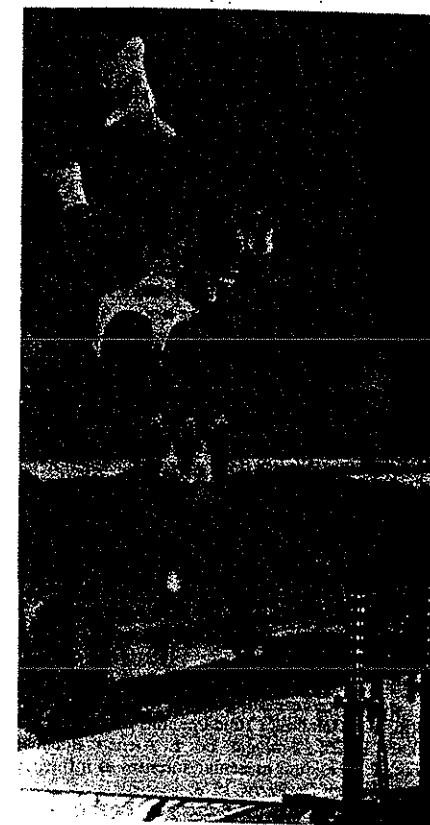


Fig. 8-8. Fuerza, destreza y coordinación de movimientos.

BIBLIOGRAFIA

- Ahlborg, B. J.; Bergtröm, J.; Ekelund, L. G.; Guarnieri, G.; Hanir, R. C.; Hultman, E. y Mordejo, L. G.: Muscle metabolism during isometric exercise performed and constant force. *Journal of Applied Physiology*, 1972.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Méd. Panamericana.
- Barnard, R. J.; Edgetron, V. R. y Peter, J. B.: Effect of exercise on skeletal muscle. I Biochemical and histochemical properties. II Contractile properties. *J. Appl. Physiol.* 28-762, 1970.
- Bloom, W. y Fawcett, D. W.: *Textbook of histology*, 10a. ed. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1975.
- Brecht, K.: Fisiología del músculo. En Keidel, W. D.: *Fisiología*, págs. 293-329. Salvat Editores. Barcelona, 1971.
- Burne, G. H.: *The structure and function of muscle*. Academic Press Inc. N. York, 1973.
- Carlson, F. D. y Wilkie, D. R.: *Muscle Physiology*. Englewood Cliffs, 1974.
- Dal Monte, A. y col.: Gli adattamenti muscolari nell'allenamento agli sport. *Medicina dello Sport*. Vol. 25, N° 9, 223-237, 1972.
- Davies, R. E.: *Essays in biochemistry*, pág. 29, 1965.

- De Robertis, E. D. P. y De Robertis, E. M. F.: *Biología celular y molecular*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1984.
- Edgerton, V. R.: *Exercise and growth development of muscle tissue*. Acad. Press. Inc. N. York, 1973.
- Etemadi, A. A. y Hosseini, F. H.: Frequency and size of muscle fibers in athletic body build. *Anal. Rec.* 162:269, 1968.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
- Fuchs, F.: Striated muscle. *Ann. Rev. Physiol.*, 1974.
- Fulton, J. F.: *A textbook of physiology*, 16a. ed. Filadelfia y Londres. W. B. Saunders Company, 1949.
- Gannon, W.: *Manual de Fisiología Médica*. Ed. Manual Moderno. México, 1978.
- Guillet, R. J. y Genety, J.: *Manual de medicina del deporte*. Toray Masson, Barcelona, 1975.
- Guyton, A. C.: *Textbook of Medical Physiology*, 3a. ed. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1966.
- Holloszy, J. O.: Biochemical adaptations in muscle, effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzymes activity in skeletal muscle. *J. Biol. Chem.* 242:2278, 1967.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*, 5a. ed. Ed. El Ateneo, 1980.
- Huxley, H. L.: The mechanism of muscular contraction. *Science*. 164:1356, 1969.
- Huxley, A. F.: Muscular contraction. *J. Physiology*, 1974.
- Karpovich, P.: *Fisiología dell' attività muscolare*. Roma. Leonardo Edizioni Scientifiche. Roma, 1967.
- Katz, B.: Nerve, muscle and synapse. Mc. Graw Hill. N. York, 1966.
- Margaria, R.: *Fuentes de la energía muscular*. Folleto, 1972.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Murrau, J. M. y Weber, A.: The cooperative action of muscle proteins. *Sci. Am.*, 1974.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieris, C.: Evaluación y entrenamiento. Labemorf, 1985.
- Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y entrenamiento*. Ed. Kapelus. Buenos Aires, 1980.
- Pini, M. C.: *Fisiología Esportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1983.
- Pognazov, B. F.: *Structure and function of contractile protein*. Academic Press. N. York, 1966.
- Porter, C. W. y otros: Types and location of cholinergic receptor like molecules in muscle fibres. *Nature*. 241:3, 1973.
- Rittel, H. F. (ed.): *Sistema muscular y deporte*. Convenio Colombo-Alemán de educación física, deporte y recreación. Medellín, 1980.
- Saltin, B.: Metabolism fundamentals in exercise. *Med. Sci. Sports*. 5:13, 1973.
- Selkurt, E. E.: *Fisiología*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1974.
- Talag, T.: Residual muscular soreness as influenced by concentric eccentric and static contractions. *Research Quarterly*, 1973.
- Thorstensson, A.: Muscle strength. Fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiol. Scand.* 1976.
- Thorstensson, A. y Karlson, J.: Fatigability and fiber composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 1976.
- Thorstensson, A.; Larsson, L.; Tesch, P. y Karlson, J.: Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Medicine and Science in Sports*, 1977.
- Tonomura, Y.: *Muscle proteins, muscle contraction and cation transport*. University Park Press. Baltimore, 1973.
- Vander, A. J.; Sherman, J. H. y Luciano, D. S.: *Human Physiology*, 2a. ed. Mc Graw Hill Book. N. York, 1975.
- Venerando, A.: *Appunti di medicina dello sport*. IMSCONI. ROMA, 1967.
- Venerando, A. y Lubich, T.: *Medicina dello Sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.
- Weber, A. y Murray, J. M.: Molecular control mechanisms in muscle contraction. *Physiol. Rev.*, 1973.

SISTEMA NEUROMUSCULAR | 9

En los capítulos anteriores, dedicados a los sistemas nervioso y muscular, vimos que una propiedad fundamental de ambas células es la excitabilidad, por la cual se puede alterar su estado normal de reposo y reaccionar dinámicamente ante diversos estímulos, internos o externos. Los estímulos externos los recibe el sistema nervioso a través de los exteroceptores, es decir, los receptores del tacto, la luz, la temperatura, etc. Los estímulos internos son recogidos por los interoceptores, sensibles a los cambios de orientación de la postura, a los movimientos, etc.; por ejemplo: los propioceptores, los receptores vestibulares, los quimiorreceptores y los viscerosceptores.

El sistema nervioso central está capacitado para recibir, tratar, computar y transformar la información que le llega, y luego enviar las órdenes necesarias a los lugares correspondientes para que se ejecute la respuesta adecuada.

Una función primordial de las neuronas es la de recibir un mensaje y después transmitirlo a otra célula, sea ésta nerviosa, muscular o glandular; en cambio, otras neuronas retienen, frenan o modifican el mensaje.

Las neuronas medulares que comandan la acción de los músculos esqueléticos son llamadas motoneuronas; similares a la mayoría de las neuronas del SNC poseen un solo axón, que por lo común es muy largo. Este axón está recubierto por todas sus envolturas y constituye un nervio completo.

La motoneurona recibe numerosos botones sinápticos de otras neuronas a través de sus dendritas o directamente en su soma, y tiene por lo tanto conexiones con gran número de células nerviosas.

TRASMISION DEL IMPULSO NERVIOSO

En el capítulo de sistema nervioso mencionamos, dentro de las funciones de la neurona, cómo se produce la excitabilidad o irritabilidad de ésta y cómo se propaga el estímulo a lo largo de la fibra nerviosa, que, según se dijo, consiste en una inversión súbita del potencial de reposo, que se transmite desde el sitio estimulado. Recordemos: cuando se recibe un estímulo que sobrepasa el umbral de excitación, tiene lugar la difusión del Na^+ dentro de la membrana, lo cual provoca la rápida entrada de cargas positivas al interior de ella; este proceso se denomina despolarización de la membrana. Luego se produce un flujo de iones K^+ en sentido contrario, que tiende a compensar el trastorno eléctrico causado por la entrada del Na^+ ; esta salida de cargas positivas restituye la polaridad perdida a la membrana, fenómeno que se conoce como repolarización.

Los iones se encuentran en equilibrio pero invertidos; el Na^+ intracelular y el K^+ extracelular; estos iones deben regresar a su lugar de origen, lo cual se logra a través de la bomba de Na^+ y K^+ que actúa en contra de sus gradientes de concentración. Todo este sistema de transporte consume energía, proveniente del gasto energético correspondiente al metabolismo basal a cargo del ATP.

Debemos tener en cuenta que los flujos iónicos son de pequeñísima magnitud y que no ocasionan un desequilibrio muy grande en las concentraciones propias de los compartimientos intracelular y extracelular.

Vemos entonces que la capacidad de excitarse tanto de la neurona como de la fibra muscular obedece a la posibilidad de alterar la condición eléctrica de sus membranas, alteración que para producirse necesita de un estímulo adecuado.

TRASMISION NEUROMUSCULAR

La unidad del sistema neuromuscular es la unidad motora, constituida por la motoneurona, su fibra nerviosa, las prolongaciones terminales de ésta, la unión mioneural o placa motora y las fibras musculares correspondientes a un fascículo.

Las finas ramas terminales de la fibra nerviosa se ponen en contacto con la fibra muscular en la placa motora o sinapsis neuromuscular, la cual está formada desde el lado nervioso por el botón terminal (presinapsis) y del lado muscular por el sarcolemma que forma pliegues (postsinapsis).

Con gran aumento microscópico, en la región presináptica se pueden observar, junto a numerosas mitocondrias, abundante cantidad de burbujas, llamadas vesículas sinápticas, las cuales contienen el neurotransmisor, que químicamente es la acetilcolina.

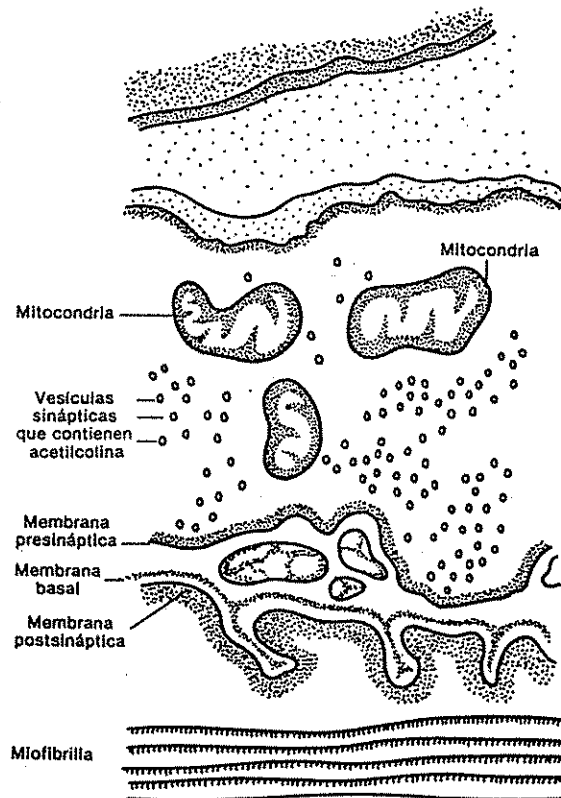


Fig. 9-1 Representación de la sinapsis neuromuscular o placa motora. (Glees, 1971)

La fibra muscular al igual que la nerviosa posee un potencial de reposo. La superficie exterior de la membrana presenta cargas positivas y la interior cargas negativas. Entré ambas se produce un flujo de iones de Na^+ y K^+ por las respectivas bombas de iones.

Si ocurre una excitación en la fibra nerviosa, se comprueba en la placa motora una ligera variación del potencial de reposo. Se produce una pequeña despolarización y se libera acetilcolina desde las vesículas presinápticas. Pero para que esto suceda se necesitan iones de Ca^{2+} , que aparecen en las cercanías de las vesículas cuando tiene lugar la despolarización. La acetilcolina liberada llega rápidamente a los receptores postsinápticos y esto determina una despolarización de la membrana muscular. Esta respuesta postsináptica genera un potencial de acción que se propaga a lo largo del sarcolemma.

La acetilcolina liberada es inactivada luego por la enzima colinesterasa, proceso necesario para que otro estímulo pueda provocar un nuevo potencial de acción y se produzca una contracción tetánica, es decir, duradera.

POTENCIAL DE ACCION MUSCULAR

El potencial de acción del músculo resultante de la transmisión neuromuscular provoca una reacción química en la fibra; la acetilcolina actúa como si fuera el encendido de la corriente que desencadena la contracción. Comienza el potencial de acción a través del sarcolemma, entran iones de Na^+ y salen iones de K^+ . A causa de ello se liberan iones de Ca^{2+} en el sarcoplasma, y el aumento de su concentración estimula la iniciación del proceso químico de transformación del ATP en ADP, P y energía. Esta energía es utilizada por la miofibrilla para producir el acople actina-miosina y comenzar el acortamiento; se trata de una interacción químico-mecánica.

El potencial de acción causa una despolarización del sarcolemma, que es conducida hacia dentro de la fibra muscular por las ramificaciones trasversales del retículo sarcoplásmico; como consecuencia de ello se libera calcio, que actúa en la unión electro-químico-mecánica.

Para que ocurra el acortamiento del sarcómero es necesario que las moléculas de troponina y tropomiosina, que son inhibidoras, se introduzcan en los nichos de la cadena de actina. Entonces los iones de Ca^{2+} , activados por la despolarización de la membrana, salen del sistema tubular y van al sarcoplasma, inhiben a las moléculas de troponina y de tropomiosina y se libera la actina para producir su enlace con la miosina, enlace de naturaleza electrostática. Esto determina la transformación explosiva del ATP, con liberación de energía, la cual desplaza la cabeza de la meromiosina pesada, que desde un ángulo de 90° pasa a uno de 45° , y el filamento de actina es arrastrado por esta suerte de palanca. También intervienen, aunque de una manera todavía desconocida, los iones de Magnesio (Mg^{2+}).

Para que el sarcómero se acorte más, debe desunirse el enlace actina-miosina y ocurrir un nuevo acople.

Durante la resíntesis del ATP, a partir de ADP y P, a través del desdoblamiento de la fosfocreatina, tiene lugar el giro de la meromiosina pesada de 45° a 90° , con lo cual se vuelve al principio del proceso. La suma de este proceso en todos los sarcómeros acorta la miofibrilla; el acortamiento de éstas acorta a la fibra, y la suma del acortamiento de todas las fibras o de gran parte de ellas origina el acortamiento del músculo.

REGULACION NERVIOSA DE LA CONTRACCION MUSCULAR

El sistema motor debe cumplir con tres funciones fundamentales: *Mantenimiento de postura, coordinación motora de los movimientos voluntarios y reflejos.*

- Mantenimiento del equilibrio y la postura.
- Coordinación motora de los impulsos que vienen de los sistemas sensoriales y vegetativos.
- Formación de los movimientos voluntarios. *Formación de movimientos voluntarios.*

Para todo ello, el SNC tiene un orden de prioridades, con una construcción gradual escalonada y estructurada, como lo da el hecho de que las modificaciones sencillas pueden ser solo espinales; en cambio, la coordinación de los movimientos complejos se efectúa a nivel supraespinal, en el encéfalo. Es por eso que diferenciamos la regulación espinal de la supraespinal.

Regulación espinal. Este sistema cuenta con los reflejos propios o espinales y con los reflejos que provienen del exterior. Los reflejos solo recorren las regiones subcorticales (no llegan a la corteza cerebral) y arriban a través de una vía nerviosa aferente al centro; de allí, por la vía nerviosa eferente, son transmitidos al órgano efector. Un reflejo típico es el reflejo miotático o de estiramiento.

El estímulo originado en los propioceptores musculares, sensibles al estiramiento, alcanza la médula espinal a través de la vía aferente y de allí, pasando al asta anterior, se encuentra con la motoneurona, que a través de la vía eferente llega a la placa motora y hace contraer el músculo estirado.

Por la vía aferente le llega información a la médula sobre la clase del estímulo actuante, su intensidad, duración y localización.

El control medular de la actividad motora es en gran parte de naturaleza refleja. La excitabilidad de las motoneuronas depende de la actividad excitatoria o inhibitoria de los botones sinápticos que recibe. Pueden intervenir gran cantidad de interneuronas, que originan excitación o inhibición, y entonces la función de los axones de las motoneuronas será el producto de la interacción de la actividad sináptica, basada a su vez en la experiencia pasada y actual del individuo.

Reflejos propioceptivos. La contracción muscular se debe a la acción de las motoneuronas medulares ubicadas en las astas anteriores. Su acción de reposo es el tono muscular, estado constante de contracción muscular refleja mantenida por impulsos asincrónicos de las motoneuronas. A la palpación da una sensación característica de dureza, propia del músculo vivo, que la diferencia de la flaccidez del músculo desnervado.

Existen dos tipos de motoneuronas en las astas anteriores de la médula, las motoneuronas alfa y las gamma.

a) Las motoneuronas alfa son células grandes, de 12 a 20 μ de diámetro, con rápida velocidad de conducción, de 70 a 120 metros por segundo. Inervan a las unidades motoras de la musculatura esquelética y son a su vez estimuladas por las fibras aferentes que llegan del huso muscular, fibras que al estimular a las motoneuronas alfa generan una contracción muscular que suprime el estiramiento del músculo. Así se origina el reflejo miotático; la estimulación para la contracción es provocada por el propioceptor.

b) Las motoneuronas gamma son células más pequeñas, de 2 a 8 μ de diámetro y de velocidad de conducción más lenta, de 15 a 55 m por segundo. Su función es suministrar

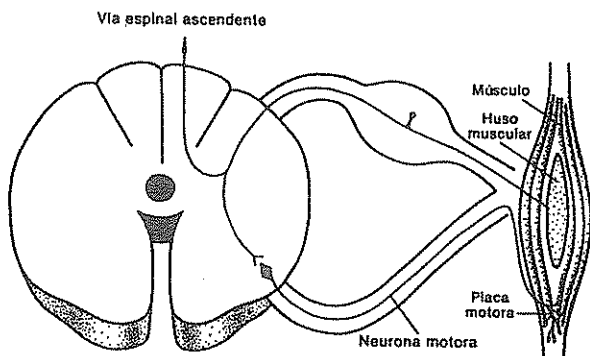


Fig. 9-2. Arco reflejo propioceptivo.

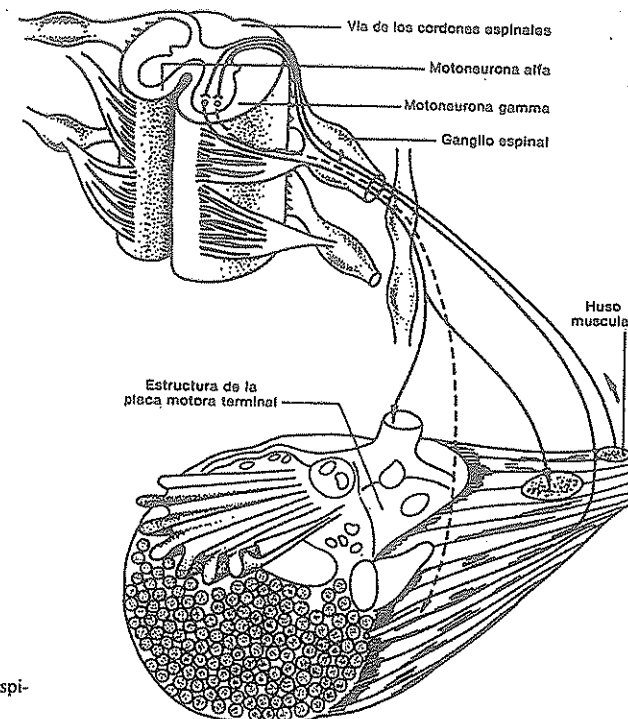


Fig. 9-3. Regulación espinal.

inervación motora a los husos musculares. Los controla y les indica con precisión el esfuerzo necesario para la ejecución de determinados movimientos, esfuerzo que es regulado por el sentido visual al ver la resistencia que se debe vencer.

El estímulo que llega desde el encéfalo puede tomar el sistema alfa o el sistema gamma. El primero es más rápido, por ser directo; en cambio, el segundo tiene que recorrer todo el circuito (fibra motora gamma, huso muscular, vía sensitiva) para poder llegar a la motoneurona alfa. La vía del sistema gamma se utiliza fundamentalmente en el mantenimiento de la postura y la vía del sistema alfa se emplea para los movimientos, pero como cualquier movimiento es precedido de una modificación postural, la actividad del sistema gamma siempre es previa a las del sistema alfa.

Tanto las motoneuronas alfa como las gamma están influidas por acciones supraespinales excitatorias o inhibitorias.

Reflejos exteroceptivos. Son originados por estimulaciones externas que actúan sobre diversos receptores, como los del tacto, dolor y temperatura. Desde estos receptores llegan los impulsos a las motoneuronas de las astas anteriores, donde hacen conexión con neuronas intercalares. La transmisión a las motoneuronas puede ser monosináptica, pero más frecuentemente es polisináptica, con varias motoneuronas de diferentes estratos de la médula espinal.

De esta manera los impulsos excitatorios pueden llegar a varios músculos y producir movimientos coordinados como respuesta al estímulo.

Como ya se dijo, la parte posterior de la médula es sensitiva y la parte anterior motora. Por la parte sensitiva, y en los cordones blancos las fibras ascienden hacia el encéfalo. En la parte anterior las vías motoras descienden y traen el orden que deben cumplir las motoneuronas.

Regulación supraespinal. El tálamo es la segunda estación a la que llegan las sensaciones después de la médula espinal, particularmente las sensaciones finas y estructuradas de la periferia. En la periferia afluye la información del ambiente externo, desde donde es conducida hacia la corteza cerebral. El tálamo tiene como función agrupar toda la información que recibe desde diferentes centros, clasificarla y luego distribuirla.

Sistema piramidal. Tiene su origen en la corteza cerebral, en el área prerrolándica o área motora, que corresponde a la circunvolución frontal ascendente; desde allí desciende por la parte posterior de la cápsula interna, baja por los pedúnculos y la protuberancia anular y parcialmente se cruza en el bulbo, formando las pirámides bulbares. Luego desciende por dos haces medulares: el haz piramidal cruzado por el cordón lateral y el haz piramidal directo por el cordón anterior. Desde estos haces se efectúan conexiones sinápticas con las motoneuronas medulares.

La función del sistema piramidal es transmitir hacia la médula todos los esquemas de movimientos que se originan en la corteza cerebral, los cuales a través de la médula serán

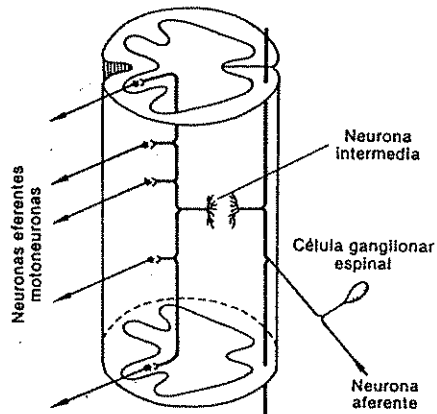


Fig. 9-4. Esquema que muestra cómo se distribuyen los impulsos aferentes, en distintos segmentos medulares, al producirse un reflejo exteroceptivo. (Rein y Schneider, 1971.)

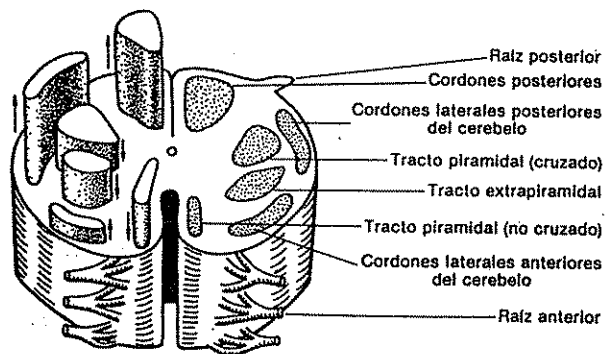


Fig. 9-5. Haces piramidales directos y cruzados a nivel medular.

ejecutados por los músculos esqueléticos mediante sus ramificaciones, este sistema se conecta con núcleos, como el cuerpo estriado, el núcleo rojo y la sustancia reticular, a fin de coordinar la motricidad voluntaria para lograr movimientos ordenados y precisos.

Sistema extrapiramidal. Comprende todas las estructuras con funciones encefalomédulares motoras no incluidas en el sistema piramidal. Está formado por parte de la corteza cerebral, las áreas 6 y 8 de Brodman, ubicadas en el lóbulo frontal por delante del área motora, y por el área 5 parietal superior, situada por detrás de la cisura de Rolando en el lóbulo parietal. Además, lo integran los núcleos grises centrales, el núcleo caudado y el putamen, donde se inician y se controlan los movimientos simples corporales, y desde donde suministra la información a la corteza cerebral.

Otro componente es el globo pálido, que por medio de sus conexiones con el tálamo y el cuerpo estriado actúa como moderador de los impulsos eferentes que parten de la corteza, adecuándolos a la intensidad del estímulo y actuando a través de las alfa motoneuronas, y puede intervenir en la fijación de un segmento corporal en una posición adecuada.

La formación reticular, ubicada en la parte central del encéfalo, está constituida por neuronas conectadas con gran cantidad de fibras. Posee neuronas internunciales que actúan a través de las vías reticuloespinales, que son descendentes. Ejerce una acción global y difusa sobre las motoneuronas alfa y gamma medulares, cumpliendo acciones inhibitorias

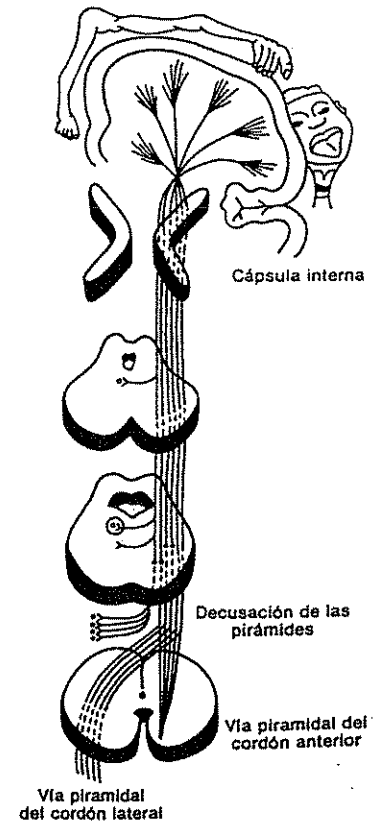


Fig. 9-6. Origen y curso de la vía piramidal desde el área motora hasta la médula espinal. (Keidel, 1971.)

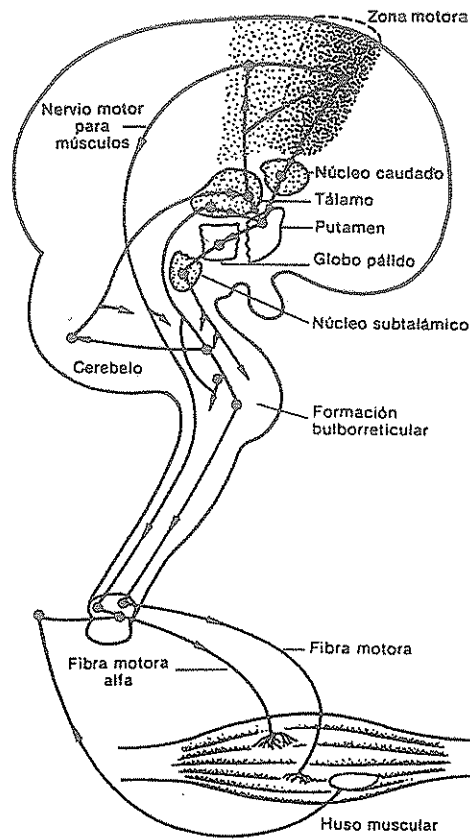


Fig. 9-7. Sistema motor. (Guyton, 1976.)

o estimulantes, y actúa fundamentalmente en la postura. Existen conexiones entre la formación reticular y la corteza, que traen y llevan órdenes para la ejecución, a través de la médula, de los movimientos voluntarios. Esto significa que todas las vías de la formación reticular actúan como vía final común de regulación de las motoneuronas medulares.

FUNCIONES DEL CEREBELO

El cerebelo actúa como integrado central del tono muscular. Ejerce una función reguladora sobre la actividad muscular. Tiene conexiones sensitivas y motoras y se relaciona con la corteza cerebral.

El cerebelo se divide anatómica, funcional y filogenéticamente en tres porciones: el arquicerebelo, el paleocerebelo y el neocerebelo. El arquicerebelo, formado por el lóbulo floconodular, se relaciona con el sistema vestibular del oído interno y actúa en el mantenimiento del equilibrio y en la cinestesia, es decir, en la orientación espacial del cuerpo. El paleocerebelo está constituido por el lóbulo anterior y el parafloclulo, y actúa como integrador del tono muscular y de la motilidad involuntaria del tronco y los miembros superiores.

El neocerebelo, formado por el lóbulo posterior, actúa en el mantenimiento del tono muscular y la postura a través de movimientos voluntarios y también en los movimientos voluntarios de los miembros superiores.

Una de las funciones del cerebelo es el control de los posibles errores de los movimientos voluntarios. Por ejemplo, la corteza envía impulsos para determinado movimiento; esta información parte hacia las motoneuronas medulares y al cerebelo, el que actúa comparando lo que quiere efectuar la corteza con la situación actual de las diferentes partes corporales involucradas en el movimiento ordenado, con la postura. En una palabra, con el estado motor en que se encuentra el sujeto, su relación cuerpo-extremidades, información que le llega por las fibras aferentes propioceptivas y del espacio exterior que rodea al individuo, a través de las vías ópticas y vestibulares.

Al iniciar un movimiento voluntario puede ser que los músculos involucrados lo efectúen en forma excesiva; en este caso el cerebelo actúa como frenador, desacelerando la velocidad necesaria para que el movimiento sea exacto y con la velocidad justa.

Además contribuye a predecir las futuras posiciones de las partes móviles del organismo, gracias a los impulsos propioceptivos que indican la velocidad y el sentido en que se movilizan los segmentos corporales. En estos casos el cerebelo actúa estimulando a los antagonistas para detener el movimiento en el sitio exacto. Si se realizan dos acciones sucesivas, el cerebelo se encarga de coordinarlas para que los movimientos sean lo más exacto y económico posible. Por último se encarga de mantener la dirección y la velocidad, sea positiva o negativa, para que el músculo cumpla su función.

MOVIMIENTOS VOLUNTARIOS

Pueden ser la respuesta a un estímulo externo o nacer directamente de la corteza cerebral, valiéndose de la experiencia, y constituyen entonces la respuesta a estímulos ya conocidos.

En el primer caso un estímulo, por ejemplo, la largada de una carrera, estimula a los receptores visuales, que envían información simultánea al tálamo y a la formación reticular. En el tálamo se suman a la información proveniente de los receptores propioceptivos que informan acerca de la ubicación de cada parte del organismo al sistema reticular; además llega la información que revela el estado visceral. El tálamo a su vez informa y prepara al cuerpo estriado, el que actuando sobre la corteza motora prerrolándica, pone en marcha al sistema piramidal, que estimula a las motoneuronas alfa medulares, ya "avisadas" por la sustancia reticular, y también a través de las motoneuronas gamma por acción del cere-

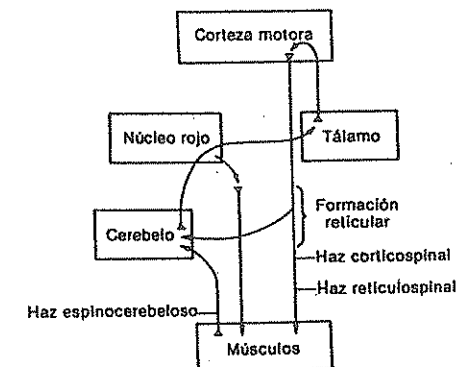


Fig. 9-8. Vías asociadas con el control del posible error en los movimientos voluntarios por el cerebelo. (Guyton, 1977.)

belo. De esta manera se prepara todo el sistema locomotor para ejecutar la acción. Como se puede apreciar, siempre se actúa por varias vías, haciendo escalas polisinápticas. Por ello es que el tiempo que se tarda entre la llegada del estímulo a la corteza cerebral y la respuesta motora es prácticamente mínimo.

En caso de encontrarse ante estímulos ya conocidos, el cerebro por aprendizaje ha elaborado distintos esquemas que actúan como un programa de computación, los que desde la corteza motora imparten las distintas órdenes de los movimientos de manera automática, sin pasar por los sistemas de control basal. La acción se realiza en forma directa por la vía corticoreticuloespinal, con poca o ninguna participación del cuerpo estriado. Esto aumenta la velocidad de la respuesta, pero con menor perfección del movimiento, la que se logra mediante el entrenamiento motor.

Estos esquemas pueden tener muchos tipos de programas, los que actúan en secuencias preestablecidas por el aprendizaje y son facilitados por el cuerpo estriado y el cerebelo, que han efectuado antes los movimientos posturales necesarios para poder llevar a cabo el acto motor.

APRENDIZAJE MOTOR

Cuando se hacen movimientos complejos o poco conocidos, o por primera vez, se llevan a cabo con dificultad, en forma torpe e imprecisa. A medida que se realiza la práctica apropiada, se vuelven más fáciles y precisos. Fisiológicamente hablando, no se conoce con exactitud la manera en que se efectúan las conexiones durante el aprendizaje.

Un recién nacido ejecuta movimientos incoordinados. Poco a poco, con el tiempo, se van logrando en forma gradual los reflejos posturales y los de la marcha, luego los de la escritura, etc. Se desarrollan paulatinamente los centros extrapiramidales y piramidales, y de esa manera los movimientos ya pueden ser más complicados.

Durante el período escolar los movimientos del niño son comandados fundamentalmente por el sistema extrapiramidal, lo cual lo lleva a ejecutar juegos que exigen poca coordinación, imitaciones y otras actividades poco complejas.



Fig. 9-9. Trabajo muscular y precisión de movimientos.



Fig. 9-10. Fuerza muscular y coordinación de movimientos.

En la pubertad el sistema piramidal alcanza su maduración funcional y se pueden realizar movimientos coordinados, los que se basan en la integración de la actividad nerviosa de diversos niveles, donde tienen influencia todos los receptores periféricos.

Como el cuerpo cambia constantemente su dimensión durante el crecimiento, se requiere una modificación continua de la integración de los estímulos que se intercambian entre el sistema nervioso central y los músculos efectores de los movimientos. Como se aprecia, hay limitaciones para efectuar movimientos complejos hasta la primera parte de la adolescencia.

Anatómicamente, todas las conexiones neuronales se encuentran establecidas antes del nacimiento; después de éste ya no se producen cambios en los trayectos neuronales, solo hay crecimiento en tamaño. Sin embargo, tanto en los niños como en los adultos es indudable que existe cierta plasticidad estructural a nivel microscópico, que podría ser de característica química, aún no conocida, y que favorece el aprendizaje intelectual y motor.

Según algunos investigadores, el proceso de aprendizaje estimula una síntesis proteica en las sinapsis activadas, que produciría una hipertrofia sináptica selectiva. Lo cierto es que se puede codificar la repetición de un movimiento y almacenar esta codificación para ejecutarlo cuando sea necesario y repetirlo las veces que se desea. En todo esto participa el cerebelo como coordinador de los movimientos voluntarios.

Se sabe, además, que el aprendizaje de cierto tipo o modelo de movimiento dado por la práctica, no mejora la realización de otro tipo de movimiento, aunque sea parecido, pero sí se puede mejorar la técnica del aprendizaje de nuevas tareas y es posible aprender y grabar actividades específicas que luego se pueden utilizar para efectuar distintas combinaciones.

Una vez aprendidos los movimientos se los puede efectuar fácilmente, con origen subcortical, en forma subconsciente, pero siempre la corteza cerebral ejerce cierto control, que se pone de manifiesto en el momento de presentarse alguna dificultad.

BIBLIOGRAFIA

- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Méd. Panamericana.
- Basmajian, J.: *Electrofisiología de la acción muscular*, Ed. Méd. Panamericana. Buenos Aires, 1976.
- Broer, M.: *Efficiency of human movement*, 2a. ed. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1966.
- Burke, E. F.; Cerny, F.; Costill, D. y Fink, W.: Characterirtics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Med. Sci. Sports*, 1977.
- Costill, D.; Daniels, J.; Evans, W.; Fink, W.; Krahenbuhl, G. y Saltin, B.: Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.*, 1976.
- Costill, D.; Fink, W. y Pollock, M.: Muscle fibers composition and enzyme activities of elite distance runners. *Medicine and Sciences in Sports*, 1976.
- Edgestron, V. R.: Neuromuscular adaptation to power and endurance work. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, 1976.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Méd. Panamericana, 1984.
- Gollnick, P. O.; Armstrong, R.; Saubert, C.; Piehl, K. y Saltin, B.: Enzyme activity and fibers composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. of Appl. Physiol.*, 1972.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*, 5a. ed. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.
- Hubel, D. y otros: *El cerebro*. Labor. Barcelona, 1980.
- Karpovich, R.: *Fisiología dell' attività muscolare*. Leonardo Edizioni Scientifiche. Roma, 1967.
- Komi, P.; Rusko, H.; Vosand, J. y Vihko, V.: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol. Scand.*, 1977.
- Mathews, D. y Foz, E. L.: *The physiological basis of physical educations and athletics*, 2a. ed. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1976.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barneris, C.: *Evaluación y entrenamiento*. La-bemorf, 1985.

- Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento*. Ed. Kapelusz. Buenos Aires, 1980.
- Pini, M. C.: *Fisiología Esportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Rittel, H. F. (ed.): *Sistema muscular y deporte*. Convenio Colombo-Alemán de Educación Física, Deportes y Recreación. Tomo 3. Editorial Copiservicio. Medellín, 1980.
- Rittel, H. F. (ed.): *Cibernética del sistema neuromuscular*. En Nitsch P. y D. Samulski: *Rendimiento deportivo y aprendizaje sensoriomotor*. Compas Ediciones. Medellín, 1979.
- Schnell, F.: *Biophysical principles of structure and function reading man*. Addison Wesley Publishing, 1965.
- Venerando, A. y Lubich, T.: *Medicina dello sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.
- Williams, M. y Lissner, H.: *Bio-mechanism of human motion*. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1962.

GLANDULAS DE SECRECION INTERNA | 10

En general, las glándulas se clasifican de acuerdo con el lugar donde vierten el producto de su secreción. Las de secreción externa o exocrinas secretan hacia el exterior, la piel o las mucosas digestiva o respiratoria, y las de secreción interna o endocrinas vierten su producto en la sangre.

Las glándulas endocrinas secretan las *hormonas*, verdaderos mensajeros químicos que a través de la sangre regulan importantes secreciones orgánicas y las funciones de distintos órganos. Son sustancias químicas orgánicas, que pueden actuar excitando o inhibiendo funciones.

Las hormonas cumplen muchas funciones, tales como: 1) metabólicas, actuando sobre el metabolismo en general, como la tiroxina, o en forma específica sobre algún aspecto particular, como la insulina en el metabolismo de los hidratos de carbono; 2) morfogenéticas, pues dan la forma, el tamaño corporal, la estructura propia de cada individuo; 3) sexuales y reproductivas, determinando los caracteres específicos de cada sexo, tanto morfológicos como psíquicos; 4) nerviosas y mentales; 5) de regulación endocrina, o sea, acciones interglandulares, etcétera.

La mayor parte de las funciones orgánicas dependen de varias hormonas que actúan coordinadamente.

El equilibrio funcional se conserva por acción de mecanismos reguladores de correlación a cargo fundamentalmente del sistema nervioso y el sistema humoral, por lo que las hormonas poseen gran importancia en el mantenimiento de la homeostasis.

En respuesta a determinados estímulos, un tejido secreta una sustancia específica que actúa como una señal, la que es captada por un receptor sensible que se encuentra en otra célula. Según Huxley, "deben considerarse hormonas las moléculas que transfieren información de un grupo de células a otro, para el bienestar de la población celular en su conjunto"; es decir, se trata de agentes químicos que actúan sobre determinadas células, los receptores, a los cuales excitan o deprimen.

Como resultado de la transferencia de información, la célula receptora modifica su comportamiento y adecua sus esquemas metabólicos a las nuevas circunstancias.

Existen hormonas de acción rápida como la adrenalina, y otras de acción más lenta, retardada, como la del crecimiento.

En el organismo humano hay varias glándulas de secreción interna. Algunas tienen una doble función, de secreción interna y externa, como el páncreas, que secreta jugo pancreático e interviene en la digestión, y que además posee acción endocrina a través de la insulina, el glucagón y la secretina.

HIPOFISIS

Es una glándula de secreción interna que actúa en forma conjunta con el sistema nervioso, formando lo que se denomina el eje hipotálamo-hipofisario. Cumple importantes

funciones, ya que regula el crecimiento, regula en parte el metabolismo de los hidratos de carbono y el funcionamiento de las demás glándulas endocrinas, e interviene en la integración de muchas funciones del organismo.

Consta de dos partes, separadas por la pars intermedia, la neurohipófisis o lóbulo posterior, en contacto con el hipotálamo, y la adenohipófisis o lóbulo anterior.

La neurohipófisis o sistema hipotálamo-hipofisario cumple las funciones de regulación de la diuresis y del metabolismo del agua y tiene acción oxitócica. Las hormonas son secretadas por el hipotálamo y almacenadas en la hipófisis.

Una de estas hormonas es la arginina-vasopresina u hormona antidiurética, que actúa estimulando la reabsorción del agua por los túbulos renales, es decir, disminuye la cantidad de orina que se elimina y por lo tanto actúa en la regulación del equilibrio hídrico del organismo. Normalmente el riñón filtra en sus glomérulos alrededor de 170 litros diarios de plasma y se reabsorben en los túbulos alrededor de 168,5 litros, eliminándose solo 1,5 litro, y de esta reabsorción se encarga en parte la hormona antidiurética. La disminución de su producción causa la diabetes insípida, con grandes pérdidas de agua por la orina, que es por otra parte de baja densidad. La secreción de esta hormona está regulada por la acción de los factores osmóticos sanguíneos sobre los osmorreceptores situados en los núcleos supraópticos y paraventricular del hipotálamo anterior.

La acción de la hormona antidiurética es importante durante la actividad física, por su efecto ahorrador de agua a nivel renal.

La neurohipófisis también elabora la oxitocina, que estimula la contracción uterina durante el trabajo de parto y la eyección de leche durante la lactancia.

La pars intermedia secreta en los vertebrados inferiores una hormona que influye en la formación y el depósito de melanina (pigmento de la piel y el pelo) y de esta forma regula el color de la piel.

El lóbulo anterior o adenohipófisis tiene a su cargo numerosas funciones: de crecimiento y morfogénesis: de regulación endocrina, sexuales, reproductivas y metabólicas.

La somatotrofina se produce continuamente y es la responsable del crecimiento durante la niñez y del correcto funcionamiento orgánico durante la vida, y su principal acción es la de estimular las mitosis o duplicaciones de las células, lo cual resguarda la morfología de los tejidos; además promueve el catabolismo o degradación de las grasas y estimula la síntesis proteica, por lo que favorece el crecimiento muscular y el aumento de la cortical de los huesos. Su exceso puede ocasionar el gigantismo durante el crecimiento o la acromegalia después de éste y su deficiencia causa el enanismo. Durante el ejercicio la somatotrofina aumenta, sobre todo en los ejercicios de sobrecarga. Esto se utiliza a veces para estimular el crecimiento, pero con precaución, para no aumentar mucho las masas musculares. Los entrenamientos intensivos disminuyen el nivel de somatotrofina, efecto producido por la inhibición que determina el aumento de la síntesis proteica. Se sabe que la disminución de la síntesis proteica estimula la producción de somatotrofina; en el entrenamiento ocurre lo contrario.

Las hormonas que tienen a su cargo la regulación endocrina son la tirotrofina, que estimula a la tiroides y le hace producir tiroxina, y la adrenocorticotrofina, que estimula a la corteza suprarrenal y la induce a la producción de corticoides. Las hormonas que regulan la función sexual son la foliculoestimulante, que actúa sobre el ovario en la maduración del folículo y sobre el testículo en la de los espermatozoides; la luteinizante o estimulante de las células intersticiales provoca en la mujer la ovulación y la formación del cuerpo amarillo o lúteo, y en el hombre estimula a las células intersticiales del testículo; por último, la prolactina u hormona lactogénica mantiene el cuerpo amarillo y su secreción hormonal, hace crecer la mama e induce la secreción láctea.

Como vemos, la hipófisis también tiene efectos sobre algunos procesos metabólicos, sea por acción directa o en forma indirecta, es decir, mediante la estimulación de otras glándulas.

TIROIDES

La tiroides se encuentra en la parte anterior e inferior del cuello. En el adulto pesa alrededor de 20 a 40 g y está formada por dos lóbulos laterales unidos por un istmo medio. La tirotrofina hipofisaria estimula a la tiroides y le hace producir tiroxina, aminoácido con cuatro átomos de yodo que cumple importantes funciones en el organismo: estimula el metabolismo en general y, como consecuencia de ello, estimula el crecimiento y el desarrollo, e incrementa el metabolismo energético y por lo tanto el de los hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las hormonas tiroideas aceleran la síntesis proteica y aumentan el consumo de oxígeno, es decir, aumentan el metabolismo energético. También aumentan el tamaño de las mitocondrias, activan las enzimas oxidativas y aceleran el ciclo de Krebs, favoreciendo el metabolismo aeróbico. Una persona entrenada presenta un mayor intercambio de hormona tiroidea, y como ésta desciende el colesterol sanguíneo, se piensa que la actividad física, a través de ese mecanismo, podría retardar la aparición de la arteriosclerosis.

PARATIROIDES

Son, pequeñas glándulas ubicadas lateralmente en el cuello, por detrás de los lóbulos tiroideos. Su acción es la de regular el metabolismo del calcio y del fósforo; sus perturbaciones producen trastornos musculares y alteraciones óseas. La hormona que secreta se denomina parathormona. Esta hormona paratiroidea actúa sobre el hueso estimulando la resorción ósea y aumenta la calcemia y la excreción de fosfatos con la orina.

PANCREAS

El páncreas es una glándula que tiene una función endocrina y exocrina. Durante la digestión, en virtud de esta segunda función, secreta el jugo pancreático, rico en enzimas que digieren grasas, proteínas e hidratos de carbono.

La función endocrina está a cargo de unos islotes de células especializadas, llamados islotes de Langerhans, que tienen tres tipos de células: las alfa secretan glucagón, las beta insulina y las gamma secretina. El glucagón eleva la glucemia, pues es glucogenolítico. La elevación de la glucemia se efectúa a través del desdoblamiento del glucógeno por efecto de la enzima fosforilasa. La insulina causa hipoglucemia porque incrementa la utilización celular de la glucosa, aumenta la combustión celular, promueve mayor formación de glucógeno muscular, aumenta la transformación de glucosa en grasa y estimula a los procesos oxidativos de la glucosa, los que aumentan en el ejercicio. El glucagón produce los efectos contrarios: aumenta la glucemia y evita la entrada de glucosa en las células impidiendo su utilización. Por la acción de estas dos hormonas se mantienen los niveles normales de glucosa en sangre.

Las personas entrenadas presentan niveles más altos de insulina y más bajos de glucagón que las personas sedentarias; esto podría ser a causa de la acción de las neurohormonas, de las catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), que disminuyen la secreción de insulina. Por el contrario, la acetilcolina estimula la secreción de insulina y frena la de glucagón; ya sabemos que en el entrenamiento existe una vagotomía manifiesta.

Durante la actividad física la glucosa es rápidamente captada por las células, y al potenciarse el efecto insulínico, se produce hipoglucemia.

Durante el ejercicio con cargas submáximas la cantidad de insulina disminuye, y esto se observa tanto en personas entrenadas como sedentarias. El glucagón no sufre variaciones, a pesar de lo cual la glucemia disminuye más en los sedentarios, en tanto que en el deportista entrenado se mantienen durante más tiempo los niveles normales en sangre.

SUPRARRENALES

Como su nombre lo indica, estas dos glándulas están situadas por encima de los riñones. Tienen la forma de un gorro frigio y presentan dos zonas, una interior o medular y otra exterior o cortical.

La porción medular secreta catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), sustancias simpaticomiméticas que estimulan la acción del simpático. Por lo tanto, estas hormonas son estimulantes del aparato circulatorio y producen taquicardia y elevan la presión arterial, así como también dilatan los bronquios. Otro efecto es que mejoran la contracción del músculo fatigado y retrasan la aparición de fatiga. Los efectos metabólicos son los siguientes: movilizan los ácidos grasos de los tejidos adiposos, los cuales pueden utilizarse en el músculo durante el ejercicio o en el mantenimiento de la temperatura, y provocan la descomposición del glucógeno hepático, que se desdobra en glucosa y eleva la glucemia (efecto hiperglucemiante).

La corteza suprarrenal elabora varias hormonas que en conjunto se denominan corticoides. De acuerdo con su función, se los divide en mineralocorticoides, que aumentan la excreción urinaria de sodio y disminuyen la de potasio, y glucocorticoides, que aumentan el glucógeno hepático y prolongan el trabajo muscular. Los corticoides tienen efectos androgénicos o masculinizantes.

Una de las hormonas corticosuprarrenales es la hidrocortisona, con gran efecto glucocorticoide. Además tienen efectos catabólicos para las proteínas y los hidratos de carbono, por lo cual favorece su degradación celular. El entrenamiento determina una disminución de la hidrocortisona sanguínea, un factor importante para preservar la reserva energética y la función plástica reparadora que cumplen las proteínas.

OVARIOS

Los ovarios, en número de dos, se encuentran en la pelvis femenina, a ambos lados del útero. Por un lado producen el óvulo, gameto femenino que junto con el espermatozoide, gameto masculino, darán origen a un nuevo ser que perpetúa la especie. Por otro lado secretan hormonas que estimulan el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios femeninos, es decir, las características propias de la mujer.

Ciclo sexual femenino. A partir de la pubertad y en edad variable según el clima y la herencia, comienzan los ciclos sexuales femeninos, hasta llegar a la menopausia, en que cesan y la mujer pierde la fertilidad.

Pubertad es el período de la vida en que se desarrollan los caracteres sexuales y se alcanza la madurez del adulto; el fenómeno que la caracteriza es la menstruación. La primera, denominada menarquia o menarca, aparece entre los 11 y los 15 años en nuestro medio, clima subtropical y se acompaña de cambios físicos, psíquicos y orgánicos. Estos cambios comprenden el desarrollo de los órganos sexuales y de las mamas, y la distribución típica del vello y de la grasa. La pubertad está ocasionada por modificaciones hipotalamohipofisarias, con aumento de la secreción de somatotrofina, corticotrofina y, sobre todo, de gonadotrofinas.

La menopausia, edad crítica o climaterio, tiene lugar entre los 45 y 50 años y marca el fin de las menstruaciones y, por lo tanto, de la fertilidad femenina.

Desde la pubertad hasta la menopausia existen 30 o 40 años de vida sexual fértil y entre 300 y 500 ciclos menstruales.

Un ciclo menstrual dura 28 a 30 días aproximadamente, y abarca desde el comienzo de una menstruación hasta el comienzo de la siguiente.

El ciclo menstrual se divide en dos partes a partir de la ovulación. La primera, preovulatoria, es la fase folicular; la segunda, posovulatoria, es la fase progestacional. La fase folicular dura alrededor de dos semanas, al cabo de las cuales tiene lugar la ovulación y luego

la fase progestacional hasta la menstruación siguiente; dura también dos semanas y ofrece las condiciones óptimas para la fertilización y la nidación.

Las modificaciones cíclicas que ocurren en el sistema hipofiso-ovario son las siguientes: 1) maduración del folículo y ovulación; 2) formación del cuerpo amarillo; 3) cambios en los órganos sexuales accesorios, fundamentalmente el endometrio; y 4) disgregación y desprendimiento endometrial, es decir, la propia menstruación.

Este ciclo menstrual tiene influencia en el rendimiento físico femenino. Durante los primeros 4 a 10 días del ciclo hay un aumento de los estrógenos, lo cual provoca retención de sodio con fijación de agua, y esto hace que la mujer pueda desarrollar su mayor capacidad para el trabajo físico al comenzar la fase progestacional. En su transcurso se producen alteraciones psicológicas con sensación de malestar general, cansancio y astenia, que ocasionan una disminución en la capacidad de trabajo físico; a veces estos síntomas son muy intensos y configuran la llamada tensión premenstrual. Todo esto conduce a una disminución en la capacidad de trabajo físico. Luego, durante el período menstrual, desaparecen estos síntomas y la mujer retoma sus mejores condiciones de actuación.

TESTICULOS - andrógenos

El testículo desempeña una doble función, la de reproducción, que produce el gameto masculino o espermatozoide, y la endocrina, que desarrolla y mantiene los caracteres sexuales masculinos secundarios, entre los que pueden citarse la mayor talla, el mayor diámetro biacromial, la piel más gruesa y seboreica, la distribución pilosa, con pelo en el pecho y las extremidades, entradas frontales o calvicie, el vello pubiano extendido hasta el ombligo, la laringe más desarrollada y la voz más gruesa.

Las hormonas testiculares se denominan andrógenos y la principal es la testosterona, que posee funciones sexuales y generales.

Desde el punto de vista general tiene una función metabólica, pues estimula el anabolismo, favorece la retención de nitrógeno y su balance positivo, estimula por lo tanto la síntesis proteica y, como consecuencia, el desarrollo muscular. Por acción de estas hormonas puede acelerarse algo el crecimiento antes de la pubertad.

BIBLIOGRAFIA

- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Balague, A.: Adaptaciones endocrinológicas del ejercicio físico. *Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte*, 1976.
- Calandra, R. S. y de Nicola, A. F.: *Endocrinología molecular*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1985.
- Danovsky, T. S.: *Clinical endocrinology*. Williams and Wilkins Co. Baltimore, 1962.
- Euler, V. S. von y Heller, A. L.: *Comparative endocrinology*. Academic Press. N. York y Londres, 1963.
- Hartley, L. H.: Multiple hormonal responses to graded exercise in relation to physical training. *Journal of Applied Physiology*, 602-605, 1972.
- Houssay, B. y col.: *Fisiología humana*, 5a. ed. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1980.
- Terjung, R. L. y Winder, W. W.: Exercise and thyroid function. *Med. Sc. Sports*, 7:20, 1975.
- Martin, L.: *Clinical endocrinology*. J. and A. Churchill Ltd. Londres, 1964.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Pini, M. C.: *Fisiología Deportiva*. Ed. Guanabara Koogan, Río de Janeiro, 1983.
- Scharrer, E. y Scharrer, B.: *Neuroendocrinology*. Columbia University Press. N. York, 1963.
- Williams, R. H.: *Tratado de endocrinología*. Salvat Ed. Barcelona, 1963.
- Williams, W. J.: *Hematología*. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1976.

11 | METABOLISMO Y NUTRICION

La energía desarrollada biológicamente proviene del metabolismo, al que definimos como los cambios de sustancia y las transformaciones de energía que tienen lugar en los seres vivos.

La energía biológica puede derivar en trabajo mecánico (músculo, corazón), osmótico (formación de orina), químico (hígado), eléctrico (nervios), etcétera.

El metabolismo comprende dos procesos fundamentales, el *anabolismo* o asimilación, que es la formación de sustancia propia a partir de otras que se reciben a través de los alimentos, y el *catabolismo*, que comprende la transformación de las sustancias integrantes de nuestros tejidos en otras más simples, productos finales que suelen excretarse.

Se distingue el metabolismo general, o de todo el organismo, la energía que entra, que se utiliza y que sale, y el metabolismo específico de cada sustancia por separado, por ejemplo, el de la glucosa, el del calcio, etc. El balance metabólico es positivo si hay ganancia y negativo en caso de pérdida.

Son sustancias energéticas las integradas por hidratos de carbono, proteínas o grasas, que liberan energía utilizable por su degradación, y sustancias plásticas, las que forman tejidos.

La energía química de los alimentos se oxida y se convierte totalmente en calor durante el reposo; en condiciones de actividad física, el 22% se utiliza en trabajo y el 78% se transforma en calor.

MEDICION DEL METABOLISMO

El rendimiento de un motor se mide calculando el trabajo producido y el combustible gastado; por ejemplo, los kilómetros que recorre un automóvil con un litro de nafta. Otra forma de medir el rendimiento sería determinando el calor producido. Ambos métodos son de muy difícil aplicación en el ser humano, por la variedad de combustibles que utiliza y por la poca practicidad de la medición del calor.

Se recurre, por lo tanto, a medir el otro elemento que interviene en la combustión, el comburente, o sea, el consumo de oxígeno, sabiendo que por cada litro de oxígeno consumido se producen 5 kcal. Toda la energía consumida y generada en la vida del hombre representa la suma de dos fracciones:

- a) Un metabolismo constante o basal, que es el mínimo necesario para mantener el funcionamiento normal orgánico en condiciones de reposo psicofísico.
- b) Un metabolismo adicional, variable, que depende de las distintas actividades de la vida diaria.

El metabolismo se puede medir determinando el consumo de oxígeno por medio de un circuito cerrado o de un circuito abierto.

Circuito cerrado. Los aparatos usados para este fin son espirómetros que inscriben el consumo de oxígeno. El más utilizado es el de Benedict-Roth, en el cual se inspira oxígeno

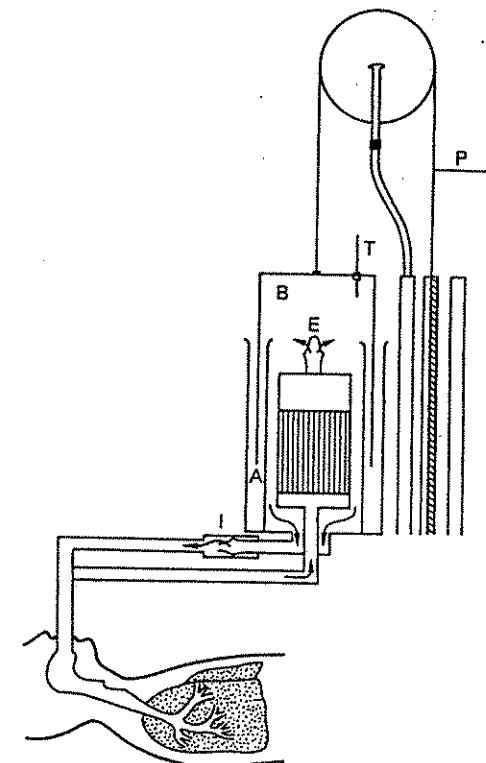


Fig. 11-1. Metabolímetro de Benedict-Roth. A, agua en la que flota la campana; B, campana; T, termómetro; I, válvula de inspiración; E, válvula de espiración; P, palanca inscriptora. (Tomado de Houssay, A. B y cols.)

puro y el aire espirado pasa por un recipiente con cal sodada que absorbe el CO_2 ; luego se lee el descenso del espirómetro y se calcula la cantidad de oxígeno consumido en cada unidad de tiempo. Multiplicándolo por 5, se obtienen las kilocalorías producidas.

Circuito abierto. En este caso el oxígeno respirado proviene directamente del aire atmosférico. El aparato más utilizado es la bolsa de Douglas, que consiste en una bolsa que recoge el aire espirado y una válvula que dirige el aire exterior al individuo y el espirado a la bolsa. Luego se sacan las proporciones de oxígeno del aire ambiental y del aire contenido en la bolsa; la diferencia es el oxígeno consumido en ese lapso.

Esta bolsa se suele emplear para medir el metabolismo adicional, o sea, para medir el consumo de oxígeno durante la realización de las distintas actividades efectuadas en un lugar determinado, pues permite cierta libertad al individuo.

METABOLISMO DE LOS HIDRATOS DE CARBONO

Después de la digestión, los hidratos de carbono se absorben casi exclusivamente en el intestino delgado en forma de monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa).

Los hidratos de carbono más abundantes en el organismo humano son la glucosa y el glucógeno; éste es un polímero de glucosa que se almacena en el hígado y en el músculo.

Glucemia. Es la cantidad porcentual de glucosa que circula en la sangre. La concentración normal es de 0,70 a 1,10 g por litro de sangre, con ligeras variaciones según los métodos utilizados para su medición.

El nivel de la glucemia depende del balance entre la entrada y salida de la glucosa.

El ingreso esta dado por: a) absorción intestinal; b) la que proviene del líquido intersticial; c) la que llega del glucógeno hepático.

La pérdida de glucosa se produce por diversas vías: a) salida del líquido intercelular y transformación en grasas que se trasladan a los depósitos; b) transformación en glucógeno (hígado y músculos); c) utilización en el metabolismo energético.

Las cifras de glucemia se mantienen dentro de niveles normales gracias a acciones hormonales excitadoras o depresoras.

La insulina disminuye el nivel de glucosa y el glucagón, la somatotrofina y los glucocorticoides la elevan.

Los hidratos de carbono constituyen la principal fuente de energía, la más fácil de obtener y la más barata. El organismo solo almacena alrededor de 500 g o sea, más o menos lo que se consume por día; de ahí que se deben proveer permanentemente con los alimentos, ya que de lo contrario el organismo tiene que recurrir a las reservas de grasa o proteínas para que el hígado forme hidratos de carbono.

METABOLISMO DE LAS GRASAS

Las grasas o lípidos de los seres vivos y de los alimentos son compuestos de ácidos grasos que tienen un alto poder energético y calórico, pues 1 gramo produce 9,3 calorías. Además, son la fuente de las vitaminas liposolubles A, D, E y K.

La absorción de los lípidos se efectúa en el intestino delgado, en la forma de moléculas pequeñas de ácidos grasos.

Se pueden formar grasas a expensas de los hidratos de carbono y, aunque en forma más difícil, a partir de las proteínas. A su vez, las grasas se pueden transformar en hidratos de carbono.

Se observa movilización de las grasas corporales en el ayuno y durante el frío intenso y el ejercicio muscular prolongado.

En nuestro organismo las grasas se utilizan como combustible bajo dos formas:

1) Como ácidos grasos libres que son vehiculizados por la sangre desde el tejido adiposo; si un ejercicio es prolongado, estos ácidos grasos libres pueden producir ATP por el sistema aeróbico. El consumo de ácidos grasos libres está relacionado con la dieta; en los países fríos, donde la alimentación es predominantemente grasa, constituyen una gran fuente energética.

2) Como triglicéridos, que se encuentran en el tejido muscular. En actividades prolongadas de resistencia se utilizan los triglicéridos musculares.

Efectuando punciones-biopsia del tejido muscular seriadas durante trabajos submáximos y prolongados, se comprueba que las reservas de triglicéridos disminuyen a medida que aumenta la duración del ejercicio, duración relacionada con la reserva de triglicéridos musculares previos al ejercicio.

METABOLISMO DE LAS PROTEINAS

Las proteínas forman parte fundamental del protoplasma celular. Contienen C, O₂, H, N, S y a veces P. Las proteínas a su vez están constituidas por aminoácidos. Las provenientes de la dieta se absorben en el intestino delgado en forma de aminoácidos.

El organismo necesita recibir permanentemente proteínas para mantener su peso y reparar sus propias proteínas, pues parte de ellas son catabolizadas, o sea que son necesarias para reparar tejidos, función eminentemente plástica. Solo se utilizan como combustible cuando no se dispone de otra sustancia alimenticia, como ocurre en el ayuno prolongado.

UTILIZACION METABOLICA DURANTE EL EJERCICIO

Si se aumenta la intensidad del ejercicio, sobre todo en los de corta duración, el principal combustible utilizado es el proveniente de los hidratos de carbono. En un ejercicio breve e intenso se recurre al sistema anaeróbico láctico.

A medida que disminuye la intensidad y aumenta la duración del ejercicio, la fuente más importante de combustible está representada por las grasas, pero eso no quiere decir que desde el comienzo no se hayan utilizado los hidratos de carbono. En otros términos, en un ejercicio prolongado se empiezan a utilizar los hidratos de carbono para luego pasar a las grasas, y a veces, en las carreras prolongadas que tienen esfuerzos máximos finales, vuelven a utilizarse los hidratos de carbono.

Es importante entonces en los entrenamientos para ejercicios de resistencia que la dieta provea la cantidad suficiente de hidratos de carbono para mantener la glucemia en sus límites normales y la reserva de glucógeno en el hígado, que se vuelva a la sangre si el nivel de glucemia disminuye, como sucede cuando la glucosa se consume durante el ejercicio.

Lo primero en utilizarse es el glucógeno muscular, sobre el cual influye el tipo de ejercicio, ya que depende de la participación de cada músculo en la actividad. Cuando se agota el glucógeno muscular, sobreviene la fatiga.

También se ve afectado el consumo de glucógeno por la variedad de fibra muscular utilizada. Las fibras de contracción rápida (CR) se adaptan mejor al trabajo de gran intensidad y de corta duración, y utilizan sobre todo el sistema del ATP (metabolismo anaeróbico), por lo que son fibras glucolíticas rápidas. En cambio, las fibras de contracción lenta (CL) tienen mayor capacidad aeróbica y se adaptan mejor a los ejercicios de resistencia.

Ya se dijo que también las grasas pueden actuar como combustible, tal como lo hacen en ejercicios prolongados. Las grasas se consumen en forma de ácidos grasos libres, capaces de producir ATP por el sistema del oxígeno.

Los triglicéridos musculares están formados por glicerol y por ácidos grasos. Mediante biopsias musculares seriadas, se comprobó que a medida que se prolongaba el ejercicio disminuían las reservas musculares de triglicéridos. Las reservas musculares de glucógeno y de triglicéridos suministran alrededor del 75% del combustible y los ácidos grasos libres y la glucosa sanguínea aportan el 25% restante.

Si el ejercicio es breve, la energía proviene casi exclusivamente del glucógeno, y si la actividad solo dura segundos (lanzamientos), el principal dador de energía es el ATP-PC, o sea, el metabolismo anaeróbico alactácido.

NECESIDAD CALORICA

La alimentación del deportista debe abastecer el gasto energético de su funcionamiento orgánico y, a diferencia del sedentario, el del trabajo que realizará su necesidad calórica está dada, entonces, por la suma de su metabolismo de reposo y la de sus actividades comunes y deportivas. Se entiende por metabolismo de reposo a la suma del metabolismo basal, la acción dinámica específica de los alimentos y la energía necesaria para la utilización de esos alimentos.

Metabolismo basal. Es el mínimo aporte calórico para el mantenimiento de la vida en reposo absoluto psicofísico. Comprende el mínimo funcionamiento respiratorio, circulatorio, renal, tono muscular, nervioso, mantenimiento de la temperatura corporal y funcionamiento hepático y glandular.

La cantidad de calor producido es función directa de la superficie corporal.

El metabolismo basal disminuye con la edad; por ejemplo: un niño de 6 años produce 53 kcal/m²/hora, y un hombre de 70 años 34 kcal/m²/hora.

Para la edad considerada deportiva, entre los 16 y 35 años, el valor medio es de 40 kcal/m²/hora para el hombre y de 37 kcal/m²/hora para la mujer, lo cual representa para

un individuo de masa corporal intermedia alrededor de 1 kcal por kg de peso corporal y por hora.

El aumento de la temperatura corporal eleva el metabolismo basal en un 13% por cada grado que supere los 37° C.

Acción dinámica específica de los alimentos. Durante los procesos de absorción y asimilación de los alimentos se produce un aumento en el metabolismo basal que no tiene relación con el trabajo digestivo. Este proceso se denomina acción dinámica específica. Difiere para los distintos alimentos, ya que es del 40% para las proteínas, del 14% para las grasas y del 6% para los hidratos de carbono.

La acción dinámica específica de los alimentos produce energía adicional, la que se debe al influjo ejercido sobre las células por la mayor actividad que desarrollan después de la absorción de los nutrientes. El calor producido por la acción dinámica específica de las proteínas es el factor más importante en el mantenimiento de la temperatura corporal.

Además, los procesos químicos y mecánicos que intervienen en la digestión y la absorción de los alimentos producen un aumento de alrededor del 18% del metabolismo basal. Todos estos porcentajes deben sumarse al metabolismo basal de reposo.

Por otra parte, el deportista realiza durante el día gastos energéticos en actividades comunes, como se muestra en el cuadro siguiente:

Costo energético de actividades comunes
(kcal por kg de peso corporal y por hora)

Actividad	kcal
Sentado cómodamente	1,43
Leer en voz alta	1,50
Cantar	1,74
Parado cómodamente	1,50
Guiar un automóvil	1,90
Escribir a mano o a máquina	1,45
Subir escaleras	15,80
Bajar escaleras	5,20
Caminar a 4 km por hora	2,80
Caminar a 8 km por hora	4,28
Andar en bicicleta a 15 km por hora	5,46
Andar en bicicleta a 22 km por hora	9,25
Bailar	10,84
Correr	12,00
Necesidades personales (lavarse, vestirse, etc.)	3,00

Es necesario además calcular el costo energético de las actividades de trabajo que realiza el deportista fuera de los momentos de entrenamiento.

El cálculo del gasto energético para la actividad deportiva debe hacerse sobre la base de las horas de entrenamiento y el tipo de trabajo.

La principal dificultad que se presenta está constituida por la variedad de ejercicios de entrenamiento generales y específicos, con sus variaciones semanales, y el aumento de su intensidad a medida que progresa el entrenamiento.

También tiene importancia el factor ambiental; si la temperatura es baja, se debe calcular que hay mayor pérdida de calor y, por lo tanto, mayor gasto energético para mantener la temperatura corporal normal.

Todo esto hace imposible calcular con exactitud el gasto calórico y obliga a una estimación aproximada para mantener al deportista en su peso, teniendo en cuenta la suma del gasto calórico basal, el de reposo, el de las actividades comunes de la vida, el del trabajo que realiza el deportista y el gasto energético del entrenamiento.

Método práctico para determinar el valor calórico de la dieta en función de la actividad (por kg de peso corporal en 24 horas)

Actividad	Definiciones	Calorías
Basal En cama, inconsciente	Es el caso de pacientes en coma o hibernación, que no tienen actividad alguna.	20-25
Reposo En cama y despierto	El que pasa la mayor parte de la vida acostado o sentado, en silencio, leyendo o hablando normalmente en los menesteres de la higiene personal (comer, lavarse, etc.).	25-30
Muy liviana Sin trabajo muscular	Aquel que realiza su trabajo en ambientes templados y sin trabajo muscular. El que no tiene trabajo o profesión determinada (ocupado, rentista, etc.).	30-35
Liviana Con poco trabajo muscular	Aquel que lo cumple en actividad, en ambiente cerrado y como funcionarios, empleados, bientes, relojeros, sastres, dibujantes, etc.	35-40
Mediana Con trabajo muscular mediano	Aquel que lo realiza en ambiente templado, pero en actitud de pie, como en grafos, tipógrafos, maestros, res, médicos, dentistas, porteros, electricistas, precisión, cocineros, amas, etc.	40-45
Intensa Con trabajo muscular intenso	Aquel que realiza trabajos desplegando bastante actividad, albañiles, peones, repartidores ambulantes, pintores, res, etc.	45-50
Muy intensa Con intensa actividad muscular	Aquel que realiza trabajos en ambientes extremos, y que al mismo tiempo realiza una actividad muy intensa, leñadores, peones de campo, res, picapedreros, foguistas, etc.	50-70

DIGESTION

La función del aparato digestivo es la de proveer el combustible para la combustión celular. A través de él ingresan en el organismo los elementos plásticos para formar tejidos y suministrar la energía necesaria para el desarrollo de las diferentes funciones.

Esta misión la cumple mediante sus tres funciones:

- a) Digestión, división química de los alimentos en sus componentes, degradando a las sustancias a su mínima expresión.
- b) Absorción, incorporación de esas sustancias al organismo a través del intestino delgado.
- c) Asimilación, transformación de la sustancia extraída en elementos o sustancia propia.

La digestión de los alimentos comienza en la boca, donde los dientes cortan, desgarran o trituran los alimentos, se embeben en saliva y se desdoblán los polisacáridos en disacáridos, formando el bolo alimenticio.

Cuando el bolo alimenticio ha adquirido la consistencia apropiada con la función de deglución pasa al esófago, que con sus movimientos peristálticos lo lleva al estómago. En este órgano el bolo alimenticio se mezcla con los jugos gástricos y se convierte en el quimo; los alimentos son totalmente licuados y acidificados por la acción del ácido clorhídrico gástrico y comienza la degradación de las proteínas y la emulsión de las grasas; luego el quimo pasa al duodeno, donde recibe bilis y jugo pancreático, y después al yeyunoileon, donde termina su digestión; el producto resultante se denomina quilo. La digestión finaliza por la acción de numerosas enzimas, tras lo cual comienza la absorción. Los nutrientes que provienen del quilo atraviesan las paredes del intestino delgado y son transportados por los vasos quilíferos a la vena porta, que los lleva al hígado, donde son utilizados y asimilados; del hígado pasan a la sangre que los distribuye por los diferentes tejidos. La energía de los alimentos se almacena parcialmente como glucógeno y sobre todo como grasa, en los tejidos adiposos que rodean las vísceras o debajo de la piel.

NUTRIENTES ENERGETICOS

Son los alimentos que al degradarse químicamente suministran energía para resintetizar ATP. Están constituidos por el glucógeno muscular y hepático y las grasas almacenadas como reserva en los músculos. Normalmente las proteínas no se usan como nutrientes energéticos, excepto en el ayuno prolongado.

La necesidad de proteínas de las personas adultas es de más o menos 1 gramo por kilo de peso corporal y por día. Una persona de 70 kg necesita 70 g de proteínas diarias, de manera que el cálculo debe hacerse sobre la base de estos requerimientos.

Una dieta bien equilibrada debe suministrar entre 80 y 120 g de proteínas que representarán del 15 al 20% del aporte alimenticio diario. No es necesario un aporte mayor de proteínas, sobre todo en forma de medicación, pues una dieta excesivamente rica en proteínas causa deshidratación.

Las necesidades nutritivas de los deportistas deben ser cubiertas equilibradamente de acuerdo con la siguiente proporción:

Proteínas 15-20%

Grasas 25-30%

Hidratos de carbono 50-55%

Si un deportista requiere 5000 kcal por día se le deben suministrar de 550 a 600 kcal de proteínas, 1250 a 1500 kcal de grasas y 2500 a 2750 kcal de hidratos de carbono, es decir, 150 a 125 g de proteínas, 138 a 166 g de grasas y 625 a 687 g de hidratos de carbono.

De ese modo estarán cubiertas sus necesidades nutritivas y calóricas.

VITAMINAS Y MINERALES

Las vitaminas son sustancias orgánicas estrictamente necesarias en pequeñas cantidades y cumplen un papel específico para determinadas funciones, sobre todo para la formación de enzimas, útiles en el desarrollo, crecimiento y reproducción. No desempeñan funciones energéticas ni plásticas. Avitaminosis es la carencia de vitaminas e hipervitaminosis su exceso.

Se divide a las vitaminas en liposolubles e hidrosolubles.

Liposolubles

Vitamina A. Su falta produce xeroftalmia, ausencia de visión nocturna y trastornos epiteliales; su exceso puede provocar hemorragias nasales y trastornos óseos con fracturas espontáneas.

Vitamina D. Su falta origina trastornos en el crecimiento, raquitismo y descalcificación. Es necesaria la acción de los rayos solares para su absorción. Su exceso determina falta de apetito, diarreas y trastornos renales, a veces con formación de cálculos.

Vitamina E. La carencia provoca esterilidad en los animales, con abortos espontáneos.

Vitamina K. Es la vitamina antihemorrágica. Su carencia da lugar a hemorragias espontáneas ante pequeños traumatismos.

Para absorber las vitaminas liposolubles es necesaria la presencia de bilis en el intestino.

Hidrosolubles

Vitamina B₁. La avitaminosis B₁ ocasiona beriberi, caracterizado por falta de apetito, debilidad, insomnio, fatiga y taquicardia, que eventualmente puede llegar a la muerte.

Vitamina B₂. Su falta produce trastornos en la lengua y fisuras en las comisuras de los labios.

Vitamina B₆. Su falta se manifiesta por lesiones cutáneas y trastornos bucales.

Nicotinamida. Su falta produce la pelagra, que se caracteriza por dermatitis, inflamación de la lengua, diarreas y debilidad muscular.

Vitamina B₁₂. Su carencia provoca anemia perniciosa.

Vitamina C. Su ausencia origina el escorbuto, que presenta como síntomas debilidad, fatiga fácil, dolores generalizados, hemorragias y falta de apetito; incluso puede llevar a la muerte.

Solo se observan hipervitaminosis con el suministro de excesivas dosis de vitaminas A y D.

Todas las vitaminas son provistas con la dieta normal, particularmente alimentos frescos, vegetales verdes, cereales, frutas, leche y huevos.

Los *minerales* son compuestos químicos inorgánicos necesarios en pequeñas dosis. Se presentan en forma natural en gran variedad de alimentos. Los principales son el hierro, el calcio, el fósforo, el potasio, el sodio y el yodo.

Durante el ejercicio y el entrenamiento no hay mayor demanda vitamínica o mineral, excepto quizá la del hierro, puesto que se ha observado su disminución en actividades intensas y prolongadas, sobre todo en mujeres.

Es muy común el abuso de vitaminas y minerales por parte de los deportistas y está demostrado que este exceso no aumenta el rendimiento físico; además, las necesidades diarias se satisfacen habitualmente con una dieta bien equilibrada.

GENERALIDADES DE LA ALIMENTACION DEL DEPORTISTA

Una dieta variada y bien balanceada es todo lo que necesita un deportista, fundamentalmente compuesta por alimentos frescos. A medida que aumenta el entrenamiento se deben aumentar las kilocalorías. Si la dieta es equilibrada, simplemente se debe aumentar su cantidad, tratando que las grasas no superen el 35%. Esto es válido para los deportistas en general, tanto si efectúan un entrenamiento de fuerza como de resistencia.

A pesar de lo dicho, se puede influir desde el punto de vista dietético en el rendimiento del entrenamiento. Es necesario adaptar los nutrientes energéticos a las finalidades de aquél. En el entrenamiento para carreras largas o para saltos en alto o en largo, el peso corporal y la masa muscular no deben ser muy grandes, pues se debe realizar más fuerza para vencer ese peso muerto, aspecto que no tiene importancia en los lanzamientos y en el levantamiento de pesas.

Para efectuar el balance dietético del deportista es necesario tener en cuenta el tipo de deporte que practica, si es de breve o de larga duración, si su especialidad necesita perma-

REGLAS FUNDAMENTALES PARA LA ALIMENTACION DEL DEPORTISTA

1. Respetar las diferentes fases de la alimentación, ración de entrenamiento, de competición y recuperación.
2. Beber suficiente líquido, aproximadamente 1,5 l por día, de ser posible fuera de las comidas (agua, jugos de frutas, té, café ligero, caldos de verdura).
3. Evitar el abuso de productos azucarados.
4. Tomar cuatro comidas diarias: desayuno, almuerzo, merienda y cena.
5. No utilizar nunca suplementos vitamínicos o alimentos concentrados sin prescripción médica.
6. No comer alimentos difíciles de digerir, que pueden provocar trastornos digestivos.
7. No hacer nunca deportes en ayunas o casi en ayunas, ni después de una comida abundante; no comer inmediatamente después del ejercicio (por ejemplo, festejar la victoria).
8. De ser posible, se evitarán las salsas muy condimentadas, embutidos, frituras, grasas y alimentos que provoquen fermentación (legumbres, pan caliente, repollo, porotos) o aerofagia (cerveza, gaseosas), el café fuerte y las bebidas alcohólicas.

Valor calórico de los alimentos
(calorías por cada 100 g)

Leche	67
Quesos blandos y semiblandos	280
Quesos duros	434
Ricotta	178
Carnes	134
Huevos (dov)	156
Vegetales "A"	24
Vegetales "B"	44
Vegetales "C"	88
Gallinillas dulces	410
Cereales (harinas)	320
Pastas cocidas	88
Legumbres (cocidas)	108
Féculas	348
Frutas "A"	42
Frutas "B"	62
Frutas secas	629
Frutas desecadas	257
Pan	280
Factura	323
Azúcar	800
Dulce de frutas	300
Dulce de leche	363
Aceite	900
Mantequilla	765
Crema de leche	343
Helado de frutas	108
Helado de crema de vainilla	235
Helado de chocolate	466
Cerveza	48
Gaseosas	40

Vegetales y frutas

Vegetales grupo "A": acelga, achicoria, apio, berro, berenjena, cardo, coliflor, escarola, espárrago, espinaca, lechuga, pepino, pimiento, rábano, rabanito, radicha, repollo, repollito de Bruselas, tomate, zapallito.

Vegetales grupo "B": alcaucil, arveja fresca, cebolla, cebollita, chaucha, chayote, nabo, puerro, remolacha, salsifi, zapallo, zanahoria.

Vegetales grupo "C": Batata, choclo, mandioca, papa.

Frutas grupo "A": lima, limón, mandarina, naranja, pomelo.

Frutas grupo "B": ananá, banana, cereza, ciruela, damasco, durazno, frutilla, higo, manzana, melón, membrillo, pera, sandía, uva.

Frutas secas: nueces, avellanas, almendras, castañas, piñones, maní.

Frutas desecadas: pasas de uva, ciruelas, dátiles, higos, orejones de duraznos, peras, manzanas, damascos.

Harinas: arroz, avena, cebada, chuño, fariña, maíz, ñaco, sémola, tapioca, trigo.

Harinas de legumbres: arveja, haba, garbanzo, lenteja, poroto.

Granos: arroz, avena, cebada, centeno, maíz pisado, trigo.

Legumbres: arveja, haba, garbanzo, lenteja, poroto.

Pesos y medidas aproximadas

Pesan 10 g: Una cucharada sopera colmada de aceite, avena arrollada, harina de garbanzos o queso rallado.

Pesan 15 g: Una cucharada sopera colmada de harina de trigo, arroz, chuño, ñaco, azúcar en polvo, harina de lenteja o de arvejas.

Pesan 20 g: Una cucharada sopera colmada de sémola, harina de maíz, lentejas enteras, trigo triturado o harinas gruesas.

Pesan 25 g: Una cucharada sopera colmada de cebada perlada, arroz, maíz pisado, trigo, arveja, centeno o garbanzos.

Una papa mediana pesa 125 g con cáscara y 100 g pelada.

Un huevo pesa 50 g, la clara 35 y la yema 15.

Una naranja o una mandarina mediana pesan 120 g.

Una banana mediana pelada pesa 70 g.

100 g de carne magra es igual a un bife de 10 × 9 × 1 cm.

ALIMENTACION DEL DEPORTISTA

La práctica regular de algún deporte, tanto aficionado como profesional, implica un esfuerzo muscular que eleva las necesidades caloríticas y demanda un aporte suplementario de sustancias nutritivas. Este complemento alimentario estará naturalmente condicionado por el tipo de deporte practicado y por el tiempo que se le dedique. La selección de una adecuada alimentación, en cantidad y calidad, es algo fundamental para el rendimiento, la salud y el bienestar del deportista.

El régimen alimenticio de los atletas se divide en tres fases: ración de entrenamiento, de competición y de recuperación. La primera y la segunda son las mismas para todos los deportes; la tercera varía según la intensidad y la duración del esfuerzo realizado.

Ración de entrenamiento. Durante este período el suplemento dietético debe estar en relación con el tipo de deporte y el grado de dedicación y se dirigirá a nutrir y dotar al organismo de una reserva energética.

Por lo general esta ración aporta un promedio de 3400 calorías diarias, de las cuales el 15 al 18% serán suministradas por las proteínas, el 55% por los hidratos de carbono y el 30% por las grasas. La ración de agua será de 1 ml por caloría, que equivale a 3400 ml de agua por día, la cual será aportada con las bebidas.

Como orientación podemos calcular que una hora de práctica ininterumpida de deporte, por una persona de 21 años, 1,70 m de estatura y 70 kg de peso, supone un gasto calórico de:

nente técnica o fuerza, o ambas cosas. En el caso de las pruebas de resistencia es preciso distinguir aquellas que duran menos de una hora y las que duran más tiempo.

En las pruebas de menos de una hora, la provisión energética disponible en las reservas es suficiente por lo común para cubrir las necesidades. Es decir que basta una dieta normal. En estos casos no conviene ingerir alimentos desde 2 o 3 horas antes de la sesión de entrenamiento o de la competencia, pues, a causa de la derivación sanguínea a los lugares activos, el aparato digestivo entraría en competición con el sistema muscular y ambos quedarían con poca sangre para sus funciones. Es importante que la última comida previa a la prueba sea de fácil digestión. No se deben ingerir grandes cantidades de hidratos de carbono por el efecto insulínico que provocan y la hipoglucemia consiguiente.

En las actividades físicas que duran entre 1 y 2 horas con participación de grandes masas musculares, es recomendable la ingestión de dietas muy ricas en hidratos de carbono, desde varios días antes de la prueba, para reabastecer las reservas musculares de glucógeno. En los dos o tres días previos no conviene realizar actividades intensas que agoten el glucógeno sintetizado y en ese lapso se retornará a la dieta equilibrada.

En las actividades que duran varias horas es igualmente ventajosa la ingestión de grandes cantidades de hidratos de carbono varios días antes de la prueba; lo mismo que en el caso anterior es además importante la ingestión de hidratos de carbono durante la competencia. De ser posible, antes de la competencia se debe ingerir glucosa o azúcar fácilmente digerible diluida en agua, no en bebidas gaseosas. Debe recordarse que un volumen de líquido distiende el estómago e impide una normal excursión diafragmática. Es posible que el deportista se acostumbre a la ingestión de sustancias azucaradas, ya que si no las ingiere puede sufrir episodios desagradables de acidez gástrica. La absorción de agua y glucosa no se altera con el ejercicio. Fuera de estos períodos de grandes entrenamientos o competencias, el deportista debe ingerir una dieta bien equilibrada. Considerando que la actividad aumenta el apetito, es necesario evitar el engorde excesivo.

Otra ventaja que ocasiona el enriquecimiento de glucógeno en la fibra muscular es que cada gramo de glucógeno fija 2,7 g de agua; con una reserva de glucógeno máxima (alrededor de 700 g en total) se obtiene además un depósito de 2 litros de agua, la que se utiliza para mantener el equilibrio hídrico y la temperatura. Esta ventaja puede transformarse en perjudicial si el deportista debe mantener su peso para permanecer en una determinada categoría.

No existe razón científica para recurrir a costosos preparados proteicos para la dieta del atleta. Basta con carne, huevos, leche y pescado, y es suficiente 1 g/kg/día de proteínas aun en entrenamientos intensivos.

Las comidas más frecuentes y moderadas son mejor aprovechadas y toleradas que las espaciadas y abundantes.

Con respecto a los líquidos, se debe tener gran cuidado en prevenir la deshidratación si el entrenamiento es intenso y el clima caluroso. Es conveniente la ingestión de las cantidades necesarias de agua, o consumir comidas saladas, ya que la sal es ávida de agua y obligará al entrenado a consumirla en mayores cantidades; la retendrá entonces más y podrá eliminar también un volumen mayor para mantener la temperatura.

Como corolario, diremos que la dieta debe ser aceptable para el individuo. Es necesario saber que no hay píldoras vitamínicas ni suplementos proteicos milagrosos para mejorar el rendimiento deportivo.

Se suelen ver con frecuencia errores cometidos por los deportistas que compiten en deportes por categorías. No es raro que un boxeador, luchador o levantador de pesas, que 8 o 10 días antes de la competencia está excedido de peso para su categoría, se someta a dietas de ayuno, gran trabajo muscular y sudoraciones con baños sauna para poder descender de peso. En estos casos el atleta llega a la competencia con una acentuada disminución ponderal y una gran disminución del glucógeno muscular, lo cual provoca cetonuria, acidosis metabólica, deshidratación y pérdidas de electrolitos, con la consecuente disminución en la fuerza, destreza y resistencia.

LA ALIMENTACION DESPUES DE LA COMPETENCIA

La alimentación después de una competición debe suplir las pérdidas producidas por la actividad deportiva, es decir, equilibrar la cantidad de nutrientes calóricos y plásticos gastados en ella.

Se debe evitar la ingestión de alimentos de difícil ingestión, pesados y grasos; es importante una buena rehidratación para llegar a un perfecto equilibrio líquido. En las competencias muy prolongadas y exhaustivas es preciso compensar todos los déficit: hídrico, salino, proteico e hidrocarbonado. Es importante ingerir jugos azucarados y sales minerales para reponer lo perdido.

Tabla abreviada de composición química de los alimentos
(por 100 g, valores aproximados)

Alimentos	Hidratos de carbono	Proteínas	Grasas
Leche	5	3	3
Quesos (prom.)	-	blandos 18	24
		semiblandos 27	25
		duros 32	34
Petit-Suisse	-	9	18
Ricotta	-	13	14
Carne (vacuno, cerdo, ovino, pescado, ave, jamón desgrasado)	-	20	6
Huevo (2 unidades)	-	12	12
Hortalizas "A" (promedio)	5	1	-
Hortalizas "B" (promedio)	10	1	-
Hortalizas "C" (promedio)	20	2	-
Farináceos (tallarines, arroz, fideos, etc.)	20	2	-
Legumbres secas (arvejas, garbanzos, habas, lentejas, porotos)	20	7	-
Harinas de cereales (promedio)	70	10	-
Harinas de legumbres (promedio)	60	23	1,5
Féculas	80-85	5-7	-
Frutas "A" (promedio)	10	0,6	-
Frutas "B" (promedio)	15	0,7	-
Frutas secas (almendras, nuez, mani)	11	18	57
Frutas desecadas (ciruela, higo, orejones) (promedio crudas)	60	2	1
Pan	60	10	-
Blizcochos	70	12	5
Galletitas	70	10	10
Facturas (medialunas)	55	10	7
Azúcar	100	-	-
Dulce de frutas	75	-	-
Dulce de leche	60	8	9
Aceite	-	-	100
Manteca	-	0	85
Crema de leche liviana	4	3	30
Crema de leche pesada	2	2	40
Helado de frutas	27	-	-
Helado de crema de vainilla	18	2,5	17
Helado de chocolate	75	3,8	16,8
Bebidas			
Gaseosas	10	-	-
Cerveza	3-5	-	4
Sidra dulce	4,5	-	5
Vinos secos	0,3	-	12
Vermut italiano	15	-	18

12 | ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Quizás el hombre es el ser más adaptable a las circunstancias en las que le toca vivir: se adapta a temperaturas variables, a condiciones de vida no habituales, a regímenes a los que no está acostumbrado, a distintas formas de vida y de trabajo y responde adaptándose morfofuncionalmente al medio.

El entrenamiento es un ejemplo de adaptación.

Es el aumento de la capacidad funcional del individuo, aumento conseguido a través de la repetición de actividades relacionadas con la que se entrena, repetición que progresivamente aumenta de intensidad, duración y frecuencia. Obtiene una mejor actuación para la cual se entrena logrando una mejoría orgánicofuncional, mejoría que se logra por la repetición del trabajo muscular. Esto significa que una persona entrenada obtiene modificaciones orgánicofuncionales en todos los aparatos y sistemas involucrados en ese proceso, las cuales son provocadas por una verdadera adaptación al esfuerzo físico ocasionado por el entrenamiento.

Estos fenómenos de adaptación persisten una vez logrados y determinan un aumento de los elementos dadores de energía y su rápida reposición, es decir, aumento del consumo de oxígeno con aumento de su absorción y transporte, lo cual trae aparejado una mejoría del funcionamiento nervioso y de la coordinación neuromuscular.

El organismo humano tiende siempre a equilibrar su homeostasis, a que sus funciones sean siempre las normales. El entrenamiento logra que los esfuerzos máximos a que se ve sometido el organismo lo alteren lo menos posible, y que el restablecimiento de la homeostasis sea rápida y sin secuelas.

El trabajo físico es un estímulo para aumentar la respuesta morfofuncional del organismo. Se basa fundamentalmente en un proceso de repetición de cargas progresivas de trabajo, que provocan el estímulo orgánico de adaptación. Esta progresión nunca debe ser brusca, y es diferente de acuerdo con los objetivos trazados, ya que varía según se desee mejorar la fuerza, la destreza, la resistencia, etcétera.

La intensidad del estímulo tiene diferentes efectos sobre el organismo. Los estímulos leves y de baja frecuencia casi nunca alcanzan efectos de desarrollo. Cuando son más intensos ocasionan un aumento en la excitación-respuesta; si aumentan de intensidad producen adaptación al trabajo y mejoría en el rendimiento, pero si son muy intensos pueden ser contraproducentes o perjudiciales. Es indudable que todo proceso de entrenamiento debe ser individual, adaptarse al individuo y a la respuesta que se obtiene.

Por lo general el mejor rendimiento se logra simplemente llevando a cabo la actividad para la cual el sujeto se entrena y no solo se consiguen cambios en la fuerza muscular y el consumo de oxígeno, sino también cambios estructurales orgánicos y psicológicos.

Se expone al organismo a una carga progresiva de trabajo, en lo relativo a intensidad, duración y frecuencia, para producir un efecto mensurable y permanente, es decir, un mejoramiento funcional. Esta intensidad, duración y frecuencia aumentan progresivamente a medida que se obtiene la respuesta, la cual es individual y variable con la edad del individuo.

Es obvio que la actividad física y el entrenamiento deportivo son diferentes, pues se debe mantener esa actividad a cierto nivel de intensidad, duración y frecuencia para producir el efecto deseado.

A medida que aumenta la edad, dentro de ciertos límites, disminuye la respuesta al entrenamiento, pero siempre se consiguen progresos, adaptando por supuesto el entrenamiento a las posibilidades individuales.

Es necesario lograr una mejoría en los órganos captadores y transportadores de oxígeno para todas las modalidades deportivas.

La mejoría morfofuncional que produce el entrenamiento, como ya dijimos, es individual y por lo tanto responde a la capacidad de adaptación, absolutamente ligada a su constitución genética, y es así como aparecen las diferencias individuales que hacen a una persona más apta que otra para determinada modalidad deportiva.

Conociendo que cada actividad deportiva se basa sobre una o más cualidades atléticas, el entrenamiento deberá orientarse a potenciar las cualidades específicas a cada modalidad, que pueden ser de resistencia, de fuerza o de velocidad, todas las cuales tienen aspectos comunes.

El entrenamiento produce una mejoría en el desempeño de la función muscular, con aumento de la respuesta neuromuscular y perfeccionamiento de la coordinación motora, lo cual elimina los movimientos superfluos que entorpecen la actuación, utilizándose solamente los músculos estrictamente necesarios, con la consiguiente economía de esfuerzo y ahorro de energía.

Con el entrenamiento se producen modificaciones bioquímicas en las células musculares, particularmente un aumento de la reserva energética y de la capacidad de contraer una elevada deuda de oxígeno; además aumentan las enzimas oxidativas de las mitocondrias y la capilarización. Todo esto acrecienta la resistencia anaeróbica, lo cual permite disponer de mayor poder energético para las pruebas de corta duración y elevada intensidad.

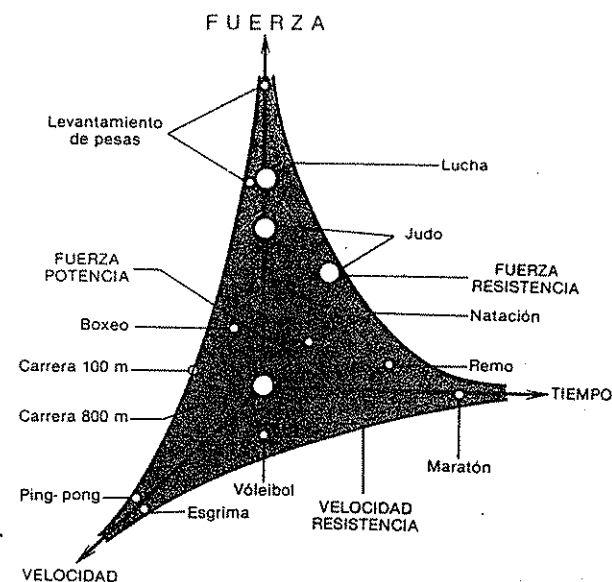


Fig. 12-1. Representación de los factores propios de las cualidades físicas. (Tomado de Venerando y Lubich: *Medicina dello Sport*. Società Editrice Universo. Roma, 1974.)

Existen pruebas de atletismo rápidas en las que la absorción de oxígeno no es importante durante la prueba en sí, por ejemplo, los 100 metros llanos. El atleta prácticamente no respira, es decir que la provisión energética es exclusivamente anaeróbica, con deuda de oxígeno, mientras que en los 200 y 400 metros llanos el 80 a 95% del trabajo es anaeróbico, el 50% en las pruebas de 1500 metros, el 10% en las de 10.000 y el 25% en el maratón. Por lo tanto, a medida que aumenta la distancia, aumenta la producción de metabolismo aeróbico, para luego decaer en el maratón, donde se acumula más ácido láctico a causa de su duración.

Todo esto significa que en las pruebas largas el rendimiento depende de la capacidad orgánica de absorber y utilizar el oxígeno y de un buen rendimiento muscular. En estos casos el entrenamiento debe estar dirigido a aumentar la potencia aeróbica, o sea, a mejorar la eficacia respiratoria, circulatoria y capilar a nivel muscular, y a favorecer la acción de los buffers para compensar la acidosis metabólica. Al mismo tiempo que se mejora el rendimiento muscular y orgánico, se deben mejorar los aspectos psicológicos del entrenado, el control emocional, la autoconfianza, la fuerza de voluntad, el dominio de sí mismo y la habilidad. Los velocistas (sprinters, lanzadores, saltadores) deben aumentar la fuerza, velocidad y coordinación de los movimientos. Los atletas de pruebas de mediana duración deben mejorar la fuerza y la resistencia anaeróbica, y los de larga duración, la capacidad orgánica y la resistencia aeróbica.

CONCEPTO DE APTITUD

Aptitud implica relación directa entre la tarea por realizar y la capacidad para realizarla, o sea, llevarla a cabo con eficacia y economía de esfuerzo y con amplia capacidad de recuperación.

La aptitud está en íntima relación con la tarea. No significa estado de salud, ya que, por ejemplo, hay individuos muy obesos con gran aptitud para destrezas manuales o cardiopatas que pueden realizar muy bien determinadas labores.

La aptitud depende de la adaptación individual morfofuncional y psicológica al trabajo por realizar, saber cómo se encara la tarea y la forma en la que se la efectúa.

El individuo debe tener los elementos físicos necesarios y un cuerpo adecuado; las malformaciones actúan como impedimento y son factores limitantes.

Hay diferencias estructurales individuales que hacen a las personas más aptas para determinada especialidad deportiva; por ejemplo, algunas personas son más aptas para actividades de fuerza, otras para las de velocidad y otras para las de resistencia.

Además, el funcionamiento orgánico debe estar preparado para soportar la intensa actividad que se realiza durante la práctica del deporte. El aparato respiratorio y el circulatorio deben ser capaces de aportar el oxígeno necesario para la combustión; el medio interno regular el pH y la temperatura, y el aparato urinario eliminar los residuos metabólicos.

Es necesario también que el individuo sepa adaptarse psicológicamente al deporte, que no represente un estrés permanente, sino que se encuentre cómodo y psicológicamente adaptado.

Los mecanismos que mantienen la homeostasis del medio interno deben tender a que ésta fluctúe dentro de los límites normales de la tolerancia para asegurar la normal actividad de los tejidos.

Cuando se realiza un esfuerzo, se altera el equilibrio orgánico, alteración que estimula a los mecanismos que restablecen el equilibrio. Si la actividad se efectúa durante mucho tiempo puede alcanzarse un nuevo equilibrio en diferente nivel metabólico, respiratorio, circulatorio y termorregulador. Es decir, se alcanza una fase estable a otro nivel de costo energético. La capacidad de lograr y mantener este equilibrio depende de la capacidad de homeostasis del individuo. Los factores limitantes son el mantenimiento de un nivel apropiado de glucemia, la provisión de glucógeno y de triglicéridos musculares, y el mantenimiento del pH sanguíneo y tisular, así como de la temperatura y de la provisión de oxígeno.

Todos estos elementos están regulados por el sistema nervioso central, que origina síntomas cuando alguna alteración no es regulada rápidamente.

La hipoglucemia causa obnubilación mental, fatiga y mareos, y si continúa, llega al coma hipoglucémico con pérdida del conocimiento.

EFFECTOS ORGANICOS DEL ENTRENAMIENTO

Efectos circulatorios

Un factor limitante en el rendimiento de las actividades de larga duración es la cantidad de oxígeno requerida para efectuar metabolismo aeróbico y recomponer las reservas de fosfágeno necesarias para poder continuar con la actividad. Cuanto más oxígeno se absorba, tanto mayor será el tiempo que pueda durar una actividad.

En actividades que demandan la acción de menos de un tercio de la musculatura, la actividad circulatoria no es un factor decisivo, sino la capacidad metabólica celular. Todas las adaptaciones que efectúa el aparato circulatorio tienden a una mayor transferencia de oxígeno a los músculos activos.

Con el entrenamiento, particularmente en las actividades de larga duración se produce una hipertrofia cardíaca, que representa una adaptación fisiológica. Igual que los músculos esqueléticos, el miocardio también responde al entrenamiento hipertrofiándose.

En los deportistas que practican competencias de corta duración (menos de 60 segundos) y que no se entrenan para periodos más prolongados, la mejoría de la función cardíaca es escasa, no aumenta el tamaño del corazón, ni disminuye la frecuencia cardíaca de reposo; y durante la actividad tampoco se comprueba un aumento considerable de la absorción de oxígeno, como en los deportistas que realizan actividades de larga duración.

Efectos sobre el volumen minuto cardíaco. Sabemos que el índice de rendimiento del corazón es el volumen minuto cardíaco (VMC), es decir, la cantidad de sangre que el corazón impulsa al árbol arterial en un minuto. El VMC es el producto de la frecuencia cardíaca por el volumen sistólico.

El VMC máximo que puede lograrse es mayor en los atletas entrenados que en los individuos no entrenados de la misma masa corporal. El entrenamiento aumenta el volumen sistólico cardíaco, es decir que puede alcanzarse un determinado VMC con una frecuencia cardíaca menor, lo cual hace que el corazón permanezca más tiempo en diástole y aumente su eficacia como bomba.

El menor aumento de la frecuencia cardíaca provocado por el entrenamiento solo se obtiene cuando se utilizan los músculos entrenados; se supone que esto es consecuencia del mayor rendimiento del trabajo muscular o de respuestas vasculares locales determinadas por el incremento capilar de los músculos activos.

El VMC es mayor en los atletas entrenados para resistencia que en quienes lo hacen para fuerza y que en los sedentarios. El entrenamiento aumenta el flujo sanguíneo coronario. Al ejercitarlo con actividades de resistencia, el corazón se agranda y esto produce un aumento de su capacidad de bombeo, o sea, del volumen sistólico, con mejor vaciado en cada sistole. Hay también mayor sincronía en la contracción de las fibras del miocardio, lo cual aumenta la eficacia de la contracción.

A la hipertrofia cardíaca se la llamaba corazón de atleta y suele encontrarse en los corredores fondistas. Como ya se dijo, el corazón responde al entrenamiento hipertrofiándose, o sea, aumentando de tamaño por aumento del tamaño de sus células.

A un corazón sano no le hace daño el entrenamiento progresivo.

Un corazón con insuficiencia cardíaca también a veces aumenta de tamaño (el tamaño normal es el siguiente: el diámetro trasverso del corazón debe entrar tres veces en el diámetro trasverso del tórax; esto es el índice cardiorácico), pero sus paredes están debilitadas por enfermedades, están dilatadas; en cambio, las del corazón entrenado son gruesas, hipertrofiadas, fortificadas por el ejercicio.

Para provocar una buena hipertrofia cardíaca y desarrollo vascular se deben ejercitar gran número de músculos en actividades intensas, como remo, ciclismo, subir escaleras, etcétera.

Es indudable que el corazón hipertrofiado del deportista tiene un mayor volumen sistólico, que aumenta a su vez el volumen minuto. La baja frecuencia cardíaca de reposo se compensa con el mejor aprovechamiento del oxígeno a nivel muscular provocado por la mejor vascularización. El deportista entrenado necesita para un mismo rendimiento menor frecuencia cardíaca que un sujeto sedentario.

Para medir el volumen sistólico cardíaco en forma práctica se utiliza el llamado pulso de oxígeno, que es la cantidad de oxígeno que se recibe en cada sístole (tabla 12-1). Se calcula combinando el consumo de oxígeno y la frecuencia del pulso; se determina por el volumen sistólico, el contenido de hemoglobina y el aprovechamiento de oxígeno en los tejidos investigando la diferencia del tenor de oxígeno entre la sangre arterial y la venosa. Con respecto al tamaño del corazón, cuanto más grande es el corazón suficiente, mayor es el pulso de oxígeno.

Tabla 12-1. Pulso de oxígeno en relación con el volumen cardíaco
(Según Musshoff, Reindell y col.)

	Número de examinados	Volumen cardíaco (en ml)	Pulso máximo de oxígeno (en ml)
Escolares	40	522	8,97
Adultos	57	710	12,67
Deportistas	74	922	18,30

Solo un corazón hipertrofiado puede llegar a un volumen sistólico de más de 200 ml (lo normal en reposo es de 50 a 70 ml) y elevar el volumen minuto a 35 litros o más (lo normal en reposo es de 5 a 6 litros).

A medida que aumentan los efectos del entrenamiento de resistencia, disminuye la frecuencia del pulso, que en reposo casi siempre es inferior a las 50 pulsaciones por minuto, y a veces inferior a 40 en sujetos altamente entrenados. Esto hace que el corazón permanezca más tiempo en diástole, por lo cual disminuye su consumo de oxígeno y mejora la irrigación del miocardio.

A medida que aumentan la intensidad y la duración del trabajo, la frecuencia cardíaca se eleva. Las frecuencias más altas se encuentran en los corazones pequeños, que pueden llegar en los adolescentes a cifras superiores a los 220 por minuto. En los adultos es raro que excedan los 200 y en los individuos entrenados solo por excepción se supera este valor.

Al mismo tiempo que aumenta la frecuencia cardíaca, aumenta el consumo de oxígeno por el miocardio y se produce mayor gasto metabólico.

Con el rendimiento normal, la frecuencia del pulso vuelve rápidamente al valor inicial durante la recuperación, pero si se ejecuta un trabajo muy intenso, el descenso de la frecuencia es más lento. La frecuencia es tanto mayor cuanto más intensa es la fatiga alcanzada.

Las investigaciones más recientes han revertido un poco estos conceptos. En ellas se utilizaron técnicas muy precisas, como la ecocardiografía, que permite estudiar la silueta cardíaca, el tamaño y el volumen de las cavidades y el espesor de las paredes del miocardio. En un estudio sobre adolescentes se los dividió en tres grupos según el tipo de entrenamiento: uno de resistencia cardiocirculatoria, otro anaeróbico y un tercero de sobrecarga. En ninguno se encontraron cambios significativos en el espesor de las paredes posterior e interventricular, ni en los diámetros ventriculares internos del ventrículo izquierdo.

En otro estudio se llegó a la conclusión de que los ventrículos izquierdos de los atletas son solo ligeramente más grandes que los ventrículos de los individuos sedentarios normales, pero más pequeños que los observados en casos de patología cardíaca o de hipertensión

arterial; además, el entrenamiento ocasiona un cambio ligero o nulo en las dimensiones del ventrículo izquierdo.

Con respecto a la irrigación de los músculos, no hay variaciones en el flujo sanguíneo en reposo entre personas entrenadas y sedentarias, pero aumenta en forma extraordinaria durante el esfuerzo máximo, así como también el consumo de oxígeno, lo cual evidencia claramente que hay una franca mejoría circulatoria con la apertura de nuevos capilares en los músculos activos gracias al entrenamiento.

En cuanto a la presión arterial, en los entrenados, la presión sistólica es más baja que en los sedentarios y la diastólica permanece más o menos igual. Con esfuerzos similares, la presión sistólica del entrenado es inferior a la del sedentario y siempre aumenta de acuerdo con la intensidad del trabajo, mientras que la diastólica se mantiene. Una vez terminada la actividad, la normalización es más rápida en la persona entrenada.

Resumiendo: los efectos del entrenamiento sobre el corazón son: en reposo: a) hipertrofia cardíaca (no siempre); b) reducción de la hipertensión; c) aumento del volumen sistólico; d) reducción de la frecuencia cardíaca.

Con ejercicios submáximos con carga fija se observa: a) aumento del volumen sistólico; b) reducción de la frecuencia cardíaca y del volumen minuto cardíaco, en tanto que el consumo máximo de oxígeno no sufre variaciones.

Durante ejercicios máximos se produce: a) aumento del volumen minuto cardíaco; b) aumento del volumen sistólico, y c) aumento del consumo máximo de oxígeno.

Efectos respiratorios

La función respiratoria es la encargada de proveer el comburente (oxígeno) para la combustión celular y de expulsar el producto tóxico de esa combustión (dióxido de carbono). El trabajo respiratorio consiste en producir diferencias de presiones que favorezcan el intercambio gaseoso.

Lo realmente importante es la cantidad de oxígeno que el aparato respiratorio puede ofrecer al organismo en actividad, y para ello aumentan tanto la frecuencia como la amplitud de las respiraciones (la segunda es más importante).

Durante la actividad física, el volumen respiratorio aumenta en forma paralela al consumo de oxígeno hasta alcanzar la fase estable. Si se incrementa la intensidad de la actividad a partir de ese momento, se entra en deuda de oxígeno.

En deportistas muy bien entrenados el volumen minuto respiratorio puede llegar a los 200 litros, cuando normalmente en reposo para un adulto oscila entre 15 y 25 litros.

La frecuencia y la amplitud respiratoria deben adaptarse continuamente a las exigencias.

Las relaciones reflejas entre la respiración y el ritmo de los movimientos son recíprocas: el movimiento influye en la respiración y el ritmo de ésta influye en el movimiento.

La limitación en el rendimiento provocada por la capacidad de absorción de oxígeno en los pulmones puede producirse solo durante cargas máximas.

Además, el entrenamiento mejora la economía de la respiración, lo cual permite absorber la misma cantidad de oxígeno con un menor volumen minuto respiratorio.

Como efectos del entrenamiento se produce una disminución de la frecuencia respiratoria con aumento de la amplitud, y aumenta asimismo la capacidad vital, pues también se entrenan los músculos respiratorios. Un individuo entrenado, además de encontrarse en condiciones de alcanzar un mayor volumen minuto respiratorio, presenta un mejor aprovechamiento del oxígeno.

A medida que progresa el entrenamiento, la adaptación de la respiración al ritmo del movimiento va pasando de voluntaria a automática a través de reflejos condicionados.

En reposo se evidencia un aumento de los volúmenes pulmonares y de la capacidad de difusión de los gases. En trabajos submáximos hay un incremento de la capacidad de difu-

sión pulmonar y del consumo de oxígeno a nivel muscular, y además se observa una reducción de la ventilación pulmonar con respecto a los sujetos sedentarios.

En actividades máximas tiene lugar un aumento de la capacidad de difusión gaseosa, de la ventilación por minuto y del consumo máximo de oxígeno.

Efectos sanguíneos

La sangre es influida en cada sesión de ejercicio físico, y además suelen apreciarse ciertos cambios duraderos como resultado del entrenamiento.

La repetición del ejercicio da lugar a una destrucción más rápida de los hematíes, los que son sustituidos también más rápidamente; ello se debe al aumento de su fragilidad.

La cantidad de hemoglobina y el número de glóbulos rojos, aumentan, como ocurre en la permanencia en la altura.

En los individuos entrenados se observa un mejor aprovechamiento del oxígeno, a causa del aumento de la llegada de sangre por mejor capilarización del músculo, lo cual determina un mayor contacto del oxígeno con la fibra muscular.

Por otra parte, un individuo entrenado es capaz de soportar cantidades relativamente altas de ácido láctico, pues cuenta con un buen sistema buffer formado por bicarbonatos, proteínas y fosfatos, que en conjunto constituyen la reserva alcalina. Esta aumenta en los sujetos bien entrenados como índice de la adaptación al ejercicio y al entrenamiento. Ese aumento de la reserva alcalina permite tolerar acidosis intensas.

Los glóbulos blancos aumentan durante las sesiones intensas de actividad, sobre todo los neutrófilos, y el aumento es permanente durante entrenamientos prolongados, con leve linfocitosis.

Modificaciones endocrinas en el entrenamiento

Las hormonas son sustancias químicas elaboradas por las glándulas endocrinas que actúan estimulando o inhibiendo funciones orgánicas.

Cuando una persona se entrena, las secreciones hormonales experimentan ajustes tendientes a adecuar al organismo a las diferentes necesidades energéticas.

Las hormonas que influyen sobre el sistema nervioso de la vida vegetativa son afectadas por el entrenamiento. Las hormonas adrenérgicas que estimulan al simpático son la adrenalina y la noradrenalina, y la colinérgica que estimula al parasimpático es la acetilcolina. Todas ellas actúan como transmisores químicos del sistema nervioso.

Como repercusión del entrenamiento se observa un predominio de la actividad colinérgica, es decir que está más estimulado el parasimpático. Esto produce bradicardia, vasodilatación periférica y leve disminución de la presión arterial, que favorecen la economía de la función circulatoria y la disminución del consumo de oxígeno.

Durante el reposo, en el entrenado las hormonas adrenérgicas disminuyen en el plasma y los aumentos provocados por la actividad física son menores que en los sedentarios. Ello indica que la función de transporte de oxígeno se ha vuelto más económica. Estas hormonas adrenérgicas normalmente "aceleran" al organismo, por lo cual conviene disminuir su acción para una mayor economía energética.

También son afectadas las hormonas pancreáticas. La insulina actúa favoreciendo la entrada de glucosa en las células y disminuyendo su concentración en la sangre; también activa la síntesis del glucógeno y las grasas y estimula la glucólisis celular. El glucagón tiene un efecto contrario: aumenta la glucemia y evita la entrada de glucosa en las células; la interacción de ambas hormonas mantiene el nivel normal de glucosa en la sangre. En las personas entrenadas los niveles de insulina son más altos y los de glucagón más bajos. Durante el ejercicio, la glucosa es rápidamente captada por las células, lo cual significa que se potencia el efecto de la insulina. El resultado es una hipoglucemia (hecho que se debe tener en cuenta en los diabéticos, pues se producirían hipoglucemias acentuadas).

Con actividades submáximas, el nivel de insulina disminuye, tanto en entrenados como en sedentarios; a pesar de ello, la glucemia disminuye más en los sedentarios, mientras que en los individuos entrenados se observan glucemias normales más prolongadas.

La hormona del crecimiento o somatotrofina se forma constantemente y es responsable del crecimiento corporal correcto, así como también del adecuado funcionamiento orgánico, pues favorece la mitosis (o reproducción celular), que mantiene la estructura de los tejidos. Además es hiperglucemiante, promueve el catabolismo o degradación de las grasas y estimula la síntesis proteica; en el músculo produce hipertrofia y en los huesos favorece el aumento del espesor de la cortical. Durante la actividad física, los niveles de somatotrofina se elevan, sobre todo con cargas altas, lo cual puede ser aprovechado para favorecer el crecimiento en los niños, pero, por supuesto, la talla definitiva se alcanza después de la pubertad; es un rasgo genético condicionado por las hormonas sexuales.

La corteza suprarrenal secreta glucocorticoides que estimulan la degradación intracelular de los hidratos de carbono y las proteínas. El entrenamiento disminuye los niveles de glucocorticoides en la sangre, excepto en las sesiones de ejercicio, o sea, los disminuye en el reposo, lo cual preserva las reservas energéticas y la función plástica de las proteínas.

El entrenamiento produce catabolismo graso y anabolismo proteico: la masa magra aumenta y disminuye el porcentaje de grasa. No se conoce con exactitud la responsabilidad hormonal en este cambio, pero se sabe que la tiroxina, hormona tiroidea que estimula el metabolismo celular, participa en este proceso.

Efectos sobre el aparato digestivo

En los atletas bien entrenados suele encontrarse una hipertrofia hepática, que podría ser provocada por un mayor almacenamiento de glucógeno y una mayor capacidad para los procesos metabólicos intensos.

Por lo común, los deportistas toleran bien todos los alimentos y tienen menos trastornos digestivos que los sedentarios.

Efectos sobre el sistema nervioso

Todas las mejoras observadas en las diferentes destrezas dependen de las adaptaciones del sistema nervioso, y adaptaciones que se producen por cuatro acciones fundamentales:

- a) La centralización, que facilita la memorización del movimiento y de sus características.
- b) La coordinación, que le permite al organismo realizar movimientos eliminando toda acción muscular superflua, lo cual posibilita ejecuciones impecables y económicas.
- c) La automatización, basada en la repetición del movimiento. El empleo de los reflejos condicionados permite realizar la actividad sin esforzar la voluntad, utilizando la corteza cerebral para otros fines, como por ejemplo, en el seguimiento de la jugada.
- d) La aceleración, que depende de la automatización, centralización y coordinación ya descritas, es la resultante de éstas y uno de sus objetivos.

Se han observado cambios estructurales provocados por el entrenamiento. Tanto en las sinapsis neuromusculares como en las motoneuronas se comprobaron adaptaciones celulares, modificaciones en la transmisión de estímulos y alteraciones en las reacciones reflejas y bioquímicas.

Efectos sobre los músculos esqueléticos

Es común observar en los individuos entrenados un aumento de la masa muscular por aumento del tamaño de cada una de las fibras (hipertrofia), sin que se modifique su número. Las proteínas musculares aumentan con el entrenamiento y disminuyen en la inactivi-

dad. En la atrofia se produce una disminución de las proteínas de las miofibrillas y aumento del contenido graso del músculo.

La hipertrofia muscular que se observa con el entrenamiento no se debe a la acción de las hormonas; la causa parece ser el resultado de una mayor síntesis proteica, y también aumenta la síntesis de ARN y ADN.

La hipertrofia y el aumento de la fuerza siempre se asocian con un incremento de la cantidad de actina y de miosina.

También se ha encontrado un aumento del potasio en el músculo entrenado, el que descendería después de actividades agotadoras, para aumentar con el progreso del entrenamiento.

El ejercicio de resistencia, como las carreras prolongadas, ocasiona un aumento del metabolismo aeróbico y de las enzimas oxidativas de las mitocondrias celulares, asociado con un aumento de la capacidad de oxidar el piruvato y los ácidos grasos libres.

Las biopsias musculares observadas con el microscopio electrónico muestran un aumento progresivo del tamaño de las mitocondrias a medida que avanza el entrenamiento.

Otros estudios revelaron aumento del ATP y del PC. También se constató un aumento de los depósitos de glucógeno en los músculos entrenados, sin diferencias de contenido entre las fibras de contracción lenta y las de contracción rápida.

Aumenta asimismo el número de capilares, y no solo se produce vasodilatación de los ya existentes, sino también neoformación. En un estudio se procedió al recuento del número de capilares por fibra y por mm² de músculo entrenado, y pudo comprobarse un aumento del 41% con respecto a los músculos no entrenados. Esto provoca un aumento del consumo de oxígeno del músculo entrenado. También aumenta la cantidad de mioglobina, todo tendiente a favorecer el metabolismo aeróbico.

Con el entrenamiento se observa un aumento de la fijación del músculo al hueso y de la fuerza contráctil.

La capacidad individual para el desarrollo de fuerza muscular es innata, y algo similar ocurre con la velocidad. Es decir que el individuo nace con un número determinado de fibras de CR y de CL; el entrenamiento aumenta la fuerza muscular y la inactividad la reduce.

Durante el entrenamiento muscular debe tenerse en cuenta el objetivo del entrenamiento. Los esfuerzos breves dependen del metabolismo anaeróbico y los prolongados del aeróbico.

El entrenamiento isométrico aumenta la fuerza y la masa musculares; es efectiva la utilización de cargas del 50 al 100% de la fuerza máxima. La actividad dinámica progresiva también aumenta la fuerza y produce hipertrofia. La repetición de contracciones isotónicas máximas acrecienta la resistencia.

El entrenamiento de resistencia produce en los músculos estriados:

- Aumento de la capacidad para oxidar los hidratos de carbono y las grasas.
 - Aumento de concentración de mioglobina.
 - Aumento de las reservas de glucógeno muscular y triglicéridos.
 - Aumento de la superficie porcentual de las fibras de contracción lenta (hipertrofia selectiva).
 - Aumento de las reservas de fosfágeno entre un 25 y un 40% (el glucógeno aumenta hasta el 83%).
 - Aumento del número y del tamaño de las mitocondrias.
 - Aumento de la concentración de las enzimas oxidativas que actúan en el metabolismo aeróbico.
 - En los sistemas anaeróbicos lácticos no se han observado cambios y hasta se comprobó una disminución de la actividad enzimática glucolítica.
- El entrenamiento de sprint no afecta de una manera significativa a los músculos estriados y hay escasos cambios en las actividades enzimáticas glucolíticas (sistema láctico).

do). Esto es sorprendente, pues ese sistema se utiliza mucho en este tipo de entrenamiento. Son pequeños los cambios en las enzimas que actúan en el metabolismo anaeróbico alactácido, pero se encontró que las reservas de fosfágeno aumentan. Hay un aumento en el diámetro de las fibras musculares, tanto en las CL como en las CR. También se verificaron algunos cambios en las enzimas aeróbicas y aumento en el consumo máximo de oxígeno.

PSICOLOGIA DEL ENTRENAMIENTO

El fracaso en la competencia se debe tanto a condiciones físicas y ambientales como a procesos psíquicos y psicossomáticos.

Los factores psíquicos que influyen en el rendimiento deportivo son: motivación, frustración, agresión, emoción, voluntad, estrés, temperamento y autoconfianza, todos ellos productos de cambios en la estabilidad psíquica.

Los procesos psicossomáticos son: la indigestión, la excesiva transpiración, los cambios de humor, la sobreexcitación nerviosa, las alteraciones del sueño, etcétera.

Todos estos factores pueden reprimir al deportista en su concentración precompetitiva, que a veces se manifiesta con sensación subjetiva de cansancio, bostezos repetidos, nerviosismo, hiperactividad, ansiedad, etcétera.

Por ello el entrenamiento deportivo debe basarse en un tripede: médico, entrenador y psicólogo, con permanente asesoramiento del deportista y una fluida comunicación, fundamentalmente en la preparación para la competencia.

Las medidas psicossomáticas se deben efectuar cuidadosa y críticamente. Su objetivo es la salud psicofísica del deportista y su desarrollo social y de su personalidad, y no solo el mejoramiento del rendimiento deportivo.

Antes de la competencia el deportista habitualmente se pone nervioso, evita el contacto con otras personas, su rostro es pálido y mira al público en forma insegura y temerosa. Si lo examináramos, encontraríamos un aumento de la presión arterial, de la frecuencia cardíaca y de la secreción de adrenalina. Hay temor de no estar entre los primeros, de largar mal, de hacer una falsa largada, y se pueden presentar manifestaciones psicossomáticas, como necesidad de orinar, sudor y dolor epigástrico.

Tales situaciones de estrés también ocurren durante la competencia y tiempo después de finalizada.

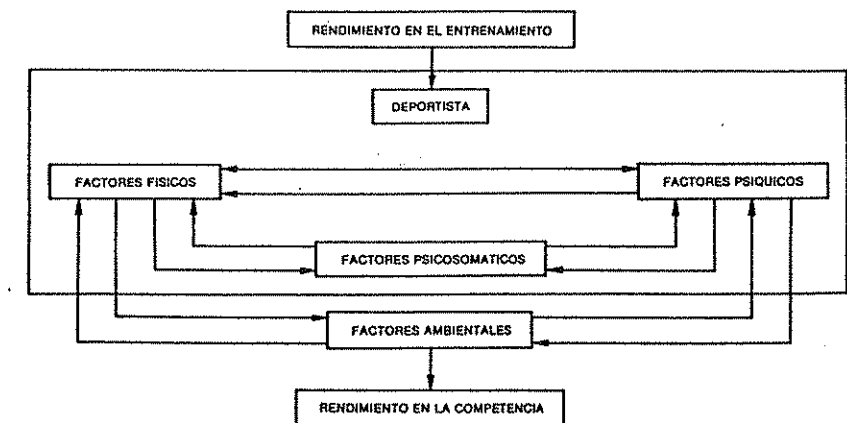


Fig. 12-2. Transformación del rendimiento en el entrenamiento en rendimiento de competencia. (Kemmler, 1973.)

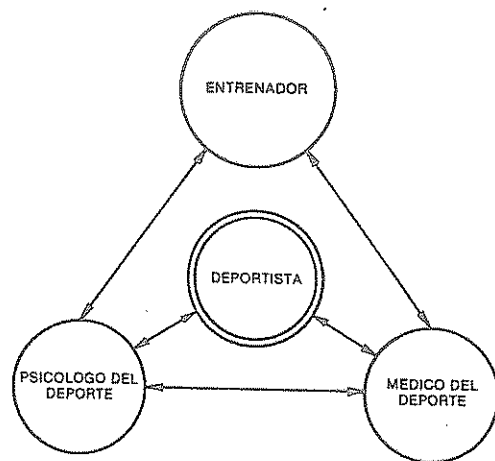


Fig. 12-3. Triángulo de cooperación interdisciplinaria.

METODOLOGIA DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

El atleta puede ser comparado con una máquina sumamente especializada en la ejecución de un trabajo, que es la actividad deportiva. El trabajo del atleta requiere un gasto energético para movilizar su masa corporal a lo largo de cierta distancia o a determinada velocidad, o movilizar a velocidad algunas de las partes del organismo. Este trabajo debe ser realizado con la máxima rapidez, con la máxima precisión y con la máxima carga. La máxima precisión es el aumento de la capacidad de coordinación neuromuscular; las otras dos exigen el aumento de la fuerza y de la resistencia en diferentes proporciones.

Fuerza muscular

Podemos definirla como la capacidad física de ejercer tensión contra una resistencia; los músculos esqueléticos son los efectores de la motricidad, los encargados de generarla, para lo cual utilizan la energía derivada de los procesos biológicos.

Un músculo produce fuerza al desarrollar tensión, desarrollo que puede ser continuo o alternado. Un músculo puede desarrollar fuerza estática (contracciones isométricas) o fuerza dinámica (trabajo isotónico), la cual a su vez puede ser positiva o concéntrica o negativa o excéntrica. También podemos considerar la resistencia de la fuerza (cuando la carga dura mucho tiempo) en el sector anaeróbico y aeróbico.

El desarrollo dinámico positivo de la fuerza es el que predomina en casi todos los entrenamientos deportivos. Una forma especial es la fuerza rápida, es decir, la capacidad del músculo para desarrollar fuerza en corto tiempo, cualidad utilizada en el salto, el sprint y los lanzamientos.

Existen factores limitantes de la fuerza, como la sección transversal de la fibra muscular. Hay una relación directa entre la fuerza y la sección transversal de las fibras, así como también la disposición de éstas. Son más fuertes los músculos en que las fibras se disponen en sentido oblicuo con respecto a aquellos en que lo hacen en sentido paralelo, siempre con referencia al eje del músculo.

La fuerza desarrollada por el músculo también depende del largo inicial; con una longitud del sarcómero de 2μ puede desarrollar su mayor fuerza.

La motivación del atleta en el momento de la prueba tiene importancia en el desarrollo de la fuerza. Son factores de diferencia de la fuerza el sexo y la edad. Por ejemplo la fuerza de la mujer es en general 46% menor que la del hombre en los músculos flexores del codo y en porcentajes variables en los otros grupos musculares. Respecto de la edad, el máximo de la fuerza se alcanza alrededor de los 20 años y se mantiene durante unos 10 años.

En cuanto a los cambios morfológicos musculares determinados por el entrenamiento de la fuerza, puede decirse que las escasas contracciones frente a una resistencia elevada multiplican la fuerza muscular; en cambio, las contracciones repetidas frente a una pequeña resistencia multiplican la resistencia muscular. En la miofibrilla se observa un aumento de las proteínas contráctiles (actina y miosina) que provoca un aumento del grosor de la fibra. En levantadores de pesas se pudo comprobar un incremento en más del 60% de las fibras de contracción rápida (fibras A) en relación con las fibras de contracción lenta (fibras C). Esto demuestra cómo ocurre la hipertrofia, y se cree que en la musculatura humana no se produce hiperplasia, o sea, crecimiento de nuevas fibras.

Como resultado del entrenamiento se ha observado un aumento del 20 al 75% de la fosfocreatina e incremento del contenido de ATP y de enzimas, tanto las de la glucólisis como las oxidativas; esto capacita al músculo para una alta liberación de energía en corto plazo. También en el músculo hipertrofiado se encuentran mayores concentraciones de ADN y ARN.

Velocidad

Es recorrer una distancia o ejecutar una tarea en el menor tiempo posible; en la velocidad, además del trabajo, influye el factor tiempo.

En lo que atañe a la actividad física, tiene importancia la velocidad de reacción y la velocidad del movimiento, tanto general como de los segmentos corporales.

La velocidad de reacción es la velocidad ojo-músculo dependiente del tiempo de llegada del estímulo a los receptores sensoriales, del que tarda en llegar al sistema nervioso, del de la elaboración de la respuesta y del que demora en llegar al órgano efector, que ocasiona su salida del reposo.

La velocidad de los movimientos depende, en general, de la velocidad de la contracción muscular, de la amplitud del ángulo de articulación de las palancas que actúan en el movimiento y de las reservas de energía, de fosfágeno, glucógeno y provisión de oxígeno, y de la tolerancia a la acidez creciente, es decir, de la cantidad de buffers intracelulares y extracelulares que posee el organismo.

Con respecto a las reservas energéticas es necesario conocer que el sistema anaeróbico alactácido (glucólisis pura) produce energía (ATP) con alta velocidad, pero su duración es de solo 15 segundos como término medio; el sistema anaeróbico láctácido provee energía también con alta velocidad, pero su duración difícilmente supere los 45 segundos.

Por medio del entrenamiento se puede aumentar la capacidad del sistema láctácido a través del aumento de los sistemas buffers para contrarrestar la acidosis creciente y un poco el de los depósitos de ATP y PC.

La velocidad de reacción puede entrenarse mejorando el tiempo entre estímulo-elaboración-respuesta, pues la velocidad de conducción nerviosa no se modifica. La velocidad de desplazamiento depende de la velocidad de los movimientos de los distintos segmentos; de su dirección, de que sea la adecuada, de la amplitud de extensión de las articulaciones y de la coordinación neuromuscular, es decir de la eliminación de cualquier movimiento superfluo, que consume energía y entorpece la acción.

Resistencia orgánica

Es la capacidad del organismo para realizar un trabajo durante un tiempo considerable, es decir, una alta tolerancia del organismo a la fatiga producida por un trabajo pro-

Porcentaje de disponibilidad de energía

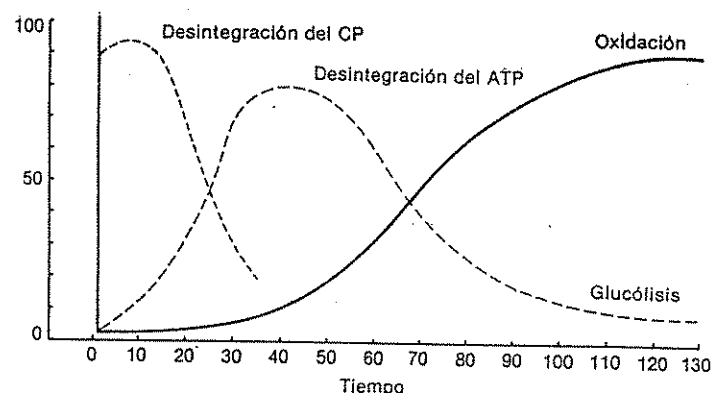


Fig. 12-4. Representación de la proporción de los sustratos que suministran energía: primero se desintegran los fosfatos, hasta 20 por segundo, de acuerdo con la intensidad; luego se produce la glucólisis, que llega a los 30 segundos y a veces hasta los 40, y después el suministro energético es oxidativo. (Keul y col., 1972.)

longado, tolerancia que consiste en aumentar la capacidad del metabolismo orgánico y la resistencia a los cambios intracelulares provocados por la actividad prolongada.

En reposo, tanto en entrenados como en sedentarios, no hay diferencias significativas en la presión parcial de oxígeno arterial (PO_2); en cambio, con cargas máximas, la PO_2 arterial desciende alrededor de unos 10 a 12 mm³ Hg, hecho que no se observa en las personas no entrenadas. Las causas que provocan este descenso no se conocen; quizá se explique porque durante la carga máxima el entrenado respira más profunda y lentamente. Esta economía respiratoria es conveniente, ya que, de lo contrario, la hiperventilación provocaría una gran participación de los músculos respiratorios, lo cual aumentaría el consumo de oxígeno. Por otra parte, la disminución de la PO_2 arterial no influye en la saturación de oxígeno de la sangre. En cambio, la presión parcial de oxígeno venoso no disminuye en el atleta tanto como en el sedentario. Este hecho indica que el riesgo sanguíneo durante el trabajo, sobre todo en el sector capilar, es mayor en la persona entrenada para la resistencia que en la persona sedentaria.

Entre el entrenado y el sedentario no hay diferencias en la presión parcial de CO_2 venoso y arterial durante el reposo; la diferencia se observa durante el trabajo; el sedentario sufre una caída intensa de la PCO_2 arterial, mientras que en el entrenado esta disminución es lenta. Ello significa que mediante el aumento en el riego sanguíneo se puede transportar más cantidad de CO_2 .

Con respecto al pH, las personas sedentarias, bajo trabajos intensos, sufren un rápido desplazamiento hacia el lado ácido; los individuos bien entrenados demoran en hacerlo y tienen además una recuperación más rápida. En deportistas altamente entrenados los valores bajos del pH se observan solo en condiciones competitivas, o sea, en trabajos extenuantes, por lo cual alcanzan y toleran valores de pH más bajos que las personas no entrenadas.

Tampoco hay diferencias en el reposo para el lactato, tanto en sujetos sedentarios como en deportistas entrenados. Lo mismo ocurre con cargas submáximas, pero a medida que aumenta la carga, los sedentarios alcanzan niveles más altos de lactato, en tanto que el entrenado llega a niveles altos en condiciones competitivas, con muy buena tolerancia.

La acidosis metabólica acentuada da lugar a síntomas como disnea intensa, palidez, sudor frío, mareos y náuseas, pero es de corta duración y rápidamente recuperable cuando se deja la actividad.

Se ha comprobado el crecimiento de nuevos capilares por el entrenamiento, crecimiento verificado en los músculos activos haciendo biopsia muscular y contando el número de capilares por milímetro cúbico de tejido. Los recuentos dieron un promedio de 511 capilares por mm³ en personas no entrenadas y de 656 en fondistas, es decir, un aumento del 28%. La comparación del promedio del número de capilares por fibra muscular da para el sedentario 3,76% y para el fondista 5,31%, equivalente a un incremento del 41%.

Como consecuencia de la mejor vascularización aumenta el riego sanguíneo y consecuentemente lo puede hacer el consumo de oxígeno. Partiendo de condiciones idénticas, el riego sanguíneo de un sedentario puede aumentar durante el ejercicio intenso unas 30 veces y en el entrenado unas 45 veces. En reposo, y bajo las mismas condiciones, el consumo de oxígeno puede aumentar unas 130 veces en el sedentario y unas 200 veces en el entrenado.

MÉTODOS DE TRABAJO EN EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Prof. Elvio Schneider

Estos métodos o formas de trabajo se agrupan, en general, de acuerdo con las cualidades físicas que se desarrollan o las que son protagonistas principales en un momento dado.

Los tres grandes grupos son los referidos a las tres cualidades físicas fundamentales: resistencia, fuerza y velocidad.

Otras cualidades físicas menores, por su complejidad y variabilidad, no permiten reunirlos o sistematizarlos en forma claramente definida o mundialmente aceptada. Son las cualidades accesorias y dependientes de las anteriores, como la destreza, la coordinación, el ritmo, la precisión o puntería, la elasticidad, etcétera.

En realidad, las cualidades físicas fundamentales tampoco se presentan en forma absolutamente pura, dado que cualquier expresión de la resistencia implica actividad muscular más o menos intensa, obviamente relacionada con la fuerza. Algunas expresiones de la fuerza representan esfuerzos más o menos duraderos y también contienen ingredientes referidos a la resistencia. En cuanto a la velocidad, sucede más o menos lo mismo.

En todos los casos los métodos se agrupan en relación con la cualidad física más favorecida.

Es sabido de la gran variedad de actividades deportivas susceptibles de arrojar rendimientos importantes, para los cuales deben aplicarse formas de trabajo que incrementen sus niveles. Casi todos ellos requieren una cuota o dosis de todas las cualidades físicas en distintas proporciones, así como también de otras cualidades, como la técnica, la táctica, el arrojo, la tenacidad, la perseverancia, la intuición y percepción de diferentes situaciones deportivas, etcétera.

A fin de atender a todos los aspectos del deporte, el entrenamiento deportivo se refiere a: preparación física general y especial, preparación técnica individual y de conjunto, preparación táctica y estratégica, preparación psicológica, preparación teórica, preparación volitiva y sanitaria.

En este capítulo, por su especificidad, nos referiremos exclusivamente a los métodos para la preparación física del deportista. Todos ellos tienen valor, son conocidos internacionalmente, han sido comprobados estadísticamente y obtenidos y sistematizados en laboratorios, pero el gran enigma y la dificultad residen en su aplicación en cuanto a oportunidad, gradación, etc. Muchos de los métodos originarios fueron concebidos empíricamente en gimnasios o en campos de deportes; las investigaciones posteriores y su traslado al laboratorio permitieron descubrir sus bases científicas y su validez universal.

La eficiencia y las posibilidades de cada deportista están limitadas por diversos factores, como la edad, el sexo, la raza, la educación física anterior, la herencia, la antigüedad en el deporte, el medio de vida y el nivel socioeconómico, el ambiente familiar, etcétera.

Todos estos condicionantes; así como la diversidad de formas deportivas y las variantes en la evolución del deportista, hacen imprevisible el resultado. En la actualidad las formas de entrenamiento son conocidas, todos las llevan a cabo, pero nadie tiene asegurado el resultado. El verdadero secreto en la administración de las actividades del entrenamiento deportivo depende de la mejor valoración de la situación deportiva en cuestión. En general, por tratarse de un ser humano y no de una máquina, podemos asegurar que quien más y mejor se entrena tendrá más posibilidades de lograr éxitos, pero no la certeza de ello. Es cierto que hay excepciones que confirman la regla, en el sentido de obtener buenos resultados con aparente poco trabajo deportivo. Un entrenador norteamericano, Harold O'Connor, dijo: "un deportista sin cultivar es como un diamante recién extraído, que solo parece una roca y únicamente después de pulirlo se convierte en verdadero diamante".

Concepto. Para que las actividades tendientes al aumento del rendimiento deportivo puedan catalogarse de "entrenamiento deportivo" deberán ser sistemáticamente programadas, ejecutadas y evaluadas y tener como principal objetivo el rendimiento deportivo; además deberán cumplir ciertos principios o leyes, que son:

- Individuales (características del entrenado).
- Globales (atender a todos sus aspectos).
- Progresivas (en aumento).
- Graduales (sin cambios bruscos en los contenidos).
- Continuas (las actividades esporádicas son ineficaces).
- Suficientemente intensas (superar el umbral de excitación).
- Cíclicas (organizadas en etapas).
- Conscientes (conocer los objetivos y compartirlos).
- Evaluada (nada debe suponerse, todo comprobarse).
- Específicas (referirse a un deporte concreto).

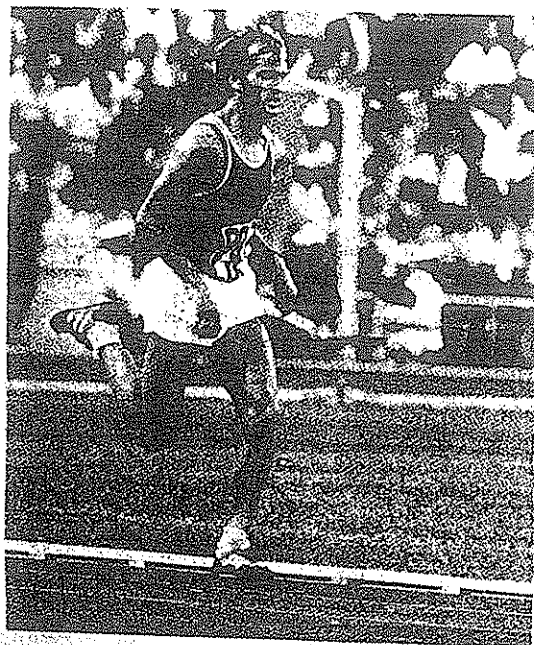


Fig. 12-5. Resistencia orgánica.

Desarrollo de la resistencia

Existen muchas formas de mejorar la capacidad de sostener esfuerzos prolongados, pero como cada deporte tiene distintos requerimientos en cuanto a esta cualidad y diversos niveles de intensidad y duración, resulta difícil indicar formas válidas universalmente.

Moviendo cargas livianas, nadando, remando, caminando, esquiando o andando en bicicleta grandes distancias se mejora indudablemente la resistencia, pero en muchos casos se necesitan instalaciones, materiales, dirección técnica y conocimientos que hacen esto poco accesible.

Evidentemente, el medio más fácil, más económico y que menos instalaciones y materiales requiere es la carrera; por ello se ha convertido en la forma por excelencia y creemos poder asegurar que no existe forma deportiva que en algún momento no emplee a la carrera como medio de incrementar las capacidades físicas y fundamentalmente la resistencia.

Resistencia por la carrera. Podemos dividir a los trabajos de resistencia por la carrera en tres grandes grupos: a) *Carrera continua:* son aquellas formas en las que el deportista inicia el desplazamiento y solo se detiene después de concluido. En general implica trabajos por encima de los 30 segundos y durante todo su transcurso la frecuencia cardíaca oscila alrededor de los 170 latidos por minuto. La carrera continua puede ser: sobre distancia, en donde el entrenamiento trata progresivamente de aumentar la cantidad de kilómetros por sesión o semanales, logrando así aumentar el ritmo de ejecución; y sobre ritmo, en donde el deportista, una vez alcanzada una duración prolongada en distancia suficiente, en relación con el deporte para el cual se prepara, trata progresivamente de disminuir el tiempo empleado, sin salirse por supuesto de los márgenes de aerobiosis. b) *Formas fraccionadas:* consisten en recorrer distancias preestablecidas con solución de continuidad, de manera tal que en los esfuerzos se estimulen las funciones y en los descansos éstos se recuperen total o parcialmente. Los componentes de estos trabajos son: *D* (distancia por recorrer expresada en metros), *R* (cantidad de veces que se va a recorrer la distancia, o sea, las repeticiones), *T* (tiempo que se empleará en cada una de ellas, que lógicamente aumenta o disminuye de acuerdo con el ritmo de ejecución), *I* (duración del intervalo o tiempo en el que el individuo se recupera) y *A* (tareas o acciones durante el descanso).

Es evidente que en función de las variables que se producen en cada una de estas cinco componentes existen infinidad de formas de trabajo fraccionado para desarrollar expresiones de resistencia. Para una utilización sistemática y a fin de poder agrupar formas concretas con objetivos definidos y características propias, proponemos:

División del entrenamiento fraccionado. Las formas más conocidas de entrenamiento fraccionado se dividen en dos grandes grupos:

a) Los entrenamientos a intervalos, que comprenden formas con distancia más o menos largas, muchas repeticiones, intervalos cortos, ritmo más o menos lento de ejecución e intervalo activo. En este trabajo, que tiende al desarrollo de la capacidad general y aeróbica, interesa la relación íntima entre acción e intervalo.

b) Los entrenamientos de tiempo o "tempo", que por lo común comprenden distancias menores, mayor ritmo de ejecución, menor cantidad de repeticiones, intervalos más prolongados y pasivos, persigue el desarrollo de formas específicas de resistencia. Interesa fundamentalmente la acción en lo referente a precisión, calidad, ritmo y técnica, y valoran concretamente las características del deporte para el cual se entrena.

Teniendo en cuenta que según combinemos distancias, cantidad de repeticiones, ritmo de ejecución, duración del intervalo y la acción, pueden existir muchas formas, pero siempre divididas en los dos grandes grupos enunciados precedentemente y que a su vez se pueden subdividir en algunas formas conocidas, como se observa en la tabla 12-2.

Formas mixtas de entrenamiento fraccionado. Este tipo de desarrollo de la resistencia por la carrera comprende actividades en donde el individuo, si bien no se detiene totalmente —de ahí que comparte características con la carrera continua—, introduce variantes de ritmo o variedades de terreno, que actúan como intervalo completo, en donde el entrenamiento

Tabla 12-2. División del entrenamiento fraccionado

	LIT	ITC	RIT	ExR	TL	TC	ExS
D	300 a 600	200 a 400	150 a 300	80 a 200	200 a 1000	80 a 150	60 a 80
R	20 a 40	15 a 30	10 a 20	5 a 10	2 a 6	3 a 6	4 a 8
T	60 a 70%	70 a 80%	80 a 90%	95 a 100%	85 a 95%	100%	100%
I	10" a 30"	20" a 60"	45" a 90"	Amplios 2' a 4'	Amplios 2' a 10'	Cortos 10' a 20'	Largos recuperat. 3' a 6'
Acc.	Paso ráp. o trote lento	Marcha	Inact. Soltura	Recuper. Soltura Decontrac.	Inact. Soltura Relaj.	Recuper. Respirac. Jadeo	Soltura Decontrac. Relajac.
Pulso inme- diato	160 a 180	170 a 180	180 a 190	180 a 190	190 a 200	180 a 190	—
Pulso de reini- ciación	140 a 150	140 a 130	120 a 130	110 a 120	110 a 120	160 a 170	—
Tipo de trabajo	Aeróbico	Aeróbico Anaeróbico	Aeróbico Anaeróbico	Anaeróbico Lactácido Alactácido	Anaeróbico Lactácido	Anaeróbico Lactácido	Anaeróbico Alactácido

LIT: Lento Interval Training.
 ITC: Interval Training Clasic.
 RIT: Rapid Interval Training.
 ExR: Entrenamiento por repeticiones.
 TL: Tempo Largo.
 TC: Tempo Corto.
 ExS: Entrenamiento por Sprint.

repone parcialmente sus capacidades o paga parcialmente su deuda de oxígeno o recompone sus funciones, por lo cual comparte características con el entrenamiento fraccionado.

Las formas más conocidas son las siguientes:

1. *Fartlek*: Cross con brotes de velocidad.
2. *Fartlek polaco*: igual al anterior, pero además con variantes en la forma y mecánica de la carrera y el agregado de movimientos gimnásticos sin detención del desplazamiento.
3. *Cross country*: carrera a través del campo, o sea, de terreno natural, en donde las variantes del ritmo las imponen las características o irregularidades del terreno.
4. *Cross promenade*: igual al anterior, pero con detenciones en la marcha en donde el ejecutante realiza acciones naturales como saltar, trepar, rodar, etc., o actividades gimnásticas intensas.
5. *Fartlek programado*: se realiza en pista, sobre distancias preestablecidas, con tramos más intensos y tramos menos intensos, pero sin solución de continuidad.

En general, las tareas tendientes al desarrollo de la resistencia en deportes de conjunto se ubican en la época o período de preparación general y preparación especial. En los deportes individuales se deben adaptar a sus características, pero en todos los casos deben ubicarse en los momentos de menor intensidad, menor calidad y mayor cantidad.



Fig. 12-6. A, Técnica, fuerza y coordinación.



Fig. 12-6. B, Técnica, fuerza y coordinación.

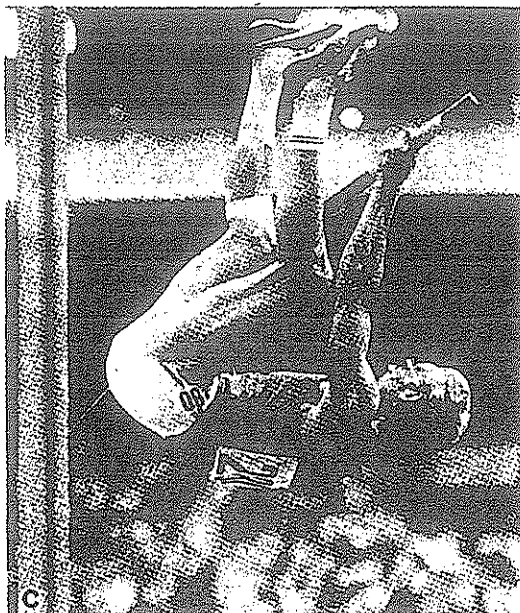


Fig. 12-6.C, Técnica, fuerza y coordinación.

Las actividades de resistencia, y especialmente de resistencia general, son muy adaptables a épocas de transición e introductorias; son sumamente agradables por su baja intensidad y la sensación placentera que producen. Una inteligente mezcla de las formas de desarrollo de la resistencia conocidas permite realizar una gran cantidad de trabajos dejando a su vez margen para trabajos técnicos especiales.

Seis a ocho semanas de trabajo sistemático producen transformaciones fisiológicas que hacen posible obtener una apreciable mejora en la resistencia.

Los jóvenes y atletas y deportistas noveles, dada su escasa capacidad para soportar una deuda de oxígeno elevada y su imperfecto sistema para neutralizar la acidosis, no toleran grandes cuotas de trabajo con contenido de resistencia anaeróbica láctica, y se observa una notable capacidad para el trabajo aeróbico y para el anaeróbico alactácido.

Desarrollo de la fuerza

Esta cualidad, más perfectible en adultos y no tanto en niños, se encuentra presente y se requiere de ella en casi todos los deportes, de una u otra forma. Las diversas formas y expresiones de la fuerza se presentan en función de la intensidad, de la carga por mover, del tiempo en que la carga es movida y del ritmo a que se la opera.

Convenimos en que las cargas por mover pueden ser livianas, medianas, pesadas y máximas; pueden realizarse pocas repeticiones, mediana cantidad de veces o muchas, y hacer todo lentamente, a media marcha o al máximo de las posibilidades. Al hablar de cargas nos referimos a cualquier objeto o situación que dificulte un movimiento o aumente su intensidad. Cuando la resistencia o carga exceda las posibilidades del ejecutante y no sea posible desplazarla, estamos en presencia de contracción isométrica, sin desplazamiento de las inserciones y sin movimiento visible. Esta forma produce el incremento rápido de la fuerza

pero no está comprobado su eficiente transferencia al rendimiento deportivo. Cuando la resistencia o carga es menor y la capacidad muscular es mayor, estamos en presencia del trabajo llamado tradicionalmente isotónico, este sí muy aplicado a todas las formas deportivas.

Para producir contracciones musculares acentuadas, podemos hacerlo por efecto de la voluntad, situación poco mensurable y escasamente real, o con el empleo de una sobrecarga. Existen diversas y variadas sobrecargas, desde las barras clásicas con platos, poleas y manubrios, hasta un compañero, la gravedad, desniveles del terreno u otros objetos. Sin duda que la abanderada de estos elementos es la barra con platos, elemento concebido y construido para sobrecarga, que permite una variedad de movimientos, cantidades medibles de trabajo y una gran adaptabilidad a todos los deportes.

En niños y jóvenes se indican preferentemente trabajos que permitan reproducir gestos deportivos; interesan fundamentalmente a segmentos corporales y grupos musculares protagonistas, y permiten así una transferencia real y consciente al deporte en cuestión. Estos trabajos se llaman "de fuerza especial", y se denominan de fuerza general los que apuntan a casi todos los grupos musculares sin valorar especialmente el deporte en cuestión.

Formas y expresiones de la fuerza. 1. *Fuerza máxima.* Máxima tensión posible, o sea, una carga que se pueda levantar solo una vez en un movimiento dado y se desarrolla con cargas pesadas y submáximas (80-100%), pocas repeticiones y lentamente.

2. *Fuerza explosiva.* Máximo de tensión en el mínimo de tiempo; se desarrolla con cargas pesadas, pocas repeticiones y el máximo de velocidad.

3. *Fuerza potencia o potencia estándar.* Producción de gran cantidad de trabajo en un tiempo dado. De aplicación en todos los deportes. Se desarrolla con mediana carga (60-75%), mediana cantidad de repeticiones y alta velocidad.

4. *Fuerza veloz.* Similar a la anterior, pero con cargas más livianas y más repeticiones.

5. *Fuerza relativa.* Es la relación entre la envergadura del individuo y su capacidad muscular. Tiene importancia en boxeo, yudo, levantamiento de pesas, etcétera.

6. *Fuerza resistente localizada.* Capacidad de soportar una carga durante un tiempo prolongado. Se desarrolla con cargas livianas, muchas repeticiones y con un ritmo generalmente lento, dependiendo de las componentes anteriores.

7. *Fuerza resistente general.* Esta cualidad se desarrolla muy eficientemente con el entrenamiento en circuito, que es una forma de trabajo que se realiza en rodeo continuado de manera de interesar sucesivamente a todos los grupos musculares.

Las *características* del entrenamiento en circuito son:

- Se compone de 10 a 15 estaciones.
- Se interesan todos los grupos musculares.
- Se realizan entre 10 y 20 repeticiones por estación.
- Las estaciones se encuentran a alrededor de 5 metros una de la otra.
- La realización total debe comprender alrededor de 2 a 3 minutos.
- Se pueden hacer dos a tres circuitos por sesión.
- Debe haber intervalos entre un circuito y otro.
- Interesa el tiempo total de ejecución del circuito.
- Puede incluir trabajos específicos deportivos o gimnásticos.

Entre las *ventajas* del entrenamiento en circuito señalamos:

- Se adapta a todos los deportes.
- Se adapta a todas las edades.
- Es muy recreativo.
- Requiere poco lugar físico.
- En poco tiempo se realiza una gran cantidad de trabajo.
- Permite sesiones muy ordenadas.
- Se adapta a todos los momentos del ciclo anual.

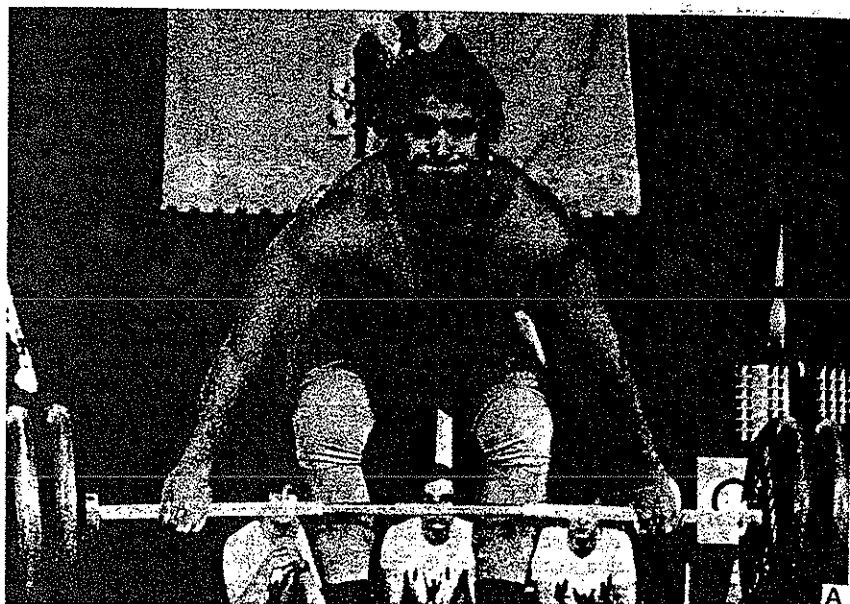


Fig. 12-7. A, Fuerza y técnica, apnea respiratoria en inspiración.



Fig. 12-7. B, Fuerza y técnica, apnea respiratoria en inspiración.

Se distinguen los siguientes *tipos* de circuito:

- Generales. Sin tener en cuenta determinado deporte, se emplean trabajos generales de musculación.
- Especiales o técnicos. Con contenido referido a un deporte, reproduciendo gestos técnicos y además trabajos musculares.
- Por repeticiones. Se ubica a los ejecutantes en las estaciones, y después de cierta cantidad de repeticiones ya establecida, se interrumpe y se rota.
- Por tiempo. Igual, pero valorando alrededor de 20 segundos de trabajo efectivo y el intervalo necesario para que todos se ubiquen en la próxima estación.
- Circuito sistemático. Se refiere a aquello en que el ejecutante es valorado una vez aprendido el circuito; se le asignan repeticiones en cada estación y cargas de acuerdo con sus capacidades. El trabajo consiste en disminuir el tiempo total del circuito realizándose sin solución de continuidad.

Desarrollo de la velocidad

Esta cualidad depende fundamentalmente de las condiciones neuromusculares del individuo, y por ser la función nerviosa una cualidad genéticamente poco variable, la velocidad, y en particular la velocidad de movimientos o segmental, es muy poco perfectible. La velocidad de movimientos es solo una expresión de la velocidad. También observamos en relación con ella a la velocidad de reacción, a la velocidad de desplazamiento, y a una cuarta, resultante de estas dos últimas, la aceleración.

Es evidente que casi todas ellas son interdependientes, y si bien existen en forma pura, generalmente se presentan en forma combinada. Como ejemplo de velocidad de movimientos tenemos los gestos del boxeador o del esgrimista para proyectar o detener un golpe, los giros de un bailarín o las evoluciones de un gimnasta.

En el caso de la velocidad de desplazamiento la carrera de 100 metros llanos es un excelente ejemplo, pues implica transportar el peso corporal de un punto a otro en el menor tiempo posible. Es cierto que también es ejemplo de velocidad de reacción, ya que ponerse en marcha inmediatamente después del disparo resulta fundamental en las pruebas del atletismo, así como de velocidad de aceleración, pues interesa que en el menor tiempo posible se esté desplazando lo más aproximado a su máxima intensidad.

La velocidad de movimiento reviste una importancia fundamental puesto que es la base para construir las demás, y lógicamente actúa como techo o límite, obteniéndose los resultados finales en relación y combinación con la fuerza, resistencia, soltura, relajación o técnica de ejecución de los movimientos deportivos.

Las evaluaciones realizadas demuestran que cuando un velocista corre los 100 metros llanos, como dijimos, ejemplo muy válido de velocidad, solo mueve sus segmentos corporales a algo más de la mitad de la velocidad con que lo hace cuando no tiene que transportar su peso corporal de un lugar a otro. Evidentemente que la mayor o menor capacidad muscular conseguirá la aproximación de la velocidad máxima a este último caso citado.

Condicionantes de la velocidad. 1. *Velocidad y fuerza.* Como ya dijimos, la capacidad muscular es una limitante de la velocidad, especialmente de la de desplazamiento. Parecería que quien más fuerza tiene puede moverse más rápidamente. Este concepto es parcialmente válido pues depende de qué expresión de la fuerza haya sido desarrollada en mayor medida. Un exceso de tono muscular traería como consecuencia disminución de la destreza y habilidad y una gran hipertrofia, con aumento del peso corporal, lo cual sería contraproducente.

Las expresiones de la fuerza en relación con la velocidad son las diversas formas de potencia, o sea, aquellas expresiones con especial valoración del tiempo empleado en el trabajo, como la potencia estándar, la fuerza explosiva y la fuerza veloz. Todas ellas implican alto ritmo de ejecución y, en todos los casos, pocas repeticiones con intervalos más o menos

prolongados, según la carga por mover. Interesa que el individuo en cada oportunidad esté casi totalmente recuperado, para realizar el trabajo a regímenes elevados.

Lo anteriormente citado se refiere al manejo de cargas y al mejoramiento de expresiones de la fuerza que traerán aparejado un aumento de la velocidad, especialmente de desplazamiento. Las actividades que incluyan desplazamientos dificultados por la gravedad, pesos u obstáculos también mejorarán la fuerza para la velocidad, como subir pendientes leves a gran velocidad, arrastrar un trineo lastrado, colocarse un chaleco con bolsas de arena o subir escaleras.

2. *Resistencia y velocidad.* En algunas actividades deportivas, entre ellas los deportes de conjunto, en donde un partido tiene una duración relativamente prolongada y en donde en diversos momentos se ven requeridos los mecanismos que permiten al deportista desplazarse a gran velocidad, aparece una condicionante de la velocidad, que es la resistencia a la velocidad o velocidad resistente, con dos expresiones bien definidas: a) la capacidad de prolongar el tiempo en que el deportista puede desplazarse al máximo, o la cantidad de metros, cualidad muy útil en deportes cíclicos individuales como atletismo, natación o ciclismo; b) la capacidad de desarrollar momentos de máxima velocidad a pesar de la fatiga acumulada durante varios minutos u horas de actividad deportiva (fútbol, básquetbol, tenis, etc.). En el primero de los casos se trata de una resistencia especial cuyas formas de desarrollo ya citamos en división del entrenamiento fraccionado y son conocidas con el nombre de entrenamiento de tempo y entrenamiento por repeticiones. En el segundo caso, mediante el trabajo de sprint sobre distancias más o menos cortas, con intervalos medianos y gran cantidad de repeticiones, podremos elevar esta capacidad permitiendo continuidad, eficacia y mantenimiento de la técnica durante el transcurso del juego, lógicamente en los deportes citados.

3. *Soltura y relajación en relación con la velocidad.* Los movimientos humanos se realizan por acción de los músculos, que se insertan mediante tendones en los huesos, los cuales se unen entre sí a nivel de las articulaciones. Los diversos músculos del aparato locomotor tienen distinta potencia en función de su tamaño y de aspectos mecánicos, de acuerdo con la longitud de las palancas que mueven. Como los músculos presentan un tono permanente, mucho de su poder se pierde por la acción opuesta de los antagonistas, y es evidente que cuanto menos oposición realice el antagonista, más poderosa será la acción del agonista, que a menor resistencia producirá una contracción más veloz. Esto se traduce en mayor velocidad de movimiento y, por carácter transitivo, en mayor velocidad de desplazamiento.

Mediante una profunda educación de poner solo en acción los músculos que en cada momento son protagonistas, inhibiendo los agonistas, contribuiremos a la velocidad. Esto se consigue con gran concentración en la tarea, cuidando la precisión y el ritmo de la actividad. Hacer mucha fuerza no significa ir más rápido.

Todas las actividades que impliquen disminuir el peso corporal, aunque sea transitoriamente, o disminuir la resistencia al avance, permitirán con menor esfuerzo conseguir igual resultado; por ejemplo: correr cuesta abajo, correr semisuspendido con un cable carril, correr detrás de una pantalla portada por un vehículo, etc. Estas actividades realizadas sistemáticamente educan la soltura y la relajación. La hipnosis, el yoga y el entrenamiento autógeno son medios para profundizar estas cualidades psicofísicas, así como las actividades gimnásticas convencionales.

4. *Técnica y velocidad.* Es de la mayor importancia en los deportes donde la capacidad física no es tan decisiva y hace la diferencia cuando la capacidad técnica es similar.

La técnica de un determinado movimiento deportivo se obtiene en la actualidad a partir del estudio de las leyes físicas y principios mecánicos que rigen los movimientos humanos, lo cual implica conseguir una renta importante de la capacidad muscular con el menor gasto energético. Esta técnica es luego comprobada en el terreno de juego y adaptada a las capacidades de cada deportista.

El tema de la corrección técnica tiene trascendencia tanto en la velocidad de los movimientos en general como en la velocidad de desplazamiento, hecho importante en casi todos los deportes. Por ejemplo: es frecuente observar deportistas con gran capacidad física cuyos resultados deportivos, concretamente la velocidad de sus acciones, es menor que la de sus pares. Esto se basa en una errónea formación deportiva, ya que frecuentemente se pretende disimular los errores técnicos con un incremento de las capacidades físicas. Es cierto que la capacidad física es el basamento de la técnica y que ambas deben desarrollarse paralelamente en la construcción de un deportista para que en su madurez sea capaz de accionar oportunamente cada segmento corporal en tiempo y distancia.

5. *Automatismo y velocidad.* Cuando realizamos un movimiento voluntario, previa elaboración, se produce un complejo ir y venir de estímulos y órdenes que lógicamente implican un tiempo. Este tiempo dependerá de la complejidad del movimiento y de la experiencia previa en él. Convertir movimientos voluntarios y elaborados en automáticos permite emplear menos tiempo desde la aparición del estímulo hasta la orden motora.

La automatización implica su repetición en condiciones iguales e ideales hasta que su realización sea posible sin elaboración previa. Esto representa una ganancia entre los diversos componentes o posibilidades del movimiento: soltura, corrección, naturalidad, precisión y, por ende, eficiencia y mayor velocidad en los movimientos.

En algunos deportes esto es menos posible o no tan necesario, pero el atletismo, que debe mecanizar la partida, así como la natación, y también los gestos de defensa del boxeador y del esgrimista, evidentemente lo necesitan. En otros deportes, en donde las posibilidades y situaciones son más diversas, suponen un planteo más amplio.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, T. E.; Byrd, R. J. y Smith, D. P.: Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Research Quarterly*, 1976.
- Astrand, I.; Astrand, P. O.; Christensen, E. H. y Hedman, R.: Intermittent muscular work. *Acta Physiologica Scand.* 48:448, 1960.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Méd. Panamericana.
- Berger, R. A.: Effect of varied weight training programs on strength. *Research Quarterly*, 1962.
- Bernard, R. J.; Edgerton, V. R. y Peter, J. B.: Effect of exercise on skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 28:767, 1970.
- Bownis, N. M. y Hrath, R. W.: *Métodos estadísticos aplicados*. Harpe and Row Publisher. N. York, 1970.
- Brodal, P.; Ingjer, F. y Hermansen, L.: Numbers and density of capillaries in the quadriceps muscle of untrained and endurance trained men. A quantitative electromicroscopical study. *Am. J. Physiol.* 1977.
- Brum, J.: *Entrenamiento deportivo científico*. Pax. México, 1972.
- Clarke, D. H.: *Exercise Physiology*. Prentice Hall. Londres, 1975.
- Clarke, D. H. y Stull, G. A.: Endurance training as a determinant of strength and fatigability. *Research Quarterly*, 1970.
- Cotten, D.: Relationship of the duration of sustained voluntary isometric contraction to change in endurance and strength. *Research Quarterly*, 1967.
- Cooper, K.: *The news aerobics*. Dutton Books. N. York, 1970.
- Costill, D. L.; Thomason, H. y Roberts, E.: Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, 1973.
- De Hegedus, J.: Teoría general y especial del entrenamiento. *Rev. Stadium*. Buenos Aires, 1972.
- Delorme, T. y Watkins, H.: Techniques of progressive resistance exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1948.
- Edwards, H. T.; Broutra, L. y Johnson, R. T.: Effect de l'entraînement sur le taux de l'acide lactique au cours du travail musculaire. *Le Travail Humain* 8:1, 1969.
- Eklblom, B.: Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiologica Scand.* (Supl. 328), 1969.

- Fox, E. L. y Mathews, D. K.: *Interval training*. W. B. Saunders Co. Filadelfia, 1974.
- Fox, E. L.: Physical training. Methods and effects. *The Orthopedic Clinics of North America*, 1977.
- Fox, E. L. y Webb, W.: Intensity and distance of interval training program and changes in aerobic power. *Journal of Applied Physiology*, 1975.
- Hickson, R.; Husner, W. y Van Huss, W.: Skeletal muscle enzyme alterations after sprint and endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 1976.
- Hooks, G.: *Weight training in athletics and physical education*. Prentice Hall Inc., 1974.
- Johnson, B. L.: Eccentric vs. concentric muscle training for strenght development. *Med. and Sciences in Sports*, 1976.
- Kilbom, A.: Physical training in women. *Grnd. J. Clin. Invest.* 28 (supl. 119), 1979.
- Lamb, D. R.: *Physiology of exercise*. Mc Millan Publissing C. Inc. N. York, 1978.
- Margaria, R.: *Fuentes de la energía muscular*. Folleto, 1972.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1981.
- Narvaez, P. G. E.; Alvarez Casado, J. J.; Zabala, R. y Barbieris, C.: *Evaluación y entrenamiento*. Labemorf, 1985.
- Narvaez, P. G. E.; Estigarribia, J. y Arcuri, C.: *Capacidad aeróbica en la población argentina*. Seminario Internacional de capacidad física escolar. Academia Superior de Ciencias Pedagógicas de Santiago. Santiago, Chile, 1981.
- Nöcker, J.: *Bases biológicas del ejercicio y del entrenamiento*. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, 1980.
- Pini, M. C.: *Fisiología Esportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Pipes, T. y Wilmore, J.: Isokinetic vs isotonic strength training in adult men. *Medicine and Sciences in Sports*, 1975.
- Rash, P. L. y Morehouse, J. E.: Effect of static and dynamic exercises on muscular strenth and hypertrophy. *J. Appl. Physiol.* 11:29, 1977.
- Rittel, H. F.: *Sistema muscular y deporte*. Convenio Colombo-Alemán de Educación Física, Deportes y Recreación. Tomo 3. Ed. Copiservicio. Medellín, 1980.
- Saltin, B.: Physiological effects of physical training. *Medicina and Sciences in Sport*, 1969.
- Thorstensson, A.; Grimby, G. y Karlson, J.: Force-velocity relation and fiber composition in human knee extensor muscle. *Journal of Applied Physiology*, 1976.

FATIGA Y DOLORES MUSCULARES | 13

Fatiga es la imposibilidad física, psíquica u orgánica de continuar un trabajo con igual ritmo, incapacidad provocada por el mismo trabajo, por su intensidad o por la falta de adaptación del sujeto.

Se la debe diferenciar del cansancio, que es subjetivo y lo siente el individuo sin mediar un trabajo previo. Este cansancio, sensación de abulia, de no querer hacer nada, puede sobrevenir aun después de haber descansado o dormido y obedece por lo común a causas psíquicas.

La fatiga puede ser general, de todo el organismo, o parcial, localizada en algún sector.

FATIGA GENERAL

La fatiga general se manifiesta por síntomas variados y muchas veces obedece al estrés de realizar actividades que no producen satisfacción personal por lo que el sujeto puede estar disconforme con todo y llegar a la evasión creyendo padecer una enfermedad mental.

Muchas veces, la fatiga se va instalando sin que la persona lo advierta y no se da cuenta de que su nivel de trabajo va decayendo paulatinamente. Su sentido del tiempo falla, comienzan los errores en su tarea, se siente incómodo en su lugar de trabajo y todo lo molesta. Si la causa persiste sin mejoría de ninguna especie, se suelen producir accidentes en el trabajo, el control sobre éste decae cada vez más y va avanzando la pérdida de la destreza.

Las causas de esta fatiga general pueden ser múltiples, como la falta de aptitudes para la tarea, el trabajo a disgusto por mala remuneración, inadaptación, excesivo estrés, etc. También puede ser causado por la tarea en sí, cuando se trata de un trabajo peligroso, monótono, tedioso, con posibilidad de contagio de enfermedades, etcétera.

Para evitar este tipo de trastornos se debe buscar al individuo apto para la tarea por cumplir. A veces la música, si es suave, disminuye la fatiga en tareas monótonas, pero para que rinda buenos efectos se la deberá poner durante periodos cortos y no siempre a la misma hora, y en dos o tres oportunidades en el horario de trabajo. Lo ideal es que las grandes fábricas dispongan de su propio gimnasio, donde sus empleados tengan periodos de esparcimiento en las horas pico de fatiga general. La distracción que provoca la actividad física actúa como sedante de la actividad, sobre todo en individuos en quienes el trabajo es puramente mental, de gran concentración.

La fatiga general se vuelve crónica cuando el reposo nocturno no alcanza para compensar las energías gastadas. Cuando no se repara totalmente con el reposo la energía empleada durante la actividad, el individuo padece la sensación subjetiva de cansancio, pérdida de interés en su trabajo y en las demás actividades diarias, así como también en su familia, y aumenta el esfuerzo para realizar las tareas comunes, aumenta la irritabilidad, es emocionalmente inestable, disminuye el peso y el apetito, o al revés en casos de angustia

oral, y hay tendencia al suspiro frecuente, padece temblores y comienza a consumir cada vez más tóxicos, como tabaco, alcohol o café y en los casos más graves recurre a veces a drogas para evadirse de la realidad.

En estas circunstancias, a veces, suele instalarse una adicción. La persona con sus problemas, más comúnmente socioeconómicos, no puede dormir porque está preocupada; luego se preocupa porque no puede dormir, por su falta de descanso duerme poco y mal, y ello trae aparejado que se levante mal, por lo que su rendimiento en el trabajo es pobre. Por eso, a veces, recurre a somníferos o barbitúricos para poder dormir. En ocasiones necesita drogas estimulantes, del tipo de las benzedrinas o anfetaminas, para mantenerse despierto y poder cumplir con el trabajo. La ansiedad lo lleva a un estado de tensión permanente; este estado de contracción muscular, no intensa pero continua, es también causa de fatiga, con lo cual se completa el círculo vicioso. Otras causas de fatiga crónica son las largas horas de trabajo, la falta de sueño y las preocupaciones; si este estado no se corrige, la persona afectada puede llegar a padecer enfermedades de tipo psicósomático, es decir que tienen un origen psíquico y terminan con repercusiones orgánicas, enfermedades también llamadas de estrés, como el infarto de miocardio, la colitis ulcerosa, la úlcera gastroduodenal, etcétera.

Existen ocasiones en las que los efectos del pánico, que se suele ver en los bombardeos o en los accidentes de cierta magnitud, provocan una desorganización psíquica del individuo y trastornos motores, que le impiden realizar movimientos coordinados y exactos. Por ejemplo, los temblores le imposibilitan prenderse los botones; en estos casos disminuye la fuerza muscular y la destreza, y en los grados extremos pueden presentarse trastornos en el equilibrio. La recuperación se basa en tratamiento médico especializado.

Dentro de la fatiga general, se comprueba a veces el denominado "síndrome de esfuerzo". Se observa en personas con posibilidades físicas normales, pero que se sienten incapaces para realizar cualquier tarea que demande cierto esfuerzo físico, por ejemplo, experimentan sensación de disnea, taquicardia, mareos o sudoración intensa frente a actividades leves como subir una escalera. Ocurre por lo general en aquellos a quienes desde la infancia se les inculcó la noción de que eran débiles por haber padecido alguna afección que angustiaba a sus familiares, como el asma bronquial o un soplo cardíaco, personas que desde la niñez fueron educadas en esa falencia y siempre con el temor a las actividades físicas más o menos vigorosas. Estas personas son perfectamente recuperables con un buen programa de entrenamiento, durante el cual aprecien sus verdaderas posibilidades.

FATIGA LOCALIZADA

a) **Fatiga muscular.** Es el impedimento de la capacidad de los músculos de responder a un estímulo que normalmente los hacía contraer. Es un fenómeno normal y se lo ve en trabajos intensos y prolongados; el reposo basta para su restablecimiento.

Las causas funcionales que provocan esta fatiga no son muy bien conocidas todavía y se piensa que son múltiples: nerviosas, metabólicas, etcétera.

Se han mencionado causas neuronales, de la sinapsis neuromuscular o unión mioneural. Que son múltiples lo revela el experimento efectuado con la circulación arterial obstruida por un manguito: el músculo fatigado no se recupera hasta que se restablezca la circulación normal. Se cree que los nervios no se fatigan, pero sí las sinapsis, fundamentalmente en el neurotransmisor químico. La fatiga se debería a una disminución del ritmo de formación y descarga de la acetilcolina que actúa a nivel de la sinapsis neuromuscular, y ello haría que los estímulos que llegan por los nervios motores no atraviesen la placa motora, de manera que el músculo no responde al estímulo.

b) **Fatiga nerviosa.** Durante la actividad física la fatiga nerviosa se produce fundamentalmente en los centros motores; en los centros sensitivos se ve más en trabajos en que para realizarlos se emplean movimientos pequeños y complejos, con gran concentración sensorial, visual o auditiva.

Durante el trabajo mental y físico la fatiga ocurre dentro de los arcos reflejos. El umbral del estímulo del reflejo rotuliano aumenta en forma progresiva durante el trabajo, aumento que es leve en el trabajo mental y más intenso durante el trabajo muscular. En experiencias hechas en trabajos agotadores se demostró que éste causa fatiga de los centros motores, mientras que el ejercicio leve o moderado ejecutado en las pausas de ocupaciones sedentarias mejora el estado funcional del sistema nervioso central. Las actividades deben ser cortas y moderadas para que tengan cierto efecto estimulante en la capacidad mental del individuo.

La fatiga sensorial, por ejemplo la producida por la falta de sueño, no ocasiona cambios intensos en la fuerza del individuo. La prehensión manual continúa normal en el ergómetro después de 200 horas de vigilia, mientras que la coordinación fina se ve afectada, así como la marcha y la estabilidad.

c) **Fatiga visual.** Se presenta en personas obligadas por su trabajo a prolongados esfuerzos visuales, con mala luz (poca o excesiva). Se manifiesta por aumento del parpadeo y del lagrimeo, y se pueden producir bloqueos de los movimientos oculares, lo cual obliga a efectuar descansos involuntarios. Tales bloqueos hacen que el individuo se saltee a veces lo que lee o escribe, o lo haga mal. Los bloqueos aumentan a medida que aumenta la fatiga, con sus consecuencias en el trabajo que se realiza.

d) **Fatiga auditiva.** La exposición a ruidos intensos o estridentes provoca una hipoacusia (disminución de la agudeza auditiva) que es proporcional a la duración de la exposición. Si ésta es permanente, el efecto acumulativo causa hipoacusias definitivas.

Si el sonido es estridente y continuo, como el que soportan los trabajadores de los astilleros, donde se golpea hierro sobre hierro, es necesario para la recuperación un período de silencio correspondiente a tres veces el tiempo de exposición; de lo contrario se producen trastornos auditivos serios e irreparables. Como prevención se deben hacer audiometrías de control periódicas, así como control de las instalaciones donde se trabaja. Pueden ser aconsejables tapones vaselinados dentro de los oídos durante los períodos de exposición.

e) **Agotamiento.** Es la imposibilidad total de continuar realizando una tarea, que es agotadora, de mucha intensidad y prolongada; esto se ha dado en llamar "enfermedad atlética". Su causa es una acentuada hipoglucemia que actúa también a nivel nervioso. Aparece debilidad intensa, visión borrosa, transpiración profusa, a veces fría y pegajosa, dolor de cabeza con sensación pulsátil, estado nauseoso y en ocasiones vómitos. No tiene pronóstico desfavorable y por lo común cede con el reposo, durante el cual se recupera la glucemia a partir de las reservas hepáticas. A veces pueden producirse pequeñas hemorragias bucales o nasales, sin mayores consecuencias.

Durante las actividades prolongadas, como el maratón, por ejemplo, se pueden observar sacudidas musculares, palidez intensa, cianosis, excitabilidad nerviosa e incoordinación neuromuscular, y puede llegarse al colapso, con pérdida del conocimiento e incapacidad total para realizar ningún movimiento voluntario. La iniciación de la fatiga puede estar indicada por cierta obnubilación mental; el corredor puede seguir corriendo en forma refleja y con amnesia total de lo que está haciendo.

Habitualmente, los atletas pueden estimar su propio grado de fatiga y su inminente agotamiento. No se sabe con certeza la causa de esto, si es una sensación subjetiva de pérdida de la fuerza, un sentido de la falla de los ajustes fisiológicos o el arribo a una etapa en la cual no se puede respirar bien. Los síntomas que preceden al agotamiento son: descenso de la presión arterial sistólica, rápida aceleración de la frecuencia respiratoria, aumento de la temperatura corporal, disminución del rendimiento, aceleración del pulso y pérdida de la coordinación y precisión de los movimientos.

DOLORES Y RIGIDEZES MUSCULARES

Después de un ejercicio muscular agotador, particularmente en personas no entrenadas, puede producirse dolor, cierta rigidez y endurecimiento de músculos más afectados

por el trabajo. El dolor es siempre lo primero en aparecer. Por lo común, ya fue experimentado durante el ejercicio, en tanto que la rigidez y el endurecimiento son posteriores y pueden durar bastante tiempo.

Al reanudar las actividades al día siguiente, se lo hace con dolores musculares, que al poco tiempo desaparecen y pueden volver después del trabajo, junto con rigideces y endurecimiento musculares. Este proceso parece depender del tipo de trabajo realizado y relacionarse con la falta de entrenamiento; hasta los atletas los padecen en el comienzo de sus periodos de entrenamiento, después de los descansos.

Por poseer innervación termoalgésica, el músculo puede doler al cabo de actividades intensas. La causa no se conoce con exactitud, pero se cree que puede estar vinculada con la acumulación de metabolitos ácidos celulares y modificaciones bioquímicas de la fiebre muscular, con posible aumento de la presión osmótica intracelular y extracelular, e instalación de edema que comprimiría los filetes nerviosos y haría aparecer el dolor, fundamentalmente en las fibras más exigidas durante la actividad física. Los dolores tardíos, que aparecen 8 a 24 horas después de la actividad, se deberían a roturas de fibras musculares o de su sarcolema, que constituyen verdaderos microdesgarros. Este tipo de dolor puede durar varios días y es más frecuente en aquellos músculos que realizan contracciones excéntricas, o sea que son estirados mientras se contraen.

El dolor generalizado a todo el músculo necesita nada más que reposo o continuar la actividad en forma más leve. En cambio, el dolor localizado, producido por roturas musculares, exige más tiempo de reposo y calor, que provoca vasodilatación, con lo cual desaparecen los metabolitos ácidos difusibles y arriban los elementos plásticos necesarios para la recomposición celular.

CALAMBRES MUSCULARES

Ocurren en músculos aislados o a veces en grupos musculares, y son contracciones involuntarias, duraderas y dolorosas. A veces se percibe alguna sensación previa, pero también se instalan sin ser precedidos por otra manifestación. Pueden aparecer en reposo, durante el sueño, mientras se efectúa un trabajo muscular intenso o después de hacerlo.

En los atletas aparecen más frecuentemente de noche, durante el sueño, tras actividades intensas y con más frecuencia en los músculos extensores del pie y flexores de la rodilla.

No se conoce con exactitud la causa de los calambres musculares; se han mencionado posibles causas nerviosas y musculares locales, como la acumulación de metabolitos ácidos al cabo de actividades intensas, trastornos circulatorios, ambiente frío o deshidratación intensa con pérdida de electrolitos (por la transpiración profusa). La causa fisiológica es una gran despolarización de la membrana, con entrada continua del ion Ca^{2+} al sarcolema de la fibra muscular.

Los calambres abdominales o "calambres del estómago" suelen producirse en los nadadores y pueden tener consecuencias graves porque el dolor paraliza e impide seguir nadando.

Los calambres abdominales no se deben confundir con los dolores en el hipocondrio derecho o izquierdo (dolor en el bazo o en los flancos), que pueden experimentar los corredores, sobre todo los pobremente entrenados, y que son ocasionados por falta de oxígeno en el músculo diafragma.

CONTRACTURA MUSCULAR

Desde el punto de vista fisiológico, la contractura muscular es la contracción residual que sigue a una contracción tetánica prolongada. Se observa en músculos aislados, estimulados en el laboratorio, lo cual significa que ese músculo no se relaja totalmente después de la contracción tetánica prolongada, sino al cabo de cierto tiempo. En el deporte, en cambio, se

denomina contractura muscular a una contracción involuntaria y dolorosa provocada por un estímulo externo de causa mecánica. Son más comunes en los deportes de equipo, donde abundan los choques por contacto personal entre los participantes.

DESGARROS MUSCULARES

Es un proceso caracterizado por lesiones de las fibras musculares de todo un fascículo o de todo un músculo, verdaderas roturas que pueden ocurrir en la parte carnosa (lo más frecuente) o en la vecindad de la inserción tendinosa. Siempre se acompaña de rotura de vasos sanguíneos, en una magnitud que depende de la rotura del músculo, dolor intenso e impotencia funcional de intensidad acorde con la extensión de la lesión.

En estos procesos la recuperación es lenta y depende de la importancia de la lesión. Hay casos en que por su extensión y la separación de sus bordes, requiere la reparación quirúrgica e inmovilización prolongada hasta lograr la completa cicatrización.

Son múltiples las causas de los desgarros musculares; podrían deberse a la incoordinación neuromotora que se produce ante una intensa contracción de un músculo con su antagonista mal relajado, lo cual provoca una fuerte distensión de éste y su consiguiente rotura. Otra explicación, sería la contracción desordenada de algunos fascículos componentes del músculo, más frecuente en los músculos largos. También se observan con frecuencia en atletas que han permanecido gran tiempo en inactividad y reanudan su entrenamiento, o bien por la falta de entrenamiento, la inadecuada entrada en calor, el uso de malas técnicas deportivas, la disminución proteica, la presencia de focos infecciosos, la sobrecarga psíquica y el exceso de tensión.

Las roturas musculares también pueden ser causadas por contusiones, que son golpes provocados comúnmente por agentes externos de tipo mecánico. Presentan intensa sintomatología dolorosa e impotencia funcional, que obliga a dejar temporariamente la actividad física.

El tratamiento fundamental es el reposo. Cualquier herida, y los desgarros lo son, cura sola, siempre que se disponga de un aporte proteico normal; solo requieren reposo y tiempo.

ENTRADA EN CALOR

Mal llamada precalentamiento, pues el prefijo *pre* significa antes de y lo que se está haciendo es actual, se cree que la entrada en calor previa a la actividad mejora la actuación, la contracción y la coordinación musculares y evita las lesiones antes mencionadas.

En experiencias de laboratorio se observó que el calentamiento previo a la actividad ocasiona cierta disminución del periodo de latencia (tiempo entre excitación y respuesta), con aumento de la velocidad de contracción y relajación musculares. Sabemos que normalmente la relajación muscular es tres a cuatro veces más lenta que la contracción. También se comprobó en el laboratorio que las primeras estimulaciones no producen una contracción total del músculo, sino que se necesita algún tiempo de estimulación continua para obtenerla; podría ser que el aumento de la temperatura local actúe como un factor determinante de la mejor contracción.

En la práctica la disminución de la temperatura muscular reduce la excitabilidad y la capacidad de trabajo. Además, durante el trabajo muscular tiene lugar un aumento de la temperatura local, que provoca vasodilatación y favorece de tal modo el intercambio entre la sangre y los tejidos activos.

La entrada en calor puede ser activa o pasiva. Es activa cuando se obtiene con la movilización muscular de todo o de parte del organismo, en especial de aquellos músculos que van a competir; es pasiva cuando se realiza a través de agentes externos como los baños calientes, el calentamiento ambiental, la diatermia, los rayos infrarrojos, las fuentes de luz, etcétera.

La entrada en calor activa es más ventajosa para el atleta, puesto que moviliza a todos los órganos y provoca un aumento en el flujo sanguíneo muscular. En la movilización pasiva, donde casi no se registra gasto energético, hay vasodilatación periférica cutánea, no muscular.

Algunos autores, después de extensas experiencias, demostraron que la ejecución de actividades físicas en frío no aumenta las lesiones ni disminuye el rendimiento, y no encontraron por lo tanto diferencias en los grupos estudiados.

Es indudable que, fisiológicamente, una buena entrada en calor determina un aumento de la ventilación pulmonar y, como consecuencia, un franco incremento del volumen minuto respiratorio; lo mismo ocurre con el volumen minuto cardíaco, pues aumenta la frecuencia y el volumen sistólico, hay un mayor flujo sanguíneo en los músculos por vasodilatación de los sitios activos y vasoconstricción en los lugares inactivos, como las vísceras. Todo ello tiende a lograr una mejoría en los intercambios gaseosos y de nutrientes, que favorecen una mejor combustión y la mayor posibilidad de realizar metabolismo aeróbico, con el consecuente beneficio para el rendimiento muscular.

ESTRES

Es el conjunto de cambios que ocurren en el organismo cuando por causas fisiológicas, psicológicas o patológicas se altera su equilibrio homeostático. La alteración de este equilibrio se produciría por alguna noxa que, actuando por vía nerviosa u hormonal, ocasiona una reacción generalizada.

Por vía nerviosa se estimula la secreción de adrenalina, y a través de la hipófisis aumenta la secreción de ACTH (hormona adrenocorticotrófica), que estimula la producción de glucocorticoides suprarrenales, los cuales aumentan la neoglucogénesis, es decir, la concentración de glucógeno hepático y de glucosa en sangre. También se estimula la secreción de mineralocorticoides, que causan retención de sodio y pérdida de potasio. Además se incrementa la secreción de hormona tirotrófica, que estimula a la tiroides e intensifica el metabolismo, fundamentalmente en su fase anabólica.

Una consecuencia del exceso de corticoides es la desaparición de los leucocitos eosinófilos en la sangre, y si este fenómeno persiste, se produce pérdida del peso corporal.

Las investigaciones efectuadas han demostrado que los recuentos de eosinófilos son más bajos en las personas que realizan actividad física que en los sedentarios, lo cual da a entender que el trabajo muscular aumenta la actividad de la corteza suprarrenal, más todavía en los días de competencia, por lo que el factor emotivo es indudablemente causante del estado de estrés.

Si la causa del estrés es duradera, se puede llegar a una adaptación del individuo a ese estado. Es así como se ha utilizado al trabajo físico para contrarrestar los efectos del estrés emotivo, pues ello deprime el umbral de excitación suprarrenal y se abrevia el tiempo de respuesta al estrés.

Se considera que en el atleta durante una competencia se produce un estímulo condicionado, que comienza a actuar antes de iniciarla y ocasiona un aumento de las actividades corporales, conocido como "fenómeno de la prelargada". Consiste en taquicardia, aumento de la presión arterial y taquipnea. Estas reacciones son influidas por la edad, puesto que las personas jóvenes presentan reacciones de prelargada más elevadas que los adultos, sobre todo en el período de maduración sexual.

El estado de estrés durante el período de prelargada y de competencia ocurre entonces por reacciones reflejas condicionadas y por la actividad endocrina hipofisopararrenal.

Las actividades leves y espaciadas ocasionan un aumento de la resistencia general organofuncional frente a situaciones de estrés desfavorables, como las infecciones, el frío, el calor, etc. En cambio, los entrenamientos rigurosos, con grandes tensiones emocionales, dan paso a la desorganización de ciertas funciones, como el sueño, el apetito y a veces la coordinación muscular.

Si este entrenamiento se intensifica aún más, se pierde la resistencia inespecífica al estrés y luego surgen trastornos de las funciones vegetativas y de la coordinación neuromuscular, que disminuyen indudablemente el rendimiento; esto se denomina "sobrentrenamiento".

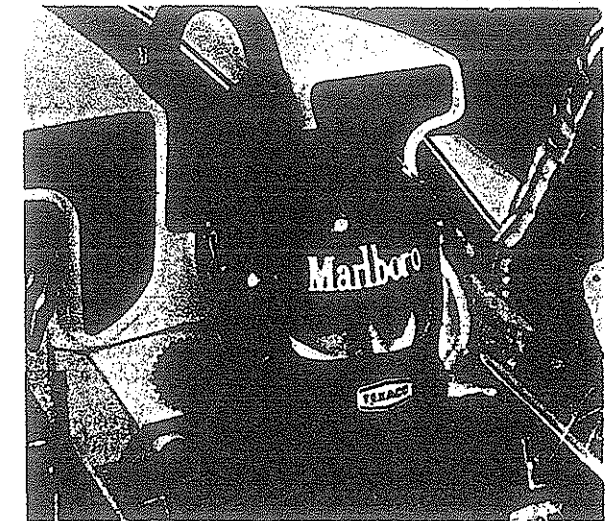


Fig. 13.1. Estrés previo a la largada.

BIBLIOGRAFIA

- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: Fisiología del trabajo humano, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Bartley, S.: *Fatigue, mechanism and management*, 2a. ed. Mc Graw-Hill. N. York, 1962.
- Bruce, R.: *Trastornos y lesiones del sistema musculoesquelético*. Salvat Editores. S.A. Barcelona, 1978.
- Merton, P. A.: Problems of muscular fatigue. *Brit. Med. Bull.* 12:219, 1956.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Río de Janeiro, 1983.
- Selye, H.: *The stress of live*. Mc. Graw-Hill. N. York, 1956.
- Somnson, E.: *Physiology of work capacity and fatigue*. Charles C. Thomas Publisher. Springfield, Illinois, 1971.
- Wilmore, J.: Influence of motivation on physical work capacity and performance. *J. Appl. Physiol.* 24:459, 1968.

14 | EL DEPORTE EN LA INFANCIA

El hombre, desde la fecundación hasta su muerte, sufre un continuo desarrollo físico, psíquico y social.

La influencia que desempeña la actividad física a través del deporte para un armónico desarrollo morfofuncional del organismo, así como también de la mente y el psiquismo, es de fundamental importancia. Por ello el niño y el joven no deben ser educados en etapas aisladas, primero el cuerpo y después la mente, o viceversa, sino que la educación debe ser integral, y para que se inicie en la práctica deportiva es necesario que su organismo haya adquirido determinado desarrollo psicomotor e intelectual para comprender mejor las normas y reglas que rigen a las actividades físicas.

La educación física iniciada precozmente ejerce gran influencia en el perfecto desarrollo morfofuncional, para la fuerza física, la agilidad y la destreza.

Para los niños el deporte es una diversión, una actividad placentera; para los padres, un agente para formar el carácter y alcanzar una buena salud y un desarrollo físico armónico; para los dirigentes de clubes es además un excelente medio de difusión de la institución. Es así como se cambian a veces los objetivos de la educación física trocándolos por los del deporte competitivo y de rendimiento, lo cual trae aparejado penosas sesiones de entrenamiento.

Es sano que los niños compitan entre sí, que traten de mejorar sus habilidades, pero no es bueno que estos niños, inducidos por los mayores, jueguen a ganar a toda costa, a burlar el juego honesto y a renegar de la derrota.

Hay informaciones de que niños de 6 años corren carreras completas de maratón y se entrenan corriendo hasta 120 km por semana, y se han registrado records en publicaciones deportivas.

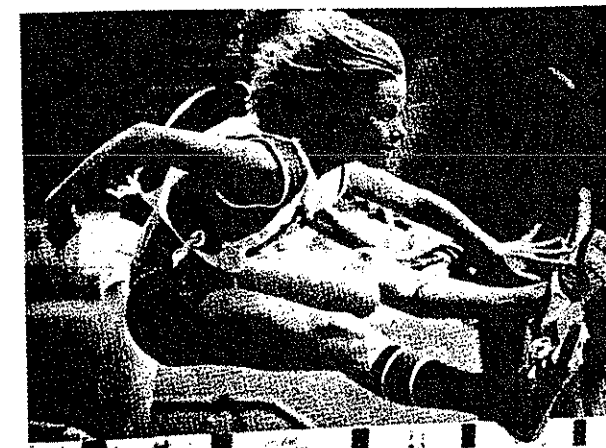
Hay niños de 8 años que nadan 20 km por día y jugadores de tenis que practican gran cantidad de saques y voléas por día. Todo esto hace que el tiempo que consagran al deporte lo sustraigan a otras actividades; muchos abandonan sus estudios y se dedican al deporte profesional a edades cada vez mas tempranas. En nuestro país se observa en futbolistas y en los últimos tiempos en tenistas.

En el deporte competitivo se exige demasiado entrenamiento al niño a costa de su tiempo libre, de su tiempo de descanso y de su tiempo de estudio.

En 1978 se hizo en Suecia un estudio con nadadores jóvenes que se entrenaban 4 a 5 horas diarias, y 10 años después tenían una aptitud física menor que la de los no deportistas, y además habían abandonado todas las actividades físicas, es decir, habían llegado a la saturación deportiva.

Como por lo común en la escuela no se imparte una educación física adecuada en calidad y cantidad, las federaciones, asociaciones o clubes rescatan al niño del medio escolar para entrenarlo. Estos niños a veces son eximidos de sus tareas escolares de educación física para entrenarse, es decir, que por la especialización no conocen ni practican otras disciplinas deportivas. Al igual que en los niños que trabajan, los adultos disponen de su niñez.

Los responsables de que el deporte en la infancia no cumpla con los objetivos para el que fue implementado son: una sociedad constituida sobre modelos exitistas, padres en busca de trascendencia social, económica o de renombre, docentes, profesores y entrenadores tratando de hallar reconocimiento en las instituciones donde se desempeñan, y dirigentes deportivos afanados en lograr más triunfos para su institución, engrandecerla y captar más simpatizantes.



Figs. 14-1 y 14-2. El deporte debe ser una diversión y no un yugo de sesiones de entrenamiento.

EDUCACION FISICA, JUEGO Y DEPORTE

Al revés de lo que a veces se piensa, la educación física y el deporte no son sinónimos. La educación física es una disciplina netamente pedagógica, centrada en el ser humano, que busca el desarrollo integral de la persona acentuando sus estímulos en el área psicomotriz.

El juego y el deporte son elementos utilizados por la educación física para lograr sus fines. El juego es una forma de actividad y una expresión propia de la naturaleza del niño, es parte de su vida diaria y un precioso elemento didáctico para el profesor de educación física. El deporte, en cambio, es un juego con reglas, un ejercicio físico que se practica en forma individual o por equipos con el fin de superar una marca, vencer un adversario o un conjunto, por lo común frente al público, y sujeto a reglas estrictas.

Existen el deporte recreativo y el educativo, pero lo peligroso en la infancia es el deporte espectáculo, que es el deporte de trabajo, de elevado entrenamiento.

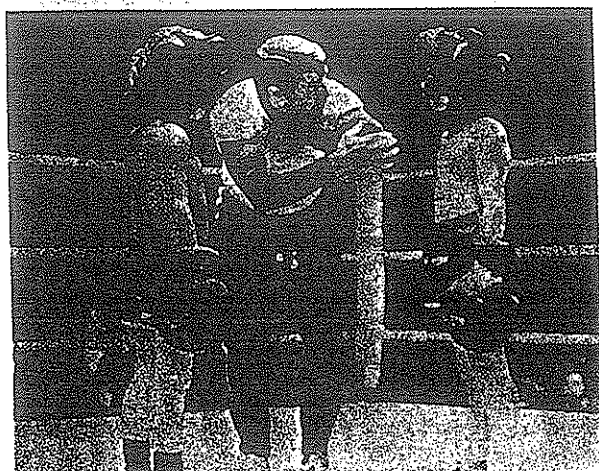


Fig. 14-3. Esto no debe ocurrir; el boxeo no debe practicarse a temprana edad.

Diferencias entre juego y deporte

Juego	Deporte
1) Libre, creativo, espontáneo	1) Reglamentado, con acciones programadas
2) Reglas simples, creadas por los niños	2) Reglas estrictas, creadas por los adultos
3) Ejercita destrezas básicas como correr, saltar, lanzar	3) Ejercita técnicas y tácticas estructuradas
4) Contenido lúdico, recreativo	4) Contenido agonístico, competitivo
5) Provoca intenso placer y alegría	5) Provoca placer o disgusto, tensión y estrés
6) Sin público, sin la presencia de los padres	6) Con público, con padres, dirigentes, hinchas, etc.
7) No hay compromiso ni responsabilidad posterior	7) Tiene compromiso con el club, con el equipo, etc.
8) El juego es igualitario, todos pueden hacerlo, gordos, bajos, torpes, débiles	8) El deporte es selectivo, compiten solo los mejores, los más diestros, los más fuertes

LA PROBLEMÁTICA DEL DEPORTE PRECOZ

Los niños no son adultos en miniatura, son seres que por su proceso de maduración están en constante evolución y crecimiento. Son prepúberes porque no han experimentado los cambios de la pubertad: desarrollo en altura, peso, diferenciación de los caracteres sexuales secundarios.

Con la competencia a temprana edad y el entrenamiento que involucra se violan derechos y necesidades del niño cuando, en vez de buscarse conductas adecuadas a su nivel evolutivo, se traspasan deportes o actividades de mayor nivel de maduración, tendiendo al elitismo y, lógicamente, a la marginación. Ello no quiere decir que no se deba estimular la competencia, pero ésta debe ser tenida como un medio y no como un fin.

El deporte que practique el niño debe ser deporte recreativo o educativo; no se debe permitir en edades tempranas el deporte espectáculo, que siempre lleva consigo el deporte trabajo.

Otra consecuencia es que se condena al niño con menor capacidad física o motriz a ser dejado a un lado en forma sistemática, no busca la enseñanza paciente ni crea actividades acordes con las posibilidades de estos niños, lo cual ocasiona el éxodo y la frustración de muchos de ellos, quienes de otra manera obtendrían una capacitación elemental que les permitiría desarrollar una actividad para mantenerse sanos y activos.

Por otra parte, el niño capaz es entrenado desde temprana edad y puesto a competir en forma sistemática y agobiante; esto trae como resultado un desgaste psicológico prematuro y el abandono de la práctica del deporte en el momento en el cual recién debería comenzar a rendir y entrenarse seriamente, configurando el "síndrome de saturación deportiva".

Son ejemplos de lo dicho:

a) Minideportes, que en su concepción son positivos, pero que al no ser bien administrados, transforman al niño en un hombre pequeño y no estimulan la creatividad implícita en la actividad lúdica.

b) La natación, en que se llega a entrenar 12 kilómetros por semana para competir por los lauros del club. Debemos hacer algunas consideraciones. La natación tiene características particulares: es un deporte con movimientos automáticos, donde cada brazada es igual a la otra y a todas las que se realizarán; el nadador es un repetidor de movimientos rigidamente estructurados y no puede crear ninguno nuevo que revele su talento motriz; además, al sumergir la cabeza en el agua, se aísla del mundo que lo rodea, no puede hablar, ni gritar; en una palabra, comunicarse. Este tipo de deporte carece en absoluto de contenido de recreación y es el prototipo del deporte yugo, del deporte-trabajo.

c) El atletismo, donde niños de 6 a 11 años de edad participan en una jornada en pruebas de 100, 200 y 1500 metros y el cross de 3 kilómetros.

En un estudio sobre el porcentaje de rendimiento según la edad, se obtuvieron estos resultados:

- a) De 5 a 7 años: 20% del trabajo del adulto.
- b) De 7 a 9 años: 28% del trabajo del adulto.
- c) De 10 a 12 años: 44% del trabajo del adulto.
- d) De 12 a 14 años: 50% del trabajo del adulto.

Esto hace que la participación de los niños en las actividades fisicodeportivas deba condicionarse a aquellos juegos o deportes que estén de acuerdo con sus posibilidades fisiológicas y psicomotoras.

Muchas horas de práctica diaria le restan al niño tiempo para jugar, para corretear, para saborear la libertad de hacer y crear cosas, para realizar otras actividades artísticas, creativas; etc. Insensiblemente, las actividades muy estructuradas, de cualquier tipo, le roban al niño un pedazo de su infancia.

EFECTOS DE LOS ENTRENAMIENTOS INTENSIVOS A TEMPRANA EDAD

Quizás dentro de 20 a 30 años se puedan observar pacientes con trastornos provocados por microtraumatismos repetidos en la infancia. Una lesión que se observa frecuentemente es la condromalacia rotuliana (proceso degenerativo de desgaste del cartilago articular de la rótula).

Se han publicado casos de lesiones del tendón de Aquiles, lesiones en el cartilago de crecimiento y traumatismos crónicos provocados por las carreras.

En niños que se entrenan en forma intensiva para el ciclismo se observaron epifisitis del calcáneo y vertebrales, tenosinovitis y, a largo plazo, dorso curvo juvenil, artrosis, lumbalgias y cervicalgias.

En 1928, Delpech decía: "Toda presión sobre un cartilago en crecimiento disminuye el crecimiento óseo en relación con la zona de presión; toda disminución de presión sobre un segmento del cartilago aumenta su actividad". Esta ley explica el normal crecimiento óseo dentro del equilibrio dinámico que provoca una actividad motora normal, pero si esta actividad es incrementada desmedidamente por un entrenamiento intensivo y repetido, se altera el equilibrio del desarrollo musculoesquelético normal del niño...

Con respecto al desarrollo de la fuerza mediante ejercicios de pesas o levantamiento de pesas, los niños prepúberes no tienen mucha capacidad para el desarrollo de la fuerza a causa de la insuficiente cantidad de andrógenos, la cual solo se completa con el desarrollo corporal normal. Los entrenamientos de natación en las niñas, que utilizan además poleas y pesas para fortalecer los miembros superiores, producen virilización somática en las jóve-

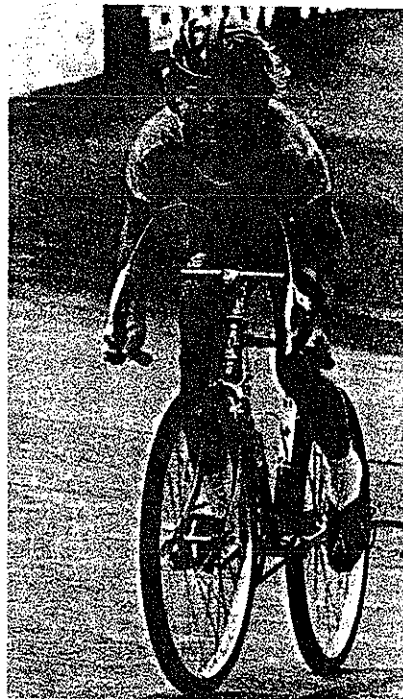


Fig. 14-4. No debe haber entrenamientos rigurosos antes de la pubertad.



Fig. 14-5. El rugby es un deporte muy violento para los niños y no debe practicarse a temprana edad.

nes nadadoras, sobre todo con el estilo mariposa, con acentuado desarrollo de los músculos deltoides, dorsales y pectorales.

No se han registrado trastornos en el crecimiento corporal global con entrenamientos prolongados de mediana intensidad, ni se observaron daños cardíacos por actividades físicas vigorosas en niños con corazones sanos, pero fue dable comprobar hipertrofia cardíaca producida por ejercicios de resistencia. Sin embargo existe una desproporción en el crecimiento cardíaco en relación con el del sistema muscular; esto hace que el corazón tenga menor volumen sistólico, por lo cual debe aumentar la frecuencia cardíaca en ejercicios vigorosos, hecho que también limita el consumo máximo de oxígeno.

REPERCUSIONES PSICOLOGICAS

Si aceptamos que los menores de 12 años participen en actividades deportivas, con competencias regladas, ocurre que:

- 1) Estamos desconociendo los intereses evolutivos del niño e ignorando la importancia de una adecuada estimulación del desarrollo, haciéndole saltar etapas, hecho que puede dar lugar a posteriores inhibiciones y a veces a estados de agresividad.
- 2) Deben asumir normas, leyes o reglas que no entienden, ya que no poseen la madurez suficiente.
- 3) Al no tener formada la capacidad de autocritica les estamos creando situaciones frustrantes, con nuestras valoraciones de adultos respecto de su rendimiento.
- 4) Estamos coartando su libre expresión y creando una dependencia despótica a nuestros principios y normas de vida, expresión de la mentalidad adulta; todo ello es un abuso del periodo de sugestionabilidad y se les hace sentir el peso de la autoridad de los mayores.
- 5) Los privamos del aprendizaje de la vida social, necesidad básica para lograr una personalidad equilibrada, ya que la actividad competitiva individual no favorece al niño, sino que las exigencias que su disciplina impone lo vuelven tedioso, al mismo tiempo que destaca la individualidad, llevándolo a ver al "otro" solo como un contrincante y no en un encuentro de integración y mutuo enriquecimiento.

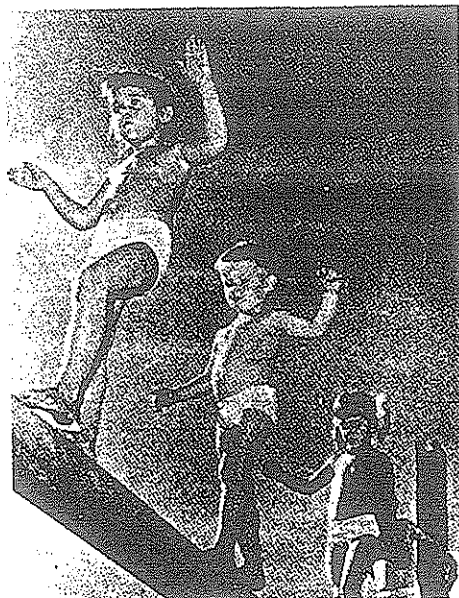


Fig. 14-6. Los niños necesitan atención especial para la iniciación de la actividad física a través de la educación física y del deporte, con un programa regular, equilibrado y agradable. (De Pini, M. C.)

INICIACION DE LA ACTIVIDAD FISICA

La actividad física comienza ya con el bebé, sesiones que las madres efectúan en forma instintiva. Se debe tener cuidado porque el bebé es mucho más ágil de lo que uno se imagina. Es necesario que las sesiones de actividad física se hagan en lugares bien aireados, con buena ventilación y a una temperatura agradable, pues el bebé posee mala termorregulación. En lo posible estará desnudo en un ambiente cálido, para que tenga un mejor contacto con la madre, quien le hablará continuamente para crearle autoconfianza.

Desde el segundo o tercer mes de vida se le practicará movilización pasiva de sus miembros, estimulando la capacidad prensil, tanto de las manos como de los pies. A partir del tercer mes sostiene la cabeza, lo cual fortalece los músculos dorsales; esto se estimula con ejercicios que lo sostengan del pecho y mostrándole objetos que favorezcan su visión, a los cuales se los elevará. Se le hará tomar objetos de colores diversos y que posean sonidos suaves, se tratará de que intente colgarse y se le cruzarán y descruzarán sus miembros.

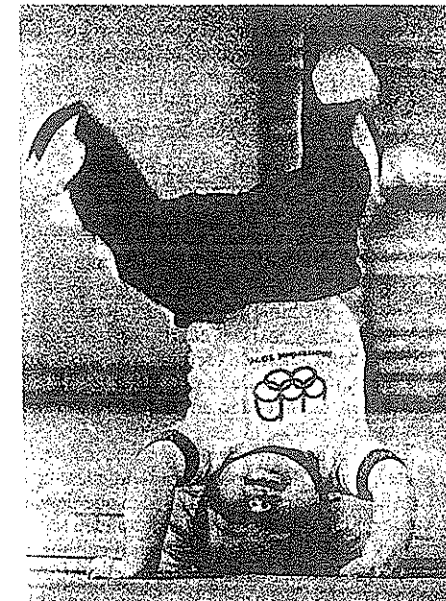
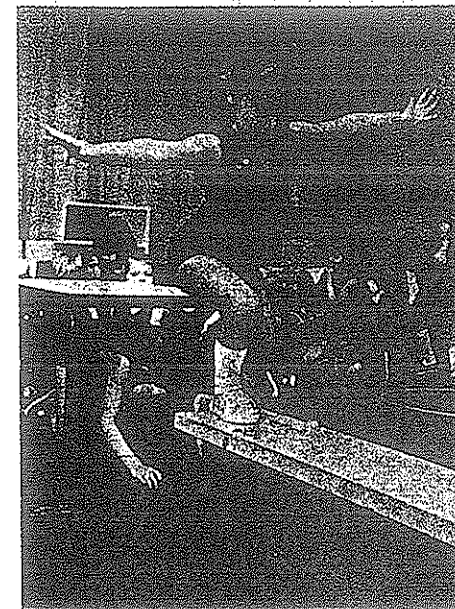
A partir del quinto mes se estimularán la flexoextensión de rodillas y codos y los movimientos de la cintura escapular, tratando de que se sostenga y elevando su punto de apoyo; también se movilizará su columna vertebral.

A partir del octavo o noveno mes empieza el gateo, y se lo estimulará con objetos rodantes de colores vivos (pelota) y se comenzará a estimular el reflejo de la marcha.

Por lo común, al cumplir el año se para y comienza la etapa de la deambulación. Se la estimula con objetos más altos que él, para favorecer el buen desarrollo de la postura.

A partir de los 18 meses se le hará subir escaleras y se comenzará con juegos, que favorezcan sus dotes naturales de trepar, alcanzar, desplazarse y de equilibrio.

Una buena actividad física, sin exigencias, contribuye al normal desarrollo organico-funcional del niño, así como del psicológico y de integración.



Figs. 14-7 y 14-8. Libre expresión de movimientos, no sujetos a reglas.

Desde los 4 a los 9 años la actividad fisicodeportiva debe tener como objetivo desarrollar la actividad motora general desde dos puntos de vista de:

1. Las cualidades físicas, desarrollando:

- a) Coordinación: dinámica general, visomotora, tactomotora.
- b) Equilibrio: estático, dinámico.
- c) Velocidad: de reacción, de traslación.

2. El propio cuerpo, desarrollando la conciencia y el uso corporal global, diferenciación segmentaria, estructuración de la imagen corporal, afianzamiento de la lateralidad como base de la orientación espacial, estructuración del espacio y el tiempo.

En los niños de 4 a 6 años debemos procurar que la actividad física esté dirigida por docentes versados en educación física infantil, quienes deberán estructurar la imagen corporal, el espacio, el tiempo y la lateralidad.

Se deben evitar los deportes competitivos porque el niño evolutivamente no está preparado para competir en forma aislada o en equipos. Al mismo tiempo se debe estimular la competencia como elemento educativo y no para que vea en el "otro" a un rival.

En los niños de 7 a 9 años se debe comenzar con actividades predeportivas, dirigidas por un docente que enseñará las posibilidades de los distintos juegos con la utilización de material conocido por el niño, como pelotas, aros, redes, arcos, etc. También se practicarán minideportes, para que el niño pueda elegir destrezas que estén de acuerdo con sus aptitudes motrices y funcionales. Se lo debe iniciar en el atletismo, que le permite perfeccionar el salto, el lanzamiento y la carrera, siempre utilizando la competencia como medio educativo y no como fin.

Con respecto a la natación, debe decirse que es un deporte muy completo. Se aconseja su práctica desde los primeros meses de vida, pero a tan temprana edad no se debería llamar natación, pues ésta necesita de un proceso de aprendizaje, que solo puede iniciarse desde los 4 años. Lo que se logra es una adaptación a través de reflejos condicionados, los cuales se borran cuando desaparece el estímulo que los creó.

A los 10 años el niño ya tiene una habilidad motora general que le permite manejar su cuerpo en el tiempo y en el espacio; es entonces el momento en que se debe desarrollar la habilidad motora específica, estimulando las siguientes cualidades físicas:

Flexibilidad { Movilidad articular
Elasticidad muscular

Fuerza { Solo en los grandes grupos musculares, sin el empleo de cargas y buscando una normal formación postural.

Resistencia { Sobre todo la resistencia aeróbica y no tanto la anaeróbica, que el niño desarrolla fisiológicamente.

Sobre el propio cuerpo desarrollará:

Dominio y uso del cuerpo en movimientos analíticos.

Incorporación de técnicas y gestos propios de los deportes.

Esta etapa va desde los 10 hasta los 15 a 17 años, acorde con la maduración puberal. La adolescencia es la edad en que se comenzará el deporte con todas sus reglas y sesiones de entrenamiento.

Entre los deportes de equipo podemos enumerar al fútbol, básquetbol, voleibol, hockey, etc., y entre los deportes individuales, la natación, el tenis y el atletismo. También están las llamadas artes marciales, las que deben ser cuidadosamente enseñadas, sobre todo en cuanto a los objetivos que se pretenden lograr, buscando realizar un juego y evitando los torneos y el enfrentamiento violento con los compañeros de aprendizaje.

En esta edad se debe controlar el cansancio físico y emotivo y la tensión psíquica que provoca la participación en los deportes. Todo esto se logra con una perfecta coordinación



Fig. 14-9. Esto solo debe admitirse como juego, nunca se debe alentar.



Fig. 14-10. El ciclismo debe ser placentero, no agobiante.

entre las actividades escolares y extraescolares y dosificando el entrenamiento de acuerdo con la edad y las posibilidades de cada uno.

Por lo común, desde los 15 años ya se puede iniciar la práctica del deporte competitivo. Se debe guiar al adolescente a que practique deporte, tanto en equipo como individualmente. Para las disciplinas halterófilas, como pesas, fisicoculturismo, etc., conviene esperar hasta el completo desarrollo morfofuncional del joven.

En conclusión, se debe procurar el crecimiento y desarrollo normales del niño, lo cual se consigue con una correcta formación física de base, la educación del movimiento y la creatividad.

Se deben favorecer las actividades coordinadas perceptivomotoras, incentivando el juego y la socialización, y evitando todas las actividades deportivas de alto rendimiento y entrenamiento sistemático en edades precoces, así como también las pruebas anaeróbicas y las sobrecargas.

Un programa variado permite a todos los niños practicar actividades físicas y deportes, y no solo a los muy bien dotados.

BIBLIOGRAFIA

- American Academy of Pediatrics: Deportes de competición para niños de la escuela elemental. *Pediatrics* (ed. española). Vol. 11 N° 6, 459-60, 1981.
- Albinson, J. G. y Andrews, G. M. (eds.): *Child in sport and physical activity*. University Park Press. Baltimore, 1972.
- Alcazar, A.: *Relato presentado en las Jornadas Argentinas de Medicina del Deporte*, 1981.
- Alcazar, A.: *Relato presentado al Primer Congreso de El Niño y el Deporte*. Santa Fe, 1985.
- Astrand, P. O.; Engstrom, L.; Erikson, B. O.; Kumbreg, P.; Mylanter, I.; Saltin, B. y Lorenzy, C.: *Girl swimmins*. *Acta Paediat.*, 1963.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Casaris, A.: Sin horario de protección al menor. *Revista Stadium*.
- Cerani, J. D.: *Problemática del deporte precoz y su influencia en el adolescente*. Presentado en el Primer Congreso Nacional de El Niño y el Deporte. Santa Fe, 1985.
- Cerretelli, P.; Aghemo y Roselli, E.: *Aspetti fisiologici dell' adolescente in relazioni alla pratica dell' esercizio fisico*. *Medicina dello Sport*. 21:400-406, 1968.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
- Hegedus, J.: *Enciclopedia de la musculación deportiva*, 1979.
- Kiphard, E. J.: *Insuficiencias de movimiento y de coordinación en la edad de la escuela primaria*, 1976.
- Le Boulch: *La educación por el movimiento*, 1979.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1981.
- Nelson, y col.: *Tratado de Pediatría*, 1979.
- Novak, K. L.: Physical activity and body composition of adolescent boys. *JAMA*. 197-891, 1966.

LA MUJER EN EL DEPORTE | 15

Hasta no hace mucho tiempo, en las competencias deportivas solo tomaban parte los hombres; con la emancipación de la mujer, su participación es cada vez mayor en todas las competencias deportivas.

La antigua creencia de que el deporte masculinizaba a la mujer y que hasta favorecía su esterilidad, así como el sometimiento de la mujer en una sociedad machista, demoraron su intervención en las competencias deportivas, a las que solo tuvo acceso a fines del siglo pasado, excepto algunas especialidades practicadas anteriormente.

Existen referencias de la participación de la mujer en juegos de bochas y de criquet en pleno siglo XIII, así como también en juegos de arco y flecha.

Se tiene como primer registro femenino en singles de tenis, en Wimbledon, a la Sra. Maud Watson, con 6-8, 6-3 y 6-3.

El golf tuvo origen en Escocia en el siglo XV y se sabe que la Sra. Scott, en 1893, fue la primera vencedora del campeonato inglés.

El hockey sobre césped se jugaba ya en Europa a mediados de la centuria pasada y hay referencias de equipos femeninos que participaron en Irlanda a fines de ese siglo.

La natación cuenta con participantes femeninas desde comienzos de este siglo.

En 1922 se creó en París la "Unión Femenina Deportiva Internacional", que organizó campeonatos mundiales. En 1928, en Amsterdam, la mujer compitió por primera vez en juegos olímpicos.

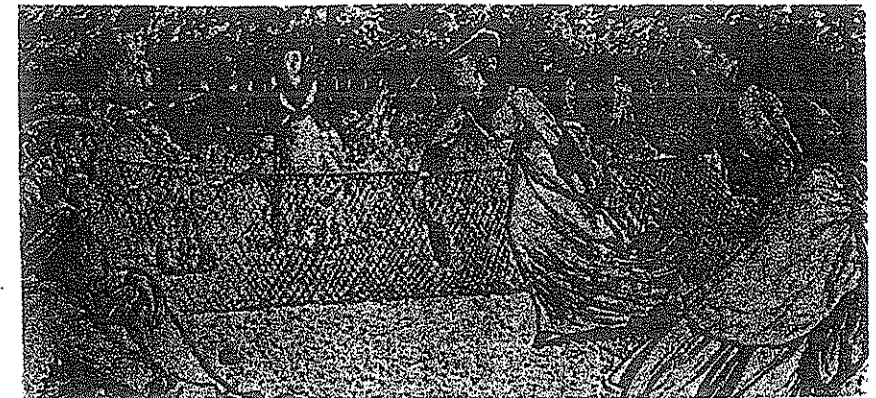


Fig. 15-1. Figura de época, donde se juega al tenis femenino.

Desde entonces hasta hoy, se ha integrado permanentemente al deporte, interviniendo cada vez con más frecuencia y en mayor número en las diversas modalidades deportivas. A partir de entonces también se han logrado mejoras en el rendimiento deportivo femenino.

Presentamos a continuación los resultados femeninos de algunas pruebas de atletismo y natación disputadas en juegos olímpicos:

Deporte	Amsterdam	Munich	Montreal	Moscú
100 m llanos	12,2	11,1	11,08	11,06
800 m llanos	2,16,8	1,58,6	1,54,94	1,53,50
Posta de 4 x 100	48,4	42,8	42,55	41,60
Salto en alto	1,59	1,92	1,93	1,97
Disco	39,62	66,62	69,00	69,96
Natación:				
100 m libre	1,11,0	58,6	55,65	54,71
200 m pecho	3,12,16	2,41,7	2,13,43	1,58,33
400 m libre	5,24,8	4,19,10	4,09,89	4,08,76
Posta 4 x 100 libre	4,47,6	3,55,2	3,44,82	3,42,71

Tomado de M. C. Pini.

La mujer tiene diferencias estructurales y funcionales con respecto al hombre, a pesar de lo cual las investigaciones efectuadas permitieron comprobar que, estando convenientemente preparada y entrenada, es capaz de participar en todas las modalidades deportivas que practica aquél. Además, por sus características morfofuncionales puede cultivar otras modalidades que son propiamente femeninas.



Fig. 15-2. Tenis femenino de la década del 20.



Figs. 15-3 y 15-4. Atletas de mediana distancia; obsérvese su desarrollo muscular.

Es así como disputan diferentes tipos de deportes, entre ellos fútbol, voleibol, básquetbol y hasta lucha, sin que le provoque ningún inconveniente en su desarrollo morfofuncional.

También han participado en lucha libre, levantamiento de pesas, boxeo, remo, rodeo, toreo y carreras de fondo. Esto significa que están física y funcionalmente capacitadas para hacerlo y que estas modalidades deportivas, que hasta no hace mucho tiempo eran consideradas exclusivamente masculinas, no les acarrearán lesiones.

De que son aptas para la ejecución de tareas que se consideraban propias del hombre, lo revela el hecho admirable de lo realizado por la cosmonauta rusa Valentina Tereshkova, que con una extraordinaria preparación psicofísica compartió con el hombre la conquista del espacio.

Hay deportes que por sus características no se adaptan a la mujer, deportes rudos, de contacto, como el rugby, las luchas, el boxeo, etc., que exigen condiciones especiales de entrenamiento, violencia en los contactos físicos y extraordinario desgaste.

El excesivo entrenamiento, sobre todo de la fuerza, puede modificar al organismo femenino y masculinizar sus formas por el desarrollo exagerado de las masas musculares. Asimismo, si los entrenamientos comienzan a edad temprana pueden provocar gran desarrollo de la cintura escapular, en detrimento de la cintura pelviana; esto origina una pelvis estrecha, que dificultará futuros partos. Lo dicho no significa que el entrenamiento cause virilización o esterilidad femenina, excepto en casos de "doping" con anabólicos esteroides.

Por lo tanto, el entrenamiento deportivo no provoca perturbaciones en los órganos genitales femeninos ni virilización, y en la historia hay muchos casos de atletas que han sido madres de niños totalmente normales. Tanto el útero como los ovarios y las trompas se encuentran bien protegidos en la pelvis y es muy difícil que traumatismos externos lesionen a tales órganos.

El deporte no produce virilización en la mujer, ni ésta pierde su condición por la práctica deportiva; quizás algún tipo determinado de entrenamiento pueda darle las formas características del hombre, lo cual no equivale a virilización.



Fig. 15-5. Atletas femeninas compitiendo con hombres.

Existen casos de pseudohermafroditismo entre las atletas. Estos verdaderos estados intersexuales no son producto del entrenamiento, sino que tienen un origen hereditario, como el síndrome de Turner y el pseudohermafroditismo femenino, donde predominan las hormonas masculinizantes, y que representan estados patológicos. Hay casos de atletas que han cambiado de sexo por procedimientos quirúrgicos y hay también casos de hombres que han competido como si fuesen mujeres, constituyendo un verdadero fraude deportivo.

DIFERENCIAS MORFOLOGICAS ENTRE LOS SEXOS

El esqueleto femenino es diferente del masculino; sus huesos tienen apófisis y crestas más delicadas y menos salientes. Por lo común, la estatura de la mujer es menor que la del hombre y sus articulaciones y ligamentos son más delicados, y como consecuencia de la constitución ósea y la longitud de las palancas, el largo del paso en la mujer es menor que el del hombre. La columna vertebral presenta una lordosis lumbosacra más acentuada que favorece el parto; esto provoca una estática distinta de la del hombre y le da una característica propia que, a su vez, configura un carácter sexual secundario. El tórax de la mujer es menor y más estrecho, con una abertura inferior más amplia. La pelvis femenina es más ancha y tiene por lo tanto mayor capacidad, pues allí se encuentran alojados los órganos sexuales internos, disposición que favorece la gestación y el parto.

La mujer tiene una morfología que le permite desarrollar equilibrios estáticos y dinámicos diferentes del hombre. Durante la gestación sufre cambios que la obligan a una modificación de ese equilibrio. En efecto, por acción de la hormona relaxina, las articulaciones pelvianas se vuelven más laxas y ello explica por qué la mujer embarazada es propensa a las caídas.

El aumento del tamaño de la pelvis y la convergencia de los fémures dan a la marcha femenina cierto balanceo lateral característico que el hombre no posee. La marcha de éste es más recta y firme; esto favorece al hombre para adquirir más velocidad en las carreras y más eficacia motora en los saltos y lanzamientos.

El músculo estriado no presenta diferencias histológicas entre los sexos; la diferencia reside en el mayor desarrollo de la masa muscular masculina; en cambio, la mujer, para un mismo peso corporal, tiene mayor cantidad de tejido adiposo.

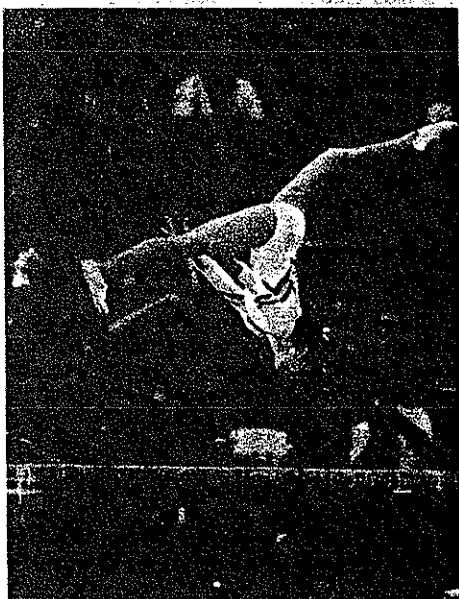
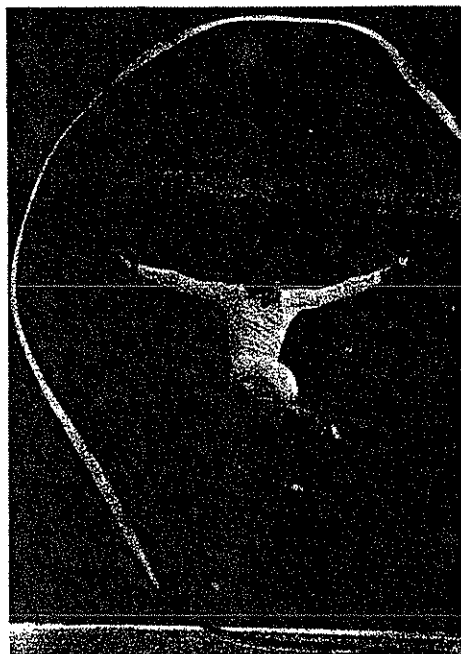
Nöcker ha hecho mediciones de la masa muscular calculando que representa un 40-41% del peso corporal masculino y un 33-34% del peso corporal femenino. Esta diferencia desaparece en relación con el peso magro del organismo, lo cual significa que la mujer tiene mayor porcentaje de grasa que el hombre, hecho que le trae aparejado una disminución de la fuerza muscular con respecto a aquél.

En condiciones basales el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) es 30 a 40% menor en la mujer, tanto en cuanto al peso como a la superficie corporal; esto indica que su resistencia aeróbica es menor y que el tiempo de recuperación es mayor.

La experiencia ha demostrado que tanto la capacidad aeróbica como anaeróbica de la mujer llega a un 70-73% en relación con la del hombre.

El sistema cardiovascular de la mujer es menos eficiente que el del hombre. Hasta alrededor de los 17 años no hay grandes diferencias; a partir de entonces y hasta los 50-60 años, el volumen minuto cardíaco es un 10 a 20% menor en la mujer, pero se ve compensado por un menor consumo de oxígeno y además por un aumento de la frecuencia cardíaca. Todo ello, por supuesto, limita algo el rendimiento en actividades exhaustivas y prolongadas.

La volemia, es decir, la cantidad total de sangre, es menor en la mujer. Posee 58 ml por kilogramo de peso frente a 64 ml del hombre; y además tiene un 10% menos de glóbulos rojos (4.500.000 frente a 5.000.000 del hombre) y un menor tenor de hemoglobina; la cantidad total de ésta es de 0,8% del peso corporal, en relación con el 1,16% en el hombre. Como su capacidad vital es menor, en igualdad de condiciones, la mujer presenta un menor consumo de oxígeno, lo cual limita, como ya dijimos, su capacidad aeróbica.



Figs 15-6 y 15-7. Perfección, armonía y equilibrio.



Fig. 15-8. Hombre transformado en mujer, compitiendo con mujeres.

DEPORTES MAS APTOS PARA LA MUJER

Las diferencias morfofuncionales de los dos sexos revelan que la mujer se adapta menos a esfuerzos físicos vigorosos y prolongados; su organismo no es tan fuerte y resistente como el del hombre.

A causa de la gracilidad de sus líneas y a su propia manera de ser, hay actividades físicas que se adecuan más a ella, por el ritmo, destreza y habilidad que poseen, como es el caso de la gimnasia rítmica.

La natación favorece a la mujer, y puesto que posee un peso específico menor, se han logrado marcas femeninas muy cercanas a las masculinas.

Entre las actividades físicas que más se adaptan a la mujer están: gimnasia rítmica, gimnasia olímpica, natación, tenis, esgrima, voleibol, básquetbol, patinaje, golf, esquí, algunas especialidades del atletismo, como los 100 y los 400 metros llanos, las carreras con vallas y ciertos lanzamientos como la jabalina y los saltos.

Existen algunas actividades que deben ser evitadas por la mujer, como el rugby, boxeo, luchas, fútbol, remo, algunas modalidades del atletismo como el lanzamiento del martillo y la bala, el salto con garrocha y las carreras de fondo o mediofondo, no por ser la mujer incapaz de hacerlas, sino por la gran exigencia de entrenamiento que demandan y por la violencia de los contactos físicos que presentan algunas. No debe olvidarse que los golpes y traumatismos en las glándulas mamarias pueden, si son repetidos, provocar lesiones.

Existen publicaciones acerca de trastornos en el ciclo menstrual, hipomenorrea y hasta amenorrea de algunos meses, durante entrenamientos agotadores.

Por todo ello es aconsejable que la mujer realice actividades que realcen su belleza física y la delicadeza y la gracia de sus movimientos.

CICLO MENSTRUAL Y DEPORTE

Desde la pubertad hasta la menopausia la vida de la mujer presenta ciclos menstruales periódicos de 28 a 30 días, que obedecen a acciones hormonales hipofisarias y ováricas.

Este hecho suele acarrear problemas psicológicos a las atletas, que por lo común no tienen fundamento organicofuncional. Tanto es así, que a veces, antes de importantes competencias, aparece la menstruación en forma totalmente inesperada y fuera del período normal.

Una niña recién nacida tiene en sus ovarios alrededor de 400.000 folículos, algunos de los cuales comienzan a madurar desde la menarca (primera menstruación) en adelante y hasta la menopausia.

La menarca o menarquia ocurre en nuestro medio (clima subtropical) entre los 11 y los 14 años; en la edad de su aparición influyen el clima y la herencia.

Si consideramos un ciclo menstrual de 28 días, el día 28° es el cero del ciclo siguiente, y el flujo menstrual corresponderá desde el día cero hasta el 3, 4, 5 o 6, variable en las distintas mujeres. Durante los primeros 14 días el ovario recibe el influjo hipofisario a través de la hormona foliculoestimulante, la que hace crecer un folículo. Dentro del folículo madura un óvulo, y este folículo produce una serie de hormonas llamadas estrógenos, los cuales durante esos 14 días hacen crecer el endometrio, preparándolo para la nidación. Por lo común, alrededor del día 14° ocurre la ovulación, estalla el folículo y el óvulo es atrapado por la trompa. A partir de ese momento, la acción hipofisaria cambia; la hormona luteinizante, que comienza a producirse, hace desarrollar el cuerpo lúteo o amarillo en el folículo estallado. Este secreta otra hormona, llamada progesterona, que mantiene el endometrio crecido; al llegar el día 28° disminuye bruscamente el tenor de progesterona en la sangre, y al no mantenerse el endometrio, tiene lugar el flujo menstrual y comienza un nuevo ciclo.

Durante los primeros 4 a 10 días del ciclo, el aumento de los estrógenos provoca retención de sodio con fijación de agua en el organismo; ello hace que en esta etapa la mujer pueda desarrollar su mejor capacidad de trabajo físico. Al llegar el día 14° ocurre la ovulación y comienza la fase progesterónica, durante la cual y sobre todo cuando finaliza, se producen alteraciones psicológicas, con sensación subjetiva de cansancio, astenia, abulia y malestar general, que traen aparejada una disminución de la capacidad para el trabajo físico. A veces estos síntomas son tan intensos que configuran el síndrome de tensión premenstrual, el cual obliga en ocasiones a guardar cama a la mujer. En cambio, otras no sufren estas tensiones y desarrollan una vida perfectamente normal.

Durante el período menstrual la mujer se libera de la tensión premenstrual y a veces padece de cólicos en el hipogastrio, pero por lo común retoma sus mejores condiciones de funcionamiento orgánico y, por lo tanto, de su rendimiento físico-deportivo; es en esta etapa cuando podrá obtener sus mejores resultados, si está física y psicológicamente bien preparada, cualquiera que sea la modalidad deportiva cultivada.

Es importante que las atletas conozcan los posibles trastornos provocados por el ciclo menstrual y que tomen conciencia de sus reales posibilidades físicas en todas sus etapas.

Nº de días	Periodos	Capacidad física
0 a 5	Menstruación	Aumento progresivo, rápido
5 a 14	Fase estrogénica	Máxima
15 a 20	Fase progesterónica	Disminución progresiva
20 a 24	Tensión premenstrual	Mínima

Adaptado de M. C. Pini.

El síndrome de tensión premenstrual, durante el cual la capacidad física disminuye, se caracteriza por variaciones en el estado emotivo y el carácter y disminución del peso corporal. A veces se presentan cólicos uterinos, náuseas y vómitos, y las mujeres se sienten

hinchadas por retención de líquidos e inapetentes, y a veces se ven obligadas a permanecer en reposo.

En algunos casos la actividad física intensa y los entrenamientos rigurosos causan alteraciones en el ciclo menstrual, con dismenorrea, hipomenorrea y hasta amenorrea. Por otro lado, la actividad deportiva racional no acarrea ninguna perturbación menstrual; al contrario, prepara mejor a la mujer para los partos y para una menopausia sin síntomas agobiantes.

DEPORTE Y EMBARAZO

Durante la gestación no se debe competir ni entrenarse en forma intensa. La actividad deportiva debe ser moderada y conducida hacia una gimnasia respiratoria y abdominal, que ayudarán a la mujer en el trabajo de parto.

Una actividad intensa durante la gestación puede provocar traumatismos abdominales que ponen en riesgo la vida del feto; también determina un menor aporte sanguíneo al feto como consecuencia de las derivaciones circulatorias ocasionadas por el ejercicio intenso.

Existen casos constatados de aborto, particularmente en los 3 primeros meses del embarazo.

Después del puerperio (40 días), la actividad deportiva puede reanudarse en forma progresiva.

BIBLIOGRAFIA

- Angestad, L. B.: *Menstruation in sport*. Abstracts. Roma, 1980.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Clarke, H. H.: *Physical activity during menstruation and pregnancy*. Physical Fitness Research Digest. President's Council on Physical Fitness and Sports. Washington D. C., 1978.
- Corbitt, R. W.; Cooper, D. L.; Erikson, D. J.; Kriss, F. C.; Thompson, M. L. y Craig, T. T.: Female athletes. *JAMA*, 1974.
- Dalmata, C.: La donna e lo sport. *Studi. Med. Chir. Sport.*, 1951.
- Ederlyi, G. J.: Gynecological survey of female athletes. *J. Sports Scand.* 2:174, 1962.
- Fox, E. L.: *Fisiología del deporte*. Ed. Médica Panamericana, 1984.
- Fox, E. L.; Martin, F. L. y Bartels, R. L.: Metabolic and cardiorespiratory responses to exercise during the menstrual cycle in trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports*, 1977.
- Galligaris, A.: *Training in pregnancy and maternity*. Abstract. Roma, 1980.
- Kilbom, A.: Physical training of women. *Scand. J. Clin. Invest.* 119:1, 1971.
- Kim, I. Tshu, H.: *Age and physique of olympic women champions*. Roma, 1980.
- Lesmer, G. R.; Fox, E. L.; Otto, R. y Stevens, C.: Metabolic responses of female to interval training programs of different frequencies. *Medicine and Science in Sport*, 1979.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1981.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Sparling, P. B. y Curston, K. J.: Biological determinants of the sex differences in 12 min. run performance. *Med SC Sports*, Vol. 15, Nº 3, 1983.
- Wilmore, J. H. y Brown, C. H.: Physiological profiles of women distance runners. *Med. and Sci. in Sports*, 1974.

16 | ACTIVIDAD DEL SEDENTARIO, DEL CARDIOPATA Y DEL ANCIANO

Uno de los grandes problemas de la vida moderna es el sedentarismo, unido a la tensión provocada por el trabajo, el ansia de progreso con su estrés permanente y las dificultades socioeconómicas cada vez más acuciantes.

Este es uno de los factores de riesgo que, junto con la obesidad y las dislipidemias, predisponen a las enfermedades cardiovasculares, primera causa de muerte en el mundo actual, a las que le siguen los accidentes automovilísticos, quizá también consecuencia del estado de ansiedad en que se vive.

Las causas que inclinan a la arteriosclerosis y, por consiguiente, a las coronariopatías (y su consecuencia, el infarto) son denominadas "factores de riesgo" y comprenden: herencia, hipertensión arterial, diabetes, hiperlipidemia, obesidad, tabaquismo y estrés permanente.

La actividad física bien reglamentada y acompañada de hábitos de vida sanos, buena alimentación, sin grasas, y suprimiendo los tóxicos como el tabaco y el alcohol, impiden o retardan la aparición de la arteriosclerosis. Con la actividad física reglada se evita el sedentarismo, se mejora el sueño, pues se llega indudablemente más cansado a la hora de dormir, mejora el estado de vida, y por la vasodilatación que produce, disminuye la tensión arterial de reposo. Además de vasodilatación, produce neoformación capilar, es decir, crea verdaderos bypass microscópicos y permite una mejor irrigación del tejido muscular, incluido el miocardio.

Un programa de actividad física para el sedentario tratará de acrecentar sus cualidades físicas, de desarrollar las fuentes de producción de energía y los sistemas de transporte de oxígeno (resistencia aeróbica, y anaeróbica muscular general y localizada), dará eficacia a los movimientos mejorando la destreza y la coordinación, y facilitará la relajación muscular. Es necesario el desarrollo armónico de todas las potencialidades.

En el entrenamiento del sedentario y del cardiopata el objetivo fundamental es la mejora de la capacidad funcional general, sin el desarrollo desmesurado de la fuerza. Se desecharán los ejercicios isométricos intensos y prolongados y los de fuerza máxima, pues elevan en gran medida la presión arterial; lo mismo cabe para los ejercicios extenuantes, sofocantes, porque aumentan considerablemente la frecuencia cardíaca.

En los obesos, con abdomen sobrecargado, se deben disminuir los ejercicios abdominales, sobre todo los de flexión del tronco sobre los miembros inferiores, para evitar una sobrecarga de los músculos deficientes. A medida que el individuo progresa en la metodología y adelgaza su abdomen, se los irá indicando con más frecuencia.

Se tratará de evitar una maniobra de Valsalva muy prolongada para no producir apneas largas y sobrecargas en la circulación menor.

Al principio no son convenientes los movimientos bruscos de rotación y circunducción ya que pueden provocar lesiones en articulaciones o músculos todavía incoordinados.

Es importante el control del ritmo respiratorio a fin de favorecer el desarrollo de los músculos que intervienen en la respiración.

Las sesiones de entrenamiento para sedentarios se pueden dividir en cuatro partes, que han de cumplirse en forma progresiva.

En la primera parte el objetivo es reforzar el sistema de transporte de oxígeno y las fuentes de producción de energía; esto se logra con ejercicios predominantemente aeróbicos, como carreras de mediana intensidad, caminatas, trotes o ciclismo y su duración no debe ser mayor de 15 a 25 minutos.

En la segunda parte se tratará de fortalecer el sistema osteoarticular y muscular con ejercicios de flexión y extensión; por ejemplo, caminar en puntas de pie, flexoextensión de codos y rodillas, circunducción, flexiones de cadera y tronco, etc. La duración será aproximadamente de 10 a 15 minutos.

En la tercera parte se tenderá a reforzar el sistema muscular con el desarrollo de la fuerza y de la resistencia musculares, tipo entrenamiento en circuito. Los estímulos deben tener una duración de 45 segundos, con intervalos de 15 segundos y de un minuto entre cada serie. Se efectúan flexiones alternadas del tronco, miembros superiores e inferiores, pudiendo utilizarse mancuernas livianas. Deben ser variadas y de diferentes intensidades, con una duración de alrededor de 15 minutos.

Por último, en la cuarta parte se presta atención al sistema neuromuscular, con ejercicios de relajación y respiratorios. La relajación se debe realizar con los ojos cerrados, con poca luz ambiental y con adecuado fondo musical. Su duración será de 15 a 20 minutos.

La experiencia clínica y las estadísticas han revelado que el entrenamiento físico dilata las coronarias y multiplica los capilares del miocardio, lo cual significa que la actividad física es un buen método para prevenir el infarto de miocardio. El pulso de reposo disminuye en la persona entrenada con respecto a la sedentaria y esto evidencia una mejor elasticidad arterial y, por consiguiente, menor probabilidad de adquirir arteriosclerosis.

ACTIVIDAD FÍSICA EN EL CARDIOPATA

Dentro de las enfermedades cardiovasculares el infarto de miocardio constituye una de las más frecuentes y temibles, ya que es la principal causa de muerte súbita. El infarto de miocardio es la consecuencia de la arteriosclerosis coronaria. Se observa a cualquier edad (hay casos descritos en la infancia), pero su frecuencia aumenta progresivamente a partir de los 40 a 45 años.

Hasta hace alrededor de 30 o 40 años el tratamiento del infarto agudo de miocardio consistía en reposo absoluto en cama hasta lograr la cicatrización. Actualmente, el enfoque ha cambiado; el reposo es más relativo, con movilización precoz.

Lo ideal es prevenirlo y además tratar los síntomas incipientes de insuficiencia coronaria, que se manifiesta por dolores en el pecho (precordialgias), hombro y miembro superior izquierdos, o en el epigastrio, por dolor al esfuerzo o trastornos electrocardiográficos en exámenes de rutina (que todas las personas mayores de 45 años deben realizar periódicamente, sobre todo quienes están sometidos a estrés más o menos permanente). En este sentido tienen mucha importancia, para llegar al diagnóstico, las pruebas de esfuerzo o ergométricas, que se realizan con el cicloergómetro, con control electrocardiográfico continuo y con cargas progresivas.

La actividad física del paciente con trastornos coronarios siempre debe ser supervisada por un cardiólogo entrenado en rehabilitación. Se debe realizar en un lugar adecuado, disponiendo de todo lo necesario para la atención de urgencias de cualquier accidente que pueda ocurrir.

En las personas que no presentan síntomas, pero en quienes la ergometría revela manifestaciones de coronariopatía isquémica en esfuerzos intensos, se puede ejecutar un programa de actividad física con control de la frecuencia cardíaca, siempre inferior a aquella que provoca síntomas, sean éstos electrocardiográficos o de dolor anginoso. La actividad física

ayuda a los pacientes y proporciona largos períodos de bienestar en esta enfermedad progresiva.

En los pacientes que experimentan síntomas con poco esfuerzo, por ejemplo, dolor anginoso al caminar, la actividad física está contraindicada, excepto pequeños movimientos de coordinación, flexibilidad y recreación.

En los pacientes con angina de reposo el ejercicio está contraindicado, pues podría desencadenar un infarto agudo de miocardio; en estos casos el tratamiento será médico o quirúrgico, según lo determine la coronariografía.

En pacientes que ya han sufrido un infarto agudo de miocardio la actividad depende de la fase en que se encuentre. Las pautas de la actividad las ha dado la *American Heart Association* y constan de cuatro etapas:

La primera etapa corresponde al período de internación en una unidad coronaria. Solo se efectúan movilizaciones pasivas de los miembros, cuidados higiénicos y, poco a poco, de acuerdo con la evolución, se permite la movilización más activa.

Cuando el paciente sale de la unidad coronaria pasa a la segunda etapa, que corresponde a la de hospitalización en una sala común. En este momento se comienza con la deambulación y el aumento progresivo y permanente de la actividad, siempre de acuerdo con la evolución clínica y electrocardiográfica.

Cuando el paciente abandona el hospital se pasa a la tercera etapa, que corresponde a la convalecencia en el hogar del paciente; dura de 3 a 4 semanas y se realizan actividades de complejidad creciente —caminatas, algunas flexiones, recreación— durante períodos más prolongados.

La cuarta etapa es la de rehabilitación y se lleva a cabo en clínicas especializadas, con controles periódicos de ergometría y actividad también progresiva y controlada. Cuando el paciente presenta pruebas ergométricas sin manifestación de isquemia puede realizar las mismas tareas que una persona sedentaria.

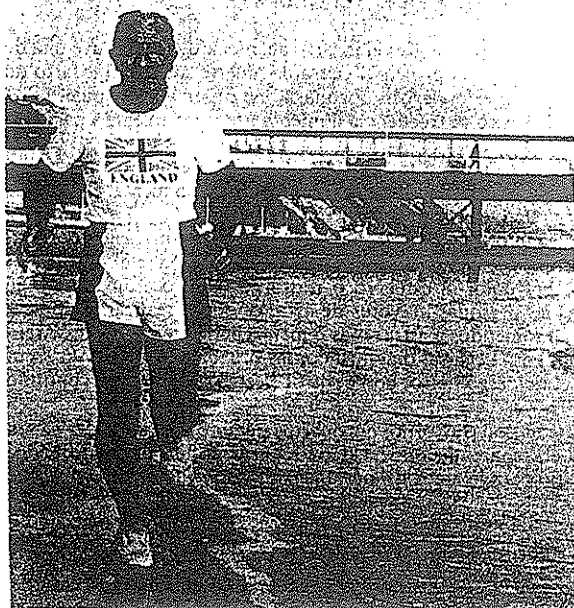


Fig. 16-1. No tengo edad.

ACTIVIDAD FÍSICA EN EL ANCIANO

El desarrollo normal del rendimiento físico varía a lo largo de los años: presenta un ascenso en la juventud, una mejoría notable entre los 20 y los 40 años y un descenso continuo a partir de entonces, más acentuado desde los 60 años en adelante, como consecuencia de las alteraciones estructurales y funcionales que produce el envejecimiento.

En los últimos tiempos ha aumentado la expectativa de vida hasta cerca de los 70 años y más en algunos países, gracias a los adelantos de la medicina. Pero no es suficiente prolongar la edad cronológica; es necesario también vivir con bienestar y extender el lapso del rendimiento del individuo. Ya se han visto los cambios orgánicos producidos por el tecnicismo; el sedentarismo es indudablemente una de las causas del aumento de las enfermedades cardiovasculares.

En las personas dedicadas a actividades físicas ríguosas disminuyen las afecciones cardiovasculares arterioscleróticas y esto da la pauta de la importancia de la actividad física en la profilaxis de esas afecciones.

Con la edad, el proceso de recuperación después de la actividad es mucho más lento que en la juventud. También disminuye la capacidad funcional respiratoria. Su causa es el endurecimiento, la fijación de las articulaciones condrocostales y esternocostales, que se calcifican, y el enfisema pulmonar propio de la edad, que ocasiona una disminución de la elasticidad toracopulmonar, con la consiguiente hipoventilación y el menor volumen minuto respiratorio.

Por lo dicho, a medida que aumenta la edad, la actividad física debe reducirse para lograr un mejor rendimiento. Además se debe buscar la actividad adecuada con menor amplitud de movimientos. Se prestan a ello el tenis, las carreras de poca intensidad, la natación, el remo, los juegos de pelota, la gimnasia y las excursiones a pie. El logro de rendimientos máximos no carece de peligros. Se han producido defunciones (por paro cardíaco) en personas que sin estar entrenadas ni controladas médicamente pretendieron hacer actividades de rendimiento. Ello es más frecuente en quienes en su juventud tuvieron buenas actuaciones y desean emularlas al correr de los años, sin entrenarse ni controlarse previamente.

Los investigadores llevaron a cabo experiencias en personas mayores de 60 años que habían practicado deportes durante toda su vida y encontraron valores mayores de capacidad máxima de absorción de oxígeno y una frecuencia del pulso de reposo menor que la de los sedentarios de la misma edad. De ello se deduce que el entrenamiento mantiene las condiciones económicas de la circulación, si bien estas adaptaciones no son permanentes y quienes abandonaron el deporte no presentan tales modificaciones circulatorias.

Todo lo expresado demuestra que la actividad física demora el envejecimiento y aumenta el período productivo de la vida, lo cual significa que es muy importante en esta edad para mantener el organismo.

Podemos decir que la circulación del anciano es entrenable, pero sin llegar a producir altas frecuencias cardíacas, que pueden ser peligrosas.

Se puede utilizar como parámetro a la frecuencia cardíaca que no sobrepase un valor igual a 180 menos la edad del individuo, fórmula solo válida a partir de los 40 años de edad.

Concluimos entonces que las actividades físicas deben dosificarse más moderadamente en las personas de edad para obtener un efecto óptimo. Además se realizarán ejercicios que puedan desarrollarse hasta bien entrada la vejez. La práctica de deportes en forma competitiva solo se deberá efectuar si nunca se interrumpió el entrenamiento.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, W. C.: Influence of age, sex and body weight on the energy. *J. Appl. Physiol.* 22:537, 1967.
 Astrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.*, 1960.

- Astrand, P. O.: *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age*. Munksgaard. Copenhagen, 1952.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed. Médica Panamericana.
- Boyer, J. L. y Kasch, F. W.: Exercise therapy in hypertensive men. *JAMA*. 211:1668, 1970.
- Demolin, H.: The role of the sport in prevention of cardiovascular diseases. *Bologna Caggi*, 871-72, 1980.
- De Hegedus, J.: *Teoría general y especial del entrenamiento deportivo*. Stadium. Buenos Aires, 1974.
- Hollerstein, H. K.: Exercise therapy in coronary disease. *Bull. N. Y. Acad. Med.* 44-1028, 1968.
- Hollerstein, H. K. y Friedman, E.: Sexual activity and the post-coronary patient. *J. Appl. Physiol.*, 1969.
- Morehouse, L. E. y Miller, A. T.: *Fisiología del ejercicio*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, 1981.
- Pini, M. C.: *Fisiología deportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.

EL DOPING EN EL DEPORTE | 17

"Al llegar a San Fernando, ya en plena crisis, según sus propios adversarios, Olivera perdió contacto con el pelotón puntero y de allí en más pedaleó poco menos que inconsciente, en un constante zigzag de una a otra vera del camino. Perdió el equilibrio una vez, se reincorporó, volvió a caer, y empeñado en continuar, a pesar de muchas instancias en contrario, debió finalmente claudicar cuando el personal de la ambulancia de Medicina del Deporte se decidió a detenerlo. Trasladado al Hospital de San Fernando, dejaba de existir hora y media después, aproximadamente a las 19. El diagnóstico médico que pudimos recoger acusó derrame cerebral".

Esta historia, publicada en la revista *El Gráfico* del 19 de noviembre de 1954, relata la muerte del ciclista entrerriano Osvaldo Olivera, que a los 29 años era una de las mejores figuras locales. Días después se confirmaba la presencia de drogas estimulantes en su organismo.

Continuando con el ciclismo, el 26 de agosto de 1960, el danés Kurd Junsen perdía la vida durante los 100 kilómetros en los Juegos Olímpicos de Roma: el sol había resultado fatal para su cuerpo minado por los estimulantes. Sus dos compañeros de equipo, Jorge Jorgensen y Vango Bangborg, quedaban hospitalizados en grave estado por los mismos efectos.

Además de los trastornos orgánicos, el "doping" desarrolla un valor altamente negativo para el deporte. Por su naturaleza desleal constituye un acto reprobable, opuesto a los más elementales principios deportivos. Además de ser fraudulento y por lo tanto punible, atenta contra la formación moral del individuo y contra su salud física, poniendo en riesgo la propia vida.

La palabra "doping" deriva del término inglés "dope", que se puede definir como cualquier sustancia que, inhalada, inyectada o ingerida por el deportista, lo lleva a obtener una ventaja antinatural y desproporcionada sobre su adversario.

Carvalho Pini lo define como el uso ilícito de cualquier agente capaz de provocar un comportamiento artificial del atleta en la competición, sin correspondencia con su real capacidad orgánica y funcional.

Esta definición nos parece muy adecuada, pues la palabra "doping" representa el uso ilícito de diferentes agentes, sean físicos, químicos, psicológicos, etc. Por provocar un comportamiento artificial en la competición, el término da a entender que el atleta dopado se conduce como un autómata, con reacciones anormales que pueden determinar secuelas a veces irreversibles y hasta la muerte, como en los ejemplos dados al comienzo.

A través de los tiempos el hombre ha buscado elementos y sustancias que le proporcionen mejores condiciones de vida o que lo alejen de sus problemas. Además, siempre ha sido competitivo y busca elementos que mejoren de alguna forma sus condiciones en la lucha por la vida, sea en su trabajo, en la guerra y por supuesto también en el deporte.

Es así como en Oriente se ha usado y se usa el opio y el hashish, y los coyas de la Puna emplean la coca como estimulante para el trabajo.

Se tiene noticia de elementos utilizados en Grecia en los primeros Juegos Olímpicos. Los corredores de fondo tomaban una "cocción de plantas" antes de las competencias y hasta se sometía a los atletas a extirpaciones viscerales, como la resección del bazo, cauterizaciones, etc. Todo esto llevó, ya en aquel tiempo, a prohibir entre los atletas el empleo de drogas o de prácticas mutilantes a fin de mejorar artificialmente sus condiciones físicas.

Desde entonces hay innumerables publicaciones de drogas utilizadas en animales para mejorar su rendimiento, fundamentalmente en las carreras de caballos. Desde los hipódromos pasó a los velódromos y luego a los estadios, empezando por la cocaína, morfina, estricnina, cafeína, yohimbina, etc., las que luego fueron reemplazadas por la niquetamida (coramina), el cardiazol y la efedrina, después por las anfetaminas y en los últimos tiempos por los esteroides anabólicos.

La lucha "antidoping" comienza en las carreras de caballos, y se tiene conocimiento de que el primer control se realizó en el Jockey Club de Austria, después de lo cual Kaufmann lo hizo en París entre los Sangre Pura de Carrera. A partir de la década del 30 se busca la acción de las aminas despertadoras, como la efedrina, anfetamina, cardiazol, etc. En la Segunda Guerra Mundial indudablemente se utilizaron y posteriormente se las usó en el deporte. Desde entonces se continúa la lucha "antidoping" a través de su control, y son muchos los trabajos científicos publicados y los congresos en los que se trató el tema.

En el hombre, el control "antidoping" comenzó en el ciclismo y en el fútbol a partir de 1966. En 1967, el Comité Olímpico Internacional (COI) reglamentó el control "antidoping", que poco a poco fue aceptado por todas las federaciones deportivas.

ELEMENTOS UTILIZADOS COMO DOPING

Los elementos utilizados como "doping" pueden ser físicos, químicos, psicológicos y bioquímicos.

Los elementos físicos comprenden agentes mecánicos o eléctricos, como la picana para estimular a caballos de carrera; es bueno mencionar el florete electrónico, que marcaba toques inexistentes, y las enemas de aire que los nadadores japoneses se aplicaban para mejorar su flotabilidad.

Entre los atletas es más difundido el uso de drogas o sustancias químicas, las cuales pueden ser detectadas por análisis específicos. Existe una gran lista de agentes dopadores, a los que se clasifica por su acción farmacológica. El cuadro siguiente muestra los controles efectuados en las Olimpiadas de 1968, 1972, 1976 y 1980.

México, 1968	Munich, 1972	Montreal, 1976 y Moscú, 1980
1) Aminas simpaticomiméticas: efedrina o similares	1) Estimulantes psicomotores (anfetaminas, cocaína y derivados)	1) Estimulantes psicomotores (anfetaminas, cocaína y derivados)
2) Estimulantes del SNC (estricnina, anelépticos o similares)	2) Aminas simpaticomiméticas (efedrina y derivados)	2) Aminas simpaticomiméticas (efedrina y derivados)
3) Narcóticos y analgésicos (morfina, metidina o similares)	3) Estimulantes del SNC (niquetamida, estricnina y derivados)	3) Estimulantes del SNC (niquetamida, estricnina, cardiazol y derivados)
	4) Narcóticos y analgésicos (heroína, morfina y derivados)	4) Narcóticos y analgésicos (heroína, morfina y derivados)
		5) Esteroides anabólicos (derivados o análogos de la testosterona)

Estas listas no son limitativas, ya que se puede incorporar cualquier sustancia nueva con acción estimulante.

El "doping" psicológico ha sido efectuado por medio de sugerencias poshipnóticas. No puede demostrarse por medios físicos o químicos, sino exclusivamente por confesiones de las personas involucradas.

El "doping" bioquímico se basa en la autotrasfusión de sangre y el uso de hormonas y de esteroides anabólicos.

La autotrasfusión consiste en extraerle al atleta, en varias veces y en pequeñas cantidades por vez, de 1000 a 1200 ml de sangre y reinfundírsela poco antes de la competencia. Este procedimiento aumenta el transporte de oxígeno y demora la aparición de la fatiga, pero además de ir contra la ética deportiva, pone en peligro la salud, pues puede provocar serios accidentes. Actualmente no se dispone de medios de control para detectar este tipo de "doping", con el cual el fondista sueco Larse Viren ganó los 5.000 y los 10.000 metros en Montreal, en 1976.

Los más utilizados actualmente son los esteroides anabólicos androgénicos, metabolitos hormonales producidos por ciertas glándulas endocrinas, como el ovario, el testículo y la suprarrenal. Químicamente, se asemejan a la testosterona, y ejercen dos acciones fisiológicas: una es la acción anabólica, o constructora de tejidos, que en los púberes acelera el crecimiento y el desarrollo muscular y aumenta la densidad del hueso. Por su acción androgénica determinan el desarrollo de los órganos sexuales masculinos, aparición de vello en la cara, el pubis y las axilas y cambios de la voz.

Los esteroides anabólicos androgénicos hacen estragos entre los deportistas. En los Juegos Panamericanos de Caracas, de las muestras analizadas se encontraron 19 positivas, 4 para estimulantes y 15 para anabólicos, y quienes más las utilizaron fueron los atletas de fuerza, culturistas, pesistas, luchadores y lanzadores.

Los anabólicos comenzaron a usarse en la década de 1960 en forma oral y desde 1970 en forma inyectable. Los numerosos trabajos consultados evidencian que tienen un efecto psicológico, también obtenido con los placebos y que llevan a un aumento de la masa muscular, acompañado de un leve aumento de la fuerza, cuando además existe un entrenamiento adecuado y una dieta rica en proteínas, y a un aumento del peso corporal provocado por retención de sodio y agua.

En cuanto a los efectos desfavorables, en las atletas producen masculinización. En ambos sexos dan lugar a trastornos gastrointestinales, disfunción hepática, acné, hipertensión arterial, disfunción hipofisotesticular, con disminución del tamaño de los testículos y casi abolición de la espermatogénesis en el hombre, y trastornos menstruales, crecimiento piloso y aparición de barba y trastornos de la voz, en las mujeres. En los prepúberes se ha observado calcificación de los cartílagos de crecimiento, con trastornos del crecimiento corporal. Además, los efectos se pueden hacer sentir tiempo después, pues se depositan en el tejido adiposo.

El *American College of Sport Medicine* estudió los efectos de los anabólicos androgénicos y llegó a las siguientes conclusiones:

1. La administración de esteroides anabólicos androgénicos a personas sanas, menores de 50 años, en dosis terapéuticas aprobadas, no proporciona mejoras significativas en la fuerza, la resistencia aeróbica, la masa corporal magra y el peso.
2. No existen evidencias científicas definitivas de que dosis extremadamente grandes ayuden o perjudiquen el rendimiento atlético.
3. El uso prolongado de esteroides anabólicos androgénicos ha provocado en ciertos casos trastornos hepáticos, algunos de los cuales son reversibles al dejar la droga y otros no.
4. El consumo de anabólicos por los varones puede causar disminución en el tamaño y la función testicular y una merma en la producción de semen, efectos que parecen ser reversibles. No se ha aclarado si ocurre lo mismo con el uso de dosis grandes y durante mucho tiempo.

5. Deben realizarse serios y continuos esfuerzos para educar a los atletas, entrenadores, médicos, fisioterapeutas, educadores físicos y público en general acerca de los efectos de los anabólicos en el mejoramiento de la actividad física humana y en los daños potenciales por el consumo de estas sustancias, especialmente en grandes dosis durante períodos prolongados.

Para el control "antidoping" se utiliza la orina, por varias razones: la gran concentración de sustancias que se eliminan con ella, la pequeña cantidad de orina necesaria para el estudio y su fácil obtención.

Como corolario, queremos hacer nuestras las palabras que el periodista Gustavo Beliz escribiera para la revista *El Gráfico*: En los tiempos que corren el deporte es un microcosmos donde están reflejados todos los demás problemas de la vida. Para quienes amamos ambas cosas, el deporte y la vida, es un deber distinguir lo importante de lo circunstancial, lo eterno de lo limitado, el oro de la piedra; no vamos a resignarnos jamás a ver al hombre convertido en una máquina, hambriento de triunfos pero huérfano de alma.

EL HABITO DE FUMAR

La ignición del cigarrillo produce cierta cantidad de monóxido de carbono, que se aspira con el humo del tabaco y es uno de los causantes del mareo que ocasionan los primeros cigarrillos del día. El monóxido de carbono se fija en forma estable con la hemoglobina (no es una combinación lábil como la del oxígeno o el dióxido de carbono) y esto trae como consecuencia que cierta cantidad de hemoglobina no pueda transportar oxígeno, lo cual disminuye la absorción de este gas y por lo tanto se limita su consumo.

Con respecto a la ventilación pulmonar y a la frecuencia cardíaca, no son prácticamente afectadas por el hábito de fumar, pero se ha comprobado una ligera elevación de la presión arterial.

Durante esfuerzos musculares intensos, con el aumento que se requiere de la ventilación pulmonar, el efecto del cigarrillo se hace evidente. El efecto crónico de éste es un aumento en la secreción del árbol respiratorio y cierta estrechez de las vías aéreas.

Los atletas que participan en pruebas de resistencia no suelen fumar, pues este hábito limita la eficiencia respiratoria y disminuye la cantidad de hemoglobina disponible para el oxígeno. En cambio, los atletas que practican otra especialidad, como los lanzadores, no se ven afectados, lo mismo que quienes realizan actividades eminentemente anaeróbicas, que exigen más destreza que resistencia.

Es indudable entonces que el hábito de fumar ejerce un efecto perjudicial sobre el desempeño de las pruebas en que se necesita un gran componente aeróbico.

ALCOHOL Y EJERCICIO

El alcohol puede producir transitoriamente una disminución de la coordinación neuromuscular.

Hay autores que han observado un aumento de la fuerza isométrica máxima, sobre todo en personas no entrenadas, después de un consumo moderado de alcohol, y lo trataron de explicar a través de la influencia depresora sobre la inhibición del sistema nervioso central, hecho que determina que el individuo se encuentre más "suelto".

Se han realizado experiencias con consumo de alcohol y trabajos submáximo y máximo, y se comprobó en el primero un aumento de la frecuencia cardíaca y por lo tanto del volumen minuto, pero sin aumento del volumen sistólico mientras que el consumo de oxígeno fue ligeramente superior; por el contrario, durante el trabajo máximo no se demostró ningún cambio, ni en el consumo de oxígeno ni en el volumen minuto cardíaco, ni en el tiempo máximo de tolerancia a este trabajo tan intenso.

Con respecto a la dosificación en el consumo de alcohol es muy difícil precisarla porque la tolerancia varía mucho de una persona a otra y en la misma persona en distintas circunstancias. Además, el uso del alcohol debe considerarse como una forma de "doping".

BIBLIOGRAFIA

- Abrahams, A.: Use and abuse of drugs by athletics. *Lancet*, 1:252, 1958.
- American College of Sports Medicine: Position statement on the use and abuse of anabolic androgenic steroid in sports. *Medicine and Science in Sports*, 1976.
- Areno, W.: Higiene do treinamento desportivo- O doping. *Revista Brasileira do Educação Física*, 1947.
- Ariens, E. J.: *General and pharmacological aspects of doping*. Pergamon Press. Oxford y New York, 1965.
- Asmussen, E. y Böje, O.: The effects of alcohol and some drugs on the capacity for work. *Acta Physiol. Scand.* 15:109, 1948.
- Astrand, P. O. y Rodahl, K.: *Fisiología del trabajo humano*, 2a. ed. Ed: Médica Panamericana.
- Bell, R. D.; Card, R. T.; Johnson, M. A.; Cunningham, T. H. y Baker, F.: Blood doping and athletics performance. *Australian Journal of Sport Medicine*, 1977.
- Demole, J.: *Medicine sportive et doping*. Lib. Université. Lausana, 1941.
- Ekblom, B.; Golbard, A. y Gullhing, B.: Responses to exercise after blood ion and reinfusion. *Journal of Applied Physiology*, 1973.
- F.M.S.I.: *Controllo antidoping*. Milano, 1970.
- Karpovich, P. V.: Effects of amphetamine sulfate on athletic performance. *JAMA*, 170:558-561, 1959.
- Losada, L. A.: Doping-todavía un problema sin solución. *Archivos de la Soc. Chilena de Med. Deportiva*, Vol. 25, págs. 37-39, 1980.
- Pini, M. G.: *Fisiología esportiva*. Ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 1983.
- Pini, M. C.: Contribuição ao estudo do controle e repressão no doping. *Co. Suter. Cien. Desps.* Tokio, 1964.
- Rode, A. y Shephard, R.: The influence of cigarette smoking upon the oxygen cost of breathing in man maximal exercise. *Medicine and Science in Sports*, 1971.
- Sidney, K. H. y Lafese, N. M.: The effects of ephedrine on the physiological and psychological responses to submaximal exercise in man. *Medicine and Science in Sports*, 1977.
- Williams, M. H.: Blood doping does it really help athletes? *Physician and Sports Medicine*, 1975.
- Williams, M. H. y Thompson, J.: Effect of variant dosages of amphetamine upon endurance. *Research Quarterly*, 1973.