

PROGRAMA PARA LA TRANSFORMACIÓN  
Y EL FORTALECIMIENTO ACADÉMICOS  
DE LAS ESCUELAS NORMALES

# EL CUERPO. ESTRUCTURA Y FUNCIONES II

*De la Biblioteca Particular del  
Dr. Víctor Márquez Guerrero*

3<sup>er</sup> SEMESTRE



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN  
BÁSICA Y NORMAL

AGOSTO, 2003

# MATERIALES DE APOYO PARA EL ESTUDIO

# **EL SISTEMA DIGESTIVO: SU ESTRUCTURA Y SU FUNCIÓN EN EL PROCESO NUTRICIONAL DE NIÑOS Y ADOLESCENTES**



Pascual Brumós, Isabel (1998), "La dieta equilibrada: aspectos cuantitativos y cualitativos de la dieta",  
en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España,  
Departamento de Educación y Cultura-Gobierno de Aragón/Mira Editores, pp. 200-209.

# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO



SEGUNDO NIVEL

## 4.- LA DIETA EQUILIBRADA: ASPECTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE LA DIETA

El concepto de dieta equilibrada se refiere a la distribución porcentual de la energía aportada por cada uno de los tres principios inmediatos de acuerdo a las necesidades diarias de cada uno de ellos; se establecen las siguientes recomendaciones:

- 55-60 por ciento de la energía en forma de hidratos de carbono.
- El 25-30 por ciento en forma de grasas.
- Entre el 10-15 por ciento en forma de proteínas.

Una dieta que se ajuste a este modelo lleva ligados a su composición los micronutrientes (vitaminas y minerales) en las cantidades adecuadas.

Estas necesidades en vitaminas y minerales pueden cubrirse con dietas que tengan a partir de 1.200 Kcal/día; por tanto, toda dieta hipocalórica que aporte una cantidad de Kcal. inferior deberá asociarse a un suplemento vitamínico y mineral.

Por otra parte, cuando el gasto calórico es muy elevado y se necesitan dietas de más de 5.000 Kcal/día, suele ser necesario ingerir alimentos a lo largo del día ya que no es suficiente con las dos comidas importantes que se realizan habitualmente.

### 4.1.- Macronutrientes

Los requerimientos nutritivos pueden clasificarse en relación con el componente cuantitativo de la dieta; se consideran, pues, macronutrientes a los tres principios inmediatos (hidratos de carbono, grasas y proteínas), el agua y la fibra vegetal; como veremos más adelante, se consideran micronutrientes a los minerales y las vitaminas.

El carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno son las unidades estructurales primarias de la mayoría de las sustancias biológicamente activas del cuerpo. Las combinaciones específicas de carbono con oxígeno e hidrógeno forman carbohidratos y grasas, mientras que otras combinaciones con la adición de nitrógeno y minerales forman las proteínas.

#### 4.1.1.- Hidratos de carbono o carbohidratos

Los hidratos de carbono están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Las reservas corporales de éstos en una persona bien alimentada son entre 375 y 475 gramos, cuyo equivalente calórico es de 1.500 a 2.000 Kcal.

Los diferentes tipos de hidratos de carbono son:

##### - Monosacáridos o azúcares sencillos :

- Glucosa, también llamada dextrosa o azúcar sanguíneo; la glucosa puede ser utilizada directamente por la célula para sacar energía, ser almacenada como glucógeno en los músculos y el hígado o convertirse en grasa para almacenar la energía.

La glucosa se encuentra de manera natural en los alimentos o bien se produce en el organismo como resultado de la digestión de carbohidratos más complejos.

- Fructosa o azúcar de las frutas.

- Galactosa: se encuentra en la leche de los mamíferos.
- Oligosacáridos: los tipos principales de oligosacáridos son los disacáridos o azúcares dobles; están formados por la combinación de dos moléculas de monosacáridos; en la estructura de cada uno de estos disacáridos, la glucosa es uno de los azúcares sencillos. Los tres disacáridos principales son:
  - Sacarosa = glucosa + fructosa. Se encuentra en el azúcar de caña y de remolacha, el azúcar moreno, jarabe de arce y miel.
  - Lactosa = glucosa + galactosa. Se encuentra de forma natural sólo en la leche.
  - Maltosa = glucosa + glucosa. Se encuentra en los productos derivados de la malta y en los cereales que germinan.
- Polisacáridos: tres o más azúcares sencillos forman un polisacárido; éstos pueden ser vegetales o animales.
  - Polisacáridos vegetales. Entre ellos están la fécula y la celulosa; la fécula se encuentra en las semillas, el maíz y los distintos cereales de los que se hacen el pan, los espaguetis y las pastas. Existen grandes cantidades en los guisantes, las patatas, las judías y las raíces.

La celulosa y la mayoría de los demás materiales fibrosos (fibra) que se resisten a las enzimas digestivas humanas son otra forma de polisacáridos. Se encuentran exclusivamente en las plantas y constituyen la parte estructural de las hojas, tallos, raíces, semillas y las cáscaras de las frutas.

La distribución de estos carbohidratos en general dentro del organismo es:

- De 275 a 300 gr. de glucógeno en el músculo.
- De 90 a 110 gr. de glucógeno en el hígado.
- De 7 a 12 gr. de glucosa en la sangre.

Las funciones de los carbohidratos en el organismo son:

- Servir de fuente energética. La energía derivada de la degradación de los carbohidratos es utilizada para potenciar la contracción muscular y todas las demás formas de trabajo biológico.
- Ahorro de proteínas. Cuando las reservas de glucógeno se agotan en el organismo, la glucosa que se necesita puede sacarse de la combustión de las proteínas, lo cual puede significar una reducción del tejido magro y una sobrecarga adicional para los riñones al excretar los productos nitrogenados de la degradación de las proteínas.

Un consumo y uso adecuado de los hidratos de carbono ayudan a mantener las proteínas de los tejidos.

- Facilitar el metabolismo de las grasas. Ciertos fragmentos de comida producidos por la degradación de los carbohidratos tienen que estar disponibles para facilitar el metabolismo de las grasas.
- Combustible para el sistema nervioso central. El cerebro utiliza la glucosa sanguínea como combustible casi exclusivamente, y esencialmente no tiene un depósito de dicho alimento. Los síntomas de una reducción moderada en la glucosa sanguínea (hipoglucemia) incluyen sensaciones de debilidad, hambre y mareo. Dicha condición inhibe el rendimiento en el ejercicio y puede explicar en parte la fatiga asociada con el ejercicio prolongado. Un bajo nivel de azúcar sanguíneo mantenido y prolongado puede causar daños cerebrales irreversibles.

Hidratos de carbono y ejercicio: el glucógeno muscular y la glucosa sanguínea son los combustibles usados principalmente durante el ejercicio intenso. Las reservas de glucógeno del cuerpo también desempeñan un papel importante en el equilibrio energético durante el ejercicio moderado prolongado, como, por ejemplo, el maratón, el ciclismo y la natación de fondo.

Las bebidas azucaradas consumidas durante el ejercicio pueden mejorar el rendimiento mediante el mantenimiento de los niveles de azúcar sanguíneo y quizás la demora del agotamiento de glucógeno hepático y muscular. Sin embargo, se ha demostrado que dichas bebidas retrasan la salida del líquido del estómago pudiendo perturbarse el equilibrio de los líquidos corporales.

#### 4.1.2.- Grasas o lípidos

Las grasas, al igual que los carbohidratos, contienen átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, pero la proporción de hidrógeno a oxígeno es mucho más alta. Las moléculas de grasa están compuestas por una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos.

Las grasas son sintetizadas por las plantas y los animales y pueden clasificarse en tres grupos:

- Grasas sencillas = glicerol + 3 ácidos grasos.
- Grasas compuestas = grasas sencillas + otras sustancias químicas (fosfolípidos, glucolípidos y lipoproteínas).
- Grasas derivadas = grasas sencillas + grasas compuestas (colesterol).

La fuente más rica en colesterol, en las comidas, es la yema de huevo, también es abundante en las carnes rojas, los riñones, el hígado, los sesos, los mariscos (sobre todo, las gambas) y también en los productos lácteos (helados, quesitos, mantequilla, leche entera). No está presente en ningún alimento de origen vegetal.

Las grasas saturadas son de origen animal y los consumos altos de las mismas se han relacionado con el desarrollo de la enfermedad cardíaca coronaria.

La Asociación Americana del Corazón ha recomendado el consumo de no más de 300 mg. de colesterol por día.

#### Funciones de las grasas.

- Fuente y reserva energética. Un gramo de grasa contiene alrededor de 9 calorías de energía, más de dos veces la capacidad energética de los hidratos de carbono o las proteínas.
- Protección y aislamiento. Protegen los órganos vitales (cerebro, hígado, bazo, corazón y médula espinal). Aísla del frío, manteniendo una temperatura corporal constante durante el estrés del frío.
- Transporta vitaminas. Las grasas contienen las vitaminas llamadas liposolubles, es decir, aquellas que sólo se disuelven en las grasas; éstas son: las vitaminas A, D, E y K.

Las grasas y el ejercicio. Durante el ejercicio ligero y moderado, la grasa constituye alrededor del 50 por ciento de los requerimientos energéticos. Al prolongarse el ejercicio, el papel de las grasas almacenadas se hace más importante y, durante el trabajo prolongado, las moléculas de ácidos grasos pueden proporcionar más del 80 por ciento de las necesidades energéticas del organismo.

### 4.1.3.- Proteínas

Las proteínas constituyen alrededor del 12 al 15 por ciento del peso corporal; difieren químicamente de las grasas y de los hidratos de carbono ya que contienen nitrógeno, además de otros elementos como azufre, fósforo y hierro.

Las proteínas están formadas por subunidades llamadas aminoácidos. El organismo requiere más de 20 aminoácidos diferentes; ocho de esos 20 aminoácidos no pueden sintetizarse en nuestro cuerpo. Éstos son los aminoácidos esenciales y deben ser ingeridos a través de la dieta.

**Tipos de proteínas.** Las proteínas se encuentran en las células de todas las plantas y de todos los animales.

- Proteínas completas o de alta calidad. Son las proteínas que contienen todos los aminoácidos esenciales. Son ejemplos de ellas los huevos, la leche, el queso, la carne, el pescado y las aves.
- Proteínas incompletas o de baja calidad. Les falta uno o más de los aminoácidos esenciales. Son las proteínas vegetales (lentejas, alubias, guisantes secos, frutos secos y cereales).

Las proteínas incompletas tienen un valor biológico menor. Sin embargo, todos los aminoácidos esenciales pueden obtenerse consumiendo una gran variedad de alimentos vegetales.

#### Funciones de las proteínas.

- Anabolista. Los aminoácidos proporcionan la sustancia principal para la síntesis de los componentes celulares además de la formación de tejido nuevo. El proceso por el que se construyen tejidos se llama anabolismo. Durante los períodos de crecimiento rápido, como son la infancia y la niñez, más de un tercio del consumo de proteínas es retenido para la formación de tejidos. Una vez estabilizado el crecimiento, sigue habiendo una renovación continua de las proteínas de los tejidos.
  - Estructural. Las proteínas son los componentes principales que forman las membranas celulares y además, las encontradas en el núcleo de la célula transmiten las características hereditarias y son las responsables de la síntesis continua de las proteínas dentro de la célula.
  - Proteínas globulares o catalizadoras. Constituyen las casi 2.000 enzimas diferentes que catalizan o aceleran las reacciones químicas. Dichos compuestos son críticos para la degradación de las grasas, de los carbohidratos y de las proteínas para liberar la energía.
  - Las proteínas del plasma tienen funciones específicas, así, la trombina, fibrina y fibrinógeno están muy implicadas en los fenómenos de coagulación sanguínea; la globina (proteína de la hemoglobina) transporta oxígeno.
- Otras proteínas, como la actina y la miosina, hacen posible la contracción muscular; otros aminoácidos forman parte de algunas hormonas y hacen posible la activación de ciertas vitaminas.
- Regulación del equilibrio ácido-base. Esta función de amortiguamiento es importante durante el ejercicio vigoroso, ya que se forman metabolitos ácidos en grandes cantidades.

**Cantidades dietéticas recomendadas de proteínas:** como promedio, se recomienda un consumo diario de 0,8 grs. de proteínas por Kg de peso corporal. Dicha recomendación se mantiene incluso para gente obesa. Generalmente, el requerimiento de proteínas disminuye con la edad.

Para los niños y chicos en edades de crecimiento, el consumo diario recomendado es de 2 a 4 grs. por Kg. de peso corporal; de igual modo las mujeres gestantes, durante la lactancia, el sobre-esfuerzo, la enfermedad y las lesiones, aumentan los requerimientos de proteínas (Ver cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidades recomendadas de proteínas para adolescentes, hombres y mujeres adultos

| CANTIDAD RECOMENDADA                            | HOMBRES<br>ADOLESCENTES ADULTOS | MUJERES<br>ADOLESCENTES ADULTAS |
|-------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Gramos de proteínas por<br>kg. de peso corporal | 0,9    0,8                      | 0,9    0,8                      |
| Gramos por día basados<br>en peso medio         | 59    56                        | 50    44                        |

Peso medio está basado en "un hombre y una mujer de referencia". Para los adolescentes (edad 14-18), el peso medio es aproximadamente 65,8 kg. (145 libras) para los varones y 55,7 kg. (123 libras) para mujeres. Para los hombres adultos el peso medio es 70 kg. (154 libras). Para las mujeres adultas el peso medio es 55 kg. (120 libras).

Tomado de McArdle y otros, 1990.

En cuanto a las proteínas y el ejercicio, la investigación actual indica que las proteínas pueden desempeñar un papel significativo para proporcionar la energía durante el ejercicio. Dicho hallazgo es cierto para el ejercicio de larga duración y en situaciones en las que se agotan mucho las reservas de carbohidratos.

#### 4.1.4.- Agua

El agua es un elemento esencial para la vida; sin ella sobreviene la muerte en pocos días.

El agua representa entre el 40 y el 60 por ciento de la composición corporal. Las pérdidas diarias de agua se desglosan en: 1.500 ml con la orina, de 100 a 200 ml con las heces, sudoración (en condiciones normales) de 500 a 700 ml y por la respiración de 250 a 350 ml.

El aporte hídrico al organismo procede de tres partes:

- De la ingesta de líquidos. En condiciones térmicas normales, el consumo habitual de líquido diario se cifra en unos 1.200 ml.
- Del aporte a través de los alimentos. Normalmente el aporte de agua va en relación inversa con el valor energético de los alimentos, así la lechuga, la col, etc., contienen bastante más agua que la mantequilla y los aceites. El aporte diario de agua con los alimentos supone unos 1.000 ml.
- Del metabolismo. Por el metabolismo de los principios inmediatos liberados de los alimentos se produce energía, dióxido de carbono y agua. El aporte de agua por estos procesos representa al día unos 300 a 350 ml.

La función primordial del agua orgánica es servir de medio reactivo y de transporte del cuerpo: transporte de gases y alimentos, evacuar productos de desecho (mediante la orina y las heces), regular la temperatura corporal, lubricar las articulaciones y ayudar a dar estructura y forma a nuestro cuerpo; son funciones del agua corporal.

El ejercicio afecta de manera muy acusada las pérdidas de agua diarias, produciéndose un aumento de la tasa sudoral de hasta 80 veces el valor normal de pérdida por la piel. De ahí la importancia de aportar el agua necesaria aunque no se tenga sed, ya que de lo contrario podría aparecer la deshidratación.

Para prevenir la deshidratación, unos 10 a 15 minutos antes del entrenamiento deberían beberse de 400 a 500 ml de agua y, durante el esfuerzo prolongado, es aconsejable beber fracciones de 150 a 250 ml de agua cada 10 ó 15 minutos.

#### *4.2.- Micronutrientes*

Se consideran micronutrientes de la dieta a las vitaminas y a los minerales; son sustancias que no aportan energía pero necesarias para el organismo ya que son indispensables para el correcto desarrollo del metabolismo celular.

##### *4.2.1.- Minerales*

Cerca del 4 por ciento del peso corporal está compuesto de 22 elementos llamados minerales; éstos son parte de las enzimas, vitaminas y hormonas, y se encuentran en los músculos, los tejidos conjuntivos y todos los líquidos corporales.

Los minerales se encuentran libremente en la naturaleza, son absorbidos dentro del sistema de raíces de las plantas y finalmente incorporados en los tejidos de los animales que consumen dichas plantas.

Con una dieta equilibrada hay generalmente un consumo adecuado de minerales, excepto en zonas geográficas en las que están ausentes ciertos minerales, como, por ejemplo, el yodo.

La principal función de los minerales tiene lugar en el metabolismo, donde sirven como partes importantes de las enzimas reguladoras. También son importantes para la síntesis de los alimentos biológicos, glucógeno, grasa y proteína.

Comentaremos las características principales de los minerales más importantes.

**Calcio.** Es el mineral más abundante del organismo; se encuentra formando parte de huesos y dientes.

La dosis recomendada de calcio es de 800 mgr. diarios para los adultos, y se encuentra principalmente en los productos lácteos, pescados enlatados, vegetales de hoja verde, riñón y frutos secos. Algunos autores piensan que la recomendación debería subirse hasta 1.000 mgr. diarios y llegar a 1.200 - 1.500 mgr./día en mujeres postmenopáusicas.

La pérdida ósea ocurre normalmente con la edad, a partir de los 50 años para el hombre y de los 35 para la mujer; se ha demostrado que si la ingesta de calcio es suficiente y no se lleva una vida sedentaria, sino que se hace ejercicio físico regularmente, el envejecimiento del esqueleto es más tardío y menos intenso.

**Fósforo.** Al igual que el calcio es importante para la formación del hueso y los dientes, forma también parte de algunos sistemas enzimáticos y de la composición del adenosín trifosfato (ATP) y la fosfocreatina (PC).

Las dosis recomendadas son de 1.200 mgr./día y las fuentes alimenticias más ricas en este mineral son los productos lácteos, huevos, pescados y carnes dentro del reino animal, y, entre los vegetales, las habas, zanahorias, trigo, guisantes, patatas y plátanos.

**Magnesio.** Este elemento es esencial en la actividad neuromuscular y en el metabolismo de la glucosa actúa facilitando la formación de glucógeno hepático y muscular a partir de la glucosa sanguínea. Interviene también en el metabolismo energético de la glucosa, ácidos grasos y proteínas.

La dosis recomendada para los varones se establece en 350 mgr./día y para las mujeres en 300 mgr./día, se encuentra en los cereales de grano entero y en vegetales con clorofila.

**Sodio, potasio y cloro.** Se eliminan en grandes cantidades por el sudor, luego son los minerales que más se ven afectados por la actividad física.

- El sodio interviene en el balance hidroelectrico, en el equilibrio ácido-base, en el transporte a través de membranas (bomba de sodio) y en la excitabilidad muscular.

La alimentación normal diaria aporta de 10 a 15 grs. de cloruro sódico, lo que significan 4 a 6 grs. de sodio; las dosis recomendadas no están estipuladas aunque hay autores que las estiman en 1 ó 2 grs. y otros en 4 grs./día. El aporte fundamental de nuestra dieta es la de la sal que se emplea para condimentar; también lo encontramos en las aceitunas, las conservas, los embutidos, los pescados secos y los mariscos.

- El potasio está también relacionado con el equilibrio ácido-base y con la transmisión neuromuscular. Las dosis recomendadas no están establecidas, pero se piensa que oscilan para la persona adulta entre 1,8 y 5,6 mgr./día; se encuentra principalmente en los cereales, frutos secos y frescos y vegetales en general.

Un vaso de zumo de naranja o de tomate reemplaza todo el potasio perdido en 3 litros de sudor.

- El cloro interviene al igual que los anteriores en el equilibrio ácido-base. Sus necesidades tampoco están establecidas, pero se estiman entre 1,7 y 5,1 mgr./día para una persona adulta. Forma parte del ácido clorhídrico del estómago, interviniendo en la digestión de los alimentos.

A pesar de eliminarse en grandes cantidades por el sudor junto con el sodio, sus necesidades son cubiertas ampliamente con cualquier dieta mixta.

- **Hierro.** Se encuentran de 2 a 4 grs. de hierro en un adulto de 70 Kg. de peso. El hierro es fundamental para el transporte del oxígeno, ya que forma parte de la hemoglobina, de la mioglobina muscular y de los citocromos. Las principales fuentes de hierro son las vísceras (hígado, riñón, corazón y sesos), carnes, pescados y mariscos. Entre las fuentes vegetales destacan las judías, los guisantes secos, los cereales, los frutos secos, las patatas y los vegetales ricos en clorofila.

Las necesidades de hierro son de 10 mgr./día para el varón y de 18 mgr./día para la mujer.

Se describen déficits de hierro en un 20-30 por ciento de los deportistas, y dado que son los corredores de larga distancia y especialmente las mujeres las más propensas a padecer este tipo de deficiencia, se tomarán en ellas medidas preventivas y si hiciere falta aportes suplementarios de dicho mineral.

Las personas que no toman suficiente hierro o tienen problemas con su absorción, desarrollan un cuadro anémico caracterizado por: cansancio, pérdida de apetito, palidez de la piel y mucosas, y una reducida capacidad para soportar el ejercicio suave, moderado o intenso de tipo aeróbico.

#### 4.2.2.- Vitaminas

Son sustancias orgánicas que ni proporcionan energía ni contribuyen a la masa corporal, pero cumplen funciones cruciales en casi todos los procesos corporales. Deben obtenerse de la comida o de suplementos dietéticos.

Existen 13 vitaminas clasificadas como:

- Solubles en grasa o liposolubles; éstas son: A,D,E y K.
- Solubles en agua o hidrosolubles; son las del complejo B y la vitamina C.

Las liposolubles, cuando se toman en exceso, se acumulan en los tejidos y pueden resultar tóxicas. Los excesos de vitaminas hidrosolubles se eliminan por la orina.

Las vitaminas regulan el metabolismo, facilitan la liberación de energía y son importantes para el proceso de síntesis de huesos y tejidos.

Las investigaciones llevadas a cabo han demostrado que el suplemento por encima de lo que contiene una dieta bien equilibrada no está relacionado con un mejor rendimiento deportivo y, de hecho, dosis excesivas, tanto de liposolubles como de hidrosolubles, pueden causar serias enfermedades.

A continuación y a modo de cuadro, se relacionan las diferentes vitaminas, así como las dosis recomendadas, las fuentes alimenticias de donde provienen, las funciones que desempeñan en el organismo y qué enfermedades provocan tanto su déficit como su exceso (Ver cuadro 6).

## CUADRO 6

Vitaminas solubles en agua y grasa, consumo diario recomendado, fuentes dietéticas, funciones principales en el cuerpo y efectos de deficiencias y excesos

| VITAMINA                   | CDR PARA HOMBRES Y MUJERES ADULTOS SANOS <sup>c</sup> (mg) | FUENTES DIETÉTICAS                                                                         | FUNCIONES PRINCIPALES EN EL CUERPO                                                                                                          | DEFICIENCIA                                                                                  | EXCESO                                                                         |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SOLUBLES EN AGUA</b>    |                                                            |                                                                                            |                                                                                                                                             |                                                                                              |                                                                                |
| VITAMINA B-1 (TIAMINA)     | 1,4-1,5<br>1,0-1,1                                         | Cerdo, órganos cárnicos, cereales integrales, legumbres                                    | Coenzima (tiamina pirofosfato) en reacciones que implican la eliminación de dióxido de carbono.                                             | Beriberi (cambios en los nervios periféricos, edema, fallo cardíaco)                         | No se ha registrado ninguno                                                    |
| VITAMINA B-2 (RIBOFLAVINA) | 1,6-1,7<br>1,2-1,3                                         | Ampliamente distribuida en los alimentos                                                   | Constituyente de dos coenzimas de flavín nucleótido implicadas en el metabolismo energético (FAD y FMN)                                     | Labios enrojecidos, grietas en las comisuras de los labios (quelosis), lesiones oculares.    | No se ha descrito ninguno                                                      |
| NIACINA                    | 18-19<br>13-14                                             | Hígado, carnes, magras, cereales, legumbres (puede ser formado de triptófano)              | Constituyente de dos coenzimas implicadas en las reacciones de oxidación-reducción (NAD y NADP)                                             | Pelagra (lesiones cutáneas y gastrointestinales, trastornos nerviosos y mentales)            | Euroclutento y sensaciones de ardor y picor alrededor del cuello, cara y manos |
| VITAMINA B-6 (PIRIDOXINA)  | 2,2<br>2,0                                                 | Carnes, vegetales, cereales integrales                                                     | Coenzima (piridoxal fosfato) implicada en el metabolismo de los aminoácidos                                                                 | Irritabilidad, convulsiones, tics musculares, dermatitis cerca de los ojos, cálculos renales | No se ha registrado ninguno                                                    |
| ÁCIDO PANTOTÉNICO          | 4-7<br>4-7                                                 | Ampliamente distribuido en los alimentos                                                   | Constituyente de la coenzima A que desempeña un papel central en el metabolismo energético                                                  | Fatiga, trastornos del sueño, coordinación deficiente, náusea (rara en el hombre)            | No se ha registrado ninguno                                                    |
| FOIACINA                   | 0,4<br>0,4                                                 | Legumbres, vegetales verdes, productos de trigo integral                                   | Coenzima (forma reducida) implicada en la transferencia de unidades de un carbono en el metabolismo del ácido nucleico y de los aminoácidos | Anemia, trastornos gastrointestinales, diarrea, lengua roja                                  | No se ha registrado ninguno                                                    |
| VITAMINA B-12              | 0,003<br>0,003                                             | Carnes musculares, huevos, productos lácteos (no está presente en los alimentos vegetales) | Coenzima implicada en la transferencia de las unidades de un carbono en el metabolismo del ácido nucleico                                   | Anemia perniciosa, trastornos neurológicos                                                   | No se ha registrado ninguno                                                    |

Tomado de Mc Ardle y otros, 1990.

CUADRO 6

Vitaminas solubles en agua y grasa, consumo diario recomendado, fuentes dietéticas, funciones principales en el cuerpo y efectos de deficiencias y excesos

| VITAMINA                     | CDR PARA HOMBRES Y MUJERES ADULTOS SANOS* (mg) | FUENTES DIETÉTICAS                                                                                                                                           | FUNCIONES PRINCIPALES EN EL CUERPO                                                                                                      | DEFICIENCIA                                                                            | EXCESO                                                                                 |
|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SOLUBLES EN AGUA</b>      |                                                |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                         |                                                                                        |                                                                                        |
| BIOTINA                      | 0,10-0,20<br>1,10-0,20                         | Legumbres, vegetales, carnes                                                                                                                                 | Coenzima requerida para la síntesis de las grasas, el metabolismo de los aminoácidos y la formación de glucógeno (almidón animal)       | Fatiga, depresión, náusea, dermatitis, dolores musculares                              | No se ha registrado ninguno                                                            |
| VITAMINA C (ÁCIDO ASCÓRBICO) | 60<br>60                                       | Frutas cítricas, tomates; pimientos verdes, lechugas                                                                                                         | Mantiene la matriz intercelular de cartilago, hueso y dentina. Importante para la síntesis de colágeno                                  | Escorbuto (degeneración de piel, dientes, vasos sanguíneos, hemorragias epiteliales)   | Relativamente no tóxica. Existe la posibilidad de cálculos renales                     |
| <b>SOLUBLES EN GRASA</b>     |                                                |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                         |                                                                                        |                                                                                        |
| VITAMINA A (RETINOL)         | 1,0<br>0,8                                     | Provitamina A (beta-caroteno) ampliamente distribuida en los vegetales verdes. Retinol, está presente en leche, mantequilla, queso y margarina con vitaminas | Constituyente de la rodopsina (pigmento visual). Manteniendo de los tejidos epiteliales. Papel en la síntesis de los mucopolisacáridos. | Xerofthalmia (queratinización del tejido ocular), ceguera nocturna, ceguera permanente | Dolor de cabeza, vómitos, despeladuras, anorexia, hinchazón de los huesos largos       |
| VITAMINA D                   | 0,075<br>0,075                                 | Acelte de hígado de bacalao, huevos, productos lácteos, leche con vitaminas y margarina                                                                      | Fomenta el crecimiento y mineralización de los huesos. Aumenta la absorción del calcio                                                  | Raquitismo (deformaciones óseas), en los niños. Osteomalacia en los adultos            | Vómitos, diarrea, pérdida de peso, daños renales                                       |
| VITAMINA E (TOCOFEROL)       | 10<br>8                                        | Semillas, vegetales de hojas verdes, margarinas, mantecas                                                                                                    | Funciona como un antioxidante para impedir daños a las membranas celulares                                                              | Posiblemente anemia                                                                    | Relativamente no tóxica                                                                |
| VITAMINA K (FILOQUINONA)     | 0,07-0,14<br>0,07-0,14                         | Vegetales de hojas verdes. Pequeña cantidad en cereales, frutas y carnes                                                                                     | Importantes para la coagulación de la sangre (implicada en la formación de la protrombina activa)                                       | Deficiencias condicionadas asociadas con hemorragias severas, hemorragias internas     | Relativamente no tóxica. Las formas sintéticas con altas dosis pueden causar ictericia |

\* Los primeros valores son para hombres

Tomado de Mc Ardle y otros, 1990

# ÍNDICE

## Programa

### Bloque I. El sistema digestivo: su estructura y su función en el proceso nutricional de niños y adolescentes

- La dieta equilibrada: aspectos cuantitativos y cualitativos de la dieta  
*Isabel Pascual Brumós* 02
- Aparato digestivo  
*Antxon Gorrotxategi y Patxi Aranzabal* 13

### Bloque II. El papel fundamental de los procesos bioquímicos para generar movimiento

- Nutrición y actividad física  
*Isabel Pascual Brumós* 19
- Producción de energía  
*Antxon Gorrotxategi y Patxi Aranzabal* 25
- Procesos energéticos y actividad física: sistema aeróbico y anaeróbico  
*Alfredo Boné Pueyo* 34

### Bloque III. El sistema urogenital. Funcionamiento y relación en el proceso de termorregulación en la actividad física de niños y adolescentes

- Termo-regulación  
*Antxon Gorrotxategi y Patxi Aranzabal* 53
- Termorregulación  
*Isabel Pascual Brumós* 61
- La piel  
*Rafael Bravo Berrocal* 69
- Nociones básicas, morfo-funcionales, del aparato excretor, en relación con la actividad física  
*Rafael Bravo Berrocal* 72

---

## EL CUERPO. ESTRUCTURA Y FUNCIONES II

- Reproducción y desarrollo  
*David Le Vay*

80

## Bloque IV. El sistema endocrino y el sistema nervioso: principales vías de regulación del organismo

- Sistema endocrino  
*Isabel Pascual Brumós*
- Sistema nervioso  
*Antxon Gorrotxategi y Patxi Aranzabal*
- Sistema nervioso  
*Isabel Pascual Brumós*

89

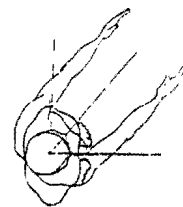
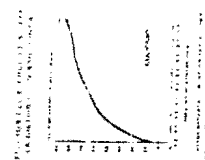
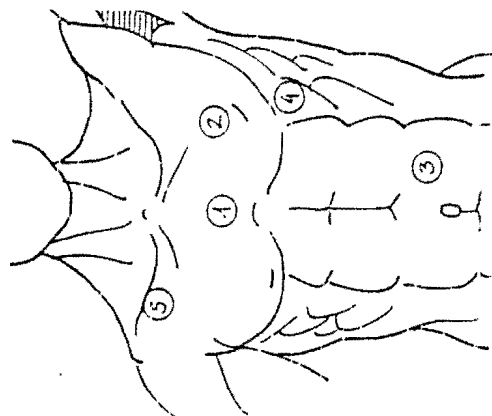
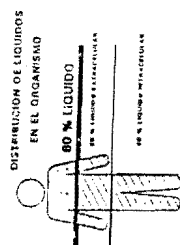
104

110

Antxon Gorrotxategi  
Patxi Aranzabal

# EL MOVIMIENTO HUMANO

BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS

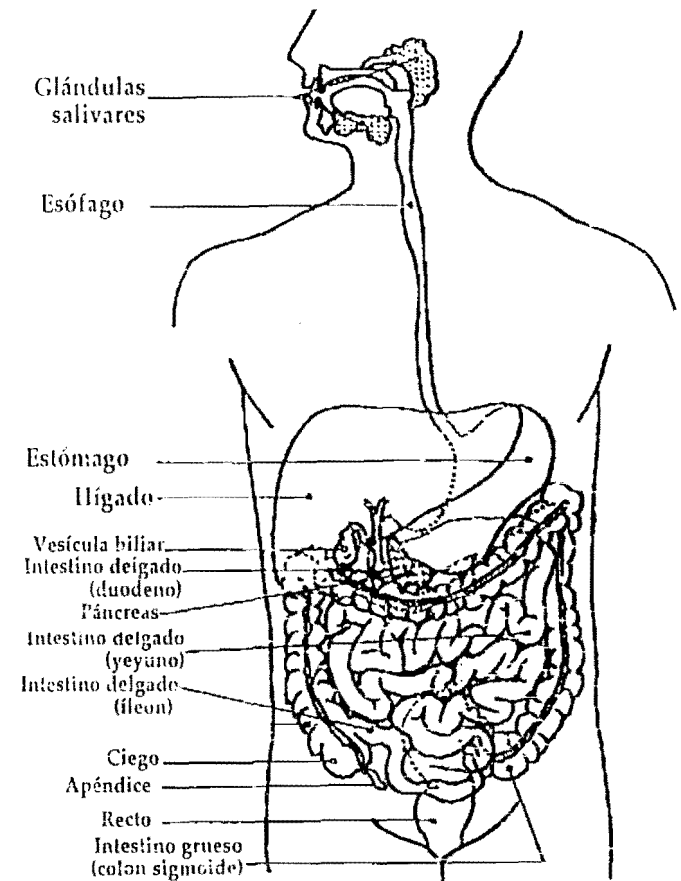


Colección  
Deporte  
y  
Salud

GYMNOS EDITORIAL

Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Aparato digestivo", en *El movimiento humano. Bases anatómo-fisiológicas*, Madrid, Gymnos, pp. 173-178.

## APARATO DIGESTIVO



Es el sistema encargado de aportar los nutrientes necesarios para la vida, mediante la deglución, digestión y absorción de los alimentos.

En el aparato digestivo, además del propio tubo digestivo, existen otros órganos mediante los cuales estas funciones anteriormente citadas van a ser posibles, como son las glándulas salivares, hígado y páncreas, que llamaremos órganos adyacentes.

## COMPOSICIÓN

### 1.- TUBO DIGESTIVO

En realidad se trata de un largo tubo, que va desde la boca hasta el ano, con una serie de ensanchamientos, como puede ser el estómago, a lo largo del cual se van a dar fenómenos mecánicos y químicos, tendentes a la digestión, absorción y eliminación de los alimentos. Está compuesto a su vez por una serie de partes cuyas funciones están bien diferenciadas, así:

**Boca.** Lugar donde se realiza la ingestión, masticación y salivación (glándulas salivares), funciones importantes mediante las cuales se va a facilitar la actividad del estómago. Dentro de lo que supone el proceso digestivo, en la boca tienen lugar dos tipos de transformación:

**Mecánica** debido a la trituración de los alimentos que se da en la masticación (de ahí la dentadura), lo que va a dar lugar a que la superficie de los diversos alimentos aumente, con lo que va a mejorar la efectividad de los diferentes 'fermentos' al ser mayor el área de contacto.

**Química**, ya que en la saliva existen fermentos que van a comenzar el proceso digestivo enzimático, principalmente de los hidratos de carbono; la lengua ayuda en este proceso debido a la función de mezcla que realiza, aparte de la función gestativa.

**Faringe y esófago.** Son elementos de paso hacia el estómago.

La faringe es un elemento anatómico común a otras funciones como es la entrada de aire a los pulmones, estando en contacto con fosas nasales y vías respiratorias.

Para que el alimento no se vaya a fosas nasales ni tampoco a laringe, existen dos elementos anatómicos:

“velo del paladar” que va a impedir el paso hacia las fosas nasales.

la epiglotis que impide el paso hacia la laringe.

El proceso de la deglución, exige una coordinación muscular exquisita que se realiza de forma automática, ya que en el momento que el bolo alimenticio llega a la faringe, deben cerrarse automáticamente las dos estructuras señaladas, dirigiendo de esta manera el bolo alimenticio hacia el esófago.

El esófago es un conducto compuesto por diferentes capas, entre las que podemos destacar una capa muscular, de músculo liso, que va a tener unas contracciones peristálticas, siendo las responsables del ‘empuje’ del bolo hasta el estómago.

**Estómago.** Es un gran ‘saco’ donde además de ‘almacenar’ los alimentos ingeridos se van a producir una serie de fenómenos imprescindibles en el proceso digestivo.

El estómago está situado en la cavidad abdominal, justo debajo del diafragma. Está separado del esófago por un esfínter, elemento muscular que cuando se contrae impide el paso entre esófago y estómago y que sólo cede al paso del bolo alimenticio; su función principal va a ser la de impedir el paso del contenido gástrico al esófago, lo que se denomina reflujo gastro-esofágico. Está separado del intestino delgado (siguiente parte) por otro elemento parecido al anterior, llamado píloro, que no se abre hasta que no se hayan cumplido una serie de condiciones en cuanto al contenido gástrico, referentes a temperatura, acidez, concentración.

El proceso digestivo en el estómago es similar en algunos aspectos al que se realiza en la boca; tiene dos componentes, uno mecánico y otro químico:

- **Mecánico.** El estómago también presenta entre sus capas, una de músculo liso que va a contraerse de manera peristáltica al cabo de 5-10 minutos de la llegada de algún alimento a su interior, a un ritmo de 2-3 contracciones por minuto; esta motricidad gástrica va a ayudar en el fraccionamiento físico de los alimentos y en la adecuada homogeneización del conjunto.
- **Químico.** En las paredes del estómago hay varios tipos de glándulas que segregan diferentes sustancias englobadas en el denominado jugo gástrico, entre las que encontramos:
  - Agua y Electrolitos (Ácido Clorhídrico, Cloruro de Potasio, Bicarbonato Sódico y Cloruro de Sodio).
  - Factor intrínseco, que se encarga de captar la vitamina B<sub>12</sub> para que pueda ser posteriormente absorbida.
  - Pepsina, que es un enzima que comienza la digestión de las proteínas.
  - Gastrina, que a su vez estimula la liberación de Ácido Clorhídrico.

**Intestino Delgado.** Es un tubo estrecho y muy largo que ocupa gran parte de la cavidad abdominal, mediante repliegues de sí mismo, los cuales se llaman asas intestinales. Al igual que otras estructuras digestivas, presenta una capa de músculo liso, que da lugar a dos tipos de movimiento, uno peristáltico que da lugar al avance de su contenido, y un segundo de brazada que tiende a mezclar bien su contenido, así como a favorecer la absorción.

El intestino delgado consta de tres partes: Proximal (duodeno), Intermedia (yeyuno) y Distal (íleo), la cual se continúa con el intestino grueso.

Es la parte principal en el fenómeno de la absorción, pero ésta no se lleva indistintamente en todo el tubo, sino que las distintas partes tienen sus propias peculiaridades. Para favorecer la absorción la pared que está en contacto con la luz intestinal, presenta unas vellosidades, con el fin de aumentar la superficie de absorción.

En el duodeno, justo después del estómago, está el orificio de salida del conducto de secreción del hígado y páncreas, por donde sale la bilis y el jugo pancreático.

El intestino delgado se continúa con el intestino grueso, del cual está separado por la válvula ileocecal.

**Intestino Grueso.** Es significativamente más corto, pero bastante más grueso, como su propio nombre lo indica.

En él, se distinguen varias partes:

- \* Colon ascendente. Comienza en el "ciego" donde se encuentra el "apéndice".
- \* Colon transverso.
- \* Colon descendente.
- \* Colon sigmoideo y Recto. El recto termina en la ampolla rectal donde se sitúa el esfínter anal que comunica con el exterior.

Entre el Colon ascendente y el Colon transverso, así como entre el Colon transverso y el Colon descendente, se producen unos ángulos denominados ángulos cólicos, en los que a veces pueden acumularse gases produciendo dolores intensos de tipo cólico que son la base de una de las teorías de explicación del 'flato'; como bien se sabe, se llama flato a un dolor intenso que situado justo debajo de las costillas y en uno de los laterales del abdomen, se produce ocasionalmente en deportistas cuando realizan un esfuerzo de alta intensidad, y que les impide mantener ese esfuerzo; es un dolor intenso y limitante, que puede echar por tierra el resultado de una larga y costosa preparación. A pesar de que el acúmulo de gases es una teoría, no se sabe con exactitud su causa, y por tanto tampoco existe un modo claro y seguro de solucionarlo o evitarlo.

## 2.- ÓRGANOS ADYACENTES

**Glándulas salivares.** Su función es segregar la saliva la cual interviene ya en la digestión de los glúcidos. Existen tres: Parótida, sublingual y submaxilar.

**Hígado.** El hígado es importante en el aparato digestivo por la formación y secreción de la bilis. El sistema de excreción de la bilis tiene justo en su inicio una bolsa de reserva llamada Vesícula biliar. El tubo excretor desciende para juntarse con el tubo excretor del páncreas formando el colédoco pancreático justo antes de desembocar en el tubo digestivo, poco después del paso existente entre estómago y duodeno (primera parte del intestino delgado).

El hígado se sitúa en el cuadrante superior externo derecho del abdomen, justo debajo de la parrilla costal.

El hígado además de la función de secreción de la bilis, tiene la función de ser el principal centro de transformación metabólica del organismo, mediante la cual una sustancia puede ser inactivada y adquirir una 'forma' que puede ser eliminada (por vía renal, por ejemplo) o reciclar dichas sustancias (por ejemplo: glucosa-glucógeno-glucosa) o transformarlas en función de ciertas necesidades (por ejemplo: Transformación de aminoácidos en glucosa).

**El páncreas.** Es una glándula-órgano alargada situada detrás del estómago, saliendo de su cabeza el conducto pancreático, el cual se une con el que viene del hígado (colédoco) para terminar en el duodeno.

El páncreas tiene una doble función glandular:

**Interna.** Interviniendo en el metabolismo de la glucosa y control de las reservas energéticas, mediante la secreción de la "insulina" y "glucagón" directamente a sangre.

**Externa.** Interviniendo en la digestión, mediante la secreción de diferentes sustancias al tubo digestivo a través del conducto pancreático, dando lugar al llamado jugo pancreático, rico en bicarbonato (que provoca un cambio de pH, pasando de un pH ácido en el estómago que puede llegar a ser de 2, a un pH entre 7'5 y 8'2 en el duodeno) y en enzimas proteolíticos que van a actuar sobre proteínas, grasas e hidratos de carbono.

## INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD FISICA

Las mayores modificaciones derivadas de la actividad física van a venir dadas por la redistribución del flujo sanguíneo, tal y como hemos visto en el capítulo anterior; ello y en relación con el nivel de intensidad, va a provocar una disminución del aporte sanguíneo al aparato digestivo, con lo que va a producirse en general una disminución en las secreciones de los diferentes órganos, una disminución de la absorción intestinal y una disminución de la movilidad general, con un estancamiento relativo de su contenido. La disminución del aporte de sangre al aparato digestivo puede suponer entre un 40 y un 70% de los valores de reposo, cuando se realiza un ejercicio de una intensidad entre el 60 y el 80% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Esta situación de flujo disminuido se mantiene tras el esfuerzo, llegando a ser inferior en un 80% una hora después de haber completado una prueba de marathón.

En casos extremos en los que se ha realizado una toma de comida importante, seguida de un ejercicio mantenido y de alta intensidad, puede llegar a producirse:

- dolores de tipo cólico a nivel gástrico o intestinal.
- lesiones similares a las producidas por las úlceras de stress.
- situaciones de hipoxia pudiendo dar lugar a microhemorragias.

Por todo ello, es conveniente incidir en la necesidad de que cuando se realice un entrenamiento de cierta intensidad, o bien una competición, debe respetarse un periodo mínimo de tres horas desde el final de la última comida, procurando no incluir en principio alimentos grasos en ella.

Si el ejercicio es de larga duración, debe limitarse el aporte de nutrientes al agua y a los hidratos de carbono. Sólo en situaciones especiales de duración prolongada de ejercicio y repetición en días sucesivos, puede modificarse la alimentación pre-competitiva, incluyendo otros tipos de nutriente.

**EL PAPEL FUNDAMENTAL  
DE LOS PROCESOS  
BIOQUÍMICOS PARA  
GENERAR MOVIMIENTO**

Pascual Brumós, Isabel (1998), "Nutrición y actividad física" y "Metabolismo basal y calorías", en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Departamento de Educación y Cultura-Gobierno de Aragón/Mira Editores, pp. 193-197.

# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO



SEGUNDO NIVEL

## 1.- NUTRICIÓN Y ACTIVIDAD FÍSICA

Se denomina nutrición al proceso de suministrar sustancias alimenticias necesarias para mantener al individuo vivo y sano. Los alimentos incluyen hidratos de carbono y grasas, que proporcionan la mayor parte de la energía orgánica, y proteínas, vitaminas y minerales, requeridos para la síntesis de estructuras y compuestos químicos especiales del organismo.

La función principal de todos los fenómenos digestivos y metabólicos del organismo es proporcionar energía para efectuar las distintas funciones corporales. Se necesita energía para cualquier actividad que entrañe contracción muscular y, en general, para casi todas las funciones orgánicas, las necesidades energéticas son proporcionadas a través de los alimentos que se ingieren en la dieta.

Los requerimientos calóricos de las personas en general, y de los deportistas en particular, dependen de diversos factores como son: la composición y el tamaño corporal, el sexo, la edad, el grado de actividad física y en muy pequeña medida de la composición de la dieta (los alimentos que ingerimos, al transformarse en sustancias más pequeñas, consumen energía). Los tres primeros factores están íntimamente relacionados entre sí, ya que la mujer promedio o la persona de edad avanzada posee un menor porcentaje de tejido magro (éste es metabólicamente activo) que los varones o las personas más jóvenes, por lo tanto sus necesidades calóricas son menores.

El gasto calórico, relacionado con el grado de actividad física depende del tipo de deporte practicado, del nivel competitivo y de la intensidad del programa de entrenamiento.

Finalmente, la acción dinámica específica de los alimentos, que es la energía necesaria para su metabolismo tras la ingestión, determina mayores o menores gastos calóricos según la distribución porcentual de los principios inmediatos (hidratos de carbono, grasas y proteínas) de la dieta.

La ingestión de alimentos es regulada por las sensaciones de hambre y apetito, y en ella participa el sistema nervioso (hipotálamo). Se ha observado que los ejercicios no muy intensos y prolongados (60 minutos), realizados de forma continua, provocan a corto plazo una disminución de la sensación subjetiva del apetito en mujeres jóvenes. Por el contrario, los ejercicios más intensos e intermitentes pueden aumentar dicha sensación.

La mejor forma de mejorar el rendimiento físico consiste en asociar al entrenamiento adecuado unos hábitos de vida saludables que incluyan una dieta equilibrada y ajustada a los requerimientos energéticos que imponga el trabajo físico desarrollado.

## 2.- METABOLISMO BASAL Y CALORÍAS

Esencialmente toda la energía liberada de los alimentos al final se convierte en calor. En consecuencia, la producción de calor corporal, que se llama metabolismo, en realidad mide la magnitud de liberación de energía de los alimentos. El gasto metabólico de energía se mide en calorías, en las que también se expresa en valor energético de los alimentos.

Las células no utilizan los alimentos como tales para obtener energía, se valen casi enteramente de una sustancia química llamada trifosfato de adenosina o adenosintrifosfato (ATP); los alimentos se van utilizando para sintetizarla a medida que ésta se va consumiendo.

### *2.1.- Factores que modifican el metabolismo*

Todo factor que aumente la liberación de energía de los alimentos también incrementa el metabolismo; algunos de los factores más importantes son:

- La actividad física. Tal vez sea el factor que más aumente el metabolismo. Al contraerse los músculos, una gran cantidad de ATP se convierte en ADP (difosfato de adenosina), lo que aumenta la oxidación de los alimentos y con ella la producción de nuevas cantidades de ATP. Durante un ejercicio muy intenso de breve duración, el metabolismo puede alcanzar 40 veces el normal.
- Estímulos simpáticos - noradrenalina y adrenalina. Al estimularse el sistema nervioso simpático, se libera noradrenalina directamente en los tejidos; también la médula de las glándulas suprarrenales vierte a la circulación sanguínea gran cantidad de estas hormonas de tal forma que actúan directamente sobre las células, aumentando su metabolismo.

Un estímulo simpático intenso puede aumentar el metabolismo incluso a 160 por ciento del normal, aunque este estímulo persiste solamente unos minutos después de cesar el estímulo.

- Hormona tiroidea (tiroxina). Su acción es similar en todas las células a la de la noradrenalina, excepto que sigue actuando incluso cuatro a ocho semanas después de ser liberada por el tiroides. Puede aumentar el metabolismo hasta el 200 por ciento del normal; cuando falta por completo, el metabolismo cae a cifras muy bajas hasta del orden del 50 por ciento del normal.
- Temperatura corporal. Cuanto mayor es la temperatura de un medio químico reactivo, mayor es la velocidad a la que ocurren las reacciones; en la fiebre elevada, el metabolismo puede llegar a duplicarse.
- Acción dinámica específica de los alimentos o efecto térmico de los alimentos. Es la energía necesaria para que se lleven a cabo los procesos fisiológicos involucrados en el concepto de nutrición; éstos son: digestión, absorción, distribución y almacenamiento de los nutrientes; esto depende del tipo y cantidad de principios inmediatos que se hayan ingerido.

El aumento postprandial (después de las comidas) de la tasa metabólica media, con respecto a la fase de ayuno, se cifra en un 10 por ciento cuando la dieta es mixta. En cuanto a los principios inmediatos aislados, los hidratos de carbono provocan aumentos del 6 por ciento, del 2 por ciento en el caso de las grasas y del 12 por ciento en el caso de las proteínas.

Así pues, las proteínas poseen la mayor tasa metabólica, y las grasas el menor; el proceso metabólico más caro es la conversión de azúcares en triglicéridos y su posterior almacenamiento en tejido adiposo.

### *2.2.- Metabolismo basal*

Es la mínima actividad metabólica que se precisa para el mantenimiento de la vida y de las funciones fisiológicas del individuo en condiciones de reposo.

El metabolismo basal depende:

- El tamaño del cuerpo (peso y talla).
- De su composición (proporción entre la parte magra y grasa).
- Sexo: mayor contenido graso en la mujer.
- Edad: las necesidades metabólicas aumentan con el crecimiento y disminuyen conforme se va envejeciendo; sobre el valor teórico a los 25 años se reduce:
  - 5 por ciento por cada década.
  - 10 por ciento por cada década a partir de los 60 años.

La determinación del metabolismo basal por medios indirectos se funda en la cantidad de oxígeno consumido por el cuerpo en un tiempo determinado y en el llamado estado basal que es el siguiente:

- En una persona despierta.
- En reposo absoluto, que no esté realizando ejercicio ni lo haya hecho en los 30 minutos a 1 hora previos. También reposo mental completo, para que el sistema nervioso simpático no sea hiperactivo.
- En temperatura ambiente neutra. De manera que la temperatura corporal no será demasiado alta ni demasiado baja.
- Después del ayuno nocturno (10 horas anteriores) para que los alimentos no puedan causar acción dinámica específica en el metabolismo.

Existen tablas para determinar el metabolismo basal en función del sexo, peso y talla.

$$\text{VARÓN} = 66 + 13,75 * \text{peso} + 5 * \text{talla} - 6,75 * \text{edad}$$

$$\text{MUJER} = 65,5 + 9,5 * \text{peso} + 1,8 * \text{talla} - 4,6 * \text{edad}$$

Como referencia se puede decir que:

- El VARÓN = 1 Kcal/ Kgr de peso /hora.
- La MUJER = 0,9 Kcal/ Kgr de peso /hora.

### 2.3.- Calorías

La energía de los alimentos se mide en términos de la cantidad de calor liberada por el desdoblamiento completo de la molécula hasta  $\text{CO}_2$  y agua; se expresa en Kilocorías (calorías), unidades para medir el calor.

La caloría es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua a un grado centígrado.

La caloría es una buena medida de la energía corporal, pues la mayor parte de la energía producida en el organismo al final se convierte en calor. Por ejemplo, de las reacciones químicas a través de las cuales se obtiene energía de los alimentos, aproximadamente el 60 por ciento de la energía se transforma en calor al formarse ATP, y cuando el ATP se utiliza para funciones celulares del 75 al 90 por ciento de la energía se transforma en calor. Del 10 al 25 por ciento restantes se convierte en acción muscular y otras actividades del organismo (circulación sanguínea, fricción de los tejidos, etc.) pero después de ellas casi toda la energía se convierte en calor.

## 2.3.1.- Contenido energético de los distintos alimentos

Cada uno de los tres tipos de sustancias alimenticias liberan en el cuerpo las siguientes calorías por gramo:

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| hidratos de carbono | 4,1 calorías |
| grasas              | 9,3 calorías |
| proteínas           | 4,1 calorías |

Como se puede observar 1 gr. de grasa proporciona el doble de energía que 1gr. de hidratos de carbono o proteínas. Por ello puede pensarse a veces que se ingiere una dieta pobre en grasas y sin embargo puede obtenerse tanta energía de esas pocas grasas (o lípidos) como de la ingesta más abundante de hidratos de carbono. Además, la grasa a menudo está en forma pura en los alimentos y los hidratos de carbono y las proteínas están muy diluidos en agua.

## 2.3.1.1.- Necesidad energética diaria

Un individuo de 70 kg. de peso que esté acostado todo el día y no haga otra cosa excepto comer y existir, suele necesitar 1.850 calorías diarias. Si decide sentarse en una silla, necesitará 200 calorías diarias adicionales. En consecuencia, 2.000 calorías diarias es la cantidad basal normal de energía necesaria simplemente para vivir; cualquier tipo de actividad o ejercicio que se realice exige energía adicional ( Ver cuadro nº 1).

Cuadro 1. Gasto de energía por hora durante diversos tipos de actividad para un hombre de 70 kg. (M. S. Rose)

| <i>Tipo de actividad</i>                             | <i>Calorías por hora</i> |
|------------------------------------------------------|--------------------------|
| Sueño                                                | 65                       |
| Estar despierto e inmóvil                            | 77                       |
| Sentarse en reposo                                   | 100                      |
| Estar de pie en relajación                           | 105                      |
| Vestirse y desvestirse                               | 118                      |
| Sastrería                                            | 135                      |
| Escribir rápidamente a máquina                       | 140                      |
| "Ejercicio ligero"                                   | 170                      |
| Caminar lentamente (4 km. por hora)                  | 200                      |
| Carpintería, trabajos en metales, pintura industrial | 240                      |
| "Ejercicio activo"                                   | 290                      |
| "Ejercicio intenso"                                  | 450                      |
| Cortar madera                                        | 480                      |
| Nadar 500 m.                                         | 570                      |
| Correr (8,5 km. por hora)                            | 600                      |
| "Ejercicio muy intenso"                              | 605                      |
| Caminar muy rápidamente (8,5 km. por hora)           | 605                      |
| Subir escaleras                                      | 1.100                    |

Tomado por Guyton, A.C. 1975

023

Como se puede observar en el cuadro anterior, sólo el hecho de subir escaleras consume 17 veces más energía que el estar dormido en la cama.

### 3.- TIPOS DE ACTIVIDAD FÍSICA Y GASTO ENERGÉTICO

El ejercicio físico incrementa los requerimientos energéticos y activa los sistemas metabólicos encaminados a aumentar la producción de esa energía con una mayor utilización de los nutrientes y el consumo de oxígeno.

También tendrá que tenerse en cuenta la temperatura ambiente y los factores psíquicos en los que se realiza la actividad física:

- El clima. En épocas calurosas se consume menos energía; por cada 10 grados menos de temperatura se incrementa el gasto calórico un 50 por ciento.
- Factores psíquicos. Incrementan el metabolismo basal el estrés, la angustia y la ansiedad. Éstas son situaciones ligadas a la competición, por ejemplo.

A efectos de poder valorar el consumo que supone la actividad física vamos a establecer los siguientes tipos de actividad:

Cuadro 2. Consumo total de energía  
(Kcal/Kg peso /hora)

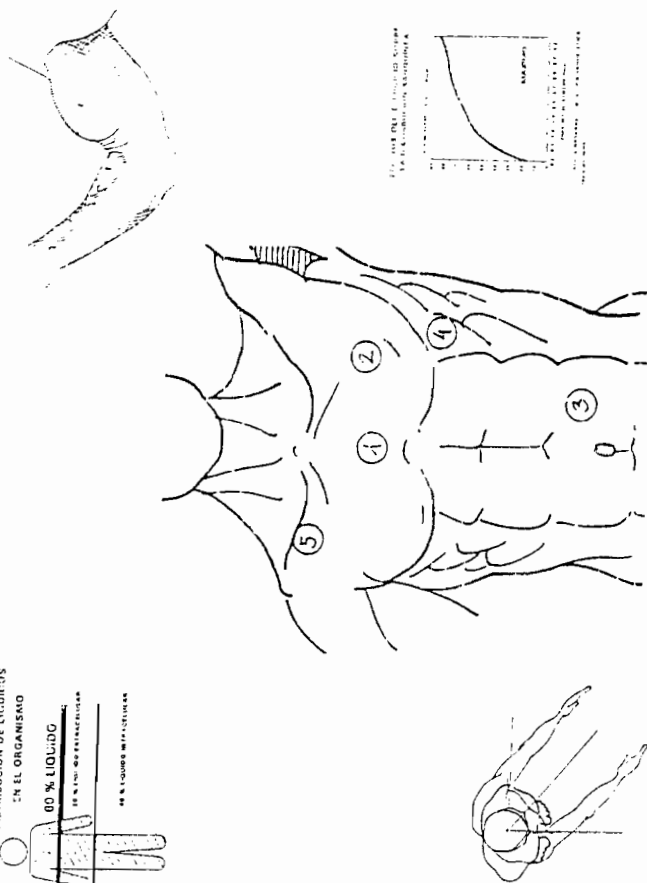
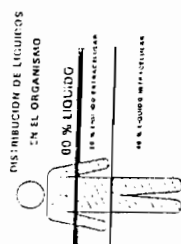
| TIPO DE ACTIVIDAD                                                                                                                                                                                         | VARONES | HEMBRAS |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| Muy ligera: sentado en ambiente cerrado, sentarse y permanecer de pie, comer, conducir, pintar, coser, barrer, planchar, lavar, escribir a máquina y tocar instrumentos                                   | 1,5     | 1,3     |
| Ligera: de pie en lugares abrigados, caminar (4-5 km/hora) en llano, carpintería, reparaciones caseras, camareros, cocineros y pinches, ir de compras y traer poco peso, golf, tenis mesa, voleibol, vela | 2,9     | 2,6     |
| Moderada: de pie en lugares abiertos, caminar (5,5-6,5 km/hora), albañilería, estibadores, jardinería, fregar suelos, comprar y llevar pesos, tenis, baile, pasear en bici, esquí de fondo                | 4,3     | 4,1     |
| Pesada: ejercicio intenso al aire libre, caminar rápido (8,5 Km/ hora) leñadores, trabajos de pico y pala, basket, natación, alpinismo, esgrima, esgrima, hípica al galope, rugby                         | 8,4     | 8       |

024

Antxon Gorrotxategi  
Patxi Aranzabal

# EL MOVIMIENTO HUMANO

BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS



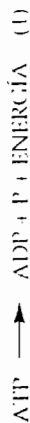
Colección  
Deporte  
y  
Salud

GYMNOS EDITORIAL

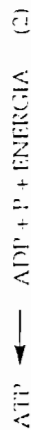
Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Producción de energía", en *El movimiento humano. Bases anatómo-fisiológicas*, Madrid, Gymnos (Deporte y salud), pp. 109-123.

## PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

El músculo es el elemento activo del aparato locomotor y por tanto es quien debe generar el movimiento; por ello, la célula muscular está especializada en el desarrollo de energía mecánica partiendo de energía química. Para ello debe utilizar con efectividad la energía almacenada en la molécula de ATP. Además, el Trifosfato, y a la vez tener muy desarrollados los mecanismos destinados a la resíntesis del ATP para poder volver a utilizarlo, ya que es sólo la descomposición del ATP lo que va a dar lugar a la energía necesaria para la contracción muscular:



El "problema" es que los depósitos musculares de ATP son muy limitados, por lo que en el interior del músculo tienen lugar una serie de procesos tendientes a resíntetizar (volver a formar) el ATP; descompuesto, es decir, se trata de 'volver atrás' la reacción (1) anterior, pero si en la reacción anterior obteníamos una cantidad de energía importante, en este caso tendremos que aportar esa misma cantidad de energía para que pueda resíntetizarse el ATP, tal y como vemos:



Por ello, dado que comienza a haber necesidades de energía para poder resíntetizar de esta manera el ATP, se pone en marcha el proceso de "destrucción" de la Fosfocreatina (PC) que es también un compuesto de Alta Energía, y la energía que surge en su descomposición es utilizada para que tenga lugar la reacción (2). Así:

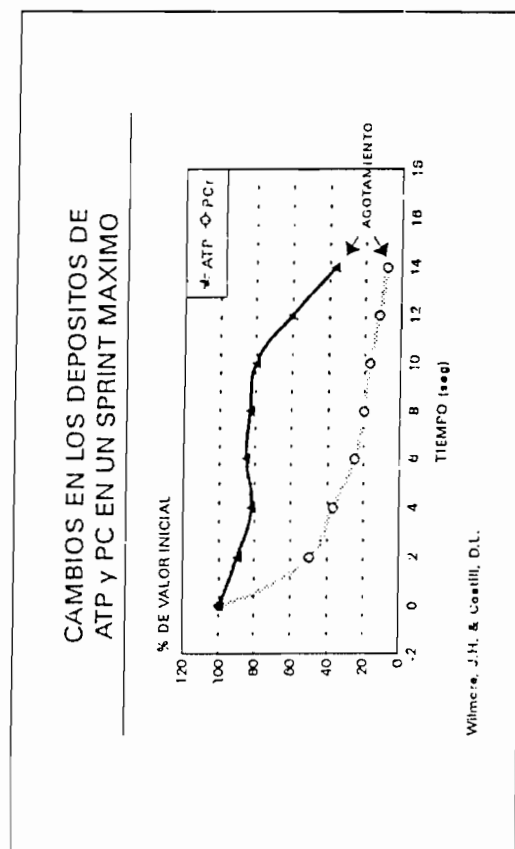


Y cuando se realizan simultáneamente las reacciones (2) y (3), tenemos:



Es conveniente decir que la utilización de Fosfocreatina en la formación del ATP, no comienza cuando los depósitos de ATP se han agotado, sino que comienza según empieza a utilizarse el ATP, e incluso hay un mayor agotamiento de los depósitos de Fosfocreatina con respecto a los de ATP, tal y como vemos en el grá-

fico siguiente. En ese gráfico se observa cómo ya desde los primeros segundos la disminución de los depósitos de Fosfocreatina es significativa e incluso más acusada que la disminución de los depósitos de ATP; va a ser cuando los depósitos de Fosfocreatina se encuentran en un nivel muy bajo, cuando se 'exprimen' un poco más los depósitos de ATP, aunque sin llegar nunca a agotarse.



A este proceso donde se utiliza la Fosfocreatina para resintetizar el ATP, se le denomina ANAERÓBICO ALÁCTICO. Anaeróbico porque no necesita Oxígeno para su funcionamiento y Aláctico porque no se produce Ácido Láctico; este sistema de producción de energía tiene un flujo muy grande, dado que la velocidad de resíntesis del ATP a partir de la Fosfocreatina es muy alta y por ello, la energía por unidad de tiempo que es capaz de formar es enorme, pero por el contrario la cantidad total de energía que es capaz de formar es muy pequeña; esto hace que este sistema se agote rápidamente. El agotamiento de este sistema viene dado por la disminución del sustrato energético (en este caso la Fosfocreatina), de manera que si los depósitos de Fosfocreatina se acaban, el proceso no puede tener lugar. Este medio de formación de energía nos permite mantener la actividad muscular durante aproximadamente 10 segundos (todas las cifras pueden ser variables según los autores), aunque eso sí, intensísimos. Podemos decir pues, que aquellos esfuerzos de muy corta duración y máxima intensidad, como pueden ser los saltos, los lanzamientos, las pruebas de velocidad en diferentes especialidades,... van a ser realizados gracias a esta vía energética.

Lógicamente la actividad muscular no tiene por qué estar limitada a una duración de 10 segundos de forma continua, por lo que el músculo debe tener, y de hecho tiene, otras formas de obtener energía con el objetivo de resintetizar el ATP y de esta manera poder seguir manteniendo su actividad.

Otro mecanismo de producción de energía lo va a co-ordinar la glucólisis anaeróbica, en la que la metabolización de la glucosa sin presencia de oxígeno, va a aportar energía direccionada a la resíntesis de ATP. A este sistema lo denominamos ANAERÓBICO LÁCTICO; Anaeróbico porque tampoco utiliza Oxígeno, y Láctico porque en su funcionamiento se produce ácido láctico; como sustrato energético se utiliza la Glucosa. Podríamos decir que la velocidad de proceso de esta reacción no es tan alta como en el caso anterior; es decir, no se está produciendo tanta energía por unidad de tiempo, lo que va a dar lugar a una resíntesis de ATP menor en un tiempo determinado, y ello va a condicionar la intensidad del ejercicio, que como puede suponerse va a ser inferior a la intensidad que nos permita el metabolismo anaeróbico aláctico. En este caso la reacción sería:



El Ácido Láctico que se genera como resultado de esta reacción tiene una característica especial y es que si se acumula va a producir una disminución del pH (acidosis) y por encima de una cantidad se produce el bloqueo del propio sistema energético, y con ello su parada; parece como si el propio organismo utilizara un mecanismo de seguridad para evitar que en el organismo la acidosis aumentara de manera exagerada, lo que daría lugar a un problema grave y generalizado, y por tanto detiene de forma automática el proceso en el que se forma ácido láctico; este bloqueo o disminución del rendimiento muscular se produce por varias razones entre las que las más importantes son:

- Disminución de la actividad enzimática, principalmente de la Fosfofructoquinasa, que va a catalizar una de las reacciones intermedias con lo que disminuye la rapidez del proceso y con ello la formación de energía.
- El cambio ácido va a dar lugar a alteraciones en la formación de puentes entre la actina y la miosina, con lo que disminuye la capacidad de generar fuerza.

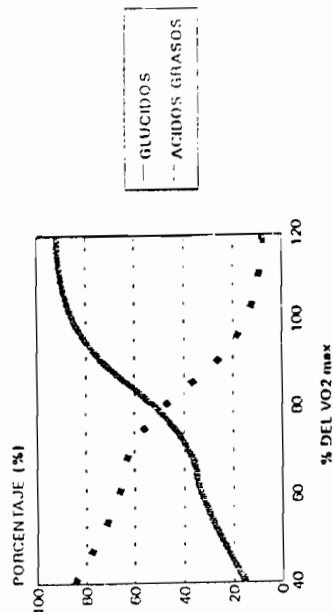
En definitiva, el acúmulo de lactato va a dar lugar a una disminución de formación de energía y por tanto a una disminución del nivel de intensidad; el deportista ya no es capaz de mantener el nivel anterior y tiene que disminuir su intensidad. Es el caso que ocurre cuando un deportista realiza un ejercicio muy intenso durante un tiempo mantenido, y presenta unas sensaciones que relata como si los músculos se le quedaran agarratados, dolorosos y duros, unido ello a una imposibilidad de mantener el nivel de intensidad; ello es debido a que se ha acumulado Ácido

Latino en exceso y se ha producido el bloqueo muscular. Las características de este sistema de producción de energía son que nos da una menor energía por unidad de tiempo que el sistema anterior (anaeróbico aláctico), pero nos permite mantener esta intensidad de ejercicio hasta aproximadamente los 2 ó 3 minutos.

Cuando el músculo debe mantener una actividad prolongada realizando un ejercicio de más de 3 minutos, el músculo necesitará un nuevo sistema de producción de energía; este es el sistema Aeróbico, y se llama así porque necesita oxígeno para que pueda funcionar, y cuanto más oxígeno llegue al músculo más energía va a ser capaz de producir el músculo por este sistema, y mayor rendimiento va a desarrollar; es como sucede en un horno, en el que el aporte de oxígeno a través de un fuel, ..., da lugar a que se avive el fuego. En este caso, el músculo puede utilizar tanto glucosa como grasa, como proteínas, como sustrato energético, pero siempre debe realizarse en presencia de  $O_2$ , y como ya hemos dicho pero lo repetiremos por su importancia, cuanto más  $O_2$  llegue al músculo más energía va a ser capaz de producir por esta vía. A esta vía energética donde interviene el  $O_2$  llamamos AEROBIA y como resultado de las diferentes reacciones químicas se va a producir  $CO_2$  y  $H_2O$ . Hemos comentado que en este sistema de producción de energía, podemos utilizar tanto la glucosa, la grasa y las proteínas como sustrato energético (la utilización de las proteínas va a suponer en condiciones normales el 2-3 %, por lo que lo dejamos al margen, aunque también debemos saber que en situaciones de esfuerzo muy prolongado en el que se producen disminuciones importantes en las reservas de glucógeno muscular, la utilización de las proteínas en la formación de energía puede llegar a ser de un 10%), pero hay que significar que el flujo energético (cantidad de energía por unidad de tiempo) que nos da la combustión de la grasa va a ser menor que el flujo energético proveniente de la combustión aeróbica de la glucosa (lado que se necesita más cantidad de  $O_2$  para obtener 1 ATP proveniente de la Glucosa que de la Grasa), y todo ello en función de la cantidad de  $O_2$  que llega al músculo. Por ello, según va aumentando la intensidad del esfuerzo y va aumentando el consumo de oxígeno, el músculo va utilizando cada vez más glucógeno muscular y menos grasa, tal y como vemos en el gráfico.

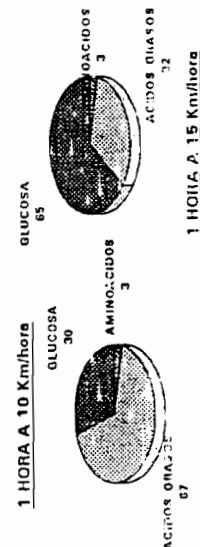
El hecho de que los depósitos de glucógeno muscular sean limitados, da lugar a que en la medida de lo posible, y siempre que se genere suficiente energía, el músculo va a tender a utilizar grasa; así, cuando el nivel de intensidad de ejercicio sea bajo, y por tanto la cantidad de oxígeno que llega al músculo es relativamente alta para las necesidades que tiene, el músculo utilizará principalmente grasa, tal y como vemos en el gráfico siguiente, donde la formación de energía a 10 km/h durante 1 hora proviene principalmente de la utilización de las grasas (67%). Sin embargo, cuando aumentamos la intensidad del ejercicio, no llega comparativamente tanto oxígeno al músculo, aunque sigue siendo suficiente como para que toda la energía provenga del metabolismo aeróbico; en esta situación, hay un aumento en la utilización del glucógeno muscular con respecto a las grasas, con lo que de esta manera obtiene más energía teniendo en cuenta el oxígeno que llega, tal

## PORCENTAJE DE UTILIZACION DE SUSTRATOS EN LA FORMACION DE ENERGIA, SEGUN INTENSIDAD

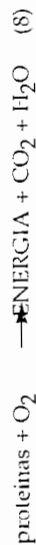
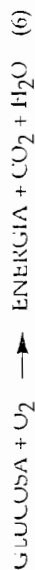


y como vemos en el sector de la derecha del gráfico siguiente, donde vemos como a 15 km/h durante 1 hora, aumenta de forma importante la utilización del glucógeno (65%), a costa de una menor utilización de la grasa (baja al 32%).

## SUSTRATOS ENERGETICOS UTILIZADOS



PERONET Y col.



El flujo energético total en el sistema aeróbico es bastante menor que en los sistemas anteriores, pero tiene la ventaja de que es mucho más prolongado en el tiempo, ya que el factor limitante va a ser el agotamiento de las reservas energéticas, y si bien la glucosa se va a agotar, las reservas de grasa son prácticamente inagotables.

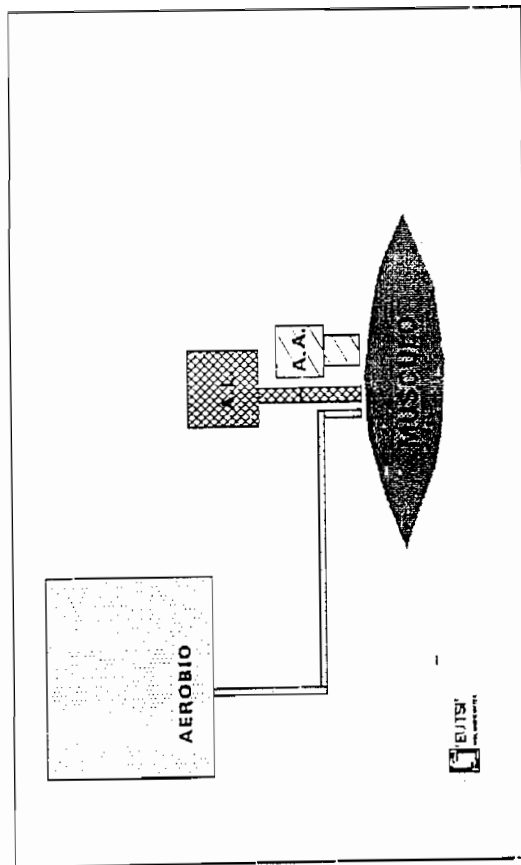
En definitiva hemos visto diferentes modalidades de producción de energía que van a tener características diferenciales en cuanto a potencia, duración, sustratos... En el siguiente esquema, vemos representados los tres tipos de metabolismo energético, Anaeróbico Láctico (AL), Anaeróbico Aláctico (AA) y Aeróbico (AE), al igual que vemos representado el músculo. Cuando el músculo comienza a realizar un trabajo y aumentan sus necesidades de energía, es como si abriera todos los conductos que le aportan energía a la vez; el esquema nos explica de alguna manera las características diferenciales en cuanto a:

**Tiempo de puesta en marcha.** Si decíamos que el músculo abre todos los conductos, la energía tardará en llegar más o menos dependiendo de la longitud del conducto entre el depósito de energía y el músculo; vemos de esta manera que la energía del depósito 'AA' no tarda prácticamente nada en llegar, ya que el conducto es cortísimo; la energía 'AL' tarda un poco más (le cuesta un poco más empezar), y el tipo de energía que va a tardar más en ponerse en marcha va a ser la Aerobia (AE) que es quien debe recorrer un conducto más largo.

**Potencia.** La potencia es la cantidad de energía por unidad de tiempo, y en este ejemplo ello va a depender de la sección (grosor) del conducto; vemos cómo es el depósito 'AA' quien presenta el conducto más ancho lo que supondrá una potencia muy elevada, el depósito 'AL' presenta un conducto un poco menos ancho y por tanto será capaz de generar menos potencia, mientras que el depósito 'AE' es quien tiene el conducto más estrecho, lo que va a suponer que el paso de energía va a estar más limitado y con ello va a generar menos potencia que los anteriores.

**Duración.** La duración de cada depósito va a depender de dos factores: el tamaño del depósito (cuanto mayor sea el depósito más tarda en vaciarse) y la sección del conducto de salida (cuanto más ancho sea, más rápido sale la energía y también se gasta antes). Vemos en el gráfico que se juntan el menor tamaño de depósito y el conducto más amplio en el caso de la energía 'AA', lo que va a suponer que su duración va a ser cortísima; la energía 'AL' va a durar un poco más, ya que presenta un depósito ligeramente mayor además de un conducto de salida más estrecho; la

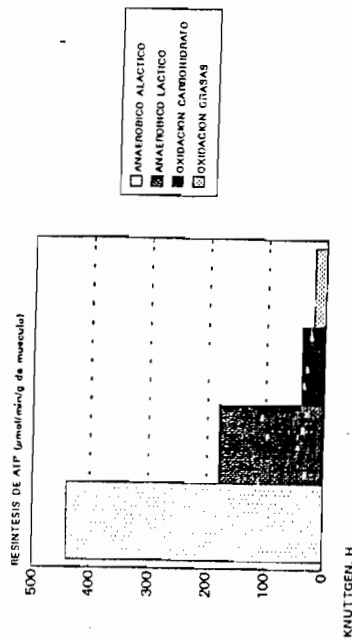
energía 'AE' es la que va a durar muchísimo tiempo ya que el depósito es sustancialmente mayor que los demás, lo que unido a un conducto más estrecho lo convierte en casi inagotable.



Si estableciéramos una relación entre los diferentes tipos de metabolismo y la potencia, estaríamos teniendo en cuenta la capacidad de síntesis de ATP por unidad de tiempo de cada metabolismo, que es lo que vemos en el gráfico siguiente. En este gráfico lo que apreciamos es la gran potencia metabólica que es capaz de generar el metabolismo anaeróbico aláctico (utilización de Fosfocreatina), claramente por encima del resto de modalidades de formación de energía, siendo más del doble de la obtenida por el metabolismo anaeróbico láctico, y diez veces mayor que la obtenida por el metabolismo aeróbico, dentro del que apreciamos la diferencia de energía entre la utilización de la glucosa o de grasa, tal y como hemos explicado con anterioridad.

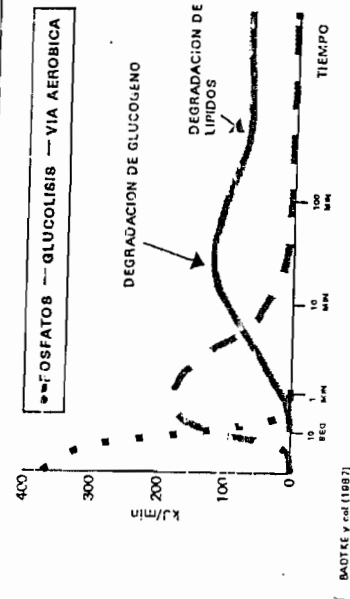
Si en lugar de establecer una relación entre el tipo de metabolismo y la potencia que es capaz de desarrollar estableciéramos la relación entre el tipo de metabolismo y el tiempo, encontramos que el metabolismo anaeróbico aláctico tiene una puesta en marcha instantánea, al igual que en poco tiempo cae su capacidad de generar energía a niveles mínimos (por el agotamiento de la Fosfocreatina). El metabolismo anaeróbico láctico adquiere un nivel elevado en pocos segundos, para tras alcanzar su máximo nivel en torno a los 45-60 segundos, comenzar a decrecer. El metabolismo aeróbico precisa más tiempo que los anteriores para su puesta en marcha, lo que está en relación con un proceso más laborioso y con mayor inercia

### POTENCIA METABOLICA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE APROVISIONAMIENTO DE ENERGIA-



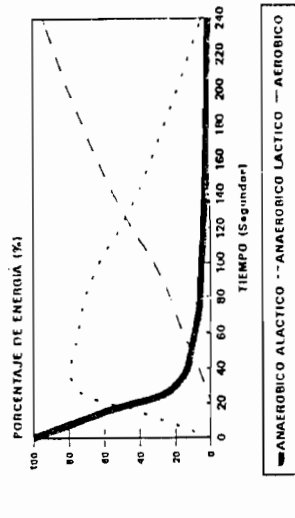
que los anteriores; por contra, es aquel que se mantiene durante todo el tiempo necesario, aunque su nivel en términos absolutos sea inferior, diferenciándose el aporte de energía que se produce en tanto se mantiene la utilización del glucógeno, con el aporte de energía también aeróbico que se produce mediante la utilización de las grasas. Esto es lo que vemos en el siguiente gráfico:

### POSIBILIDADES DE SUMINISTRO ENERGETICO EN CARGAS MAXIMAS Y EN FUNCION DEL TIEMPO



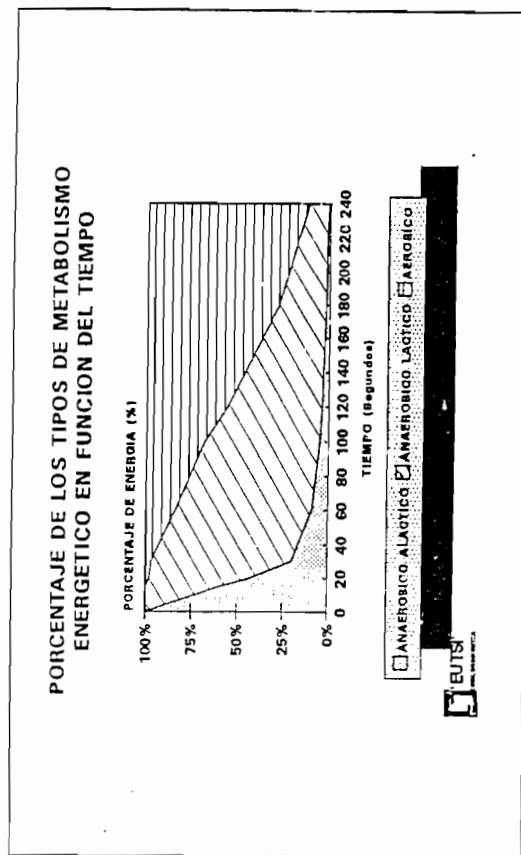
Lo mismo que lo anterior, pero no ya en términos absolutos, sino en términos relativos de formación de energía por una vía u otra en función del tiempo, vemos en el gráfico siguiente:

### PORCENTAJE DE LOS TIPOS DE METABOLISMO ENERGETICO EN FUNCION DEL TIEMPO



El funcionamiento de los diversos sistemas anteriormente explicados no es autónomo, es decir, no es que comience uno y cuando ese termina comience el siguiente, sino que todos funcionan a la vez, lo que pasa es que la aportación de cada uno en la realización de un ejercicio es diferente y va a estar marcado básicamente por la intensidad del ejercicio. Si nosotros realizáramos un ejercicio de máxima intensidad, como puede suponerse en una competición, la contribución de las diferentes vías energéticas se realizaría en función de la duración del ejercicio, tal y como se muestra en el gráfico de áreas siguiente; en él comprobamos que para realizar un esfuerzo máximo de 10 segundos, no va a ser en exclusiva el metabolismo anaeróbico aláctico quien aporte energía, sino que también hay una contribución del metabolismo anaeróbico láctico aunque sea mucho menor. Si alargamos el tiempo de una competición a 1 minuto, vemos que hay un cambio en la proporción de los diferentes tipos de metabolismo, disminuyendo la preponderancia del metabolismo anaeróbico aláctico según va aumentando el tiempo de la prueba. A partir de los 2-3 minutos de prueba, vemos cómo va adquiriendo una importancia creciente el metabolismo aeróbico. Aparte de que el análisis del gráfico pueda aportarnos conocimientos teóricos, debemos ser conscientes que estos resultados deben tener una incidencia directa en la programación del entrenamiento; no va a ser lo mismo entrenar una característica u otra y por otra parte debemos tener clara la importan-

cia relativa de la participación de cada tipo de metabolismo en el rendimiento físico de una prueba concreta que estamos preparando.



No siempre la práctica deportiva tiene una constancia en tiempo o en intensidad a lo largo de la propia prueba, con lo que se complica el conocimiento de la importancia relativa de los diferentes tipos de metabolismo. Por ejemplo, en un partido de fútbol con una duración de 45 minutos sin interrupción (uno de los tiempos), cabría pensar que el metabolismo preponderante y casi exclusivo sea el aeróbico, pero el hecho de que no haya una intensidad máxima y mantenida a lo largo de los citados 45 minutos, sino que vayan alternándose períodos de intensidad claramente diferenciada, incluso habiendo períodos de recuperación pasiva o inactividad, dejan fuera de lugar el planteamiento y las conclusiones que pudiéramos sacar del gráfico anterior. En este caso, al igual que en cualquier otro ejercicio prolongado que se realice a diferentes intensidades, que es lo que sucede en los deportes que algunos denominan de tipo intermitente, la utilización de una vía de producción de energía u otra, estaría en función de la intensidad del momento y no de la duración en tiempo del ejercicio.

Por tanto, puede suceder que un ejercicio comience siendo aeróbico, para pasar al cabo de 30 minutos a ser anaeróbico, como podría ser un período de calentamiento (en general aeróbico), tras lo que hacemos un ejercicio de mucha intensidad y esa intensidad requerida no puede ser obtenida por el metabolismo aeróbico con

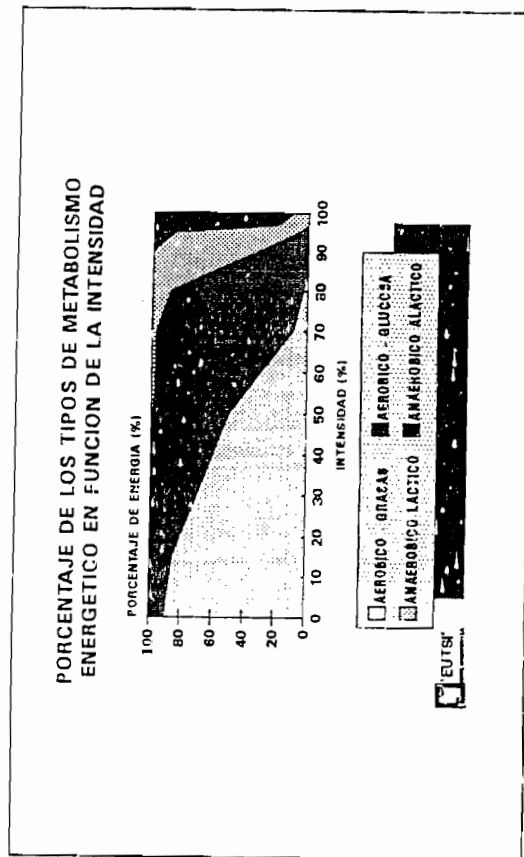
lo que hay que 'echar mano' del metabolismo anaeróbico para poder satisfacer la demanda de energía; esto puede ir sucedido de un período de baja intensidad para pasar nuevamente a una acción de máxima intensidad y duración limitada,....

La utilización de un tipo de metabolismo u otro en la formación de energía podría ir asociada a una escalera en la que los primeros escalones aportan un menor flujo de energía y según vamos aumentando la altura la formación de energía va aumentando igualmente; el músculo intenta en todo momento situarse en el escalón más bajo que le permita obtener la energía necesaria; sin embargo, no hay problemas para ir modificando la posición tanto hacia arriba como hacia abajo, siempre y cuando se cumplan una serie de condiciones como el tiempo mantenido a una intensidad elevada, así como el tiempo de recuperación en un nivel de intensidad más bajo,.... Aunque en el caso de una escalera existe una clara diferenciación entre los diferentes escalones, no podemos pensar de la misma manera en el caso de los diferentes sistemas de formación de energía musculares que forman un todo continuo que va modificándose de manera progresiva y no a saltos, con lo que más que de escalera debiéramos hablar de rampa.

|                                               |
|-----------------------------------------------|
| $ATP = ADP + P$                               |
| $CP + ADP = ATP + C$                          |
| $GLUCOSA + ADP = ATP + LÁCTICO$               |
| $GLUCOSA + OXÍGENO + ADP = ATP + CO_2 + H_2O$ |
| $GRASA + OXÍGENO + ADP = ATP + CO_2 + H_2O$   |

Visto que la modalidad de formación de energía muscular va modificándose junto con la intensidad de trabajo, podemos pensar que cuando nosotros paseamos, esa energía puede ser producida por el metabolismo aeróbico y dentro del metabolismo aeróbico por la combustión de las grasas, con lo que va a ser casi el único sistema que se pone en juego; el músculo no necesita 'echar mano' de otro tipo de formación de energía más "limitado" en tanto la combustión de las grasas generen

...energía como para alcanzar el ejercicio deseado. Si en vez de pasar comenzamos a realizar un jogging suave, necesitamos más energía, pero la energía necesaria seguirá obteniéndose por la vía aeróbica, aunque en este caso la combustión de las grasas no nos va a dar suficiente energía, por lo que va a ser necesario utilizar también la glucosa como sustrato energético, con lo que la obtención de energía no es 'pura' sino que es una especie de mezcla de diferentes sustratos; si vamos aumentando la velocidad de carrera va a llegar un momento en que la energía va a obtenerse por la vía aeróbica, pero utilizando glucosa de manera casi exclusiva.



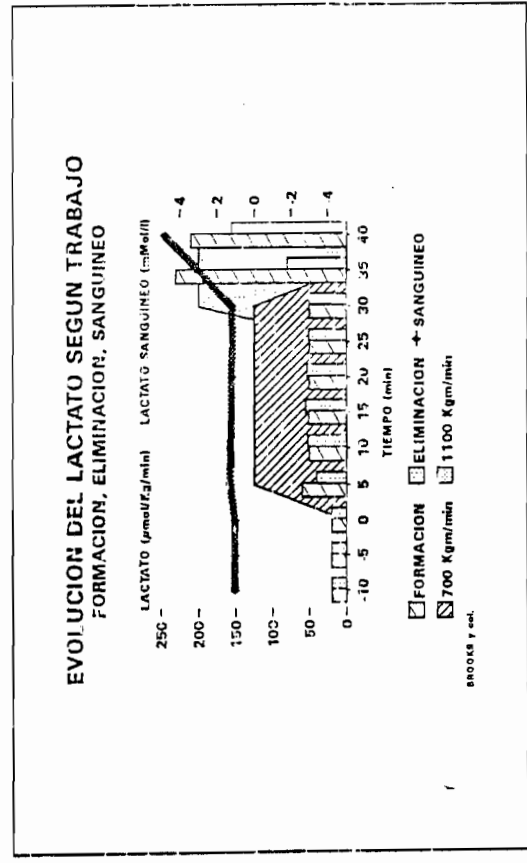
Si aumentamos más la velocidad, el metabolismo aeróbico por sí sólo no puede generar toda la energía necesaria y el músculo comenzará a utilizar energía procedente del sistema anaeróbico láctico y con ello comenzará a producirse Ácido Láctico, aunque si no se produce mucho, hay sistemas de eliminación que van a hacer que no se acumule y que pueda mantenerse esa velocidad durante mucho tiempo. Aumentando más todavía la velocidad, se llega a un punto en el que la intervención del sistema anaeróbico en la producción de energía es muy importante y comienza a acumularse el ácido láctico; si mantenemos esta velocidad durante cierto tiempo, va a llegar el momento de que el ácido láctico bloquee el sistema y haya que reducir de manera importante la velocidad si queremos continuar. Cabría todavía la posibilidad de realizar un 'sprint' para finalizar el ejercicio, con lo que el músculo utilizaría las reservas de Fosfocreatina (si no las ha utilizado) para obtener una gran cantidad de energía a través del metabolismo anaeróbico aláctico. Todo este proceso es el que queda reflejado en el gráfico anterior, donde vemos la con-

tribución de los diferentes sistemas metabólicos en la producción de energía, según la intensidad puntual del ejercicio.

## UMBRAL ANAERÓBICO

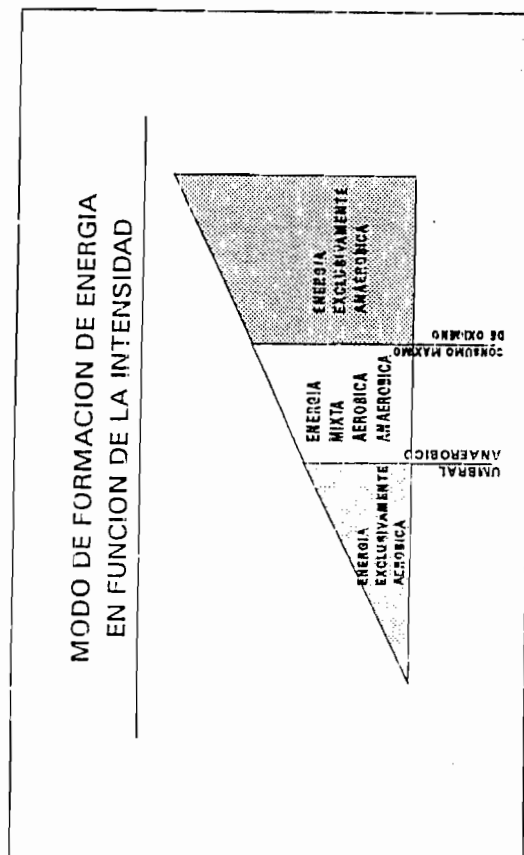
Al punto de máxima intensidad, donde el ácido láctico se está produciendo pero no llega a acumularse en sangre, llamaremos Umbral Anaeróbico. Por supuesto esta definición es simplista con el fin de no complicar la cuestión, ya que incluso entre los científicos no hay acuerdo unánime en cuanto a denominación, significación, análisis...

Hay que tener en cuenta que el hecho de estar trabajando a nivel de umbral anaeróbico o por debajo de él, no significa que no haya producción de ácido láctico a nivel muscular, lo que sucede es que está siendo neutralizado o eliminado en cantidad suficiente como para que no vaya acumulándose progresivamente, tal y como puede verse en el siguiente gráfico donde se comprueba que tanto la situación de reposo (correspondiente al tiempo situado entre -10 y 0), como en trabajos de baja intensidad (correspondiente al tiempo situado entre 0 y 30) hay formación de lactato, lo que ocurre es que como hemos dicho anteriormente está siendo 'eliminado' y como consecuencia de ello el lactato sanguíneo (representado por la línea que tiene como escala la ordenada derecha), prácticamente no tiene ninguna variación; sin embargo cuando la intensidad del ejercicio aumenta tanto como para que la eliminación del lactato no consiga equilibrar la formación (a partir del minuto 30),



venimos el aumento progresivo del lactato sanguíneo. Por tanto, cuando un deportista está realizando un entrenamiento a la intensidad del umbral anaeróbico, o incluso por debajo de él, no quiere decir que esté trabajando exclusivamente el metabolismo aeróbico, sino que también está desarrollando la glucólisis anaeróbica y el aclaramiento del lactato; lo que pasa es que al no haber acúmulo de ácido láctico se considera que todo el trabajo es aeróbico.

Por ello, el hecho de otorgar una cifra fija de lactato (como en su momento estuvo en boga con los 4 mMol/l) para determinar el Umbral, puede traer consigo errores, ya que el estado de equilibrio entre formación y eliminación de lactato al máximo nivel de intensidad de trabajo, que es al fin y al cabo lo que trata de determinar el Umbral, es difícil que pueda relacionarse con exactitud con una cifra absoluta fija para todos los deportistas. Cuando se realizan estudios de estado estable de lactato, éste puede estabilizarse a 3 mMol/l o por debajo, lo mismo que pueden encontrarse otros deportistas que consiguen mantener un equilibrio en niveles superiores a los ya famosos 4 mMol/l.



Tampoco debe pensarse que una vez superada la intensidad en la que se encuentra el Umbral Anaeróbico, toda la energía que se forma procede del metabolismo anaeróbico, ya que el consumo de oxígeno todavía no ha tocado techo (a la intensidad del umbral), y según aumenta la intensidad de trabajo por encima del umbral, también aumenta el consumo de oxígeno, por lo que cabe pensar que aumenta la producción de energía por vía aeróbica igualmente; sin embargo, una vez sobrepasada la intensidad correspondiente a la Potencia Máxima Aeróbica (es

la Potencia que se desarrolla cuando se alcanza el Consumo Máximo de Oxígeno), todo aumento de intensidad va a ser debido a un aumento de formación de energía por vía anaeróbica exclusivamente. Es conveniente tener claros estos conceptos, pues, con el fin de poder asimilar igualmente referencias que se realizan a nivel de programación de entrenamiento; muchas veces a la hora de hablar de intensidad de entrenamiento, se hace referencia a un porcentaje y hay que delimitar si es un porcentaje del Consumo Máximo de Oxígeno, o bien un porcentaje de la Potencia Máxima; si se establecen porcentajes del Consumo Máximo de Oxígeno, podremos encontrarnos intensidades del 120 o 140% (ya que la Potencia Máxima Anaeróbica está claramente por encima de la Potencia Máxima Aeróbica que se corresponde con el Consumo Máximo de Oxígeno), mientras que si la intensidad se establece en porcentajes de la Máxima Intensidad (sin especificar nada de aeróbico), cabe pensar que niveles del 90% no son mantenibles más allá de 20-40 segundos.

El Umbral Anaeróbico está siendo utilizado con mayor o menor fortuna en la programación del entrenamiento, y a pesar de las controversias en cuanto a su obtención y significación, es en este momento la medida más fiable para el establecimiento de los diferentes ritmos o intensidades de entrenamiento.

Igualmente en disciplinas de fondo, el Umbral Anaeróbico está siendo utilizado para predecir el rendimiento, obteniéndose una alta fiabilidad en especialidades concretas, como puede ser el marathon, pruebas de natación donde se ha desarrollado de manera importante la utilización del lactato en todas sus vertientes, pruebas específicas de ciclismo (principalmente contrarreloj y récord de la hora),...

# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO

Boné Pueyo, Alfredo (1998), "Procesos energéticos y actividad física: sistema aeróbico y anaeróbico", en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Departamento de Educación y Cultura-Gobierno de Aragón/Mira Editores, pp. 109-126.



## SEGUNDO NIVEL

## TEMA III: PROCESOS ENERGÉTICOS Y ACTIVIDAD FÍSICA: SISTEMA AERÓBICO Y ANAERÓBICO

Alfredo Boné Pueyo

1. PROCESOS ENERGÉTICOS Y ACTIVIDAD FÍSICA. CONSIDERACIONES TEÓRICAS
  - 1.1. Introducción.
  - 1.2. Concepto de energía.
  - 1.3. La fuente inmediata de energía: el ATP (adenosintrifostato).
  - 1.4. Principio de las reacciones acopladas.
  - 1.5. Metabolismo Aeróbico y Anaeróbico.
  - 1.6. Glucolisis y glucogenolisis.
  - 1.7. Ciclo de KREBS.
  - 1.8. Molino metabólico.
  - 1.9. Balances energéticos.
2. SISTEMAS AERÓBICO Y ANAERÓBICO
  - 2.1. Sistema anaeróbico aláctico o sistema del fosfágeno: ATP-PC.
  - 2.2. Sistema anaeróbico láctico o sistema del Ácido Láctico.
  - 2.3. Sistema aeróbico o sistema del oxígeno.
3. CONTINUUM ENERGÉTICO
4. LA ENERGÍA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE EJERCICIO
  - 4.1. Ejercicio máximo, breve y explosivo.
  - 4.2. Ejercicio intenso de menos de 40 minutos.
  - 4.3. Ejercicio intenso de 40 a 120 minutos.
  - 4.4. Ejercicio intenso de más de 120 minutos.
  - 4.5. Ejercicio ligero.

*En este tema vamos a insistir en cuál es la fuente inmediata de energía, cómo se va reponiendo a través de los tres sistemas de obtención de energía, cómo se relacionan los diferentes tipos de esfuerzos físicos, atendiendo a su intensidad y duración, con los sistemas de aporte energético y las sustancias alimenticias de que se valen éstos (hidratos de carbono, grasas...) para generar energía y ATP durante estos esfuerzos físicos.*

*Este tema se relaciona con lo visto en el Tema VI del Manual del Técnico Deportivo - primer nivel, y con la unidad didáctica de resistencia de este Manual*

# 1.- PROCESOS ENERGÉTICOS Y ACTIVIDAD FÍSICA. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

## 1.1.- Introducción

Uno de los conceptos más importantes que relacionan a las ciencias biológicas con la Educación Física y el deporte es la producción de energía en el organismo.

Todos los datos que se manejan en relación con el trabajo y desarrollo de la condición física en general y con el de la resistencia en particular se basan en el conocimiento de los procesos de producción de energía del organismo.

## 1.2.- Concepto de energía

Se define la energía como la capacidad de realizar un trabajo. La primera ley de la termodinámica afirma que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma de una forma en otra. En esencia esto es el principio inmutable de la conservación de la energía que se aplica tanto a los sistemas vivos como a los no vivos.

Existen diferentes formas de energía (química, mecánica, térmica, nuclear, hidráulica, eléctrica, radiante, potencial, cinética, etc.). De todas ellas a nosotros nos interesa conocer fundamentalmente la energía potencial, la energía cinética, la química, la mecánica, y sus interrelaciones.

Se denomina energía potencial a la energía de posición (por ejemplo, la que posee una piedra encima de una colina) y cuando se libera la energía potencial, se transforma en energía cinética o energía de movimiento.

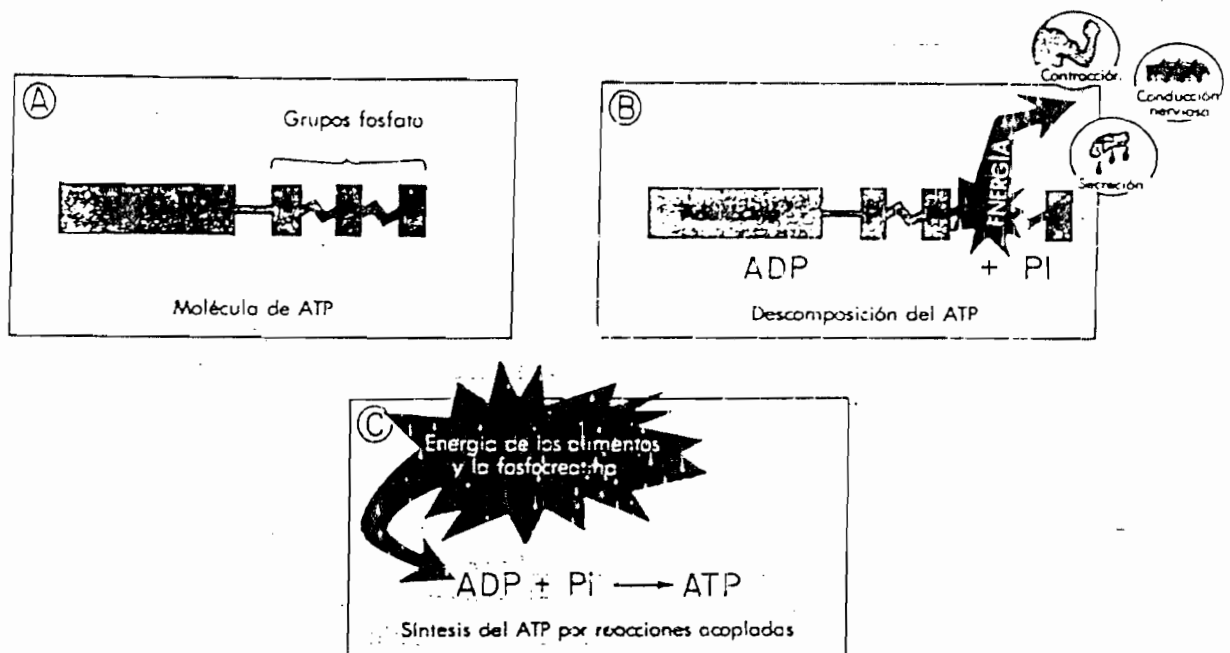
La energía química que contienen los alimentos (energía potencial) puede transformarse en energía mecánica (energía cinética) manifestándose en forma de movimientos humanos.

La energía química representa una fuente de energía potencial. Por ejemplo, en el cuerpo los alimentos se degradan mediante reacciones químicas, liberando energía química, que, a su vez, se utiliza para sintetizar otros componentes químicos. Algunos de estos últimos compuestos, se degradan liberando a su vez energía química, que es utilizada por los músculos esqueléticos para realizar trabajos mecánicos. Los músculos convierten una parte de la energía química, representada en los alimentos que comemos, en energía mecánica.

## 1.3.- La fuente inmediata de energía: el ATP (adenosintrifosfato)

El adenosintrifosfato, o ATP, es la fuente inmediata de energía para la actividad muscular. Éste se almacena en la mayor parte de las células, especialmente en las musculares. Toda forma de energía química, como la que proviene de los alimentos que comemos, deben asumir la forma de ATP antes de que pueda ser utilizada por las células musculares.

La estructura química, para nuestros fines, se puede simplificar con el siguiente esquema:



\*CEPID

- A) El ATP consiste en una gran molécula llamada adenosina y tres componentes más simples denominados grupos fosfato.
- B) La energía liberada por la descomposición del ATP se utiliza para realizar trabajo biológico. Los materiales para la síntesis del ATP son los subproductos de su descomposición, el adenosindifosfato (ADP) y el fosfato inorgánico (Pi).
- C) La energía para la resíntesis del ATP proviene de la descomposición de los alimentos y la fosfocreatina. Esta energía se acopla con las necesidades energéticas de la reacción que resintetiza el ATP.

El ATP consiste en un gran complejo de moléculas, llamado Adenosina, y tres componentes más simples, los grupos fosfato. Los dos últimos grupos fosfato representan "enlaces de alta energía" (en otras palabras, almacenan un alto nivel de energía química potencial). Cuando se rompe uno de estos enlaces (fig. B), se emite energía, lo que permite que la célula realice trabajo. La clase de trabajo que realiza la célula depende del tipo de célula de que se trate (trabajo mecánico, de secreción, de conducción nerviosa, etc.).

Todo trabajo "biológico" llevado a cabo por cualquier célula requiere la energía inmediata que proviene de la degradación del ATP. Se estima la cantidad de energía liberada por cada mol de ATP descompuesto en 7-12 calorías (un mol es una determinada cantidad de un compuesto químico por peso; el peso depende del número de diferentes átomos que forman el compuesto).

#### 1.4.- Principio de las reacciones acopladas

Como al descomponerse el ATP se emite energía, no es sorprendente que se necesite ésta para reconstruir y resintetizar el ATP. Los materiales para la síntesis del ATP son los subproductos de su descomposición: el Adenosindifosfato (ADP) y el Fosfato Inorgánico (Pi) (fig. B).

La energía para la resíntesis del ATP proviene de tres diferentes reacciones químicas que se producen en el organismo. Dos de ellas dependen de los alimentos, mientras que la tercera lo hace de un compuesto químico llamado fosfocreatina (CP) (fig. C), que se almacena en las células musculares. La energía emitida por cualquiera de estas series de reacciones se acopla con las necesidades energéticas de la reacción que resintetiza el ATP.

Las distintas reacciones están vinculadas funcionalmente de tal manera que la energía emitida por una es siempre utilizada por la otra. Los bioquímicos denominan a estos vínculos "reacciones acopladas", y se ha comprobado que este acoplamiento es el principio fundamental en la producción metabólica del ATP.

#### 1.5.- Metabolismo Aeróbico y Anaeróbico

El término metabolismo designa las diversas series de reacciones químicas que se realizan en el cuerpo, incluyendo las que acabamos de mencionar. El término aeróbico se refiere a la presencia de oxígeno, mientras que anaeróbico significa "sin presencia de oxígeno". Por consiguiente, el metabolismo aeróbico se refiere a una serie de reacciones químicas que requieren la presencia de oxígeno. Y el metabolismo anaeróbico se refiere a una serie de reacciones químicas que no necesitan la presencia de oxígeno.

Dos de las tres series de reacciones que participan en la resíntesis del ATP, la serie ATP-PC y la serie del ácido láctico, son anaeróbicas, mientras que la serie del oxígeno es aeróbica.

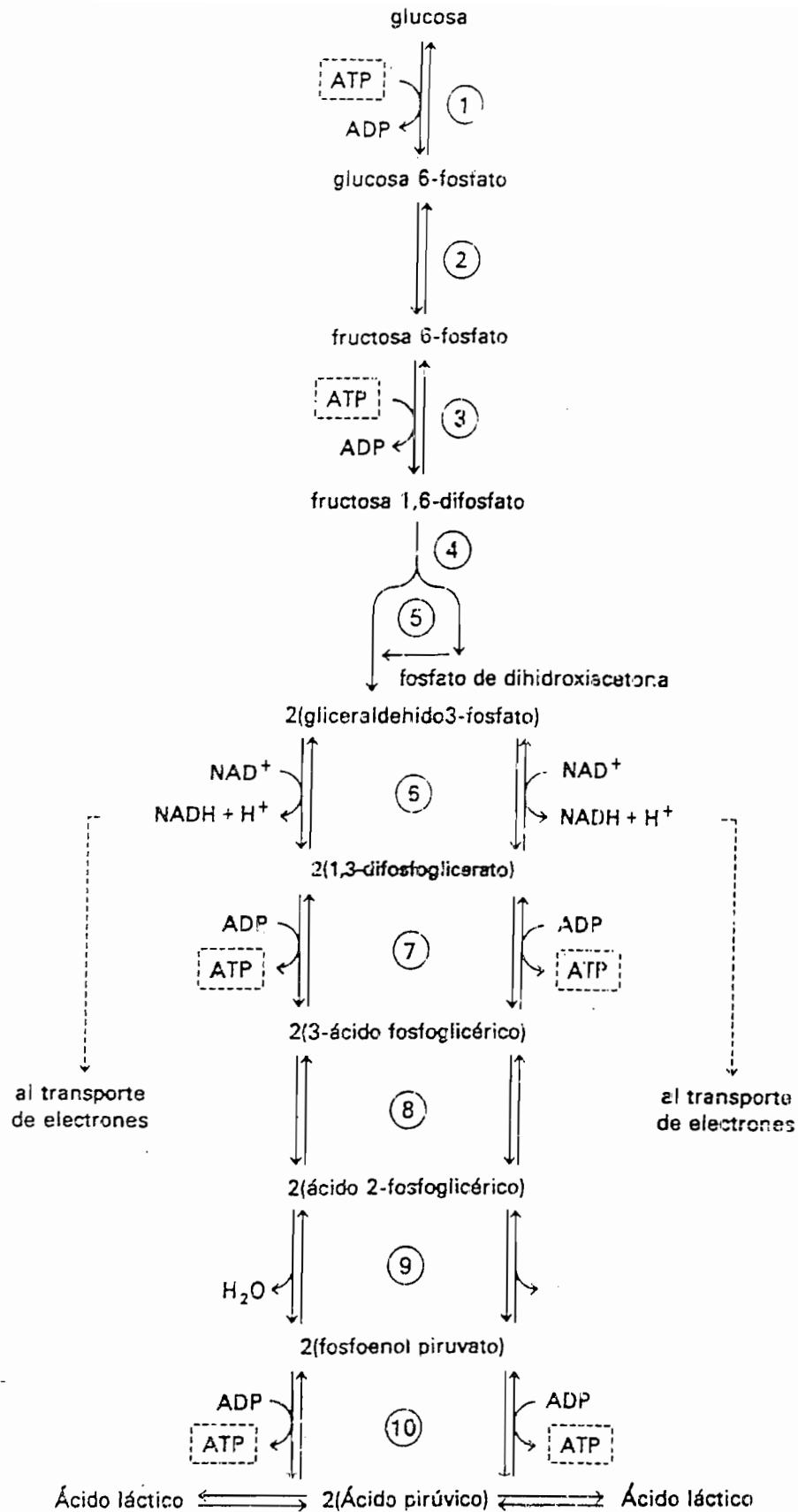
#### 1.6.- Glucolisis y glucogenolisis

Se entiende por glucolisis al conjunto de reacciones químicas que sufre una molécula de glucosa cuando entra en una célula para ser usada como energía.

Se entiende por glucogenolisis al conjunto de reacciones químicas que sufre una molécula de glucógeno (que es una forma de almacenamiento de la glucosa) cuando es usada para producir energía.

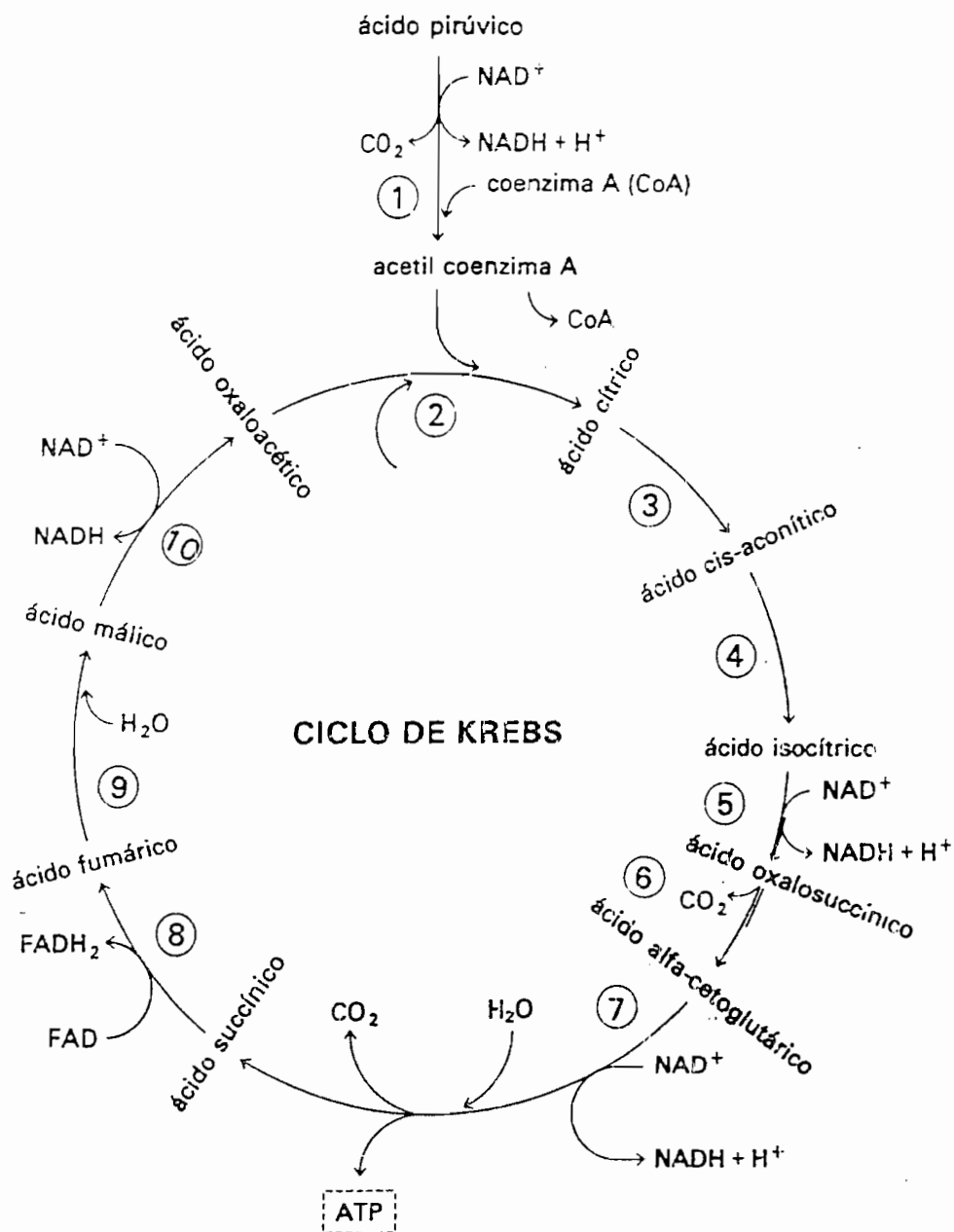
#### 1.7.- Ciclo de KREBS

Se denomina así a un conjunto de reacciones químicas que se producen en la mitocondria cuando una molécula de glucosa se ha degradado hasta convertirse en dos moléculas de ácido pirúvico y éste, en presencia de oxígeno, se convierte en acetil-coenzima-A, iniciándose un ciclo que termina en el ácido oxaloacético que vuelve a combinarse con la acetil-coenzima-A y a iniciar el ciclo de nuevo.

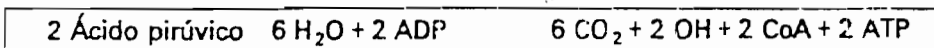


\*CEPID

039



Reacción neta por molécula de glucosa



|                               |                 |           |
|-------------------------------|-----------------|-----------|
|                               | CO <sub>2</sub> | H         |
| 2 Moléculas de ácido pirúvico | 2               | 4         |
| 2 Moléculas de acetil CoA     | 4               | 16        |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>6</b>        | <b>20</b> |

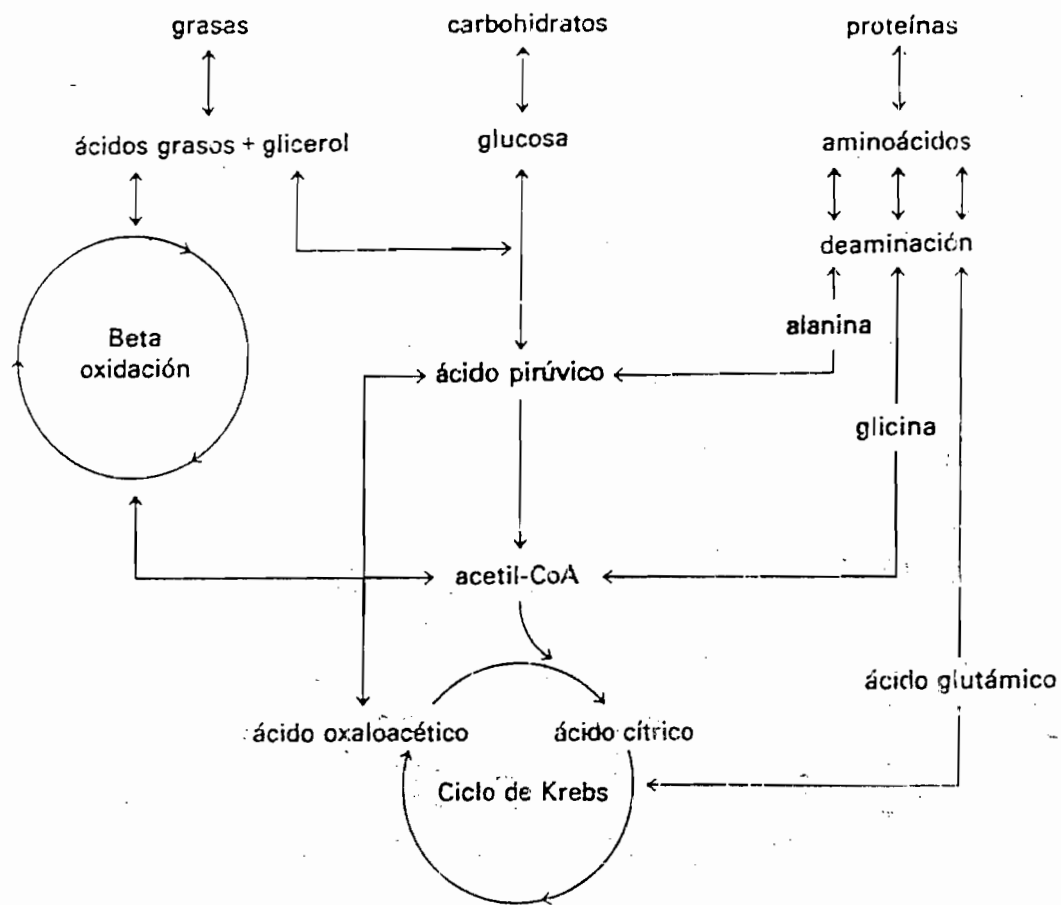
\*CEPID

040

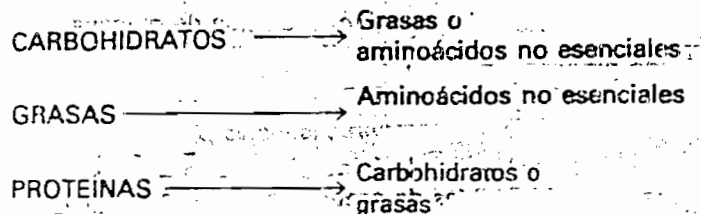
## 1.3.- Metabolismo Metabólico

Se denomina así a las interrelaciones entre el metabolismo de los carbohidratos, las grasas y las proteínas.

Los carbohidratos, las grasas y las proteínas pueden interconvertirse a través de diferentes compuestos comunes como son el ácido pirúvico, la acetil-coenzima-A, el ácido glutámico y el ácido oxaloacético, y entrar en el ciclo de KREBS para proporcionar energía.



## Principales interconversiones



## 1.9.- Balances energéticos

- La producción neta de ATP por la degradación completa de la molécula de glucosa en el músculo es de 36 moléculas de ATP. De ellas, 4 moléculas son formadas en la glucólisis y 32 en la fosforilación oxidativa (a partir del fosfoenol piruvato y mediante el ciclo de KREBS) (Mc Ardle, 1990).
- Por cada molécula de ácido graso con 18 carbonos se obtienen 147 moléculas de ATP durante la beta-oxidación y el metabolismo del ciclo de KREBS. Dado que hay tres moléculas de ácidos grasos en cada molécula de triglicérido, se formarán 441 moléculas de ATP. Por otro lado, como durante el catabolismo del glicerol se forman 22 moléculas de ATP, por cada molécula de grasa neutra catabolizada para energía, se obtendrán 463 moléculas de ATP. Esta vía sólo es posible en presencia de oxígeno, de ahí que el organismo utilice este sistema muy tardíamente, ya que, para que se metabolicen continuamente las grasas en el molinillo metabólico, hace falta un cierto nivel de degradación de los carbohidratos, por eso se dice que las grasas "arden en la llama de los carbohidratos" (Mc Ardle, 1990).
- El catabolismo de las proteínas como sustrato energético sólo se da en aquellos casos de ejercicio muy prolongado.

## 2.- SISTEMAS AERÓBICO Y ANAERÓBICO

Existen actividades deportivas cuyo requerimiento energético no es el mismo. Por ejemplo, los saltos, carreras de velocidad, halterofilia, etc., requieren una producción relativamente alta de energía en un período breve. El esquí de fondo, la maratón, en cambio, necesitan la producción de energía durante períodos prolongados (baja energía). Otras actividades requieren una mezcla de alta y baja energía.

Todas estas diversas necesidades se pueden satisfacer ya que existen tres formas claramente diferentes de proveer energía a los músculos:

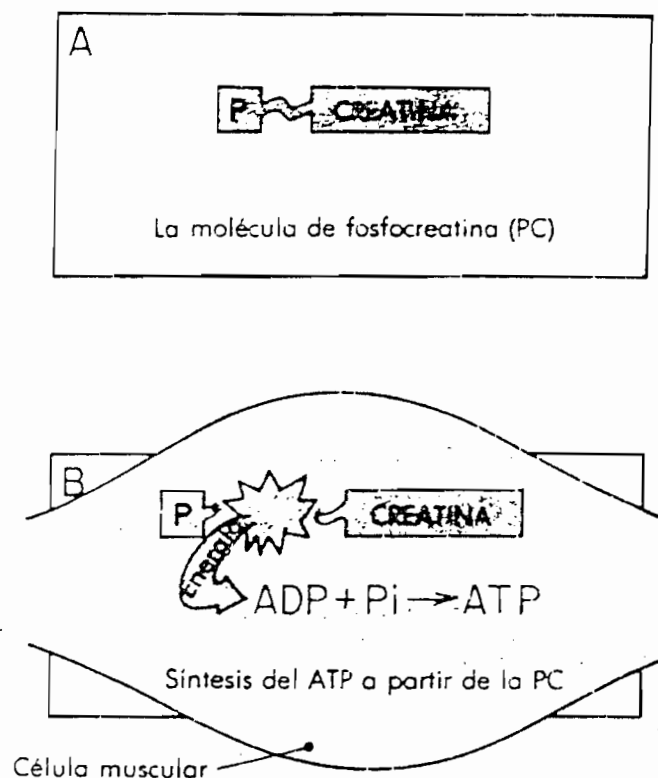
- El sistema anaeróbico aláctico.
- El sistema anaeróbico láctico.
- El sistema aeróbico.

### 2.1.- Sistema anaeróbico aláctico o sistema del fosfágeno: ATP-PC

PC o CP es la abreviatura de la fosfocreatina, compuesto fosfatado rico en energía, íntimamente vinculado al ATP. El PC se almacena en las células musculares como el ATP, y cuando se descompone se libera una gran cantidad de energía.

Por lo tanto, el sistema anaeróbico aláctico es aquel que proporciona energía por degradación del ATP presente en el músculo y por la resíntesis del ATP facilitada por la degradación del fosfato de creatina PC (en condiciones normales, el músculo posee unas reservas de ATP y PC que son las primeras que se utilizan).

Se denomina anaeróbico aláctico porque las reacciones se realizan sin presencia de oxígeno y no se produce ácido láctico como resultado de las mismas.



\*CEPID

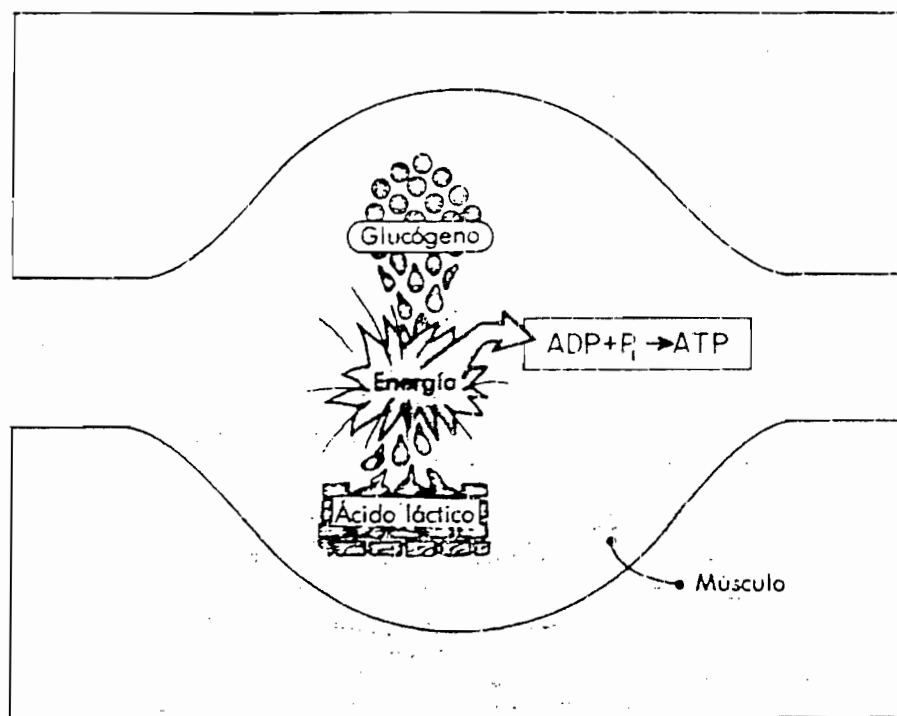
- Sistema ATP-PC, llamado también el sistema del fosfágeno.
- A) La fosfocreatina, que se almacena en las células musculares, contiene un enlace de alta energía.
- B) Cuando se descompone el ATP durante la contracción muscular, la energía liberada durante la degradación de PC lo forma de nuevo con rapidez.

Con la misma rapidez que el ATP se descompone durante la contracción muscular, lo resintetiza el ADP y el P<sub>i</sub> con la energía liberada por la descomposición del PC almacenado. Por cada mol de PC descompuesto se resintetiza un mol de ATP.

Las reservas musculares totales de ATP y PC (llamadas colectivamente fosfágenos) son muy pequeñas: sólo alrededor de 0,3 mol en las mujeres y 0,6 mol en los varones. Por lo tanto, la cantidad de energía obtenible a través de este sistema es limitada. En una carrera de 100 m., por ejemplo, la reserva de fosfágenos en los músculos que actúan, estaría probablemente agotada al final de la misma. Ahora bien, "la utilidad del sistema ATP-PC se encuentra en la rápida disponibilidad de la energía antes que en su cantidad". Así, las actividades físicas que requieren pocos segundos para realizarse dependen totalmente de los fosfágenos almacenados como fuente primordial de energía.

## 2.2.- Sistema anaeróbico láctico o sistema del Ácido Láctico

Este sistema es conocido igualmente como "glucólisis anaeróbica". El término "glucólisis" se refiere a la degradación de la glucosa de forma "anaeróbica", sin oxígeno. En este sistema la descomposición de la glucosa provee la energía necesaria con la cual se elabora el ATP.



\*CEPID

El sistema del ácido láctico (glucólisis anaeróbica)

El hidrato de carbono (glucógeno) se descompone anaeróbicamente (sin oxígeno) en ácido láctico. Este último origina fatiga muscular. La energía liberada durante esta descomposición se utiliza para resintetizar el ATP. Los ejercicios realizados a cargas máximas durante periodos entre uno y tres minutos dependen en gran medida del sistema del ácido láctico para la provisión de energía del ATP.

Cuando el azúcar sólo se descomponie parcialmente, uno de los productos finales es el ácido láctico (de ahí el nombre del sistema).

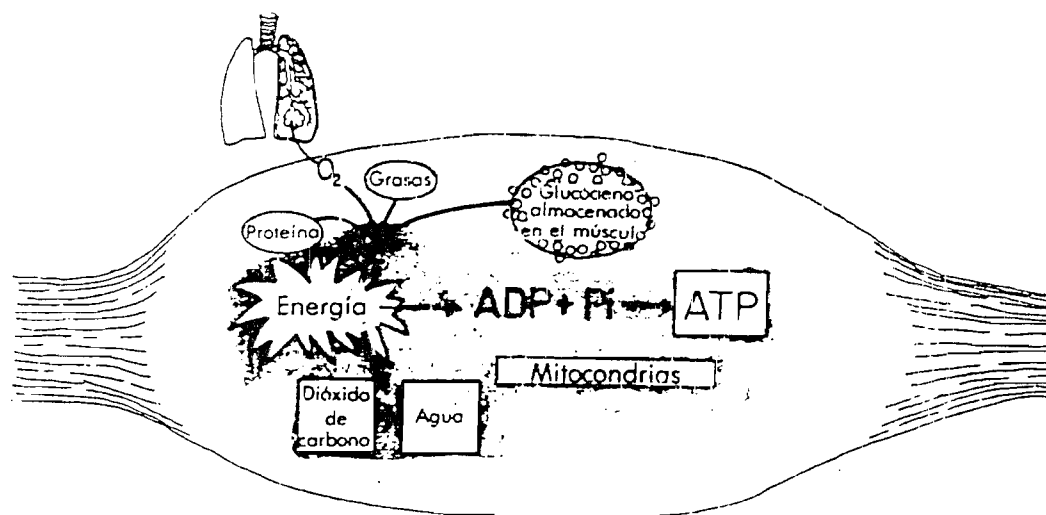
Cuando el ácido láctico se acumula en los músculos y en la sangre alcanzando niveles muy elevados, se origina una fatiga muscular transitoria, lo que supone una limitación del sistema.

Otra limitación del sistema del ácido láctico vinculada con su carácter anaeróbico es el hecho de que sólo pueden resintetizar algunos moles de ATP a partir de la descomposición del azúcar en comparación con el rendimiento posible cuando está presente el oxígeno. Por ejemplo, sólo se pueden elaborar tres moles de ATP mediante la descomposición anaeróbica de 180 grs. de glucógeno (forma de almacenamiento de la glucosa o el azúcar en los músculos), en cambio, la descomposición aerobia de 180 grs. de glucógeno origina la cantidad de energía suficiente para resintetizar 38 moles de ATP.

Este sistema del Ácido Láctico, al igual que el sistema ATP-PC, es muy importante porque suministra muy rápidamente una cantidad de energía en forma de ATP. Por ejemplo, las pruebas que se realizan a máximos esfuerzos durante periodos de uno a tres minutos, como las carreras de 400-800 mts., los finales de 1.500 mts., o la milla, dependen en gran medida del sistema de ácido láctico para su provisión de energía en ATP.

### 2.3.- Sistema aeróbico o sistema del oxígeno

Las reacciones de este sistema, así como las de las series anaerobias se producen en el interior de la célula muscular, pero está limitada a compartimentos subcelulares especializados, las mitocondrias. Éstos son cuerpos celulares en forma de zapatilla, que constituyen el asiento de la elaboración aerobia del ATP.



\*CEPID

El sistema del oxígeno es aerobio

La descomposición aerobia de los hidratos de carbono, las grasas e, incluso, las proteínas, suministra energía para la resíntesis del ATP. Como se puede elaborar una cantidad abundante de ATP sin subproductos que originen fatiga, el sistema aerobio es sumamente adecuado para las actividades de resistencia.

Además del hecho de que se puede elaborar una abundante cantidad de ATP durante el metabolismo aerobio, los subproductos resultantes no originan fatiga (dióxido de carbono y agua). El dióxido de carbono que se produce se difunde libremente desde las células musculares a la sangre, y es llevado al pulmón desde donde se exhala. El agua que se forma resulta útil dentro de la propia célula (la mayor parte de la célula es agua).

Otra característica del sistema aerobio se refiere al tipo de sustancias alimenticias requeridas para su descomposición. No sólo el glucógeno, sino también las grasas y las proteínas, se pueden descomponer aerobiamente en dióxido de carbono y agua, emitiendo energía utilizable para la resíntesis de ATP. Si bien se pueden utilizar proteínas como un combustible energético, normalmente no se emplean en el ejercicio.

El uso de estas sólo se produce cuando no se dispone de otras sustancias alimenticias, como ocurre durante una falta grave y prolongada de alimento.

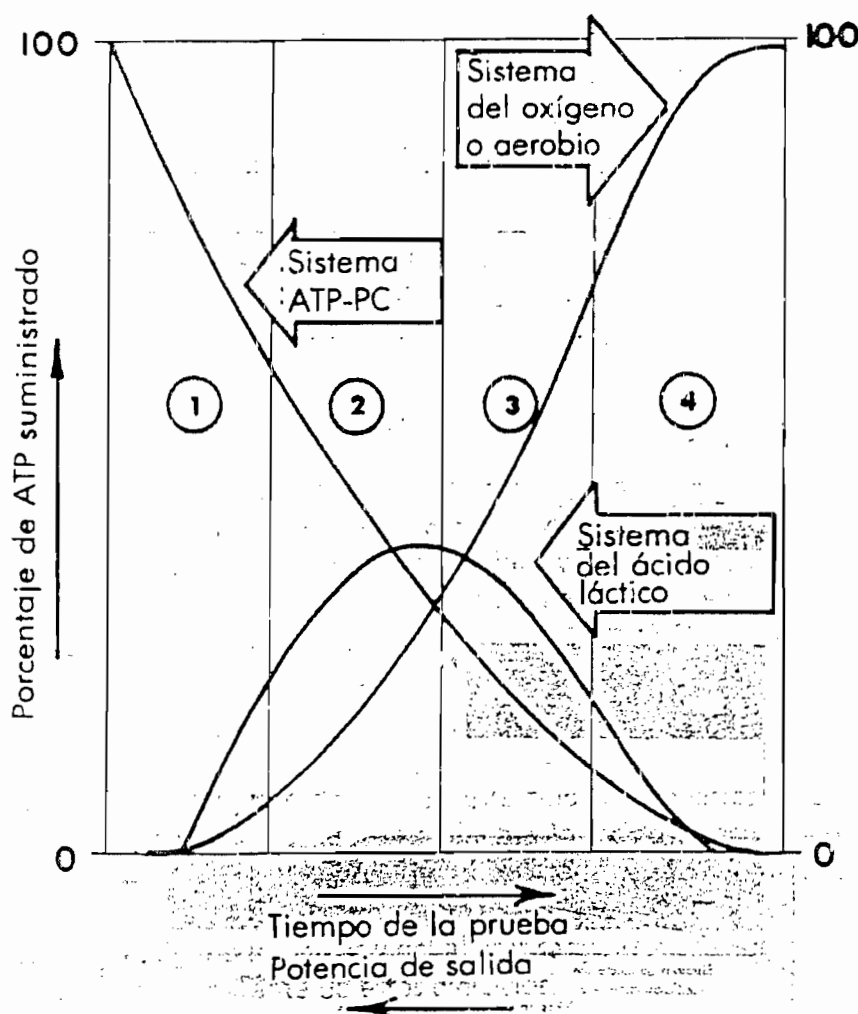
La cantidad de oxígeno proveniente del ambiente que necesitamos consumir para sintetizar un mol de ATP es aproximadamente de 3,5 litros si el glucógeno es el combustible alimenticio, y alrededor de 4 litros si se trata de grasa. En reposo, las personas

consumen entre 0,2 y 0,3 litros, es decir, 200 a 300 mililitros de oxígeno por minuto. En otras palabras, se elabora un mol de ATP entre cada 12 ó 20 minutos en condiciones de reposo normales. Durante un ejercicio a un nivel máximo, la mayor parte de las personas pueden llegar a suministrar aerobiamente a los músculos que trabajan un mol de ATP por minuto; atletas de resistencia altamente entrenados pueden llegar a 1,5 moles por minuto.

Como curiosidad hay que destacar que durante la maratón (42,2 km.) se necesitan alrededor de 150 moles de ATP durante las 2 horas y 30 minutos de carrera.

### 3.- CONTINUUM ENERGÉTICO

En todas las actividades se produce un tipo de aportación energética por sistemas aeróbicos y anaeróbicos, de forma que los dos procedimientos forman un continuum y depende del tipo de esfuerzo de que se trate y de sus requerimientos energéticos el hecho de que predomine uno u otro sistema. FOX propone la idea de un *continuum* en el que distingue 4 áreas:



\*CEPID

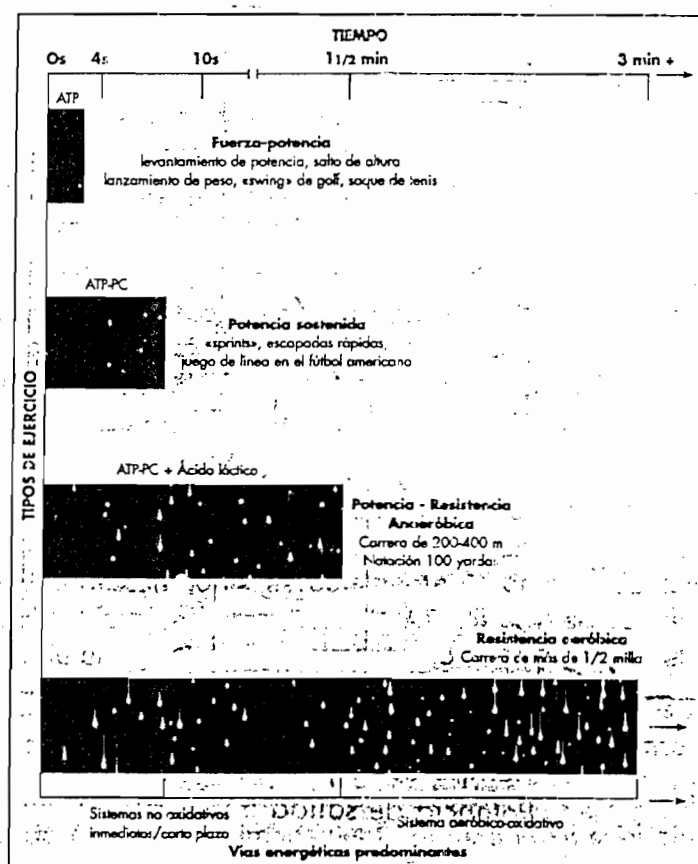
Cuatro Áreas del *continuum* energético

| Área | Tiempo de la prueba       | Principales sistemas energéticos que participan | Ejemplos de tipo de actividad                                                                                                                            |
|------|---------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Menos de 30 segundos      | ATP-PC                                          | Lanzamiento de la bala, carrera de 100 metros llanos, robo de la base en béisbol, "swings" en golf y tenis, carreras de los zagueros de fútbol americano |
| 2    | 30 segundos a 1,5 minutos | ATP-PC y ácido láctico                          | Carreras de 200 a 400 metros llanos, patinaje, pruebas de natación de 100 metros                                                                         |
| 3    | 1,5 minutos a 3 minutos   | Ácido láctico O <sub>2</sub>                    | Carrera de 800 metros llanos, pruebas gimnásticas, boxeo (asaltos de 3 minutos), lucha (asaltos de 2 minutos)                                            |

ADAPTADO DE FOX Y MATHEWS (1974)

## 4.- LA ENERGÍA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE EJERCICIO

Las teorías actuales parecen indicar que el combustible utilizado para un tipo específico de ejercicio depende en cierta medida del tipo de fibra utilizada en el mismo.



Las fibras de contracción rápida tienden a utilizar el fosfato de creatina en la escisión anaeróbica del glucógeno muscular y de la glucosa sanguínea para sintetizar el ATP; mientras que las fibras de contracción lenta son más aptas para aprovechar el metabolismo aeróbico de las grasas e hidratos de carbono, debido a su mayor cantidad de enzimas mitocondriales.

Mc Ardle (1990) propone una clasificación de actividades basadas en la duración del rendimiento y las vías energéticas celulares principales.

#### *4.1.- Ejercicio máximo, breve y explosivo*

Se podría considerar como ejercicio de este tipo cualquier prueba atlética (carreras) que dure menos de uno o dos minutos, además de lanzar, saltar, nadar hasta 200 metros, la velocidad en ciclismo, la mayor parte de ejercicios gimnásticos, levantamiento de pesas, etc. Estos ejercicios son realizados a expensas del ATP y del fosfato de creatina principalmente, un poco por medio del glucógeno, y prácticamente no tiene ninguna significación la utilización de la glucosa de la sangre o la grasa almacenada.

Si una actividad máxima y explosiva se repite varias veces con pausas de descanso, habría alguna recarga de ATP y fosfato de creatina durante los períodos de descanso. Parece ser que el ATP y el PC son recargados durante las pausas de descanso a expensas del glucógeno y, de alguna manera, de la glucosa de la sangre y de los ácidos grasos. Sin embargo, parece ser que sólo el fosfato de creatina es utilizado en gran cantidad durante aquellos intervalos de trabajo-descanso repetidos.

Ejemplos de estos trabajos: contraataques de baloncesto, fútbol americano, series de velocidad en atletismo, etc.

El fosfato de creatina se utiliza siempre, de algún modo, al comienzo de cualquier ejercicio, sin importar si la carga de trabajo es pesada o ligera; pero según sea más pesada y más vigorosa la actividad, mayor será el fosfato de creatina utilizada; si es ligera se recurren a otras fuentes de energía (glucógeno, glucosa sanguínea, ácidos grasos).

#### *4.2.- Ejercicio intenso de menos de 40 minutos*

Cuando una persona realiza ejercicios al máximo de sus posibilidades durante el tiempo que va de 1 a 40 minutos son el PC y el glucógeno los que actúan para producir energía, el glucógeno en sus dos sistemas aeróbico y anaeróbico, sin que exista peligro de que se agote. El glucógeno es el combustible importante en este tipo de ejercicio (carrera de 10.000 mts., por ejemplo).

#### *4.3.- Ejercicio intenso de 40 a 120 minutos*

La mayor contribución energética en este tipo de ejercicios es aportada por el metabolismo aeróbico del glucógeno, la glucosa, y los ácidos grasos, bajo las siguientes condiciones: para un ejercicio de unos 120 minutos de duración, una cuarta parte es aportada por la oxidación de los ácidos grasos, mientras el resto lo es por el metabolismo aeróbico del glucógeno muscular y del azúcar sanguíneo, siendo el glucógeno muscular el principal factor limitante de estos ejercicios.

Como ejemplo: fútbol, distancias largas en natación, etc.

#### *4.4.- Ejercicio intenso de más de 120 minutos*

Cuando un esfuerzo intenso se prolonga, la aportación energética de la grasa almacenada en las células musculares y en los ácidos grasos de la sangre va siendo cada vez mayor. A la hora del esfuerzo puede ser el aporte de grasa el 20 por ciento de la energía demandada, mientras que al cabo de 4 horas puede ser el 50 por ciento de dicha energía. La glucosa sanguínea también es utilizada, lo que es considerado por muchos fisiólogos como el posible factor limitante del ejercicio.

Como ejemplo, la carrera de maratón.

#### *4.5.- Ejercicio ligero*

En un ejercicio ligero hay una mayor actividad de las fibras de contracción lentas en relación con las rápidas, de manera que casi toda la energía para recargar el ATP es liberada por la transformación aeróbica de la grasa, el glucógeno y la glucosa.

Usualmente, no hay disminución importante de las grasas, de los carbohidratos o de las proteínas con un ejercicio ligero y prolongado, pero ocasionalmente la glucosa sanguínea comienza a declinar. La transformación del glucógeno no es esencial para poder prolongar el ejercicio ligero, como se ha demostrado por la resistencia normal al mismo de aquellos individuos incapacitados para escindir glucógeno.

## RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

Adjuntamos diversos conceptos relacionados con los sistemas de aporte energético y la resistencia a modo de recordatorio.

Principales factores que limitan la capacidad de rendimiento:

Según diferentes autores, MANNO (1991), LAMNERT (1993), ASTRAND (1985), FOX (1984), las principales variables que condicionan la capacidad de resistencia son las siguientes:

- \* El consumo máximo de oxígeno o  $\text{VO}_2$  máximo: Indica la potencia aeróbica máxima y es la mayor cantidad de oxígeno que un individuo puede utilizar o consumir durante un trabajo físico y respirando aire atmosférico, antes de que predominen los procesos anaeróbicos y comience a aumentar rápidamente la producción de ácido láctico.
- \* El umbral aeróbico: (fijado en 2 milimoles de lactato/litro de sangre) constituye el límite en el que comienza la producción energética por vía anaeróbica. Antes de sobrepasarlo, la fuente energética es puramente aeróbica. El umbral está fijado en 2 milimoles porque en reposo o durante un ejercicio suave siempre se está formando alguna cantidad de ácido láctico debido a las limitaciones impuestas por la actividad enzimática. Pero en estas circunstancias no se acumula porque su ritmo de eliminación iguala a su ritmo de producción.
- \* El umbral anaeróbico: (fijado en 4 milimoles de lactato/litro de sangre) es aquella cantidad de trabajo más allá de la cual se produce una acumulación de ácido láctico que provoca rápidamente el agotamiento muscular. O sea, es el valor límite a partir del cual los valores de lactato en la sangre sufren un incremento súbito.

En relación a la tasa de lactato (ácido láctico en sangre) como indicador del predominio de los procesos aeróbicos y anaeróbicos, los biólogos especializados han definido un umbral aeróbico correspondiente a una tasa de 2 milimoles de lactato por litro de sangre y un umbral anaeróbico de 4 milimoles. En la fase aeróbico-anaeróbica (fijada entre 2 y 4 milimoles), la producción de lactato se incrementa progresivamente con el esfuerzo, pero se mantiene un equilibrio entre producción y eliminación si el esfuerzo se mantiene constante.

El nivel de los umbrales se expresa a través del porcentaje requerido de  $\text{VO}_2$  máximo y la frecuencia cardíaca correspondiente. Tanto el  $\text{VO}_2$  máximo como el nivel del umbral anaeróbico se pueden modificar a través del entrenamiento. El aumento posible en el  $\text{VO}_2$  máx. es muy bajo (como máximo entre el 15 y el 20 por ciento), mientras que el umbral anaeróbico se puede modificar bastante (hasta un 50 - 70 por ciento). Este último es el efecto principal del entrenamiento de resistencia (Kinderman y cols., 1973).

### UMBRAL AERÓBICO

- \* Individuos desentrenados: 45-50 %  $\text{VO}_2$  máx. 125-130 (FC)
- \* Individuos entrenados: 60-65 %  $\text{VO}_2$  máx. 150-160 (FC)

### UMBRAL ANAERÓBICO

- \* Individuos desentrenados 50-70 %  $\text{VO}_2$  máx. 140-150 (FC)
- \* Individuos medianamente entrenados 70-80 %  $\text{VO}_2$  máx. 170-175 (FC)
- \* Individuos altamente entrenados 85-95 %  $\text{VO}_2$  máx. 180-190 (FC)

Un trabajo en el umbral anaeróbico ( que se sitúa por término medio hacia el 80 por ciento de la capacidad de rendimiento máximo y hacia una frecuencia cardíaca de 174 pulsaciones/minuto en sujetos entrenados) (Weineck, 1988, p. 118) puede ser soportado por un tiempo limitado; sin embargo un trabajo que se sitúa entre los dos umbrales puede ser soportado durante mucho tiempo (ejemplo: carrera de maratón).

- \* la acumulación de ácido láctico y el tiempo correspondiente para su eliminación (se reconvierte en glucosa); la máxima potencia lacto-ácida. O la capacidad para trabajar con altas tasas de ácido láctico en sangre; el proceso bioquímico de adaptación a nivel celular que se desarrolla por un aumento notable de las reservas de energía, por un aumento de la capacidad enzimática y por el perfeccionamiento de los mecanismos de regulación; los parámetros cardiovasculares, que implican el intercambio gaseoso en los pulmones; el corazón como bomba de alimentación con su frecuencia, su capacidad y su fuerza de contracción; el sistema circulatorio encargado del transporte de oxígeno por la sangre; y las redes de capilares donde se produce el intercambio de  $\text{O}_2$  por  $\text{CO}_2$  y de principios inmediatos, todos ellos son parámetros claves durante el trabajo de resistencia y en los que se producen adaptaciones importantes.

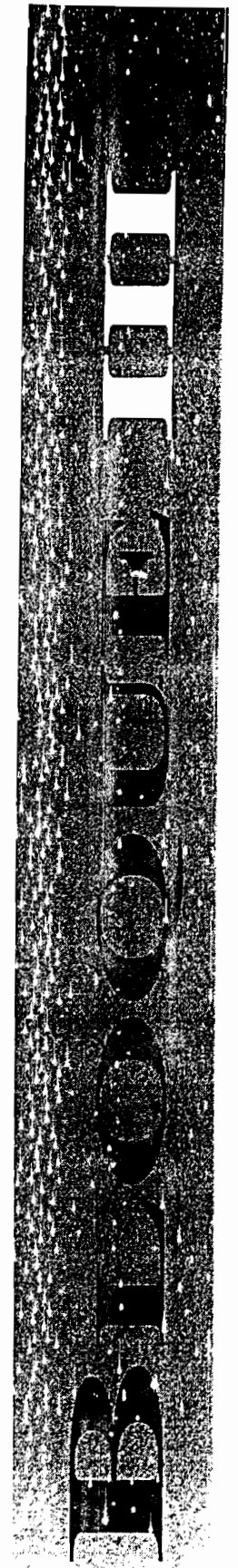
El ritmo cardíaco máximo de un individuo se puede estimar restando la edad de la cifra de 220 (por ejemplo,  $220 - 38 \text{ años} = 182 \text{ ppm.}$ ).

Para calcular el umbral de mejora mínima, basta restar el ritmo cardíaco de reposo del ritmo cardíaco máximo (por ejemplo,  $180 - 70 = 110 \text{ ppm.}$ ).

En general, se estima que la capacidad aeróbica mejora si la intensidad del ejercicio aumenta de 70 a 90 por ciento el ritmo cardíaco en relación al ritmo cardíaco máximo. De manera que los límites inferior y superior de la zona de entrenamiento aerobio se hallarán calculando el 70 por ciento y el 90 por ciento del ritmo cardíaco máximo respectivamente (por ejemplo, 70 por ciento de  $180 = 126 \text{ ppm.}$  y 90 por ciento de  $180 = 162 \text{ ppm.}$ ).

- \* El cociente respiratorio, que indica la relación entre el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producido y el oxígeno consumido (  $\text{C.R.} = \text{CO}_2 \text{ producido} / \text{O}_2 \text{ consumido}$ ). Los distintos tipos de principios inmediatos requieren diferentes cantidades de oxígeno para oxidarlos completamente; por tanto, el C.R. varía según sea el sustrato metabolizado. Por ejemplo, la combustión de 1 litro de oxígeno con glucosa, ácidos grasos o aminoácidos, libera, respectivamente, 5,1, 4,5 ó 4,7 kilocalorías. Es decir, las grasas, aunque liberen más energía que la glucosa (la oxidación de 1 gr. de grasa libera unas 9,3 kcal. y 1 gr. de glucosa, 4,1 kcal.), precisan más oxígeno en su combustión. Por eso el organismo recurre antes al metabolismo de los hidratos de carbono, porque precisa menos oxígeno.

**EL SISTEMA UROGENITAL.  
FUNCIONAMIENTO  
Y RELACIÓN EN EL  
PROCESO DE  
TERMORREGULACIÓN  
EN LA ACTIVIDAD FÍSICA  
DE NIÑOS Y ADOLESCENTES**



Antxon Gorrotxategi  
Patxi Aranzabal

# EL MOVIMIENTO HUMANO

BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS

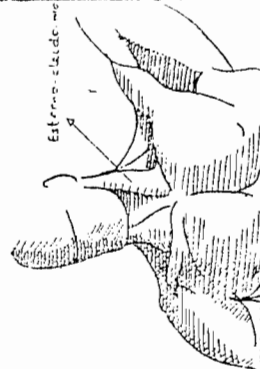
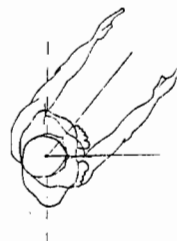
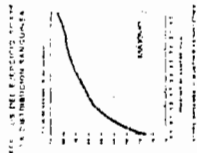
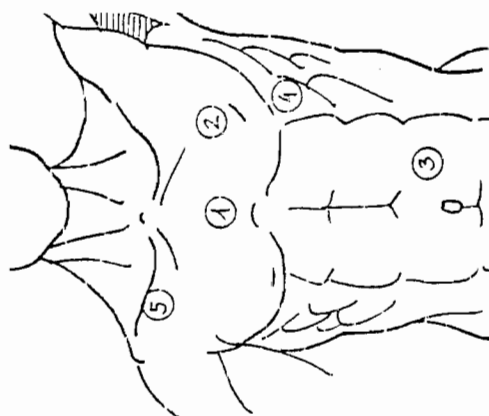
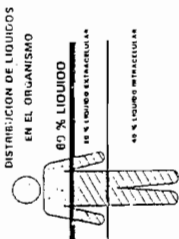
DISTRIBUCIÓN DE LÍQUIDOS

EN EL ORGANISMO

60 % LÍQUIDO

16 % LÍQUIDO EXTRACELULAR

44 % LÍQUIDO INTRACELULAR



Colección

Deporte

y

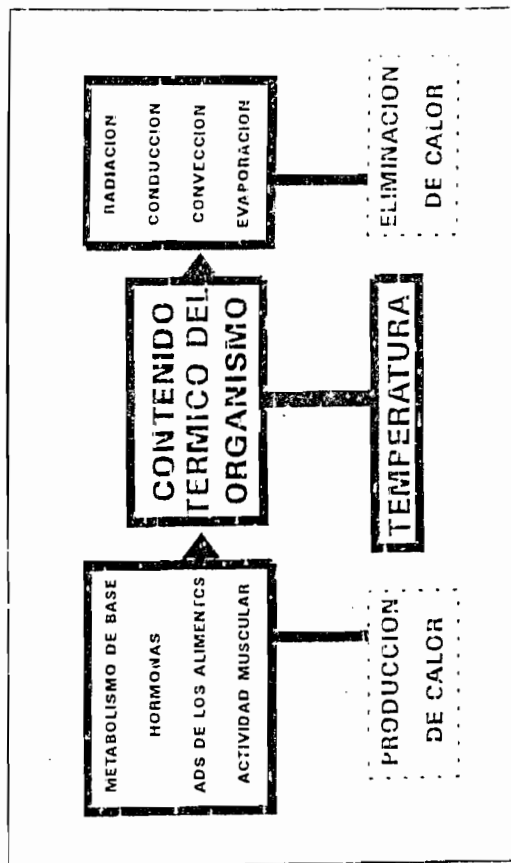
Salud

GYMNOS EDITORIAL

Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Termo-regulación", en *El movimiento humano. Bases anatómo-fisiológicas*, Madrid, Gymnos (Deporte y salud), pp. 179-191.

# TERMO-REGULACIÓN

El hombre, al igual que los demás mamíferos es un ser homotermo, es decir, la temperatura del interior de su cuerpo se mantiene en todo momento constante; la homeotermia no es una propiedad de los diferentes tejidos que componen nuestro organismo, ya que si aisláramos un tejido, éste seguiría las leyes físicas, y con el tiempo adquiriría la temperatura del medio; la homeotermia es una propiedad de organización que se debe a la existencia de procesos de termo-regulación que hacen que el núcleo central de nuestro cuerpo se mantenga a temperatura prácticamente constante.



Sin embargo, el medio en el que nos encontramos presenta frecuentes y a veces grandes cambios de temperatura; en un plazo de tiempo corto como pueden ser 24 horas, cambios de 10° Centígrados en la temperatura exterior son habituales en nuestro hábitat, y tampoco son infrecuentes variaciones de 20°C, pudiendo llegar en ocasiones a diferencias de 40°C en 24 horas en ambientes extremos. Es por ello que nuestro organismo debe tener unos sistemas con los que hacer frente a la diferente temperatura exterior, así como a sus cambios.

## FRAGILIDAD TÉRMICA DEL HOMBRE

A nivel celular los límites de temperatura que pueden ser soportados son muy amplios, ya que las células pueden 'soportar' una temperatura de prácticamente 0°C por abajo y hasta casi 45°C por arriba.

A nivel del organismo, sin embargo, los límites son mucho más estrechos, ya que el límite superior está alrededor de 42°C que pueden ser soportados durante cortos períodos de tiempo, mientras que el límite inferior está un poco más alejado de la temperatura corporal central. Por ello, podemos decir que la temperatura normal del organismo es muy próxima a la temperatura "normal".

En síntesis, el hombre vestido puede soportar temperaturas externas que van de -50°C hasta +50°C, pero sin embargo no puede soportar variaciones de más de 4-6°C en su medio interno.

## REGULACIÓN TÉRMICA

**1. Termorreceptores.** A nivel de la piel y con distribución desigual (más numerosos en la zona distal de las extremidades y en la cara), tenemos receptores que no sólo nos informan de la temperatura, sino que son muy sensibles a los cambios de temperatura.

**2. Vías Aferentes.** Existen nervios diferentes a los sensitivos, que están llevando la información térmica a los centros superiores.

**3. Centros Térmicos.** Situados a nivel del hipotálamo (a nivel cerebral) que reciben todas las informaciones periféricas y dan lugar a mecanismos reflejos que tienen su significación principalmente a nivel de la piel.

**4. Vías Eferentes:**

El sistema simpático estimula la producción de calor y disminuye la conducción de calor a través de la sangre por vasoconstricción (los vasos sanguíneos disminuyen su diámetro interno, con lo que el flujo de sangre es menor).

Las vías extrapituitarias, que van a dar lugar a los "escalofríos", que al fin y al cabo no es más que un mecanismo de producción de calor (son contracciones musculares).

**5. Los efectores.** Son los que van a "actuar" como respuesta a las "órdenes" que provienen de los Centros térmicos. Son los músculos, los vasos sanguíneos superficiales y las glándulas sudoríparas.

## MECANISMOS DE PRODUCCION DE CALOR

### METABOLISMO BASAL.

En condiciones basales, casi la totalidad de la energía química del metabolismo se transforma en calor.

### REGULACIÓN HORMONAL.

Variaciones hormonales, principalmente de la médula suprarrenal (adrenalina) y tiroideas (T3 y T4) estimulan diferentes catabolismos que tienen como resultado un aumento en la producción de calor.

### ADS DE LOS ALIMENTOS.

La digestión de los alimentos va a suponer un aumento de la producción de calor, que va a ser diferente en función de los alimentos ingeridos. Así la mayor Acción Dinámica Específica (ADS) se produce en la digestión de las proteínas.

### ACTIVIDAD MUSCULAR.

La práctica deportiva conlleva un aumento de la actividad muscular y con ello una mayor tasa metabólica con el fin de obtener una mayor cantidad de energía que nos permita la realización de un ejercicio. El "motor" muscular humano tiene un rendimiento mecánico establecido y se sitúa en torno al 25%; ello quiere decir que del total de energía que es 'quemada', sólo un 25% es utilizada para obtener un movimiento, mientras que el resto de la energía se 'pierde' y esta 'pérdida' sigue las leyes de la energía -que nunca se destruye, sino que se transforma- se convierte en calor. Podemos con ello hacernos una idea de la gran cantidad de calor que es generada en el curso de la actividad física a nivel muscular.

Puede incluirse como actividad muscular tendiente a generar calor los 'escalofríos' que se producen en situaciones de disminución de la temperatura interna, tal y como hemos comentado anteriormente.

## MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE CALOR

### RADIACIÓN:

Es la transmisión de calor de un objeto a otros que están a menor temperatura mediante ondas electromagnéticas.

El intercambio de calor por radiación depende de la influencia directa del sol sobre el cuerpo y de la temperatura de los objetos circundantes: suelo, carretera, muros, etc.

Estos elementos pueden modificar la temperatura de la piel.

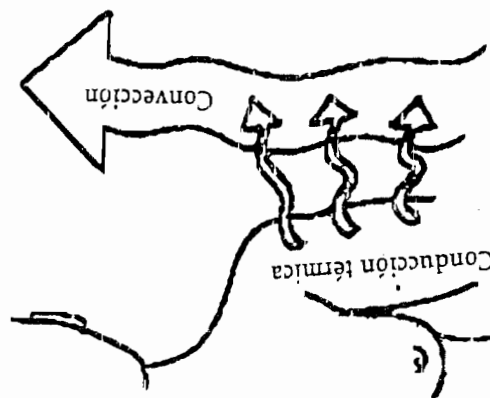
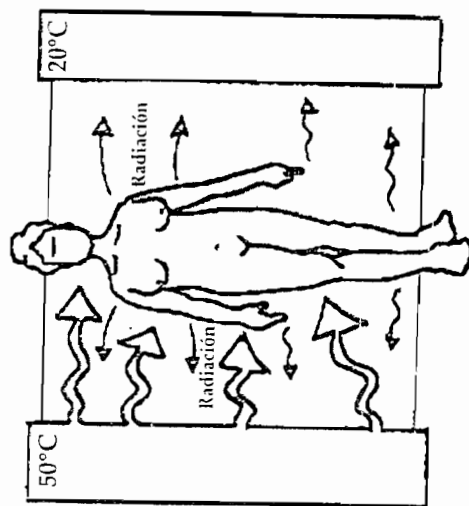
Por regla general, el medio ambiente es más frío que la superficie de la piel y la irradiación asegura una eliminación de calor. Pero cuando se está expuesto directamente a los rayos solares, grandes cantidades de calor son absorbidas por el cuerpo y deben ser disipadas por convección y por evaporación del sudor.

**CONDUCCIÓN:** Es la transmisión de calor entre dos objetos de temperaturas diferentes que se tocan.

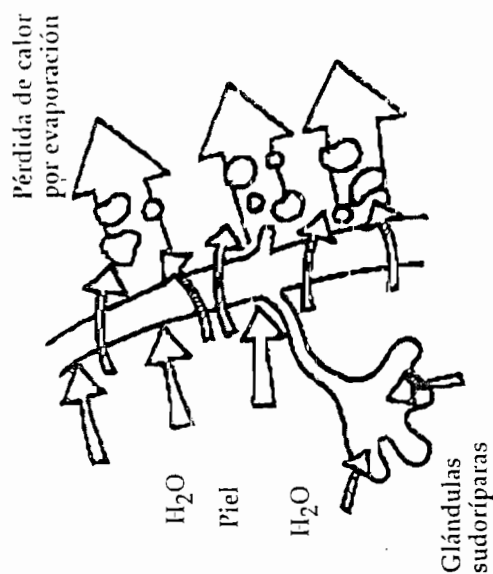
Va a depender también de la conductibilidad de los cuerpos en contacto, y podemos considerar que las pérdidas por Conducción en la práctica del Aerobic y deportes que se realizan al aire libre son inapreciables.

**CONVECCIÓN:** Es la transmisión de calor de un medio a otro gracias al desplazamiento de una sustancia calentada, sustancia que es el aire salvo en los deportes "acuáticos".

La cantidad de calor eliminada por convección depende de la diferencia de temperatura entre el aire ambiente y la superficie de la piel, y de la velocidad relativa del aire en relación al cuerpo.



**TRANSPIRACIÓN:** Es la pérdida de calor debida a la evaporación del sudor. Si este no se evapora no tiene efecto refrescante. Por cada gramo de sudor evaporado el cuerpo pierde 0'58 kilocalorías.



Si la eliminación de calor por convección e irradiación está limitada por la temperatura del medio ambiente, el calor producido en exceso deberá ser eliminado mediante la evaporación del sudor. En el curso de experiencias en laboratorio a temperatura ambiente de 20°C se han medido pérdidas de 2.8 litros de sudor en 90 a 100 minutos de trabajo al 55% de su potencia máxima aerobia (Frecuencia cardíaca: 126 pul/min, Consumo de Oxígeno: 2,94 l/min) en un ciclista profesional.

## CONCLUSIONES

Los seres humanos no pueden tolerar más que pequeñas variaciones en la temperatura de su núcleo central. Es por ello que tanto con tiempo caluroso como con frío, el organismo realiza diferentes ajustes termorreguladores para producir o conservar el calor cuando la temperatura es baja o bien para eliminar el calor cuando la temperatura ambiente es elevada.

El 'termostato' regulador está situado en el hipotálamo. Este centro de coordinación pone en marcha los diversos mecanismos de adaptación, como respuesta a la información recibida de los diferentes termorreceptores cutáneos, así como a las variaciones en la temperatura de la sangre.

La conservación del calor corporal con tiempo frío, se realiza por medio de ajustes circulatorios que reorientan la sangre de la periferia hacia las regiones más pro-

fundas, si esta acción no es suficiente para hacer frente a la pérdida de calor, el cuerpo empieza a 'tiritar' para aumentar la cantidad de calor producido.

Como reacción al calor, el organismo dirige la sangre caliente hacia la periferia. El calor corporal se pierde por radiación, por conducción, por convección y por evaporación.

Cuando las condiciones climáticas son adversas (tiempo caluroso y húmedo), la eficacia de las pérdidas por evaporación está muy limitada; hay que prestar mucha atención a la Deshidratación y a la Hipertermia.

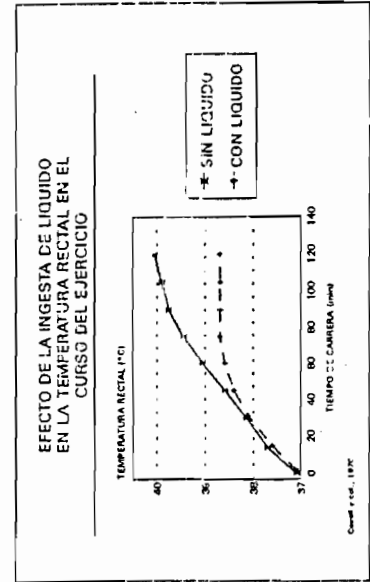
El calor metabólico producido en el curso de la práctica deportiva suele ser suficiente para mantener la temperatura corporal, aunque haga frío y el deportista esté ligeramente vestido.

## HIDRATACIÓN

Ya hemos visto que el cuerpo "reacciona" frente a los aumentos de temperatura interna con una serie de mecanismos de eliminación de calor, de los que el más importante es el de la TRANSPIRACIÓN. Como bien podemos suponer, este mecanismo "produce" una pérdida de agua, y es este agua el que tenemos que ir reponiendo para que el sistema no deje de funcionar.

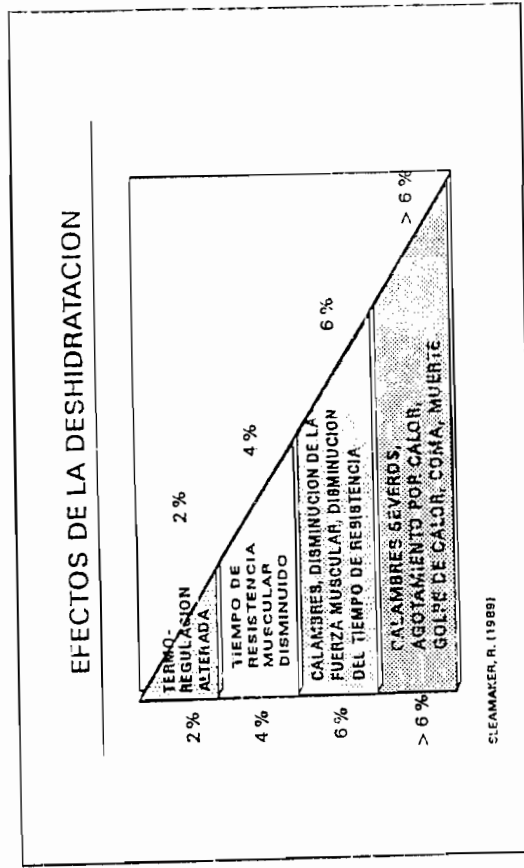
¿Qué pasaría si a pesar de la transpiración consecuente al ejercicio no bebiéramos agua? Si el ejercicio es de corta duración (hasta 1 hora) no pasa absolutamente nada, pero si el ejercicio es más largo va a haber un aumento de la temperatura del cuerpo por encima de 38 grados y una deshidratación. Como consecuencia, tendríamos:

1.- Un peligro incluso para la vida, ya que al juntarse una temperatura externa elevada y un ejercicio largo e intenso puede elevarse la temperatura corporal hasta 41 y 42 grados, tal y como vemos en el gráfico relativo a un trabajo bien conocido, donde se compara un grupo



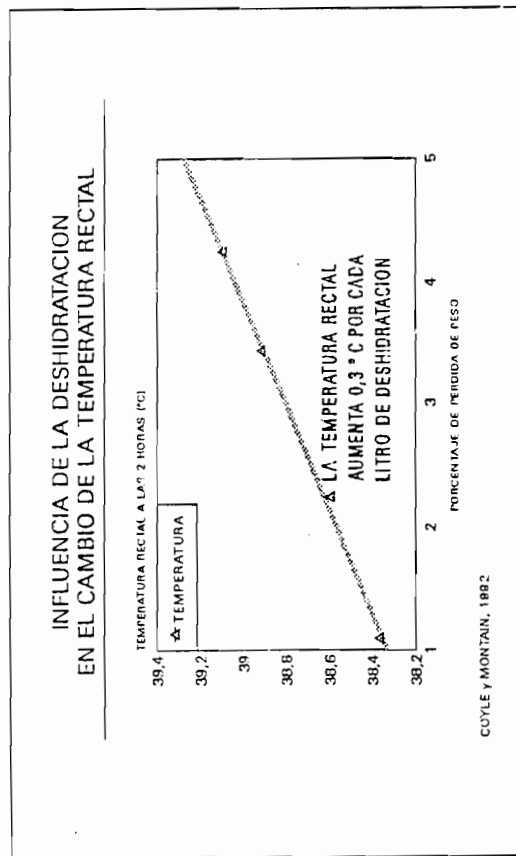
de atletas que van bebiendo frente a otro que no bebe en un ejercicio de 120 minutos y en el que ya alcanzan una temperatura de 40°C los atletas que no beben, lo que unido a unas condiciones climáticas adversas nos pueden dar las cifras de 41-42°C que comentamos.

Este aumento de temperatura corporal puede hacer fracasar el centro termorregulador, con lo que se produce una situación bien extraña, con sensación de presión en la cabeza, escalofríos y piloerección (cabeza de gallina), lo que no dejan de ser reacciones anómalas dada la temperatura elevada, ya que al fin y al cabo son reacciones contrarias a las necesarias; caso de persistir en la situación y elevarse aún más la temperatura corporal, se produce fatiga muscular aguda, desorientación e incluso pérdida de equilibrio, situación grave que de persistir dará lugar al fracaso sudoral, produciéndose un coma e incluso la muerte.

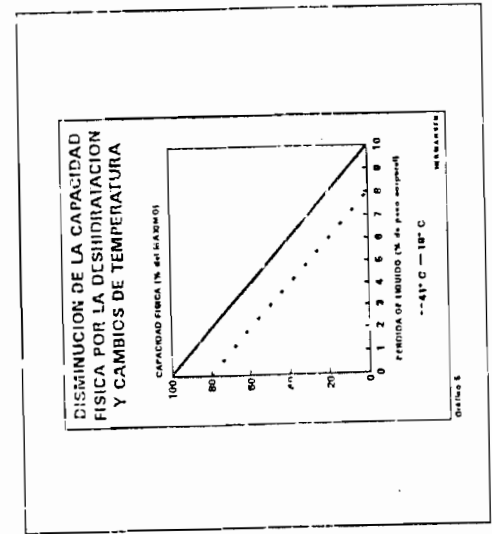
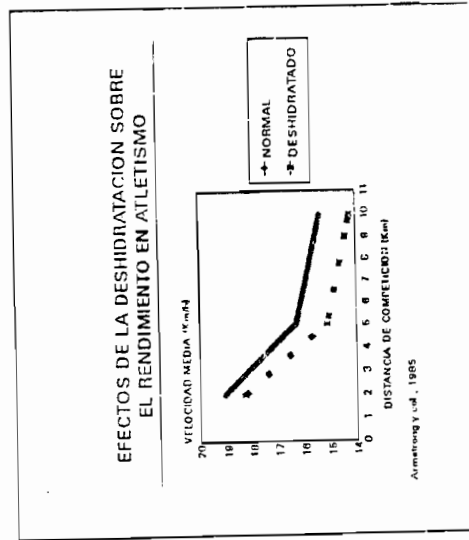


A pesar de que es una situación límite y que pocas veces se produce, el hecho de realizar un ejercicio prolongado en un ambiente térmico elevado, no hidratándose en absoluto y utilizando una vestimenta inadecuada puede favorecer la aparición de estos problemas; en este sentido es conveniente advertir del peligro que corren muchos deportistas, de ocio principalmente, que aun con temperatura elevada utilizan prendas de plástico que impiden la evaporación del sudor y el intercambio de calor con el medio, pudiéndose elevar de manera peligrosa la temperatura corporal y no consiguiendo su objetivo teórico de bajar su contenido en grasa (el sudor no contiene grasa).

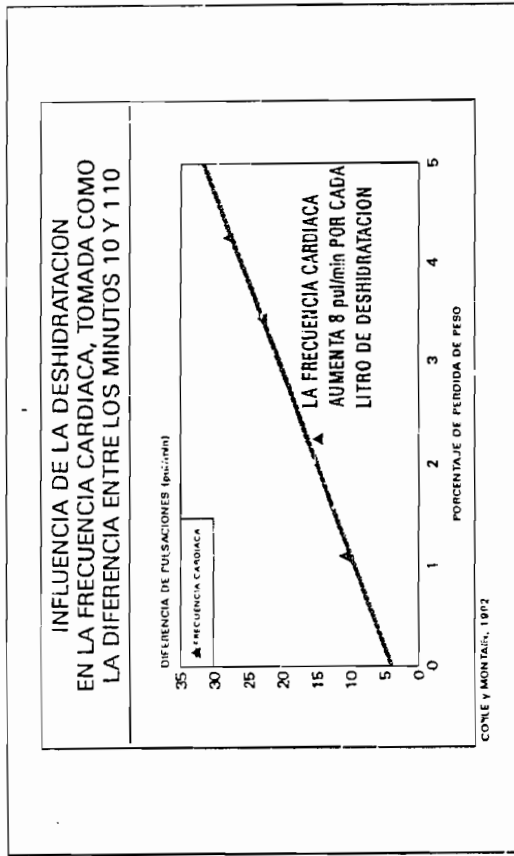
Está claro que esto sólo va a suceder en casos extremos, pero sí puede haber otros problemas menos graves con temperaturas más bajas, por lo que ya desde el entrenamiento debe habituarse el deportista a mantener una adecuada hidratación.



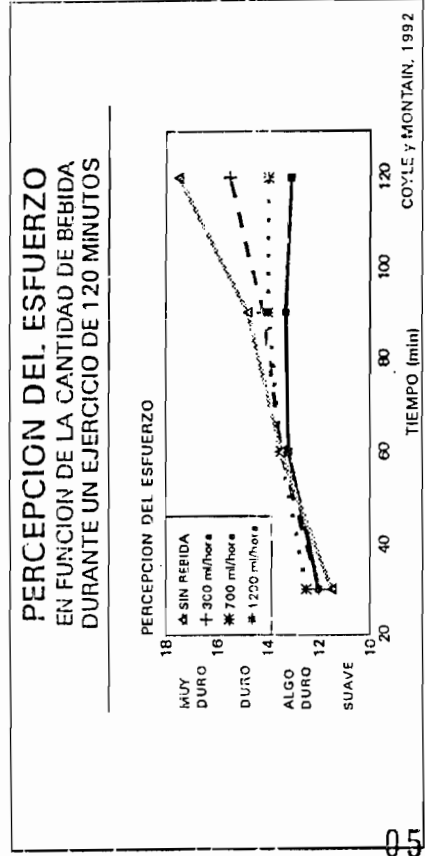
2.- Una disminución del Rendimiento. Se considera que una deshidratación del 2% (algo así como una pérdida de 1,5 Kg. en una persona de 70 Kg) lleva consigo una disminución del Rendimiento del 20%, y una deshidratación del 4% (3 Kg en una persona de 70 Kg) conlleva una disminución del Rendimiento del 40%. En los gráficos que vemos a continuación, se observa la diferencia de rendimiento genérico en porcentaje (trabajo de Hermansen), así como la disminución de rendimiento en velocidad de carrera y en diversas distancias (trabajo de Armstrong).



3.- **Modificaciones en la Frecuencia Cardíaca.** Una hidratación inadecuada que conlleva a una deshidratación, va a dar lugar a la modificación de parámetros utilizados en la regulación de la intensidad del esfuerzo, como es la frecuencia cardíaca. Es decir, el mismo nivel de intensidad de esfuerzo requiere una frecuencia cardíaca tanto más elevada, cuanto mayor sea el grado de deshidratación.

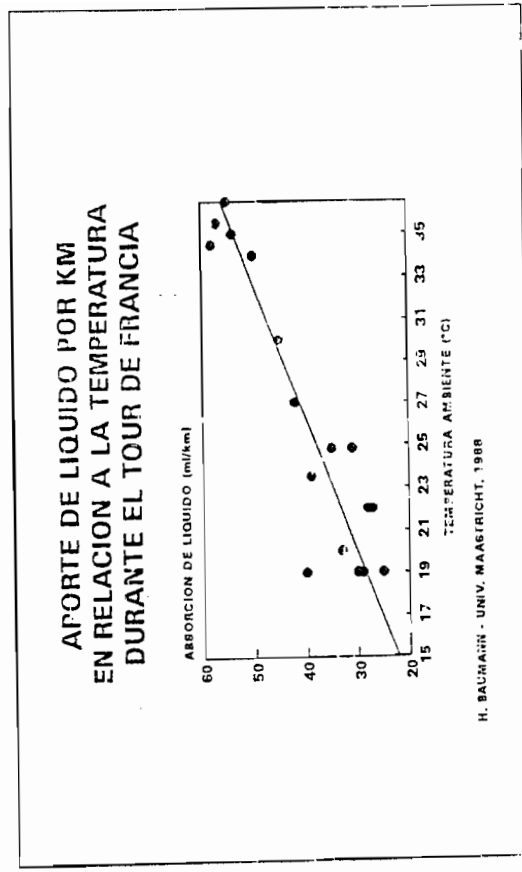


4.- **Percepción de Esfuerzo.** La realización de un ejercicio prolongado en situación de calor y sin hidratación, va a ser percibido por el deportista como un ejercicio mucho más duro que si ese mismo ejercicio lo realiza con una hidratación adecuada.



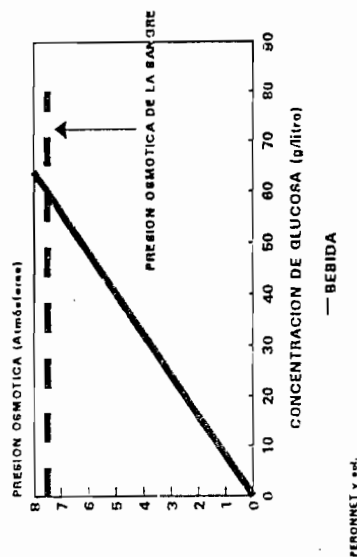
Vemos pues que hay que hidratarse, pero ¿cómo y con qué?

Hay que beber poco y a menudo; cuanto más calor haga, beber más, pero sin sobrepasar 800 centímetros cúbicos por hora, que es la máxima velocidad de vaciado del estómago. No obstante, hay que significar que un deportista habituado a beber durante el ejercicio va a ser capaz de asimilar cantidades superiores a 1 litro/hora, llegando en casos extremos a asimilar cantidades superiores a 1500 cc/hora, tal y como vemos en el gráfico adjunto, en el que con temperaturas superiores a los 30°C, hay ciclistas que están asimilando hasta prácticamente 2 litros/hora a lo largo de varias horas que dura una etapa.



Esto desde el comienzo del ejercicio. Una vez terminado el ejercicio, seguir bebiendo en esa misma proporción o incluso a tragos mayores, ya que aunque se acumule algo en el estómago, no va a traer consigo los problemas que se pueden plantear durante el ejercicio.

### VARIACIONES DE LA PRESION OSMOTICA EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DE GLUCOSA

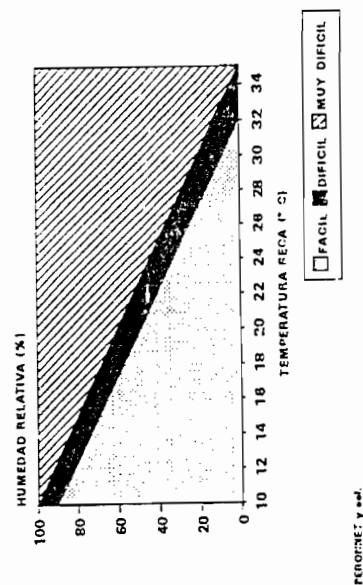


En cuanto a qué beber, diremos que lo importante es el agua y el resto es accesorio; no obstante al agua se le puede añadir azúcar o glucosa pero que no sobrepase los 20 gramos por litro cuando hace mucho calor. Cuanto más fría sea la temperatura exterior, más se puede aumentar la concentración de azúcar o glucosa y si no hace mucho calor (15-20°C) se puede aumentar la concentración hasta 20-25 gramos por litro. En cuanto a máximas concentraciones de glucosa hay diversidad de opiniones, aunque la mayoría piensa que no debe superarse la concentración del plasma sanguíneo para favorecer la salida del estómago y su absorción en el intestino (60 gramos/litro).

Respecto a los minerales hay más diversidad de opiniones todavía, desde el que aconseja grandes cantidades a todas horas (Pre, Per y Post competición) hasta el que no ve ninguna necesidad extra. De ahí que aconsejemos su utilización en aquellas circunstancias en que se produzcan grandes pérdidas sudorales debido a la temperatura ambiente alta y ejercicios de larga duración, y con frecuencia diaria. No obstante, deben estar a muy baja concentración (máximo 3'5 gr/litro, que al fin y al cabo es su concentración en el sudor), purificándose aumentar ésta en la bebida de Recuperación.

En cuanto a la temperatura del líquido tenemos también gran diversidad de opiniones, que van desde los 4°C hasta los 35°C. Particularmente aconsejamos una temperatura entre 10 y 15°C.

### CONDICIONES DE REFRIGERACION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA



Siempre hay que tener en cuenta que el líquido sea del gusto de quien lo toma. de manera que por gusto, podría incluso variar el contenido, como puede ser la proporción de electrolitos o glucosa (siempre que no sea en gran medida) y adaptarse así a preparados comerciales.

Ser conscientes de que las condiciones ambientales van a modificar las pérdidas y también las necesidades; habitualmente nos fijamos en la temperatura, pero tan importante como la temperatura lo es la humedad relativa del aire, tal y como vemos en el gráfico siguiente en el que se nos muestra las diferentes condiciones ambientales y su repercusión en la eliminación de calor corporal.

# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO



## SEGUNDO NIVEL

Pascual Brumós, Isabel (1998), "Terminología", en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Departamento de Educación y Cultura-Gobierno de Aragón/Mira Editores, pp. 145-152.

## TEMA IV: TERMORREGULACIÓN

Isabel Pascual Brumós

1. INTRODUCCIÓN
2. QUÉ SUCEDE ANTE UN AMBIENTE EXTERIOR DE FRÍO
  - 2.1. Congelación local.
  - 2.2. Hipotermia general.
3. QUÉ SUCEDE ANTE UN AMBIENTE EXTERIOR DE CALOR
  - 3.1. Qué sucede ante un ambiente exterior de calor y alto grado de humedad.
  - 3.2. Cuáles son las medidas de prevención ante ambientes calurosos.
  - 3.3. Qué enfermedades puede causar el calor.
4. EFECTOS DE LA ROPA SOBRE LA TERMORREGULACIÓN

*En este tema se estudia no solamente en qué consiste el mecanismo de la termorregulación, sino qué sucede cuando este mecanismo falla.*

062

145

## *1.- INTRODUCCIÓN*

El mecanismo de la termorregulación o regulación de la temperatura corporal debe ser considerado de manera especialmente importante dentro de los mecanismos de adaptación al ejercicio, ya que su fracaso puede llevar incluso a la muerte.

Podemos citar como ejemplo un dato estadístico americano referente a fútbol y que describe 70 muertes en el intervalo comprendido entre los años 1960 y 1983 debidas al llamado stress térmico, es decir, a un excesivo calor durante los partidos o los entrenamientos de fútbol americano.

Para hablar de termorregulación diferenciamos dos compartimentos corporales:

- Uno central, que comprende las cavidades craneal, torácica, abdominal y pélvica y, además, las porciones más profundas de las masas musculares de las extremidades.
- Otro periférico, como la piel, el tejido subcutáneo y las partes superficiales de las masas musculares.

La parte periférica se considera como una capa aislante que rodea a la parte central para que ésta, que es la que contiene los órganos más vitales, pueda mantener una temperatura constante.

Puede tolerarse sin riesgo una bajada de la temperatura corporal interna de hasta 10° C y, en cambio, un aumento de tan sólo 5° C.

El calor corporal se gana directamente a través de las reacciones químicas que se producen en el metabolismo.

Cuando los músculos se activan, su contribución al aumento de calor corporal es muy grande; con la acción de tiritar, por ejemplo, el ritmo metabólico aumenta de 3 a 5 veces con respecto al reposo y durante un ejercicio vigoroso este ritmo puede aumentar de 20 a 25 veces, lo que significa que podría aumentar la temperatura central o interna 1° C cada 5 minutos de ejercicio si no se pusiesen en marcha los mecanismos de termorregulación.

El termostato para la regulación de la temperatura está situado en el hipotálamo; este centro inicia los ajustes a partir de la información que recibe de los receptores térmicos de la piel y de los cambios de la temperatura de la sangre que circunda este hipotálamo.

## *2.- QUÉ SUCEDÉ ANTE UN AMBIENTE EXTERIOR DE FRÍO*

Ante esta situación se ponen en marcha dos tipos de mecanismos:

- Un mecanismo intenta conservar el calor corporal mediante cambios vasculares que desvían la sangre desde la región periférica a la central, produciéndose una vasoconstricción periférica para reducir el paso de sangre hacia la piel que está fresca y así impedir la pérdida de calor.

La regulación del riego sanguíneo cutáneo generalmente proporciona una termorregulación eficaz en temperaturas ambientales entre 25-27° C.

– Si no resulta suficiente el mecanismo anterior se pone en marcha otro sistema encargado de producir calor; se inicia la acción de tiritar acelerando así el metabolismo y, como consecuencia, aumentando la producción de calor. La secreción de hormonas como la tiroidea y adrenalina se estimulan para contribuir al aumento del metabolismo.

– El aumento de la velocidad del viento supone un aumento de la posibilidad de congelación.

| Tª ambiente | sin viento | a 5 m/s | a 10 m/s | a 15 m/s | a 20 m/s |
|-------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| 0°C         | 0°C        | - 5°C   | -15°C    | -18°C    | -20°C    |
| -10°C       | -10°C      | -21°C   | -30°C    | -34°C    | -36°C    |
| -20°C       | -20°C      | -34°C   | -40°C    | -49°C    | -52°C    |

### 2.1.- Congelación local

Sospecharemos una congelación local cuando el individuo presente los siguientes síntomas:

- Piel blanca y entumecida.
- Dolor punzante local de inicio gradual. Si el frío es extremo este síntoma puede estar ausente.

La conducta a seguir será:

- Protegerse en saco de dormir o detrás de un compañero.
- Utilizar el propio calor corporal o el de un compañero para calentar la zona afectada; por ejemplo, llevar la mano caliente a la nariz o la oreja, meter la mano fría en el hueco de la axila, etc.
- No se usará nieve para frotar o dar masaje en la zona congelada ya que, entre otras cosas, pueden producirse heridas que posteriormente se infecten.
- No calentarse delante del fuego porque al estar disminuida la sensibilidad podrían producirse quemaduras.
- Ponerse ropa seca y caliente, tomar bebidas calientes.
- Mantenerse en movimiento para aumentar la temperatura corporal.
- Protegerse de la intemperie.
- Baño de agua caliente si la congelación es local, no si es general.

Las posibles complicaciones que pueden aparecer son:

- Ampollas incluso horas después; en este caso, no deben tocarse.
- Efectos a largo plazo pueden ser extrema sensibilidad al frío, dolores punzantes y sudoración.

### 2.2- Hipotermia general

Ante un caso de hipotermia general el individuo presenta:

- Debilidad progresiva y un estado de indiferencia.

- Vencido por el cansancio, siente deseos de dormir y, si lo hace, fácilmente llega a la muerte.

El tratamiento, si está consciente, consiste en:

- Ponerle ropa seca y caliente.
- No debe pararse, por lo que se le forzará al movimiento.
- Dar bebida caliente y dulce. La temperatura de los líquidos no debe ser muy caliente ya que producirá una vasodilatación que todavía bajará más la temperatura corporal pudiendo ocasionar una lesión cardíaca.
- Protegerlo de la intemperie.
- El calentamiento se hará despacio a la temperatura ambiente de la habitación.
- No se aplicará calor local.
- Debe llevarse al hospital.

El tratamiento, si está inconsciente, será:

- No darle de beber.
- Cambiar la ropa mojada.
- Calentar despacio a temperatura ambiente.
- Colocar la cabeza más baja que los pies para protegerlo del shock.
- Controlar la respiración y el pulso y traslado inmediato.

### 3.- QUÉ SUCEDE ANTE UN AMBIENTE EXTERIOR DE CALOR

En este caso la termorregulación está encaminada a proteger del calor; la sangre caliente es desviada desde el interior a la periferia. La circulación cutánea experimenta una gran vasodilatación y el calor corporal se pierde.

Existen varias posibilidades de perder calor:

- Por irradiación: es decir, despedir el calor en todas las direcciones; de esta manera, el sol calienta los objetos, por ejemplo.
- Por conducción: pudiendo ser a través de un sólido, un líquido o un gas. Se pierde más calor en el agua que en el aire que nos rodea aún estando ambos a la misma temperatura.
- Por convección: el calor se transmite en líquidos o gases por los movimientos de las capas calentadas desigualmente; se pierde calor en relación con la velocidad del aire o la velocidad que tengamos en el agua.
- Por evaporación: ésta proporciona la mayor defensa fisiológica contra el exceso de calor.

Con este proceso el calor es transferido al ambiente mediante la evaporación del agua del sistema respiratorio y de la superficie de la piel (sudor). Por cada litro de agua que se evapora salen del cuerpo 580 calorías que pasan al medio ambiente.

La piel refrescada con la evaporación refresca a su vez la sangre que la irriga.

065

A altas temperaturas ambientales la única forma de eliminar el calor corporal es mediante la evaporación; es un hecho que el ritmo de sudoración aumenta proporcionalmente con la temperatura ambiental.

### 3.1.- Qué sucede ante un ambiente exterior de calor y alto grado de humedad

El total de sudor evaporado a través de la piel depende de tres circunstancias:

- 1) La superficie corporal expuesta al ambiente.
- 2) La temperatura y la humedad del aire ambiental.
- 3) Las corrientes de convección del aire alrededor del cuerpo (velocidad del viento).

De todas ellas, la humedad relativa es el factor más importante que determina la eficacia de la pérdida de calor por evaporación.

Cuando la humedad relativa ambiental es alta se reduce mucho la evaporación y, aunque se suda, el sudor no evapora sino que se escurre representando una pérdida de agua inútil que puede conducir a la deshidratación y al recalentamiento.

| Tª ambiente     | Humedad  | Conducta a seguir                                                       |
|-----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| 26,7-32,2 °C    | > de 70% | Vigilar a los obesos                                                    |
| 26,7-32,2 °C    | < de 70% | Descanso de 10 minutos cada hora y cambio de camisetas si están húmedas |
| 32,2-37,8 °C    | > de 70% | Observar los posibles síntomas                                          |
| Superior 37,8°C | < de 70% | Es conveniente suspender la práctica deportiva                          |

Si se seca la piel constantemente con una toalla antes de que el sudor tenga la oportunidad de evaporarse, también se dificulta la eliminación de calor por evaporación, con lo cual se deduce que no es el sudor lo que refresca la piel sino su evaporación. Se toleran temperaturas más altas en ambientes secos que en ambientes húmedos.

Además de los ajustes vasculares y de la evaporación, se ponen en marcha ajustes hormonales como son el aumento de las hormonas antidiurética y aldosterona, con lo cual la cantidad de orina eliminada después del ejercicio en días calurosos es menor y además la concentración de sodio en el sudor también disminuye con respecto a temperaturas ambientales más normales.

### 3.2.- Cuáles son las medidas de prevención ante ambientes calurosos

1) Aclimatación gradual: acondicionamiento para acostumbrarse al calor (pretemperada) aumentando la intensidad del ejercicio de forma gradual.

2) Cuidado con los uniformes que tapan demasiado la superficie corporal.

3) Control del peso: pesarse antes y después del ejercicio, una pérdida del 3 al 5 por ciento del peso corporal disminuye el volumen sanguíneo y favorece el riesgo de padecer enfermedades por calor.

4) Hidratación previa a la competición o ejercicio máximo: ingerir de 236 a 354 cc de agua antes de comenzar dichos ejercicios puede prevenir las enfermedades por calor.

066

5) Reposición de líquidos: tanto antes como durante y después de la actividad física beber agua entre 7.2-12.8°C (no agua helada).

6) Ingesta de sal y bebidas electrolíticas: es suficiente una cucharada al día. Recordar que tomar mucha sal y poca agua puede conducir a la deshidratación celular.

7) Dieta equilibrada y, sobre todo, pobre en grasas.

8) Medir la humedad ambiental: es conveniente suspender la actividad física si la humedad ambiente es superior al 70 por ciento.

### 3.3.- Qué enfermedades puede causar el calor

#### a) Calambres por calor.

Qué causas lo favorecen:

- Ejercicio intenso en un ambiente caluroso.
- Una sudoración muy abundante.
- La ingesta inadecuada de sal.

Cómo se diagnostican:

- Se manifiestan como contracciones espasmódicas dolorosas de diferentes músculos; los más frecuentes son las piernas, los brazos y el abdomen.

Cómo se tratan:

- La prevención en casos de repetición es lo fundamental, para lo cual se tendrá en cuenta la ingesta adecuada de líquidos y alimentos que contengan sal.
- El estiramiento suave y el calor local de la zona afectada resuelven la sintomatología aguda.

#### b) Agotamiento por calor.

Qué causas lo predisponen:

- Sudoración prolongada.
- No reponer líquidos.
- La diarrea y la infección intestinal.

Cómo se diagnostica:

- Sed extrema.
- Sequedad de boca.
- Disminución de peso, fatiga, debilidad e incoordinación.
- Disminución del volumen de expulsión de orina.
- Aumento de las proteínas sanguíneas.
- Aumento de la temperatura corporal.

Cómo se trata:

- Reposo en cama en un lugar fresco.
- Ingesta líquida de 6 a 8 litros diarios.
- Si no puede beber, alimentación intravenosa.
- Mojar con esponjas o compresas de agua fría la superficie corporal.

c) Golpe de calor:

Por qué sucede:

- El mecanismo de la termorregulación falla de una manera repentina.

Cuáles son los síntomas que nos llevan al diagnóstico:

- Comienzo brusco que va precedido de dolor de cabeza, vértigo y fatiga.
- La piel está caliente, roja y seca. No hay sudoración.
- La frecuencia cardíaca aumenta hasta 160-180 pulsaciones.
- Aumenta también la frecuencia respiratoria.
- La temperatura corporal puede alcanzar los 40-41°C.
- La tensión arterial no se modifica casi nada.
- El enfermo tiene la sensación de estar ardiendo.
- Puede continuarse con diarreas y vómitos que llevarán al colapso y posteriormente a un daño cerebral o a la muerte.

Cuál será el tratamiento:

- Las medidas a tomar serán inmediatas y drásticas.
- Baño en agua fría.
- Tomar la temperatura cada 10 minutos y controlar que no baje demasiado (no por debajo de 38'5° C) para evitar caer en la hipotermia.
- Traslado urgente al hospital.

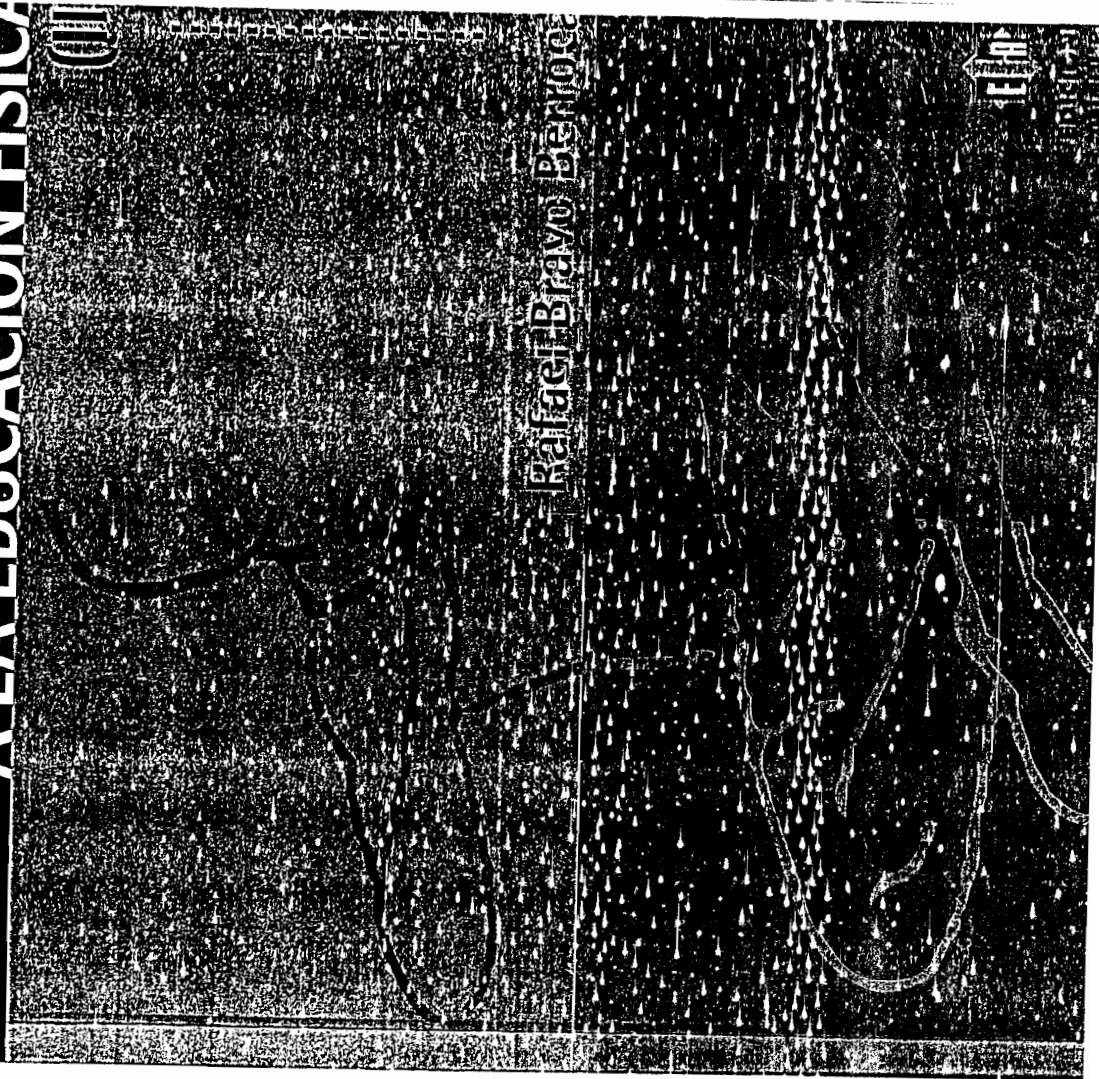
#### 4.- EFECTOS DE LA ROPA SOBRE LA TERMORREGULACIÓN

- En ambientes de frío varias capas de ropa ligera protegen mejor que una capa de ropa gruesa.

La ropa mojada pierde el efecto aislante.

- Durante el ejercicio vigoroso en ambientes fríos, se mantiene la temperatura corporal incluso con poca ropa.
- La ropa ideal para el calor tiene que ser ligera, suelta y de color claro.
- Los uniformes de fútbol americano cierran el 50 por ciento de la superficie corporal a los beneficios de la evaporación.

# FUNDAMENTOS ANATÓMICO-FISIOLÓGICOS DEL CUERPO HUMANO APLICADOS A LA EDUCACIÓN FÍSICA



Bravo Berrocal, Rafael (2001), "Nociones básicas, morfo-funcionales, del aparato excretor, en relación con la actividad física", en *Fundamentos anatómico-fisiológicos del cuerpo humano aplicados a la educación física*, t. II, Málaga, Aljibe, pp. 123-125.

### 3. LA PIEL

Es la membrana que envuelve el cuerpo del hombre y de los animales, constituyendo una barrera entre el medio interno y externo del organismo.

## Funciones de la piel

- **Protectora**
  - Preserva a los tejidos orgánicos de posibles lesiones mecánicas, químicas, térmicas, radioactivas, etc.; impidiendo una excesiva vaporación del agua interna de nuestro cuerpo; así como protegiendo a nuestro organismo contra ocasionales invasiones bacterianas.
- **Reguladora térmica**
  - Posibilita el equilibrio térmico, para mantener constante la temperatura del cuerpo.
- **Sensorial**
  - Propicia impresiones sensoriales, como las táctiles, dolorosas, térmicas (calor, frío), etc.
- **Sudoral o excretora**
  - Por medio de la sudoración, la piel realiza una función excretora análoga a la renal, pero menos compleja.
  - La superficie epitelial no es continua. Por el contrario, aparecen en ella infinidad de agujeritos, denominados poros. A cada poro corresponde una glándula sudorípara, encargada de fabricar el sudor.
  - El sudor tiene una doble función:
    - Por una parte, elimina determinadas sustancias tóxicas, perjudiciales para el organismo.
    - Por otra, regula la temperatura de nuestro cuerpo.
  - Durante el ejercicio físico el músculo, al contraerse, quema sustancias nutritivas, especialmente glucosa. Tal combustión provoca en el organismo elevación térmica. Pero, como se ha visto anteriormente, la temperatura interior del cuerpo no debe sobrepasar los 37° C; por tanto, tendrá que existir un mecanismo de refrigeración que evite este aumento. En efecto, el enfriamiento se produce por medio de la sudoración.
  - A expensas de la ligera humedad que aparece sobre la piel, al evaporarse el sudor, se provoca un descenso de la temperatura interna del cuerpo, que volverá a la normalidad después del aumento producido a consecuencia del esfuerzo muscular.
  - Esto nos lleva a las siguientes conclusiones:
    - a) Durante el ejercicio físico, cuanto mayor sea la superficie de piel expuesta al ambiente exterior, más abundante será la evaporación. De ahí, la conveniencia de que la ejercitación física se realice con la menor ropa posible. Suele afirmarse que la piel respira.
    - b) Es aconsejable realizar la actividad física al aire libre, mejor que en lugares cerrados y reducidos, donde el aire concentra más humedad y, por tanto, hace más difícil la evaporación del sudor.

- Para un óptimo funcionamiento del mecanismo de la evaporación durante el esfuerzo, es necesario evitar el exceso de sudor; es decir, la formación de gotas, pues esto indica que el esfuerzo muscular y el calor por él producido es demasiado intenso, no dando tiempo a la evaporación normal de la piel.
- Una vez terminado el esfuerzo, tanto el sudor excesivo como el aumento de temperatura, son siempre fenómenos patológicos que indican la falta de equilibrio entre la función muscular (productora del calor intenso) y la refrigeración cutánea.
- El perjuicio causado por el excesivo sudor, se acentúa por el hecho de que el agua, que con él se elimina, es sustraída al riñón.
- Una abundante transpiración, provoca el síndrome característico de la sed, que obedece a la necesidad que tiene la sangre de recuperar el agua que ha perdido en exceso con el sudor; síntoma, también debido, a la falta de entrenamiento.

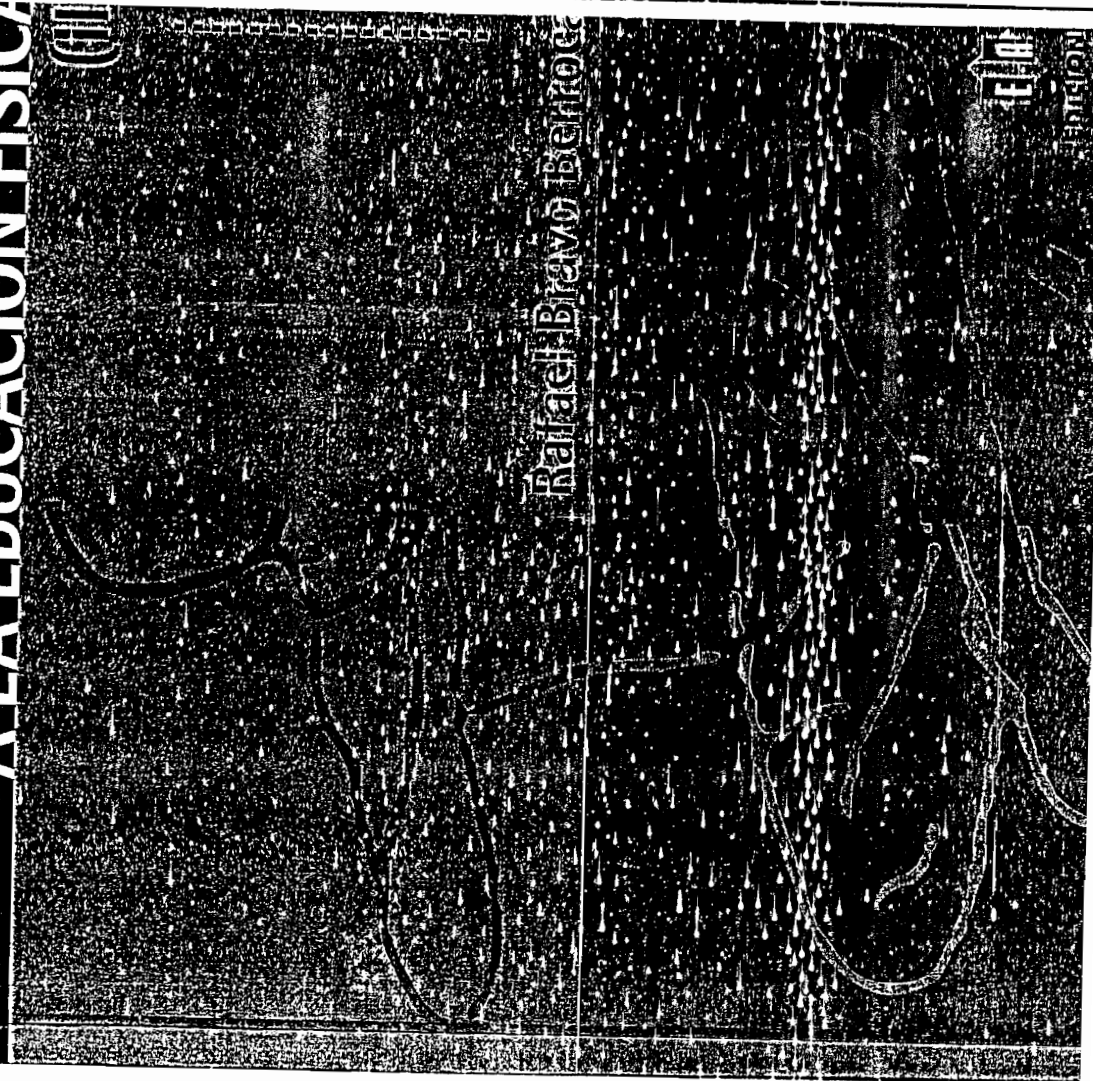
## Órganos anejos a la piel

- La epidermis produce **pelos y uñas**, que desempeñan funciones protectoras y táctiles.

## 4. EL HÍGADO: FUNCIÓN ANTITÓXICA

- La urea, los productos de la desintegración hemoglobínica y otras sustancias nocivas para el organismo dejan de serlo al conjugarse, en el hígado, con otros tipos de materias.

# FUNDAMENTOS ANATÓMICO-FISIOLÓGICOS DEL CUERPO HUMANO APLICADOS A LA EDUCACIÓN FÍSICA



Bravo Berrocal, Rafael (2001), "Nociones básicas, morfo-funcionales, del aparato excretor, en relación con la actividad física", en *Fundamentos anatómico-fisiológicos del cuerpo humano aplicados a la educación física*, t. II, Málaga, Aljibe, pp. 113-123.

© Rafael Bravo Berrocal  
© Ediciones Aljibe, S.L., 2001  
Tlf.: 952 71 43 95  
Fax: 952 71 43 42  
Pavia, 8 - 29300-ARCHIDONA (Málaga)  
e-mail: aljibe@indico.com

I.S.B.N.: 84-87767-92-3 (Obra completa)  
I.S.B.N.: 84-9700-009-9 (Volumen II)  
Depósito legal: MA-289-2001

Cubierta: Esther Morcillo y Fernando Cabrera

Impreso: Imagraf, Málaga.

---

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea eléctrico, químico, mecánico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo.

## 5. NOCIONES BÁSICAS, MORFO-FUNCIONALES, DEL APARATO EXCRETOR, EN RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD FÍSICA

- El proceso vital de nuestro organismo exige, como se ha expuesto, anteriormente, una doble función de la sangre:
  1. Transportar elementos nutritivos a los tejidos, y
  2. Recoger residuos y desechos de los mismos.
- En este apartado, se hace referencia a la segunda de estas funciones. La primera ha sido expuesta en otros precedentes.
- En la sangre no pueden quedar retenidos elementos de desecho, pues le ocasionaría intoxicación o envenenamiento. Por ello, tendrá que eliminarlos, expulsándolos al exterior del organismo.
- Esta eliminación se lleva a cabo, principalmente, a través de:
  - Los pulmones,
  - Los riñones, y
  - La piel.

### 1. PULMONES

- En el capítulo 2º se exponen nociones sobre el funcionamiento del aparato respiratorio y el mecanismo por el cual, los pulmones, expulsan al exterior el anhídrido carbónico y otros gases nocivos. Consecuentemente, se remite al lector a su consulta.

### 2. APARATO URINARIO

- Es difícil diferenciar el aparato urinario del genital, por lo que sería racional concebirlos, embriológica y anatómicamente, como dos aparatos cuyas interdependencias son la génesis de lo que se ha dado en llamar **aparato genitourinario**. Sin embargo, en relación a las competencias que asume, relacionadas con "la filtración de la orina, eliminación de productos de desechos del metabolismo nitrogenado, regulación del metabolismo hidrosalino y el mantenimiento del equilibrio acidobase" (Aramburo, 1985, 76), hacedo que, en este apartado, se les estu-

dien diferenciadamente. Comprende, por tanto, al conjunto de órganos encargados de las dos importantes funciones urinaria y genital, como son: los riñones, uréteres, vejiga y uretra.

Pueden afirmarse que, en el organismo humano:

- El laboratorio químico es el aparato digestivo,
- La central de estímulos o central eléctrica, es el sistema nervioso, y
- El filtro de depuración, es el aparato urinario.

El aparato urinario realiza las funciones de:

- Excreción, y
- Regulación.

El Dr. Faller (1975, 184), describe estas funciones de la forma siguiente:

#### • "Excreción"

- Descarga de urea y de ácidos úricos: los productos de degradación del metabolismo protéico, se eliminan por los riñones.
- Descarga de ciertas sustancias tóxicas: la mayoría de los tóxicos y medicamentos, son transformados en el hígado y desalojados, en forma químicamente inactiva, a través de los riñones.

#### • Regulación

- Metabolismo del agua: los riñones desempeñan un papel esencial en la economía hídrica del organismo.
- Equilibrio salino: el equilibrio entre sales de potasio y de sodio en el cuerpo, depende en gran parte de los riñones.
- Regulación de la presión osmótica: mediante la eliminación de sales, los riñones influyen en la presión osmótica de los líquidos del cuerpo.
- Regulación del equilibrio acidobásico: por formación de sales adecuadas, los riñones pueden desalojar un exceso de componentes ácidos o alcalinos.
- Excreción de ciertas sustancias tóxicas: la mayoría de los tóxicos y medicamentos, se descargan por los riñones en forma químicamente inactiva.

### PARTES DEL APARATO URINARIO

– Son las siguientes:

- Riñones, u órganos secretores,
- Uréteres, o conductos vectores,
- Vejiga, u órgano depósito, y
- Uretra, o conducto excretor.

#### — Riñones

- Glándulas par y gemelas, consideradas, junto con los pulmones, como los órganos más importantes de la excreción. Son "filtros depuradores", pues, a través de

ellos, son eliminadas sustancias tóxicas, producidas por el organismo, que se encuentran disueltas en parte del agua cedida por la sangre. A este agua, junto con las sustancias tóxicas, se le denomina **orina**.

– El volumen de sangre, que pasa por los riñones, es aproximadamente, de 1,2 litros por minuto.

– Cada riñón está envuelto por una cápsula que le confiere un aspecto interno brillante, cápsula, que a su vez, se encuentra rodeada por la grasa perirrenal.

– Están situados a la altura de la región lumbar, a ambos lados de la columna vertebral y entre el peritoneo y el músculo cuadrado de los lomos, siendo la separación superior, menor que la inferior. El riñón izquierdo se halla debajo del bazo y, el derecho, por debajo del hígado.

– Tienen forma de alubia, orientadas su parte cóncava hacia adentro; existiendo en su parte media, una escotadura o abertura, llamada hilio, por donde penetra la arteria renal y por donde salen la vena del mismo nombre y los uréteres.

– Sus extremos o polos se denominan, **cranial**, al superior y **caudal**, al inferior.

– Por su parte, los riñones se nutren a través de las arterias renales (derecha e izquierda), siendo las venas renales, sus cauces de retorno sanguíneo.

– La arteria renal izquierda, tiene una longitud menor que su homóloga derecha, debido a que la arteria aorta se halla más próxima al riñón izquierdo que al derecho. En cambio, la vena cava inferior, se encuentra lateralizada hacia la derecha, por lo que la vena renal, de este lado, es más corta que la del lado izquierdo. Asimismo, se ha de tener en cuenta, que los vasos venosos se hallan situados por delante de los arteriales.

– Sus dimensiones, aproximadamente, son las siguientes:

- Longitud, 12 cm.
- Anchura, de 6 a 7 cm.
- Espesor, unos 3 cm.

• El peso aproximado de un riñón, puede calcularse entre los 150 y 170 grs.

• Los riñones se fijan, a ambos lados de la columna vertebral, por medio de una capa de tejido adiposo y mediante una membrana fibrosa que los envuelve. Sin embargo, no se encuentran situados a la misma altura, pues, el derecho descende un poco, en relación al izquierdo, debido a la ubicación, en este espacio, de la masa del hígado.

#### • Estructura

##### a) Macroscópica

– Seccionando un riñón a lo largo, se observan, de fuera a dentro, en su parénquima renal o tejido noble las partes siguientes:

1. **Corteza:** es la capa periférica, de aspecto granuloso, más oscura y consistente que la parte siguiente.

2. **Médula:** situada inmediatamente por debajo de la corteza, es fibrosa, más dura y roja que la anterior. Presenta un aspecto estriado o radial.

– En la sustancia cortical, se encuentran gran cantidad de granitos de color rojo, denominados granulaciones o glomérulos de Malpighio.

– Los radios forman hacedillos semejantes a conos, denominados Pirámides de Malpighio, cuyas bases están dirigidas hacia la capa cortical y sus vértices hacia el hilio. Cada riñón tiene de 10 a 20 de estas pirámides. Esto da origen, a que cada uno, histológicamente, conste de uno a tres millones de estructuras tubulares denominadas nefronas, lóbulos o túbulos renales que constituyen las unidades estructurales y funcionales de los mismos. A su vez, estos lóbulos que se encuentran en cada una de las pirámides, están compuestos por los denominados:

- **Tubos de Bellini:** Conductillos uriníferos que forman el tejido de las pirámides y que se abren en el vértice de éstas.
- **Tubos de Ferrein:** Son los tubos de Bellini, al penetrar en la sustancia cortical.
- **Vértices Mamelonados:** Los forman, la reunión de los tubos de Bellini. Los mamelones están abrazados por sendos embudos, llamados cálices renales.

– En el ser humano se distinguen dos tipos de cálices renales: **los menores**, aglutinados en número de tres o cuatro, forman un cáliz mayor; y **los cálices mayores**, en número de tres (superior, medio e inferior), característicos o propios del género humano, confluyen formando un solo colector, a modo de embudo, para constituir la **pelvis renal**, que desemboca en el uréter.

3. **Pelvis renal:** es una bolsa membranosa, hueca, situada por detrás de los vasos renales y que, al estrecharse, forma un tubo de unos 20 a 25 centímetros de longitud, el **uréter**, que sirve de paso de la orina hasta la vejiga.

#### b) Microscópica

– El riñón está formado por:

- Nefronas (glomérulos de Malpighio, más tubos uriníferos),
- Fibras en forma de red, y
- Tejido conjuntivo, en pequeña cantidad

– Histológicamente, cada riñón, consta de uno a tres millones de estructuras tubulares denominadas **nefronas**, que son la unidad anatómica funcional del mismo, compuestas por:

1. **Glomérulo renal**, constituido por una estructura redondeada, de unos 0,2 mm. de diámetro. Está formado por un ovillo vascular o entramado de vasos sanguíneos. Asimismo, el glomérulo se haya envuelto por una cápsula (cápsula de Bowman) que evita se deslaga el ovillo.
2. **Túbulo contorneado proximal**, así denominado por ser bastante tortuosa su trayectoria. Su continuación se le denomina **asa de Henle**, consistente en el enderezamiento del túbulo contorneado proximal, donde se produce la absorción del  $H_2O$  filtrada.

3. **Túbulo contorneado distal.** Sus características son similares al anterior. En él se produce un intercambio de Na-K. Interviene la hormona antidiurética o ADH.

4. **Túbulo colector.** Sirve como conductor de la orina.

– En cada riñón, se calcula cerca de **un millón de glomérulos** y unos **diez kilómetros** de tubos uriníferos.

#### • Equilibrio hídrico

– El balance de agua, en el organismo, depende del equilibrio entre la cantidad de agua ingerida y la perdida por el cuerpo.

– Estas pérdidas se pueden producir a través de los **riñones** (1000 a 1500 ml. al día); de la **piel** (450 a 1.050 ml./día); de los **pulmones** y **vías aéreas**, por medio de la evaporación (250 a 300 ml./día); y de los **intestinos**, por las heces (50 a 200 ml./día). Asimismo, se puede perder agua adicional, en forma de secreción de leche, durante la lactancia, en la mujer; a través de las lágrimas y, también, por trastornos del aparato digestivo, a consecuencia de vómitos y diarreas.

– Las pérdidas de agua, por evaporación y secreción de la piel, guardan una estrecha relación con la humedad y los cambios de temperatura del medio ambiente. No obstante, estas pérdidas son compensadas por la actividad del riñón, mediante ajustes y mecanismos de resorción que puede conservar agua por excreción de una orina escasa y concentrada, cuando los niveles de agua del organismo son bajos, son los denominados **mecanismos antidiuréticos**, y también eliminarla cuando la sangre está diluida con la formación de una gran cantidad de orina (diuresis).

– “La distribución del agua, en el organismo depende de la concentración de proteínas y electrolitos de los líquidos corporales. El balance de agua y la sal son en absoluto interdependientes, y ambos se hallan regulados por la actividad homeostática del riñón” (Fdez. Pastor y otros, 1983, 5-6).

– Sin embargo, el balance final, entre el aporte y pérdida de agua, depende del hipotálamo, cuya función neuroendocrina se manifiesta por su regulación de la diuresis, a través de la cantidad de hormona antidiurética que secreta.

– Por su parte, la misión más importante atribuida al riñón, se puede concretar en la estabilidad del volumen y las características del líquido extracelular, de la que se pueden derivar, entre otras las funciones siguientes del mismo:

- a) **Depuración y excreción de sustancias nocivas, tóxicas o de desecho.**
- b) **Colaboración en la función de equilibrio hidrosalino.** con la producción de mayor o menor producción de orina según los casos.
- c) **Equilibrio ácido-base**, eliminando hidrogeniones o ahorrando bases según la situación del pH del organismo.

- d) Endocrina, mediante la segregación de hormonas, p.e. renina, eritropoyetina, ...
- e) Regulación de la presión arterial.
- Todas estas funciones se llevan a cabo a través de tres mecanismos: **filtración; reabsorción o resorción y secreción.**

#### — Uréteres

- Son dos conductos que, arrancando cada uno de un riñón, van a desembocar en la vejiga urinaria, por su cara posterior. Su longitud es, aproximadamente, de 25 cm. El uréter es una estructura retroperitoneal (detrás del peritoneo).
- Están situados por delante de las apófisis transversas de las vértebras lumbares.
- Por ellos circula la orina, desde el riñón a la vejiga. Al llegar a ésta, se forma una especie de válvula que impide el reflujo cuando se halla distendida.
- Su estructura está formada por dos o tres capas de musculatura lisa, que permite los movimientos peristálticos necesarios para hacer avanzar la orina hacia la vejiga.

#### — Vejiga

- Es una bolsa formada por musculatura de fibra lisa, en la que se almacena la orina procedente del riñón.
- Está situada:
  - En el varón, por encima de la próstata y delante del recto.
  - En la mujer, por delante del útero y la vagina.
- Su capacidad fisiológica oscila entre los 150 y 500 cm<sup>3</sup>, produciendo, cuando alcanza estas cantidades, la necesidad de evacuarla (micción), aunque puede llegar a contener hasta un litro.
- Si la vejiga está vacía, en el interior de su mucosa, se aprecian una serie de repliegues. Sin embargo, cuando está llena, éstos, desaparecen.
- La entrada de la orina en la vejiga, se realiza a través de un esfínter, situado en el cuello de la misma, de musculatura lisa y, por tanto, de movimientos reflejos. La salida se efectúa por otro esfínter (el esfínter vesical), de musculatura estriada y por ello, sujeto a voluntad. Los dos orificios uretrales junto con el orificio uretral forman una especie de triángulo al que se le denomina trigono-vesical.

#### — Uretra

- Es un conducto excretor que, partiendo de la vejiga, lleva la orina, desde ésta, al exterior, mediante el acto de la micción.
- En el varón es larga, unos 20 centímetros, atravesando su parte inicial la **próstata** o glándula que tienen los machos de los mamíferos, unida al cuello de la vejiga de

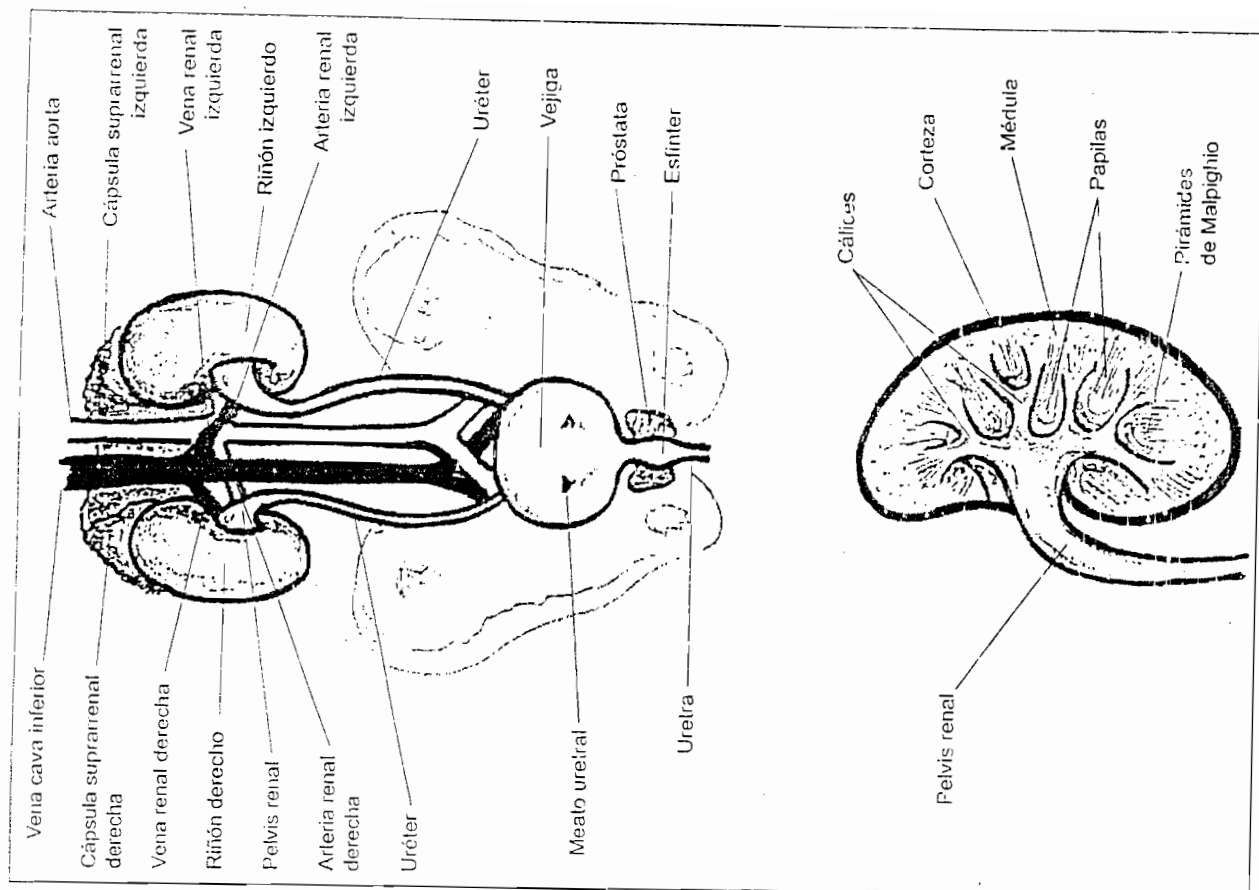


Lámina 10: Riñones.

la orina y a la uretra. Es pequeña, de color rojizo y forma irregular. Secreta un líquido blanquecino, el líquido prostático, que se mezcla con la esperma, en el momento de la eyaculación. Su hipertrofia puede dificultar la descarga de orina.

La porción terminal de la uretra, en el varón, es común al sistema excretorio y genital por lo que da paso a la orina y al semen, lo que hace que sea una uretra delicada al unir estas dos funciones tan importantes. Cuando falla, el hombre, sufre una eyaculación retrógrada.

- Freud, desde su perspectiva psicoanalítica, manifiesta que la génesis de algunas enfermedades de carácter orgánico, puede encontrarse en problemas de insatisfacción sexual, produciendo, al mismo tiempo, patologías de tipo psicológico.
- En la mujer, es corta y recta, menos de 5 centímetros, desembocando en una cavidad del vestíbulo de la vagina.

## LA ORINA

- Líquido excretado por los riñones. En el ser humano es de color amarillento, sabor salado y olor peculiar.
- La cantidad producida durante 24 horas, suele calcularse, en un adulto sano, en unos 1500 cm<sup>3</sup>.
- La orina está compuesta por: sustancias orgánicas e inorgánicas, colorantes y agua.

### • Sustancias orgánicas: urea, ácido úrico y otras

- Urea: producto resultante del metabolismo de proteínas. Puede calcularse en un 1 por ciento de la cantidad de orina secretada.
- Ácido úrico: también resulta del metabolismo proteico, concretamente de la degradación de proteínas del núcleo celular. Se calcula en un 0,5 por mil, de la cantidad acreada.
- Otras: en cantidad muy pequeña, contiene creatina, ácido hipúrico, bases de nucleína (xantina e hipoxantina) y aminoácidos.

### • Sustancias inorgánicas:

- Entre las sales, figuran las de sodio, calcio, magnesio, potasio y amonio.
- Las proporciones mayores de estas sales, están formadas por cloratos (especialmente el de sodio), sulfatos y fosfatos.

### • Colorantes

- Entre ellos destacan: el **urocromo**, pigmento que tinte la orina; **bilirrubina** en escasa proporción. Si su concentración aumenta en la sangre, también lo hace en la orina, dándole un color pardo.

### • Agua

- La secreción de agua de la orina, que procede de los glomérulos de Malpighio, está relacionada directamente con el estado de la circulación sanguínea y de su presión. Puede calcularse en un 95 por ciento la proporción de agua.
- Las sustancias que activan la orina reciben la denominación de diuréticos; por ejemplo, el café, té, que influyen sobre la función renal al dilatar los vasos.
- Los albuminoides, especialmente los originados en los riñones, elevan la tensión arterial.

## ¿CÓMO SE ORIGINA LA ORINA?

- La orina se forma en la nefrona, mediante un proceso en el que se distinguen dos fases: una, la glomerular o de filtración, llevada a cabo en el glomérulo; y otra, la tubular o de reabsorción, en el túbulo. Durante esta última fase, los componentes de la orina primaria, a su paso por el túbulo renal, son reabsorbidos por las células de sus paredes, vertiéndolos al torrente circulatorio de los capilares existentes en las mismas. Así, la totalidad de la glucosa y de los aminoácidos y gran parte de las sales minerales, serán reabsorbidos mediante un proceso de transporte activo, debido a la fuerte presión osmótica existente en los vasos capilares de la pared del túbulo, y en consecuencia el agua se reabsorbe por ósmosis.
- Los desechos procedentes del metabolismo de las distintas células de nuestro cuerpo, se filtran y eliminan a través de los riñones.
- Para disolver estas sustancias, la sangre cede parte de su agua originando la orina, que es la encargada de transportar al exterior los desechos metabólicos orgánicos celulares.
- Esta acción eliminatoria se debe al proceso mecánico-químico-físico siguiente:
  - La arteria renal que lleva al riñón la sangre arterial, se divide en numerosas y pequeñas ramificaciones que terminan, cada una, con la formación de un glomérulo.
  - Las sustancias tóxicas contenidas en la sangre, incluso en cantidades superiores a las que pudiera soportar, se eliminan por la acción de filtro que ejercen los glomérulos. Estos son tan sensibles a cualquier modificación de la sangre, que, por ejemplo, el aumento de algunos centígramos de azúcar en ella, a su paso por éstos, queda eliminada en la orina.
  - La sangre depurada sale del glomérulo por medio de unas pequeñas venas que van a desembocar en la vena renal. Mientras tanto, el material filtrado, junto con una pequeña cantidad de líquido (orina que acaba de formarse), va a desembocar en los cálices o pequeñas lagunas recolectoras de orina, por medio de unos canalillos o conductos, dispuestos en perfecto orden y que se van ensanchando progresivamente.
  - Posteriormente, la orina de los cálices irá a parar a la pelvis renal, que viene a ser una especie de depósito acumulador de orina, situado en el centro del riñón.

- De la pelvis de cada riñón, la orina pasa a la vejiga por medio de los uréteres, mediante contracciones peristálticas.
- Una vez en la vejiga, la orina se almacena hasta que, alcanzando un volumen aproximado de 1/4 litro, las paredes de este órgano se distienden, produciendo por vía refleja, el estímulo de orinar.
- La reabsorción de agua, para la elaboración de la orina, en los conductillos renales, obedece, especialmente, a una regulación hormonal, influyendo, sólo, indirectamente, el sistema nervioso vegetativo, a través del sistema vasoculár.

### EL EJERCICIO FÍSICO, EN RELACIÓN CON EL APARATO EXCRETOR RENAL

- La actividad física de gran intensidad, realizada en tiempos muy limitados (resistencia, velocidad, levantamiento de pesas) provoca un desequilibrio orgánico, que hace aparecer albúmina en la orina. La albúmina es la proteína de menor peso molecular de la sangre; por eso se escapa por el riñón y aparece en la orina en estas circunstancias.
- Una vez terminado el esfuerzo y transcurrido un período de tiempo comprendido entre una y una hora y media, aproximadamente, si se le practica al atleta un análisis de orina, podrá apreciarse la existencia de albúmina en la misma, por las razones anteriormente expuestas. El problema se plantearía por la cantidad y no por su existencia, en caso de tratarse de deportistas sanos.
- Este control, puede realizarse de forma rápida y simple, por medio de unas tiras reactivas, fabricadas específicamente para pruebas uroanalíticas. El "test" está basado en el principio del error proteico de indicadores; es decir, que a un pH determinado fijo, ciertos indicadores proporcionan una coloración verde en presencia de proteínas. La escala de colores va, desde el amarillo verdoso (negativo), pasando por el verde amarillento y por el verde, hasta el azul verdoso (reacción positiva).

### ¿CÓMO DEBE REALIZARSE EL "TEST"?

- 1) Terminado el esfuerzo y transcurrido un período de tiempo comprendido entre 1 y 1,2 horas, se recoge en un recipiente aséptico, orina emitida por el deportista.
- 2) Cuanto antes, sumergir en la orina, bien mezclada pero no centrifugada, toda la reactiva de la tira, retirándose inmediatamente.
- 3) Comparar con el color de la escala colorimétrica, el adquirido por la zona reactiva de la tira. Su lectura indicará el índice protéico de la muestra.

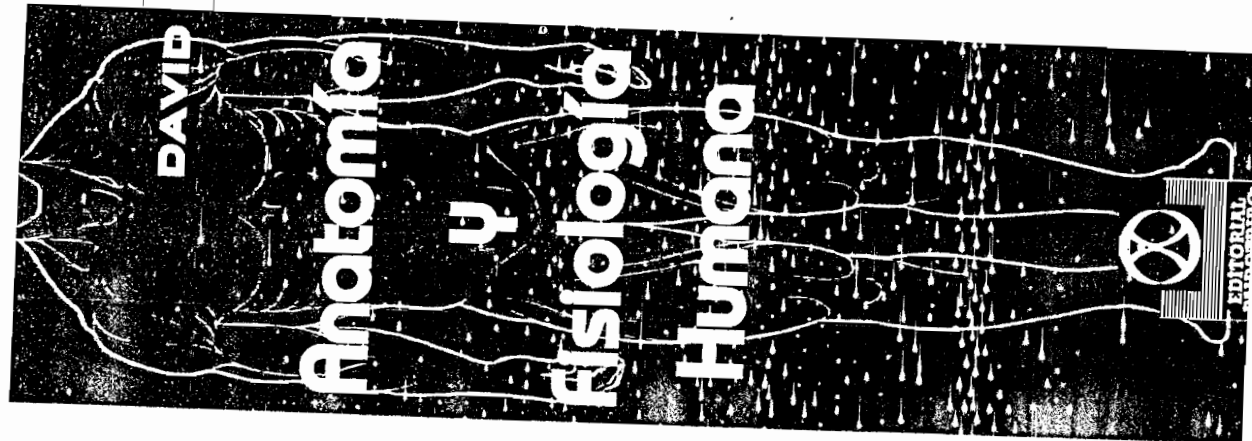
Tabla 1

Ejemplo de escala colorimétrica para la medición de las proteínas en la orina

| COLOR                     | g./l. de orina | mg./dl. de orina | ÍNDICE   |
|---------------------------|----------------|------------------|----------|
| Amarillo verdoso          | menos de 0,05  | menos de 5       | NEGATIVO |
| Verde amarillento         | 0,05 a 0,2     | 5 a 20           | INDICIOS |
| Verde amarillento intenso | 0,3            | 30               | +        |
| Verde azulado             | 1              | 100              | ++       |
| Verde                     | 3              | 300              | +++      |
| Azul verdoso              | 10             | más de 1.000     | ++++     |

### REGLAS DE PRUDENCIA ESENCIALES

- La cantidad de albúmina producida a causa de la ejercitación física, no debe sobrepasar una cruz (+).
- Si en alguna ocasión se llegara a dos cruces (++) , no resulta peligroso; pero, si este hecho se repite, indicando que el esfuerzo es superior a las capacidades del individuo, deberán programarse acciones menos intensas.
- Si al día siguiente de la realización del esfuerzo, continúa existiendo albúmina en la orina, el atleta debe suspender la actividad física y someterse a reconocimiento médico, ya que este hecho puede ser indicativo de un estado patológico, ajeno a dicha actividad.
- Los entrenamientos muy intensos y continuados, pueden provocar cada vez más albúmina (+++; ++++), siendo peligroso para la salud del individuo.
- El tiempo de recuperación entre series, será mayor cuando se realicen ejercicios en desequilibrio orgánico, y menor, cuando se trate de ejercicios de endemiciamiento.
- El número de repeticiones, en ejercicios de resistencia, debe ser reducido; v.g.: de 3 a 5 veces.
- Este tipo de análisis, tiene validez solamente para trabajos de resistencia orgánica (velocidad, levantamiento de pesas, etc.).



Le Vay, David (s/f), "Reproducción y desarrollo", en *Anatomía y fisiología humana*, Faustino Diéguez-Vide y Núria Casals Girons (trad.), Barcelona, Paidotribo, pp. 331-343.<sup>2</sup>

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Título original de la obra: Human Anatomy & Physiology  
© Hodder and Stoughton limited

Traducción: Faustino Diéquez-Vide  
Núria Casals Girona

Director de colección y revisión técnica: Dr. Mario Lloret Llicera

© David Le Vay  
Editorial Paidotribo  
Consejo de Ciento, 245 bis, 1º, 1ª  
08011 Barcelona  
Tel. 93 323 33 11 – Fax. 93 453 50 33  
E-mail: [paidotribo@paidotribo.com](mailto:paidotribo@paidotribo.com)  
<http://www.paidotribo.com>

Primera edición:  
ISBN: 84-8019-413-8  
D.L.: B-10-34-99  
Fotocomposición: Editor Service, S.L.  
Diagona 299 – 08013 Barcelona  
Impreso en España por A & M Gràfic

# REPRODUCCIÓN Y DESARROLLO

### ÓRGANOS REPRODUCTORES

Los órganos sexuales esenciales son las gónadas: un par de testículos en el hombre que forman los espermatozoides y un par de ovarios en la mujer que forman los óvulos. El plan general del sistema reproductor es similar en ambos sexos, pero en las mujeres los ovarios se encuentran dentro de la cavidad abdominal, mientras que en los hombres los testículos se sitúan fuera de ella. Además, en las mujeres existe el útero para alojar al embrión en desarrollo, y el pene de los hombres está representado en las mujeres por el diminuto clítoris.

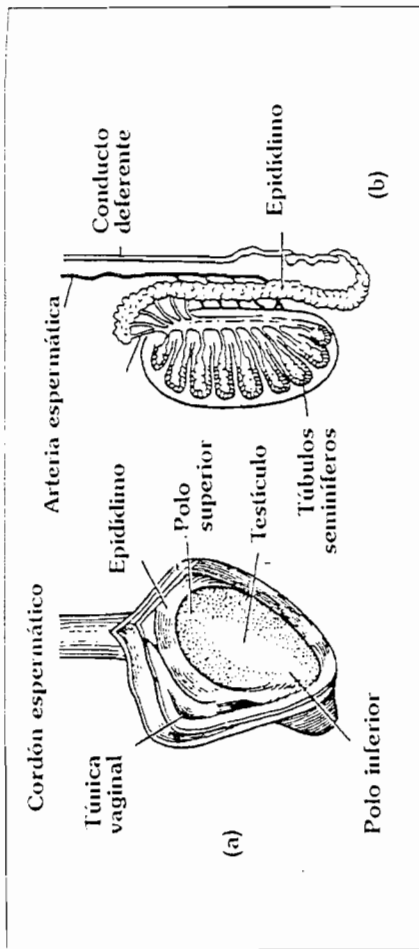
### Órganos masculinos

Los testículos se desarrollan en la cavidad abdominal, pero antes del na-

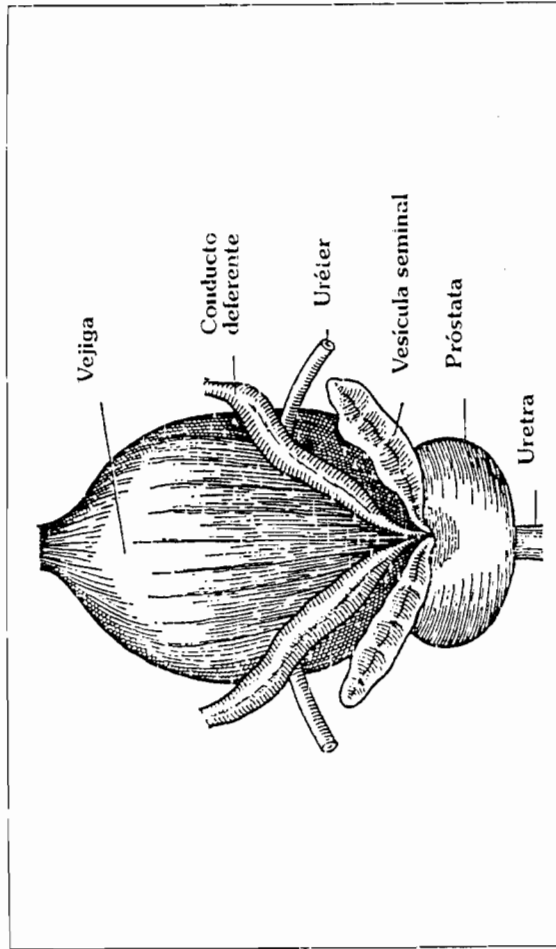
cimiento salen fuera de ella para alojarse en las bolsas de piel del escroto, que cuelgan a cada lado de la raíz del pene. Allí queda un pasaje oblicuo a través de los músculos abdominales justo por encima del ligamento inguinal, el canal inguinal, ocupado por el cordón espermático, que lleva los vasos sanguíneos hacia este órgano, y el conducto espermático, que va hacia la parte posterior de la pelvis.

Los testículos son ovoides, con una resistente cápsula formada por lóbulos que contienen los finos tubos donde se forman los espermatozoides. Aplicado a su lado externo existe un órgano curvado, el epidídimo, que recibe el esperma de los testículos. Es un intrincado tubo enrollado del que se origina el principal conducto espermático, el conducto deferente, que se dirige hacia el abdomen. Los testículos y el epidídimo se sitúan verticalmente en el escroto, rodeados por un saco seroso.

El conducto deferente se dirige hacia abajo, hacia la pared lateral de



**Figura 21.1:** (a) Testículo y epidídimo expuestos por reflexión de su cubierta serosa, la túnica vaginal. (b) Lo mismo en sección longitudinal



**Figura 21.2:** Vejiga y órganos asociados en el hombre (cara posterior)

la pelvis para alcanzar la parte posterior inferior de la vejiga, donde se sitúa sobre la superficie superior de la próstata. Aquí una bolsa se une a su lado externo, la *vesícula seminal*, para almacenar el esperma. Los conductos deferentes y la vesícula se abren a través de un *conducto eyaculatorio* común dentro de la *uretra*, que está situada en la glándula prostática. El esperma se forma continuamente en los testículos, se almacena en la

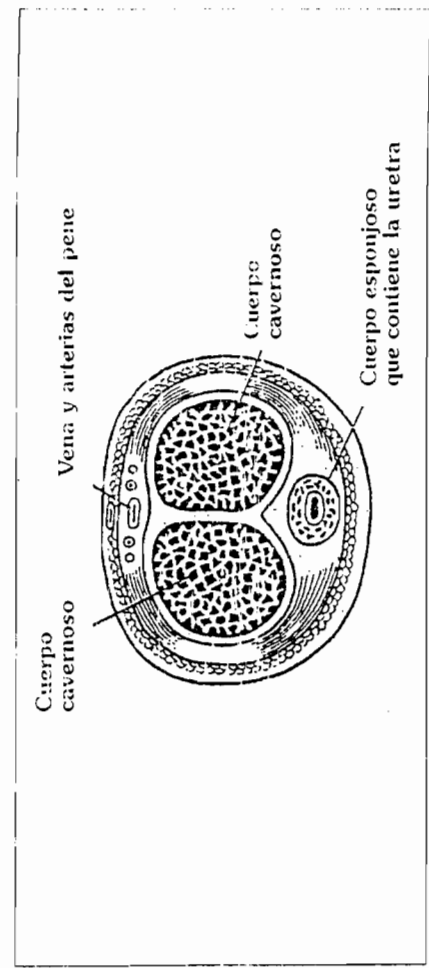
vesícula y sólo entra en la uretra en la eyaculación del orgasmo, cuando se descarga por la uretra y el pene en la vagina. El líquido eyaculado no es sólo esperma, sino también un fluido complejo que contiene las secreciones de las vesículas y la próstata. La *próstata* es un órgano sólido de tejido muscular y glandular, con una forma y un tamaño similares a una castaña. Su base se encuentra junto al cuello de la vejiga y su ápice sobre el piso pélvico, y está atravesada por la uretra.

El pene está formado por un *bulbo* central que se origina en el centro del perineo y está atravesado por la uretra y dos cuerpos laterales que nacen de los lados del arco pubiano. Éstos se articulan para formar el cuerpo del órgano, cuya sección se muestra en la figura 21.3. Aquí, la parte que contiene la uretra, la continuación del bulbo, es el *cuerpo esponjoso* por debajo, con el *cuerpo cavernoso*, la continuación de los dos cuerpos por encima y a cada lado. Es en este último donde el órgano obtiene la propiedad de aumentar su longitud y gro-

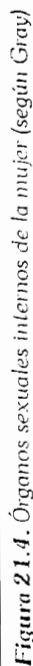
so en el excitamiento sexual, volviéndose rígido y capaz de introducirse en la vagina. Este proceso de erección se debe a un sistema de espacios cavernosos que pueden dilatarse rápidamente con sangre procedente de las arterias del pene.

## Órganos femeninos

Los ovarios son un par de órganos en forma de almendra, situados sobre la pared lateral de la pelvis justo por debajo de su ala. Poseen quistes llenos de líquido, los *foliculos ováricos*, donde maduran las células u *óvulos* mensualmente. Los ovarios están situados en los *ligamentos anchos* que se extienden desde el útero hacia un lado de la pelvis. En el borde libre superior de este ligamento se encuentran las *trompas de Falopio*, unidas al útero, como brazos extendidos. Estos canales musculares se abren medialmente en el útero y tienen en



**Figura 21.3:** Corte del cuerpo del pene (según Gray)

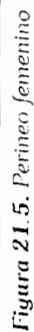


**Útero.** La matriz es un órgano hueco con espesas paredes musculares, que se sitúa en la pelvis entre la vejiga por delante y el recto por detrás (Fig. 9.1). Se comunica por debajo con la vagina y a cada lado con las trompas de Falopio. Se inclina hacia delante de forma que la superficie anterior descansa sobre la vejiga; ambas superficies y el *fundus* están cubiertos por el peritoneo; la bolsa peritoneal entre el útero y el recto es la parte más profunda de la cavidad abdominal.

El útero virgen tiene 7,5 cm de longitud y su pared 2,5 cm de espesor. Una sección longitudinal muestra el cuerpo superior, de 5 cm de longitud, con una cavidad triangular y un cérvix inferior, de 2,5 cm de longitud que está atravesado por un estrecho canal que se abre en la cavidad principal en su abertura interna y en la vagina en su abertura externa. La membrana

La *vagina* es un canal distensible, capaz de recibir el pene durante el coito y de permitir el paso del niño en el parto. Se extiende desde el útero, con el que mantiene un ángulo de 90°, para dirigirse hacia abajo y hacia delante a través del piso pélvico y abrirse externamente en el perineo. Una parte del cérvix protruye en la bóveda vaginal, y el borde que la envuelve se conoce como *fórnix*. La pared frontal de la vagina se une con la parte posterior de la vejiga y la uretra, mientras que la pared posterior está separada del recto por tejido fibroso.

Los genitales femeninos externos se conocen como *vulva*. Éstos incluyen el monte de Venus, una eminencia cubierta de pelo delante de la sínfisis



pubiana; unos pliegues en la piel que forman los labios del orificio vaginal y comprenden los espesos *labios mayores* externos y los delgados *labios menores* internos; el *clitoris*, un equivalente eréctil diminuto, pero sensitivo, del pene, que se encuentra cerca de los labios por delante; y el *himen*, una partición incompleta de membrana mucosa que se extiende a través del orificio vaginal en las mujeres vírgenes y que se rompe con el coito. La abertura externa de la uretra se encuentra justo por detrás del clitoris e inmediatamente por delante de la vagina.

está continuamente activo, la hembra sólo es receptiva según ciertos ciclos, dependientes del ritmo intermitente de actividad de los ovarios, por lo que la formación de las hormonas sexuales es discontinua. En los seres humanos, la presión sexual es bastante constante, sobre todo en los hombres, así como la secreción de hormonas sexuales. En las mujeres existe alguna periodicidad asociada con el fenómeno mensual de la menstruación, un flujo de sangre y mucosa del útero que sólo se encuentra en los primates superiores y en los seres humanos.

El desarrollo de los órganos sexuales antes de la pubertad y su funcionalidad posterior depende de la hipófisis. Pero cuando se alcanza la pubertad, son las hormonas de los mismos órganos sexuales las que originan el desarrollo de las características sexuales secundarias y el origen del deseo

## REPRODUCCIÓN

**E**n los animales, el deseo sexual normalmente alterna con períodos de indiferencia. Aunque el macho

sexual: en las mujeres, el crecimiento de las manos y el inicio de la menstruación; en los hombres, el cambio de voz y el agrandamiento de los órganos externos. Todos estos cambios dependen del desarrollo primario de los ovarios y de los testículos.

### El ciclo menstrual

Éste forma un complicado patrón regulado por hormonas, tanto hipofisarias como ováricas. Se describe normalmente como un ciclo de veintiocho días que comienza el primer día que aparece sangre menstrual, aunque son frecuentes ciclos más largos o más cortos.

En el ciclo de veintiocho días, la ovulación se produce alrededor del decimocuarto día, es decir, un folículo ovárico madura y descarga el óvulo en la cavidad peritoneal. El óvulo es recogido en la trompa e impulsado por la peristalsis muscular hacia el útero. Aquí, el revestimiento se ha ensanchado y engrosado como preparación para recibir el óvulo fertilizado, fertilización que, si sucede, tendrá lugar en la trompa. Si, como sucede normalmente, el óvulo no ha sido fertilizado, la membrana mucosa del útero se vierte en la sangre de la menstruación. Esto último dura de tres a cinco días y, entonces, se forma un nuevo revestimiento y se completa en el decimocuarto día del ciclo, en un momento intermedio entre dos períodos, justo cuando la ovulación se produce de nuevo. Así, el ciclo afecta los ovarios y el útero y se divide en la fase *folicular* —las dos primeras semanas— y la fase

5

dentro de un período de cuarenta y ocho horas, de forma que la probabilidad de que cualquier acto sexual finalice en un embarazo es pequeña. Cuando el hombre eyacula, una cantidad de semen se deposita en la bóveda vaginal alrededor del cérvix. El esperma debe penetrar en el moco cervical y progresar ascendentemente a una velocidad de 3 mm/min. Su progresión es mucho más rápida debido a la propulsión muscular que ejercen estos órganos. Durante el ascenso, existe una gran reducción de la cantidad de espermia. Aproximadamente cien millones de espermatozoides se depositan en la vagina, pero sólo un millón entran en el útero y quizá sólo cien alcanzan el óvulo. Los espermatozoides no permanecen activos y fértiles en el tracto femenino

más de dos días. Una vez que el espermatozoide penetra en el óvulo, se produce un rápido cambio: los núcleos de las dos células se fusionan y el óvulo se vuelve impenetrable para más espermatozoides.

La célula espermática tiene una cabeza aplanada en forma de pera que contiene el material nuclear, conectada por un corto cuello con un largo tallo, cuyo movimiento de látigo proporciona a la célula su movilidad. La formación espermática en los testículos es un proceso complicado y muchos espermatozoides se forman de forma incorrecta y no son adecuados para la fertilización. Una posible causa de infertilidad se produce a causa de una escasez de espermatozoides o una ausencia total del líquido seminal. La espermatogénesis también se altera si el escroto está demasiado caliente.

La esterilidad puede deberse a la incapacidad de la mujer para alojar un embrión que se desarrolla dentro del útero, pero también puede deberse a un error en el otro sexo. Los órganos sexuales pueden ser anormales, estar alterados o ausentes; los espermatozoides pueden ser escasos, estar mal formados o no ser viables; la secreción vaginal puede ser letal para los espermatozoides; las trompas de Falopio pueden estar obstruidas. En algunos casos, la esterilidad se debe a un fallo en la maduración adecuada de los óvulos, lo que puede ser tratado administrando FSH, aunque con algún riesgo de nacimientos múltiples.

Un aspecto de gran importancia en el desarrollo de células germinales masculinas y femeninas es que, en algún momento, su cantidad de cromosomas debe reducirse. Una célula normal contiene cuarenta y seis cro-

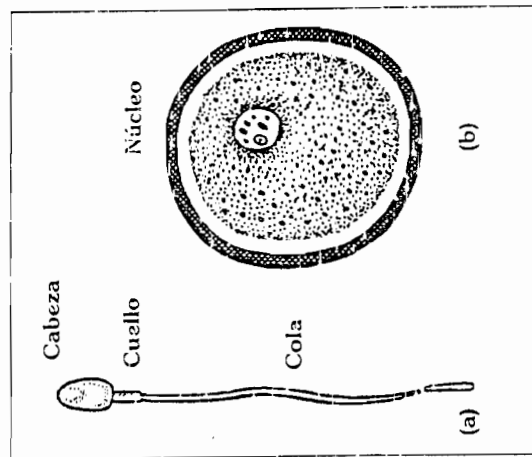


Figura 21.6. Células reproductoras masculinas y femeninas: (a) espermatozoide, (b) óvulo

### Fertilización

La unión de los espermatozoides masculinos con el óvulo femenino se produce normalmente en la trompa uterina cuando el huevo se traslada hacia el útero. Sólo puede ocurrir si el esperma del hombre durante una relación sexual reciente ha penetrado en la vagina, a través del cérvix y el cuerpo del útero en la trompa. El éxito depende de una coincidencia cercana entre el acto sexual y la ovulación,

ceso comienza antes de entrar en el útero, y el viaje a través de la trompa uterina dura varios días. Una vez en la cavidad uterina, el óvulo se adhiere como un parásito, excavando una cavidad en la membrana mucosa.

El embrión, al principio, está formado por poco más de un par de sacos o vesículas, la *cavidad amniótica* y el *saco vitelino*, con una lámina interpuesta que forma el área embrionaria sobre la que se produce el desarrollo. La cavidad amniótica pronto se expande enormemente, hasta revestir todo el útero, y se llena con líquido amniótico que baña el embrión. En la zona de implantación, la membrana amniótica desarrolla un complejo sistema del corion, penetrando en la pared uterina. Esto constituye la masa de la etapa antes del nacimiento o *placenta*, un disco carnoso de 15-20 cm de diámetro cuando se desarrolla hasta el máximo. Es aquí donde las circulaciones materna y embrionaria se encuentran en el punto más próximo, aunque la comunicación no es directa: el oxígeno y los nutrientes se difunden a través de capas separadas de células. El saco vitelino se aprieta por el crecimiento del amnios en un estrecho conducto, el núcleo del *cordón umbilical*, que conecta el embrión en desarrollo con la placenta. El cordón posee 51 cm de longitud en el nacimiento y se presenta enrollado en espiral. Transporta en su sustancia gelatinosa las dos arterias umbilicales y la vena umbilical del feto.

Puesto que el feto envía su sangre a la placenta para la oxigenación y la ingesta de alimentos, las arterias umbilicales contienen sangre venosa y las ~~venas~~ sangre arterial fresca.

66

lario como involuntario), el corazón y los vasos sanguíneos, y el sistema urinario genital.

En cualquier zona del complejo patrón de desarrollo puede producirse algún error. La médula espinal puede quedar sobre la superficie de la espalda como una capa abierta, o puede desarrollarse normalmente, pero las dos mitades de la columna vertebral pueden fallar incluyéndola completamente y dejando un espacio por detrás, entidad denominada *espina bífida*. El paladar puede permanecer cerrado si las dos mitades no se encuentran; el septo del corazón puede permanecer incompleto, permitiendo que se mezcle la sangre venosa con la sangre arterial; un hueso o un miembro puede no desarrollarse enteramente o en parte; los dedos y los pulgares pueden ser demasiado cortos o numerosos. Sin embargo, cualquier error es una rareza.

## Escala temporal

Las dos vesículas primitivas del embrión se presentan diez días después de la fertilización y el área embrionaria que interviene comienza a desarrollarse en la tercera semana. La cabeza y los pliegues de la cola, la cavidad neural y el corazón se forman a la cuarta semana. En la quinta semana aparece el cristalino del ojo, los rudimentos de la cara y la ramificación branquial y fragmentos de las yemas de los dedos, alcanzando el embrión 5 mm de longitud. En la sexta semana se ve el cuerpo curvado sobre sí mismo, la cabeza aproximándose a la

larga cola y el cordón umbilical unido al vientre cerca de este último; el hígado se alarga y las yemas de los dedos crecen y se demarcan en segmentos.

Al final de la octava semana, el embrión tiene 2,5 cm de longitud y es ahora cuando se conoce con el nombre de *feto*. Los ojos, los oídos y la nariz están formados, los genitales externos diferenciados y los dedos de las manos y de los pies marcados. Un fino pelo veloso aparece en el cuarto mes, cuando el feto alcanza 20 cm de longitud. En el quinto mes, comienzan los movimientos fetales y la piel se cubre con una secreción grasienta.

En el séptimo mes, los párpados se han abierto y los testículos descienden hacia el escroto, y aunque el feto puede ahora ya ser viable (es decir, capaz de vivir), si nace prematuramente no cuenta con la suficiente grasa subcutánea para poder sobrevivir a temperatura ambiente hasta el final del noveno mes.

En el nacimiento, el útero se contrae, rompiendo las membranas y expeliendo primero el feto y el líquido amniótico, después la placenta y, por último, las membranas. En el niño se producen algunos cambios importantes en el nacimiento. Durante la vida fetal, los pulmones se han mantenido sin expandirse y sin aire, puesto que no necesitan sangre y el fluido en la arteria pulmonar circula por medio de un *bypass* directamente hacia la aorta. Con el primer grito, los pulmones se expanden, la circulación pulmonar se establece y el *bypass* se cierra. Las porciones de los vasos umbilicales contenidos en el feto también se eliminan y los microbios pasan a formar parte de un organismo independiente.

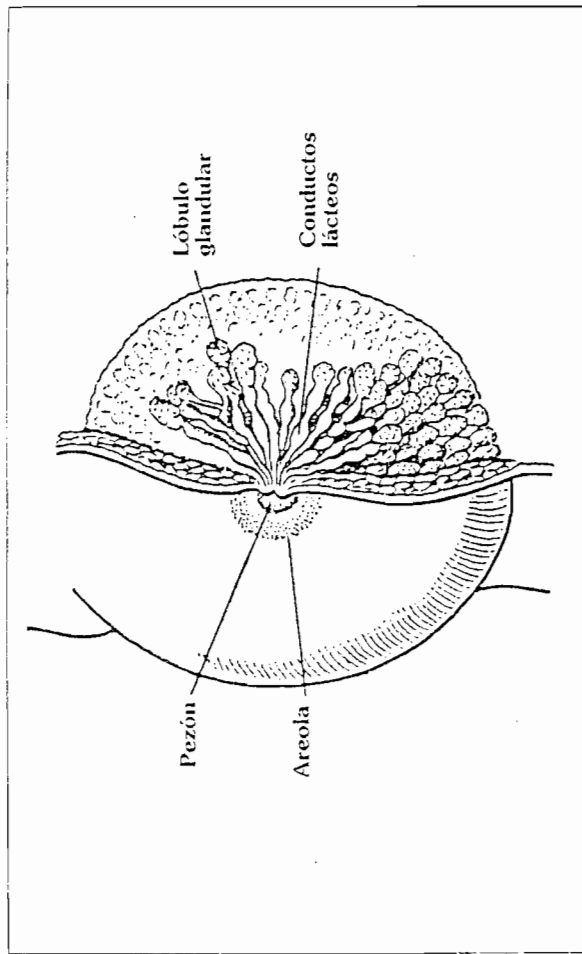


Figura 21.9: La mama femenina disecionada parcialmente para mostrar los lóbulos

## LAS MAMAS Y LA LACTANCIA

Las glándulas mamarias, diseñadas para la secreción láctea, forman dos grandes eminencias redondeadas entre la piel y la fascia profunda en la parte anterior del tórax, superpuestas a los músculos pectorales. Se extienden desde la segunda costilla a la sexta y desde el costado del esternón a la axila. Pequeñas antes de la pubertad, se desarrollan con el útero, se hipertrofian en el embarazo —sobre todo en la lactancia y después del parto— y se atrofian en la senectud. Existen cambios cíclicos —menores con la menstruación.

El pezón pigmentado en el ápice de la mama es redondeado por una área de piel coloreada, la *areola*; ésta contiene glándulas sebáceas, es rosa-

da en las adolescentes y se va oscureciendo permanentemente a partir del primer embarazo. El pezón está perforado por quince a veinte conductos lácteos. Es sensible y contiene tejido eréctil. La glándula se divide en lóbulos por particiones fibrosas, algunas de las cuales sujetan el órgano a la pared torácica. Cada lóbulo contiene un sistema ramificado de espacios glandulares secretores sostenidos por tejido graso. El conducto más largo converge en el pezón y se expande justo antes de alcanzarlo en las sinuosidades o depósitos lácteos. Los espacios glandulares sólo se dilatan con la leche durante el amamantamiento.

Las mamas se desarrollan en el embarazo como preparación para la lactancia. Los primeros días después del parto sólo producen un líquido acuoso o calostro que contiene unos pocos glóbulos grasos, y sólo después

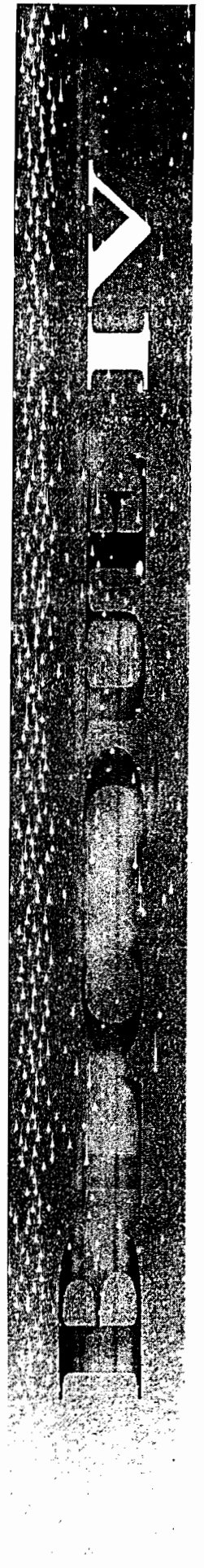
sólida o cuajada en el estómago. Ésta puede transformarse también en el estómago en un suero líquido.

2. *Azúcar (lactosa).*
3. *Grasas.*

En la mujer, se encuentran en las proporciones de 1,5% para las proteínas, 6,5% para la lactosa y 3,5% para la grasa. La leche de vaca contiene más proteínas y menos azúcar, pero el contenido de grasa es el mismo. Puede asimilarse a la leche humana añadiendo agua para diluir el contenido proteico y azucarándola. No obstante, es el segundo mejor sustituto, puesto que los beneficios que la alimentación natural confiere tanto a la madre como al niño hacen que sea el primer alimento de elección.

1. *Proteínas (caseinógeno), que se convierte en un grumo de caseína*

**EL SISTEMA ENDOCRINO  
Y EL SISTEMA NERVIOSO:  
PRINCIPALES VÍAS  
DE REGULACIÓN DEL  
ORGANISMO**



# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO



**SEGUNDO NIVEL**

Pascual Brumós, Isabel (1997), "Sistema endocrino", en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Segundo nivel*, España, Departamento de Educación y Cultura-Gobierno de Aragón/Mira Editores, pp. 175-188.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este libro, así como su tratamiento informático, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información o sistema de recuperación o por otros medios, ya sean electrónicos, mecánicos, por fotocopia, registro, etc., sin el permiso previo por escrito de MIRA EDITORES, S.A.

© Los autores  
© MIRA EDITORES, S.A.  
Concepción Arenal, 20 - 50005 Zaragoza  
Telés. 976 35 29 23 - Fax 976 35 10 43

Este libro ha sido editado con la ayuda del Departamento de Educación y Cultura de la D.G.A.  
La presente edición ha sido revisada por los autores y D. Manuel Casanova Larrayad  
y D. Alfonso Muniesa Ferrero

Diseño: Equipo de maquetación de MIRA EDITORES

Primera edición: junio de 1998

I.S.B.N. Obra Completa: 84-89859-23-X  
I.S.B.N. Segundo Tomo: 84-89859-13-2  
Depósito Legal: HU-261/98

Impreso en España

GRAFIC RM COLOR, S.L., Comercio, parcela 1, nave 3 - 22006 Huesca

090

## TEMA VII: SISTEMA ENDOCRINO

Isabel Pascual Brumós

1. INTRODUCCIÓN
2. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA ENDOCRINO
3. GLÁNDULAS ENDOCRINAS
  - 3.1. Glándula hipófisis o pituitaria.
  - 3.2. Glándula tiroides.
  - 3.3. Glándula adrenal.
  - 3.4. Páncreas.
4. EFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA PRODUCCIÓN HORMONAL
5. LAS HORMONAS Y SU RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO FÍSICO

En los diferentes ejemplares  
de los libros de texto  
de la asignatura de  
Fisiología, se encuentran  
los contenidos de este  
tema, así como los  
resultados de las  
investigaciones realizadas  
en este campo.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El sistema endocrino, junto al sistema nervioso, constituyen las principales vías de comunicación dentro del cuerpo. El sistema endocrino proporciona estabilidad al medio interno desempeñando un papel clave en la regulación metabólica, tanto en reposo como durante la actividad física.

## 2.- ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA ENDOCRINO

El sistema endocrino está compuesto por unos órganos anfitriones llamados glándulas, que son grupos de células que segregan cantidades ínfimas de sustancias químicas que se comportan como mensajeros, llamadas hormonas y un órgano meta o receptor.

Las hormonas viajan en el interior del torrente sanguíneo por todo el cuerpo y las cantidades que no consumen los tejidos receptores son eliminadas por el hígado y los riñones.

Casi todas las glándulas están bajo el control del sistema nervioso.

El sistema endocrino y nervioso actúan sinérgicamente con la función hormonal, el sistema nervioso central, actuando principalmente a través del hipotálamo, es responsable del control de la mayoría de las secreciones hormonales; por otro lado, hormonas específicas actúan para modificar la función neural. Por ello es necesario hablar de control neuroendocrinológico de la función corporal.

## 3.- GLÁNDULAS ENDOCRINAS

### 3.1.- Glándula hipófisis o pituitaria

La glándula hipófisis también llamada pituitaria está situada en la base del cráneo, alojándose en la llamada silla turca. Se distinguen dos partes, una anterior y otra posterior, que segregan hormonas diferentes.

Cada una de las hormonas primarias de la pituitaria tienen su propia hormona liberadora a nivel del hipotálamo llamada factor liberador; dichas hormonas liberadoras son controladas por la entrada de información nerviosa al hipotálamo, y factores como la ansiedad, el estrés o el ejercicio la desencadenan.

La glándula hipófisis anterior segrega las siguientes hormonas:

- HORMONA DE CRECIMIENTO, HC o somatotropina: tiene una actividad fisiológica generalizada ya que promueve la división celular y la proliferación celular por todo el cuerpo; en el adulto facilita la síntesis de proteínas, disminuye el ritmo de utilización de los hidratos de carbono y favorece el uso de las grasas como fuente energética.
- TIROTROPINA, hormona estimuladora del tiroides (HET), controla la cantidad de hormona excretada por la glándula tiroides. El papel más importante de la hormona tiroidea es regular el metabolismo celular.

- CORTICOTROPINA, hormona adrenocorticotrópica (HATC), que regula la producción de las hormonas que segrega la corteza adrenal, actúa intensificando directamente la movilización de las grasas del tejido adiposo, aumenta el ritmo de gluconeogénesis y estimula el catabolismo de las proteínas.

Dado que el cortisol (hormona que segrega la corteza adrenal) aumenta durante el ejercicio, se supone que su precursor, la HATC, aumenta también aunque no ha podido evidenciarse.

- PROLACTINA (PRL): esta hormona inicia y prolonga la secreción de leche de las glándulas mamarias poco después de que la madre dé a luz. La prolactina aumenta cuanto mayor es el ejercicio; se ha supuesto que la liberación repetida de la PRL inducida por el ejercicio puede inhibir los ovarios, lo cual explicaría el retraso en la aparición de la menarquía (aparición de la primera regla) así como una mayor incidencia de amenorrea (ausencia de regla) y oligomenorrea (menstruación escasa o poco frecuente) entre atletas femeninas.
- HORMONAS GONADOTRÓPICAS: estas hormonas estimulan los órganos sexuales tanto en el hombre como en la mujer. Las dos hormonas son la estimuladora de los folículos (HEF) y la luteinizante (HL).

La HEF y HL en la hembra inician el crecimiento de los folículos en los ovarios y los estimula para que segregen estrógenos (un tipo de hormona sexual femenina).

En el varón, la HEF estimula el crecimiento del epitelio germinal de los testículos y así promueve el desarrollo del espermatozoide. La hormona luteinizante también estimula a los testículos para que segregen hormona sexual masculina, la testosterona.

La glándula hipófisis posterior se llama también neurohipófisis, no sintetiza sus hormonas, simplemente las almacena; las hormonas son sintetizadas por el hipotálamo, éste las vierte a la neurohipófisis y desde aquí son liberadas a la circulación general según las necesidades.

Estas hormonas son:

- HORMONA ANTIDIURÉTICA, HAD o vasopresina: su función principal es controlar la excreción de agua por los riñones, limita la producción de grandes volúmenes de orina para conservar el agua.

Esta hormona aumenta con el ejercicio.

- OXITOCINA: sus funciones son favorecer las contracciones del útero en el parto y favorecer la salida de leche durante la lactancia.

La liberación de hormonas de la neurohipófisis es controlada por el estímulo nervioso.

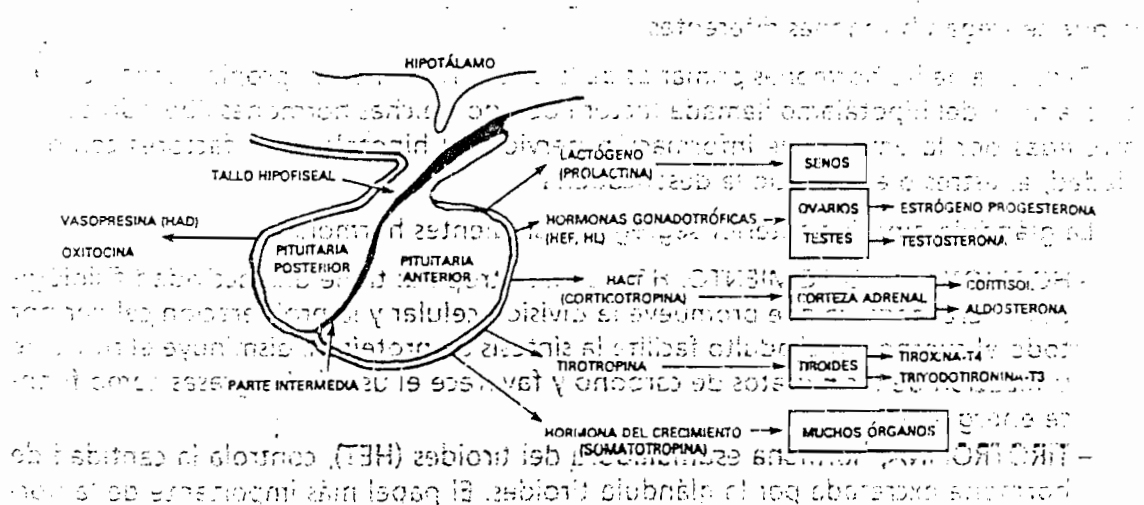


FIGURA 1

### 3.2.- Glándula tiroidea

La glándula tiroidea está situada en la parte delantera del cuello, justo debajo de la laringe, y se extiende a ambos lados como las alas de una mariposa. Segrega dos hormonas, la tiroxina (T4) y la triyodotiroxina (T3).

La acción de estas hormonas consiste en aumentar el metabolismo de todas las células y también estimular la degradación de los carbohidratos y de las grasas.

Su producción hormonal está regulada por la hormona estimulante del tiroides (HET), que a su vez recibe la influencia directa del ritmo metabólico de todo el cuerpo; de tal forma que si el metabolismo corporal disminuye, se estimula la liberación hipotalámica de la HET, aumenta la producción tiroidea y se eleva el ritmo metabólico corporal. Al contrario, el aumento metabólico corporal disminuye la producción de HET y como consecuencia desciende el ritmo metabólico. Este sistema de ajuste se denomina de retroalimentación.

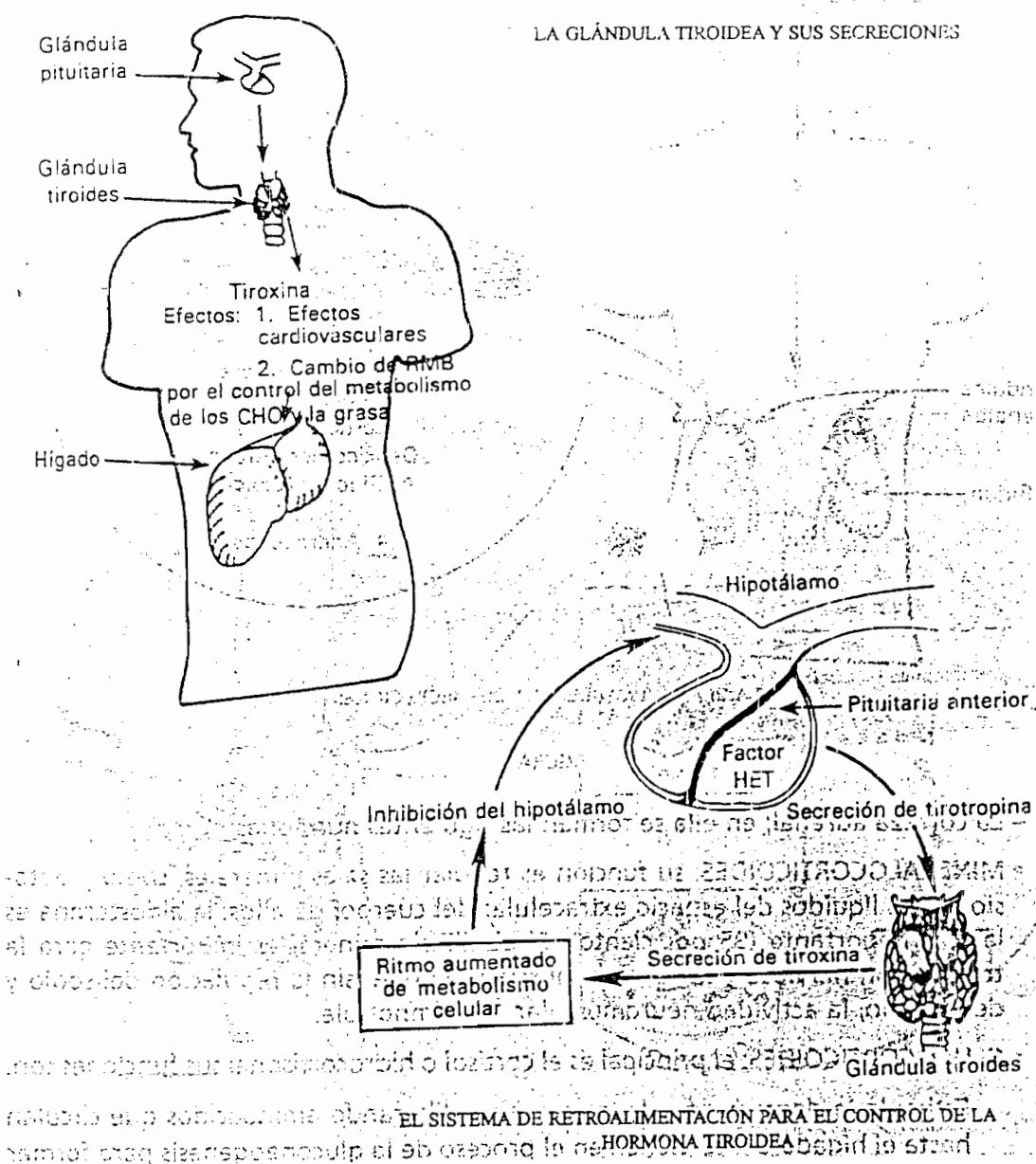


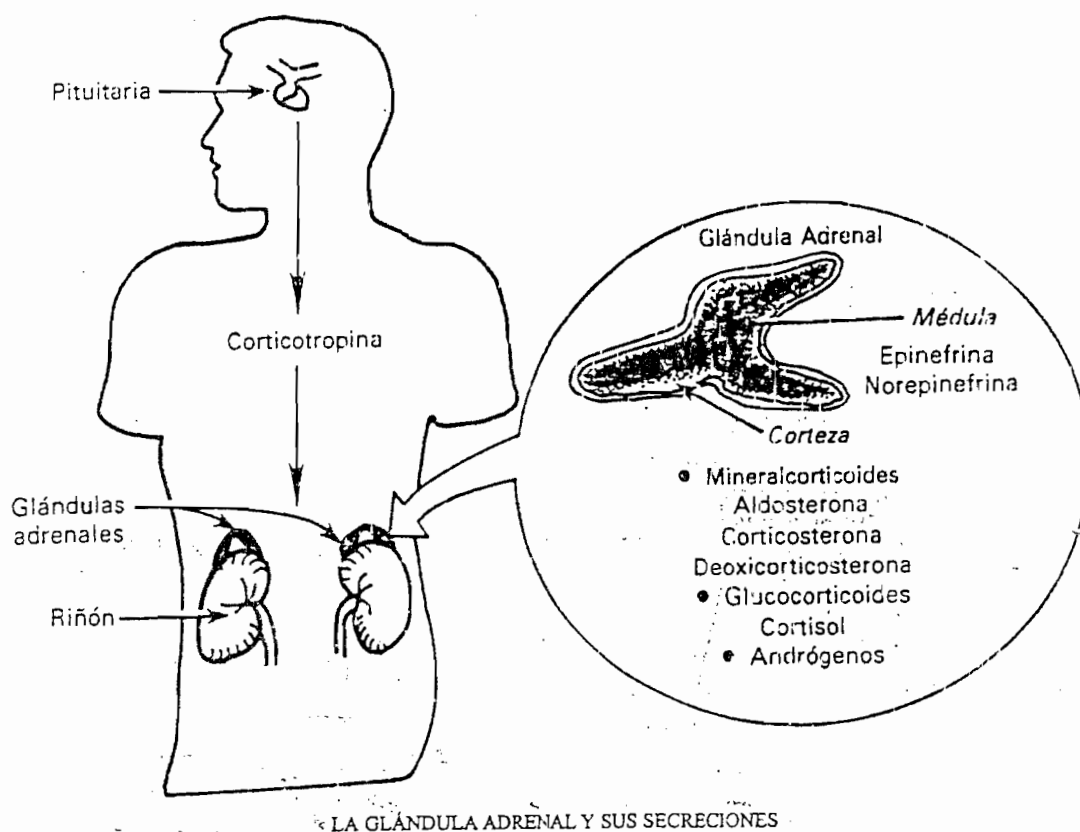
FIGURA 2

### 3.3.- Glándula adrenal

Por encima de ambos riñones y a modo de gorros están situadas las glándulas adrenales en las que se diferencian dos partes, la médula (parte interior) y otra más externa llamada corteza. Cada una de ellas segrega hormonas diferentes.

– La médula adrenal es parte del sistema nervioso simpático, actúa para prolongar y aumentar los efectos simpáticos segregando dos hormonas, epinefrina y norepinefrina, denominándose a ambas catecolaminas.

• Los impulsos nerviosos del hipotálamo estimulan la médula adrenal para que aumente la producción de catecolaminas y éstas actúan sobre el corazón, los vasos sanguíneos y las glándulas de la misma forma que lo hace la estimulación directa del sistema nervioso simpático.



LA GLÁNDULA ADRENAL Y SUS SECRECIONES

FIGURA 3

– La corteza adrenal; en ella se forman las siguientes hormonas:

- **MINERALOCORTICOIDES**; su función es regular las sales minerales, sodio y potasio en los líquidos del espacio extracelular del cuerpo; de ellos, la aldosterona es la más importante (95 por ciento). El equilibrio mineral es importante para la transmisión nerviosa y la función muscular ya que, sin la regulación del sodio y del potasio, la actividad neuromuscular sería imposible.
- **GLUCOCORTICOIDES**: el principal es el cortisol o hidrocortisona; sus funciones son:
  - Estimula la degradación de las proteínas liberando aminoácidos que circulan hasta el hígado e intervienen en el proceso de la gluconeogénesis para formar glucosa.

- Apoya la acción de otras hormonas, principalmente del glucagón y la hormona de crecimiento, en el proceso gluconeogénico.
- Actúa como antagonista de la insulina para inhibir el consumo y oxidación de la glucosa.
- ANDRÓGENOS: son un tipo de hormonas sexuales que la corteza adrenal segrega en pequeñas cantidades tanto en el hombre como en la mujer.

### 3.4.- Páncreas

El páncreas es una glándula alargada situada debajo del estómago, tiene funciones digestivas y endocrinas y segrega dos hormonas, la insulina y el glucagón.

- INSULINA: la función principal de la insulina es aumentar el ritmo de transporte de la glucosa dentro de las células y así controlar el ritmo del metabolismo de los carbohidratos en el cuerpo. También tiene una acción sobre el metabolismo de las grasas.

La diabetes es la enfermedad resultante de una producción insuficiente de insulina.

- GLUCAGÓN: tiene una acción contraria a la insulina, es decir, aumenta el nivel sanguíneo de glucosa.

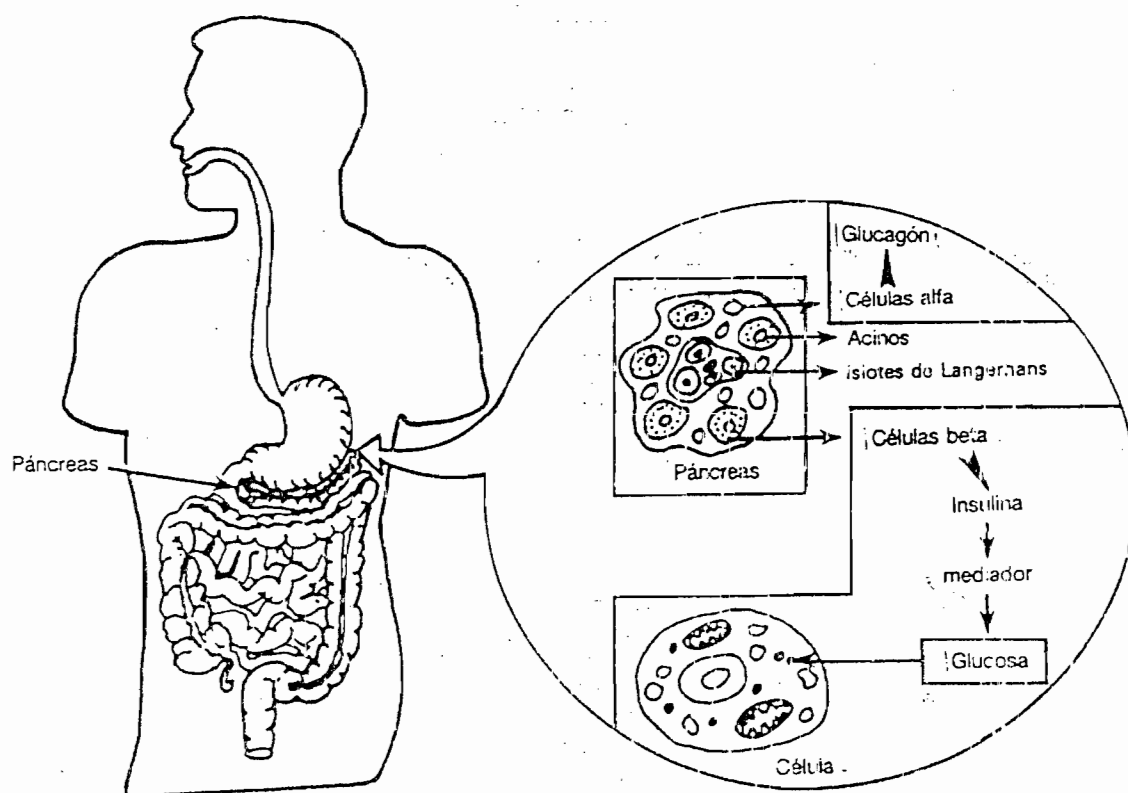


FIGURA 4

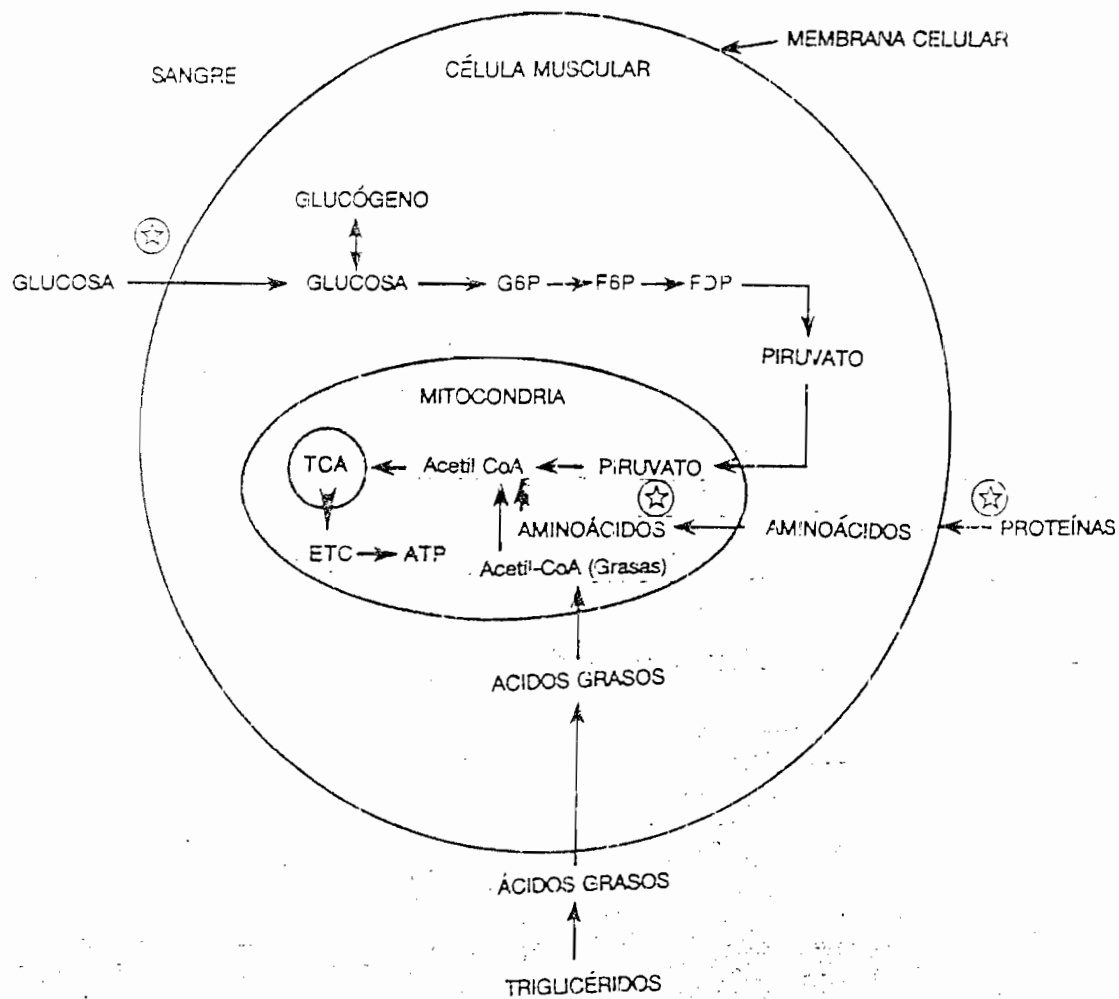


FIGURA 5.

La función principal de la insulina dentro del cuerpo. Las estrellas rodeadas de círculos ilustran el momento metabólico en el que la insulina ejerce su influencia. (TCA, Ciclo tricarboxílico; ETC, cadena del transporte de electrones.)

## 4.- EFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA PRODUCCIÓN HORMONAL

| GLÁNDULA ANFITRIONA | HORMONA                  | FUNCIONES DE LA HORMONA                                                                                                                                                                                                                | CONTROL DE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA                                                                              | ▲ EFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Pituitaria anterior | Hormona del crecimiento  | Estimula el crecimiento de los tejidos; moviliza los ácidos grasos para la energía; inhibe el metabolismo de los carbohidratos (CHO)                                                                                                   | Factor liberador hipotalámico (FLHC)                                                                               | ▲ con mayor ejercicio                                    |
|                     | Tirotropina (HET)        | Estimula la producción y liberación de tiroxina de la glándula tiroidea                                                                                                                                                                | Factor hipotalámico liberador de HET, tiroxina                                                                     | ▲ con mayor ejercicio                                    |
|                     | Corticotropina (HACT)    | Estimula la producción y liberación del cortisol, aldosterona y otras hormonas adrenales                                                                                                                                               | Factor hipotalámico liberado de la HACT, cortisol                                                                  | ?                                                        |
|                     | Gonadotropina (HEF y HL) | La HEF trabaja con la HL para estimular la producción del estrógeno por los ovarios; la HL trabaja con la HEF para estimular la producción de estrógeno y progesterona por los ovarios y la testosterona por los testículos masculinos | Factor hipotalámico liberador de HEF y HL; en las mujeres: estrógeno y progesterona; en los hombres: testosterona. | Ningún cambio                                            |
|                     | Prolactina (PRL)         | Inhibe la testosterona; moviliza los ácidos grasos                                                                                                                                                                                     | Factor hipotalámico inhibidor PRL                                                                                  | ▲ con mayor ejercicio                                    |
|                     | Endorfinas               | Bloquean el dolor; fomentan la euforia; afectan a la lactancia y al ciclo menstrual femenino                                                                                                                                           | Estrés: físico/emocional                                                                                           | ▲ con ejercicios de larga duración                       |

| GLÁNDULA ANFITRIONA  | HORMONA                                                   | FUNCIONES DE LA HORMONA                                                                                                                                                                | CONTROL DE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA                      | EFFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA                       |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Pituitaria posterior | Vasopresina (HAD)                                         | Controla la excreción del agua por los riñones                                                                                                                                         | Neuronas secretoras hipotálamicas                          | ▲ con mayor ejercicio                                                         |
|                      | Oxitocina                                                 | Estimula los músculos del útero y de los senos; importante en el alumbramiento y la lactancia                                                                                          | Neuronas secretoras hipotálamicas                          | ?                                                                             |
| Corteza adrenal      | Cortisol<br>Corticosterona                                | Fomenta el uso de los ácidos grasos y el catabolismo de las proteínas; conserva el azúcar sanguíneo<br>-antagonista de la insulina; tiene efectos anti-inflamatorios con la epinefrina | HACT; estrés                                               | ▲ sólo en el ejercicio duro                                                   |
|                      | Aldosterona                                               | Fomenta la retención de sodio, potasio y agua por los riñones                                                                                                                          | Angiotensina y concentración plasmática de potasio; renina | ▲ con mayor ejercicio                                                         |
| Médula adrenal       | Epinefrina<br>Norepinefrina                               | Facilita la actividad simpática; aumenta el gasto cardíaco, regula los vasos sanguíneos, aumenta el catabolismo del glucógeno y la liberación de ácidos grasos                         | Nervios simpáticos estimulados por el estrés               | Epinefrina ▲ con el ejercicio intenso.<br>Norepinefrina ▲ con mayor ejercicio |
| Tiroides             | Tiroxina T <sub>4</sub><br>Triyodotironina T <sub>3</sub> | Estimula el ritmo metabólico; regula el crecimiento y la actividad celulares                                                                                                           | HET; metabolismo del cuerpo entero                         | ▲ con mayor ejercicio                                                         |
| Páncreas             | Insulina                                                  | Fomenta el transporte de los carbohidratos dentro de las células;                                                                                                                      | Niveles de glucosa plasmática                              | ▲ con mayor ejercicio                                                         |

| GLÁNDULA ANFITRIONA | HORMONA                   | FUNCIONES DE LA HORMONA                                                                                                                                        | CONTROL DE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA | ▲ EFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA SECRECIÓN DE LA HORMONA |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                     |                           | aumenta el catabolismo de los carbohidratos y disminuye la glucosa sanguínea; fomenta el transporte de los ácidos grasos y los aminoácidos dentro de la célula |                                       |                                                          |
|                     | Glucagón                  | Fomenta la liberación de la glucosa del hígado a la sangre; aumenta el metabolismo de las grasas                                                               | Niveles de glucosa plasmática         | ▲ con mayor ejercicio                                    |
| Paratiroidea        | Paratormona               | Eleva el nivel de calcio sanguíneo, disminuye el nivel del fosfato sanguíneo                                                                                   | Concentración de calcio plasmático    | ?                                                        |
| Ovarios             | Estrógeno<br>Progesterona | Controla el ciclo menstrual; aumenta la deposición de grasas; fomenta las características sexuales femeninas                                                   | HEF, HL                               | ▲ con el ejercicio, depende de la fase menstrual         |
| Testes              | Testosterona              | Controla el tamaño del músculo; aumenta RGR; disminuye la grasa corporal; fomenta las características sexuales masculinas                                      | HL                                    | ▲ con el ejercicio                                       |
| Riñones             | Renina                    | Estimula la secreción de la aldosterona                                                                                                                        | Concentración de sodio plasmático     | ▲ con mayor ejercicio                                    |

▲ = Aumenta

## 5.- LAS HORMONAS Y SU RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO FÍSICO

| HORMONA                                                                                                                                                                                | RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>HORMONAS HIPOTÁLAMO-PITUITARIAS</p> <p><i>Hormona de crecimiento</i></p> <p><i>Tirotropina</i></p> <p><i>HACT</i></p> <p><i>Prolactina</i></p> <p><i>HEF, HL y Testosterona</i></p> | <p>Ningún efecto sobre los valores de reposo; los entrenados tienden a tener un aumento menos dramático durante el ejercicio</p> <p>Ningún efecto de entrenamiento conocido</p> <p>Los entrenados tienen valores aumentados de ejercicio</p> <p>Alguna evidencia de que el entrenamiento disminuye los valores de reposo</p> <p>Las mujeres entrenadas tienen niveles disminuidos<br/>Los hombres entrenados tienen niveles reducidos de testosterona, con probablemente ningún cambio en la HL ni la HEF</p> |
| <p>HORMONAS DE LA PITUITARIA POSTERIOR</p> <p><i>Vasopresina (HAD)</i></p> <p><i>Oxitocina</i></p>                                                                                     | <p>Alguna evidencia de que el entrenamiento resulta en ligeras reducciones de la HAD a una carga de trabajo dada</p> <p>No se dispone de información basada en investigaciones</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p>HORMONAS TIROIDEAS</p> <p><i>Tiroxina</i></p> <p><i>Triyodotironina</i></p>                                                                                                         | <p>Concentración reducida de T<sub>3</sub> total y un aumento de la tiroxina libre en reposo. Mayor <i>turnover</i> de T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> durante el ejercicio</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>HORMONAS ADRENALES</p> <p><i>Aldosterona</i></p> <p><i>Cortisol</i></p> <p><i>Epinefrina</i></p> <p><i>Norepinefrina</i></p>                                                        | <p>Ninguna adaptación significativa de entrenamiento</p> <p>Los entrenados exhiben unas ligeras elevaciones durante el ejercicio</p> <p>Reducción en la secreción de reposo y a la misma intensidad de ejercicio después del entrenamiento</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>HORMONAS PANCREÁTICAS</p> <p><i>Insulina</i></p> <p><i>Glucagón</i></p>                                                                                                             | <p>El entrenamiento aumenta la sensibilidad a la insulina; una reducción normal en la insulina durante el ejercicio está muy reducida como respuesta al entrenamiento</p> <p>Aumentos menores en los niveles de glucosa durante el ejercicio tanto con cargas de trabajo absolutas como relativas</p>                                                                                                                                                                                                         |
| <p>HORMONAS RENALES</p> <p><i>Renina</i></p> <p><i>Angiotensina</i></p>                                                                                                                | <p>Ningún efecto de entrenamiento aparente</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## RESUMEN - INFORMACIÓN ESENCIAL

El sistema endocrino está formado por unos órganos anfitriones llamados glándulas, unas sustancias químicas que hacen de mensajeros (hormonas) y unos órganos meta o receptores a los que llega la información.

El sistema nervioso y el sistema endocrino son los grandes sistemas de comunicación dentro del cuerpo.

El sistema endocrino ayuda a controlar la homeóstasis (equilibrio del medio interno corporal).

Por ejemplo, durante el ejercicio hay una disminución de los niveles de glucosa en sangre, lo que se traduciría en una disminución del rendimiento físico y disfunciones cerebrales y metabólicas, pero el sistema endocrino reacciona junto al sistema nervioso y los niveles de glucosa se mantienen, permitiendo así que el ejercicio pueda continuarse en las mejores condiciones.

## AUTOEVALUACIÓN

- ¿En qué forma se almacena la glucosa que no se utiliza de forma inmediata?
- ¿Sabrías explicar qué sucede si hay una disminución de la secreción de insulina?
- ¿La hormona vasopresina o HAD, disminuye o aumenta con el ejercicio?
- Las catecolaminas, ¿disminuyen o aumentan con el ejercicio?
- ¿Sabrías explicar el movimiento reflejo?
- Explica en qué afecciones digestivas tiene el deporte un papel favorable.
- ¿Te parece cierto o falso que el entrenamiento de resistencia tiende a reducir las cifras de reposo de tensión arterial?

## BIBLIOGRAFÍA

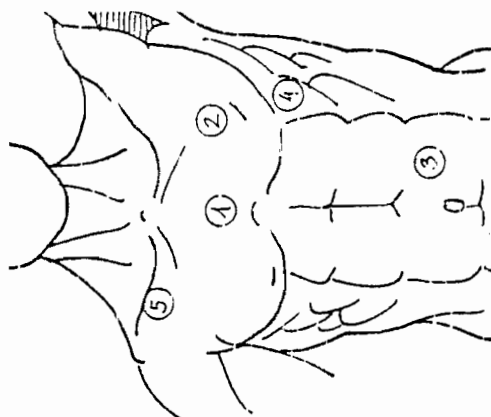
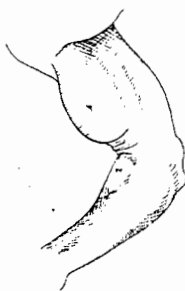
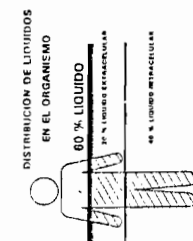
- ÁLVAREZ DEL VILLAR, C., *La preparación física del fútbol, basada en el atletismo*, Madrid, 1983.
- ASSI, T., "La práctica del Estreatching". Madrid, *Cuadernos de Atletismo*, nº 10, C.E.E.N.E. (R.F.E.A.), 1983.
- ASTRAND, P., *Fisiología del trabajo físico*. Buenos Aires, Ed. Panamericana, 1985.
- DAVID R. LAMB, *Fisiología del Ejercicio*.
- DICK, F.W., *Principios del entrenamiento deportivo*. Barcelona, Ed. Paidotribo, 1993.
- EHLENZ, GROSSER y ZIMMERMANN, *Entrenamiento de la fuerza*, Barcelona, Ed. Martínez Roca SA, 1990.
- FARRERAS V., ROZMAN C., *Medicina interna*. Barcelona, Ed. Marín, 1978.

- FOX, E. L., *Fisiología del deporte*. Buenos Aires, Ed. Panamericana, 1984
- Generalitat Valenciana, *El deporte en la infancia y la juventud*. Valencia, Ed. Conselleria de cultura, Educació i Ciència, 1985.
- GROSSER, BRÜGGEMANN y ZINTL, *Alto rendimiento deportivo*. Barcelona, Ed. Martínez Ecca SA, 1989.
- GROSSER, M., BRÜGGEMANN, P., ZINTL, F., *Alto rendimiento deportivo: planificación y desarrollo*. Barcelona, Ed. Deportes técnicas, 1989.
- GUILLET, R., GENETY, J., *Manual de medicina del deporte*. Barcelona, Ed. Toray-Masson, 1973.
- GUYTON, A. C., *Tratado de fisiología médica*. Ed. Interamericana, 1977.
- HEGEDUS, I., *Teoría general y especial del entrenamiento deportivo*. Buenos Aires, Ed. Stadium, 1974.
- JOAN RAMÓN BARBANY, *Elementos de Fisiología aplicada al Ejercicio Físico*.
- JÜRGEN, W., *Entrenamiento óptimo: cómo lograr el máximo rendimiento*. Barcelona, Ed. Hispano europea, 1988.
- LAMB, D., *Fisiología del Ejercicio. Respuestas y adaptaciones*.
- LAMBERT, G., *El entrenamiento deportivo. Preguntas y respuestas*. Barcelona, Ed. Paidotribo, 1993.
- LEVESQUE, D., *El entrenamiento en los deportes*. Barcelona, Ed. Paidotribo, 1993.
- LÓPEZ, J., FERNÁNDEZ, A., *Fisiología de ejercicio*. Madrid, Ed. Panamericana, 1995.
- MANNO, R., *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Barcelona, Ed. Paidotribo, 1991.
- MARTIN, D., "Concepción de un modelo para entrenamiento de jóvenes", *Leistungssport*-3, 1981.
- McARDLE, W.D., KATCH, F., KATCH, V., *Fisiología del Ejercicio*. Madrid, Ed. Alianza Deporte, 1990.
- MORA, V. J., *Las capacidades físicas o bases del rendimiento motor*. Cádiz, Ed. Diputación de Cádiz, 1989.
- MOREHOUSE, *Fisiología del ejercicio*. Buenos Aires, Ed. Atenco, 1975.
- PLATONOV, V.N., *La adaptación en el deporte*. Barcelona, Ed. Paidotribo, 1991.
- RIGAL R., PAOLETTI R., PORTMAN M., *Motricidad: aproximación psicofisiológica*. Madrid, Ed. Augusto, E.Pila Teleña, 1979.
- ROGERS, J.L., "La facilitación neuromuscular propioceptiva, nuevo método para mejorar la flexibilidad", *Cuadernos de Atletismo nº 10*, Madrid, C.D.E.N. (R.F.E.A.), 1983.
- V.V. AA., *Bases para una nueva E.F.* Zaragoza, Ed. Cepid, 1989.
- WILLIAN, D., FRANK, I., VICTOR, L., *Fisiología del ejercicio: Energía, nutrición y rendimiento humano*. Madrid, Ed. Alianza, 1990.

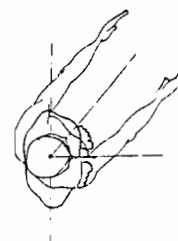
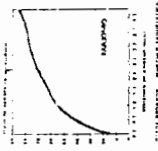
Antxon Gorrotxategi  
Patxi Aranzabal

# EL MOVIMIENTO HUMANO

## BASES ANATOMO-FISIOLÓGICAS



EFFECTS OF EXERCISE ON THE DISTRIBUTION OF BLOOD



Colección  
Deporte  
y  
Salud

GYMNOS  
EDITORIAL

Gorrotxategi, Antxon y Patxi Aranzabal (1996), "Sistema nervioso", en *El movimiento humano. Bases anatomo-fisiológicas*, Madrid, Gymnos (Deporte y salud), pp. 85-93.

# **SISTEMA NERVIOSO**

El Sistema Nervioso dividido en dos grandes bloques que podemos denominar como Central y Periférico, va a ser el sistema que va a coordinar, controlar y regular todas las funciones del organismo.

Es el sistema más complejo de nuestro organismo y ello junto con las dificultades de 'manipulación' que presenta en relación a otros órganos y sistemas, trae consigo el desconocimiento de su funcionamiento íntimo y por tanto la imposibilidad de su control y corrección detallados.

El sistema nervioso como coordinador de todos los aparatos, funciona siempre de una forma similar: adquisición de información, procesamiento, respuesta y retro-control; esquema de funcionamiento que vamos a desarrollar un poco más:

**Recepción de Información.** Multitud de receptores, que podemos dividir en exteroceptivos (captan información del exterior) e interoceptivos (captan información del interior) van a estar aportando de forma continua una cantidad ingente de información, una parte muy pequeña de la cual va a volverse consciente. Los receptores distribuidos por todo el organismo van a ser capaces de captar estímulos luminosos, de temperatura, de presión, de contenido en  $O_2$ , de acidez..., y todos ellos son codificados en forma de impulsos eléctricos, siendo de esta manera transmitidos al Sistema Nervioso Central.

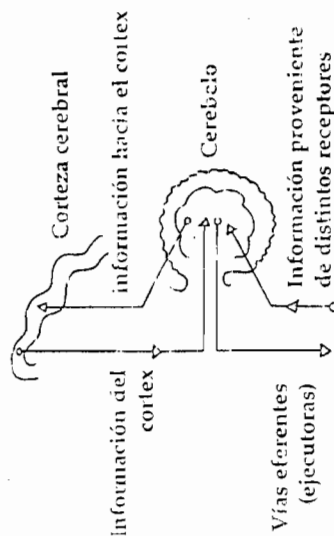
Es tal el flujo de información, que sólo a través de los órganos de los sentidos estamos recibiendo  $10^9$  bit/seg o informaciones por segundo (mil millones de informaciones cada segundo); de toda esa información, sólo se convierten en conscientes entre 10 y 100 informaciones por segundo, quedando el resto en el subconsciente o incluso perdiéndose totalmente.

Hay que significar que existe mucha más información proveniente de múltiples receptores específicos internos, como aquellos que controlan la composición química de los líquidos corporales o en relación más específica con la actividad física pueden ser los propioceptivos que nos indican fiel y puntualmente los diferentes niveles de posición, tensión, movilidad..., músculo-articular.

**Procesado de Información.** Podemos decir que es la corteza del cerebro quien va a integrar y establecer el significado de toda la información que está llegando en cada momento. Realmente el camino es más complicado y no todas las vías aferentes (que llegan al cerebro) siguen el mismo camino, pero para simplificar podemos decir que es el cortex cerebral el encargado de esta fase de proceso y toma de conciencia de la situación. Hay que hacer hincapié en la complejidad de esta fase, dado el volumen tan extenso de informaciones que tiene que tratar en un momento.

**Respuesta del Sistema.** Tras la integración y proceso de la información, va a ser el cerebro el encargado de ejecutar la o las acciones pertinentes, como respuesta a la situación en la que se encuentra el organismo. La respuesta puede ser a su vez de contenido daramente diferenciado; así, tenemos:

- **Respuesta Motora.** Parece que el cerebro realmente manda un programa motor (una secuencia de acciones dirigida a diferentes músculos y coordinada en el tiempo) pero que es modulada por el cerebelo al que cada vez se le está dando una mayor importancia en el control de todas las acciones motoras enajenadas del sistema nervioso central. Podemos decir que esta es una acción puntual y rapidísima en el tiempo; es decir, instantánea en su ejecución y limitada en cuanto a que la respuesta no afecta de manera generalizada a todo el organismo, sino sólo a los músculos involucrados en el programa motor; puesto en marcha.



- La rapidez y el 'costo' del programa motor, va a estar en relación con las experiencias anteriores y el aprendizaje, llegando el cerebro a tener un fichero de programas motores ya automatizados cuya ejecución es más rápida y eficiente que la ejecución de un programa motor nuevo.
- **Respuesta Vegetativa.** Decíamos que las acciones de tipo motor las únicas modalidades de 'ejecución' que tiene el sistema nervioso central, ya

que también puede elaborar una respuesta vegetativa a través del sistema nervioso autónomo; en este caso, la respuesta del sistema nervioso es rápida (no tanto como en el caso anterior), pero va a afectar al organismo de una forma más generalizada: por ejemplo, podría ser la vasodilatación cutánea ante un aumento de la temperatura corporal, con el fin de eliminar el calor.

- **Respuesta Hormonal.** Igualmente, el sistema nervioso puede provocar, modificar o modular a través del hipotálamo una respuesta hormonal, con lo que regula prácticamente todas las funciones del organismo, siendo en general de acción más lenta pero a la vez más generalizada; este tipo de respuesta va a dar resultados a corto, medio o incluso largo plazo, regulando de esta manera todos los procesos vegetativos, como puede ser el metabolismo basal, la nutrición, la reproducción...

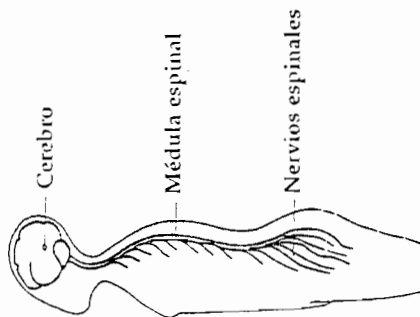
**Control de la Respuesta.** El sistema nervioso no se limita a elaborar una respuesta ante cualquier tipo de situación, sino que por medio de todos los elementos de información que posee está conociendo de manera pormenorizada la respuesta que el mismo está provocando, lo que le permite compararla con el esquema que había planteado y de esta forma ir modulando o modificando la respuesta que está llevando a cabo para terminar de adaptarse al esquema inicial. Este control de la respuesta no se establece 'a posteriori', sino que mientras se está realizando una acción ya existe una información exhaustiva de cómo está realizándose, para sobre la marcha ir introduciendo modificaciones caso de ser necesarias.

Por ejemplo, pensemos que el sistema nervioso plantea ejecutar un programa motor consistente en coger una maleta para desplazarla unos metros; el sistema nervioso en base a la información que le llega a través de los órganos de los sentidos, se va haciendo una idea (caso de que no la haya cogido nunca) del peso de la maleta, con el fin de modular la fuerza necesaria para levantarla, llegando a la 'conclusión' de que la maleta pesa unos 15 kg; con esa información pone en marcha el programa motor destinado a levantar la maleta y cuando esa persona coge el asa y realiza una fuerza ascendente como para levantar 15 kg, aprecia que la maleta realmente está vacía y que no pesa más de 4 kg, modificando de forma instantánea la fuerza que desarrolla para que la maleta no sobrepase ampliamente la altura que había previsto levantar. Esta acción o similar que le ha posado en alguna ocasión a prácticamente todo el mundo, es una muestra del retrocontrol automático e instantáneo que ejerce el sistema nervioso central sobre todas sus actuaciones.

Decíamos al inicio de este capítulo, que el sistema nervioso estaba dividido en dos grandes apartados:

**Sistema Nervioso Central.** Compuesto básicamente por el Cerebro y la Médula Espinal. El Cerebro, situado en el interior del cráneo engloba múltiples zonas y centros de importancia vital, como son la corteza, el tálamo, hipotálamo, cerebelo... La Médula Espinal, que supone prácticamente el nexo de unión entre el cerebro y la

periferia, es un cordón que se encuentra situado a lo largo del canal interno que forma la columna vertebral.

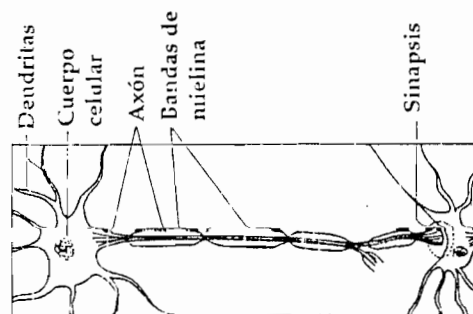


**Sistema Nervioso Periférico.** Conformado por unas vías Aferentes (Llevar información al sistema nervioso central, por tanto podríamos decir ascendentes) y unas vías Eferentes (la información va hacia la periferia o descendentes, dividiéndose a su vez en un apartado Motor y en el Sistema Nervioso Autónomo que comprende a su vez el Simpático y el Parasimpático).

#### LA NEURONA

La unidad funcional y estructural del sistema nervioso es la célula nerviosa o neurona. Podríamos decir que la célula nerviosa típica es una célula alargada especializada en la transmisión de información, información que siempre va en un sentido, partiendo del cuerpo celular (o de sus prolongaciones llamadas dendritas) y desplazándose rápidamente hasta el otro extremo de la célula llamada axón.

La transmisión de la información es de tipo eléctrico (va despolarizándose la membrana) hasta el extremo celular, pero el paso de información a otra célula, bien sea también nerviosa, muscular o de otro tipo, siempre



pre es de tipo químico (salvo alguna excepción). Por ello, cuando la despolarización de la membrana de la neurona llega al extremo (axón), se produce la liberación por parte de la neurona de un compuesto químico (denominado genéricamente neurotransmisor) que va a estimular la membrana de la célula vecina, donde va a provocar nuevamente un cambio de tipo eléctrico, despolarizándose su membrana; no obstante, hay que significar que no todos los neurotransmisores van a excitar la membrana de la célula vecina, ya que también el axón puede liberar un tipo de neurotransmisor que en vez de activar, lo que va a hacer es inhibir la célula vecina.

A la zona de unión entre el axón de una célula nerviosa y la membrana de otra célula se le llama 'sinapsis', y caso de que esa otra célula sea una célula muscular denominaremos 'sinapsis neuromuscular'.

#### CONTROL NERVIOSO DE LA CONTRACCION MUSCULAR

La contracción de un músculo exige la llegada de un impulso eléctrico a través del sistema nervioso, lo que la célula muscular interpreta como una orden de contracción. Por ello, toda célula muscular tiene una unión con la terminación de un nervio motor, denominado así porque va a dar lugar a movimiento; a la zona de unión entre la terminación nerviosa y la célula muscular llamamos: sinapsis o unión neuro-muscular.

Hay que decir que un nervio motor no controla una sola célula o fibra muscular, sino un conjunto de células de número variable, en función de las características del propio músculo, denominándose 'unidad motora' al conjunto formado por un nervio motor y todas las células musculares que controla; en los músculos que tienen que producir movimientos finos (músculos oculares por ejemplo), el número de fibras musculares activadas por un nervio motor es pequeño (puede que un nervio motor active sólo 8 o 10 fibras musculares) mientras que en aquellos otros músculos que tienen que cumplir movimientos generales (por ejemplo los glúteos) un nervio motor llega a controlar centenares de fibras musculares (hasta 800). Decíamos que al conjunto formado por un nervio motor y todas las células musculares inervadas por él, llamamos unidad motora, y por tanto encontraremos unidades motoras formadas por sólo 10 células musculares, mientras que otras unidades motoras estarán formadas por más de 100 fibras o células musculares. Y también de todo lo anterior se deduce que una célula o fibra muscular está inervada por un sólo nervio motor, mientras que un nervio motor inerva varias o muchas fibras musculares.

El que un músculo se contraiga con mayor o menor fuerza en función de las necesidades, es algo controlado por el sistema nervioso central, que es capaz de activar el número de unidades motoras suficiente como para producir la fuerza

necesaria, pero no excesiva; sólo en el caso de que un músculo deba desarrollar su fuerza máxima se activan todas las unidades motoras de un músculo.

Así como el sistema nervioso es capaz de controlar la fuerza generada por el músculo activado, va a ser el sistema nervioso también el encargado de controlar el grado de contracción o acortamiento del músculo. Para ello, el sistema nervioso manda un tren de impulsos eléctricos a través de un nervio motor adaptado a la necesidad; es decir, cuando llega un sólo impulso eléctrico a una célula muscular, ésta se contrae pero en un nivel mínimo que prácticamente lo único que provoca es aumentar la tensión sin producir un acortamiento macroscópico; deben ser varios impulsos eléctricos seguidos los que van a dar lugar a un acortamiento sustancial del músculo. En la medida que lleguen más o menos impulsos eléctricos seguidos, vamos a conseguir un mayor o menor grado de acortamiento muscular. El que un tren de impulsos llegue en mayor o menor tiempo (frecuencia de impulsos) va a determinar variaciones en la velocidad de acortamiento y en la fuerza desarrollada (más fuerza ante mayor frecuencia).

La contracción muscular, cuya máxima expresión es el movimiento humano, es finamente controlada por el Sistema Nervioso Central (SNC). El SNC puede controlar de forma consciente o inconsciente el movimiento, pero para ello necesita en todo momento información, la cual es suministrada por multitud de receptores periféricos: toda la información que proviene de los órganos de los sentidos, así como de los receptores propioceptivos, son integrados y procesados a nivel de Sistema Nervioso Central.

Existen en el músculo dos tipos de receptores íntimamente relacionados con el control de la contracción del músculo:

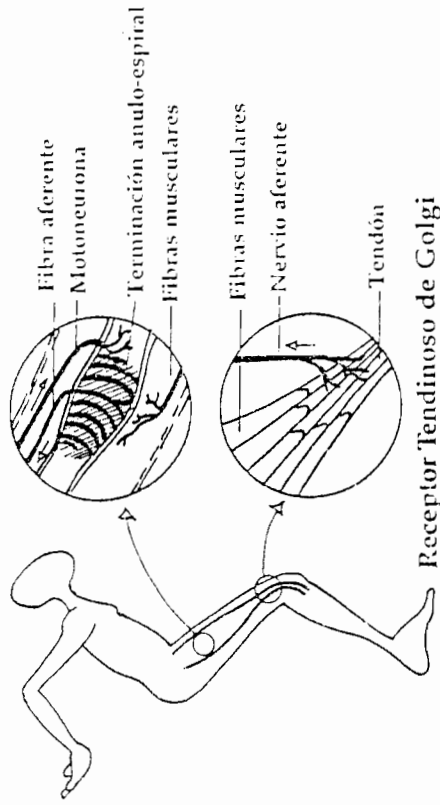
## TIPO NEUROMUSCULAR

Es un tipo de receptor colocado entre las fibras musculares, que va a detectar el estiramiento del músculo; ello lo interpreta como una agresión al propio músculo, y para evitar su rotura por un excesivo estiramiento, da lugar a la estimulación de la contracción del propio músculo.

## ORGANOS TENDINOSOS DE GOLGI

Estos receptores están situados en la unión músculo-tendinosa, captando la tensión que se produce en este lugar al ser también sensible al estiramiento de la zona músculo-tendinosa. A diferencia del receptor anterior, en este caso supone que la

## MUSCULO



contracción muscular está siendo muy intensa y puede provocar la rotura del tendón; para evitarlo, da lugar a una inhibición de la contracción del propio músculo, junto con la contracción del músculo antagonista.

## EL MOVIMIENTO

En cuanto al movimiento y teniendo en cuenta el tipo de control que ejerce el sistema nervioso sobre él, podemos distinguir dos tipos de movimientos:

### MOVIMIENTO REFLEJO

El SNC interviene únicamente a nivel de médula espinal en el control de este tipo de movimientos. El mecanismo de control es el llamado ARCO REFLEJO.

El arco reflejo pone en funcionamiento una neurona que va a llevar los estímulos captados por los receptores periféricos hasta la médula, allí los transmite a una neurona efectora que va al músculo (llamada MOTONEURONA ALFA) por mediación de una interneurona.

El movimiento reflejo es un movimiento coordinado, pues necesita coordinar el estímulo de los músculos agonistas e inhibir los antagonistas.

## REFLEJO MIOTATICO INVERSO

- Su receptor periférico es el órgano tendinoso de Golgi.
- Es responsable de que la contracción tenga la intensidad adecuada con respecto al tendón, con lo que se consigue prevenir las lesiones de éste.
- Actúa inhibiendo la motoneurona ALFA.

## MOVIMIENTO DE ORIGEN VOLUNTARIO

La realización de un movimiento voluntario puede tener dos fases: Primero una fase de aprendizaje, la cual pone en marcha niveles conscientes de control representados por la corteza del cerebro. Una vez aprendido el movimiento, pasamos a una fase automática de ejecución, en la cual intervienen niveles inconscientes de control representados por niveles subcorticales como son cerebelo y ganglios basales.

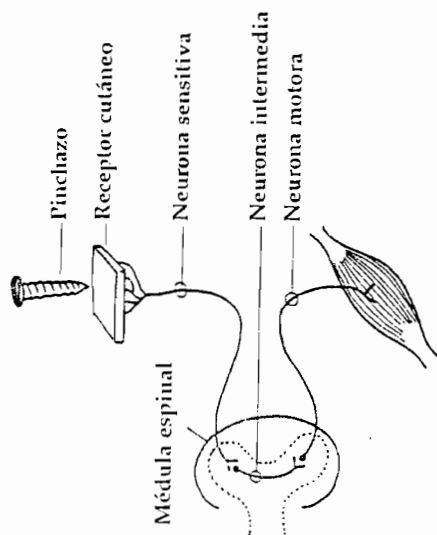
En la ejecución de un movimiento voluntario podemos encontrar distintas etapas:

- Intención de realizar un acto motor y realización de un programa motor ajustado a esa intención.
- Ejecución del programa.
- Revisión y comparación del acto motor ejecutado con el que se proyectó inicialmente. Esta función está realizada por el cerebelo, el cual es capaz de recibir información de diferentes receptores, siendo la única estructura capaz de recibir información del huso neuromuscular. Mediante la información recibida, envía las correcciones necesarias, bien hacia los centros superiores (corteza cerebral) o bien a los núcleos del tronco cerebral (estructura subcortical) con el fin de corregir o ajustar la orden motriz o el acto motriz.

Existen dos tipos de control del movimiento voluntario:

**CONTROL POR CIRCUITO CORTO.-** Si el sujeto tiene un programa motor adecuado para realizar una intención motriz y si no existe ninguna perturbación del entorno que pueda alterar el acto motor, el control puede ser realizado por el cerebelo y los núcleos del tronco cerebral sin que el sujeto le preste una atención especial con lo que puede realizar otras acciones.

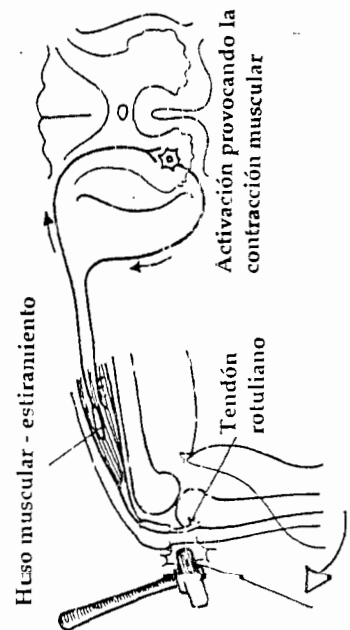
**CONTROL POR CIRCUITO LARGO.-** Si el sujeto no tiene un programa adecuado a la intención motriz, o si el entorno puede hacer variar dicho acto motor, el control se convierte en una preocupación que requiere toda la atención y por tanto el funcionamiento de los niveles conscientes del SNC (corteza cerebral).



Existen dos reflejos íntimamente relacionados con la calidad de la contracción muscular:

## REFLEJO MIOTATICO

- Su receptor periférico es el huso neuromuscular, sensible al estiramiento de la fibra muscular.
- Es responsable de los reflejos tendinosos (como el reflejo rotuliano).
- Es responsable probablemente del mantenimiento de la postura erguida en el hombre, al estimular la musculatura extensora.
- Es responsable del control del movimiento, participando en la regulación de la amplitud del movimiento.



# MANUAL DEL TÉCNICO DEPORTIVO



**PRIMER NIVEL**

Pascual Brumós, Isabel (1997), "Sistema nervioso", en Isabel Pascual Brumós et al., *Manual del técnico deportivo. Primer nivel*, España, Mira Editores, pp. 105-110.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este libro, así como su tratamiento informático, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información, o sistema de recuperación o por otros medios, ya sean electrónicos, mecánicos, por fotocopia, registro, etc., sin el permiso previo por escrito de MIRA EDITORES, S.A.

© Los autores  
© MIRA EDITORES, S.A.  
Concepción Arenal, 20 - 50005 Zaragoza  
Telf. 976 35 29 23 - Fax 976 35 10 43

Las fotografías que aparecen señaladas como \*MTD y \*CEPID proceden, respectivamente, del *Manual Técnico Deportivo*, Cuaderno n.º 10, editado por la D.G.A., y de distintas publicaciones del CEPID.

Diseño: Equipo de maquetación de MIRA EDITORES

Primera edición: abril de 1997

I.S.B.N.: 84-88688-34-2  
Depósito Legal: HU-3/97

Impreso en España

GRAFIC RM COLOR, S.L., Comercio, parcela 1, nave 3 - 22006 Huesca

### 1.-EL SISTEMA NERVIOSO. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

#### 1.1.- INTRODUCCIÓN

#### 1.2.-ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

##### 1.2.1.- Unidad funcional. La neurona.

##### 1.2.2.- Descripción del sistema nervioso.

##### 1.2.2.1.- Sistema nervioso central.

##### 1.2.2.2.- Sistema nervioso periférico.

*Se realiza un estudio básico anatómico y funcional del sistema nervioso.*

# 1.- EL SISTEMA NERVIOSO. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

## 1.1.- Introducción

El sistema nervioso cerebro-espinal o neuroeje tiene como funciones principales :

- La vida vegetativa, es decir, todo lo relacionado con el medio interno y su equilibrio (respiración, circulación ,digestión, etc.).
- La vida de relación del individuo con el mundo que le rodea y que se traduce en actividades motrices de comportamiento.

La vida vegetativa y la vida de relación reposan sobre la interacción de las funciones más específicas de la sensibilidad y de la motricidad.

La función de la sensibilidad corresponde a la toma de informaciones periféricas y a su transmisión hacia el sistema nervioso central (SNC). El transporte de estas informaciones bajo forma de influjos nerviosos creados por los receptores sensitivos hacia el SNC, se designa con el término de aferencia.

La función de la motricidad consiste en la creación de un impulso nervioso en el nivel del SNC, su transmisión a los músculos efectores y la puesta en acción de estos últimos. La propagación de esta orden motora hacia los órganos efectores se denomina eferencia (RIGAL, R., 1979).

## 1.2.-Organización del sistema nervioso

### 1.2.1.- Unidad funcional. La neurona

La neurona es la célula nerviosa y la base del sistema nervioso. Cada neurona se compone de un cuerpo celular, rodeado de varias ramificaciones cortas denominadas dendritas y de una larga prolongación llamada axón, cilindroeje, o fibra nerviosa. El axón está rodeado de una vaina de mielina que actúa como aislante y facilita la transmisión del influjo nervioso aumentando su velocidad. La mielinización se continúa durante varios años después del nacimiento y representa un factor esencial de la maduración funcional del sistema nervioso (Ver figura nº 1).



FIGURA 1. Neurona

La neurona tiene la función de engendrar o transmitir los influjos nerviosos. Las neuronas de las vías aferentes son llamadas sensitivas y las de las vías eferentes motoras o motoneuronas.

El influjo nervioso corresponde en realidad al cambio electro-químico que se propaga a lo largo del axón por impulsos. En estado de reposo, la fibra nerviosa posee una carga eléctrica positiva en el exterior y negativa en el interior. Una estimulación de las dendritas provoca una despolarización a impulsos que se traduce en una inversión de las cargas eléctricas. Inmediatamente después de esta despolarización, el segmento de fibra nerviosa por el que ya ha pasado el influjo nervioso, vuelve a su estado inicial y está de nuevo preparado para transmitir otro impulso nervioso.

La unión de una neurona con otra se denomina sinapsis.

El influjo nervioso motor termina en el músculo y a la unión de la fibra nerviosa con la fibra muscular se le denomina placa motriz.

### *1.2.2.- Descripción del sistema nervioso*

Desde el punto de vista anatómico podemos decir que el sistema nervioso consta de dos partes :

- Sistema nervioso central.
- Sistema nervioso periférico.

#### *1.2.2.1.- Sistema nervioso central*

Los tres niveles de organización más importantes del sistema nervioso central son :

- La médula espinal, que controla muchos de los reflejos básicos del cuerpo.
- Las regiones basales del encéfalo (núcleos grises centrales, tronco cerebral y cerebelo), que controlan la mayor parte de las funciones vegetativas de la economía, el equilibrio, el hambre, movimientos corporales mayores, la marcha etc.
- La corteza cerebral, que es el centro de nuestros procesos mentales más elevados y la zona de control de nuestras actividades motoras voluntarias.

El cerebro propiamente dicho consta de:

- Dos hemisferios cerebrales que se dividen en cuatro lóbulos (frontal, parietal, occipital y temporal) .La superficie del cerebro no es lisa sino que tiene una serie de pliegues denominados circunvoluciones. Los dos hemisferios están constituidos por materia gris en su periferia o córtex cerebral y de sustancia blanca (compuesta de fibras nerviosas mielinizadas) en su interior; al contrario de como sucede en la médula, donde la materia gris está en el interior y la blanca en el exterior.

El córtex puede ser dividido en varias áreas que corresponden a funciones sensitivas y motrices específicas; así las áreas 1, 2, 3, localizadas en la circunvolución parietal ascendente, son las áreas sensitivas o somestésicas; las áreas 4 y 6, localizadas en el lóbulo frontal, son denominadas respectivamente motriz y premotriz; también existen áreas para la visión y la audición (ver figura nº 2).

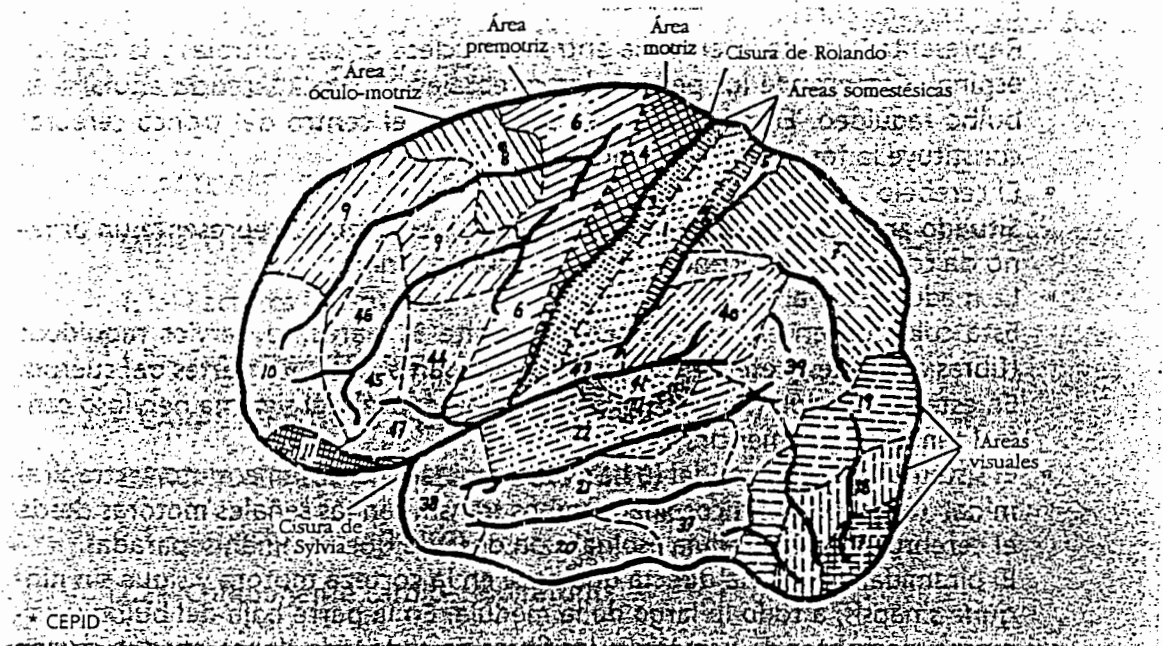
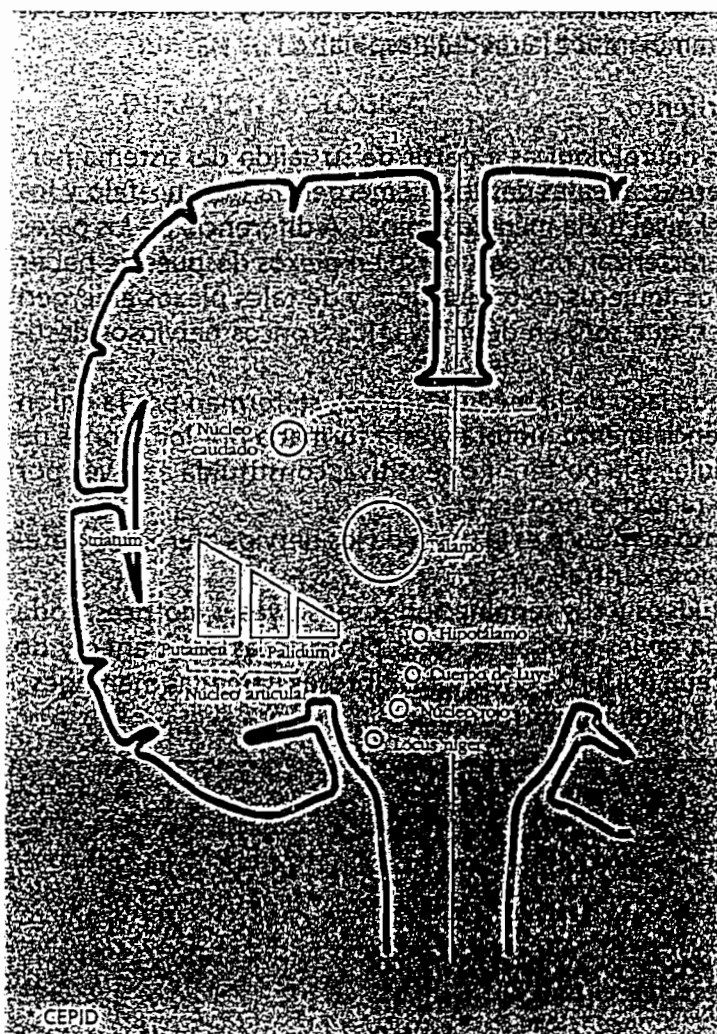


FIGURA 2. Localización de las áreas de Brodmann. Tomado de Rigal R. y otros, 1979.



– Los núcleos grises centrales o cuerpos opto-estriados se encuentran en la región inferior y central de los dos hemisferios cerebrales. Estas estructuras subcorticales están compuestas por:

- El tálamo.
- El hipotálamo.
- Los cuerpos estriados o núcleos grises de la base que comprenden el núcleo caudado, el lenticular (putamen y palidum), el cuerpo de Luys, el locus niger, el núcleo rojo y las formaciones reticulares mesencefálicas. El estriatum se compone del núcleo caudado y del putamen.

FIGURA 3. Localización de los cuerpos estriados (corte sagital del cerebro). Tomado de Rigal R. y otros, 1979.

- El tronco cerebral :  
Representa la parte intermedia entre los núcleos grises centrales y la médula espinal. Comprende los pedúnculos cerebrales, la protuberancia anular y el bulbo raquídeo. El tejido nervioso situado en el centro del tronco cerebral constituye la formación reticular.
- El cerebelo :  
Situado en la cara dorsal del tronco cerebral, el cerebelo representa un órgano de control entre el encéfalo y la médula espinal.
- La medula espinal :  
Está colocada en el canal vertebral y emite 31 pares de nervios raquídeos (fibras aferentes y eferentes) que se prolongan a todas las partes del cuerpo. En esta descripción (fundamentalmente anatómica) del sistema nervioso central tenemos que mencionar también:
- El sistema motor piramidal (o haz corticospinal) y el sistema motor extrapiramidal (o vía extracorticospinal); ambos transmiten las señales motoras desde el cerebro hasta la médula espinal; son dos vías que caminan separadas.  
El piramidal es una vía directa que nace en la corteza motora y sigue sin ninguna sinapsis, a todo lo largo de la médula. En la parte baja del bulbo y primeros segmentos de la médula, las fibras de cada lado del cerebro se cruzan al lado opuesto y luego siguen hacia abajo por los cordones laterales de la médula. Por lo tanto, la corteza motora en el lado izquierdo del cerebro controla los músculos del lado derecho del cuerpo y viceversa.  
El extrapiramidal nace principalmente de los núcleos grises y de la formación reticular descendiendo también por la médula espinal.

#### 1.2.2.2.- Sistema nervioso periférico.

Lo constituyen las estructuras neurológicas a partir de su salida del sistema nervioso central. Comprende los 12 pares craneales desde su emergencia del encéfalo y los 31 pares de nervios raquídeos en el nivel de la médula espinal. A diferencia de los pares craneales, las raíces raquídeas se caracterizan por agruparse en plexos después de haber salido del conducto raquídeo por los agujeros de conjunción, y de tales plexos emergen unas ramas terminales y colaterales, que son, en definitiva, los troncos nerviosos destinados a inervar la periferia.

Las raíces raquídeas, una a cada lado de la médula espinal, se forman por la unión de otras dos, la anterior, que es esencialmente motora y está formada por los axones de las neuronas del asta anterior medular, y la posterior o sensitiva, constituida a su vez por los axones de la célula del ganglio raquídeo posterior.

En definitiva el sistema nervioso periférico es la suma de los nervios aferentes y eferentes que parten del sistema nervioso central.

Exceptuando los nervios raquídeos y sus terminaciones sensitivas y motrices, toda la sustancia nerviosa está contenida en las cavidades óseas protectoras del cráneo y de las vértebras, de las que está separada por unas envolturas fibrosas llamadas meninges, que delimitan un espacio lleno de líquido cefalorraquídeo.

