

Enrique Argente Ros y Sergio Benet Grau

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA BÁSICA DEL EJERCICIO

PARTE 1

Manual de acondicionamiento físico y socorrismo acuático

Coordinadores de la colección

Agustín de la Herrán Souto
José Carlos Martínez Collado
Alejandro Cabrera Ayllón



Documento bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0 elaborado por Grupo Tragsa y CEIS Guadalajara. No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original. Asimismo, no se podrán distribuir o modificar las imágenes contenidas en este manual sin la autorización previa de los autores o propietarios originales aquí indicados.

Edición r1 2015.10.05

manualesbb@ceisguadalajara.es
www.ceisguadalajara.es

Tratamiento pedagógico, diseño y producción





CAPÍTULO
1

Anatomía

La realización de cualquier actividad física precisa la sinfonía en el funcionamiento de una serie de sistemas del cuerpo humano. Acciones como abrir una puerta, levantar una herramienta de trabajo, descender escaleras, conducir un camión, caminar con una mochila de 20 kg a la espalda, cambiar una rueda pinchada, escribir, etc. son actividades que requieren, en ocasiones, movimientos complejos. Es cierto que cada vez son menos las exigencias físicas para realizar la mayor parte de las actividades laborales: la utilización de robots, cadenas de montaje, sistemas hidráulicos de carga, motores, ascensores, etc. ha reducido los requerimientos físicos de las personas.

La tradicional selección natural basada en el aspecto externo y en las capacidades físicas de los trabajadores ha evolucionado hacia un análisis más profundo en el que se contempla con más peso la valoración de los conocimientos. Muchas personas han descuidado la práctica de ejercicio físico habitual, a causa de su afán por adquirir un mejor saber y de la facilidad con la que actualmente se consigue. El progreso ha propiciado que se necesite menos esfuerzo físico para llevar a cabo las actividades cotidianas y laborales. Tantos avances y tanta comodidad han modificado de forma innegable una serie de hábitos. En nuestra sociedad actual ha aumentado considerablemente el número de personas obesas y la cifra de fallecidos a causa de la falta de actividad; por ello en los últimos años, innumerables organizaciones e instituciones han promovido la realización de programas de sensibilización para fomentar la práctica del ejercicio físico continuado y la mejora de la calidad de vida.

El objetivo último de la realización de ejercicio físico de forma adecuada es la reducción de las patologías relacionadas con el sedentarismo.



Nuestro cuerpo ha de trabajar de manera conjunta con nuestros pulmones, músculos, vasos sanguíneos, huesos, articulaciones y una gran cantidad de otros órganos y sus tejidos. Los resultados del ejercicio son beneficiosos y repercuten directamente en la calidad de vida.

Se podría tratar de manera más amplia la compleja fisiología humana, pero el objetivo de este apartado consiste en proporcionar elementos básicos que permitan adquirir los conocimientos elementales del funcionamiento del cuerpo humano y de sus estructuras.

1. EL APARATO LOCOMOTOR

El hecho de movernos y desplazarnos, desde el punto de vista mecánico, radica en el correcto funcionamiento de nuestro aparato locomotor, que está formado por una serie de estructuras (huesos, articulaciones, ligamentos, tendones y músculos). La coordinación y el correcto funcionamiento de todos estos elemen-

tos resultan básicos para la realización de las acciones que permiten el soporte y el desplazamiento del cuerpo humano.

1.1. EL SISTEMA ÓSEO

Consta de huesos y de articulaciones. Protege los órganos internos, permite la estática corporal y es el responsable del movimiento de todo el cuerpo o de algunas de sus partes.

El esqueleto humano es el conjunto de todo el sistema óseo. Las partes que lo engloban son:

- Parte axial: formada por la cabeza, la columna vertebral y la caja torácica;
- Parte periférica: formada por las extremidades superiores e inferiores, que se articulan a la parte axial por la cintura escapular (en la espalda) y la cintura pelviana (en las caderas).

1.1.1. LOS HUESOS

Los huesos son duros y resistentes, pero están dotados de elasticidad y flexibilidad. Se conectan entre sí de muy variadas maneras y forman la estructura que soporta el cuerpo humano. Pueden distinguirse tres tipos de huesos:

- Largos:** su longitud es mayor que su espesor y anchura. Se puede nombrar, por ejemplo, el fémur del muslo y el radio del antebrazo.
- Planos:** su longitud y anchura son similares, pero tienen poco espesor. Suelen delimitar cavidades como la pelvis o el cráneo.
- Cortos:** su longitud, espesor y anchura son similares. Las vértebras y los huesos del carpo (que forman el cráneo) podrían ser claros ejemplos de este tipo de huesos.



Imagen 1. Aparato locomotor

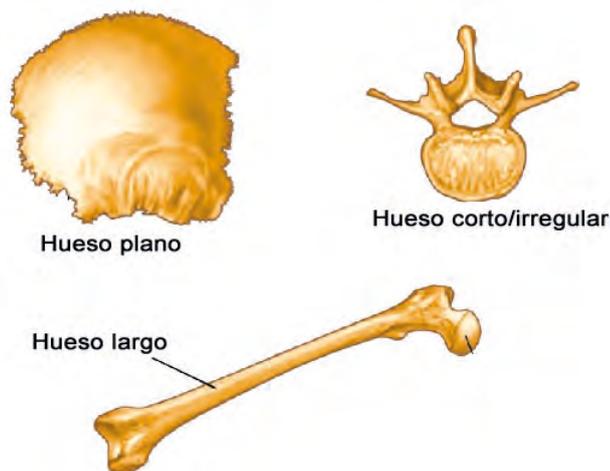


Imagen 2. Tipos de huesos

Los huesos están recubiertos por una membrana llamada **periostio**. Esta membrana realiza en su parte externa una función protectora, mientras que su cara interna lleva a cabo una función nutritiva, gracias a la gran cantidad de terminaciones nerviosas y vasos sanguíneos que posee. Este entramado, junto con unas células llamadas osteoblastos, cumple esa función nutritiva y reparadora.

El periostio protege, nutre y repara los huesos. Debajo de esta membrana se encuentra el tejido óseo propiamente dicho, que puede ser esponjoso o compacto y en cuyo interior se halla una cavidad interna que es ocupada por la médula ósea. La médula ósea puede ser gelatinosa, roja o amarilla; la roja es la responsable de producir glóbulos rojos y blancos que llegan al torrente vascular a través de los vasos sanguíneos.

1.1.2. LAS ARTICULACIONES

Unos huesos estáticos no son compatibles con el movimiento humano, tienen que estar articulados.

Las articulaciones son los mecanismos anatómicos que permiten el movimiento mecánico de dos huesos diferentes e independientes.

Existen dos tipos de articulaciones:

- Las **sinartrosas**. Son las articulaciones fijas; tienen una movilidad nula o muy limitada. Por ejemplo, las articulaciones de los huesos del cráneo.

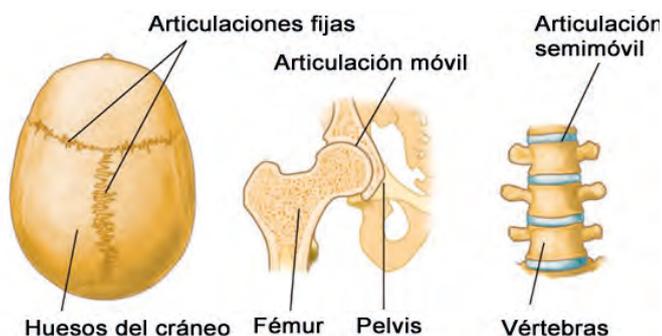


Imagen 3. Tipos de articulaciones

- Las **diartrosas**. Son articulaciones con una gran movilidad, permiten la rotación desde los ligamentos y el desplazamiento angular. Los huesos están en contacto mediante superficies lisas recubiertas de cartílago que dejan un mínimo espacio articular. El cartílago está lubricado por el líquido sinovial, que evita el desgaste y favorece el deslizamiento de un hueso sobre otro.

Las articulaciones están recubiertas por una cápsula fibrosa y elástica que en su parte interna está muy vascularizada y produce el líquido sinovial. La cápsula puede verse reforzada por los ligamentos que dan rigidez y limitan la amplitud de ciertos movimientos. En algunos casos, como en la articulación de la rodilla, los ligamentos refuerzan la articulación desde el interior de la cápsula: son los llamados ligamentos internos.

1.1.3. LOS MOVIMIENTOS ARTICULARES

Los movimientos articulares se pueden realizar gracias a la coordinación entre las articulaciones y los músculos.

La posición de referencia de estos movimientos se denomina posición anatómica, que es la siguiente: el individuo ha de estar erguido mirando al frente, con los pies juntos y paralelos, y los brazos también paralelos a lo largo del cuerpo y con las palmas de las manos hacia delante. Partiendo de esta posición se pueden realizar diferentes movimientos en los tres ejes del espacio.

El plano sagital es el plano en el que se realizan los movimientos de perfil; el cuerpo se divide en dos mitades: derecha e izquierda. Se pueden realizar movimientos de flexión –desplazamiento hacia delante de un segmento corporal– y de extensión –desplazamiento hacia atrás de dicho segmento–. En el hombro se puede hablar, de manera excepcional, de antepulsión cuando el desplazamiento es hacia delante y de retropulsión cuando el movimiento se realiza hacia atrás.

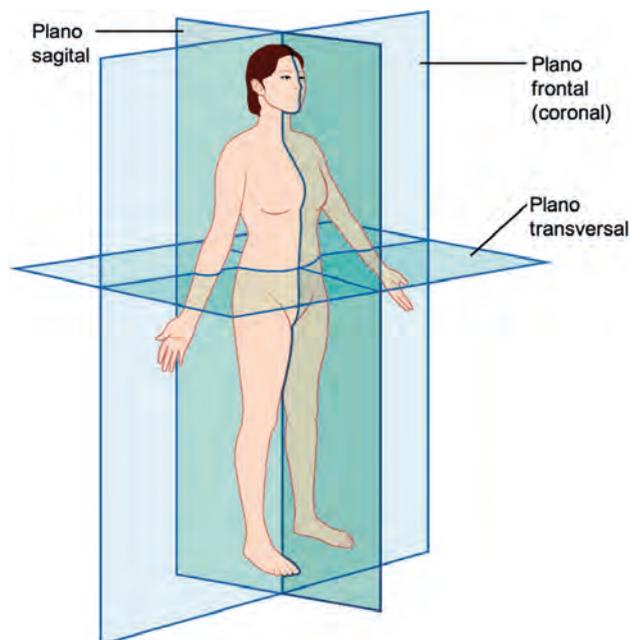


Imagen 4. Plano sagital, frontal y transversal

El **plano frontal** divide el cuerpo en una mitad anterior y otra posterior (parte delantera y parte trasera). Los movimientos en este plano se realizan con el individuo mirando al frente y se distinguen:

- La **abducción**, o separación de una extremidad (brazo o pierna), es cuando el segmento corporal se aleja del tronco.
- La **aducción**, o aproximación, es cuando los segmentos corporales se aproximan al cuerpo.
- La **lateralización** es cuando estos movimientos afectan al tronco. Puede tratarse de inclinación lateral hacia la derecha o hacia la izquierda.

El **plano transversal** es aquel en el que la visualización del individuo tiene lugar desde arriba (picado) o desde abajo (contrapicado). En este plano se pueden realizar movimientos de rotación, externa e interna. El movimiento se puede localizar en el tronco o en cualquier otro segmento corporal.

Al realizar nuestra actividad laboral cotidiana, llevamos a cabo una serie de desplazamientos que se encadenan y requieren la participación de una gran cantidad de articulaciones y de segmentos corporales, de forma que estos se desplacen en diferentes planos. Es muy extraño que nos encontremos con desplazamientos en los que el movimiento tenga lugar en un único plano del espacio; lo más habitual es que, por ejemplo, a los movimientos de flexoextensión de las rodillas, se le agreguen desplazamientos laterales del tronco y giros de cabeza.

1.2. LOS MÚSCULOS

El funcionamiento del cuerpo humano requiere la participación de tres tipos de músculos.

1. Músculo estriado esquelético.
2. Músculo estriado cardiaco.
3. Músculo liso.

El **músculo estriado esquelético** se responsabiliza de la realización de los movimientos de los diferentes segmentos corporales y de mantener la estática corporal. Nace y termina en el esqueleto y su masa puede suponer, en individuos muy bien entrenados, la mitad del peso corporal. Estos músculos deben contraerse de forma voluntaria.

El **músculo estriado cardiaco** es el que conforma las paredes del corazón y se responsabiliza, de manera automática, de la propulsión de la sangre para hacerla llegar a todos los tejidos corporales mediante el sistema vascular.

El **músculo liso** es el que se encuentra fundamentalmente en las paredes vasculares, las vías aéreas inferiores y el tubo digestivo. Estos músculos regulan el flujo aéreo y vascular, y permiten el tránsito intestinal.

Músculo esquelético



Músculo liso



Músculo cardiaco



Imagen 5. Tipos de músculos

1.2.1. EL MÚSCULO ESQUELÉTICO HUMANO

De los tres tipos de músculos existentes, el músculo estriado esquelético es fundamental para el movimiento de los seres humanos. La fibra muscular constituye la estructura básica de este músculo, generalmente tiene su misma longitud. Los músculos están formados por la unión de diversas fibras que constituyen fajos o fascículos musculares. Este tipo de músculo está recubierto por una cobertura de tejidos que se conectan en los extremos (este tejido no es contráctil) y que se denominan tendones; son estructuras que permiten la fijación de los músculos al esqueleto.

Para que el proceso de activación de los músculos se inicie, se precisa la unión de unas proteínas musculares, la actina y la miosina, que son responsables de permitir, según su magnitud, una variación de la longitud total del músculo.

- Las acciones musculares se pueden clasificar de la siguiente manera:
 - Isométrica.
 - Dinámica o anisométrica.
 - Concentración o miométrica.
 - Excéntrica o pliométrica.

La acción isométrica genera una tensión muscular igual a la resistencia externa, de manera que no varía la longitud del músculo.

La acción dinámica o anisométrica sí genera una tensión en el músculo que modifica su longitud.

Este tipo de acción puede suponer el acortamiento del músculo implicado, por lo que se denomina acción concéntrica (de estiramiento o elongación del músculo); cuando la tensión que se genera en el músculo es menor que la resistencia externa que se le aplica, se denomina acción excéntrica o pliométrica. Es precisamente esta acción pliométrica de ciertos grupos musculares de las extremidades inferiores la que permite amortiguar la caída cuando se salta desde una cierta altura.



Imagen 6. Acción isométrica y acción dinámica

• **La tensión muscular**

Existen cuatro tipos básicos de tensión muscular.

- Tensión tónica.
- Tensión tónico-explosiva.
- Tensión elástico-explosiva.
- Tensión elástico-explosiva-reactiva

La **tensión tónica** es la que se produce cuando tratamos de vencer una gran resistencia mediante la aplicación continuada de una acción isométrica o dinámica. Cuando un levantador de pesas intenta mantener la barra con las pesas sobre su cabeza, se genera este tipo de tensión en todo el cuerpo. Y cuando un esquiador realiza un descenso, se localiza en las extremidades inferiores.

La **tensión tónico-explosiva** es la que se produce cuando intentamos vencer una resistencia inferior a la que la tensión tónica genera. Cuando lanzamos un objeto pesado, se produce este tipo de tensión muscular.

La **tensión elástico-explosiva** es muy similar a la anterior pero se diferencia en que los objetos lanzados son mucho más ligeros. Este tipo de tensión se produce frecuentemente durante gran parte de las actividades deportivas. El término elástico indica que se produce un estiramiento prolongado de la musculatura, anterior a la acción dinámica concéntrica.

La **tensión elástico-explosiva-reactiva** se asemeja a la anterior. Difiere en que la fase de estiramiento es corta y pronunciada. Un ejemplo de este tipo de tensión se encuentra en los músculos del brazo cuando efectuamos un remate jugando a voleibol o en las dos piernas cuando efectuamos un salto con rebote.

Todas estas acciones musculares se pueden resumir utilizando el concepto de *fuerza muscular* (muy utilizado en el ámbito laboral).



Se aplica fuerza muscular siempre que generamos tensión en nuestros grupos musculares para compensar una resistencia externa. La fuerza muscular será de diferente magnitud en función de la participación de otros mecanismos

El sistema nervioso puede estimular un mayor o menor número de unidades motoras, que serán las responsables de la participación de determinado número de fibras musculares en la acción. La intensidad de esta acción muscular se puede alterar si varía la frecuencia con la que los estímulos nerviosos activan las fibras musculares.

• **El control del movimiento**

La realización de los movimientos depende de un conjunto de mecanismos que son consecuencia de un intercambio de información entre el sistema nervioso y la periferia neuromuscular. Toda la información que el sistema central percibe cuando nos movemos la proporcionan determinados elementos instalados en el músculo, como son los órganos tendinosos de Golgi y los husos neuromusculares.

Los órganos tendinosos de Golgi son las terminaciones nerviosas que se localizan en la zona de intersección entre los músculos y los tendones. Nos informan sobre el grado de tensión al que el músculo está siendo sometido.

Los husos neuromusculares se encuentran en el centro muscular y son mucho más excitables y sensibles que los anteriores. Informan de la variación en la longitud del músculo y de su velocidad de contracción.

Estos elementos resultan imprescindibles para el perfeccionamiento de los movimientos y evitan posibles excesos en la tensión muscular que podrían llegar a lesionar un músculo o un tendón. Los elementos neuromusculares se activan para inhibir la acción y proteger las estructuras funcionales.

1.2.2. TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

Todos los músculos del cuerpo humano están formados por una gran parte de fibras musculares con propiedades metabólicas y mecánicas diferentes.

Tabla 1. Tipos de fibras musculares

Características	Tipo I lentas	Tipo II rápidas	Tipo IIB muy rápidas
Metabolismo aeróbico	Muy desarrollado	Medio	Poco
Metabolismo anaeróbico	Poco desarrollado	Medio	Mucho
Tiempo de contracción	Lento	Rápido	Muy rápido
Tensión	Baja	Media	Alta
Fatiga	Poca	Media	Alta
Densidad capilar	Alta	Alta	Baja
Densidad mitocondrias	Alta	Alta	Baja
Reservas energéticas	Grasas y glúcidos	Glúcidos y fosfágenos	Glúcidos y fosfágenos
Predominio en deportistas	Actividades larga duración	Deporte de equipo	Velocidad, saltos, lanzamiento

Gracias a las biopsias y a análisis microscópicos, se pueden diferenciar dos tipos de fibras musculares: lentas y rápidas.

Las **fibras lentas**, a las que también se les conoce como rojas por estar muy vascularizadas, son características de los músculos acostumbrados a ejercitarse a baja intensidad durante tiempos prolongados. Su tiempo de contracción es lento. Son fibras características de los músculos acostumbrados a trabajar con resistencia. Tienen un elevado contenido de mitocondrias, que vendrían a ser la fábrica de energía del músculo, para ello utilizan glúcidos y/o grasas. Son las fibras encargadas de mejorar la aportación sanguínea hacia el músculo que se encuentra activo, por ejemplo cuando se hacen carreras largas. Se consigue este efecto incrementando el número de capilares sanguíneos.

Las **fibras rápidas o blancas** son fibras que se caracterizan por su rápido tiempo de contracción. Se les llama blancas porque tienen muy poca densidad de vasos capilares. Además, poseen un bajo contenido de mitocondrias y la producción de energía se realiza con la utilización de los glúcidos de los fosfatos de alta energía, como la fosfocreatina. En las fibras de contracción rápida se halla un tipo de propiedades mixtas, que resulta muy relevante para el rendimiento deportivo, ya que se benefician de una densidad capilar elevada, un gran número de mitocondrias, rapidez de contracción y un bajo nivel de fatiga.

Las fibras blancas pueden aumentar su tamaño y número por lo que el individuo puede incrementar la fuerza muscular aplicada y la velocidad de ejecución de algunas actividades. Las fibras rojas o lentas pueden volverse más resistentes a la fatiga y aumentar tanto su densidad capilar como su adaptación aeróbica, si se entrenan a la resistencia.

2. EL SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO

Nuestro organismo funciona porque el corazón y los vasos sanguíneos distribuyen oxígeno desde los pulmones y nutrientes a los músculos. El aparato circulatorio también es vital para propiciar el transporte de hormonas y la eliminación de ciertos desechos que pueden perjudicar nuestra capacidad de desplazamiento. Este sistema regula la temperatura corporal y juega un papel imprescindible en el mantenimiento de la vida celular durante numerosas situaciones de estrés.

2.1. EL CORAZÓN Y LOS VASOS SANGUÍNEOS

El aparato circulatorio está compuesto por el corazón, que sería el motor, y un complejo entramado de vasos sanguíneos. El corazón resulta vital para asegurar la distribución de la sangre hacia todos los tejidos y órganos del cuerpo humano. El **corazón** es un órgano localizado en la caja torácica, ligeramente ladeado hacia la izquierda, compuesto por dos paredes, una horizontal y otra vertical, que delimitan cuatro cavidades: las dos **aurículas** y los dos **ventrículos**. Estas cavidades se comunican entre sí mediante **válvulas** y, en la práctica, vendrían a diferenciar dos corazones: el izquierdo, formado por una aurícula y un ventrículo, y el de-

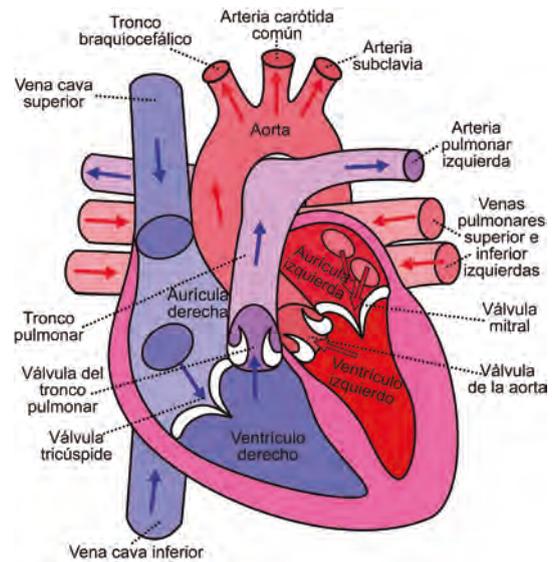


Imagen 7. El corazón

recho, simétrico al anterior. Las válvulas, situadas entre aurículas y ventrículos solo permiten el paso de la sangre en un sentido: de la aurícula hacia el ventrículo, gracias a unas solapas que evitan que el reflujo retroceda. Cuando ese sistema de válvulas no funciona adecuadamente, se produce el reflujo que, generalmente, provoca un sonido extraño cuando se ausculta el corazón, se le conoce como **buf**.



El corazón es el responsable de la vascularización de todo el cuerpo humano. Desempeña, por tanto, un papel imprescindible en la oxigenación de la sangre.

La sangre que llega al corazón procede de la periferia, este la impulsa hasta los pulmones; allí se oxigena y posteriormente se introduce de nuevo en el lado izquierdo del corazón para ser distribuida por todos los tejidos corporales. Esta red de distribución y recogida conforma un circuito cerrado y consta de diferentes tipos de vasos.

Las **arterias** transportan la sangre que sale del corazón.

Las **venas** recogen la sangre para llevarla hacia el corazón.

Los **capilares** son vasos de menor tamaño y se encargan de efectuar el intercambio gaseoso (la distribución del oxígeno y de los nutrientes a los tejidos) y de recoger los productos de desecho.

El corazón tiene tres capas. La interna se llama **endocardio**, recubre toda la superficie interna del corazón y perfila las válvulas. La capa intermedia se llama **miocardio** y se corresponde con el músculo cardiaco. Esta capa muscular está vascularizada por una red independiente conocida como vasos coronarios, son los que aportan oxígeno y nutrientes al miocardio. La capa externa se llama **pericardio**, forma un saco fibroso y contiene líquido en su interior; este líquido protege y lubrica la superficie externa del corazón.

El sistema nervioso vegetativo es el responsable de que el corazón se contraiga de forma automática. Este sistema funciona de manera autónoma y envía impulsos nerviosos

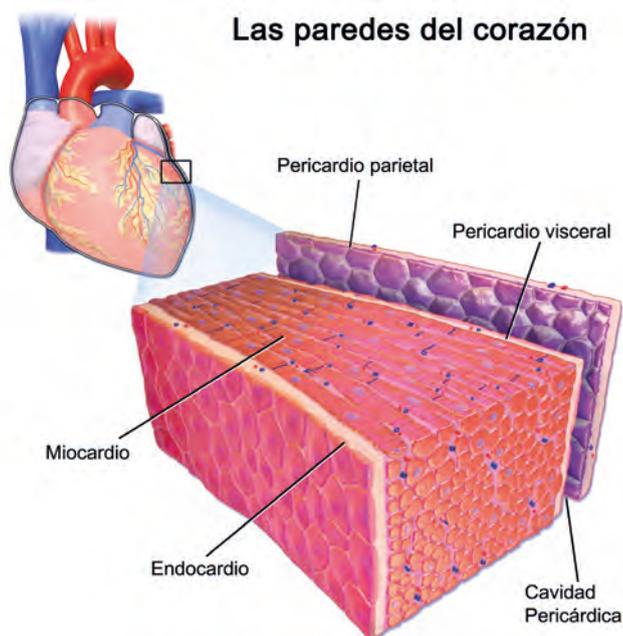


Imagen 8. Las capas o paredes del corazón

desde el cerebro hasta los centros nerviosos del corazón que se especializan en transmitir estos impulsos, lo que produce la contracción de todas las partes del corazón. De la aurícula derecha hasta al ventrículo izquierdo se transmiten las ondas que producen la actividad rítmica del corazón. Desde la aurícula derecha hasta el ventrículo izquierdo se difunden las ondas que generan la actividad rítmica del corazón. Existen diferentes fases: primero, una fase de contracción, o **sístole**, que se propaga de forma progresiva desde las aurículas a los ventrículos y que provoca el vaciado de las cavidades. A esta fase de sístole, le sigue una segunda fase de llenado y dilatación, también llamada **diástole** cardíaca.

La presión sanguínea arterial (TA) viene determinada por la cantidad de sangre que se bombea en una sístole y la resistencia que las arterias oponen al paso de esta sangre. Esto permite que la sangre circule.

Por norma general, se realizan dos medidas de TA: la sistólica y la diastólica. La sistólica es siempre más elevada y corresponde al momento en que la sangre sale del corazón. La diastólica es la más baja y coincide con la circulación de la sangre por las arterias. Por norma, la tensión arterial se expresa en milímetros de mercurio (mmHg) y los parámetros normales oscilan entre 100 y 120 en el caso de la tensión sistólica y sobre los 70-80 mmHg para la diastólica. La forma más normal de expresar esta relación es 120/70, se coloca primero la sistólica y después la diastólica. La TA varía con la edad y el sexo. Es más baja en jóvenes y en mujeres, no es conveniente que supere los 140/90 mmHg. Si se alcanza esta cifra de TA se considera un caso de hipertensión arterial (HTA).

El sistema vascular por el que circula la sangre que el corazón ha bombeado se divide en tres sistemas circulatorios:

- La **circulación mayor**. Empieza en el ventrículo izquierdo, allí la sangre arterial, rica en oxígeno, pasa

a la aorta y de aquí a otras arterias y capilares donde se produce el intercambio metabólico necesario para el correcto funcionamiento de los tejidos y órganos. El circuito de esta circulación mayor se cierra mediante las venas que recogen los elementos de desecho, como el anhídrido carbónico, y los transportan hacia la aurícula derecha del corazón.

- La **circulación menor**. El sistema vascular se encarga de llevar la sangre desde el ventrículo izquierdo hasta los pulmones y, desde allí, hasta la aurícula izquierda. Esta circulación es la responsable de la eliminación del anhídrido carbónico y de la circulación del oxígeno de la sangre.
- La **circulación de la vena conductora**, conforma un circuito auxiliar de la circulación mayor iniciada en las arterias y destinada a los órganos de la digestión. Recogen la sangre y la envían mediante la vena conductora, hasta el hígado, donde una red de capilares se encarga de alimentarlo; desembocan en una red de venas que forman la vena cava inferior, allí se recogen elementos tóxicos provenientes de la alimentación.

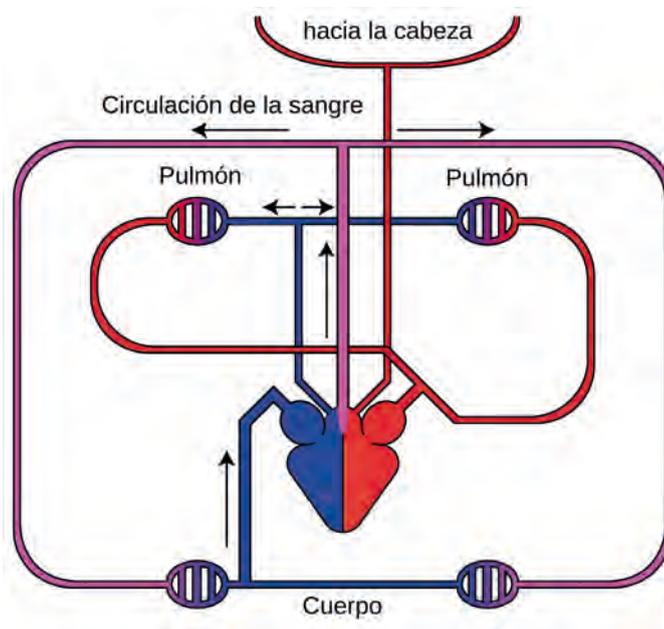


Imagen 9. El sistema cardiocirculatorio

2.2. ADAPTACIÓN CARDIOVASCULAR AL TRABAJO FÍSICO

Cuando realizamos un ejercicio físico, los músculos implicados en ese movimiento precisan oxígeno para trabajar. Cuanto más fuerte sea la actividad, mayores serán las necesidades de oxígeno. Tal cantidad de oxígeno solo se puede conseguir mediante el correcto funcionamiento de la bomba cardíaca, de la red vascular y de los pulmones. El oxígeno necesario para la contracción permite la vascularización muscular.

La sangre tiene diversos componentes y la hemoglobina es el más interesante, ya que es la molécula que se responsabiliza del transporte del oxígeno, además lo liga por-

que no puede estar disuelto en la sangre (solo lo puede hacer en cantidades muy pequeñas que no resultan útiles fisiológicamente en condiciones de presión de O₂ normales). Cuanto mayor sea la cantidad de hemoglobina, más oxígeno se puede transportar.

Cuando aumenta la intensidad de un esfuerzo físico, se produce una serie de adaptaciones que favorecen el suministro fluido de oxígeno. Esto se consigue gracias al incremento de la frecuencia cardiaca: una mayor cantidad de sangre enviada a los tejidos supone más oxigenación. También existe una función periférica denominada *diferencia arteriovenosa* del oxígeno, esta función es la última responsable de la oxigenación de los tejidos.



El gasto cardiaco es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en un minuto. Este gasto cardiaco está relacionado directamente con la intensidad del ejercicio y depende, a su vez, del tamaño del corazón y de su capacidad de bombeo. El tamaño del corazón influye en un mayor o menor volumen de proyección sistólica o cantidad de sangre que el corazón expulsa en cada movimiento. La frecuencia cardiaca máxima (FC_{máx}) es la frecuencia máxima con que el corazón se puede contraer. Depende del tamaño del corazón y del tipo de entrenamiento físico realizado por el individuo.

Existe, al menos de manera estadística, la posibilidad de predecir la FC_{máx} de cualquier individuo. Se calcula restando el valor de la edad en años a 220 pulsaciones/min. De esta manera, un sujeto de 25 años tendría una FC_{máx} de 195 pulsaciones/min (220 menos 25) y en otro de 30 años la FC_{máx} sería de 190 pulsaciones/minuto (220 menos 30). De todas formas, lo aconsejable es determinar el valor máximo de cada individuo. En unas exhaustivas pruebas de esfuerzo máximo realizadas por bomberos españoles en un Centro de Alto Rendimiento, la frecuencia máxima media que se alcanzó fue de 188 pulsaciones/min, y la edad media era de 39 años. En este caso, los bomberos superaron en siete pulsaciones los valores teóricos.

Es posible llegar a un mismo gasto cardiaco de diferentes formas: por un lado, a través del incremento de la frecuencia cardiaca y, por otro, con el incremento del volumen de la eyección sistólica. Estos dos mecanismos se regulan de forma involuntaria y ambos se activan con la realización de ejercicio y a partir de intensidades cercanas al 50% del consumo máximo de oxígeno (VO₂_{máx}). El incremento de la frecuencia cardiaca asegura el transporte de oxígeno a los músculos implicados en cada trabajo. Durante la realización de un ejercicio, casi toda la sangre se dirige hacia los músculos que están trabajando, pero no por eso se deja de irrigar otros territorios necesarios para la vida.

En la figura adjunta se representan las variaciones del aporte sanguíneo en una si-

tuación del ejercicio físico y de reposo. Se puede constatar que existe un mantenimiento del aporte sanguíneo para la continuidad de las funciones vitales en todos los órganos y que a nivel muscular se incrementa el aporte para asegurar la función muscular en cualquier situación de ejercicio, ya sea intenso o suave.

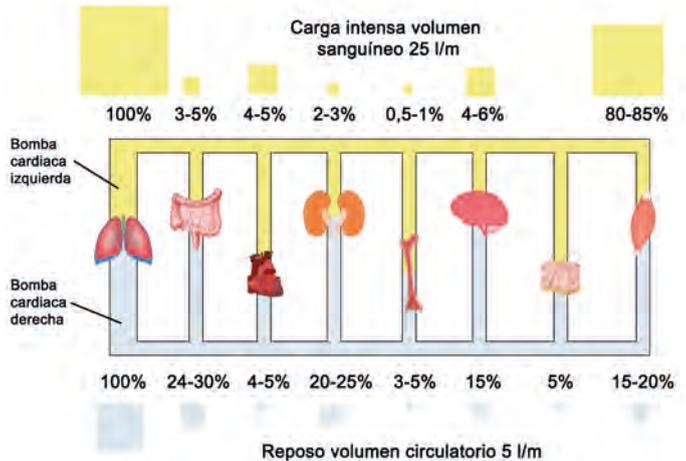


Imagen 10. Distribución del riego sanguíneo

La adaptación cardiovascular de un individuo puede modificarse a través del entrenamiento físico. Una de las variaciones más destacables afecta a los valores de frecuencia cardiaca (FC) durante el ejercicio. La utilización de sistemas telemétricos que registran y memorizan la frecuencia cardiaca permite comprobar que, efectivamente, después de un período de entrenamiento físico se aprecian variaciones de adaptación.

En la siguiente figura, que refleja el estudio realizado por el CAR de Sant Cugat a once jugadores antes y después de cinco meses de entrenamiento, se aprecia la evolución de la FC de un grupo de futbolistas infantiles, con una misma intensidad de esfuerzo, antes y después de meses de entrenamiento programado para la mejora de su adaptación metabólica y cardiovascular. Los valores expresados en la gráfica corresponden a la media de los once jugadores evaluados.

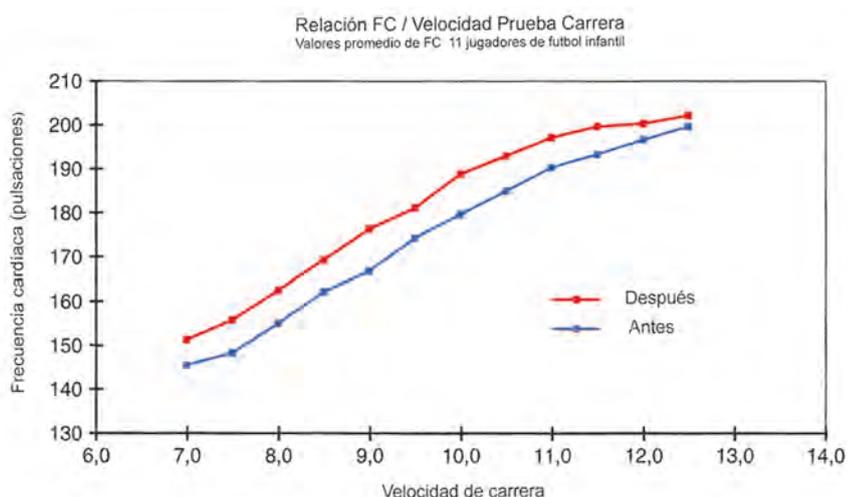
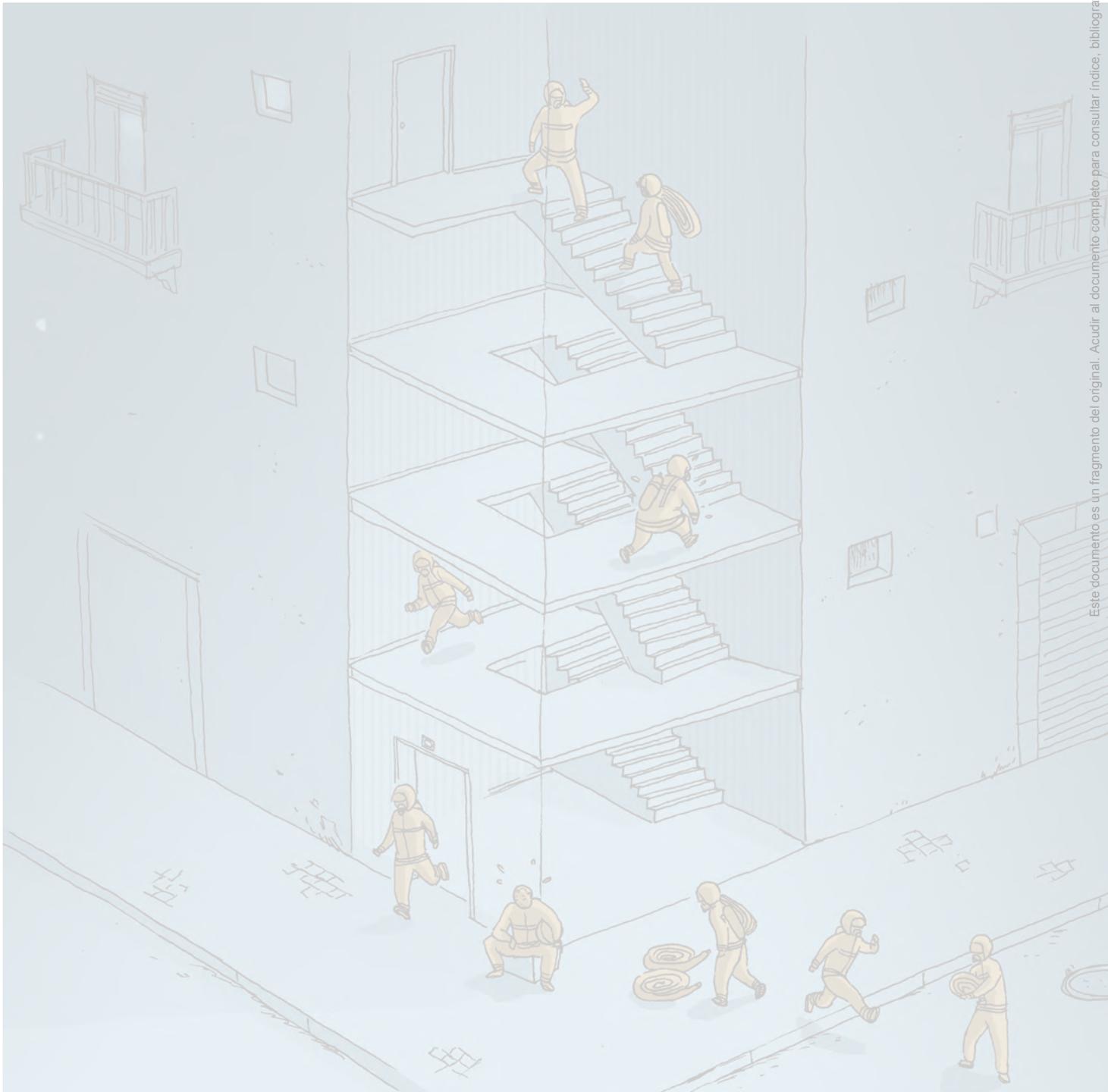


Imagen 11. Gráfica de Relación FC / Velocidad de carrera

Se constató una disminución de la frecuencia cardiaca por carga de trabajo. Esto es aún más evidente en cargas de ejercicios bajos. Al acercarnos a valores máximos, es normal que no existan casi diferencias, ya que nos movemos en valores cercanos al máximo de estos deportistas. Estas modificaciones en la adaptación cardiaca de los jugadores suponen una reducción cercana a las 10 pulsaciones por intensidad de esfuerzo, y se deben, muy probablemente, al hecho que el sistema cardiovascular busca economizar aumentando la cantidad de la sangre bombeada por el corazón en cada contracción y disminuyendo las resistencias vasculares periféricas que favorecen la distribución de la sangre en los tejidos.

Estos mismos jugadores experimentaron también una mejora de un 11% en el rendimiento máximo de la prueba.

La adaptación cardiovascular al esfuerzo sirve para introducirse en los mecanismos que regulan la producción de energía que permite la contracción muscular. Una vez estudiada la estructura que da soporte a los grupos musculares y el sistema que favorece el transporte de oxígeno y nutrientes, el siguiente capítulo se centrará en las funciones biológicas que permitan la contracción muscular y su mantenimiento durante un período más o menos prolongado.





CAPÍTULO
2

El metabolismo energético muscular

1. FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR AL RENDIMIENTO FÍSICO HABITUAL

1.1. ALTITUD

La mayoría de los individuos que pasea por la montaña ha notado algunas limitaciones para realizar un esfuerzo de intensidad elevada, una vez alcanzada determinada altura. Hace ya más de un siglo que se conocen los efectos negativos provocados por la exposición a una situación en la que la presión parcial de oxígeno se reduce (menos moléculas de O_2 por unidad de volumen). Pero fue en los juegos olímpicos de México de 1968 cuando se profundizó más en las repercusiones en el rendimiento físico que produce la exposición a la altitud.



La afectación de nuestra adaptación a la altitud está determinada por tres circunstancias: la presión barométrica, la temperatura del aire y la radiación solar.

Según se asciende respecto del nivel del mar, la **presión barométrica** disminuye, lo que provoca una reducción de la presión parcial de oxígeno que limita la difusión pulmonar de oxígeno y su transporte a los tejidos. Sea cual sea la altitud, la proporción de oxígeno, de nitrógeno y de gas carbónico del aire ambiente no experimentan variaciones: 20,93%, 79,04% y 0,03% respectivamente. Sólo cambia la presión parcial, de tal forma que la presión ejercida por las moléculas de oxígeno a 5.000 metros de altitud es la mitad de la ejercida a nivel del mar. Eso influye en el grado de presión entre la sangre y los tejidos.

Además, a medida que se asciende, suele existir una disminución de la **temperatura del aire**. Esta reducción de temperatura es de $1^\circ C$ cada 150 metros de ascenso, de manera que a 5.000 metros la temperatura del aire desciende a unos $18^\circ C$. Esta reducción de temperatura viene acompañada por una disminución de la humedad del aire. El bajo contenido en agua del aire en estas condiciones favorece la deshidratación. La sequedad del aire ambiental propicia la pérdida, por evaporación, de mucha agua durante la respiración. Además la frecuencia de las respiraciones suele ser más elevada en zonas de altitud.

Por último, la intensidad de la **radiación solar** se incrementa a medida que se asciende en la atmósfera terrestre. El contenido hídrico atmosférico también disminuye por lo que desaparece

la posibilidad de que esta agua absorba una proporción elevada de la radiación solar. Por otro lado, a alturas elevadas, también hay una mayor exposición a la nieve, lo que incrementa la absorción de la radiación solar.

¿Qué ocurre cuando hay una exposición a elevadas alturas?

- **En lo relativo a los pulmones:**

Aumenta la frecuencia respiratoria y la ventilación, tanto si se hace ejercicio como si se permanece en reposo. Al concentrarse un menor número de moléculas de oxígeno en el aire, se necesita respirar más para introducir la misma cantidad de oxígeno que a nivel del mar.

Por otro lado disminuye la saturación de la hemoglobina porque al descender la presión parcial de oxígeno en los alvéolos, también se reduce en los capilares pulmonares y, por consiguiente, el contenido de oxígeno en la sangre es menor.

- **En los vasos sanguíneos:**

El grado de presión que existe, por el oxígeno, entre la sangre arterial y los tejidos es vital para una adecuada oxigenación tisular. A nivel del mar, esta diferencia de presión es de unos 74 mmHg, pero llega a tan solo unos 40 mmHg cuando se está a 2.500 metros. Esto produce una reducción de casi un 50% en el grado de difusión, limitando la oxigenación tisular.

- **La respuesta cardiovascular:**

Existe un considerable estrés cardiovascular que implica una disminución del volumen plasmático, con incremento de la proporción de glóbulos rojos (aumento de los hematocritos), de manera que para un mismo consumo cardiaco se desplaza más oxígeno. Si se mantiene la exposición a una altitud elevada durante más tiempo, entonces se produce un incremento de la fabricación de glóbulos rojos, con un aumento del volumen total de sangre, para compensar la menor presión parcial de oxígeno en altura. El aumento de la aportación de oxígeno a los tejidos es posible gracias al incremento de la frecuencia cardiaca. A pesar de esto, durante la realización de un ejercicio físico en altitud, se aprecia una limitación de estos mecanismos de forma que disminuye el consumo cardiaco máximo.

1.2. EJERCICIO FÍSICO EN SITUACIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO

El ser humano mantiene su temperatura corporal constante, a pesar de las enormes variaciones que se pueden producir en su entorno. El estrés calórico climático combina cambios en la temperatura ambiental, la humedad, el movimiento del aire, la radiación solar y de las superficies de la zona en la que se esté. El calor que produce el organismo se disipa en el medio ambiente gracias a diferentes mecanismos como pueden ser: la convección, la conducción y la evaporación. En una persona sin ropa en situación de reposo, el equilibrio térmico entre el interior y el exterior, sin activar los mecanismos de regulación, se produce a una



Imagen 12. Radiación solar

temperatura de 30° C. Esta circunstancia se denomina neutralidad térmica.

Al iniciar un ejercicio se produce un aumento instantáneo de la temperatura muscular, este incremento afecta progresivamente a todo el organismo. El calor del cuerpo se transmite al hipotálamo cerebral, que viene a ser el termostato de nuestro organismo, por medio de la circulación de la sangre. Los receptores hipotalámicos desencadena una serie de mecanismos para compensar el aumento de calor. Si el ejercicio cesa de manera brusca, la temperatura muscular disminuye inmediatamente y los mecanismos centrales de regulación se desactivan, de manera que la temperatura central recupera los parámetros normales. La regulación de la temperatura central del organismo, mientras se realiza un ejercicio de carga constante, depende de diversos factores como pueden ser el momento del día, el tipo de ejercicio, la alimentación, la hidratación y el grado de entrenamiento físico.



El almacenaje de calor resulta beneficioso durante la realización del ejercicio porque contribuye a disminuir la viscosidad de los tejidos, mejorar la elasticidad de los tendones, reducir los riesgos de estiramiento o ruptura muscular, aumentar la velocidad de conducción nerviosa y modificar la actividad enzimática muscular. Todos estos factores favorecen la vasodilatación arterial y el aporte de oxígeno a los músculos.



Imagen 13. Bombero en situación de estrés térmico

El ejercicio físico aumenta la pérdida de calor por convección. En reposo, la limitada vascularización periférica propicia el mantenimiento de la temperatura corporal pero, al realizar ejercicio, se experimenta una vasodilatación y el consiguiente aumento del volumen sanguíneo a nivel epitelial, que favorecen el intercambio térmico y la sudoración.

El sudor aparece, igual que la vasodilatación, a partir de una cierta temperatura del cuerpo. La evaporación es un mecanismo muy eficaz de pérdida de calor. El principal problema es la pérdida de agua y de sales que pueden alterar el equilibrio de ciertos sistemas corporales. La pérdida de agua intracelular se compensa, en parte, por la producción de agua ligada a la degradación de substratos. Siempre es más elevada si se degradan glúcidos que si se trata de lípidos.

1.3. EJERCICIO FÍSICO EN AMBIENTE CALUROSO

A la carga térmica que se produce al realizar ejercicio, hay que añadir el calor externo. La vasodilatación cutánea que se genera es un mecanismo para perder calor, siempre que la temperatura cutánea no supere el 35%. Si esto ocurre, el sudor se convierte en el único mecanismo compensatorio. Este último mecanismo se ve influido también por el grado higrométrico ambiental. El calor húmedo limita la posibilidad de evaporación del agua y del enfriado periférico. Además, el grado de hidratación previa de los sujetos es un factor fundamental para un adecuado enfriado. La deshidratación previa reduce en un 15% el débito cutáneo y limita la sudoración. La pérdida de agua implica también una disminución del volumen sanguíneo y este factor puede limitar el rendimiento de un individuo. Esta deshidratación supone un incremento del ritmo cardiaco para compensar la pérdida de volumen. Por lo que, para una misma frecuencia cardiaca, el individuo envía una cantidad inferior de sangre a los tejidos, lo que supone una oxigenación más deficiente.

La exposición a altas temperaturas produce muy pocas consecuencias cuando la actividad física es de corta duración, pero afecta al organismo de forma considerable cuando se trata de acontecimientos de larga duración.



Existen aspectos que pueden favorecer o perjudicar la capacidad de un deportista para regular su temperatura: la aclimatación, la relación entre la superficie cutánea y la masa corporal, la edad o el sexo.

a) **Aclimatación.** La adaptación es mucho más sencilla si ya se ha acostumbrado a exponerse con frecuencia a altas temperaturas o a realizar ejercicio físico.

b) La **relación entre la superficie cutánea y la masa corporal** también influye. Los sujetos altos y delgados pierden calor más fácilmente. El espesor de los tejidos adiposos subcutáneos afecta al intercambio térmico. Una panícula adiposa y espesa favorece la pérdida de calor. Por otro lado, la sobrecarga de peso propicia el almacenamiento de calor. Los golpes de calor son 3,5 veces más frecuentes en los individuos más obesos.



Imagen 14. Sudor

c) La **edad** es otro factor a tener en cuenta. Cuanto mayor sea el individuo, más moderadas son las respuestas vasculares y sudorales, ya que se posee un menor volumen plasmático y una ósmosis urinaria más limitada. Por otro lado, los niños sudan mucho menos que los adultos, porque tienen limitadas su posibilidad de pérdida de calor. Necesitan una mayor temperatura corporal para iniciar



CONVIENE RECORDAR

- La **realización de ejercicio físico** es vital para el ser humano. Ayuda a reducir las dolencias y proporciona una mayor calidad de vida.
- En la realización de ejercicio se ven implicados numerosos **sistemas**, principalmente el **locomotor**, que es el que permite movernos, pero el organismo ha de coordinar a todos los elementos implicados. Tienen que trabajar de forma conjunta y precisa.
- El **sistema óseo** está formado por los huesos y las articulaciones, proporciona la rigidez necesaria y “engrana” los movimientos articulares. Los huesos pueden ser largos, planos y cortos.
- Los **músculos**, cuyas fibras pueden ser rojas o blancas, son tejidos fibrosos que se encargan de mover el cuerpo; sus contracciones y expansiones permiten los movimientos. Pueden (y deben) ejercitarse para conseguir unos mejores resultados y una menor fatiga. Se pueden distinguir tres tipos de músculos:
 - Músculos estriados esqueléticos.
 - Músculos estriados cardíacos.
 - Músculo lisos.
- Según los movimientos realizados, los músculos generan diferentes tipos de **tensión**:
 - Tensión tónica.
 - Tensión tónico-explosiva.
 - Tensión elástico-explosiva.
 - Tensión elástico-explosiva-reactiva.
- Todas las células del cuerpo tienen que ser alimentadas, especialmente las que conforman los músculos cuando se realiza un esfuerzo. Esta alimentación se efectúa a través de la distribución del oxígeno, por lo que los **sistemas respiratorio y circulatorio** desempeñan un papel vital. Tiene que existir un intercambio de información entre el sistema nervioso y la periferia neuromuscular.
- El **corazón** es el motor encargado de bombear la sangre que, a su vez, lleva el oxígeno a todo el organismo a través de una fina red de vasos capilares. La realización de esfuerzos supone que los músculos implicados necesiten una mayor cantidad de alimento, por lo que el corazón ha de bombear más sangre. La respiración se incrementa y el cuerpo ha de autorregular su temperatura. Para mantener este equilibrio corporal, se implican numerosos procesos de forma inconsciente.
- El corazón posee cuatro divisiones: dos **aurículas** y dos **ventrículos**. Es simétrico longitudinalmente, una parte bombea la sangre sucia hasta los pulmones para que se purifique (circulación menor) y la otra se encarga de propulsar esta sangre ya oxigenada a todo el cuerpo (circulación mayor).
- Hay numerosas **condiciones externas** que pueden afectar al organismo a la hora de realizar ejercicio físico. Si se practica deporte en localizaciones de altura, se sufrirá falta de oxígeno –ya que la concentración de oxígeno es menor–, una mayor deshidratación –porque el organismo recibe menos cantidad de agua– y una mayor radiación.
- Si se practica ejercicio a altas temperaturas, también se sufrirá **estrés térmico** y se necesitará un sobreesfuerzo para conseguir los mismos resultados. El **calor** favorece la sudoración, que es un mecanismo regulador de la temperatura corporal, pero el organismo puede verse gravemente afectado, hasta llegar a la muerte por un golpe de calor. Conviene hidratarse con frecuencia y cesar de realizar ejercicio si se notan síntomas de agobio. Si se va a realizar ejercicio a bajas temperaturas, habrá que ayudar al cuerpo a mantener el calor abrigándose. El organismo ya posee sus propios mecanismos compensatorios, como los escalofríos, que ayudan a mantener la temperatura interna.
- Hay que **practicar ejercicio** para mejorar la forma física. Conocer nuestro cuerpo y sus mecanismos de respuesta nos ayuda a obtener unos mejores resultados.