

A.1.3 Transporte

Comprensiones del programa de estudios

A.1.3.1 El sistema cardiovascular transporta nutrientes, hormonas, gases, calor y desechos para realizar las funciones corporales necesarias.

A.1.3.2 El sistema respiratorio permite el intercambio de gases entre el ambiente externo y el cuerpo para facilitar la respiración celular.

Introducción

El influyente libro de Walter Cannon, *La sabiduría del cuerpo* (1932), expuso una teoría de la homeostasis basada en la estabilidad de varias variables clave, lograda mediante cambios en una serie de sistemas fisiológicos. Desde entonces, se ha hecho evidente que muchos sistemas dentro del cuerpo trabajan continuamente de una manera altamente coordinada para mantener una gran cantidad de variables en niveles de reposo o lo más cerca posible de ellos. El ejercicio presenta una serie de desafíos para la homeostasis del cuerpo, y para completarlo con éxito es necesario que los sistemas dentro del cuerpo funcionen juntos, regulando estrictamente las condiciones de los tejidos internos.

TOMÓ

Eliud Kipchoge (Figura 1) es un corredor de larga distancia nacido en 1984 en Kenia occidental. Actualmente se le considera uno de los mejores corredores de maratón de todos los tiempos. Comenzó su carrera especializándose en la distancia de 5.000 m y luego cambió a correr maratones. En 2018, estableció un nuevo récord mundial en maratón, que tanto él como



▲ Figura 1 Eliud Kipchoge

Desde entonces, Kelvin Kiptum ha roto récords y ha ganado la medalla de oro olímpica en 2016 y 2020.

En 2019, corrió una distancia de maratón con un tiempo de 1 h 59 min 40,2 en un evento especialmente diseñado llamado Ineos 1:59 Challenge. Su logro fue reconocido como el primer maratón corrido en menos de 2 horas por Guinness World Records, pero no por World Athletics, ya que el evento no cumplió con ciertos criterios de elegibilidad.

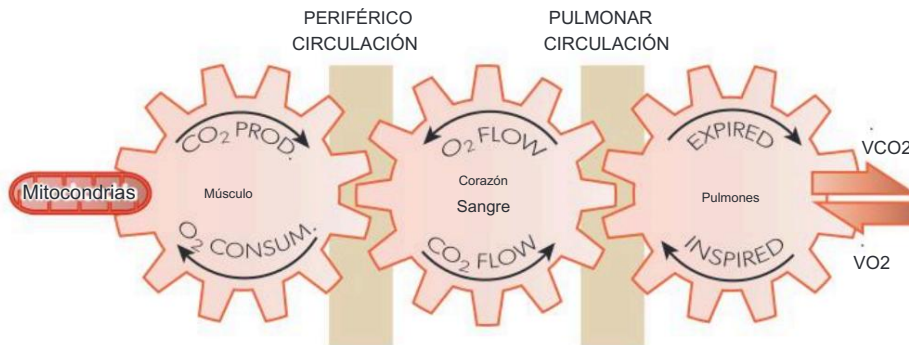
¿Cuál es el papel de los órganos rectores a la hora de determinar los criterios de elegibilidad de los intentos de récord mundial?

Los sistemas cardiovascular y respiratorio son ejemplos de sistemas que trabajan juntos para regular variables como el contenido de oxígeno de la sangre arterial, el estado ácido-base y la temperatura corporal central. El transporte de oxígeno es un excelente ejemplo

de los sistemas del cuerpo en acción durante el ejercicio. Este es un tema común al estudiar las respuestas cardiovasculares y respiratorias al ejercicio en este capítulo. La velocidad a la que el oxígeno ingresa al cuerpo y se utiliza (conocida como consumo de oxígeno, VO_2) es un excelente indicador de qué tan bien funcionan estos sistemas en conjunto.

La figura 2 muestra cómo se transporta el oxígeno desde la atmósfera hasta los músculos en ejercicio para su uso en los sistemas de energía aeróbica. Observe la representación de los sistemas como engranajes que deben encajar entre sí y trabajar de forma dependiente unos de otros, como lo describió el fisiólogo estadounidense Karlman Wasserman.

Tenga en cuenta también la importancia de la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono entre los sistemas, conocida como intercambio de gases (que tiene lugar en las áreas sombreadas donde se unen los engranajes).



▲ Figura 2 Una versión de los tres engranajes de Wasserman, que ilustra las etapas del proceso desde la toma y el uso de oxígeno (consumo de oxígeno, VO_2) hasta la producción y eliminación de dióxido de carbono (salida de dióxido de carbono, VCO_2).

En los seres humanos sanos, estos engranajes funcionan bien en reposo, independientemente de la edad. Durante el ejercicio, cuando los músculos activos necesitan más oxígeno, podemos determinar qué tan bien se están integrando los sistemas analizando directamente las respuestas respiratorias y el contenido de aire para calcular el VO_2 . Esto hace que el VO_2 sea un marcador valioso de la función fisiológica, y un fisiólogo del ejercicio lo medirá durante el ejercicio para evaluar la salud y la aptitud física. La relevancia se aplica a un paciente con algún tipo de enfermedad respiratoria o cardiovascular donde la capacidad de ejercicio está seriamente comprometida, así como al atleta de resistencia altamente entrenado donde las adaptaciones al entrenamiento han aumentado en gran medida la capacidad de ejercicio.

Reflexiones de pensamiento

La prueba de ejercicio

Las pruebas de las respuestas fisiológicas al ejercicio han cambiado considerablemente. Los primeros experimentos se centraron en comprender la interacción de los sistemas.

La mayoría de las pruebas se limitaron a proyectos de investigación en laboratorios especializados. Se utilizaron formas primitivas de monitorización cardíaca y equipos de intercambio de gases: las personas realizaban ejercicios controlados conectados a una cantidad considerable de equipos.

Hoy en día, las pruebas de esfuerzo se realizan de forma rutinaria en una amplia variedad de entornos, como:

- Examen físico de los empleados para confirmar su aptitud para realizar un trabajo (por ejemplo, servicios de emergencia o militares).
- pruebas de salud en hospitales para determinar las causas o el impacto de la enfermedad, así como como respuestas al tratamiento

Término clave

Intercambio de gases La transferencia de oxígeno y dióxido de carbono entre el sistema cardiovascular y sistemas respiratorios y tejidos corporales.

Punto clave

Los sistemas respiratorio y cardiovascular trabajan juntos de manera altamente coordinada para aumentar el suministro de oxígeno durante el ejercicio. Esta es una parte del cuerpo que intenta continuamente mantener un ambiente interno constante (homeostasis).

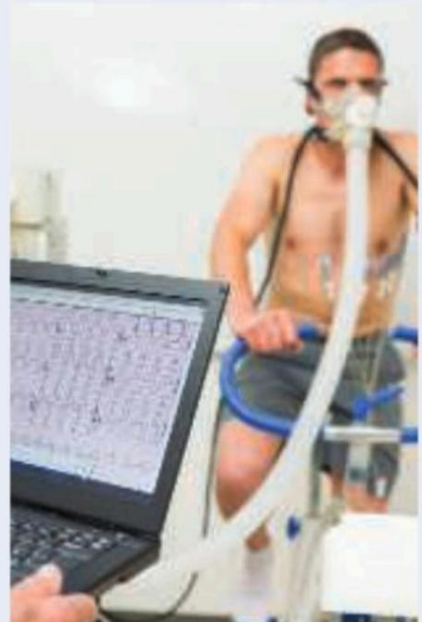


- seguimiento de los atletas para evaluar los niveles de aptitud física y las respuestas a capacitación.

Los avances tecnológicos permiten medir las respuestas fisiológicas al ejercicio mediante una variedad de sistemas en línea que suelen ser portátiles e inalámbricos. Esto elimina muchas de las limitaciones que impedían alcanzar los objetivos con facilidad, lo que permite estudiar la fisiología del ejercicio en acción. Las exigencias de muchas formas de ejercicio ya están bien caracterizadas, de modo que los científicos del deporte y el ejercicio pueden desarrollar diversos métodos para optimizar el rendimiento mediante intervenciones como el entrenamiento, la nutrición y el enfriamiento.



▲ Figura 3 Una prueba de ejercicio temprana



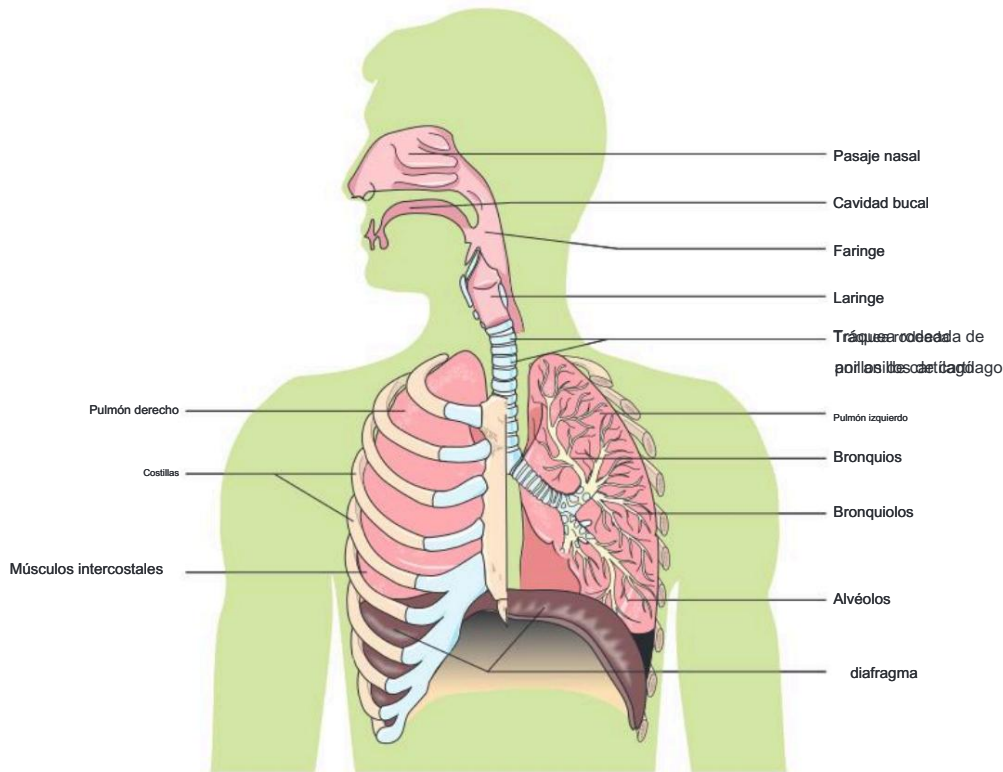
▲ Figura 4 Tecnología de monitoreo de rendimiento más reciente

Sistema respiratorio

El sistema respiratorio permite el transporte e intercambio de oxígeno para su uso en la respiración celular. La primera etapa del sistema de transporte de oxígeno es la inhalación de aire rico en oxígeno a través de la boca o la nariz hasta los pulmones. La acción de respirar es en su mayoría un proceso involuntario, aunque podemos controlarlo mediante la elección hasta cierto punto (por ejemplo, podemos contener la respiración bajo el agua o inflar un globo).

La base del movimiento del aire al respirar durante el descanso y el ejercicio es un principio de física: una sustancia fluirá desde un área de mayor presión a un área de menor presión.

Por lo tanto, para inhalar (tomar aire), la presión del aire en los pulmones debe ser menor que la de la atmósfera. En reposo, esto se debe casi exclusivamente a la contracción del diafragma muscular (Figura 5) en la base de la cavidad torácica (tórax). El diafragma tira hacia abajo y, debido al vacío entre los pulmones, las paredes torácicas y el diafragma, esto aumenta el volumen de los pulmones. Este aumento del volumen pulmonar reduce la presión en los pulmones, lo que hace que el aire fluya desde la atmósfera hacia los pulmones para equilibrar el gradiente de presión.



▲ Figura 5 Anatomía del sistema respiratorio

En reposo, el proceso de exhalación (exhalación) es pasivo (no requiere energía), ya que el diafragma se relaja y, por lo tanto, vuelve a su posición original sin ningún trabajo muscular consciente. Este retroceso reduce naturalmente el volumen de los pulmones, aumentando la presión a un nivel superior al de la atmósfera, lo que hace que el aire vuelva a salir. Luego, el ciclo se repite y, durante el ejercicio, el principio sigue siendo el mismo.

Sin embargo, durante el ejercicio, cuando los músculos activos necesitan más oxígeno y producen más dióxido de carbono, es necesario inhalar y exhalar más aire a un ritmo más rápido. Para lograrlo, algunos músculos adicionales en la pared torácica (músculos intercostales), el abdomen e incluso los hombros pueden ayudar a aumentar el volumen pulmonar durante la inhalación. Además, la contracción de estos músculos durante la exhalación también comprimirá los pulmones más rápido y con más fuerza que el retroceso natural. Por lo tanto, se trata de un proceso activo, que requiere energía para alimentar los músculos del pecho y el abdomen.

El aire inhalado pasa inicialmente a través de las vías respiratorias conductoras (los conductos nasales y orales, y las vías respiratorias más grandes como la tráquea y los bronquios) y, aunque aquí no se produce ningún intercambio de gases, el aire se calienta, se humedece y se filtra por el revestimiento de las vías respiratorias.

Las vías respiratorias se ramifican continuamente en bronquiolos más pequeños y finalmente terminan en pequeños sacos de aire, cada uno conocido como alvéolo. Aquí es donde se produce el intercambio de gases, en el que el oxígeno y el dióxido de carbono se desplazan a través de la delgada barrera que separa los alvéolos de la sangre que pasa para su posterior transporte.

Los pulmones están diseñados idealmente para el intercambio de gases, ya que cubren una superficie muy grande (millones de alvéolos forman un total de aproximadamente 50-100 m², equivalente a aproximadamente la mitad de una cancha de tenis), tienen un buen suministro de sangre y tienen una distancia total muy delgada entre los alvéolos y la sangre (0,4 µm).

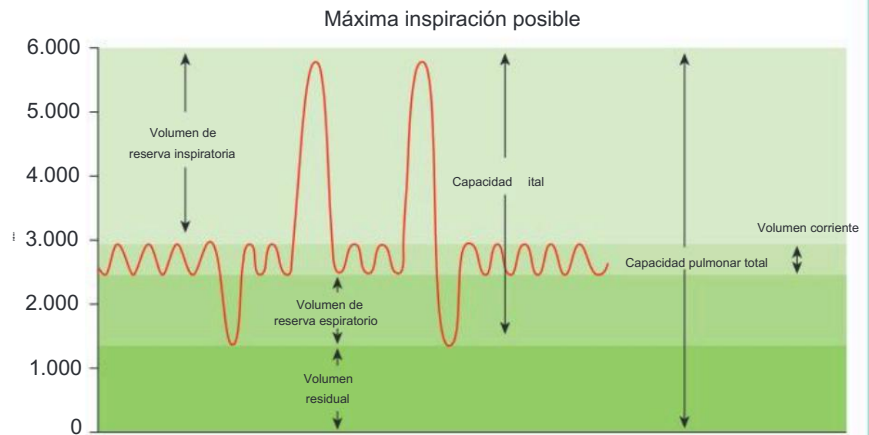
Punto clave

El movimiento del aire dentro y fuera de la relajación de los pulmones se logra mediante la contracción y relajación repetidas de los músculos de la base de la cavidad torácica (diafragma) y de la pared torácica para aumentar y disminuir alternativamente el volumen y, por lo tanto, la presión en los pulmones.



Actividad 1

¿Qué nos dicen los volúmenes pulmonares sobre la condición física?



▲ Figura 6 Trazo que muestra el cambio de volumen durante algunas respiraciones en reposo y algunas respiraciones forzadas

La traza anterior muestra el cambio de volumen durante algunas respiraciones en reposo y algunas respiraciones forzadas (donde la persona inhala y exhala tanto como puede).

A partir del rastro anterior, define:

- capacidad vital
- volumen residual
- volumen corriente
- capacidad pulmonar total
- volúmenes de reserva inspiratoria y espiratoria.

Punto clave

Los volúmenes pulmonares estáticos están más relacionados con el tamaño, así como con las diferencias de edad y sexo, que con la salud o la condición física, aunque los volúmenes dinámicos son más funcionales y sensibles a la enfermedad.

Punto clave

El intercambio de gases se produce continuamente entre el aire, la sangre y los tejidos. Los gases se mueven mediante un proceso pasivo llamado difusión a lo largo de un gradiente que va desde la alta presión a la baja. El desafío durante el ejercicio es garantizar que se mantenga el gradiente, lo que requiere cambios en la ventilación y en el sistema cardiovascular.

Curiosamente, cuando comparamos personas entrenadas y no entrenadas de tamaño similar, queda claro que estos volúmenes pulmonares no son algo que se pueda entrenar y no están relacionados con la aptitud aeróbica. El volumen pulmonar y las capacidades pulmonares se ven afectados por la edad, el sexo y el tamaño corporal.

- Se descubrió que el volumen pulmonar aumentaba 28 veces, desde alrededor de 200 mililitros al nacer hasta aproximadamente 2,2 litros a los 8 años, alcanzando alrededor de 5,5 litros a los 25 años (Inselman, Mellins, 1981).
- Las hembras biológicas suelen tener un volumen pulmonar y una capacidad menores en comparación con los machos biológicos.
- La capacidad vital es generalmente mayor en personas altas que en personas bajas (Aung et al., 2019).

Por el contrario, la velocidad a la que se puede exhalar el aire es un marcador muy sensible de la función pulmonar. Por ejemplo, el volumen máximo que se puede exhalar en un segundo (volumen espiratorio forzado en un segundo, FEV1) se utiliza a menudo como prueba del volumen pulmonar dinámico.

Un área de investigación interesante en la actualidad es si el entrenamiento de los músculos respiratorios puede ayudar al rendimiento. En contraste con las ideas originales en este campo, hay algunas sugerencias de que el entrenamiento de estos músculos con respiración resistida especial

Los dispositivos pueden mejorar el rendimiento de resistencia de larga duración al facilitar la respiración sin cambios en el volumen pulmonar.

Intercambio de gases

El intercambio de gases en los pulmones, así como en otros tejidos corporales, se lleva a cabo de acuerdo con otro proceso pasivo conocido como difusión. Este es otro principio básico de la física. El gas se moverá a lo largo de un gradiente desde un área de presión parcial más alta a una presión parcial más baja. La presión parcial es similar a la concentración, pero representa la presión ejercida por un solo gas (como el oxígeno) dentro de una mezcla (como el aire, la sangre o un fluido tisular).

En los pulmones, el aire que se respira tiene un alto contenido de oxígeno y un bajo contenido de dióxido de carbono. La sangre que se bombea a los pulmones desde los tejidos activos a través del corazón tiene un menor contenido de oxígeno y un mayor contenido de dióxido de carbono. Por lo tanto, el oxígeno se difundirá desde los alvéolos hacia la sangre, y el dióxido de carbono se difundirá desde la sangre hacia los alvéolos (Figura 7). La sangre que sale de los pulmones, ahora con un alto contenido de oxígeno y un bajo contenido de dióxido de carbono, se bombeará a los tejidos a través del corazón. En los tejidos donde se está utilizando el oxígeno y produciendo dióxido de carbono, los gradientes de presión impulsarán el oxígeno desde la sangre hacia los tejidos y el dióxido de carbono desde los tejidos hacia la sangre.

El intercambio de gases pulmonares es el movimiento del oxígeno del aire en los alvéolos de los pulmones a la sangre, y el movimiento del dióxido de carbono en la dirección opuesta.

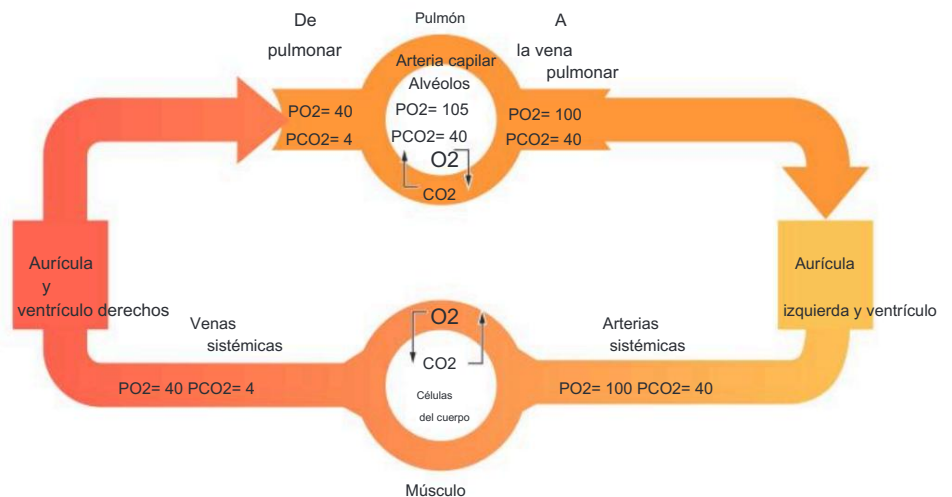
A medida que la sangre fluye a través de los capilares pulmonares, recoge oxígeno del aire alveolar y descarga dióxido de carbono en el aire alveolar. Cada

gas se mueve desde el área donde su presión parcial es mayor al área donde su presión parcial es menor.

Durante el ejercicio, el gradiente de presión en los tejidos y los pulmones se hace mayor porque se consume más oxígeno y se produce más dióxido de carbono.

La presión parcial de oxígeno alveolar debe ser mayor que la presión parcial de oxígeno en la sangre para que el oxígeno pase del aire alveolar a la sangre. Esto se logra exhalando el aire con menos oxígeno y más dióxido de carbono y luego inhalando aire fresco para mantener los gradientes de presión para que se produzca la difusión.

De lo contrario, el ejercicio no podría realizarse. sostenido por mucho tiempo.



▲ Figura 7 Versión simplificada de las diferencias de presión parcial entre los pulmones, la sangre y los tejidos (todas las presiones parciales están en unidades de mmHg)

Ventilación durante el ejercicio La ventilación

minuto (VE) describe el volumen de aire que se exhala por minuto (y se inhala, ya que no almacenamos aire).

La VE se determina como el producto del tamaño de cada respiración (V_T = volumen corriente) multiplicado por el número de respiraciones por minuto, conocido como frecuencia respiratoria (B_f = frecuencia respiratoria).

$$VE (l \cdot min^{-1}) = V_T (l \cdot respiración^{-1}) \times B_f (respiraciones \cdot min^{-1})$$



Actividad 2

La tabla 1 muestra algunos datos recopilados durante una prueba de esfuerzo. Complete la tabla.

A medida que aumenta la intensidad del ejercicio, ¿cómo se logra una mayor ventilación?

▼ Tabla 1 Comparación de \dot{V}_E , \dot{V}_T y B_f

	Intensidad del ejercicio durante la carrera a velocidades progresivamente más rápidas (kmh ⁻¹)						
	Descansar	8	10	12	14	16	18
\dot{V}_T (lbreath ⁻¹)	0,67	2		3.3	3.6		4
B_f (respiración min ⁻¹)	12		22.3	24.2		30	38
\dot{V}_E (lmin ⁻¹)	8	40	58		98	115	

Durante el ejercicio, la \dot{V}_E aumenta típicamente al aumentar tanto el \dot{V}_T como la B_f (Tabla 1) para mantener las presiones parciales de gas en reposo en los pulmones y el suministro de sangre arterial a los tejidos activos. A medida que el ejercicio se vuelve más difícil, la ventilación aumenta aún más. En individuos sanos, la homeostasis de la presión parcial de oxígeno arterial se conserva, incluso a intensidades de ejercicio máximas (con la excepción de algunos atletas altamente entrenados). Esta regulación estricta plantea la pregunta: ¿cómo se controla la respuesta de la ventilación al ejercicio?

A pesar de la gran cantidad de investigaciones sobre este tema, no existe un único factor en el cuerpo que regule la ventilación por sí solo. En cambio, los investigadores han identificado una serie de factores que pueden estimular o inhibir la ventilación según las condiciones, como las presiones parciales de los gases, la acidez, la temperatura y las hormonas. La contribución relativa de estos factores durante el ejercicio depende de las características del ejercicio, como la intensidad, la duración y las condiciones ambientales. Por ejemplo, sabemos que cuando se hace ejercicio en altura (donde la presión parcial atmosférica de oxígeno es reducida) los receptores que son sensibles al contenido de oxígeno de la sangre estimulan un aumento de la ventilación. Sin embargo, a nivel del mar, en la mayoría de los individuos, el contenido de oxígeno arterial se mantiene constante. Por lo tanto, aunque el oxígeno puede ser un factor contribuyente, parecería que durante el ejercicio la respuesta de la ventilación es en realidad más sensible a los aumentos de dióxido de carbono, especialmente durante el ejercicio de alta intensidad.

Reflexiones de pensamiento

Punto clave

La ventilación aumenta en respuesta a la creciente intensidad del ejercicio para mantener los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en reposo en la sangre arterial que irriga los músculos en ejercicio. Esto se logra aumentando la profundidad y la frecuencia respiratorias. El control de la ventilación es muy complejo y no hay un único factor responsable, aunque el dióxido de carbono desempeña un papel importante.

Ejemplos de la importancia del dióxido de carbono

El término hiperventilación se refiere a un aumento de la ventilación por encima de lo que realmente se requiere para satisfacer la demanda de oxígeno del ejercicio. Esta respuesta significa que exhalamos más dióxido de carbono del necesario y los niveles de dióxido de carbono en sangre arterial disminuyen. Esta disminución del dióxido de carbono reducirá nuestro deseo de respirar y existen dos formas muy diferentes de demostrarlo.

Re-inhalación

En el pasado, algunas personas recomendaban que una persona que sufría un "ataque de pánico" respirara dentro de una bolsa de papel. La teoría detrás de este consejo era que cuando una persona sufre un período agudo de ansiedad aumentada, hiperventilará. Esto provoca una caída del dióxido de carbono arterial que reduce el estímulo para respirar, lo que, a su vez, puede causar la sensación de mayor pánico a medida que la persona se confunde e hiperventila aún más. Esto no es causado por un exceso de oxígeno detectado por el cerebro. Al inhalar y exhalar



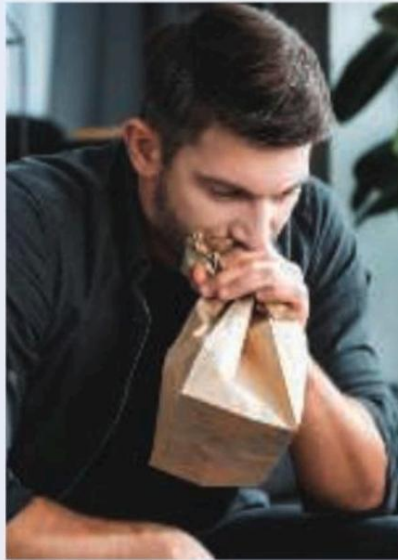


En una bolsa de papel, la persona inhala parte del dióxido de carbono y este se acumula a lo largo de varios ciclos de respiración para restablecer los niveles de dióxido de carbono arterial. Si la persona logra reducir su estado de ansiedad, su respiración debería volver a la normalidad.

Nota: Esta explicación y práctica solo se aplican cuando no existe otra causa patológica para la hiperventilación. De lo contrario, la reinhalación podría causar más problemas y poner a la persona en mayor riesgo. Por este motivo, las guías actuales de primeros auxilios desaconsejan el uso de estas técnicas de reinhalación.

Conteniendo la respiración

En 2021, Budimir Šobat, un atleta de 56 años que practica apnea (buceo en apnea, inmersión a la mayor profundidad posible sin aire adicional), batió un nuevo récord mundial de apnea (24 min 37 s). La apnea prolongada requiere mucho entrenamiento y técnica, pero no debe intentarse sin supervisión, ya que puede marear a la persona y provocar ahogamiento o caída al volver a tierra.



▲ Figura 8 Las guías actuales de primeros auxilios desaconsejan el uso de técnicas de reinhalación.

Antes de apnea, el buceador utiliza una serie de técnicas, entre ellas la meditación y la respiración con altas concentraciones de oxígeno. Una técnica importante es la hiperventilación controlada durante varios minutos. Esto reduce los niveles de dióxido de carbono arterial y retrasa considerablemente el estímulo para respirar, lo que permite al buceador permanecer bajo el agua durante mucho más tiempo. Como se ha dicho, esto puede ser peligroso y no debe intentarse sin supervisión. Actualmente se desconocen los efectos a largo plazo de la apnea repetida.



▲ Figura 9 Los apneístas utilizan una variedad de técnicas, incluida la meditación y la respiración de altas concentraciones de oxígeno, antes de una inmersión.

Sistema cardiovascular

Sangre

Durante el ejercicio, la función principal de la sangre es transportar gases, nutrientes, productos de desecho, hormonas y calor hacia y desde los distintos tejidos.

El volumen total de sangre en el cuerpo es de unos 5 litros para una persona que pesa 70 kilogramos.

Los principales componentes de la sangre son los siguientes:

- El plasma (aproximadamente el 55 % del volumen sanguíneo) es un líquido. Es una mezcla de agua y sustancias disueltas.
- Las plaquetas (<1% del volumen sanguíneo) ayudan en el proceso de reparación posterior lesión; juegan un papel vital en la coagulación de la sangre.
- Los glóbulos blancos (<1% del volumen sanguíneo) se denominan leucocitos. Su función principal es la función inmunitaria; protegen al organismo de las infecciones. • Los glóbulos rojos (alrededor del 40%–45% del volumen sanguíneo) se denominan eritrocitos.

Transportan el oxígeno de los pulmones a los tejidos y el dióxido de carbono de vuelta a los pulmones para su exhalación. El porcentaje de glóbulos rojos se denomina hematocrito. El hematocrito depende de factores como el nivel de entrenamiento de la persona y las diferencias de sexo.

El aumento del volumen de dióxido de carbono producido durante el ejercicio se transporta desde los músculos hasta los pulmones para su exhalación, parcialmente disuelto en la sangre, pero principalmente en forma temporal de bicarbonato. El oxígeno es menos soluble en el plasma; solo un pequeño porcentaje del oxígeno total entregado a los músculos activos se transporta de esta manera. En cambio, el oxígeno se adhiere temporalmente a un pigmento rico en hierro en la sangre llamado hemoglobina. En los pulmones, donde hay una presión parcial alta, el oxígeno se une fácilmente a la hemoglobina. En el músculo activo, donde la presión parcial es menor, el oxígeno se desprende y se difunde desde la sangre hacia los tejidos activos.

Los glóbulos rojos desoxigenados luego regresan a los pulmones (a través del corazón), donde el oxígeno puede unirse.

Si se puede aumentar la concentración de hemoglobina manipulando la hormona eritropoyetina (EPO), responsable de estimular la producción de glóbulos rojos, se puede transportar más oxígeno y mejorar el rendimiento en ejercicios aeróbicos. Esta es la razón por la que muchos atletas de resistencia a menudo viven y/o entrenan en altura, donde la menor disponibilidad de oxígeno estimula naturalmente una mayor producción de hemoglobina, de modo que cuando los atletas regresan al nivel del mar pueden rendir mejor.

Punto clave

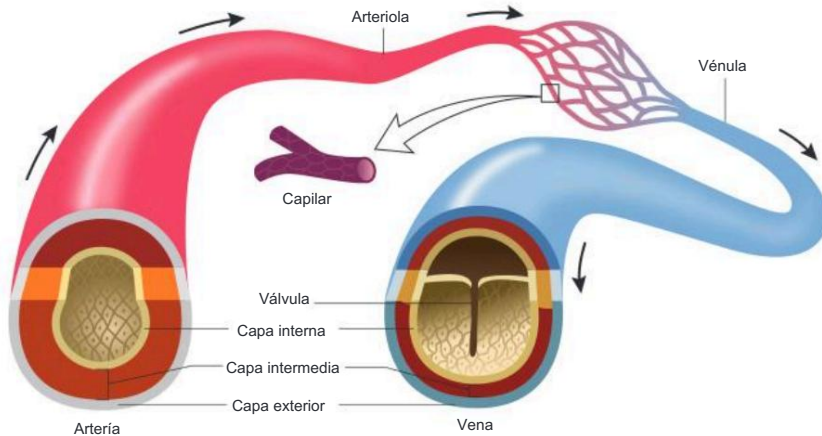
La sangre desempeña una serie de funciones vitales en el organismo y, durante el ejercicio, una de ellas es el transporte. El dióxido de carbono se transporta principalmente en forma de bicarbonato, mientras que el oxígeno se transporta principalmente unido a un pigmento especial llamado hemoglobina que se encuentra en los glóbulos rojos.

Lamentablemente, también existen métodos ilegales de los que se abusa en el deporte para lograr el mismo objetivo. Por ejemplo, el dopaje sanguíneo consiste en extraer sangre de un atleta semanas antes de una competición y almacenarla mientras la hemoglobina del atleta se restaura de forma natural mediante la estimulación con EPO. Luego, justo antes de la competición, se vuelve a introducir la sangre almacenada para que la concentración de hemoglobina sea superior a la normal, se pueda transportar más oxígeno y el rendimiento en el ejercicio sea mejor. O se puede inyectar a los atletas EPO sintética para lograr el mismo objetivo sin siquiera extraer sangre. La detección del abuso de EPO sintética o del dopaje sanguíneo sigue siendo un reto muy importante para la Agencia Mundial Antidopaje, ya que se pueden lograr importantes beneficios inmediatos para los atletas.

Circulación

La sangre se transporta por el cuerpo a través de una extensa red de vasos sanguíneos, entre los que se incluyen los siguientes:

- **Arterias** Son vasos de diámetro relativamente grande. Tienen paredes musculares gruesas, ya que la sangre rica en oxígeno ejerce una presión considerable en ellos. Son responsables del transporte desde el corazón hasta los tejidos. (Consejo: recuerda que las arterias llevan sangre desde el corazón).
Las arterias luego se ramifican en arteriolas más estrechas.
- **Capilares.** Son vasos muy estrechos con paredes muy delgadas, irrigados por las arteriolas. Forman una extensa red de ramificaciones a través de los tejidos y son los lugares de intercambio entre la sangre y los tejidos.
- **Venas** Los capilares se conectan con vasos más grandes llamados vénulas y luego con venas más grandes. Las venas más grandes son los vasos que llevan la sangre mayoritariamente desoxigenada de regreso al corazón. Son menos musculares y fibrosas que las arterias, ya que la presión es menor. Son flexibles y contienen válvulas para evitar el reflujo.



▲ Figura 10 Estructura de los vasos sanguíneos

La bomba que se encuentra en el centro del sistema cardiovascular es el corazón, que es una secuencia de cámaras encerradas por paredes de fibras musculares especializadas llamadas fibras musculares cardíacas. El corazón es el vínculo entre dos circuitos circulatorios distintos (observe el engranaje central en la Figura 2).

- La circulación pulmonar transporta sangre desoxigenada desde el lado derecho del corazón a los pulmones para su oxigenación y luego regresa al lado izquierdo del corazón.
- La circulación sistémica entrega esta sangre oxigenada desde el lado izquierdo de la corazón a los demás tejidos del cuerpo donde se consume el oxígeno y luego devuelve la sangre desoxigenada al lado derecho del corazón para que el ciclo continúe.
Esto incluye al propio corazón, que está formado por tejido muscular especializado y, por lo tanto, necesita recibir el suministro de sangre esencial a través de las arterias coronarias. Cualquier alteración de las arterias coronarias provocará un ataque cardíaco, ya que el músculo cardíaco se queda sin oxígeno y, por lo tanto, no puede funcionar correctamente.

El ciclo cardíaco

El corazón puede considerarse un sistema de doble bomba de cuatro cámaras. Los lados izquierdo y derecho del corazón trabajan en paralelo simultáneamente. Cada uno tiene una aurícula que primero recibe sangre de una vena y luego la impulsa hacia una pared más grande y más gruesa.

Punto clave

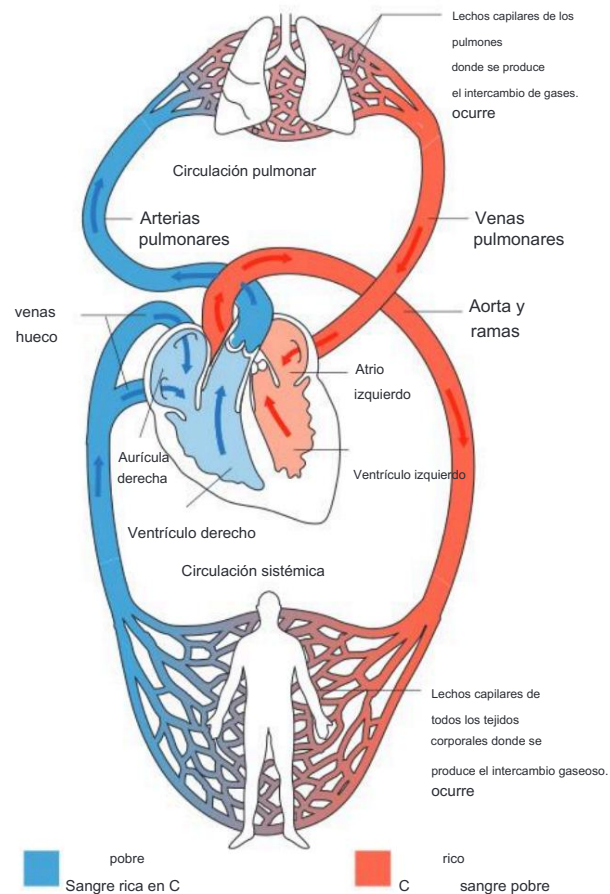
La sangre se bombea por todo el cuerpo a través de una serie de vasos sanguíneos, desde grandes arterias musculares hasta arteriolas más estrechas, pasando por capilares muy estrechos y delgados (donde se produce el intercambio de gases), hasta llegar a vénulas más grandes y flexibles y, finalmente, a venas que contienen válvulas para evitar el reflujo. El corazón tiene la función principal de bombear sangre por todo el cuerpo (circulación sistémica) y hacia los pulmones (circulación pulmonar).

ventrículo. Luego, el ventrículo empuja la sangre fuera del corazón hacia una arteria para transportarla fuera del corazón.

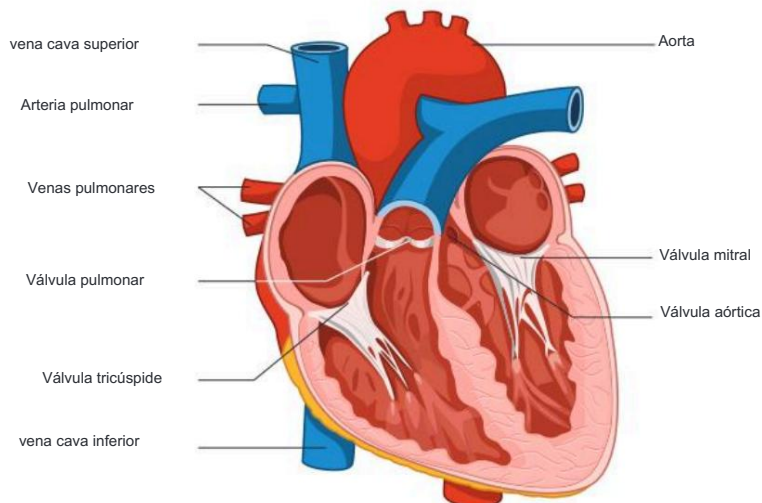
Hay una serie de válvulas entre las cámaras del corazón que se cierran y abren por la fuerza en respuesta a una secuencia altamente coordinada de contracciones musculares. Las válvulas garantizan que el sistema funcione en una dirección y permiten que las contracciones del músculo cardíaco aumenten la presión en las cámaras para la expulsión de la sangre (ya sea desde una aurícula hacia un ventrículo o desde un ventrículo hacia una arteria y fuera del corazón).

Puntos clave

- Las venas hepáticas drenan el hígado.
- La vena mesentérica transporta nutrientes. sangre rica lejos de los intestinos.
- La arteria hepática transporta sangre al hígado.
- La arteria gástrica lleva sangre al estómago.
- La arteria mesentérica suministra sangre. A nuestros intestinos.



▲ Figura 11 El sistema circulatorio



▲ Figura 12 Estructura del corazón

El corazón está formado por cuatro cámaras principales. Las cámaras tienen paredes musculares y están separadas por válvulas. Los dos lados del corazón tienen una aurícula (recibe sangre) y un ventrículo más grande (expulsa sangre del corazón). La sangre es impulsada desde las aurículas a los ventrículos y luego fuera del corazón por una serie de contracciones estrechamente coordinadas del músculo cardíaco. La contracción se inicia como un impulso en el nódulo sinoauricular que luego viaja a través del músculo cardíaco y provoca las contracciones en la secuencia correcta. Consulte el capítulo A.1.2 para obtener más detalles sobre la excitación del corazón.

Puntos clave

- Vena cava superior: vena grande que recoge sangre de partes del cuerpo superiores al corazón y la devuelve a la aurícula derecha.
- Vena cava inferior: vena grande que recoge sangre de partes del cuerpo inferiores al corazón y la devuelve a la aurícula derecha.
- Haz auriculoventricular: parte del sistema de conducción del corazón que comienza en el nódulo auriculoventricular, pasa por el esqueleto cardíaco (tejido conectivo fuerte que forma un marco dentro del corazón y brinda soporte y estructura a las paredes, válvulas y vasos sanguíneos del corazón) separando las aurículas y los ventrículos, antes de dividirse en haces derecho e izquierdo. También llamado haz de His.
- Válvula mitral: se encuentra entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo, y actúa como una barrera que se abre y se cierra para regular el flujo de sangre.
- Válvula aórtica: la sangre pasa desde el ventrículo izquierdo a través de la válvula aórtica. La válvula aórtica es como una puerta en el corazón que controla el flujo de sangre cuando sale del corazón hacia el resto del cuerpo.
- Válvula tricúspide: ubicada entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho. Cuando el corazón late, la válvula tricúspide se abre, lo que permite que la sangre de la aurícula derecha fluya hacia el ventrículo derecho. Luego, cuando el ventrículo derecho se contrae para bombear la sangre a los pulmones, la válvula tricúspide se cierra, lo que impide que la sangre fluya en sentido inverso hacia la aurícula derecha.
- Válvula pulmonar: la sangre pasa desde el ventrículo derecho a través de la válvula pulmonar. Se abre y se cierra para controlar el flujo de sangre, permitiendo que la sangre salga del corazón y entre en la arteria pulmonar, y luego se cierra para evitar cualquier flujo inverso, asegurándose de que la sangre vaya en la dirección correcta para llegar a los pulmones para su oxigenación.

Presión arterial

El corazón bombea sangre por todo el cuerpo: la contracción y relajación de las paredes de las cavidades provoca cambios en la presión ejercida sobre la sangre para impulsarla a través del corazón y fuera del mismo y por todo el cuerpo. Si medimos la presión en los vasos sanguíneos que salen directamente del corazón (arterias), ésta fluctúa con las diferentes fases del ciclo cardíaco, entre picos muy altos en los que el ventrículo se contrae y expulsa la sangre, y valles en los que el ventrículo se relaja y no se bombea sangre (las válvulas semilunares están cerradas). Estas presiones se conocen como presión sistólica (de contracción) y diastólica (de relajación).

En un adulto sano y en reposo, los valores típicos de la presión arterial se encuentran en el rango de 90 a 120 mmHg (sistólica) y 60 a 80 mmHg (diastólica). Una lectura sistólica de 120 con una lectura diastólica de 80 se describiría como "120 sobre 80 mmHg". Una presión arterial de 140/90 mmHg o más se considera presión arterial alta, mientras que una presión arterial de 90/60 mmHg o menos se considera presión arterial baja. Una presión arterial saludable permite un vaciado y llenado eficiente del corazón, pero con suficiente presión en el sistema para mantener el flujo sanguíneo a los tejidos del cuerpo. La presión (y el grado de fluctuaciones) disminuye a medida que la sangre pasa de las arterias a las arteriolas y luego a los capilares. La presión en las vénulas y venas es comparativamente baja y constante, pero la presión arterial es la más importante y es la que miden rutinariamente los médicos.



Actividad 3

Utilice un estetoscopio colocado en la pared torácica sobre el lado izquierdo y escuche el Sonidos del corazón cuando se contrae (oírás que las válvulas se cierran en secuencia) y luego se relaja (no hay sonido). El sonido del latido del corazón que podemos escuchar con un estetoscopio ("lub-dub, lub-dub") es en realidad el cierre de la AV válvulas ("lub") seguidas rápidamente por el cierre de las válvulas semilunares ("dub"). Ahora calcula la frecuencia cardíaca como el número de latidos ("lub-dub" = 1 latido) en 15 segundos multiplicado por 4 (pulsaciones por minuto).



▲ Figura 13 Uso de un estetoscopio para escuchar el tórax



Actividad 4

Interpretar las lecturas de la presión arterial

La presión arterial se puede medir manualmente utilizando un manguito de presión ajustable. (que se puede inflar o desflar gradualmente para restringir el flujo sanguíneo) adherido a un dispositivo para medir la presión (un esfigmomanómetro) y un estetoscopio (para escuchar una arteria en busca de lo que se conoce como sonidos de Korotko). Alternativamente, Hay muchos dispositivos automáticos de medición de la presión arterial disponibles comercialmente. dispositivos, pero el principio es exactamente el mismo. El cu se infla a una presión más alta que la presión sistólica (alrededor de 150–180 mmHg en una persona joven y sana) persona) para detener el flujo de sangre a través de la arteria mientras está comprimida (habrá No debe haber sonido en la arteria debajo del manguito). Luego, se deja que el manguito se hinche muy lentamente. Para descomponer. A medida que se alcanza la presión sistólica se puede escuchar un sonido de golpeteo. ya que la sangre puede pasar de forma intermitente a través de la arteria bloqueada inmediatamente Después de cada contracción cardíaca únicamente: en este punto se anota la presión sistólica. Con una mayor desintegración, los sonidos desaparecerán a medida que se restablezca el flujo sanguíneo completo. En este punto se anota la presión diastólica.

▼ Tabla 2

	Actividad	Presión diastólica (mmHg)	Presión sistólica (mmHg)
Adulto sano de 80 kg	Descansar	75	116
	Correr	80	180
	Levantar	150	240
100 kg. Adulto no saludable. Descanso.		95	150





La Tabla 2 muestra datos de un adulto sano entrenado de 80 kg en reposo y realizando dos acciones diferentes (correr rápido, una actividad dinámica; intentar levantar un objeto muy pesado, estático pero con fuerzas muy elevadas), así como datos en reposo de otro individuo no entrenado y no saludable.

1. ¿Qué efecto tiene el ejercicio dinámico sobre la presión arterial?
2. ¿Qué efecto tiene el ejercicio estático sobre la presión arterial?
3. ¿Por qué uno es más alto que el otro?
4. ¿Qué diferencia hay entre los dos participantes en reposo?
5. La presión arterial elevada se conoce como hipertensión. ¿Por qué una persona
¿La presión arterial alta representa un desafío que puede derivar en complicaciones de salud?



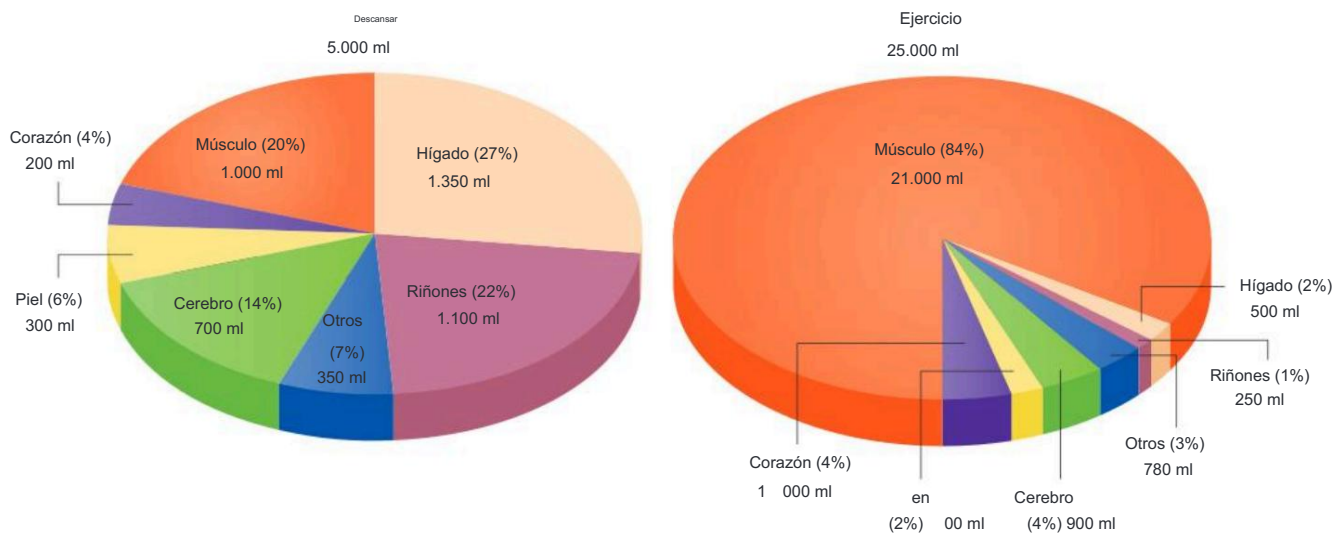
▲ Figura 14 Monitores de presión arterial

Distribución del flujo sanguíneo

Durante el ejercicio, e incluso en reposo, el diámetro de las arterias, arteriolas y la apertura/cierre de los capilares deben regularse cuidadosamente para mantener la presión arterial en un nivel suficiente para garantizar la función cardiovascular. Esto se logra mediante el control involuntario del músculo liso que recubre las paredes de las arterias y arteriolas y que también forma pequeños esfínteres a lo largo de la red de capilares. Si todo este músculo liso se relajara, no habría suficiente presión para devolver la sangre al corazón y el ciclo cardíaco no podría funcionar. Por lo tanto, el sistema nervioso y el sistema cardiovascular interactúan cuidadosamente para que haya suficiente relajación de algunas paredes de los vasos y contracción de otros para garantizar que pase suficiente sangre a través de todos los órganos que requieren intercambio, pero se mantiene la presión arterial.

Durante el ejercicio, los músculos que se utilizan se convierten en los principales demandantes de flujo sanguíneo, ya que se requieren más oxígeno y nutrientes y se deben eliminar más productos de desecho y calor. Por lo tanto, además de los aumentos en el gasto cardíaco (consulte la siguiente sección), se dirige más sangre hacia los músculos activos dilatando las arteriolas que irrigan los músculos y abriendo más la red capilar dentro de los músculos. Como regla general, los tejidos metabólicamente más activos reciben el mayor suministro de sangre. Esta redistribución, junto con los aumentos en el gasto cardíaco, permite hasta 25 veces más flujo sanguíneo a los músculos activos. Sin embargo, para evitar una caída catastrófica resultante en la presión arterial en todo el sistema, los vasos que irrigan otros órganos del cuerpo se contraen y muchos de los capilares se cierran, de modo que se reduce el flujo sanguíneo a estos órganos.

Como se muestra en la Figura 15, algunos órganos esenciales como el cerebro y el corazón están protegidos para que aún tengan suficiente suministro (la vida podría verse comprometida si alguno de ellos tuviera un flujo sanguíneo insuficiente), pero los músculos activos pueden demandar hasta el 90% del flujo sanguíneo total durante el ejercicio, en comparación con solo el 20% en reposo.



▲ Figura 15 Distribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio y en reposo

Punto clave

La presión arterial debe mantenerse en el nivel correcto para que haya suficiente flujo sanguíneo en el cuerpo. La relajación y constricción coordinadas de algunos vasos sanguíneos mantienen la presión, pero también redistribuyen el flujo sanguíneo a los vasos sanguíneos.

Músculos activos durante el ejercicio.

Respuestas cardiovasculares agudas al ejercicio

Dado que las respuestas respiratorias se consideran suficientes para mantener un intercambio de gases eficiente en individuos sanos, incluso durante el ejercicio máximo, el sistema cardiovascular es crucial para mantener la función e intentar mantener la homeostasis frente al desafío del ejercicio. En las secciones anteriores se han destacado diversas formas en las que esto se logra hasta cierto punto, pero son las respuestas del corazón al ejercicio dinámico las que realmente pueden considerarse "centrales".

De este modo, las respuestas del corazón se regulan con mucha precisión en función de las exigencias del ejercicio.

Esto se ilustra muy bien explorando el aumento del flujo sanguíneo que sale del corazón durante el ejercicio y cómo se logra esto. El gasto cardíaco se define como la cantidad de sangre expulsada desde el lado izquierdo del corazón (y, por lo tanto, que abastece a todo el cuerpo excepto los pulmones) en litros por minuto. El gasto cardíaco está determinado por la velocidad con la que late el corazón (frecuencia cardíaca en latidos por minuto) y la cantidad de sangre que se expulsa con cada contracción (volumen sistólico en mililitros por latido), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{gasto cardíaco} = (\text{frecuencia cardíaca} \times \text{volumen sistólico}) \div 1000$$

Para lograr los aumentos del gasto cardíaco necesarios durante el ejercicio, el corazón late más rápido (aumento de la frecuencia cardíaca) y se llena y vacía más durante cada contracción (aumento del volumen sistólico). A medida que el ejercicio se vuelve progresivamente más difícil, la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico aumentan hasta que se alcanzan sus respectivos valores máximos. Cuando se alcanza el gasto cardíaco máximo, también se llega al agotamiento y el ejercicio no puede continuar a esta intensidad (consulte la sección siguiente).

Por el contrario, durante el ejercicio submáximo prolongado a una intensidad fija (actividades de resistencia), el gasto cardíaco se mantiene al mismo nivel durante todo el tiempo, ya que la demanda se mantiene constante con el volumen sistólico y la frecuencia cardíaca en valores más altos que en reposo. Sin embargo, es interesante observar que, aunque el gasto cardíaco se mantiene constante, la frecuencia cardíaca comienza a aumentar ligeramente y de manera progresiva. Esto se conoce como

Punto clave

El gasto cardíaco aumenta en proporción a la intensidad del ejercicio hasta un valor máximo alcanzable. El aumento del gasto cardíaco es el resultado del aumento del volumen sistólico multiplicado por el aumento de la frecuencia cardíaca.

La deriva cardiovascular y refleja una disminución del volumen sistólico, principalmente debido a cambios en la termorregulación.



Actividad 5

La Tabla 3 muestra las respuestas cardiovasculares durante el ejercicio dinámico de todo el cuerpo. Ejercicio para dos adultos de edad similar (20 años) y tamaño (1,8 m, 70 kg). Uno sedentario y el otro es un atleta de resistencia bien entrenado. Los datos reflejan tres niveles de intensidad del ejercicio: descanso; ejercicio submáximo (Submax.) caminar a la misma velocidad; y ejercicio máximo (Máx.) hasta el punto de agotamiento.

▼ Tabla 3

	Intensidad	Adulto no entrenado Macho biológico	Adulto entrenado Macho biológico
Frecuencia cardíaca (latidos/min-1)	Descansar	75	50
	Submáx.	110	80
	Máx.	197	195
Volumen sistólico (ml/beat-1) Reposo		60	90
	Submáx.	85	112
	Máx.	120	190
Gasto cardíaco (l/min-1)	Descansar	4.6	4.5
	Submáx.	9.4	9.0
	Máx.	19.7	32.2

1. Evaluar el efecto del entrenamiento sobre las respuestas cardiovasculares a Ejercicio dinámico submáximo y máximo.
2. Aparte de cualquier diferencia en el estado de entrenamiento, prediga cualquier diferencia que lo que cabría esperar si se compararan los datos de la Tabla 3 con los de un adulto hembra biológica

Actividades de investigación

¿Qué mecanismos ayudan al retorno?
sangre de regreso al corazón durante
¿ejercicio?



Pregunta de enlace

¿En qué medida?

mediciones cardiorrespiratorias
Indican estrés y excitación

¿Niveles? (Herramienta 1, C.4.1)

Considerar:

- ¿Qué sucede con la frecuencia cardíaca ?
y la frecuencia respiratoria cuando el
división simpática de la
El sistema nervioso autónomo es
activado
- menor variabilidad de la frecuencia cardíaca
(variación en intervalos de tiempo
entre latidos sucesivos del corazón)
- frecuencia respiratoria (y profundidad) y
niveles de estrés y excitación
- confiabilidad y otros factores
que pueden afectar la frecuencia cardíaca y
respiración
- variación interindividual
- triangulación con otros
medidas (como el autoinforme).

Actividades de pensamiento

Las respuestas cardiovasculares submáximas son diferentes en niños y adultos. Independientemente de las diferencias de sexo, los niños tienen un gasto cardíaco menor que los adultos. una tasa de trabajo submáxima absoluta dada. Este menor gasto cardíaco es atribuible a un volumen sistólico más bajo, que se compensa parcialmente con una frecuencia cardíaca más alta.

La Tabla 4 muestra los datos de un estudio que compara las respuestas cardiovasculares al ciclismo. y carrera en cinta en niños de 7 a 9 años versus adultos de 18 a 26 años.

▼ Tabla 4

	Gasto cardíaco (l/min-1)		Volumen sistólico (ml)		Frecuencia cardíaca (pulsaciones/min-1)	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto		
Ciclo 60W 9,4 Correr 3mph	12.4		61.9	126.8	153.1	97.8
6,7	12.3		57.3	135,7	116.0	92.0

Diferencias en las respuestas cardiovasculares submáximas entre niños y

Los adultos están relacionados con corazones más pequeños y una menor cantidad de músculos que realizan una dada la tasa de trabajo de los niños.



Pregunta de enlace

¿Cómo influyen las cualidades específicas del entrenamiento de larga duración en las estructuras y funciones del sistema cardiovascular? (A.3.1)

Considerar:

- intensidad, duración y frecuencia del entrenamiento
- efectos sobre el gasto cardíaco
- suministro de oxígeno y nutrientes al tejido muscular esquelético en ejercicio
- ¿Qué sucede con la presión arterial en reposo y durante el ejercicio?
- mejora el flujo sanguíneo.

Término clave

$\dot{V}O_{2\max}$ Tasa máxima de consumo de oxígeno de un individuo, que representa la capacidad aeróbica máxima.

Capacidad funcional de los sistemas cardiorrespiratorio

Está claro que la respuesta del cuerpo humano al ejercicio requiere la integración y regulación adecuadas de varios sistemas del organismo. Existen límites a la intensidad con la que se puede exigir a estos sistemas, y esto se refleja en las distintas duraciones e intensidades de ejercicio que las personas pueden tolerar. El indicador más comúnmente utilizado para medir la aptitud aeróbica de un individuo nos lleva de nuevo a la importancia del $\dot{V}O_2$ que analizamos al principio de este capítulo.

El consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2\max}$) cuantifica la velocidad máxima a la que una persona puede ingerir y utilizar oxígeno. El $\dot{V}O_2$ se evalúa directamente midiendo la concentración de gas y el volumen de aire que se exhala a intensidades de ejercicio progresivamente crecientes. A medida que aumenta la demanda de oxígeno, también lo hace el $\dot{V}O_2$, hasta que la persona se acerca a su límite, es decir, su $\dot{V}O_{2\max}$. En ese momento, incluso si la intensidad (y, por lo tanto, la demanda de oxígeno) aumenta aún más, el $\dot{V}O_2$ no puede aumentar más y la persona dejará de hacer ejercicio porque ya no puede continuar.

Por esta razón, el $\dot{V}O_{2\max}$ se conoce a veces como capacidad aeróbica y es por ello que es un parámetro de interés para los fisiólogos que trabajan tanto con pacientes con limitaciones graves como con atletas de resistencia de élite. Los pacientes tendrán un $\dot{V}O_{2\max}$ muy bajo y, por lo tanto, no pueden hacer frente a lo que puede parecer un ejercicio relativamente fácil para otros.

Mientras que los atletas de resistencia de élite tendrán valores de $\dot{V}O_{2\max}$ muy altos y, por lo tanto, son capaces de los impresionantes rendimientos de resistencia que se observan en el deporte de alto rendimiento. Analizaremos más a fondo los factores que afectan al $\dot{V}O_{2\max}$ en el capítulo A.2.3.

Ecuación de Fick

En el ejercicio máximo, la ecuación de Fick resume la importante relación entre el gasto cardíaco máximo, la diferencia máxima de oxígeno arteriovenoso y el $\dot{V}O_{2\max}$:

$$\dot{V}O_{2\max} = \text{gasto cardíaco máximo} \times \text{máxima diferencia arterio-venosa de oxígeno}$$

Además de un mayor gasto cardíaco, otras adaptaciones positivas del entrenamiento de resistencia incluyen una redistribución sanguínea más efectiva y un aumento de la microcirculación del músculo esquelético (relación entre capilares y fibra muscular). Esto ayuda a aumentar la extracción de oxígeno tisular durante el ejercicio intenso tanto en niños como en adultos. Las frecuencias cardíacas más altas en los niños en comparación con los adultos durante el ejercicio submáximo no compensan por completo el menor volumen sistólico de los niños. Los niños tienen un gasto cardíaco menor en relación con los adultos en un consumo de oxígeno de ejercicio submáximo dado. Como resultado, la diferencia de oxígeno arteriovenoso aumenta para satisfacer los requisitos de oxígeno de los niños.

Durante el ejercicio submáximo, una mayor diferencia de oxígeno arterial-venoso mixto $[(A-V)O_2]$ en los niños también ayuda a compensar su menor gasto cardíaco en comparación con los adultos para lograr un $\dot{V}O_2$ similar.

La Tabla 5 muestra los datos de un estudio que compara las respuestas al ciclismo y a la carrera en cinta en niños de 7 a 9 años frente a adultos de 18 a 26 años.

▼ Tabla 5

	Gasto cardíaco ($l \cdot min^{-1}$)		(AV)O ₂	
	Niño	Adulto	Niño	Adulto
Ciclo 60W 9.4 Correr 3mph		12.4	11.1	8.9
	6.7	12.3	8.7	8.4

Actividad 6

A partir de los datos proporcionados en la Tabla 5, utilice la ecuación de Fick para calcular el VO₂máx de niños y adultos cuando pedalean a 60 W.



Patrones y tendencias

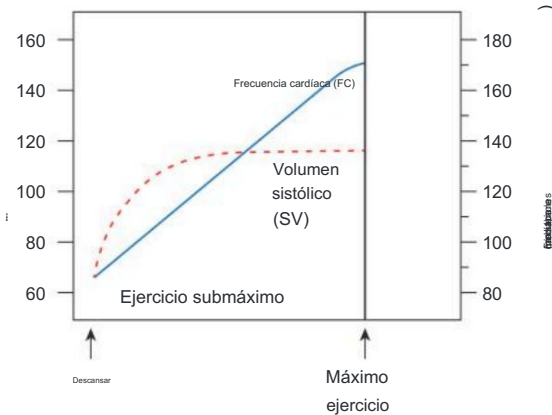
Desde la década de 1960, los atletas de África Oriental han dominado claramente las pruebas de resistencia, ostentando todos los récords mundiales masculinos en distancias que van desde los 3.000 m hasta el maratón, y también muchos de los récords mundiales femeninos en ese rango. Recientemente se ha investigado la genética en un intento de explicar por qué los atletas con orígenes en unas pocas tribus de Kenia y Etiopía han tenido tanto éxito. Curiosamente, parece que la genética puede desempeñar un papel, pero no explica adecuadamente el patrón. Explore qué otros factores geográficos, fisiológicos, de entrenamiento, psicosociales, económicos y culturales también podrían contribuir a su éxito.



▲ Figura 16

Pregunta de practica

El gráfico muestra los cambios en la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico a medida que aumenta la intensidad del ejercicio.



◀ Figura 17

¿Qué afirmación describe mejor el efecto sobre el gasto cardíaco cuando un individuo alcanza el ejercicio máximo?

(1 punto)

- A. El aumento del gasto cardíaco se debe únicamente al aumento de la actividad cerebral.
- B. El gasto cardíaco permanece sin cambios debido al aumento de la frecuencia cardíaca.
- C. El aumento del gasto cardíaco se debe únicamente al aumento de la frecuencia cardíaca.
- D. El gasto cardíaco permanece inalterado debido al volumen sistólico constante.

Resumen

- Los sistemas respiratorio y cardiovascular funcionan juntos para mantener la homeostasis durante el ejercicio.
- La ventilación funciona para garantizar que la sangre que sale de los pulmones esté oxigenada y tenga bajo contenido de dióxido de carbono. La respiración se produce mediante la contracción y relajación repetidas de los músculos alrededor de la cavidad torácica.
- Ningún factor controla por sí solo la respuesta de la ventilación, aunque el dióxido de carbono juega un papel importante.
- Los volúmenes pulmonares estáticos están más relacionados con el tamaño que con salud o condición física, aunque los volúmenes dinámicos son más funcionales y sensibles a la enfermedad.
- El intercambio de gases en los pulmones y los tejidos se produce por difusión desde una presión parcial más alta a una presión parcial más baja, a través de capilares delgados, alvéolos y paredes celulares.
- Durante el ejercicio, la ventilación aumenta aumentando la profundidad y frecuencia de la respiración.
- La sangre está compuesta por líquido (plasma) y células con diversas funciones, entre ellas el transporte. El oxígeno se une a la hemoglobina en los glóbulos rojos para su transporte.
- El sistema circulatorio está formado por una bomba (el corazón) y una serie de vasos sanguíneos, cuyo diámetro y apertura pueden ser controlados por el músculo liso de las paredes de los vasos y los esfínteres.
- El corazón contiene cuatro cámaras (dos aurículas y dos ventrículos), el lado izquierdo suministra sangre a la circulación sistémica y el lado derecho suministra sangre a la circulación pulmonar.
- Es necesario mantener la presión arterial para garantizar que el flujo sanguíneo sea lo suficientemente alto. Esto se logra mediante la constricción y relajación de las paredes de los vasos y los esfínteres. Durante el ejercicio, esto garantiza que se desvíe más sangre de otros órganos hacia el músculo.
- El flujo sanguíneo total (gasto cardíaco) aumenta proporcionalmente a la intensidad del ejercicio hasta un valor máximo. Esto se logra aumentando la frecuencia cardíaca y el volumen sistólico.

- Las diferencias de tamaño corporal, edad y sexo afectan la capacidad funcional del sistema cardiorrespiratorio de un individuo.
- El entrenamiento aumenta la capacidad funcional de un individuo. Los sistemas cardiorrespiratorios del individuo se ven afectados principalmente por aumentos en el volumen sistólico máximo, aunque también pueden contribuir otras adaptaciones periféricas.
- $\dot{V}O_{2\max}$ es la tasa máxima de consumo de oxígeno lograda durante el ejercicio aeróbico máximo.

Comprueba tu comprensión

Después de leer este capítulo, usted debería poder:

- describir la estructura y función del sistema respiratorio
- considerar la importancia relativa de los volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos
- explicar los procesos de intercambio y transporte de gases
- indicar la estructura y función de las células sanguíneas
- describir las estructuras y funciones de la sistema cardiovascular
- detallar las principales respuestas del sistema respiratorio y sistemas cardiovasculares durante el ejercicio, incluido cómo el entrenamiento afecta estas respuestas
- discutir la importancia de la presión arterial y redistribución del flujo sanguíneo
- identificar la edad, las diferencias de sexo, el tamaño corporal y el nivel de condición física como factores que afectan el sistema cardiovascular y sistemas respiratorios
- introducir la importancia funcional de la máxima consumo de oxígeno ($\dot{V}O_{2\max}$).

Preguntas de autoaprendizaje

- ¿Por qué un médico podría estar interesado en evaluar el $\dot{V}O_2$ en una prueba de esfuerzo?
- Describe el proceso de respiración y comenta cómo el ejercicio afecta este proceso.
- Inserte "superior" o "inferior" y "desde" o "hasta" en los lugares correctos en las siguientes afirmaciones.
 - La presión parcial de oxígeno es en la sangre arterial que irriga los músculos en ejercicio que en el tejido muscular.
Por lo tanto, el oxígeno se difundirá en la sangre en el músculo.
 - La presión parcial del dióxido de carbono es que en los pulmones (alvéolos) que en la sangre
regresa de los músculos en ejercicio. Por lo tanto, el dióxido de carbono se difundirá los pulmones
..... la sangre.
- ¿Cómo se llama el pigmento que fija el oxígeno para su transporte en la sangre? ¿Qué tipo de pigmento?
¿En qué célula sanguínea se encuentra?
- Dibuja y etiqueta las cuatro cámaras del corazón, incluidas las válvulas.
- Enumere los nombres de las células especializadas que se encuentran en el corazón que generan y luego transmiten la energía eléctrica.
señal que hace que el corazón se contraiga.
- Explique qué sucederá con los músculos lisos de las arteriolas y capilares en estado activo.
músculo, en comparación con el interior del riñón durante el ejercicio.
- Describe las respuestas de la frecuencia cardíaca, el volumen sistólico y, por tanto, el gasto cardíaco durante el ejercicio.
- Defina el $\dot{V}O_{2\max}$ y explique por qué se considera que tiene importancia funcional desde el punto de vista de la salud.
y perspectiva deportiva.
- ¿Cómo aumenta el entrenamiento aeróbico la capacidad funcional del sistema cardiorrespiratorio de un individuo?



Pregunta basada en datos

Trece niños (de 9 a 10 años) completaron dos pruebas para determinar su $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (l min^{-1}). La prueba de "rampa" implicó andar en bicicleta durante 3 minutos a 10 W y luego aumentar la carga de trabajo en 10 W por minuto. La prueba "supramáxima" comenzó con 2 minutos de ciclismo a 10 W y luego implicó andar en bicicleta al 105 % de la potencia.

la potencia máxima alcanzada durante la prueba de "rampa". Ambas pruebas se detuvieron cuando los niños experimentaron una caída de la cadencia por debajo de 60 rpm durante cinco segundos consecutivos, a pesar de que se les animó a mantener la carga de trabajo requerida. Sus respuestas fisiológicas (media (\pm DE)) se muestran en la Tabla 6.

▼ Tabla 6

Variable	Prueba de rampa	Prueba supramáxima
$\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (l min^{-1})	(0,284) 1,615 (0,307)	1,690
Frecuencia cardíaca máxima (latidos min^{-1})	202 (7) 196 (8) 1,11 (0,06)	1,07
Pico del índice de intercambio respiratorio (RER)	(0,13) 15,10 (4,82) 14,64 (4,51)	
Pico del gasto cardíaco (l min^{-1})		
Pico de extracción de oxígeno (ml min^{-1} por 100 ml)	12,61 (2,57)	12,28 (2,50)

1. Indique qué prueba dio como resultado:

- el pico de $\dot{V}O_2$ más alto (1 punto)
- la frecuencia cardíaca más alta (1 punto)
- el gasto cardíaco más bajo. (1 punto)

2. Distinguir entre las desviaciones estándar para:

- Pico del RER (2 puntos)
- pico de extracción de oxígeno. (2 puntos)
- Sugiera razones para las diferentes respuestas fisiológicas a las dos pruebas. (4 puntos)