

A.1.2 Mantenimiento de la homeostasis

Comprensiones del programa de estudios

A.1.2.1 La homeostasis es cualquier proceso biológico autorregulado que tiene como objetivo producir un ambiente interno relativamente estable y constante para el funcionamiento óptimo del organismo. En respuesta a condiciones internas y externas cambiantes, varios mecanismos trabajan constantemente para lograr la homeostasis.

un

A.1.2.2 El cuerpo tiene respuestas agudas y posiblemente de largo plazo al entorno en el que funciona.

Introducción

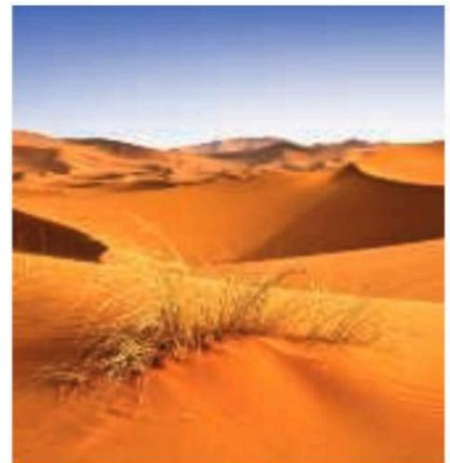
El fisiólogo francés Claude Bernard (1813-1878) sugirió que las células del cuerpo humano prosperan porque viven en la relativa constancia de "le milieu interieur", el ambiente interno del cuerpo. El funcionamiento de los sistemas orgánicos, tejidos y células del cuerpo y la integración de sus funciones para regular el ambiente interno del cuerpo es un proceso denominado homeostasis.

La homeostasis es el estado en el que el ambiente interno del cuerpo permanece relativamente constante, dentro de límites fisiológicos. Se produce debido al equilibrio continuo que el cuerpo realiza entre diversos procesos reguladores. Es un estado dinámico.

Los entornos desafiantes, como el calor y la humedad, el frío y las grandes altitudes, pueden afectar al cuerpo durante la práctica de deportes, el ejercicio y la actividad física. Las temperaturas extremas pueden perjudicar el rendimiento, aumentar el riesgo de sufrir enfermedades por calor o lesiones por frío e incluso plantear situaciones potencialmente mortales. Este capítulo mejorará su comprensión de la homeostasis, la fisiología ambiental y su impacto en los deportes, el ejercicio y la salud.



▲ Figura 1



▲ Figura 2

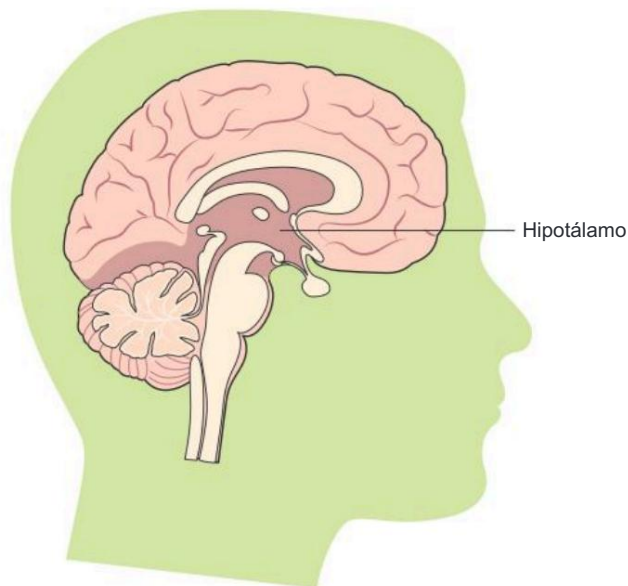
Homeostasis

Para entender la homeostasis, necesitamos estudiar cómo funciona el cuerpo y se adapta a los factores estresantes, incluida la actividad física y los ambientes fríos, cálidos y húmedos.

Los factores estresantes pueden ser internos (dentro del cuerpo, como un nivel bajo de glucosa en sangre) o externos (fuera del cuerpo, como un calor intenso o la falta de oxígeno). Un entorno interno relativamente estable y constante es esencial para mantener condiciones óptimas para el rendimiento y el funcionamiento seguro del cuerpo.

El hipotálamo es una parte del cerebro ubicada dentro del diencefalo (Figura 3). Es responsable de mantener la homeostasis regulando la mayoría de los procesos que afectan el entorno interno del cuerpo, entre ellos:

- presión arterial
- frecuencia cardíaca
- fuerza de contracción del tejido muscular cardíaco
- respiración
- digestión
- temperatura corporal
- sed y equilibrio de líquidos
- interacción del sistema nervioso y el sistema endocrino
- apetito y ingesta de alimentos
- ciclos sueño-vigilia.



▲ Figura 3 El hipotálamo

Control de la homeostasis mediante mecanismos de retroalimentación Durante la actividad física y la exposición a ambientes extremos (por ejemplo, participar en el calor de una maratón en el desierto o nadar en aguas frías), el cuerpo debe realizar muchos ajustes fisiológicos rápidos y bien coordinados. El cuerpo puede necesitar:

- aumentar el metabolismo para satisfacer las demandas energéticas
- ajustar las respuestas cardiovasculares y respiratorias para garantizar un suministro de oxígeno (O_2)
- eliminar subproductos metabólicos (como el dióxido de carbono [CO_2])
- regular la temperatura corporal para prevenir la hipertermia/hipotermia.

Esta regulación e integración fisiológica la llevan a cabo el sistema nervioso y el sistema endocrino. El sistema nervioso regula la homeostasis enviando mensajes nerviosos a los órganos. El sistema endocrino tiene glándulas que secretan hormonas (mensajes químicos) en la sangre. Los mensajes nerviosos suelen provocar cambios rápidos, mientras que las hormonas suelen actuar más lentamente.

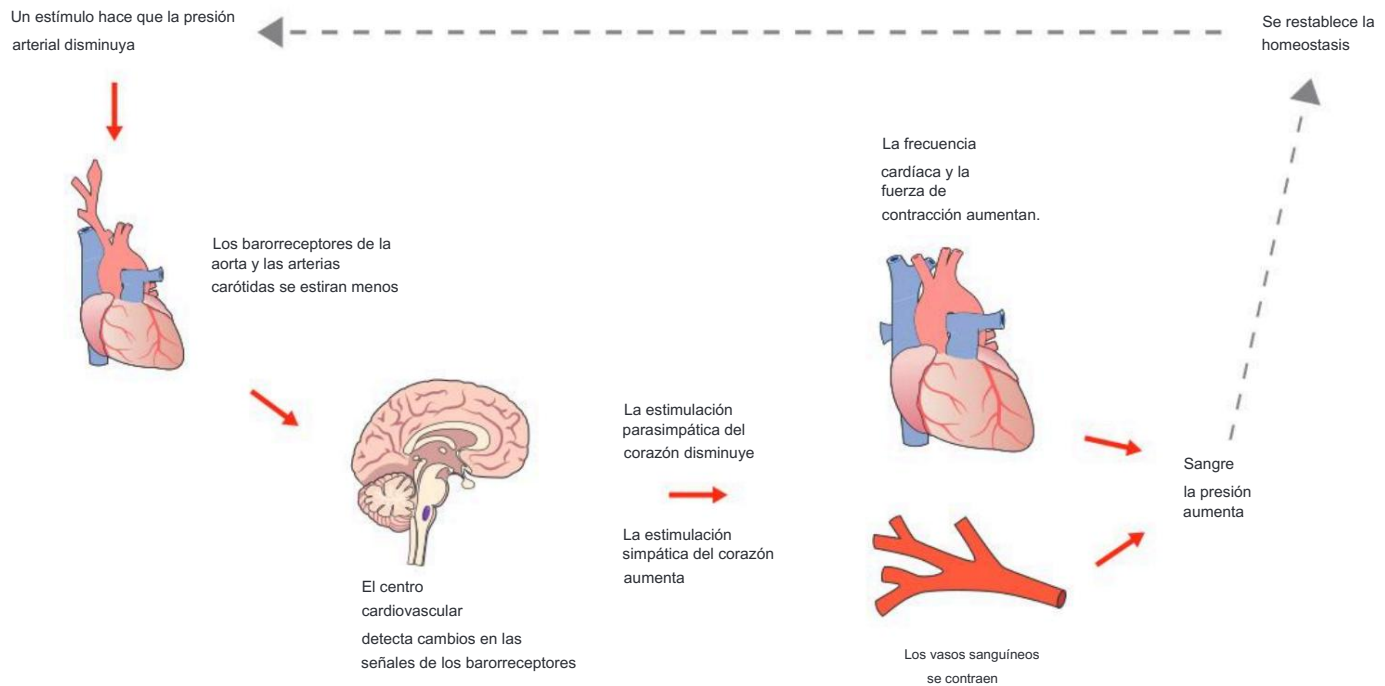
El cuerpo regula su entorno interno utilizando mecanismos de retroalimentación para monitorear variables como la temperatura corporal o el nivel de glucosa en sangre.

Los tres componentes básicos que forman un mecanismo de retroalimentación son:

- un receptor (como las terminaciones nerviosas de la piel que detectan la temperatura),
- un centro de control (como el hipotálamo), un efector
- (como temblar si la temperatura corporal baja bruscamente).

Puede haber mecanismos de retroalimentación negativa para revertir los efectos del estímulo y mecanismos de retroalimentación positiva para mejorar o intensificar el estímulo.

La homeostasis generalmente se mantiene mediante mecanismos de retroalimentación negativa, como la regulación por retroalimentación negativa de la presión arterial (Figura 4).



▲ Figura 4 Regulación de la presión arterial por retroalimentación negativa a través de barorreceptores

Regulación del pH sanguíneo

El pH de la sangre es un componente importante de la homeostasis. El rango normal de pH de la sangre arterial es de 7,35 a 7,45 (ligeramente alcalino). El CO₂ producido por el metabolismo celular se transporta en la sangre a los pulmones y se expulsa. Un aumento en la concentración de CO₂ en la sangre puede provocar un aumento en la concentración de iones de hidrógeno (H⁺). Esto puede reducir el pH de la sangre y hacerla más ácida, lo que puede tener efectos nocivos en los tejidos y órganos del cuerpo.

Para mantener la homeostasis, el centro de control respiratorio del cerebro y los quimiorreceptores de todo el cuerpo controlan el pH de la sangre y la concentración de CO₂. Si el pH de la sangre desciende por debajo del rango normal (se vuelve más ácido), el centro de control respiratorio aumenta la frecuencia y la profundidad de la respiración.

Esto aumenta la eliminación de CO₂ de los pulmones y ayuda a restablecer el pH normal de la sangre. Este es un ejemplo de un mecanismo de retroalimentación negativa.

Regulación del corazón A diferencia de otras

contracciones musculares del cuerpo, el ciclo cardíaco no requiere una estimulación nerviosa para hacer que el músculo cardíaco se contraiga. La regulación del corazón implica tanto la excitación intrínseca como la extrínseca.

La excitación se refiere a la actividad eléctrica que se origina dentro del propio corazón, mientras que la excitación extrínseca se refiere a las señales que provienen de fuera del corazón, como de los sistemas nervioso y hormonal.

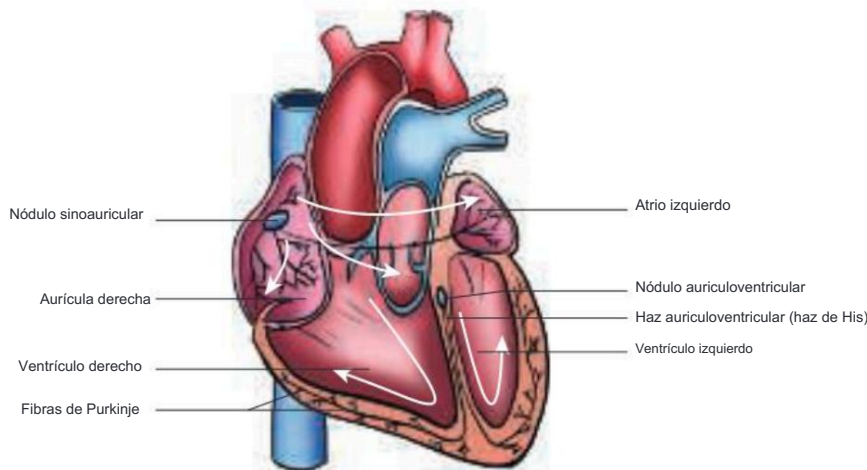
Excitación intrínseca del corazón

La excitación intrínseca del corazón está controlada por el nódulo sinoauricular (SA), a veces denominado el marcapasos natural del corazón. El nódulo SA es un grupo especializado de células que se encuentra en la pared de la aurícula derecha. El nódulo SA genera impulsos eléctricos que hacen que se contraiga y bombee sangre. La velocidad a la que el nódulo SA emite impulsos eléctricos está influida por varios factores, incluidos el nivel de O₂ y CO₂ en la sangre y las hormonas (como la epinefrina y la norepinefrina de la glándula suprarrenal).

El nódulo SA envía un impulso a través de las paredes de las aurículas (izquierda y derecha) a un segundo grupo de células especializadas llamado nódulo auriculoventricular (AV) (Figura 5). Esta conducción rápida del impulso hace que los músculos de las paredes de las aurículas se contraigan simultáneamente, lo que aumenta la presión en las aurículas y obliga a la sangre a pasar de las aurículas a los ventrículos a través de las válvulas AV. A continuación, las válvulas AV se cierran.

Tras un breve retraso, el impulso se transmite rápidamente a través de un haz de células especializadas llamado haz de His. Estas células transmiten rápidamente el impulso a lo largo de las fibras de Purkinje, que conducen el impulso a lo largo de las paredes del ventrículo. Este impulso hace que las fibras de las paredes del ventrículo se contraigan simultáneamente, lo que aumenta la presión ventricular e impulsa la sangre hacia arriba y hacia afuera a través de las arterias principales que salen del corazón.

Las válvulas semilunares en las aberturas de la aorta y la arteria pulmonar ahora se cierran y, a medida que los ventrículos se relajan, el ciclo comienza de nuevo con las aurículas llenándose con sangre que regresa al corazón, activado por el anillo del nódulo SA.



▲ Figura 5 Excitación del corazón

Excitación extrínseca del corazón

La excitación extrínseca del corazón está controlada por el sistema nervioso autónomo, que puede acelerar o desacelerar la frecuencia cardíaca del marcapasos natural ajustando las contribuciones relativas de las ramas simpática y parasimpática, respectivamente. El sistema nervioso simpático es responsable de aumentar la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción, mientras que el sistema nervioso parasimpático es responsable de desacelerar la frecuencia cardíaca y disminuir la fuerza de contracción. Por ejemplo, el sistema nervioso simpático libera la hormona epinefrina, que hace que las células cardíacas se contraigan con más fuerza y más frecuencia, lo que aumenta tanto la frecuencia cardíaca como la fuerza de contracción.

Término clave

Glucógeno La forma de almacenamiento de la glucosa.

gasto cardíaco. Por el contrario, la estimulación del sistema nervioso parasimpático puede provocar la liberación de acetilcolina (una hormona), que reduce la frecuencia cardíaca del ánodo SA, lo que reduce la fuerza de contracción y provoca una disminución tanto de la frecuencia cardíaca como del gasto cardíaco. Consulte el capítulo A.1.1 para obtener más información sobre el papel del sistema nervioso en el control de la frecuencia cardíaca.

Este control involuntario es un ejemplo de sistemas que responden a una variedad de estímulos para intentar mantener la homeostasis, aumentando o disminuyendo la liberación de sustancias químicas específicas llamadas neurotransmisores. Por ejemplo, cuando comienza el ejercicio, se reduce la estimulación parasimpática (esto normalmente mantiene baja la frecuencia cardíaca) y aumenta la estimulación simpática, lo que da como resultado un aumento de la frecuencia cardíaca.

dades de pensamiento

El centro cardiovascular, ubicado en el tronco encefálico, recibe información de la corteza cerebral, que procesa señales sensoriales, motoras e integradoras.

Los receptores sensoriales reciben mensajes a través de:

- propioceptores (monitorización de movimientos)
- quimiorreceptores (monitorización de la química sanguínea)
- barorreceptores (monitorización de la presión arterial).

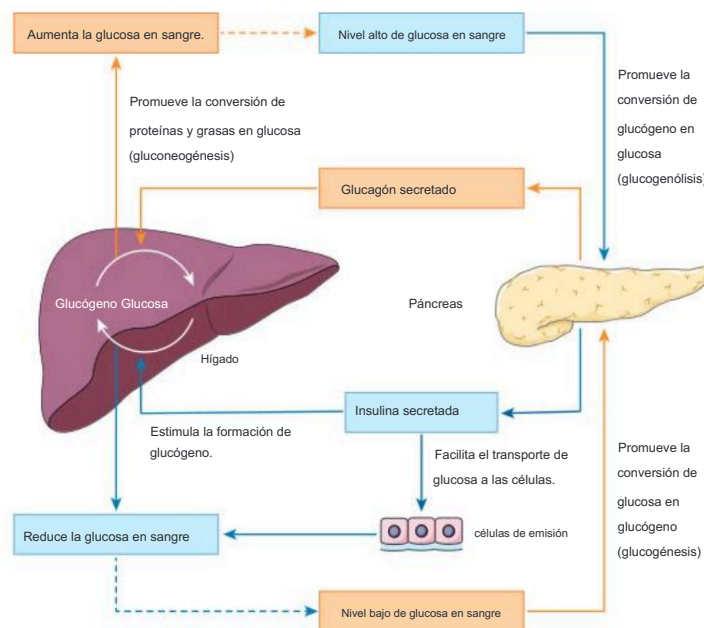
Las áreas motoras de la corteza cerebral inician los movimientos y las funciones integradoras incluyen la memoria, las emociones y los rasgos de personalidad.

El centro cardiovascular dirige entonces lo que sucede aumentando o disminuyendo la frecuencia de los mensajes.

(impulsos nerviosos) en las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo. No es inusual que haya un aumento anticipatorio de la frecuencia cardíaca antes de comenzar el ejercicio; esto sucede porque el sistema límbico (parte del cerebro relacionada con aspectos de la emoción y la conducta) envía mensajes al centro cardiovascular.

Luego, cuando comienza la actividad física, los propioceptores (que controlan la posición de las extremidades y los músculos) envían una mayor frecuencia de mensajes al centro cardiovascular para aumentar la frecuencia cardíaca.

La división simpática conduce a un aumento de la frecuencia cardíaca y del volumen sistólico.



▲ Figura 6 Regulación de la glucosa en sangre por el glucagón y la insulina

Regulación de la glucosa en sangre

El páncreas secreta las hormonas insulina y glucagón para controlar la concentración de glucosa en sangre.

Cuando la glucosa en sangre es elevada, el páncreas secreta insulina en la sangre. La insulina facilita

El transporte de glucosa a las células, especialmente a las fibras musculares, reduce la cantidad de glucosa en la sangre. Cuando la glucosa en sangre cae por debajo de las concentraciones normales, el páncreas secreta glucagón.

El glucagón promueve la glucogenólisis (descomposición del glucógeno hepático en glucosa) y la gluconeogénesis (conversión de proteínas o grasas en glucosa).

Durante el ejercicio (que dura ≥ 30 minutos), el cuerpo intenta mantener las concentraciones plasmáticas de glucosa, pero las concentraciones de insulina tienden a disminuir. La capacidad de la insulina para unirse a sus receptores en las células musculares aumenta durante el ejercicio, lo que aumenta la sensibilidad del cuerpo a la insulina (y reduce la necesidad de mantener altas concentraciones plasmáticas de insulina para transportar la glucosa a las células musculares).

El ejercicio regular mejora la sensibilidad a la insulina, lo que significa que el cuerpo necesita menos insulina para transportar la glucosa a las células (y reducir los niveles de glucosa en sangre). Esto se debe a que el ejercicio promueve la absorción de glucosa por las células musculares, lo que reduce la cantidad de glucosa que circula en el torrente sanguíneo y reduce la resistencia a la insulina. La resistencia a la insulina es una afección en la que las células del cuerpo (incluidas las células musculares) se vuelven menos sensibles a la insulina, lo que puede provocar niveles elevados de azúcar en sangre, lo que puede causar problemas de salud graves (como la diabetes tipo 2). La resistencia a la insulina hace que el páncreas produzca más insulina para regular los niveles de azúcar en sangre y, con el tiempo, el cuerpo se vuelve menos sensible a la insulina. Los factores que pueden contribuir a la resistencia a la insulina incluyen un estilo de vida sedentario y una dieta rica en alimentos procesados. Por lo tanto, es importante realizar actividad física, hacer ejercicio con regularidad y llevar una dieta saludable porque esto puede mejorar la sensibilidad a la insulina, mientras que un estilo de vida sedentario y una dieta rica en alimentos procesados y azucarados pueden disminuir la sensibilidad a la insulina.



▲ Figura 7 El ejercicio limita la liberación de insulina y mejora la sensibilidad a la insulina.



Pregunta de enlace

¿Cómo interactúa el sistema endocrino con los sistemas energéticos para mantener niveles adecuados de glucosa en sangre? (A.2.2 y A.2.3)

Considerar:

- La insulina ayuda a reducir los niveles de glucosa en sangre al estimular la absorción de La glucosa de la sangre a las células del cuerpo, donde puede utilizarse como fuente de energía.
- cuando los niveles de glucosa en sangre son altos (por ejemplo, después de una comida)
El páncreas libera insulina en el torrente sanguíneo.
- la insulina envía señales al hígado y a las células musculares para que absorban glucosa y la conviertan en glucógeno para su almacenamiento, y estimula el tejido adiposo para que absorba glucosa y la almacene como grasa.
- cuando los niveles de glucosa en sangre son bajos (por ejemplo, durante el ejercicio)
El páncreas libera glucagón
- El glucagón envía señales al hígado para que descomponga el glucógeno y libere glucosa.
en el torrente sanguíneo, elevando los niveles de glucosa en sangre
- el sistema endocrino y los sistemas energéticos trabajan juntos para mantener niveles adecuados de glucosa en sangre mediante el uso de hormonas para regular el metabolismo de la glucosa en el cuerpo.

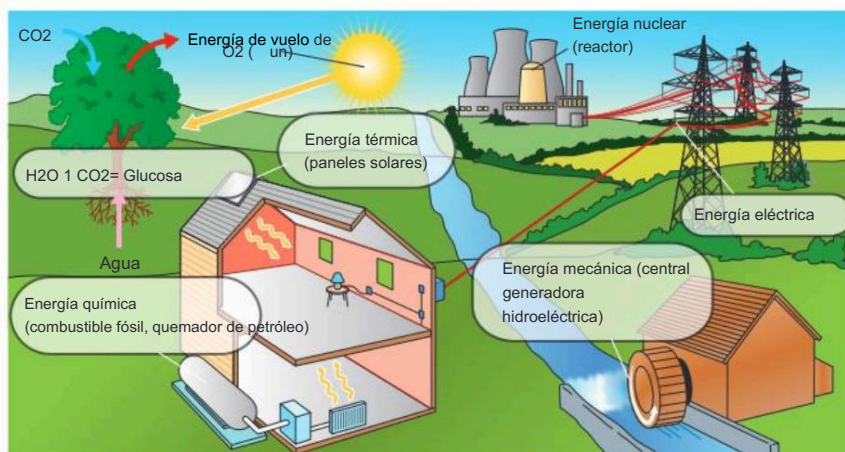
Regulación de la temperatura corporal

La termorregulación (regulación de la temperatura corporal) depende del trabajo conjunto de los sistemas cardiovascular, muscular, nervioso e tegumentario para mantener una temperatura corporal central de $37 \pm 1^\circ\text{C}$.

La producción de calor en el cuerpo humano Toda la energía proviene del Sol en

forma de energía luminosa (Figura 8). Las reacciones químicas en las plantas convierten la luz en energía química almacenada. A su vez, obtenemos energía al comer plantas o animales que se alimentan de plantas. La energía se almacena en los alimentos en forma de carbohidratos, grasas y proteínas, y utilizamos esta energía para la contracción muscular. Los alimentos están compuestos principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La energía de los enlaces de las moléculas de los alimentos se libera químicamente dentro de nuestras células. Esta energía luego se almacena en forma de trifosfato de adenosina (ATP), un compuesto de alta energía para almacenar y conservar energía para que los músculos se contraigan.

y proporcionan movimiento. La contracción muscular tiene una eficiencia de alrededor del 20%, y alrededor del 80% de esta energía se libera en forma de calor que debe eliminarse del cuerpo para evitar el almacenamiento de calor y un aumento excesivo de la temperatura corporal. Para que se produzca la pérdida de calor, el exceso de calor debe transportarse desde el núcleo del cuerpo hasta la piel, donde el calor puede perderse al medio ambiente.



Interconversiones de formas de energía

Libertades de pensamiento

Término clave

Trifosfato de adenosina (ATP)

Una molécula que proporciona energía para la contracción muscular cuando se divide.

La energía de los alimentos se almacena en forma de ATP. La descomposición del ATP proporciona energía para la contracción muscular. La energía se puede medir en kilocalorías (kcal). Una kcal es la cantidad de energía térmica necesaria para elevar 1 °C la temperatura de 1 kg de agua a 15 °C.

Los carbohidratos y las proteínas aportan cada uno aproximadamente 4,1 kcal de energía por gramo. La grasa aporta unas 9 kcal por gramo. Cuando la energía se convierte en calor durante el ejercicio, esta producción de calor se puede medir en vatios (W), donde 1 W equivale a 1 julio por segundo. En los adultos, esta producción puede oscilar entre unos 70 W en reposo y más de 1.000 W durante un ejercicio intenso.

En el tejido muscular existen reservas limitadas de ATP. Una persona promedio solo tendrá entre 40 y 50 g en total, lo que es suficiente para permitir una actividad de alta intensidad durante unos 2 a 4 segundos. De ahí la importancia de la resíntesis de ATP (consulte el capítulo A.3.3).

Rango fisiológico normal de temperatura central Los seres humanos pueden mantener una

temperatura corporal central (TC) razonablemente constante a lo largo de sus vidas a pesar de un amplio rango de temperaturas ambientales.

Los métodos comunes utilizados para medir el TC durante la prueba de esfuerzo incluyen:

- Un termómetro básico de mercurio (que se coloca en la boca para medir la temperatura oral).
- Un termistor de oído (mide la temperatura de la membrana timpánica)
- el uso de una sonda rectal (considerado uno de los métodos más precisos)
- una pastilla de radio gastrointestinal (cara; se traga una pastilla pequeña de un solo uso que emite una señal de radio).

La temperatura corporal (TC) es la temperatura en las profundidades del cuerpo. La temperatura de la concha es la temperatura cerca de la superficie del cuerpo (alrededor de la piel). Dependiendo de las condiciones ambientales

La temperatura de la concha es entre 1 y 6 °C más baja que la temperatura corporal. Detectamos que nuestro cuerpo está bajo estrés térmico con la ayuda de sensores de temperatura ubicados en todo el cuerpo, como la piel. El hipotálamo, en el cerebro, es el centro de control que funciona como termostato del cuerpo.



Actividad 1

¿Por qué no existe una única temperatura corporal central verdadera?

Al pensar en esto, considere lo siguiente:

- producción de calor en los músculos de diferentes partes del cuerpo
- flujo sanguíneo
- diferencia de temperatura entre el interior del cuerpo y cerca de la superficie del cuerpo • la temperatura del músculo esquelético inactivo está entre 33 °C y 35 °C.



Actividad 2

1. Indique la temperatura corporal central normal.
2. En reposo, ¿cómo ayuda la diferencia entre la temperatura corporal central y la temperatura del músculo esquelético a transferir calor?
3. ¿Cuándo se produce la transferencia de calor? ¿Flujo de gradiente desde el cuerpo?

Tasa metabólica y calor corporal

La producción de calor corporal es proporcional a la tasa metabólica. Existen varios factores que pueden afectarla, como:

- ejercicio (aumenta la tasa metabólica)
- hormonas (por ejemplo, las hormonas tiroideas aumentan la tasa metabólica basal)
- sistema nervioso (por ejemplo, durante el ejercicio, la actividad del sistema nervioso simpático aumenta la tasa metabólica)
- temperatura corporal (una temperatura corporal más alta aumenta la tasa metabólica) • ingestión de alimentos (se utiliza energía para digerir, absorber y almacenar nutrientes, lo que aumenta la tasa metabólica)
- edad (los niños tienen una tasa metabólica más alta en comparación con los adultos)
- diferencias de sexo (la tasa metabólica es menor en las mujeres biológicas, excepto durante el embarazo).

Transferencia de calor

Para mantener una temperatura corporal normal es necesario que exista un equilibrio entre la producción de calor y la pérdida de calor hacia el medio ambiente. El calor puede transferirse fuera del cuerpo por conducción, convección, radiación y evaporación.

La temperatura corporal refleja un delicado equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. Cuando empezamos a hacer ejercicio, aumenta la producción de calor en los músculos esqueléticos. En otras palabras, la temperatura de los músculos esqueléticos aumenta. A veces se produce un desequilibrio (por ejemplo, una producción excesiva de calor y una pérdida insuficiente de calor) que provoca una afección médica denominada hipertermia.

El estrés térmico ambiental aumenta la necesidad de transpiración y de respuestas circulatorias para eliminar el calor corporal. El calor de las partes más profundas del cuerpo (el núcleo) se traslada a través de la sangre hasta la piel y se transfiere al medio ambiente mediante cualquiera de cuatro mecanismos.

Conducción

El calor generado en lo profundo del cuerpo puede transmitirse a través del tejido a la superficie del cuerpo y a la ropa o al aire (o agua) que está en contacto directo con él.

Punto clave

En condiciones normales de reposo en un ambiente templado, la temperatura corporal suele estar dentro de $\pm 1,0$ °C de la temperatura corporal central promedio (37,0 °C).

Término clave

Hipertermia Temperatura corporal elevada, generalmente superior a 39 °C (102 °F).

La piel. La tasa de pérdida de calor por conducción depende del gradiente de temperatura entre la piel y las superficies circundantes. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones cálidas y húmedas, la conducción representa menos del 2% de la pérdida de calor.

Convección

La convección implica trasladar el calor de un lugar a otro mediante el movimiento del aire (o del agua). Por ejemplo, la sangre transfiere calor por convección desde los tejidos corporales profundos hasta la piel. Si el movimiento del aire es mínimo, el aire que está junto a la piel se calienta y la pérdida de calor se ralentiza. Por el contrario, si el aire más frío reemplaza continuamente al aire más cálido alrededor del cuerpo, como en un día ventoso, la pérdida de calor aumenta.

Radiación

La radiación es la transferencia de ondas de energía que se emiten desde un objeto y que otro absorbe. Por ejemplo, la energía solar de la luz solar directa puede reflejarse en la nieve, la arena o el agua para ayudar a calentar a una persona. El cuerpo absorbe la energía térmica radiante cuando la temperatura del entorno es superior a la temperatura de la piel.

Evaporación A

medida que aumenta la temperatura ambiental, la conducción, la convección y la radiación disminuyen su eficacia para contribuir a la pérdida de calor corporal. Cuando esto sucede, el enfriamiento por evaporación (conversión del sudor de líquido a vapor de agua) es la principal forma en que el cuerpo pierde calor durante el ejercicio.

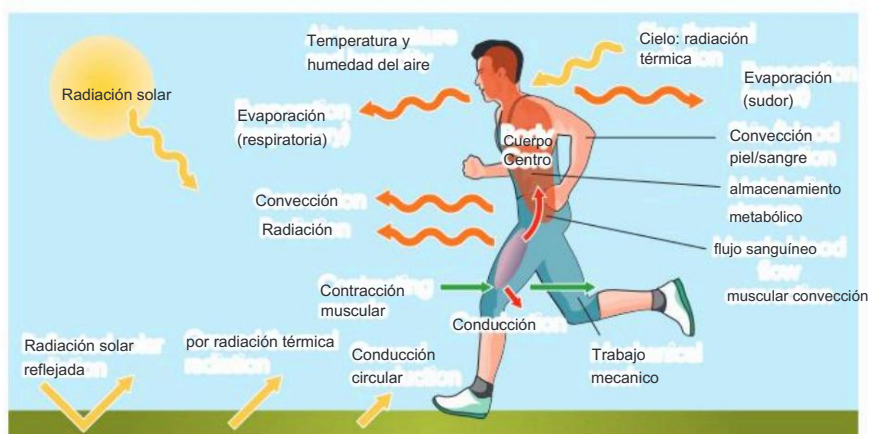
Punto clave

La evaporación del sudor es potencialmente el mecanismo más importante de disipación de calor, dependiendo de la humedad relativa del ambiente.

Punto clave

Cuando el medio ambiente
Si la temperatura es superior a la temperatura de la piel, el intercambio de calor por evaporación representará casi toda la pérdida de calor.

Existen varios mecanismos termorreguladores mediante los cuales los seres humanos intentan mantener una temperatura corporal central relativamente constante. Por ejemplo, la termogénesis sin escalofríos es un proceso mediante el cual el cuerpo genera calor en respuesta a la exposición a temperaturas frías sin escalofríos. En la termogénesis sin escalofríos, el sistema nervioso simpático estimula un aumento del metabolismo, y el aumento de la tasa metabólica aumenta la producción de calor. Además, cuando el tejido muscular se contrae, produce calor. En ambientes fríos, las contracciones involuntarias del músculo esquelético, conocidas como escalofríos, pueden aumentar considerablemente la tasa de producción de calor. Por ejemplo, durante el escalofrío máximo, la producción de calor corporal puede aumentar hasta aproximadamente cuatro veces la tasa basal.



▲ Figura 9 Las posibles vías de intercambio de calor durante el ejercicio

El agua que se evapora de las vías respiratorias y de la superficie de la piel (lo que se conoce como pérdida insensible de agua) transfiere continuamente calor del cuerpo al medio ambiente (580 kcal de calor por cada litro de agua vaporizada). Esto representa aproximadamente el 80% de la pérdida total de calor cuando se realiza actividad física, pero solo alrededor del 20% de la pérdida de calor corporal en reposo.

Reflexiones de pensamiento

Un artículo de 2012 que invita a la reflexión sugirió que las personas en forma son las que tienen mayor riesgo de desarrollar hipertermia durante el ejercicio intenso. Esto se debe a que, durante el ejercicio a su propio ritmo, las personas no en forma no alcanzan temperaturas centrales más altas que las personas en forma. Un artículo de 2013 no estuvo de acuerdo y sostuvo que la aptitud aeróbica mejora la capacidad de tolerar altas temperaturas corporales.

¿Qué opinas y por qué?

La superficie del cuerpo contiene entre dos y cuatro millones de glándulas sudoríparas. La producción de sudor en una zona de la piel depende de:

- la densidad (el número de glándulas sudoríparas por cm² de superficie de la piel)
- la cantidad de sudor por glándula.

En la mayoría de las personas, la espalda y el pecho son las zonas con mayor índice de sudoración. Las extremidades presentan índices de sudoración relativamente altos solo después de un aumento sustancial de la temperatura central.

La producción de calor aumenta casi inmediatamente al comienzo del ejercicio, lo que hace que la temperatura corporal aumente. El aumento de la sudoración durante el ejercicio refleja este aumento de la temperatura corporal. Sin embargo, la sudoración no es 100% eficiente porque parte del sudor puede gotear del cuerpo y no evaporarse.

La máxima pérdida de calor por evaporación del cuerpo se produce cuando el sudor se vaporiza desde la piel. El sudor que gotea de la piel o se seca con una toalla no proporciona ningún enfriamiento por evaporación. La evaporación del sudor también se ve influida por la cantidad de humedad en el aire. Por ejemplo, el aire seco recibe fácilmente el sudor vaporizado, mientras que el aire húmedo recibe poco sudor evaporado porque ya está muy cargado de humedad. La humedad relativa proporciona un índice de la cantidad de agua en el aire y representa el factor más importante para determinar la eficacia de la pérdida de calor por evaporación.

Diferencias sexuales y termorregulación Las diferencias

sexuales afectan las respuestas termorreguladoras. Los machos biológicos suelen tener una mayor tasa de sudoración que las hembras biológicas, lo que puede ayudar a disipar el calor de manera más eficiente.

Las mujeres biológicas suelen tener una masa corporal menor y una relación superficie-masa mayor que los hombres biológicos. Por lo tanto, cuando se comparan atletas con capacidad aeróbica y rendimiento en carrera similares, la diferencia de sexo en la relación superficie-masa puede ser una ventaja termorreguladora para las atletas femeninas en eventos de resistencia. Sin embargo, tener una relación superficie-masa mayor no es una ventaja termorreguladora en todos los entornos. Por ejemplo, al realizar ejercicio en condiciones calurosas y secas con una temperatura del aire superior a la temperatura de la piel, los atletas con una relación superficie-masa corporal mayor ganarán calor más rápido (en igualdad de condiciones).

Además, como se analiza en el capítulo A.1.1, las fluctuaciones hormonales del ciclo menstrual en una mujer que menstrúa pueden afectar la termorregulación. Los niveles de la hormona progesterona alcanzan su punto máximo durante la fase lútea después de la ovulación (consulte el capítulo A.3.1 para ver un diagrama que muestra un patrón teórico de los niveles hormonales durante el ciclo menstrual). Los niveles elevados de progesterona durante

Punto clave

El sistema respiratorio desempeña un papel importante en el intercambio de calor por conducción, convección y evaporación. A medida que se inhala aire, el tracto respiratorio lo calienta y lo humedece. Incluso el aire por debajo de 0 °C se acerca a la temperatura corporal cuando llega a los alvéolos.

Punto clave

La deshidratación es una preocupación importante cuando se pierde líquido corporal debido al aumento de la sudoración en el calor.

Actividad 3

Las mujeres biológicamente producen menos sudor por glándula. ¿Esto sería una ventaja o una desventaja al hacer ejercicio en:

- ambientes cálidos y secos, o
- ¿ Ambientes cálidos y húmedos?

La fase lútea se asocia con un retraso en el inicio de la sudoración y una disminución del flujo sanguíneo en la piel. Hay un pequeño aumento en las temperaturas corporales internas después del ejercicio aeróbico en el calor en la fase lútea del ciclo menstrual en comparación con la fase folicular, pero esto no debería afectar el rendimiento hasta que la temperatura central se acerque a alrededor de 40 °C. Sin embargo, se acepta que se necesita más investigación para explicar las diferencias termorreguladoras basadas en la fluctuación de las hormonas sexuales a lo largo del ciclo menstrual.



Experimentos

La mayoría de las investigaciones que han examinado la termorregulación humana y las respuestas al ejercicio en condiciones de calor se han llevado a cabo con varones biológicos. En la pequeña proporción de investigaciones que incluyeron mujeres biológicas, la fase del ciclo menstrual a menudo se limitaba a la fase folicular temprana. ¿Por qué?



Estudios de investigación

El Marathon des Sables es un ultramaratón de unos 250 km de longitud que se celebra cada año en el desierto del Sahara, en Marruecos. Los organizadores del evento se comprometen a respetar el entorno en el que se desarrolla, promoviendo el mensaje: "La Tierra no nos pertenece, es la herencia que dejamos a nuestros hijos".

Las iniciativas de los organizadores para proteger el medio ambiente, denominadas Operación Desierto Limpio, incluye:

- numerar las botellas de agua, con penalización para quien no lo haga abandona una botella durante la carrera
- instalar baños todos los días y mantenerlos utilizando materiales biodegradables. productos
- proporcionar ceniceros de bolsillo para evitar tirar colillas de cigarrillos
- utilizando un incinerador para eliminar los residuos.

Identifique un evento deportivo que se esté llevando a cabo al aire libre en su propio país. Trate de averiguar cómo los participantes y los organizadores protegen el medio ambiente y "el legado que le dejamos a nuestros hijos".

Punto clave

Con la globalización de los eventos deportivos, el turismo de aventura, la exploración petrolera en el Ártico, los viajes espaciales, etc., los factores de estrés ambientales son más que simplemente la variación diaria del clima local.

Yanovich et al. (2020) evaluaron si la fase del ciclo menstrual en mujeres jóvenes era un contribuyente importante para ser clasificadas como tolerantes o intolerantes al calor durante una prueba de tolerancia al calor. No encontraron diferencias entre las fases folicular y lútea en términos de si los individuos caían en las categorías de tolerantes o intolerantes al calor. El predictor más fuerte para completar con éxito la prueba de tolerancia al calor fue la captación máxima de oxígeno, es decir, los individuos más en forma (con valores más altos de captación máxima de oxígeno) tienen una mejor disipación del calor fisiológico (sudoración y flujo sanguíneo en la piel) en comparación con los individuos menos en forma. Es importante destacar que no hay evidencia de que las mujeres corran un mayor riesgo de sufrir enfermedades por calor cuando se aplican las técnicas habituales de gestión de riesgos. Los roles de las hormonas sexuales y reproductivas en la termorregulación y el rendimiento son complejos y dependen de las particularidades de una situación determinada, incluida la intensidad del ejercicio y las condiciones ambientales.

Respuestas y adaptaciones al medio ambiente

Regulación de temperatura

La globalización y la popularidad del turismo de aventura han propiciado un aumento de la participación en actividades en entornos extremos, y cada vez más personas participan en deportes extremos y eventos de ultraresistencia en todo el mundo. Si bien el rendimiento es el principal interés de los atletas, la seguridad es importante a la hora de planificar programas de entrenamiento, eventos como el Marathon des Sables y políticas para el deporte y el ejercicio. Por lo tanto, es importante comprender cómo el cuerpo regula su temperatura en respuesta a su entorno.

Las adaptaciones son los intentos del cuerpo de contrarrestar los factores estresantes (como el calor, la humedad y el frío) y mantener la homeostasis. Existen al menos 31 zonas climáticas en todo el mundo, que varían desde condiciones de congelación durante todo el año hasta temperaturas diarias cálidas de alrededor de 45 °C. Cada zona está habitada por personas que se han aclimatado para adaptarse a las condiciones ambientales. La aclimatación es una adaptación natural, por ejemplo, para mejorar el rendimiento deportivo y la tolerancia al calor en un clima cálido. La aclimatación es la aclimatación en un entorno artificial (por ejemplo, una cámara ambiental).

Ambientes cálidos

Aclimatación al calor

La aclimatación al calor requiere ejercicio en un ambiente caluroso, no solo exposición al calor, y generalmente requiere de 10 a 14 días. Produce una mejor adecuación de la sed a las necesidades de agua del cuerpo y un aumento del agua corporal total (hasta en un 5%).

El tiempo total de exposición al calor y al ejercicio cada día debe ser de entre 90 y 100 minutos. Sin embargo, debe alcanzar este valor gradualmente, aumentando la duración y la intensidad. Los signos importantes de aclimatación al calor durante el ejercicio submáximo en el calor son una frecuencia cardíaca y una temperatura central más bajas y una mayor tasa de sudoración.

El ejercicio submáximo se refiere a la intensidad de una sesión de ejercicio y significa hacer ejercicio por debajo del esfuerzo máximo. Con la aclimatación, puedes mantener el ejercicio submáximo durante períodos de tiempo más prolongados.

Por ejemplo, la clasificación de la intensidad del ejercicio podría basarse en un porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima ($FC_{\text{máx}}$), como:

- 35–59% de $FC_{\text{máx}}$ = intensidad de ejercicio ligera (submáxima ligera) • 60–79%
- de $FC_{\text{máx}}$ = intensidad de ejercicio moderada (submáxima moderada) • 80–89% de $FC_{\text{máx}}$ =
- intensidad de ejercicio intensa (submáxima intensa).

Las adaptaciones crónicas al ejercicio que pueden mejorar el rendimiento en el calor incluyen:

- aumento del volumen plasmático
- aparición más temprana de sudoración (y a una temperatura central más baja)
- una composición del sudor más diluida (pérdida de electrolitos reducida)
- tasa reducida de uso de glucógeno muscular
- disminución de la percepción psicológica del esfuerzo.

Punto clave

El estrés por calor depende de las condiciones ambientales (temperatura ambiente y humedad), la ropa, la intensidad del ejercicio y la aclimatación.

Punto clave

La respuesta de aclimatación aguda, como los cambios en la temperatura central y la respuesta de la frecuencia cardíaca, ocurre en los primeros cinco días de exposición al calor. Mientras que la aclimatación crónica La respuesta, como los cambios en el inicio de la sudoración y la tasa de producción de sudor, tarda entre 9 y 14 días en completarse en un 80 %. Sin embargo, el grado de aclimatación varía mucho de una persona a otra y algunas de las personas que participan en competiciones deportivas en condiciones de calor nunca se adaptan por completo.

El estrés térmico durante una única sesión de ejercicio aumenta la tasa metabólica (incluido el aumento del uso de glucógeno muscular) necesaria para que el cuerpo realice ejercicios submáximos. Con la aclimatación, se reduce la tasa de uso de glucógeno muscular cuando se realiza un ejercicio con la misma intensidad relativa submáxima. Esto puede ayudar a mejorar el rendimiento de resistencia.

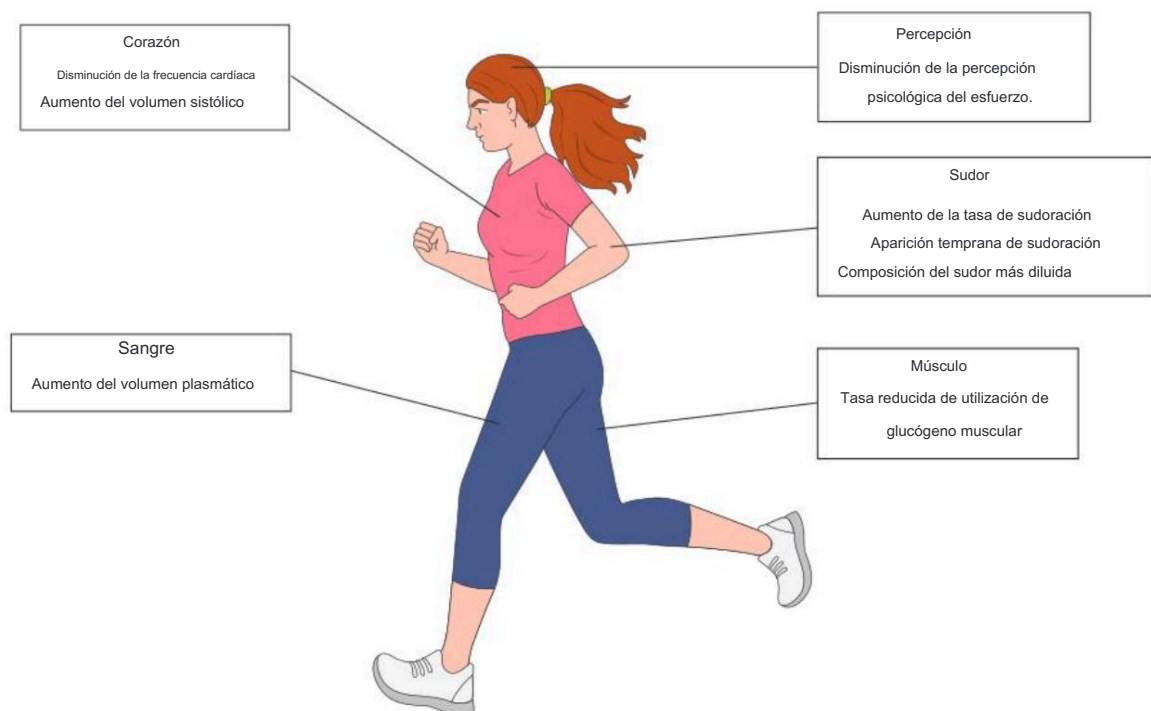
Los niveles más elevados de aptitud aeróbica reducen la intensidad y la duración necesarias para mantener la aclimatación (o reacclimatarse) al calor. Los principales beneficios de la aclimatación al calor desaparecen gradualmente si no se mantienen con una exposición continua al calor. Los beneficios de la aclimatación al calor se conservan durante aproximadamente una semana después de regresar a un entorno más fresco, pero aproximadamente el 75 % de los beneficios se perderán después de aproximadamente tres semanas de ausencia de la exposición al calor.

En resumen, la aclimatación al calor es una estrategia esencial para mejorar el rendimiento y la seguridad frente al calor en la preparación para competiciones en condiciones cálidas o calurosas, tanto para deportes individuales como de equipo. Los beneficios de la aclimatación al calor se demuestran claramente en los atletas que compiten en eventos prolongados en climas cálidos. Por ejemplo, Pryor et al. (2019) descubrieron que el tiempo de carrera hasta el agotamiento y el rendimiento en pruebas contrarreloj mejoraron hasta aproximadamente un 23 % y un 7 %, respectivamente, después de la aclimatación al calor.

Estas mejoras pueden deberse a mejoras en:

- consumo máximo de oxígeno
- economía de movimiento
- umbral de lactato
- termotolerancia.

Además, cabe señalar que una mayor comodidad térmica está asociada a la optimización del rendimiento en condiciones de calor, ya que elimina las reservas sobre el ejercicio de alta intensidad y, por ejemplo, permite un ritmo adecuado durante la competición. La figura 10 muestra algunas de las adaptaciones de aclimatación al calor que favorecen el rendimiento y la seguridad en el ejercicio en condiciones de calor.



▲ Figura 10 Adaptaciones que favorecen el rendimiento y la seguridad del ejercicio en el calor

Enfermedad por calor

La hipertermia, el agotamiento por calor y el golpe de calor se reconocen como riesgos importantes durante el ejercicio en ambientes calurosos o calurosos y húmedos. Estos problemas pueden ocurrir incluso en condiciones frías con ejercicio intenso o prolongado, como maratones o triatlones. La exposición al calor también puede ser un problema clínico importante para las poblaciones que no hacen ejercicio. Por ejemplo, la ola de calor del verano de 2021 en Columbia Británica en Canadá (con una temperatura media de 36,3 °C) fue culpada de al menos 434 muertes (Henderson et al., 2022). Esto puede suceder incluso donde los veranos son tradicionalmente muy calurosos y la población está aclimatada al calor (Yip et al., 2008).

Para la mayoría de las personas, un mayor nivel de aptitud aeróbica puede brindar protección contra el estrés por calor durante el ejercicio en el calor, similar a lo que se observa con la aclimatación a ambientes cálidos.

Estos beneficios incluyen:

- mayor pérdida de calor por evaporación a través de una mejor respuesta a la sudoración
- inicio de la sudoración a una temperatura central más baja
- mayor sensibilidad de la respuesta de sudoración al aumento de las temperaturas centrales
- un volumen plasmático elevado, minimizando la competencia por la distribución de sangre entre el músculo esquelético y la piel.

Variabilidad individual en la tolerancia al calor

Algunos de los principales factores que pueden predisponer a las personas a la intolerancia al calor durante el ejercicio en ambientes cálidos son:

- falta de aclimatación
- baja condición física
- gran masa corporal
- deshidratación
- edad (ancianos o niños prepúberes).

Punto clave

Competir en un deporte, hacer ejercicio o participar en una actividad física en condiciones de calor puede suponer un desafío fisiológico para las personas a la hora de mantener una regulación eficaz de la temperatura. Esto depende de una serie de factores, entre ellos la edad, el nivel de condición física y el estado de aclimatación.



▲ Figura 11

Cuestiones de investigación

En 2022, el Mundial de fútbol se celebró en Qatar. El evento se trasladó de julio a los meses más fríos de noviembre y diciembre.

Investiga el clima de Qatar y explica cómo planificarías un programa de entrenamiento de aclimatación para:

- prevenir las enfermedades causadas por el calor
- optimizar el rendimiento de un equipo deportivo que compite en estas condiciones.

Capacidad de ejercicio y rendimiento en condiciones de calor

La fatiga y la reducción de la capacidad de ejercicio en condiciones de calor pueden tener muchas causas subyacentes, que van desde los efectos directos de la temperatura en el funcionamiento cognitivo del cerebro hasta los cambios en los sistemas muscular y cardiovascular. Por ejemplo, en el sistema cardiovascular, esto probablemente se deba a la competencia por el flujo sanguíneo hacia los músculos activos y la piel para el intercambio de calor conductivo. La pérdida de volumen plasmático a través de la sudoración y la deshidratación se suma a la tensión cardiovascular.

Si bien el calentamiento muscular leve o las temperaturas ambientales cálidas ayudan a la generación de fuerza muscular, la hipertermia tiene un efecto negativo y altera el nivel de generación de fuerza muscular máxima y la activación muscular. La actividad mental deteriorada asociada con la hipertermia puede estar relacionada con disminuciones en el flujo sanguíneo cerebral. Por ejemplo, la sensación de letargo durante el ejercicio se informa a menudo en personas que experimentan hipertermia. Esto puede reflejar un estado reducido de excitación y se asocia comúnmente con calificaciones más altas de esfuerzo percibido durante el ejercicio. Por lo tanto, el ejercicio en el calor aumenta la tensión térmica, como durante un partido de tenis en un ambiente cálido y húmedo, y puede provocar hipertermia.



▲ Figura 12 Tenis en un ambiente cálido y húmedo



▲ Figura 13 Novak Djokovic usando una toalla llena de hielo en Melbourne

El desarrollo de la hipertermia afecta la capacidad y el rendimiento en entornos calurosos y, a menudo, puede provocar una reducción de la intensidad del ejercicio antes de lo previsto. Una de las razones es que la temperatura del cerebro depende de la temperatura de la sangre que lo irriga.

Algunos estudios han demostrado los beneficios de enfriar la cabeza y el cuello durante el ejercicio en entornos calurosos. Novak Djokovic aprovechó este conocimiento: se colocó una toalla llena de hielo alrededor del cuello entre los partidos durante el Abierto de Tenis de Australia (Figura 13).



▲ Figura 14 Heptatleta belga

Naissatou "Na" Thiam lleva un chaleco refrigerante durante el 19º Campeonato Mundial de Atletismo de la IAAF Campeonatos

Cada vez se utiliza más la minimización de los aumentos de la temperatura corporal central relacionados con el ejercicio antes de realizarlo (preenfriamiento) en ambientes calurosos para intentar disminuir los efectos del estrés térmico sobre el rendimiento. El uso de chalecos de hielo durante el calentamiento parece reducir los resultados fisiológicos y perceptivos del ejercicio en el calor.

Hay pruebas sólidas de que las intervenciones de pre-enfriamiento (como baños de hielo y chalecos de hielo) pueden mejorar el rendimiento en eventos que dependen de un esfuerzo aeróbico alto y sostenido (como correr, remar o andar en bicicleta de larga distancia). El pre-enfriamiento retrasa la acumulación de calor durante el calentamiento. También puede reducir las percepciones de estrés por calor y promover una regulación positiva de la intensidad del trabajo (es decir, un ritmo de carrera/velocidad de ciclismo más rápido o una mayor frecuencia de brazada en el remo). Por lo tanto, las estrategias prácticas, como usar un chaleco de hielo durante el calentamiento (pre-enfriamiento) y usar una toalla con hielo durante los descansos en el evento, reducen el estrés por calor y mejoran el rendimiento en entornos calurosos (Skein et al., 2011).



Impacto global de la ciencia

La preocupación inicial por los posibles efectos del calentamiento global sobre las infecciones ha disminuido al percatarse de que es probable que la propagación de las enfermedades tropicales sea limitada y controlable. Sin embargo, los efectos directos del calor ya causan un número considerable de muertes entre las personas vulnerables en verano. La adopción de medidas para evitar que estas muertes aumenten es el desafío médico más evidente que plantea el aumento global de la temperatura. Hasta cierto punto se han puesto en marcha estrategias para prevenir estas muertes, que difieren de un país a otro. Por ejemplo, el aire acondicionado ha reducido las muertes en los Estados Unidos, y las tecnologías más antiguas, como los ventiladores, las persianas y los edificios diseñados para mantener el calor en los días calurosos, en general han logrado lo mismo en Europa.

Dado que los requerimientos energéticos del aire acondicionado aceleran el calentamiento global, una combinación de métodos más antiguos con aire acondicionado cuando sea necesario puede brindar la solución ideal. A pesar de la disponibilidad de estas tecnologías, las temperaturas récord ocasionales aún causan fuertes aumentos en las muertes relacionadas con el calor.

Cuando se produce una ola de calor, cualquier persona que sufra un estrés térmico peligroso necesita refrescarse de inmediato (por ejemplo, con un baño frío). Esta acción en casa puede ser más eficaz que trasladar al paciente al hospital.

Mientras tanto, el frío del invierno causa muchas más muertes que el calor del verano, incluso en la mayoría de las regiones subtropicales, por lo que también es necesario seguir tomando medidas para controlar las muertes relacionadas con el frío (Keatinge, Donaldson, 2004).

El cambio climático, junto con el calentamiento global, puede afectar la salud, como se refleja en el artículo anterior. Analice el posible impacto que el calentamiento global puede tener en el uso de la frecuencia cardíaca durante el entrenamiento para controlar la intensidad del ejercicio.



Estudios de investigación

Existe una amplia variabilidad interindividual en la respuesta a un entorno y una carga de ejercicio determinados. La respuesta intraindividual también puede variar en función de la aclimatación, la hidratación, los fármacos (como la cafeína), etc.

Moran et al. (1998, 1999) desarrollaron un índice de tensión térmica individual a partir de una combinación de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal central, así como un índice de tensión fría basado en las temperaturas central y de la piel.

Descubra más sobre estos índices y cómo se miden.

Ambientes fríos

Los principales factores que provocan estrés por frío ambiental durante las actividades al aire libre en climas fríos son la temperatura del aire y la velocidad del viento. Normalmente, cuando nos exponemos a un ambiente frío, nos vestimos para disminuir la sensación de frío, prevenir descensos peligrosos de la temperatura corporal central y evitar lesiones por frío, incluida la hipotermia.

La hipotermia se puede definir simplemente como temperatura corporal baja, pero existen diferentes categorías clínicas (leve, moderada, grave, profunda).

No es raro sufrir hipotermia leve, y las temperaturas corporales centrales citadas con mayor frecuencia para la hipotermia leve son alrededor de 34–35 °C.

Las señales de advertencia de hipotermia incluyen temblores incontrolables, dificultad para hablar, tropiezos, somnolencia e incapacidad para permanecer de pie y moverse después de descansar.

Irónicamente, aunque usar ropa ayuda a garantizar que la exposición al frío se minimice,

Término clave

Hipotermia Baja temperatura corporal que tiene diferentes categorías clínicas según la gravedad.



▲ Figura 15 Actividad recreativa en un ambiente frío



▲ Figura 16 Actividad ocupacional en ambiente frío

Esto puede reducir la posibilidad de pérdida de calor por enfriamiento por evaporación, radiación y convección. De hecho, hay que tener cuidado al hacer ejercicio en el frío, porque un exceso de aislamiento corporal de la ropa puede provocar hipertermia inducida por el ejercicio, así como deshidratación inducida por el ejercicio.

Existe un gran potencial de pérdida de calor por la cabeza. La cabeza representa solo alrededor del 8% de la superficie total del cuerpo, pero casi el 30%–40% del calor corporal se pierde a través de la región de la cabeza. Esto se debe a que no parece producirse vasoconstricción en la circulación cerebral durante el ejercicio en climas fríos.

Los seres humanos poseen una capacidad de adaptación mucho menor a la exposición prolongada al frío que a la exposición prolongada al calor. Hoy en día, existen muchas actividades recreativas, competitivas y ocupacionales en ambientes fríos, y la mayor participación en deportes de invierno como el esquí de fondo, el senderismo y el snowboarding exponen al cuerpo al aire frío y al efecto invernadero. Cuando la temperatura ambiente es más fría que la temperatura corporal, se produce una pérdida de calor, y el viento aumenta la pérdida de calor por convección.

El equipo del British Antarctic Survey, por ejemplo, lleva a cabo investigaciones y estudios en la Antártida y las regiones circundantes. Por ejemplo, utilizan observaciones de las regiones polares para mejorar nuestra comprensión de cómo los factores naturales y antropogénicos contribuyen al cambio climático.

Respuesta aguda

Con la exposición al frío, la temperatura de la piel y del cuerpo disminuye, lo que estimula el hipotálamo. La respuesta periférica al frío implica una vasoconstricción de la circulación de la piel y del músculo esquelético, lo que disminuye el flujo sanguíneo y, por lo tanto, la transferencia de calor por convección entre el núcleo y la corteza del cuerpo (piel, grasa subcutánea y músculo esquelético). La exposición al frío provoca la estimulación de los escalofríos.

Las características del temblor incluyen:

- contracciones musculares involuntarias, repetidas y rítmicas
- Puede comenzar inmediatamente o después de varios minutos de exposición al frío.
- hay un movimiento mínimo
- método altamente efectivo de producción de calor a partir de energía metabólica
- generalmente comienza en el torso y luego se propaga a las extremidades

- A medida que aumenta la intensidad del temblor, se utilizan más músculos.
- Los temblores intensos pueden equivaler a más de 1 l·min⁻¹ de consumo de oxígeno.

Ejercicio en ambientes fríos

Si la producción de calor del ejercicio submáximo durante la exposición al frío no es suficiente para equilibrar la pérdida de calor del cuerpo hacia el ambiente frío, habrá un aumento en la absorción de oxígeno por el temblor debido al requerimiento adicional de oxígeno para el metabolismo en los músculos que tiemblan. La exposición al frío también puede afectar las respuestas cardiovasculares al ejercicio submáximo. En comparación con el ejercicio a la misma intensidad en un clima templado, el ejercicio en el frío da como resultado frecuencias cardíacas más bajas y un mayor volumen sistólico para mantener el gasto cardíaco. Una explicación para las frecuencias cardíacas más bajas y el aumento del volumen sistólico durante el ejercicio en el frío es el aumento del volumen sanguíneo central resultante de la vasoconstricción periférica.

Durante la exposición al frío, la cantidad de ropa necesaria para mantener el equilibrio térmico dependerá de la intensidad del ejercicio. Es recomendable vestirse con varias capas durante el ejercicio en el frío y quitarse capas a medida que aumenta la intensidad del ejercicio para evitar una ganancia excesiva de calor corporal neto (debido al exceso de aislamiento de la ropa).

Utilización de combustible durante la exposición al frío

El ejercicio prolongado se caracteriza por el agotamiento eventual de las reservas de carbohidratos y la incapacidad de mantener la glucosa en sangre. En ambientes fríos, se cree que los requerimientos de energía adicionales de los escalofríos aumentan la descomposición del glucógeno durante el ejercicio. Hay buena evidencia de que los escalofríos, al igual que el ejercicio de baja intensidad, dependen de la grasa (lípidos) como fuente principal de energía, y también pueden usarse glucosa en sangre, glucógeno muscular e incluso proteínas. La contribución relativa de las grasas, los carbohidratos y las proteínas a la producción de calor durante la exposición al frío depende de si los niveles de glucógeno son bajos o altos, la intensidad de los escalofríos y la gravedad y el tipo de exposición al frío. Se sugiere que puede ser necesaria una mayor ingesta de carbohidratos para la exposición prolongada o el ejercicio en el frío (Haman, 2002, 2006).

Reflexiones de pensamiento

Durante la exposición al frío puede haber una reducción en la eficiencia muscular asociada con:

- disminución de la contractilidad muscular
- disminución de la velocidad y la potencia de la contracción muscular
- cambio en el patrón de reclutamiento de fibra muscular.

Composición y tamaño corporal, ejercicio y estrés por frío

El estrés por frío depende de la temperatura ambiental y de la intensidad del ejercicio (tasa metabólica), así como de la resistencia al flujo de calor proporcionada por la grasa corporal. La grasa es un aislante eficaz porque su capacidad para transferir calor es relativamente baja, lo que ayuda a ralentizar la transferencia de calor desde el interior del cuerpo a la superficie corporal. Esto permite que las personas con mayores cantidades de grasa corporal retengan más calor y reduzcan los efectos de los entornos fríos (al aumentar la eficacia de la vasoconstricción cutánea). Por lo tanto, a medida que aumenta la cantidad de grasa, disminuye la tasa de pérdida de calor; es decir, la pérdida de calor está inversamente relacionada con la cantidad de grasa (subcutánea).

Esto explica en parte por qué las personas con más grasa generalmente pueden tolerar una temperatura del agua o del aire más baja que las personas delgadas antes de que comiencen a temblar.

Reflexiones de investigación

Galloway y Maughan (1997) descubrieron que el rendimiento del ciclismo de resistencia es óptimo en una temperatura ambiente de 11 °C, y hubo una disminución del 13% en el rendimiento del ciclismo de resistencia a 4 °C.

¿Puedes averiguar cuál es la temperatura óptima para otras actividades deportivas?

Punto clave

La composición corporal (relación entre la masa grasa corporal y la masa muscular magra), el tamaño corporal (relación entre la superficie de la piel y la masa corporal) y el estado de entrenamiento influyen en la capacidad para hacer frente al frío. exposición.

La relación entre la superficie corporal y la masa corporal afecta la tasa de pérdida de calor. Una mayor relación entre la superficie corporal y la masa corporal facilita la pérdida de calor, lo que puede ser ventajoso en un entorno cálido. En adultos con

Con la misma masa corporal y superficies similares, las mujeres biológicas suelen tener un mejor aislamiento debido a los mayores niveles de grasa corporal. Sin embargo, las mujeres biológicas tienden a tener una masa muscular total relativamente menor que los hombres biológicos. Esto reduce la capacidad de producción de calor a través del temblor.

Actividad 4

Durante la misma intensidad de ejercicio submáxima relativa en un ambiente frío en comparación con uno templado, explique qué sucede con la economía (la tasa de consumo de oxígeno).

Punto clave

El cuerpo humano es menos capaz de adaptarse al estrés de los ambientes fríos que al calor.

Para protegerse de la exposición al frío, los seres humanos dependen de cambios de comportamiento, como trasladarse a un refugio y usar más ropa y/o prendas más apropiadas.

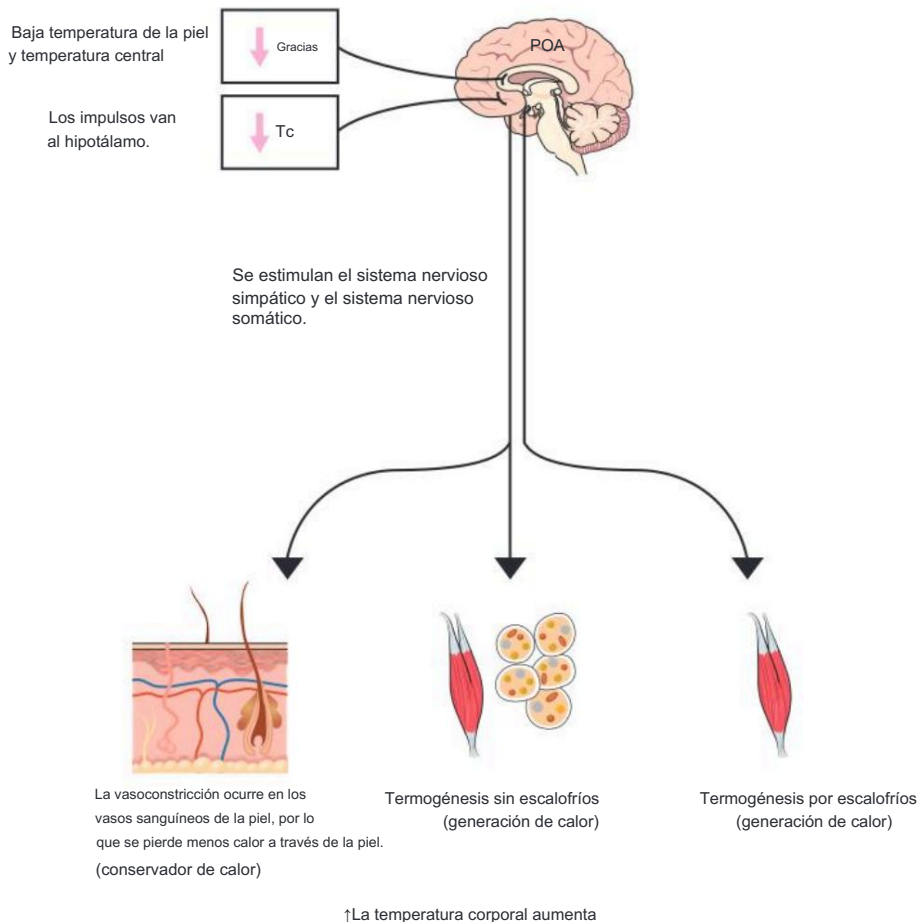
Los niños son más pequeños y ligeros que los adultos y, por lo tanto, tienden a tener una mayor relación superficie-masa que los adultos. Esto ayuda a explicar por qué a los niños les resulta más difícil mantener una temperatura corporal normal en ambientes fríos, lo que los hace más propensos a sufrir hipotermia. Durante el ejercicio en el frío, los niños pueden compensar en parte su alta relación superficie-masa siendo más activos (aumentando el metabolismo energético) con una constricción más efectiva de los vasos sanguíneos que irrigan la piel y los músculos esqueléticos (aumento del aislamiento de la capa del cuerpo).

Adaptación humana a la exposición crónica al frío

Las personas pueden adaptarse a los ambientes fríos, pero tienen una adaptación fisiológica menor al estrés crónico por frío que a la exposición prolongada al calor. La adaptación al frío, que se desarrolla más lentamente que la aclimatación al calor, produce menos molestias, mejora la destreza, ayuda a prevenir enfermedades y lesiones por frío y mejora la supervivencia en un ambiente frío.

Hay tres respuestas adaptativas principales mediante las cuales el cuerpo regula su temperatura central tras la exposición crónica a un ambiente frío:

- habituación: una desensibilización de la respuesta normal al frío
- aclimatación metabólica: por ejemplo, mayor respuesta de escalofríos a aumentar la producción de calor
- aclimatación aislante: aumento de la vasoconstricción para mejorar el calor conservación.



La figura 17 muestra las respuestas fisiológicas a la exposición al frío.

Las temperaturas periféricas (piel) y central del cuerpo detectan la disminución de la temperatura media de la piel y de la temperatura central. Esto hace que el hipotálamo inicie respuestas aislantes (conservación del calor) y metabólicas (generación de calor) para regular la temperatura corporal durante la exposición al frío.

La adaptación humana a la exposición al frío también se produce tras exposiciones breves y repetidas a un frío leve, y parece beneficiar a los individuos a través de un aumento de la temperatura de la piel y una disminución de los escalofríos. La habituación al frío también produce una menor activación del sistema nervioso simpático, cuyos efectos pueden ser beneficiosos en otros entornos, como la gran altitud. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para determinar si la central o los mecanismos periféricos son clave para esta adaptación.

▲ Figura 17 Respuestas fisiológicas a la exposición al frío

Sensación térmica

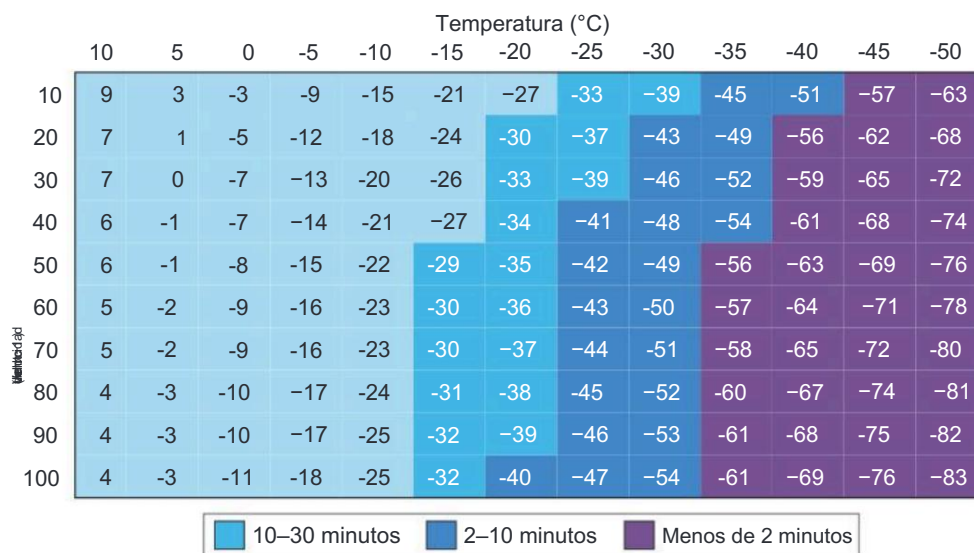
Al hacer ejercicio al aire libre, la temperatura del aire no es el único factor que influye en la cantidad de estrés térmico que se experimenta por el frío. Tanto la temperatura del aire como el viento influyen en la frialdad del entorno que experimenta una persona.

Por lo tanto, existe una gran diferencia entre el frío que sentimos en un día frío pero tranquilo y en un día frío y ventoso.

El viento aumenta la tasa de pérdida de calor (por convección y conducción) porque la capa de aire aislante más cálida que rodea el cuerpo se intercambia continuamente con el aire ambiental más frío.

La ropa a prueba de viento y/o la realización de ejercicio extenuante reducen los efectos del enfriamiento por el viento.

El índice de sensación térmica ilustra el efecto de enfriamiento del viento sobre la piel expuesta a diferentes temperaturas y velocidades del viento. Los efectos del aumento de la velocidad del viento con la disminución de la temperatura del aire, incluidos los valores de exposición peligrosa a la congelación, se muestran en la Figura 18.



▲ Figura 18 Índice de sensación térmica



Actividad 5

1. Al correr al aire libre con una temperatura del aire de -20°C en un día ventoso con una velocidad del viento de 30 km h^{-1} :

- ¿Qué es el índice de sensación térmica?
- ¿Cuánto tiempo puede pasar hasta que se produzca la congelación?

La dirección del viento es importante. Por ejemplo, al correr a 12 km h^{-1} con un viento en contra de 20 km h^{-1} , esto crea una velocidad relativa del viento de 32 km h^{-1} . Al correr a 12 km h^{-1} con un viento de 20 km h^{-1} a la espalda, esto crea una velocidad relativa del viento de 8 km h^{-1} . 2. Al correr a 15 km h^{-1} con un viento en contra de 25 km h^{-1} , ¿cuál es la

velocidad relativa del viento?

¿Velocidad del viento?

3. Cuando se circula a 15 km h^{-1} con un viento en contra de 25 km h^{-1} en una temperatura del aire de -25°C :

- ¿Qué es el índice de sensación térmica?
- ¿Cuánto tiempo puede pasar hasta que se produzca la congelación?

Exposición al aire frío, hipotermia y congelación.

En los climas fríos de la Tierra, los principales estresores ambientales que perturban la homeostasis son:

- temperatura del aire por debajo de la temperatura de la piel y del cuerpo central
- movimiento del aire a través del cuerpo (acelerando la pérdida de calor corporal)
- aire frío y seco •

inmersión en agua fría (que provoca un enfriamiento más rápido de la piel y de las temperaturas corporales centrales en comparación con el aire frío a la misma temperatura).

La principal lesión mortal causada por el frío es la peligrosa pérdida de calor corporal que provoca hipotermia, como se ha comentado anteriormente. El riesgo de hipotermia en tierra aumenta en condiciones de frío, humedad y viento.

Preguntas de investigación

Explique por qué, durante la exposición al frío, los deportistas que practican deportes más técnicos que exigen un control motor fino experimentan disminuciones en su rendimiento.

Términos clave

Congelación inicial La congelación inicial del tejido superficial de la piel.

Congelación El enfriamiento y congelación continuos de las células.

Los dedos de las manos y de los pies están mal diseñados para retener el calor, tanto en su disposición anatómica como en su patrón de control circulatorio. Los dedos largos y estrechos dan como resultado una relación relativamente alta de área de superficie a volumen para la pérdida de calor por convección. Además, la baja masa muscular y la baja cantidad de grasa en los pies y las manos proporcionan una capacidad mínima de generación de calor y aislamiento contra la pérdida de calor. Además, tras la exposición inicial al frío, la vasoconstricción puede disminuir muy rápidamente la distribución del flujo sanguíneo a las extremidades y desviar la sangre y el calor.

El frío extremo afecta a los órganos vitales como el corazón y el cerebro. Por lo tanto, las lesiones por frío extremo como la congelación y la congelación tienen más probabilidades de ocurrir en los pies, las manos y las partes expuestas como la nariz y las orejas. Los factores que se asocian con la congelación incluyen el consumo de alcohol, la baja condición física, la fatiga, la deshidratación y la mala circulación periférica, pero puede ocurrirle a cualquiera. Sin embargo, la congelación no puede ocurrir si la temperatura del aire es superior a 0 °C (32 °F).

Las tasas de pérdida de calor local y el daño celular por pérdida de calor (convectivo) son los principales determinantes de la congelación y la congelación. La congelación es la congelación inicial del tejido cutáneo superficial. Es dolorosa, pero por lo general no produce daño a largo plazo. La congelación es el enfriamiento y congelamiento continuos de las células. Esto puede conducir a la destrucción de las células, y las regiones dañadas se vuelven insensibles al tacto.

Debido al riesgo de infección y gangrena, se recomienda que el recalentamiento y el tratamiento de la congelación se realicen en un entorno médico, si es posible.

Preguntas de pensamiento

El ex campeón olímpico Justin Gatlin (Figura 19) tuvo una experiencia desafortunada en su preparación para el Campeonato Mundial de Atletismo de 2011 en Daegu (Corea del Sur) cuando entró en una cámara criogénica con calcetines mojados (por el sudor) y terminó sufriendo congelación en ambos pies.

Por alguna razón, los calcetines se me congelaron en los tobillos. Sentí como si mis pies estuvieran en llamas... y me dolía caminar.

Justin Gatlin, 2011



▲ Figura 19 Justin Gatlin



▲ Figura 20 Congelación de los dedos de las manos y de los pies

Lesiones por frío y humedad

La radiación y la evaporación del sudor son los principales mecanismos de pérdida de calor en el aire. Sin embargo, la conducción de calor fuera del cuerpo es mayor durante la exposición a una temperatura de aire frío determinada cuando la piel y la ropa están mojadas. El cuerpo pierde calor más rápidamente en el agua que en el aire a la misma temperatura. Se producen mayores aumentos en la pérdida de calor en el agua cuando hay movimiento de agua sobre el cuerpo debido a la mayor contribución de la pérdida de calor por convección. Sin embargo, los individuos varían mucho con respecto a la temperatura del agua que pueden tolerar.

La pérdida de calor corporal por conducción es mayor durante la inmersión en agua fría.

Los predictores más importantes de la aparición de lesiones por frío y humedad son la temperatura del agua y la duración de la exposición.

¿Hace demasiado frío para hacer ejercicio?

El efecto directo del ejercicio en el frío es la respiración de aire frío (y seco). Como el tejido alveolar es fino, húmedo y frágil, el aire inhalado debe calentarse (y humedecerse) antes de entrar en los pulmones. Por lo tanto, un riesgo potencial es la posibilidad de ataques de asma. Para las personas asmáticas y aquellas con asma inducida por el ejercicio, la respiración de aire frío puede provocar falta de aire y una reducción de la capacidad de ejercicio.

Stenstrup et al. (2007) compararon el ejercicio en un ambiente con una temperatura del aire de 20 °C frente a uno de -18 °C. Descubrieron que las personas con asma inducida por el ejercicio tenían un consumo máximo de oxígeno menor y velocidades de carrera más lentas en el ambiente de aire frío (-18 °C) en comparación con el ambiente de 20 °C. Para todos los atletas, las altas tasas de respiración (ventilación) durante el ejercicio en temperaturas del aire frío pueden provocar una pérdida de calor significativa y, potencialmente, deshidratación. Por lo tanto, es importante garantizar una hidratación adecuada durante el ejercicio en el frío. Sin embargo, incluso para las personas con problemas respiratorios agravados por la inhalación de aire frío, los beneficios para la salud de la actividad física probablemente superen los posibles riesgos para la salud si se toman las precauciones adecuadas.

Castellina et al. (2006) destacaron algunas medidas preventivas importantes a tener en cuenta al hacer ejercicio en el frío.

- Los requisitos de aislamiento de la ropa dependen de la intensidad del ejercicio y del entorno, y un aislamiento excesivo de la ropa puede provocar estrés por calor.
- En condiciones de fuerte sensación térmica, las personas deben asegurarse de mantener la piel expuesta al mínimo.

- Los pies, las manos, la cara y las orejas son las zonas con mayor riesgo de congelación. y otras lesiones por frío. Por lo tanto, se debe tener cuidado de proporcionar aislamiento o calefacción adicional a los pies, las manos, la cara y las orejas.
- Una temperatura corporal central más alta promueve el flujo sanguíneo hacia las extremidades, por lo que Es importante garantizar que se preserve la temperatura corporal central.
- Se recomienda la ingestión de carbohidratos para permitir el aumento de glucosa. metabolismo durante el ejercicio en el frío.

Inmersión en agua fría

Se cree que las respuestas respiratorias y cardíacas iniciales a la inmersión en agua fría son responsables de una cantidad significativa de muertes en aguas abiertas cada año. Las respuestas iniciales a la inmersión en agua fría incluyen taquicardia, un jadeo inspiratorio reflejado e hiperventilación incontrolable, lo que causa dificultad a las personas que intentan contener la respiración si se sumergen.

La taquicardia es una frecuencia cardíaca o de pulso anormalmente rápida en reposo (superior a 100 lpm), y la hiperventilación es una frecuencia respiratoria superior a la necesaria para mantener un nivel normal de dióxido de carbono en la sangre. Por ejemplo, los valores promedio en reposo de un adulto de 12 respiraciones y 6 lmin⁻¹ en ventilación pueden aumentar a más de 30 respiraciones y 80 lmin⁻¹ en ventilación cuando se sumerge en agua fría a 10 °C (Tipton et al., 1998).

El principal estímulo para la respuesta al choque térmico descrita anteriormente parece ser la rápida caída de la temperatura de la piel tras la inmersión en agua fría. Nadar en agua fría produce una redistribución significativa de la sangre hacia el núcleo, una vasoconstricción periférica intensa y una reducción del flujo sanguíneo muscular a través de las extremidades. Además, la inmersión repentina en agua fría puede provocar una contracción refleja de los músculos esqueléticos, lo que dificulta la coordinación neuronal adecuada.



▲ Figura 21 ¡A muchas personas les gusta nadar al aire libre en entornos invernales!

Efectos de la ropa

Existen varios tipos de prendas especializadas disponibles para brindar protección durante la actividad física, el ejercicio, el deporte y la actividad recreativa y laboral en condiciones de frío. La cantidad de aislamiento de la ropa necesaria para mantener la temperatura corporal (y la comodidad) aislando contra la pérdida excesiva de calor corporal durante la actividad en climas fríos dependerá de la temperatura ambiente y de la intensidad del ejercicio. La unidad estándar de aislamiento de la ropa se conoce como clo.

Investigaciones de investigación

Los brazos tienen una mayor relación entre superficie y masa y una grasa subcutánea más fina en comparación con las piernas. ¿Cómo podría esto influir en el diseño de la ropa deportiva para climas fríos?

La unidad clo es una medida de la capacidad aislante que proporciona cualquier capa de aire atrapado entre la piel y la ropa. El requerimiento de unidad clo se ve afectado por la tasa metabólica de un individuo a una temperatura ambiente determinada: se requieren más unidades clo a medida que disminuye la temperatura ambiente y/o se reduce la intensidad metabólica, y viceversa.

Una unidad clo de 1 se define como mantener a una persona sedentaria en 1 MET (una unidad de metabolismo en reposo o gasto de energía en reposo) indefinidamente en un ambiente de 21 °C y 50 % de humedad relativa.

El uso de ropa adecuada puede reducir significativamente la pérdida de calor por evaporación al ralentizar el movimiento del vapor de agua a través de las capas de ropa. En ambientes cálidos y húmedos, la mayor parte del sudor gotea del cuerpo o queda atrapado entre las capas de tela de la ropa. Cuando esto sucede, hay una reducción significativa en la capacidad de la evaporación para eliminar la energía térmica. En ambientes fríos, esto puede generar incluso más pérdida de calor corporal durante el ejercicio porque la ropa pierde gran parte de sus cualidades aislantes cuando se moja.

Sin embargo, a menudo, durante el ejercicio en el aire frío, el problema no es el aislamiento inadecuado de la ropa, sino la barrera de la ropa que evita la pérdida de calor que se crea durante el ejercicio en sí. Los esquíadores de fondo, por ejemplo, superan este problema quitándose capas de ropa a medida que el cuerpo se calienta, y esta eliminación de capas de ropa ayuda a mantener la temperatura central sin depender del enfriamiento por evaporación. Por lo tanto, la ropa de invierno ideal para un clima frío y seco aísla el cuerpo al tiempo que permite que el vapor de agua escape a través de la ropa si se produce sudoración.



Pregunta de enlace

¿Qué tan efectivos son los métodos experimentales para crear experimentos de doble ciego en entornos variados? (Herramienta 1, Pregunta 2)

Considerar:

- sesgo, confiabilidad, validez y factores de confusión
- experimentos/ensayos farmacológicos/médicos/de fármacos y controles de placebo
- estudios de comportamiento y señales/comportamientos/expectativas no intencionales del investigador
- uso de computadoras/sistemas automatizados
- Experimentos de campo, aleatorizados
Ensayos de control y sesgo
- hallazgos confiables.



Pregunta de enlace

¿Cómo influyen los desafíos de actuar en entornos variados en la fortaleza mental y el aprendizaje? (C.1.2)

Considerar:

- Los entornos como el frío, el calor o la gran altitud pueden presentar desafíos importantes para las personas.
- malestar físico, fatiga y disminución de la función cognitiva, y cómo esto podría desafiar la fortaleza mental de un individuo
- la capacidad de adaptarse y superar obstáculos ante la adversidad
- la capacidad de permanecer concentrado, motivado y resiliente frente a las dificultades. adversidad
- cómo aprender a actuar en estos entornos desafiantes puede ayudar a las personas a desempeñarse mejor bajo estrés y a superar obstáculos en otras áreas de la vida
- con la exposición a entornos desafiantes, las personas deben aprender a adaptarse y desarrollar nuevas habilidades para hacer frente a las demandas del entorno.
- Actuar en entornos extremos promueve el desarrollo de la fortaleza mental y el aprendizaje.



▲ Figura 22

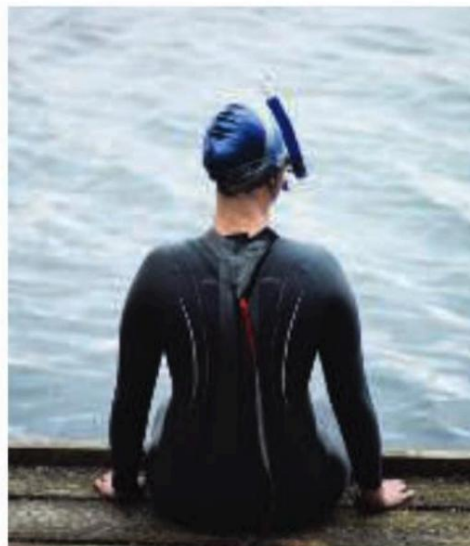


Pregunta de enlace

¿Los beneficios de nadar en agua fría son resultado de los efectos rejuvenecedores de la inmersión en agua fría o de la actividad de nadar en sí? (A.3.2)

Considerar:

- adherencia y disfrute de la actividad física
- las necesidades básicas de los individuos en cuanto a autonomía, competencia y relaciones sociales. conexión
- actividad física con otros (apoyo e interacciones positivas), pero no socava la preferencia de estar activo solo
- Siempre que sea posible, se debe realizar alguna actividad física al aire libre en entornos naturales agradables.
- La inactividad física está inversamente asociada con la salud mental.
- Mantener la actividad física se ha asociado con la reducción de la prevalencia, los riesgos o las muertes por enfermedades no transmisibles.
- Se ha identificado la actividad física como una herramienta potencial para reducir síntomas como la depresión en jóvenes y adolescentes.
- La depresión es el segundo problema mental más frecuente en la mundo
- El estrés ambiental que desafía el equilibrio térmico de nuestro cuerpo puede producir beneficios para la salud, como una menor depresión y un mejor estado de ánimo.
- Una forma cada vez más popular de estrés ambiental es la exposición a la natación en agua fría, definida como "nadar cuando las temperaturas del aire y del agua son inferiores a 18 °C".



▲ Figura 23

Altitud

El peso de la atmósfera terrestre ejerce una presión continua sobre nosotros y la presión de esa columna de aire se denomina presión barométrica (P_b). A nivel del mar, la P_b es de 760 mmHg. La presión barométrica es una medida de la presión total ejercida sobre el cuerpo humano por todos los gases que componen la atmósfera (nitrógeno $\approx 78\%$, oxígeno $\approx 21\%$, argón $\approx 0,9\%$ y otras cantidades traza de gases).

Las moléculas de oxígeno constituyen el 20,93% del aire. La presión parcial de oxígeno (PO_2) es la parte de P_b ejercida únicamente por las moléculas de oxígeno en el aire. Por lo tanto, a nivel del mar, la PO_2 es el 20,93% de 760 mmHg, es decir, 159 mmHg.

Cuando se asciende a una altitud mayor, es decir, a una altura sobre el nivel del mar, una PO_2 baja o reducida puede limitar el rendimiento físico. En altitudes elevadas, esto perjudica significativamente el rendimiento físico y puede ser mortal. Un entorno hipobárico es cuando hay una presión barométrica reducida, como en la altitud.

En un entorno hipobárico, el aire inspirado tendrá una PO_2 más baja, lo que limita el movimiento del oxígeno hacia los pulmones y desde los pulmones hacia la sangre, y el transporte de oxígeno en la sangre hacia los tejidos. Un nivel bajo de PO_2 en el aire se denomina hipoxia (bajo nivel de oxígeno) y un nivel bajo de PO_2 en la sangre se conoce como hipoxemia.

La hipoxia limita la difusión pulmonar y el transporte de oxígeno a los tejidos, y esto puede afectar tanto a los atletas de resistencia (por ejemplo, corredores de 5 km y 10 km) como a los atletas de resistencia.

Punto clave

Cuando no hay suficiente oxígeno para mantener el funcionamiento normal de los tejidos, el ambiente es hipóxico. La hipoxia grave puede provocar la muerte.

Los participantes en eventos que requieren cualidades de fuerza y velocidad (por ejemplo, corredores de 400 y 800 m) pueden beneficiarse de una menor resistencia del aire, por ejemplo, en los Juegos Olímpicos de México de 1968 (a una altitud de 2200 m), Lee Evans rompió el récord mundial de 400 m (Figura 24). Este récord mundial se mantuvo durante dos décadas.



▲ Figura 24 Lee Evans (izquierda) rompiendo el récord mundial de 400 m en 1968

Estudio

Récord mundial de salto de longitud de Bob Beamon

Los efectos de la altitud en el deporte se hicieron evidentes en 1968 durante los Juegos Olímpicos de Ciudad de México a una altitud de 2.200 m. En la altitud, como el aire es más fino, hay menos resistencia del aire, también conocida como fricción. Con menos fricción, los objetos (por ejemplo, los saltadores de longitud) tienden a viajar más lejos. Con la ayuda de la menor resistencia del aire, Bob Beamon rompió el récord mundial de salto de longitud por unos asombrosos 55 cm para registrar una distancia de 8,90 m. El récord se mantuvo durante casi un cuarto de siglo y es uno de los logros deportivos más memorables de la historia.



▲ Figura 25 Bob Beamon rompiendo el récord mundial de salto de longitud en 1968

Rangos de altura para diferentes categorías de altitud

Cuando se habla de altitud, comúnmente se utilizan los siguientes rangos de altura sobre el nivel del mar:

- Cerca del nivel del mar (por debajo de 500 m) y baja altitud (hasta 1.500 m): no hay efectos de la altitud sobre el bienestar o el rendimiento físico.
- Altitud moderada (1.500–2.000 m): puede haber una reducción del rendimiento físico, pero esto se puede superar con aclimatación/aclimatación.
- Gran altitud (2000–3000 m): es probable que haya efectos negativos tanto para el bienestar como para el rendimiento aeróbico; la aclimatación puede o no ayudar a lograr un rendimiento óptimo.
- Altitud muy elevada (3000–5500 m): efectos adversos para la salud (incluido el mal agudo de montaña), muchas personas experimentarán una reducción significativa del rendimiento físico (incluso después de la aclimatación).
- Altitud extrema (por encima de 5.500 m): se experimentan efectos hipóxicos graves.

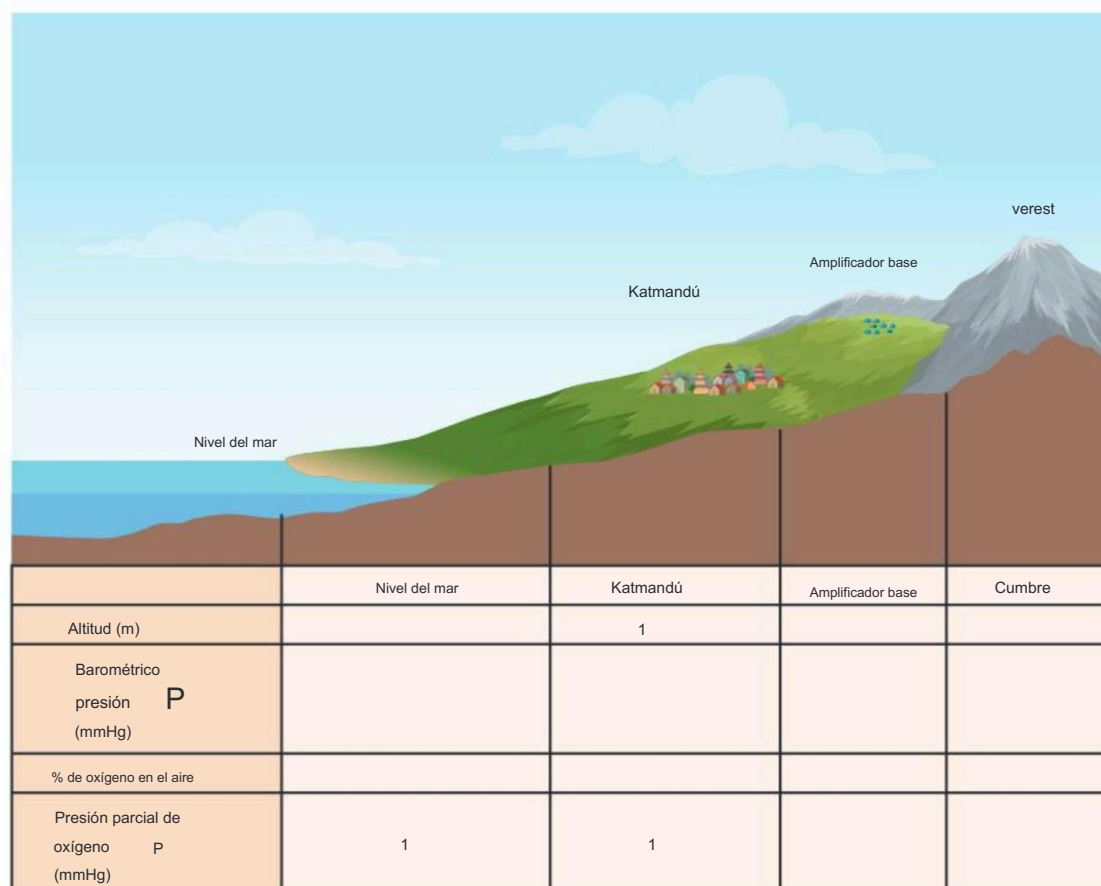
Como hay muy pocos efectos negativos en el rendimiento del ejercicio por debajo de los 1.500 m, por encima de los 1.500 m se denomina comúnmente altitud.

La presión barométrica en cualquier punto de la Tierra está relacionada con el peso del aire en la atmósfera por encima de ese punto. Por eso, el Pb es más alto a nivel del mar (760 mmHg) y más bajo en lugares de gran altitud (por ejemplo, en el monte Everest a 8848 m, Pb = 253 mmHg). Sin embargo, aunque el Pb varía, el porcentaje de gases en el aire que respiramos permanece invariable desde el nivel del mar hasta la altitud. Es decir, solo cambian las presiones parciales de estos gases. El aire siempre contiene un 20,93 % de oxígeno desde el nivel del mar hasta la altitud extrema, como se muestra en la Figura 26.

Punto clave

Beneficios del entrenamiento en altura

En el caso de las pruebas de resistencia y aeróbicas, si no estás aclimatado, tu rendimiento disminuirá. Con el entrenamiento en altura, el cuerpo reacciona a la disminución de la presión atmosférica produciendo más glóbulos rojos para ayudar a absorber el oxígeno, un beneficio importante del entrenamiento en altura.



▲ Figura 26 A medida que aumenta la altitud desde el nivel del mar, la presión barométrica y la presión parcial de oxígeno disminuyen.

Punto clave

La mezcla de gases en el aire a gran altura tiene la misma proporción que a nivel del mar: 20,93% de oxígeno, 0,03% de dióxido de carbono y 79,04% de nitrógeno. Con el aumento de la altitud, la presión parcial de cada uno de los gases disminuye en proporción a la disminución de la presión atmosférica, lo que conduce a una disminución de la presión parcial de oxígeno en el aire. Esto tiene un efecto negativo en el transporte de oxígeno a los músculos, el cerebro y otros tejidos en funcionamiento.

Temperatura y humedad del aire en altitud La temperatura

del aire disminuye a un ritmo de aproximadamente 1°C por cada 150m de ascenso.

Esto significa que a mayor altitud el aire se vuelve más frío y el aire frío retiene muy poca agua. La presión parcial del vapor de agua (PH_2O) en el aire es menor a medida que aumenta la altitud.

El PH_2O se vuelve extremadamente bajo a gran altitud, lo que resulta en la evaporación de la humedad de la piel, porque hay un mayor gradiente entre la piel y el aire, lo que promueve la evaporación y potencialmente la deshidratación.

Otros factores que contribuyen a la deshidratación incluyen:

- agua perdida por evaporación respiratoria (aire cálido y húmedo en la boca y la nariz que pasa al aire seco en el ambiente)
- aumento de la frecuencia respiratoria en la altitud.

Respuestas respiratorias a la exposición aguda a la altitud

A gran altitud, la ventilación en reposo y durante el ejercicio aumenta en cuestión de segundos, porque los quimiorreceptores (en el arco aórtico y las arterias carótidas) son estimulados por la baja PO_2 . El cerebro responde a estas señales y aumenta la respiración, tanto el volumen corriente (VT) como la frecuencia respiratoria. Esta puede permanecer elevada en proporción a la exposición a la altitud. El aumento de la ventilación reduce la cantidad de dióxido de carbono en los alvéolos y una mayor cantidad de dióxido de carbono pasa de la sangre a los pulmones para ser exhalado.

Esto provoca un aumento del pH de la sangre (lo que se denomina alcalosis respiratoria), y tiene varios efectos en altitudes más elevadas:

- Es más fácil que el oxígeno se una a la hemoglobina en los pulmones.
- Es más fácil que el oxígeno pase de la sangre a los tejidos (musculares).
- Evita que la ventilación suba demasiado.

Actividades de investigación

A nivel del mar, la PO₂ arterial es de aproximadamente 100 mmHg y la PO₂ muscular es de aproximadamente 40 mmHg (un gradiente de presión de aproximadamente 60 mmHg, para ayudar a mover el oxígeno de la sangre al músculo).

Sin embargo, cuando se asciende a una altitud superior a los 1.500 m, este gradiente de presión disminuye. Por ejemplo, si se asciende a Phari, en el Tíbet, cerca de la frontera con Bután, se estará a una altitud de 4.300 m. Allí, la PO₂ arterial es de tan solo 42 mmHg y la PO₂ del tejido muscular es de tan solo 27 mmHg. Por lo tanto, hay una reducción del 75 %, de 60 mmHg a 15 mmHg, en el gradiente de difusión para llevar el oxígeno de la sangre a los tejidos musculares. Esto explica en parte por qué el ejercicio en altura es más desafiante.

¿A qué altitud vives y qué efecto tendrá esto en tu PO₂ arterial ?

Actividades de pensamiento

¿Por qué la radiación solar es más intensa a mayores altitudes?

Considerar:

- la luz del sol que viaja a través del aire menos denso en la altitud
- El agua en el aire absorbe radiación del sol.

Experimentos

Hay muy pocos estudios sobre los efectos de la altitud en las mujeres biológicas, los niños y los ancianos.

¿Cuáles son las implicaciones de esto?

Respuestas cardiovasculares a la altitud

La respuesta cardiovascular es importante porque transporta oxígeno desde los capilares pulmonares a los capilares sistémicos. El volumen plasmático disminuye progresivamente durante las primeras horas tras la llegada a la altura y esta disminución se estabilizará en semanas, principalmente debido a la pérdida de agua respiratoria y al aumento de la producción de orina.

En la meseta, esta disminución del volumen plasmático puede ser de alrededor del 25%. Inicialmente, la pérdida de plasma produce un aumento del hematocrito (porcentaje del volumen sanguíneo que está formado por glóbulos rojos que transportan oxígeno). Esto permite que se suministre más oxígeno a los tejidos corporales, incluidos los músculos, para un gasto cardíaco determinado. Con la ingestión de líquidos adecuados, esta disminución del 25% del volumen plasmático puede volver a la normalidad en semanas en la altitud.

La exposición continua a grandes altitudes hace que los riñones liberen más eritropoyetina (una hormona). Esto estimula la producción de glóbulos rojos (lo que genera un mayor volumen sanguíneo) y compensa parcialmente los efectos de la PO₂ más baja en la altura sobre el suministro de oxígeno.

En reposo y durante el ejercicio submáximo, un aumento del gasto cardíaco es otra forma que tiene el cuerpo de compensar la PO₂ (arterial) reducida que se experimenta en la altitud: aumenta el volumen de sangre hacia los músculos que trabajan.

Sin embargo, con el ejercicio submáximo, durante las primeras horas en altura, el volumen sistólico disminuye en comparación con los valores a nivel del mar. Esto se debe a la reducción del volumen plasmático. En estas primeras horas en altura, se produce un aumento desproporcionado de la frecuencia cardíaca al realizar ejercicio submáximo con el fin de aumentar el gasto cardíaco. Después de unos días en altura, la diferencia de oxígeno arterial-venoso aumenta, los músculos extraen más oxígeno de la sangre y la frecuencia cardíaca durante el ejercicio comienza a disminuir. En otras palabras, el suministro de oxígeno se vuelve más eficiente.

A gran altitud, tanto el volumen sistólico máximo como la frecuencia cardíaca máxima disminuyen durante el ejercicio máximo. Esto limita el suministro de oxígeno a los músculos y reduce la capacidad para realizar ejercicios aeróbicos de alta intensidad o prolongados.

Actividades de investigación

¿Por qué es importante consumir alimentos ricos en hierro antes y durante la exposición a la altura?

Considere lo que sucede con la producción de glóbulos rojos en la altura.

Preguntas de investigación

¿Por qué el volumen sistólico máximo y la frecuencia cardíaca máxima disminuyen durante el ejercicio máximo a gran altitud?

Considerar:

- volumen plasmático
- sistema nervioso simpático.

ejercicio. Por ejemplo, un estudio (Cheung, Ainslie, 2021) mostró que la $FC_{\text{máx}}$ disminuyó de 160 lpm-1 a nivel del mar a 118 lpm-1 a 8.848 m durante un ascenso simulado a la cima del monte Everest.

Puntos de pensamiento

La exposición aguda a la hipoxia se asocia con alteraciones del rendimiento mental. Esto puede afectar negativamente a las habilidades motoras, las tareas cognitivas y los sentidos, como el rendimiento visual y auditivo. Es importante que quienes están expuestos de forma aguda a la hipoxia, como el personal militar, los pilotos y los profesionales médicos a bordo, sean conscientes de ello.

Puntos de pensamiento

El efecto de la hipoxia sobre el sistema nervioso central puede acelerar la fatiga. Esto es una consecuencia de la menor PO_2 tisular sobre la función neuronal y una menor oxigenación cerebral (en comparación con cuando hay un suministro adecuado de oxígeno).

Metabolismo y necesidades nutricionales en altura

El metabolismo basal aumenta, pero el apetito disminuye cuando se asciende a gran altitud. Es importante garantizar una ingesta suficiente de alimentos (consumir las calorías adecuadas) para mantener el peso corporal en la altitud, de lo contrario, es probable que el peso corporal disminuya.

disminución del consumo de energía con
aumento de la tasa metabólica = déficit energético diario

No es raro observar déficits de energía diaria de hasta 500 kcal por día en personas con menos experiencia en altura. Además, en reposo y durante el ejercicio submáximo, hay una mayor utilización de carbohidratos para energía en altura. Esto es beneficioso porque la glucosa produce más energía que las grasas o las proteínas por litro de oxígeno, pero significa que las reservas de carbohidratos potencialmente se agotarán más rápidamente.

Al ascender a gran altitud, el cuerpo perderá líquidos de tres maneras:

- pérdida insensible de agua (a través de la piel) •
- el sistema respiratorio (ventilación de aire frío y seco)
- los riñones (aumento de la producción de orina).

Además, habrá una mayor pérdida de agua con el ejercicio porque la evaporación del sudor aumenta en el aire relativamente más seco de la altitud, por lo que es importante mantenerse bien hidratado.

Término clave

Consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2\text{max}}$)
La tasa máxima de un individuo
consumo de oxígeno, que representa la
capacidad aeróbica máxima.

Efecto de la altitud sobre el ejercicio y el rendimiento deportivo El consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_{2\text{max}}$) cuantifica la tasa máxima a la que un individuo puede tomar y utilizar oxígeno. El $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ha sido un "estándar de oro" internacional para evaluar la función cardiovascular-respiratoria (o aptitud aeróbica) desde que fue propuesto por Hill en 1923. El $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ha jugado un papel esencial tanto en el rendimiento deportivo como en el rendimiento físico.

Los deportes de competición y la agenda de salud pública, como la selección de deportistas talentosos, la planificación del entrenamiento y la estimación de la salud y los riesgos cardiovasculares. Estudiaremos el $\text{VO}_2\text{máx}$ con más detalle en los capítulos A.1.3 y A.2.3.

La altitud prácticamente no tiene ningún impacto en el $\text{VO}_2\text{máx}$ hasta aproximadamente los 1500 m, cuando la PO_2 cae por debajo de 131 mmHg. Por encima de los 1500 m, el $\text{VO}_2\text{máx}$ disminuye aproximadamente entre un 8 % y un 11 % por cada aumento de 1000 m (Figura 27). Puede haber una mayor tasa de disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$ a altitudes muy elevadas.

Durante el ejercicio en altura, el cuerpo del deportista debe adaptarse y responder tanto al ejercicio como a la hipoxia. Para entender esto, considere la saturación de oxígeno arterial: el porcentaje de sitios de unión disponibles en la hemoglobina que están unidos al oxígeno en la sangre arterial (SaO_2).

- A baja altitud, la SaO_2 en reposo se mantiene bien (alrededor del 98%). •

Alrededor de los 3000 m (altitud moderada), hay una ligera disminución de la SaO_2 en reposo hasta aproximadamente el 92%. •

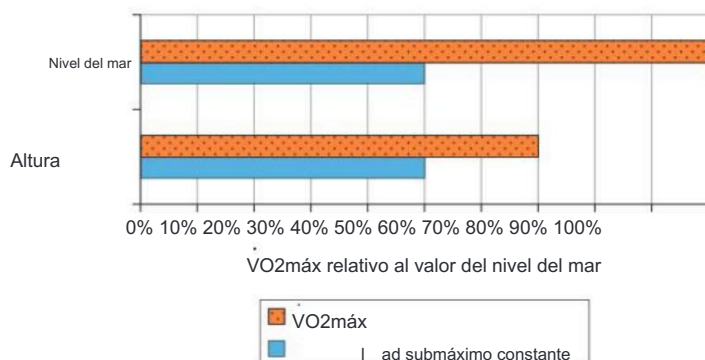
Aproximadamente a los 5000 m (altitud elevada), la SaO_2 en reposo cae hasta un 80%.

Esto, combinado con la reducción de la PO_2 , significa que hacer llegar oxígeno a los músculos esqueléticos que trabajan durante el ejercicio se vuelve más difícil a medida que aumenta la altitud.

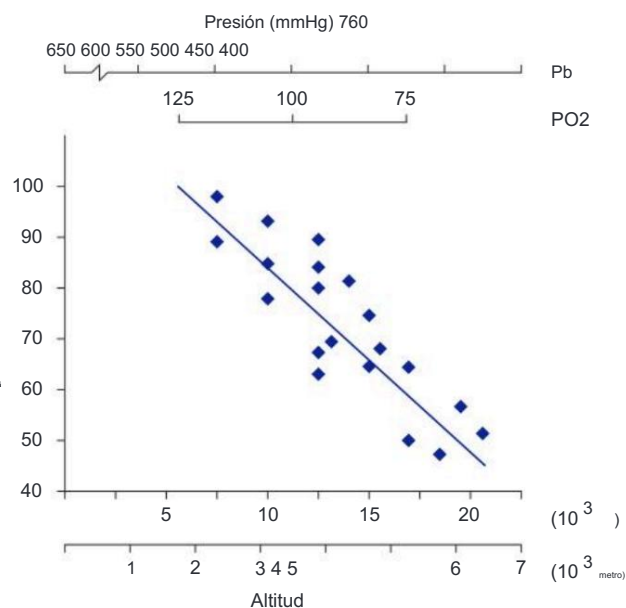
Por encima de una altitud moderada, hay menos oxígeno disponible en la sangre para el tejido muscular esquelético en ejercicio. Esto significa que, cuando se ejercita con la misma carga de trabajo absoluta a la altitud en comparación con el nivel del mar, un atleta experimenta una mayor intensidad de ejercicio relativa como resultado de la disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$.

La figura 28 muestra los efectos de esta disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$ durante el ejercicio submáximo a la misma potencia de salida, comparando el nivel del mar con la altitud elevada. Se puede observar cómo el atleta experimentaría un aumento en la intensidad relativa del ejercicio en la altitud. Es obvio que las actividades deportivas y de ejercicio que imponen demandas considerables en el transporte y la absorción de oxígeno para un rendimiento óptimo se verán afectadas por la menor disponibilidad de oxígeno para los tejidos (hipoxia) en la altitud. Esto significa que el rendimiento prolongado basado en la resistencia se verá afectado.

Por el contrario, la mayoría de las actividades de velocidad anaeróbica (de 2 minutos o menos) no se ven afectadas por la altitud, y el rendimiento de la velocidad puede mejorar debido a que el aire más fino proporciona menos resistencia a los movimientos de los atletas.



▲ Figura 28 La intensidad relativa del ejercicio aumenta al realizar el mismo trabajo submáximo a gran altitud en comparación con el nivel del mar.



▲ Figura 27 Cambios en el $\text{VO}_2\text{máx}$ con la reducción de la presión barométrica. Nótese que la disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$ comienza aproximadamente a los 1500 m.

Puntos clave

- La variabilidad interindividual en factores como la condición física, la edad, el sexo y el estado de aclimatación influirán en la respuesta fisiológica a la altitud.
- La capacidad aeróbica (representada por el $\text{VO}_2\text{máx}$) se reduce progresivamente al ascender a grandes altitudes.

VO₂max y gran altitud

El VO₂máx se reduce progresivamente al ascender a grandes altitudes. Se ha informado que el VO₂máx de la mayoría de las personas en la cumbre del Monte Everest (8.848 m) se acerca al nivel de consumo de oxígeno necesario para satisfacer las necesidades metabólicas basales. Esto plantea la pregunta: ¿era posible alcanzar

¿La cumbre sin oxígeno suplementario? En 1978, dos italianos, Reinhold Messner y Peter Habeler, escalaron la cima del monte Everest sin oxígeno suplementario, una hazaña que se ha repetido desde entonces, pero que sigue siendo inusual. ¿Por qué la mayoría de las ascensiones al monte Everest se realizan con oxígeno?



▲ Figura 29 Edmund Hillary y Tenzing Norgay (izquierda) y Reinhold Messner y Peter Habeler (derecha)

Puntos clave

- La ventilación es mayor en reposo y durante el ejercicio submáximo a gran altitud en comparación con el nivel del mar.
- La concentración de hemoglobina aumenta con la exposición a altitudes de aproximadamente 2.500 m y superiores.
- En cargas de trabajo submáximas, la frecuencia cardíaca (FC) aumenta tras la exposición inicial a la altitud.
- Con exposición prolongada a gran altitud (más de 1 semana),
La FCmáx se reduce en comparación con nivel del mar.



Actividad 6

1. Durante el ejercicio submáximo, ¿qué sucede con el volumen sistólico con el inicio?
¿Y la exposición prolongada a la altitud?
2. Durante el ejercicio submáximo, ¿pueden los músculos esqueléticos extraer oxígeno como
¿Es necesario satisfacer la demanda metabólica en la altitud?

Aclimatación y aclimatación a la altitud

Al ascender a grandes altitudes, es necesaria una aclimatación a velocidades de ascenso lentas para:

- evitar las enfermedades de altura
- mejorar el rendimiento cognitivo a valores cercanos al nivel del mar
- mejorar el rendimiento del ejercicio submáximo.

La exposición previa a la hipoxia a una altitud real (aclimatación) o en una cámara de altitud simulada (aclimatación) puede ayudar a este proceso. Una cámara de altitud (Figura 30) imita aspectos de dichos entornos (por ejemplo, la hipoxia) para preparar a las personas para la exposición a la altitud.

Las pautas de aclimatación establecen que no se debe superar una tasa de ascenso de 500 m de desnivel por día por encima de los 2500 m. Además, se deben incluir días de descanso adicionales por cada ascenso adicional de 1000 a 1500 m.

La aclimatación en una cámara de altitud (mientras se reside en casa o cerca de ella) se ha convertido en una alternativa atractiva para muchos atletas, por diversas razones, entre ellas:

- menor costo
- reducción de los riesgos para la salud asociados a la exposición a entornos montañosos (como el mal de montaña)
- el proceso puede ser "personalizado" (es decir, adaptado a las respuestas individuales de cada atleta a la hipoxia).



▲ Figura 30 Cámara hipóxica (altitud simulada)

Reflexiones de pensamiento

El fenómeno transitorio de la aclimatación es distinto del concepto de adaptación, que se refiere a las características presentes en los residentes a gran altitud durante mucho tiempo. ¿Estas características (como los rasgos hematológicos, respiratorios, circulatorios, metabólicos y de desarrollo) se deben a factores ambientales que actúan durante el crecimiento temprano o a causas genéticas?

Adaptaciones clave con la exposición crónica a la altitud

Ventilación

Al llegar a la altura, se produce un aumento de la ventilación en reposo y durante el ejercicio submáximo, tanto a través de un aumento del volumen corriente (VT) como de la frecuencia respiratoria (F_R), y hay evidencia de variación individual (personas que responden frente a personas que no responden). El aumento en los niveles de reposo se produce en días, pero esta mayor ventilación puede tardar semanas en alcanzar el nivel máximo durante el ejercicio submáximo, y es más pronunciada a intensidades de ejercicio más altas.

Sangre

A las pocas horas de llegar a la altitud, la concentración de eritropoyetina (la hormona que estimula la producción de glóbulos rojos) en la sangre aumenta (y continúa aumentando durante 2-3 días), y durante las primeras 2 semanas en la altitud, aumenta el número de glóbulos rojos (que transportan oxígeno y dióxido de carbono hacia y desde los tejidos). Con el paso de los meses, el volumen sanguíneo total aumenta (↑volumen de glóbulos rojos y ↑volumen plasmático) y, junto con el aumento de la concentración de hemoglobina (dentro de las 24 horas posteriores a la llegada a la altitud), estas adaptaciones mejoran la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

Músculo

En general, la exposición prolongada a la altitud provoca pérdida de peso y cambios en la composición corporal (reducción del tejido muscular magro (área transversal de la fibra muscular) y de la grasa corporal). Los estudios han informado de una reducción del apetito, un aumento de la tasa metabólica basal y una notable pérdida de peso con la exposición prolongada a grandes altitudes. Hay una mayor densidad capilar en los músculos, lo que permite un mayor suministro de sangre y oxígeno a las fibras musculares, pero disminuye la velocidad a la que las enzimas oxidativas pueden llevar a cabo reacciones. La capacidad para realizar trabajo y ser más activo mejora con el tiempo con la aclimatación a la altitud. Sin embargo, para cualquier carga de trabajo dada, la intensidad relativa del ejercicio aumenta a medida que se reduce la presión parcial de oxígeno. Aunque la disminución del VO₂máx observada con el aumento de la altitud mejora, no vuelve a los valores de VO₂máx a nivel del mar.

Reflexiones de pensamiento

Tenga en cuenta que el aumento del volumen plasmático no significa que vuelva a Valores del nivel del mar. ¿Por qué no?

Reflexiones de pensamiento

¿Dónde se produce la eritropoyetina?

Punto clave

El hematocrito es el porcentaje de células o elementos formados en el total volumen de sangre. Como más del 99% de las células o elementos formados son glóbulos rojos, el porcentaje del volumen sanguíneo total compuesto por glóbulos rojos se denomina hematocrito. Residentes a nivel del mar tienen un hematocrito promedio de alrededor del 45% al 48%, pero los residentes de grandes altitudes tienden a tener un hematocrito promedio del 60% al 65%.



Teorías

Entrenamiento de altura

Muchos de los cambios fisiológicos beneficiosos derivados de la aclimatación a la altitud (como la mejora del aporte de oxígeno a partir de los \uparrow glóbulos rojos y la \uparrow hemoglobina) son similares a las mejoras que se obtienen con el entrenamiento aeróbico cerca del nivel del mar. Muchos de los cambios beneficiosos derivados de la exposición a la altitud son transitorios para los habitantes de las tierras bajas que van a la altitud; en otras palabras, los cambios solo duran unos pocos días cuando regresan al nivel del mar.




Entonces, ¿el entrenamiento en altitud mejora el rendimiento a nivel del mar?

El método original de entrenamiento en altura era el de vivir en altura, entrenar en altura (LHTH, por sus siglas en inglés): los atletas viven y entrenan a una altitud moderada (entre 2000 y 3000 m). Pero la mayoría de los atletas no pueden entrenar con la misma intensidad (y volumen) cuando se encuentran en un entorno hipóxico (altitud) que cuando entrenan a nivel del mar. Si entrenan en altura, los atletas pueden perder las adaptaciones asociadas con el entrenamiento de alta intensidad. Esto puede empeorar si se tienen en cuenta otros factores, como \uparrow deshidratación, \downarrow volumen sanguíneo y \downarrow masa muscular.

Por lo tanto, muchos atletas viven durante períodos a una altitud moderada, pero van a entrenar a nivel del mar (cerca del mismo), es decir, viven en altura y entrenan a baja altura (LHTL, por sus siglas en inglés). La LHTL se ha convertido en la forma popular de obtener los beneficios de la aclimatación a la altura sin comprometer la intensidad del entrenamiento. Numerosos estudios muestran los beneficios del LHTL en el rendimiento.

El desarrollo de instalaciones hipóxicas ha permitido a los atletas vivir a baja altitud y entrenar a gran altitud (LLTH, por sus siglas en inglés). Con LLTH, los atletas viven a nivel del mar y reciben exposición intermitente a la hipoxia (altitud simulada) ya sea en reposo o durante las sesiones de entrenamiento físico.

En la actualidad, los atletas de élite utilizan diversos formatos de entrenamiento en altura. Entre ellos, se incluyen el método original de entrenamiento en altura (LHTH) y el LHTH a intensidad moderada, el entrenamiento a baja intensidad a alta intensidad (LHTHm TLh), que es popular entre los atletas de pista y campo de élite, donde la intensidad moderada se define como por debajo del umbral de lactato y la intensidad alta como por encima del umbral de lactato.

	Tren Alto \uparrow mejoras cardiorrespiratorias	Tren bajo \uparrow intensidad del entrenamiento
Viva Alto \uparrow glóbulos rojos \uparrow hemoglobina \uparrow capilares del músculo esquelético	LHTH método de entrenamiento original 	Los LHTL obtienen los beneficios de la altitud sin comprometer la intensidad del entrenamiento 
Vivir bajo \uparrow hidratación \uparrow volumen sanguíneo \uparrow masa muscular	LLTH posible con el uso de una cámara de simulación de altitud 	

▲ Figura 31 Beneficios fisiológicos potenciales de los métodos de entrenamiento en altitud LHTH, LHTL y LLTH

Todavía no hay consenso sobre cuál es el mejor enfoque del entrenamiento en altura, en función de los patrones de respuesta individuales, para lograr un rendimiento óptimo. De hecho, sigue habiendo cierto escepticismo en algunos sectores de la comunidad científica sobre la eficacia del entrenamiento en altura en el rendimiento; la literatura al respecto es equívoca. Por ejemplo, ¿las mejoras de rendimiento que logran los atletas de élite después de la LHTH se deben a la altitud o a la falta de ella?

¿Entrenamiento? La estandarización de las métricas de dosis hipóxicas y el diseño mejorado de los estudios de investigación (incluidos los controles apropiados) podrían ayudar a establecer mejores pautas para el entrenamiento en altura. Sin embargo, hasta ahora, la literatura no proporciona respuestas claras sobre qué forma de entrenamiento en altura es mejor para mejorar el rendimiento de todos los atletas.





Para los deportistas de élite quedan dos preguntas.

- ¿A qué altura y durante cuánto tiempo debo utilizar el entrenamiento en altura?
¿Para lograr beneficios en el rendimiento?

- Para obtener una mejor respuesta del entrenamiento en altura,
¿Por cuánto tiempo se mantendrá al regresar a baja altitud?



Experimentos

La mayoría de los estudios sobre entrenamiento en altura que demuestran una mejora en el rendimiento de los atletas de élite se han realizado sin un grupo de control y no pueden tener en cuenta el posible sesgo de los efectos placebo. ¿Cuáles son las implicaciones de esto?

Reflexiones de pensamiento

Puede llevar varias semanas (posiblemente más) lograr una aclimatación total a la altitud. Entonces, ¿cuáles son las implicaciones para los atletas que viven cerca del nivel del mar y compiten en un evento importante que se lleva a cabo a una altitud moderada?

Considere el uso de condiciones controladas en interiores o laboratorios para simular un entorno de altitud (como hipoxia o frío) para preparar a los atletas para competir a una altitud moderada.

Reflexiones de pensamiento

¿Por qué la LHTH no ha recibido el mismo grado de investigación científica que la LHTL y la LLTH?

Puntos clave

Los principales beneficios de la aclimatación son:

- proteger contra el mal de altura agudo
- mejorar el rendimiento cognitivo a valores cercanos al nivel del mar
- mejorar el rendimiento del ejercicio submáximo.

Punto clave

La aclimatación disminuye los efectos de la reducción de PO₂ a medida que el oxígeno se transporta a través del cuerpo desde el aire exterior a los tejidos.

Incluso en la persona mejor aclimatada, la PO₂ tisular no puede alcanzar los valores del nivel del mar y el rendimiento físico se ve afectado.

Preguntas de práctica

1. El Marathon des Sables es una carrera de 6 días y 250 km por el desierto del Sahara a temperaturas que alcanzan los 50 °C. Describe cómo puede aclimatarse un atleta cuando se prepara para la carrera. (4 puntos)
2. Analice los posibles beneficios del enfoque de vivir alto, entrenar bajo (LHTL) para el entrenamiento en altitud. (4 puntos)

Resumen

- La contracción muscular tiene una eficiencia de sólo un 20%, aproximadamente. Aproximadamente el 80% de la energía se libera en forma de calor. Este calor debe eliminarse del cuerpo para evitar el sobrecalentamiento.

- La temperatura corporal central aumenta durante el ejercicio y la intensidad del ejercicio determina el tamaño del aumento.

- El centro de control para la regulación de la temperatura es el hipotálamo, ubicado en el cerebro.

- Cuatro factores contribuyen a la pérdida de calor: radiación, conducción, convección y evaporación.

- La evaporación es responsable de casi toda la pérdida de calor durante el ejercicio y a temperaturas ambientales elevadas.

- La efectividad de la pérdida de calor por evaporación se reduce significativamente en ambientes cálidos y húmedos.

- Los tres factores que influyen en la vaporización del sudor de la piel son:

- la cantidad de superficie corporal expuesta al aire
- La temperatura del aire ambiente
- La humedad relativa.

- La sudoración excesiva sin reposición de líquidos puede provocar deshidratación.

- La homeostasis es una tendencia hacia un equilibrio relativamente estable, ambiente interno constante.

- La homeostasis se obtiene generalmente mediante mecanismos de retroalimentación negativa.

- La homeostasis está influida por la concentración de dióxido de carbono.

- El pH se controla a través del centro de control respiratorio del cerebro y de los quimiorreceptores de todo el cuerpo.

- La regulación del corazón depende de factores intrínsecos y extrínsecos. excitación.

- La regulación de la temperatura corporal mantiene la temperatura corporal central alrededor de 37 °C.

- La regulación de la glucosa en sangre depende de la insulina y el glucagón.

- La aclimatación al calor produce un núcleo en reposo más bajo. temperatura, mayor volumen plasmático y mayor tasa de sudoración, que mejoran la capacidad de ejercicio y reducen las molestias durante la exposición al calor.

- Los calambres por calor, el agotamiento por calor y el golpe de calor son Principales riesgos de enfermedades causadas por el calor durante el ejercicio en ambientes cálidos (y húmedos).

- Durante el estrés por frío el cuerpo:

- Inicialmente contrae los vasos sanguíneos en la parte exterior del cuerpo para evitar la pérdida de calor.
- Comienza la respuesta de temblor para producir calor, si ha habido demasiada pérdida de calor.

- En ambientes de aire frío, el ejercicio intenso puede producir suficiente calor para mantener la temperatura corporal central.

- La grasa proporciona un aislamiento extremadamente bueno contra el frío. estrés.

- Tanto la temperatura ambiente como el viento influyen en la frialdad de un ambiente.

- El agua conduce el calor más rápido que el aire y esto tiene efectos graves si la ropa está mojada durante el ejercicio en aire frío o si se sumerge en agua fría.

- Cuando se asciende a una altitud se reducen los límites de PO₂ y/o perjudica el rendimiento.

- La exposición aguda a altitudes elevadas o extremas puede poner en peligro la vida.

Comprueba tu comprensión

Después de leer este capítulo, usted debería poder:

- esquema de la homeostasis
- discutir el control de la homeostasis
- esbozar la regulación del corazón
- discutir la regulación de la glucosa en sangre
- discutir la regulación de la temperatura corporal
- identificar la temperatura, la humedad y la altitud como factores que afectan el estrés térmico individual
- introducir el desafío del ejercicio en ambientes cálidos y húmedos o fríos
- explicar el impacto de la altitud en el rendimiento del ejercicio
- explicar algunos aspectos del proceso de aclimatación.

Preguntas de autoaprendizaje

- Indique qué vía de pérdida de calor corporal es más importante para controlar la temperatura corporal durante el ejercicio.
- Describa el papel de la respuesta del temblor a la exposición al frío como mecanismo para ayudar a generar calor corporal.
- Explique la relación entre la pérdida de peso corporal y la deshidratación. Durante el ejercicio.
- Comenta cómo prepararías a tu selección nacional de fútbol para competir en un entorno cálido y húmedo.
- Explique por qué la alta humedad es un factor importante cuando se trabaja en ambientes cálidos.
- Se han reportado tasas de sudoración de hasta 3,5 l/h-1. En deportistas entrenados, por cada ml de agua que se evapora de la superficie corporal se pierden 2,43 kJ de calor.
 - ¿Cuánto calor se pierde por 1 l de sudor que se evapora?
 - Describe el papel de la sudoración en la termorregulación.
- Describa por qué es probable que la vasoconstricción en los capilares de la piel durante la exposición al frío tenga un efecto perjudicial en el rendimiento.
- Explique por qué las personas mayores podrían ser menos tolerantes al frío que los jóvenes.
- Distinguir entre calambres por calor y golpe de calor.
- Describe las adaptaciones fisiológicas que permiten a una persona aclimatare al ejercicio en el calor.
- Describa cómo el cuerpo minimiza la pérdida excesiva de calor durante la exposición a ambientes fríos.
- ¿Qué impacto tiene el ejercicio en un ambiente caluroso? ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) ¿tiene sobre el metabolismo de los carbohidratos?
- Describe cómo las condiciones de altitud podrían limitar el ejercicio. actuación.
- Describe cómo preparar un equipo de fútbol para una competición en gran altitud.

bh



Pregunta basada en datos

Se estudió el rendimiento de dos grupos de ciclistas entrenados en un ambiente cálido (40°C). El grupo A sufrió agotamiento antes y después de un programa de entrenamiento de aclimatación de 10 días en un ambiente cálido (40°C). El grupo B (control) sufrió agotamiento antes y después de un programa de entrenamiento idéntico de 10 días que se llevó a cabo en un ambiente frío (13°C).

▼ Tabla 1 Adaptado de Lorenzo et al. (2010)

	Grupo A		Grupo B	
	Antes	Despues	Antes	Despues
VO2máx (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	53	59	53	54
Trabajo de contrarreloj realizado (kJ)	709	762	735	714

El VO2máx medio y la cantidad de trabajo realizado durante una contrarreloj de ciclismo de 60 minutos en un ambiente cálido (40°C) para ambos grupos se muestran en la Tabla 1.

- Indique qué grupo tuvo el VO2máx más alto: a. antes del programa de entrenamiento de 10 días (1 punto)
b. después del programa de capacitación de 10 días. (1 punto)
- Identifica qué grupo muestra el mayor cambio en los resultados de su trabajo contrarreloj, antes y después del programa de entrenamiento de 10 días. (1 punto)
- Analice las adaptaciones fisiológicas que ocurren con la aclimatación al calor. (3 puntos)