

**SCUBAPRO** DEEP DOWN YOU WANT THE BEST



EL BUCEO ES MÁS SEGURO Y MEJOR  
CUANDO SE MIDE LA FRECUENCIA CARDIACA

## ÍNDICE

- 03 - Medida de la frecuencia cardiaca durante la inmersión
- 04 - ¿Cómo se mide la frecuencia cardiaca?
- 05 - Frecuencia cardiaca en reposo: ¿por qué factores se ve afectada?
- 06 - Gasto cardiaco, presión arterial y carga de trabajo
- 09 - Influencia de la posición del cuerpo en la frecuencia cardiaca
- 10 - Variación de la frecuencia cardiaca con la respiración
- 11 - La frecuencia cardiaca en apnea
- 12 - Equilibrio hídrico y frecuencia cardiaca
- 13 - Ritmo cardiaco, calor y frío
- 14 - Por qué la excitación acelera el corazón
- 14 - Indicador de entrenamiento de la frecuencia cardiaca
- 15 - Entrenamiento y consejos
- 18 - Glosario



## MEDIDA DE LA FRECUENCIA CARDIACA DURANTE LA INMERSIÓN

La frecuencia cardiaca es un indicador importante del aumento del esfuerzo. Esto se sabe desde hace tiempo. El sector del deporte ha reaccionado y ofrece un arsenal de productos para que los deportistas ambiciosos analicen y evalúen su entrenamiento. Tanto si se trata de un aficionado a quien le apasiona el deporte, un corredor de maratón profesional o simplemente una persona jubilada que se preocupa por su salud, hoy en día los cardiofrecuencímetros constituyen casi un elemento habitual del equipamiento. Así pues, ¿por qué no utilizar esta tecnología también en el buceo? Con la ayuda de un cardiofrecuencímetro el buceador puede asimismo controlarse el pulso durante la inmersión y, de este modo, aumentar su seguridad. La observación de la frecuencia cardiaca permite al buceador evaluar mejor la carga de trabajo y reaccionar a tiempo ante un incremento del estrés. Asimismo, la medición de la frecuencia cardiaca le permitirá entrenarse específicamente de antemano con el fin de aumentar su resistencia.

Dado que un mayor esfuerzo en aguas profundas aumenta la circulación y esto, a su vez, incrementa la absorción de nitrógeno, el control de la frecuencia cardiaca se puede utilizar también para calcular con una precisión aún mayor los tiempos de descompresión y aumentar todavía más la seguridad. Por estos motivos, los ordenadores SCUBAPRO no solo indican la profundidad, el tiempo restante sin descompresión y las paradas de descompresión sino que, además, informan continuamente al buceador de su frecuencia cardiaca, es decir, del esfuerzo personal, que, a su vez, es un factor determinante para el cálculo de otros parámetros de la inmersión.

No obstante, hay varios factores que se deben tener en cuenta cuando se utiliza el cardiofrecuencímetro durante la inmersión. Este folleto le ayudará a entender mejor la cuestión de fondo y, por lo tanto, a extraer las conclusiones correctas de las mediciones de la frecuencia cardiaca. De este modo podrá hacer un uso óptimo de esta innovadora tecnología que está integrada en la mayoría de los ordenadores SCUBAPRO.

Para facilitar y agilizar el uso y la comprensión de este folleto en la medida de lo posible, el índice lo constituyen las preguntas que se suelen plantear en relación con la frecuencia cardiaca, la forma física y el submarinismo. De esta manera, a cualquier buceador interesado le bastará un vistazo rápido al índice para encontrar el capítulo que contiene la respuesta a su pregunta.

¡Escuche su corazón!  
 Muchas inmersiones intensas:  
 Dr. Uwe Hoffmann  
 Dr. Tobias Dräger y  
 Jörn Kießler (editor)



## ¿CÓMO SE MIDE LA FRECUENCIA CARDIACA?

La frecuencia cardiaca se puede medir de muchas maneras. Un aficionado se puede medir la frecuencia cardiaca en la arteria de la muñeca o en la carótida, por ejemplo, y contarla durante un tiempo determinado, por lo general 15 segundos. También se puede escuchar los latidos del corazón acercando el oído al pecho de otra persona. En la práctica médica, la frecuencia cardiaca se suele medir mediante un electrocardiograma (ECG). Cada latido del corazón produce una señal eléctrica medible. Con al menos dos electrodos, uno a cada lado del corazón, esta señal se puede medir desde el exterior del cuerpo.

Muchos de los cardiofrecuencímetros deportivos que se utilizan aplican esta técnica e incorporan los electrodos en correas pectorales. Los dispositivos electrónicos situados en la correa pectoral detectan el impulso eléctrico que produce cada latido. El impulso registrado se transmite como señal al receptor, p. ej. un cardiofrecuencímetro, y después se analiza. Para esta aplicación es esencial que los dos electrodos permanezcan en contacto con el pecho en todo momento.

### DURANTE LA INMERSIÓN

Estos son exactamente los principios de medición que se utilizan en los ordenadores SCUBAPRO. Con una correa pectoral impermeable provista de dos electrodos, se puede detectar el impulso eléctrico de los latidos del corazón bajo el agua.

No obstante, los datos no se envían a un cardiofrecuencímetro, sino al ordenador de buceo. Y el ordenador hace exactamente lo mismo que un cardiofrecuencímetro, por ejemplo, mientras la persona corre: muestra

la frecuencia cardiaca del buceador en ese momento. Por supuesto, también guarda los datos de modo que, después de la inmersión, es posible reconstruir con precisión en qué punto era especialmente alta o baja la carga de trabajo. Una característica especial de los ordenadores SCUBAPRO, que no incorpora ningún cardiofrecuencímetro normal ni ningún ordenador de buceo convencional, es que la frecuencia cardiaca del buceador se tiene en cuenta en el cálculo del tiempo restante sin descompresión, en las paradas de descompresión y en los tiempos de ascenso. En lugar de depender de un solo algoritmo, se utilizan los datos personales del momento.

Con este fin, los ordenadores SCUBAPRO indican la mediana de la frecuencia cardiaca durante un periodo determinado, por ejemplo cada cuatro segundos. Con esta técnica es posible medir la frecuencia cardiaca en reposo y durante el esfuerzo físico de manera fácil y sin interferir en la actividad de la persona.



► **Medición de la frecuencia cardiaca con la correa pectoral durante la inmersión**

## FRECUENCIA CARDIACA EN REPOSO: ¿QUÉ FACTORES LA AFECTAN?

¿Qué es exactamente la frecuencia cardiaca en reposo y qué factores influyen en ella? La frecuencia cardiaca en reposo es la frecuencia cardiaca de una persona cuando no está realizando ejercicio físico. Para determinarla de manera fiable, la frecuencia cardiaca en reposo se debe medir siempre en condiciones comparables. Los factores importantes son la hora –se suele determinar por la mañana cinco minutos después de despertar– y la posición del cuerpo. Lo ideal es que la persona permanezca tendida en la cama durante la medición. Los resultados más fiables se obtienen mediante un cardiofrecuencímetro, también en este caso. Si no se dispone de ninguno, se pueden contar los latidos del corazón en 20 segundos y extrapolarlos a un minuto, es decir, multiplicar el número por tres. No obstante, si se mide la frecuencia cardiaca usted mismo, debe tener presente que incluso el hecho de contar influye en la frecuencia cardiaca. Lo importante es que el método de medición tiene que ser siempre el mismo.

Por otra parte, la medida de la frecuencia cardiaca en reposo le proporciona un valor que le permite compararse fácilmente con otras personas. No obstante, el papel de la frecuencia cardiaca en reposo como indicador de la carga de trabajo total es mucho más importante. Para el esfuerzo, tanto en inmersión como en la superficie, la frecuencia cardiaca en reposo sirve de punto de referencia para evaluar y clasificar el esfuerzo agudo.

Naturalmente, no todo el mundo tiene la misma frecuencia cardiaca, puesto que cada persona es diferente. Y son precisamente estas diferencias las que influyen en las respectivas frecuencias cardiacas. Por ejemplo, la edad, la altura del cuerpo (no solo la posición de este) y el tamaño del corazón son tres de las características que explican las diferencias de los valores entre distintos individuos. Por ejemplo, el esfuerzo realizado el día anterior,

la dieta, la ingesta de líquidos, la hora del día, las condiciones ambientales (temperatura, humedad, altitud) y la posición del cuerpo son factores que influyen en la frecuencia cardiaca. Pero también los cambios agudos afectan a la frecuencia cardiaca en reposo. Por ejemplo, la respiración afecta siempre a la frecuencia cardiaca en reposo. Afecta a la frecuencia cardiaca por su impacto en el suministro de sangre al corazón y la expulsión de sangre desde este.

Entre otras cosas, una frecuencia respiratoria elevada –debido a la excitación, por ejemplo– incrementa la frecuencia cardiaca. Después de un esfuerzo, la frecuencia cardiaca de una persona entrenada para la resistencia vuelve a su nivel basal más rápidamente que la frecuencia cardiaca de una persona no entrenada.



► **Recuperación de la frecuencia cardiaca basal según el entrenamiento**

### DURANTE LA INMERSIÓN

La frecuencia cardiaca en reposo indica «el límite inferior» que un buceador podría alcanzar. Seguramente no se inicia ninguna inmersión con la frecuencia cardiaca en reposo «real», puesto que el solo hecho de ponerse el equipo ya representa suficiente esfuerzo para incrementarla.

Conociendo además el valor máximo, podrá al menos definir el margen dentro del cual fluctúa la frecuencia cardiaca. De este modo, el ordenador SCUBAPRO le indicará su nivel de esfuerzo en el momento sobre la base de criterios totalmente objetivos. Tenga presente no obstante que, especialmente en el agua, es fácil que se produzca temporalmente una frecuencia cardiaca inferior a la frecuencia cardiaca real en

reposo. ¿Por qué? Sencillamente porque las variables medioambientales básicas alteran y afectan al cuerpo al sumergirse en el agua. La suma de los efectos que se describen a continuación reducen la frecuencia cardiaca en inmersión.

Esta disminución se debe tener en cuenta al interpretar las variaciones de la frecuencia cardiaca.

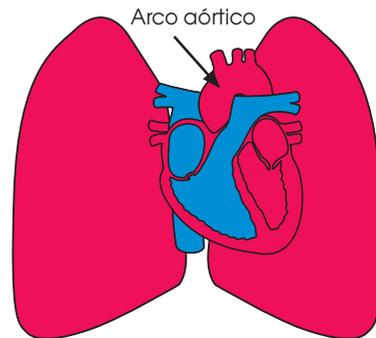
## GASTO CARDIACO, PRESIÓN ARTERIAL Y CARGA DE TRABAJO

El corazón está encajado entre los dos pulmones y funciona como una bomba hidráulica: la sangre, controlada por válvulas, es aspirada a través de las venas cavas superior e inferior por el lado derecho del corazón, se carga con oxígeno en el pulmón y se impulsa otra vez a través de una gran arteria (la aorta) desde el lado izquierdo del corazón.

Para el cuerpo, la frecuencia cardiaca es, en realidad, un factor secundario. No hay manera de que el cuerpo fije directamente la frecuencia cardiaca. Al igual que el acelerador de un coche, la frecuencia cardiaca óptima en un momento preciso viene determinada por otros factores. Por ejemplo, nunca conduciremos a la velocidad máxima por una ciudad en hora punta. Tampoco nos arrastraremos nunca por una autopista vacía a 20 kilómetros por hora. Así pues, al igual que el estado del tráfico determina la velocidad de un coche, el suministro a los tejidos –en particular de oxígeno– es esencial para el organismo. Si los tejidos están utilizando mucho oxígeno, el corazón pisa el acelerador para bombear a los tejidos una determinada cantidad de sangre por unidad de tiempo. Por lo tanto, el factor crítico es el gasto cardiaco, es decir, la cantidad de sangre que se bombea al cuerpo en un minuto, por ejemplo.

Un segundo factor es la distribución de la sangre en el cuerpo. Esta se mide por la presión arterial, la cual puede ser determinada por el organismo mediante el grado de dilatación de los vasos sanguíneos.

El funcionamiento del sistema no podría ser más sencillo. En cuanto se presentan signos de circulación insuficiente, los mecanismos de compensación se ponen en marcha. El cuerpo reacciona a la inminente falta de suministro.



► Diagrama: Sistema cardiopulmonar

Los sensores y el sistema nervioso central comunican al cuerpo una «situación de emergencia». En concreto, se procesa información procedente de los órganos centrales, como el propio cerebro. Existen dos mecanismos de compensación:

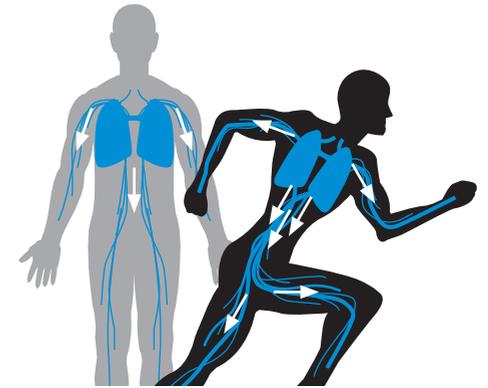
- A nivel periférico, se puede mejorar la circulación abriendo los vasos arteriales, es decir, el cuerpo aporta sangre con canales de suministro lo más grandes posible. Volviendo al símil del coche: el cuerpo despeja la autopista para que circule la sangre. De este modo, puede llegar rápidamente a las áreas donde falta.
- A nivel central, el gasto cardiaco se puede incrementar aumentando el volumen sistólico o la frecuencia cardiaca: el cuerpo pisa el acelerador.

Una medida especial de la interacción entre la circulación local y el gasto cardiaco es la presión arterial. La presión arterial determina la velocidad del flujo sanguíneo y, por lo tanto, la velocidad con que las sustancias son transportadas de ida y de vuelta. Si se las arterias se dilatan y ofrecen menos resistencia al flujo, el gasto cardiaco tiene que aumentar para mantener la presión arterial: la frecuencia cardiaca aumenta.

Si la presión arterial es alta, es decir, si las arterias se contraen, se da el proceso inverso. En ese caso, la frecuencia cardiaca disminuye. Teniendo en cuenta estos hechos, vale la pena estudiar con más detalle la reacción del sistema cardiovascular a un aumento de la actividad muscular. Porque aquí entra en juego un caso especial.

### ACTIVIDAD MUSCULAR

Cuando los músculos se flexionan, los vasos próximos se comprimen y se incrementa la resistencia que ofrecen. Esto debería provocar un incremento excesivo de la presión arterial, por lo que la frecuencia cardiaca se debería reducir en consecuencia. Sin embargo



► Si la carga de trabajo es elevada, es necesario transportar más oxígeno a los músculos y los vasos se dilatan.

sucede lo contrario, ya que la actividad física activa procesos complejos en el cerebro que producen variaciones de la presión arterial. El proceso metabólico provocado por la contracción, los metabolitos producidos y el mayor impacto del sistema nervioso simpático generan otros cambios que incrementan la frecuencia cardiaca. Esto es así porque, cuando el nivel de esfuerzo físico aumenta, los músculos activos necesitan que se les suministre más sangre. Los nutrientes, y especialmente el oxígeno, se necesitan en mayores cantidades; los metabolitos, especialmente el ácido láctico y el dióxido de carbono, así como el calor, tienen que eliminarse. Para ello es necesario un mayor gasto cardiaco.

Dado que el volumen sistólico (la cantidad de sangre que expulsa el corazón en cada contracción) limita la capacidad de aumentar el gasto cardiaco, el consiguiente incremento de la demanda se compensa principalmente mediante la frecuencia cardiaca. La regla empírica es la siguiente: el aumento de la frecuencia cardiaca es proporcional al metabolismo.

Volvamos otra vez al símil del coche: En un coche (la sangre), unos pasajeros (oxígeno y metabolitos) tienen que ser transportados rápidamente al lugar solicitado (músculos). Como el coche apenas se puede agrandar (volumen sistólico limitado) y por lo tanto puede acomodar solamente a un número limitado de pasajeros, el piloto (corazón) tiene que hacer más viajes y, por lo tanto, pisa más el acelerador (frecuencia cardiaca). Los responsables de la reacción a dichos cambios (cuya causa puede ser no solo un esfuerzo temporal intenso sino también un cambio de posición) son los barorreceptores situados en el arco aórtico y en la bifurcación de la carótida. Suministran la información necesaria que el sistema nervioso central procesará para adaptar rápidamente la presión arterial a la nueva situación. No obstante, un factor también fundamental es si se trata de un esfuerzo estático realizado durante un período más largo o bien de un esfuerzo dinámico que conlleva un aporte continuo de sangre a los músculos. Este tipo de actividad muscular se da en todos los tipos de locomoción y, por lo tanto, también en la natación con aletas. El nivel de rendimiento es el factor decisivo para la determinación de la frecuencia cardiaca: si una persona nada más rápido o tiene que luchar contra una fuerte corriente, necesita más oxígeno en los músculos activados que una persona que nada tranquilamente sobre un arrecife de coral con movimientos ocasionales de las aletas.

Esta mayor demanda de oxígeno no significa que el ritmo respiratorio deba aumentar inmediatamente para incrementar la absorción de oxígeno, sino que es necesario transportar más oxígeno a los músculos utilizados.

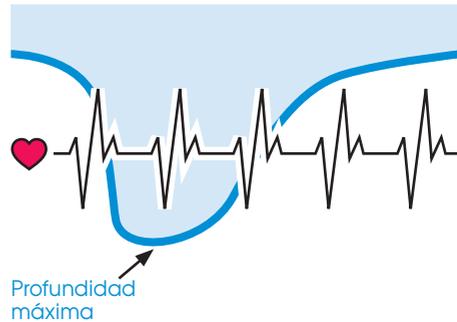
### DURANTE LA INMERSIÓN

En las dos páginas anteriores hemos explicado qué medios utiliza el cuerpo para adaptarse a ciertas situaciones.

Por supuesto, estos mecanismos actúan también en el buceo, tanto antes de sumergirse como durante la inmersión. El primer esfuerzo suele ser el de acarrear y ponerse el equipo pesado; en ello trabajan no solo los músculos, sino también el sistema cardiovascular.

Aún más fatigoso resulta estar en el agua con el equipo puesto, lo que supone una fuerte resistencia del agua (mucho mayor que la resistencia del aire cuando se corre o se monta en bicicleta) y nadar con las aletas, lo que supone un esfuerzo de los músculos y el corazón.

Evidentemente, cuanto más rápido nademos, más esfuerzo físico realizaremos. Pero esta relación depende también en gran medida del equipo de buceo que llevemos y de la técnica de movimiento que utilicemos. Un buceador que posee una técnica de natación con aletas refinada y económica necesita mucho menos esfuerzo para nadar a la misma velocidad que un nadador con menos entrenamiento. Sin embargo, en este contexto la frecuencia cardiaca no se puede utilizar como indicador del valor metabólico absoluto. La frecuencia cardiaca es una herramienta útil para medir y observar variaciones de la forma física, pero no es la mejor ni la única.



► La frecuencia cardiaca es independiente de la profundidad

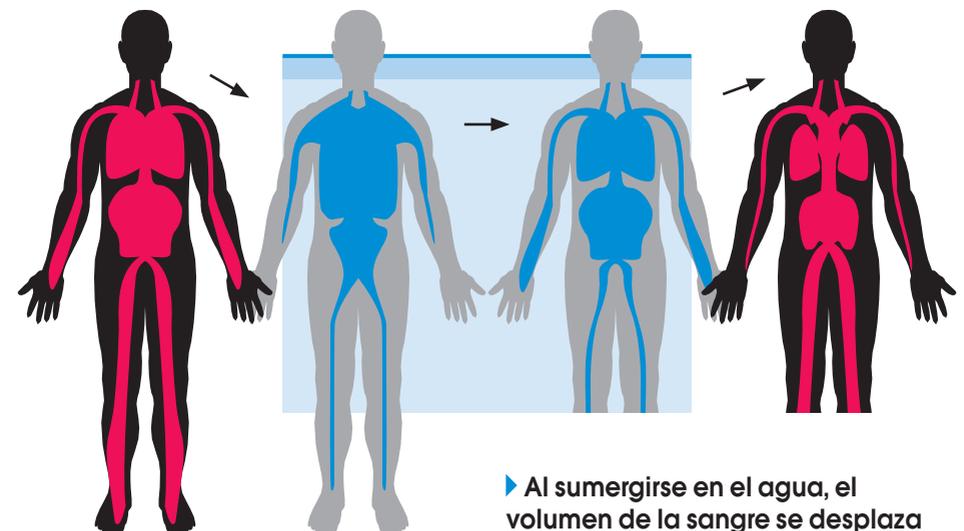
## INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL CUERPO EN LA FRECUENCIA CARDIACA

La posición del cuerpo afecta también al ritmo cardiaco. En particular, determina el retorno de la sangre al corazón: en posición horizontal, por ejemplo, con el cuerpo más o menos nivelado, puede llegar más sangre al corazón. ¿Por qué? La respuesta es muy sencilla: al ponernos en pie la sangre va a las extremidades inferiores. Para volver al corazón la sangre tiene que circular contra el gradiente de presión hidrostática, es decir, en la práctica, contra la fuerza de la gravedad. Pero si la persona se acuesta y, por lo tanto, sitúa las piernas, el torso y la cabeza al mismo nivel, el volumen de la sangre se desplaza: se desplaza sangre de las piernas al corazón, por lo que inicialmente el volumen sistólico aumenta y la frecuencia cardiaca disminuye. Esto se debe al incremento del suministro de sangre a la cámara derecha del corazón (ventrículo, aurícula), que el cuerpo interpreta como señal de un mayor equilibrio hídrico; esto es exactamente lo que sucede

cuando se bebe mucho y, como consecuencia de ello, el volumen de sangre aumenta. En ambos casos, se activa otro mecanismo de compensación: se produce más orina. El incremento de la producción de orina y la reducción resultante del volumen de sangre compensan, con el tiempo, al menos una parte de este efecto. Al volvernos a levantar, ocurre exactamente lo contrario: el volumen sistólico disminuye y la frecuencia cardiaca aumenta. El volumen de sangre aumenta de nuevo mediante el suministro de líquidos.

### DURANTE LA INMERSIÓN

Como se acaba de describir, este efecto se debe a la influencia que la gravedad tiene sobre el cuerpo. Si el cuerpo se sitúa en posición horizontal, neutraliza la gravedad hasta cierto punto.



Y ocurre exactamente lo mismo cuando el cuerpo se sumerge en el agua hasta el cuello, ya que la presión del agua neutraliza el gradiente de presión efectivo fuera del agua.

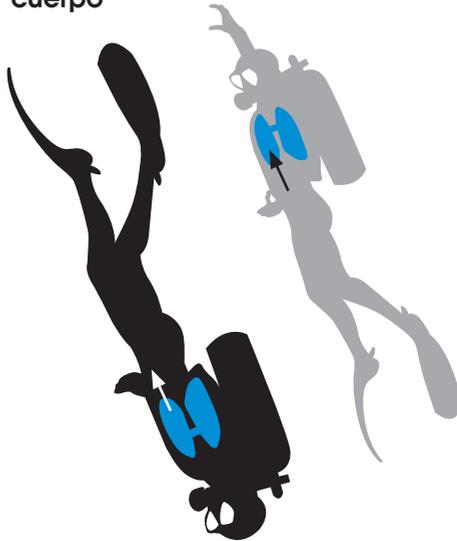
Al sumergir el cuerpo en el agua, el volumen de la sangre se desplaza: fuera del agua (rojo a la izquierda) una gran parte del volumen se encuentra en las venas de las piernas. Con el cuerpo sumergido (azul a la derecha) el volumen se desplaza hacia el pecho/corazón. Esto afecta al gasto

cardíaco y aumenta la producción de orina. Así pues, el volumen de sangre se reduce perceptiblemente después de sumergirse. Sin embargo, como se ha explicado en el capítulo anterior, la posición dentro del agua afecta también a la frecuencia cardíaca, pero ya no porque la sangre se desplace, sino porque la posición dentro del agua afecta a la respiración (véase la figura en la página 9).

## VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA CON LA RESPIRACIÓN

Anteriormente hemos explicado cómo el esfuerzo físico y la posición del cuerpo afectan a la frecuencia cardíaca. Pero hay otros factores que afectan también al ritmo cardíaco. Uno de ellos es la respiración. Naturalmente, la respiración de una persona y, en particular, el volumen inspirado, se ven afectados por el esfuerzo físico. Cuando los músculos y los tejidos necesitan mucho oxígeno, los vasos se dilatan y el corazón bombea rápido, la cantidad necesaria de oxígeno tiene que llegar al sistema a través de los pulmones, es decir, por la respiración. El ritmo y el volumen respiratorio aumentan. Se inhala más aire en los pulmones con más frecuencia. Pero incluso cuando no estamos resoplando como una orca, el corazón y la función pulmonar están estrechamente interconectados. Esto se debe a la manera en que está construido el cuerpo humano: concretamente, al hecho de que el corazón está encajado entre los dos pulmones (véase la figura en la página 6). Por lo tanto, toda presión negativa o positiva en los pulmones afecta también a la actividad del corazón. Durante la inhalación, el pulmón desarrolla una presión negativa que hace que el aire

► **El sistema cardiopulmonar cambia según la posición del cuerpo**



sea aspirado a su interior a través de la faringe.

Esta presión negativa mejora el flujo venoso de retorno, pero al mismo tiempo reduce ligeramente la presión arterial. Durante la exhalación ocurre exactamente lo contrario. Especialmente en la exhalación durante el esfuerzo, por ejemplo cuando se compensa la presión con la maniobra de Valsalva, se impide el flujo venoso de retorno pero la presión arterial aumenta, al menos temporalmente. También para estas dos fluctuaciones de la presión arterial el cuerpo dispone de un mecanismo compensador: la así llamada regulación autónoma. La regulación autónoma limita el aumento o la disminución de la presión arterial mediante las correspondientes reacciones de la frecuencia cardíaca. Como consecuencia de ello se producen fluctuaciones de la frecuencia cardíaca más o menos marcadas, especialmente en reposo.

## DURANTE LA INMERSIÓN

La presión del agua sobre el cuerpo sumergido incrementa la diferencia de presión entre la parte del pulmón llena de gas y la parte llena de líquido porque, a diferencia de la parte llena de líquido, la parte llena de gas se puede comprimir. La regla es: en posición vertical la diferencia es mayor que en posición horizontal. Así pues, cuando estamos flotando debajo del agua en posición vertical, por ejemplo durante una breve pausa para mirar más de cerca algo en una pared escarpada, las fluctuaciones de la presión arterial son también más extremas. Pero este efecto se puede dar también mientras se nada en posición horizontal, al bucear con tubo. El tubo puede aumentar también la diferencia de presión. Asimismo, afecta directamente al flujo de retorno al corazón y, por lo tanto, a la actividad de este y a la frecuencia cardíaca.

## LA FRECUENCIA CARDIACA EN APNEA

Como hemos visto, la respiración afecta a la frecuencia cardíaca. ¿Pero qué sucede cuando no se respira? ¿Concretamente, cuando se bucea? Por supuesto, también se puede contener la respiración fuera del agua, pero durante una inmersión puede ser imprescindible, por ejemplo cuando se comparte el aire con el compañero. Hay diferentes «niveles» en el proceso de aguantar la respiración: el reflejo de inmersión y el buceo en apnea, es decir, bucear intencionadamente sin botella de aire comprimido, utilizando únicamente el aire contenido en los pulmones.

### EL REFLEJO DE INMERSIÓN

El reflejo de inmersión es un reflejo natural de los mamíferos que les permite permanecer debajo del agua durante periodos

prolongados. Aparece especialmente pronunciado en los animales acuáticos, pero también es perceptible en los seres humanos. La señal desencadenante es un estímulo de frío facial, también por el agua, cuyo objeto es prolongar la supervivencia. Este estímulo frío, que se puede activar, por ejemplo, aplicando una bolsa de hielo a la cara, activa asimismo una reacción fácilmente medible en reposo: la frecuencia cardíaca disminuye (bradicardia).

Esto se debe a los receptores próximos a la nariz, los ojos y la boca. La disminución de la frecuencia cardíaca puede alcanzar más de 10 latidos por minuto en seres humanos, mientras que en animales se ha observado una disminución de más del 50%.

La bradicardia se acompaña de otras reacciones que el cuerpo utiliza para adaptarse a la nueva situación. Los vasos

sanguíneos en los tejidos, que pueden funcionar sin oxígeno durante un breve periodo, se contraen (vasoconstricción).

De este modo, se conserva oxígeno destinado a los órganos vitales (por ejemplo el sistema nervioso central o el corazón) y, al mismo tiempo, se evita un aumento de la presión arterial. Cuanto mayor es la vasoconstricción, mayor es la disminución de la frecuencia cardiaca. En la práctica esto significa que el reflejo de inmersión produce exactamente la reacción contraria que el esfuerzo físico. Mientras que, durante el esfuerzo, el cuerpo aumenta la frecuencia cardiaca para poder suministrar oxígeno a todos los tejidos y, por lo tanto, se dilatan los vasos para que la presión arterial no se dispare, en apnea todos los sistemas se adaptan para economizar.

## BUCEO EN APNEA

Durante la apnea se producen exactamente los mismos efectos, puesto que la cara entra en contacto con el agua también en este caso. Sin embargo, aparte de las reacciones anteriormente indicadas, entran en juego otros mecanismos compensadores, algunos

de los cuales ya se han descrito. Por ejemplo, el volumen de sangre se desplaza también hacia el corazón cuando se bucea sin botella de aire comprimido (véase «Influencia de la posición del cuerpo en la frecuencia cardiaca»). Durante la apnea este efecto es aún más pronunciado, ya que los pulmones llenos de aire se comprimen cada vez más a medida que aumenta la profundidad, lo que deja más espacio para la sangre que fluye a la zona pectoral.

Esto no tiene ningún efecto adicional sobre la frecuencia cardiaca, puesto que este desplazamiento del volumen de sangre impide la acumulación de presión negativa en la zona pectoral y, por ende, un barotraumatismo pulmonar. Pero otro factor (que no se ha mencionado antes y que solamente se presenta en el buceo en apnea) reduce aún más la frecuencia cardiaca: la concentración de dióxido de carbono. Cuanto más tiempo permanece el buceador sumergido en apnea, más se eleva la concentración de CO<sub>2</sub> en la sangre. Esto reduce aún más la frecuencia cardiaca. El esfuerzo físico durante la apnea, como el que se realiza en la apnea dinámica, intensifica más aún este efecto.

## EQUILIBRIO HÍDRICO Y FRECUENCIA CARDIACA

La pregunta de cómo el equilibrio hídrico afecta a la frecuencia cardiaca se puede contestar fácilmente aplicando lo que hemos aprendido en el capítulo cinco. Se debe al hecho de que una pérdida grande o un aporte excesivo de líquidos tienen el mismo efecto que un cambio de la posición del cuerpo o que el hecho de salir o entrar en el agua, aunque por razones diferentes (véase la figura en la página 9). Si se aportan líquidos al cuerpo bebiendo, la cantidad de sangre disponible para el corazón también varía: el volumen sistólico aumenta y

la frecuencia cardiaca disminuye. En el caso contrario, demasiado poco líquido, el efecto es el mismo que al levantarse o salir del agua: el volumen sistólico disminuye y la frecuencia cardiaca aumenta.

## DURANTE LA INMERSIÓN

En relación con el equilibrio hídrico, es necesario señalar una particularidad. En el caso concreto de un viaje de vacaciones centrado en el buceo, se combinan varios

factores que pueden afectar de forma importante a la frecuencia cardiaca. Como se ha descrito anteriormente, durante la inmersión el volumen de sangre se desplaza hacia el corazón. Esto indica al cuerpo que hay un exceso de líquido, y el cuerpo comienza a producir orina para evacuar el líquido sobrante (la diuresis del buceador). Al salir del agua, el volumen de sangre no solo vuelve desde el corazón hacia las extremidades inferiores (véase el gráfico en la página 9), sino que además entran en juego otros dos factores: un bajo equilibrio hídrico y una temperatura elevada. En muchos destinos de buceo habituales, como el Mediterráneo, el Mar Rojo y el Océano

Índico, las temperaturas son muy elevadas. En tales circunstancias, una ingesta adecuada de líquidos después de la inmersión resulta esencial, pues, de lo contrario, el volumen de sangre disminuirá tanto que ni siquiera un incremento de la frecuencia cardiaca podrá evitar una falta de aporte a los tejidos. La consecuencia puede ser un colapso circulatorio. Y, además, se agudiza otro riesgo específico de los buceadores: sufrir un accidente de descompresión durante la inmersión. Dado que el menor volumen de sangre hace que esta se espese, la viscosidad aumenta y, por lo tanto, existe el riesgo de que las burbujas de nitrógeno no se disuelvan en la sangre y se produzca una embolia.

## RITMO CARDIACO, CALOR Y FRÍO

Cuando la temperatura ambiente cambia, el cuerpo presenta una reacción similar a la que se produce cuando se aporta o se elimina líquido. Si salimos al balcón en invierno llevando solo una camiseta, tarde o temprano sentiremos frío. El cuerpo contrarresta la pérdida de temperatura contrayendo los vasos sanguíneos en la superficie del cuerpo, es decir, en los lugares por donde se pierde calor. La contracción hace que la presión sobre las paredes vasculares aumente y el sistema cardiovascular reacciona como lo hace ante un exceso de líquido: la frecuencia cardiaca disminuye. Posteriormente, cuando el cuerpo intenta estabilizar la temperatura produciendo su propio calor mediante un incremento del metabolismo, la frecuencia cardiaca vuelve a aumentar. Más tarde, la exposición continuada al frío genera otros ajustes que no comentaremos aquí.

El calor tiene exactamente el efecto contrario. La frecuencia cardiaca aumenta porque los vasos de la superficie del cuerpo se dilatan. Como consecuencia de ello, el volumen de sangre se desplaza a estos tejidos y, de este

modo, disminuye el flujo de retorno. Por otra parte, el gasto cardiaco y la presión arterial tienen que aumentar. Posteriormente, pueden entrar en juego otros factores causados por la transpiración, es decir, la pérdida de líquido.

## DURANTE LA INMERSIÓN

Naturalmente, los mismos efectos que se dan en la superficie se dan también debajo del agua. La única diferencia es que debajo del agua el frío se empieza a notar mucho antes. Esto se debe a la mayor conductividad térmica del agua. Mientras que el aire presenta una baja conductividad térmica y tiene casi un efecto aislante, el agua «absorbe» el calor del cuerpo, en sentido figurado. Un día en que la temperatura del aire es de 25°C (77°F) lo percibimos como un día agradablemente cálido; sin protección contra el frío y en reposo, el cuerpo comienza ya a disipar cada vez más calor cuando la temperatura del agua es inferior a 32°C (90°F). El cuerpo comienza a experimentar hipotermia e intenta contrarrestarla contrayendo los vasos próximos a su superficie.

## ¿POR QUÉ LA EXCITACIÓN ACELERA EL CORAZÓN?

Por último, vamos a comentar una variación de la frecuencia cardíaca que, aunque se debe también a influencias externas, no se puede explicar por la temperatura, la presión del agua ni las cantidades de líquido: la excitación emocional.

Durante la evolución humana, el cuerpo ha aprendido mucho, incluido el concepto de que la excitación emocional suele estar relacionada con un cierto peligro que requiere un alto rendimiento o, por lo menos, la voluntad de reaccionar físicamente. Por consiguiente, las hormonas del estrés provocan un cambio de la presión arterial y de la frecuencia cardíaca. El organismo se pone en situación de alerta. En este sentido,

la frecuencia cardíaca deja de ser una expresión del esfuerzo físico, pero prepara el cuerpo para un incremento de la demanda. La excitación emocional difiere de una persona a otra. Un instructor de buceo que ha estado trabajando en el Océano Índico durante muchos años se excitará menos al ver un tiburón ballena que un buceador que nunca se ha encontrado ante uno de esos gigantes.

Independientemente de la causa de su excitación, ya sea porque hemos quedado atrapados en una red o porque acabamos de ver un tiburón tigre por primera vez, es importante tener en cuenta las emociones al evaluar un cambio de la frecuencia cardíaca.

## INDICADOR DE ENTRENAMIENTO DE LA FRECUENCIA CARDIACA

Como se ha mencionado en la introducción, la frecuencia cardíaca es un buen indicador del aumento del esfuerzo. Con solo un vistazo a un ordenador de buceo SCUABPRO, sabremos inmediatamente cuánto esfuerzo estamos realizando bajo del agua sobre la base de criterios totalmente objetivos. Naturalmente, se podrían utilizar también otros parámetros para evaluar la intensidad del esfuerzo realizado, por ejemplo la velocidad al nadar o al correr, pero estos parámetros no pueden ilustrar el esfuerzo individual de una manera coherente.

Un ejemplo: la frecuencia cardíaca de un deportista aficionado probablemente se dispararía si recorriera su ruta habitual de footing dominical de 8 kilómetros (5 millas) en menos de 30 minutos. Para un corredor de maratón profesional, sin embargo, sesiones

como esa forman parte de su programa de entrenamiento normal y su frecuencia cardíaca ni siquiera se aproximará al valor máximo posible. Este ejemplo muestra lo importante que es conocer los propios límites de rendimiento individual y utilizarlos para orientarse a fin de realizar un entrenamiento coherente de la resistencia. Los límites personales se pueden establecer de manera fácil pero eficaz mediante la frecuencia cardíaca, en reposo y máxima.

No obstante, en realidad estos parámetros no son más que valores auxiliares, pues la clave de un entrenamiento correcto es el metabolismo muscular o, más concretamente, la relación entre el metabolismo aeróbico y el metabolismo anaeróbico. Es decir, el metabolismo con oxígeno suficiente y el metabolismo con oxígeno insuficiente.

Pero, puesto que dicha relación solo se puede medir con la ayuda de instrumentos técnicos sofisticados, la frecuencia cardíaca constituye el parámetro más fácil para evaluar la intensidad del esfuerzo. Y la frecuencia cardíaca en reposo, fácil de determinar, ofrece una ventaja adicional. Gracias a ella resulta relativamente fácil evaluar uno mismo el propio nivel de forma física. Un punto de referencia es la frecuencia cardíaca en reposo, que es de aproximadamente 50 pulsaciones por minuto para una persona entrenada en resistencia y de aproximadamente 75 pulsaciones por minuto para una persona no entrenada. Otro punto de referencia es la frecuencia cardíaca máxima, que se considera en el orden de cinco veces la frecuencia cardíaca en reposo para un atleta entrenado, mientras que una persona no entrenada solamente puede aumentarla a tres veces la frecuencia cardíaca en reposo. Esta diferencia se debe a la mayor eficacia del «corazón de atleta» en el transporte de los nutrientes. Pero no solo es importante el entrenamiento, y ello nos lleva de nuevo a los conocimientos básicos anteriormente mencionados: la frecuencia cardíaca máxima se reduce de manera importante con la edad. Esto significa que los buceadores de más edad, incluso bien

entrenados, no pueden alcanzar la misma frecuencia cardíaca máxima que los buceadores de 20 años.

Para los deportes populares se ha establecido una sencilla regla empírica:

- Frecuencia cardíaca máxima media:  $220 - \text{edad} = \text{pulsaciones por minuto}$
- Ejemplo: un hombre de 75 años tiene una frecuencia cardíaca máxima media de 145 pulsaciones por minuto.  $220 - 75 \text{ años} = 145 \text{ pulsaciones por minuto}$
- Según esta regla empírica, el corazón de una persona de 20 años podría latir 200 veces por minuto en condiciones de esfuerzo máximo.  $220 - 20 \text{ años} = 200 \text{ pulsaciones por minuto}$

Pero en realidad es mucho más interesante observar la frecuencia cardíaca en reposo según se ha descrito anteriormente. La frecuencia cardíaca difiere en gran medida de una persona a otra por varias razones: el momento en que se restablece la frecuencia cardíaca en reposo después de un esfuerzo se debe comparar de forma subjetiva y objetiva. Después de un esfuerzo, una persona entrenada en resistencia restablecerá su frecuencia cardíaca en reposo mucho antes que una persona no entrenada.

## ENTRENAMIENTO Y CONSEJOS

Partiendo de estos conocimientos, resulta realmente fácil diseñar un programa específico de entrenamiento de la forma física y de la resistencia, puesto que ahora sabemos utilizar la frecuencia cardíaca para evaluar nuestro propio nivel de esfuerzo y, de este modo, mantener nuestro entrenamiento dentro de los márgenes de intensidad correctos.

Hay otra regla empírica con la cual calcular

la frecuencia cardíaca media que debemos mantener durante el entrenamiento.

- Frecuencia cardíaca de entrenamiento:  $180 - \text{edad} = \text{pulsaciones por minuto}$   
Si retomamos el ejemplo de nuestro atleta de 75 años y su compañero de entrenamiento de 20 años, podemos darles el consejo siguiente:  $180 - 75 \text{ años} = 105 \text{ pulsaciones por minuto}$

Esto significa que nuestro buceador de más edad debe entrenar a una frecuencia cardiaca media de 105 pulsaciones por minuto si desea mejorar su resistencia.

- 180 - 75 años = 105 pulsaciones por minuto  
Esto significa que nuestro buceador de más edad debe entrenar a una frecuencia cardiaca media de 105 pulsaciones por minuto si desea mejorar su resistencia.
- 180 - 20 = 160 pulsaciones por minuto  
Sus compañero de 20 años probablemente necesitará pisar un poco más el acelerador para alcanzar una frecuencia cardiaca media de 160 pulsaciones por minuto.

Pero hay algunos consejos básicos que son válidos para ambos y que deberán tener en cuenta cuando utilicen la frecuencia cardiaca para controlar su entrenamiento:

- Las condiciones ambientales, en particular la temperatura, deben ser las mismas.
- La posición del cuerpo no debe cambiar durante el esfuerzo.
- Se debe ingerir líquido a intervalos regulares.
- Se debe respirar de forma regular.
- No se debe soplar durante el esfuerzo.

A pesar de todas las reglas que se han descrito aquí, la frecuencia cardiaca máxima, que disminuye con la edad, difiere siempre de una persona a otra. Por lo tanto, lo ideal es determinarla mediante el ejercicio físico. Todo el mundo puede hacerlo con la ayuda de un cardiofrecuencímetro realizando un ejercicio exhaustivo durante un breve periodo. En particular para los principiantes, se recomienda recurrir a un médico para realizar una prueba ergométrica.

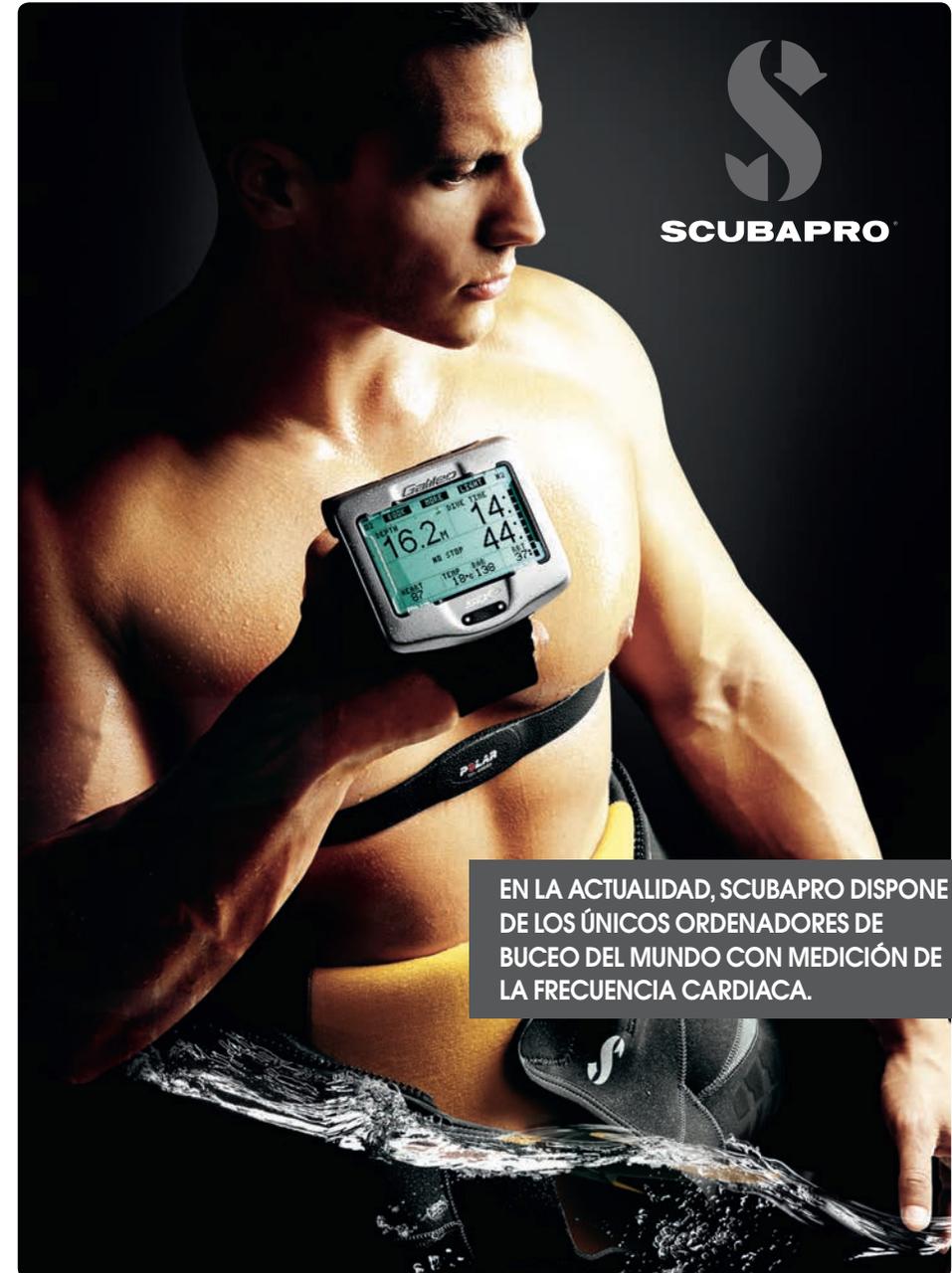
## DURANTE LA INMERSIÓN

Comparar la frecuencia cardiaca en reposo antes de la inmersión con la frecuencia cardiaca durante la inmersión ayuda a evaluar la tensión física y mental. Un buceador

principiante experimentará seguramente una diferencia mucho mayor que un buceador avanzado. Esta diferencia se puede utilizar también como indicador del estado físico del día. Si un buceador experimentado detecta una diferencia mayor que la habitual, deberá analizar la causa y ajustar su inmersión en consecuencia (una inmersión a menor profundidad, menos esfuerzo antes de terminar la inmersión). Un principiante puede observar sus progresos en lo referente a la tensión física y mental a medida que se va reduciendo la diferencia. Realizar un análisis poco después de la inmersión basado en la frecuencia cardiaca registrada ayudará a determinar la causa del incremento, ya que este puede deberse a la tensión física (un esfuerzo inusual a causa de corrientes, respiración compartida con el compañero, exceso de lastre, una inmersión inusualmente prolongada, etc.) o a la tensión mental (profundidad, exceso de lastre, problemas con el equipo o con el compañero, alegría o miedo al ver un pez de gran tamaño, etc.). Al conocer las causas, el buceador podrá afinar su entrenamiento para mejorar. También en el caso de la apnea, realizar un análisis después de la sesión ayudará a diseñar un programa de entrenamiento y a evaluar los progresos del buceador. La función de alarma de frecuencia cardiaca insuficiente es un aspecto de la seguridad que no se debe subestimar.

SCUBAPRO se esfuerza continuamente para que sus inmersiones resulten más seguras con la ayuda de tecnologías innovadoras. La medición de la frecuencia cardiaca durante el buceo es uno de los hitos de los que nos sentimos especialmente orgullosos. Ahora y en el futuro, seguimos fieles a nuestro lema:

DEEP DOWN YOU  
WANT THE BEST



EN LA ACTUALIDAD, SCUBAPRO DISPONE DE LOS ÚNICOS ORDENADORES DE BUCEO DEL MUNDO CON MEDICIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA.

**Adiposidad, obesidad, gordura** - proliferación o acumulación excesiva de tejido graso.

**Metabolismo aeróbico** - procesos de aporte de energía, que se producen únicamente cuando hay suficiente oxígeno. (Conversión completa de la grasa y los carbohidratos en CO<sub>2</sub> y agua. Muy eficiente, permite varias horas de esfuerzo de intensidad baja-media.)

**Metabolismo anaeróbico** - procesos de aporte de energía que se producen sin utilizar oxígeno. (Conversión incompleta y, por lo tanto, muy ineficiente, pero permite un rendimiento muy alto durante un periodo breve. Quemado de carbohidratos, produce lactato.)

**Sistema musculoesquelético activo** - comprende todo el esqueleto, la musculatura y los correspondientes tendones y ligamentos.

**Umbral anaeróbico** - intensidad del esfuerzo en el punto de transición entre la generación de energía puramente aeróbica y parcialmente anaeróbica. Marca la intensidad más alta posible en la cual la producción y la eliminación de lactato están equilibradas (máximo de lactato en estado constante). Difiere de una persona a otra y no está sujeto a ninguna regla rígida, por lo que se debe volver a determinar periódicamente.

**Arteriosclerosis** - la alteración arterial mórbida más frecuente, caracterizada por el endurecimiento, el engrosamiento y la pérdida de elasticidad de las arterias. Puede resultar mortal en estado avanzado. El tratamiento incluye un entrenamiento moderado en resistencia y un cambio de dieta.

**Artrosis** - enfermedad degenerativa de las articulaciones que se desarrolla principalmente debido a un desequilibrio entre el esfuerzo y el estado o la capacidad

de las diferentes articulaciones o tejidos. Con ejercicio regular y personalizado se pueden prevenir o aliviar los problemas de artrosis.

**Presión arterial** - la presión en las arterias y en las cámaras del corazón que hace circular la sangre y depende del gasto cardiaco y de la resistencia vascular (p. ej. la elasticidad de la pared vascular).

**Índice de masa corporal** - abreviado IMC; se calcula dividiendo el peso corporal (en kilogramos o libras) por el cuadrado de la altura (metros o pies). Índice que sirve para evaluar el peso corporal.

**Entrenamiento cardiovascular** - entrenamiento del sistema cardiovascular, principalmente mediante deportes de resistencia, también en clubes deportivos y en gimnasios.

**Colesterol** - es generado por el propio cuerpo e ingerido a través de la comida (sobre todo grasa animal); es un componente importante y esencial para la producción de numerosas hormonas. En concentraciones altas (permanentes > 220 mg/dl), el colesterol se considera un factor de riesgo de enfermedades cardiovasculares, teniendo en cuenta la proporción de «colesterol bueno» o LAD (lipoproteína de alta densidad) y «colesterol malo» o LBD (lipoproteína de baja densidad), causa principal de las enfermedades vasculares.

**Deshidratación** - disminución de la cantidad de agua en el cuerpo causada por el aumento de la eliminación de líquido (p. ej. transpiración excesiva) sin reposición suficiente. Empeora las características del flujo sanguíneo reduciendo el rendimiento. La deshidratación grave (también deshidrogenación) puede provocar un colapso circulatorio.

**Ergometría** - medición del rendimiento físico con niveles controlados de tensión mediante un ergómetro y estableciendo diversos parámetros de la función cardiovascular. GLOSARIO

**Equilibrio hídrico** - se refiere al consumo de agua, a la distribución del agua y a los procesos de eliminación de agua en el cuerpo humano.

**Glicógeno** - una forma de azúcar (polisacárido) que representa la forma acumulada de carbohidratos. Se encuentra principalmente en el hígado y en los músculos. En condiciones de esfuerzo de resistencia intenso con un gasto de carbohidratos próximo al 100%, las reservas acumuladas de un atleta entrenado medio duran un máximo de 60-90 minutos.

**Variabilidad de la frecuencia cardiaca** - medida del tiempo entre dos latidos consecutivos en milisegundos. Se pueden extraer conclusiones relativas al estado de entrenamiento individual sobre la base de la magnitud de las variaciones del tiempo.

**Hipertensión** - presión arterial alta.

**Enfermedad coronaria** - resultado de trastornos circulatorios en los vasos coronarios. Causa principal del infarto de miocardio. Se puede influir en ella mediante ejercicio y un entrenamiento de resistencia moderado.

**Lactato** - sal de ácido láctico; el lactato es el producto final de la glicólisis y se genera cuando la glucosa no se quema totalmente. Esto ocurre cuando el aporte de oxígeno a la musculatura durante el esfuerzo físico es insuficiente. Por ejemplo, la concentración del lactato aumenta perceptiblemente durante la actividad muscular intensiva (véase «Metabolismo anaeróbico»).

**Absorción máxima de oxígeno** - cantidad máxima de oxígeno que el cuerpo puede absorber y transformar durante un esfuerzo.

**Metabolitos** - sustancias que se generan como etapas intermedias o productos de descomposición durante los procesos metabólicos.

**Metabolismo** - totalidad de los procesos metabólicos, composición, descomposición y transformación de nutrientes.

**Mitocondrias** - las «centrales eléctricas» de la célula. Es ahí donde tiene lugar la generación de energía aeróbica del cuerpo.

**Dolor muscular** - fisuras microscópicas del tejido muscular causadas por un exceso de tensión y que producen inflamación y dolor. El dolor muscular es un precursor de esguinces o desgarros musculares y, por lo tanto, se debe considerar una lesión deportiva. La regeneración subsiguiente mediante reposo del músculo afectado, la estimulación de la circulación, las sesiones de rehabilitación y la ingesta de líquidos debe dar lugar a una recuperación «completa».

**Cociente respiratorio** - abreviado CR. Describe la proporción entre el CO<sub>2</sub> exhalado y el O<sub>2</sub> inhalado. El CR se utiliza para determinar la cantidad y la proporción de grasa y carbohidratos quemados.

**Espiroergometría** - medición del rendimiento físico en niveles controlados de tensión con la ayuda de un ergómetro y el establecimiento de diversos parámetros de la función cardiovascular.

**Flato** - entre sus causas figuran la circulación reducida en el diafragma, el entrenamiento con el estómago lleno, el esfuerzo excesivo y la respiración irregular. Asimismo, el incremento del flujo sanguíneo puede causar dolor de bazo y de hígado.



## **Dr. Tobias Dräger**

Estudió Biología, Ciencias del deporte y Economía del deporte, doctorado por la Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS) en Fisiología del rendimiento. Jefe de desarrollo comercial del centro de atención telefónica de emergencia al buceador Qua Ed. Instructor de buceo CMAS.



## **Dr. Uwe Hoffmann**

Estudió Matemáticas, Ciencias del deporte y Economía del deporte, doctorado por la Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS) en Fisiología del rendimiento. Investigador asociado en el Instituto de Fisiología y Anatomía y jefe del departamento de deportes, sección de «buceo deportivo» en la DSHS. Instructor de buceo CMAS.



**SCUBAPRO®**

**Nuestros distribuidores autorizados le  
prestarán con mucho gusto asesoramiento  
profesional.**

**Puede encontrar a nuestros distribuidores  
en [scubapro.com](http://scubapro.com) o utilizar nuestra app  
SCUBAPRO.**