

El Dióxido de Carbono: el Temido Enemigo (2ª parte)

Esta es la segunda de una serie de tres partes sobre el dióxido de carbono, uno de los factores que más contribuyen a las emergencias de buceo. Puede leer la primera parte [aquí](#). La tercera parte se publicará en un próximo número de Alert Diver.

¿Por qué es peligroso el exceso de dióxido de carbono?

El término técnico para los niveles anormalmente altos de dióxido de carbono es hipercapnia. La hipercapnia provoca una serie de efectos escalonados, empezando por un deterioro neurológico leve que afecta a la cognición y al control motor, efectos que pueden ser, o no, perceptibles para el sujeto.

El CO₂ es [20 veces](#) más narcótico que el nitrógeno. Las concentraciones excesivas en el torrente sanguíneo tienen un poderoso impacto psicológico, causando confusión y comportamiento irracional. La hipercapnia también puede desencadenar ansiedad, irritabilidad, respuesta de lucha o huida, o pánico. Para no extenderme demasiado, la hipercapnia te vuelve estúpido y miedoso al mismo tiempo, una combinación bastante desafortunada. La hipercapnia grave es debilitante y acaba provocando la pérdida de conocimiento.

La hipercapnia también provoca vasodilatación, o dilatación de los vasos sanguíneos. Hay muchos vasos sanguíneos dentro de la cabeza, y nuestro cráneo carece de la capacidad de expandirse con ellos. En consecuencia, el aumento del flujo sanguíneo hará que aumente la presión intracraneal. Si tienes dolores de cabeza después de bucear, quizá debas considerar el exceso de dióxido de carbono como posible culpable. El aumento del flujo sanguíneo al cerebro y al sistema nervioso central también significa que se suministra más oxígeno a estos órganos, lo que hará al buceador más susceptible a la toxicidad por oxígeno del SNC (*Sistema Nervioso Central, N.del T.*)

Dado que el reflejo respiratorio es desencadenado por el dióxido de carbono, no debería sorprender que la disnea (necesidad de respirar) sea un síntoma frecuente de hipercapnia. Sin embargo, existen grandes diferencias individuales en cuanto a la susceptibilidad a este efecto, por lo que su ausencia no es garantía de que no se produzcan otros efectos, como el deterioro cognitivo.

Una vez declarada la hipercapnia, sus efectos suelen persistir al menos unos minutos en los casos leves y pueden durar varias horas en los más graves.



Las cosas bajo el agua tienden a complicarse

Ni que decir tiene que todos los síntomas anteriores tienen mayores consecuencias e incluso son menos deseables bajo el agua de lo que serían en tierra firme. Perder la consciencia conlleva obviamente un alto riesgo de ahogamiento, mientras que el deterioro cognitivo y otros efectos psicológicos, como la ansiedad o el pánico, pueden resultar en una toma de decisiones errónea e impulsiva. La disnea, aunque sea relativamente leve, y la respiración pesada resultante, pueden causar grandes estragos en el suministro de gas del buceador, entre otras consecuencias que comentaremos más adelante. Y nuestra respuesta de lucha o huida es extremadamente contraproducente en cualquier escenario de buceo.

Espacio muerto

El intercambio real de oxígeno y dióxido de carbono entre la sangre y el gas respirado tiene lugar en los alvéolos, pequeños sacos situados en la zona más alejada de nuestros pulmones. Sin embargo, para ser eliminado por completo de nuestro sistema, el CO_2 tiene que pasar desde los alvéolos, a través de los bronquios, la tráquea y los espacios aéreos de la cabeza, antes de ser exhalado.

Estas partes intermedias se denominan colectivamente espacio aéreo muerto. No contribuyen al intercambio gaseoso, y la cantidad de gas que queda en estos espacios tras la espiración, incluido el dióxido de carbono, se vuelve a inhalar en el siguiente ciclo respiratorio. [El volumen del espacio de aire muerto anatómico de una persona media](#) es de unos 150 mililitros, mientras que el volumen corriente pulmonar medio en reposo (es decir, el volumen de aire que entra y sale de nuestros pulmones por ciclo respiratorio) es de 500 mililitros. Esto significa que volvemos a inhalar aproximadamente el 30% del aire viciado y rico en dióxido de carbono que sale de nuestros alvéolos. Cuando respiramos más profundamente, ya sea deliberadamente o debido al esfuerzo, el porcentaje es menor.

Al bucear, el volumen del espacio muerto aumenta con la boquilla y la cámara de la segunda etapa o boquilla del rebreather. Este espacio de aire muerto añadido reduce la cantidad de CO_2 que eliminamos eficazmente en cada ciclo respiratorio.



Trabajo respiratorio, densidad del gas y compresión dinámica de las vías respiratorias

El segundo factor en importancia que entra en juego bajo el agua es el trabajo respiratorio (WOB). El trabajo respiratorio es la cantidad de trabajo total que deben realizar nuestros músculos para inhalar y exhalar el gas.

Este trabajo es una función del flujo másico de gas, es decir, la masa física de las moléculas de gas que pasan a través de una sección transversal de nuestras vías respiratorias, por unidad de tiempo. A su vez, este flujo de masa es función de otras tres magnitudes: la frecuencia respiratoria (la velocidad a la que respiramos), el volumen corriente (el volumen de gas intercambiado por ciclo respiratorio) y la densidad del gas (la masa de gas por volumen).

En circunstancias normales -respirando aire sin obstáculos y a presión atmosférica- nuestro diafragma es capaz de realizar este trabajo sin dificultad. Al igual que nuestro corazón, es un músculo optimizado para la eficacia y la resistencia, que produce muy poco CO_2 y es capaz de trabajar continuamente durante toda una vida, sin necesidad de descanso. Esto lo diferencia de la mayoría de los demás grupos musculares: por ejemplo, no podemos caminar o hacer flexiones durante periodos de tiempo indefinidos.

Sin embargo, al bucear, no respiramos aire a presión atmosférica. La presión ambiental aumenta con la profundidad, y también lo hace la densidad del gas. Una mayor densidad significa un mayor flujo de masa,

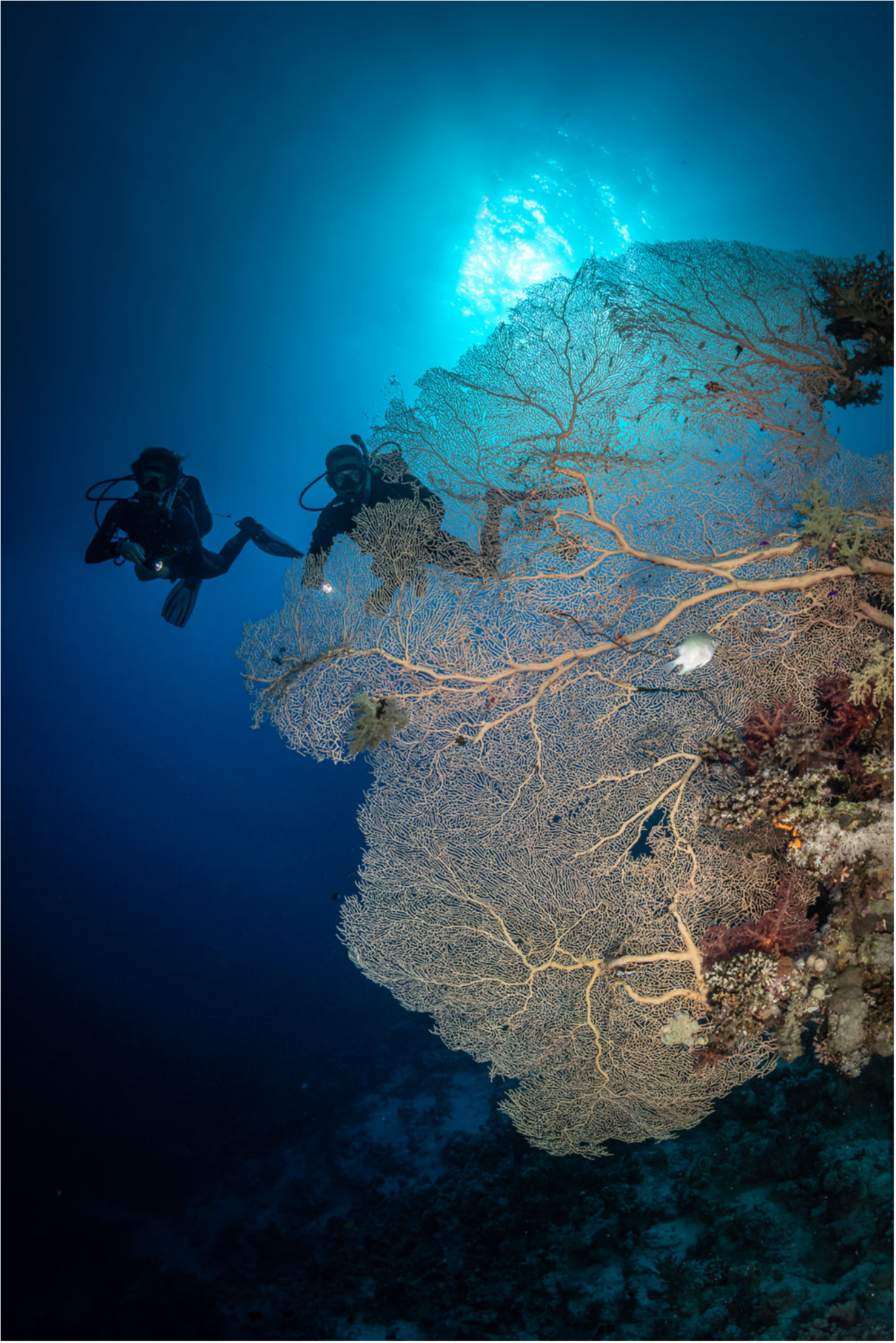
lo que implica un mayor trabajo de respiración. Una vez que el trabajo respiratorio supera el nivel para el que nuestro diafragma está optimizado, la producción de CO₂, y con ella el riesgo de hipercapnia, aumenta drásticamente.

Este efecto se ve agravado por lo que se conoce como compresión dinámica de las vías respiratorias. Nuestras vías respiratorias no son tubos rígidos, sino más bien algo flexibles. Debido a la fricción a lo largo de las paredes de las vías respiratorias, un flujo másico elevado de gas crea un diferencial de presión, que a su vez hace que los tubos se compriman y limiten el flujo, un efecto similar a lo que ocurre durante un ataque de asma. En 2003, los investigadores Enrico Camporesi y Gerardo Bosco [demostraron](#) que la ventilación máxima por volumen (de aire) que puede alcanzar una persona a -30 metros es, aproximadamente, la mitad de la ventilación máxima alcanzada en superficie.

La influencia del equipo

Además de la resistencia interna creada por el movimiento del gas denso dentro de nuestras vías respiratorias, otro factor que contribuye al trabajo respiratorio es la resistencia externa creada por el equipo de buceo. Nuestros músculos respiratorios no sólo tienen que mover el gas de un lado a otro, sino que también proporcionan la energía necesaria para hacer funcionar las piezas mecánicas de la segunda etapa del regulador. Además, la boquilla actúa literalmente como un cuello de botella: aspirar aire a través de una abertura pequeña requiere más energía que a través de una grande. Puedes confirmarlo fácilmente intentando respirar a través de una pajita mientras das un paseo.

Al bucear con un rebreather, el volumen de gas que se mueve es mucho mayor que en circuito abierto: No sólo nuestros pulmones y vías respiratorias, sino todo el circuito respiratorio está lleno de gas que necesita ser empujado a lo largo del circuito. El depurador ofrece una resistencia adicional, y los pulmones del buceador siguen siendo la única bomba disponible. Minimizar el WOB es un objetivo clave del diseño de los rebreathers, y se aconseja a los buceadores que sean aún más conservadores con respecto a la densidad del gas de lo que serían en circuito abierto.



Límites recomendados para la densidad del gas

Teniendo en cuenta el aumento del trabajo respiratorio, un [informe de la investigación de Gavin Anthony y Simon Mitchell](#) aconseja limitar la densidad de cualquier gas respirable a 5 g/l, con un límite máximo de 6 g/l. Esto corresponde a profundidades máximas de inmersión en agua salada, de -29 m y -37 m, respectivamente, para el aire y el nitrox. Sin embargo, estos límites aún no han sido adoptados universalmente por las agencias de formación de buceo. El límite de profundidad convencional para el buceo recreativo es de -40 m, y las normas de formación para el buceo con descompresión, defendidas por algunas agencias, colocan el listón a una cota aún más profunda, a -55 m. para el aire, donde la densidad del gas pasa a ser de casi 8,4 g/l.

Emergencias

Durante las operaciones normales, la mayoría de los factores anteriores pueden pasar casi desapercibidos para un buceador. Sin embargo, cuando tenemos que trabajar más y aumentan las demandas metabólicas de nuestro cuerpo, por ejemplo en un buceo profundo con corriente o al ayudar a un compañero de equipo en una emergencia, pueden entrar repentinamente en acción y convertir una situación manejable en difícil, o empeorarla.

Con esto concluye la segunda parte de nuestra pequeña serie. La tercera parte se centrará en las contramedidas: habilidades y procedimientos para mantener bajo control nuestra carga de CO₂. ¡Mantente seguro y permanece atento!

Acerca del autor

[Tim Blömeke](#) imparte formación de buceo recreativo y técnico en Taiwán y Filipinas. Es un ávido buceador de cuevas, pecios y CCR, así como editor y traductor de Alert Diver. Vive en Taipei, Taiwán. Puedes seguirle en [Instagram \(@timblmk\)](#), o en su [página blog](#).

Traductor: [Ramon Verdaguer](#)