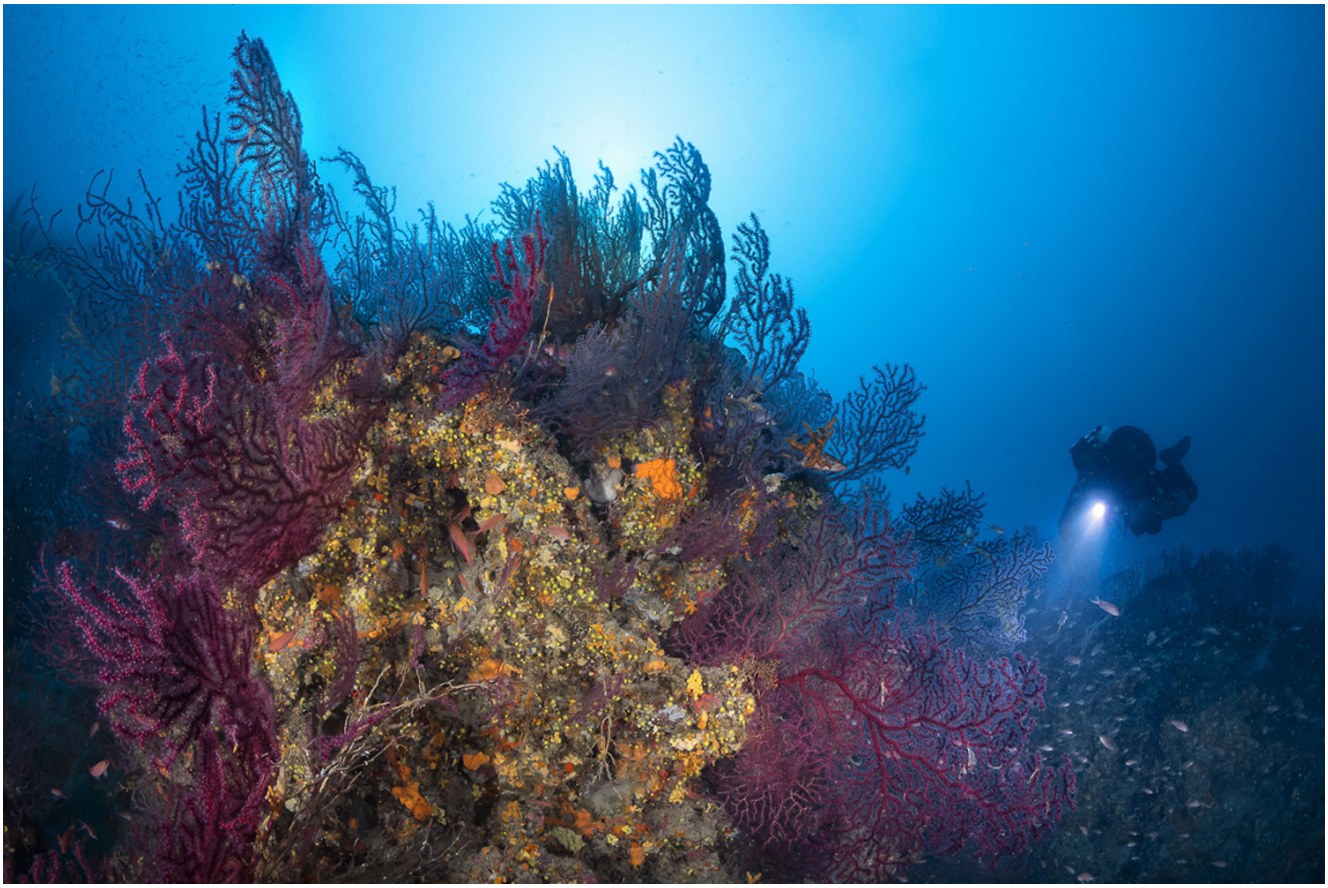
Medición de la narcosis por gas inerte

Aunque nuestra comprensión de los mecanismos y sus efectos todavía está evolucionando, la narcosis por gas inerte (NGI), que fue descrita poéticamente como "el éxtasis de las profundidades" por Jacques Cousteau, ha sido reconocida durante mucho tiempo como un importante factor de riesgo, que afecta a la seguridad de los buceadores. De hecho, los buceadores deportivos son mucho más propensos a experimentar NGI que la enfermedad por descompresión (ED). Aunque ya se ha demostrado que los buceadores no desarrollan una tolerancia a la narcosis, pueden aprender a lidiar con ella, en diferentes grados.

En los primeros inicios del buceo, la narcosis del nitrógeno era el factor limitante y predominante para las inmersiones más allá de los 30-40 metros (m), y los buceadores tuvieron que lidiar con su deterioro mental creciente, a su propio riesgo, a medida que se aventuraban más profundo. Hoy en día, con el beneficio de la tecnología de las mezclas de gas, los riesgos operativos de la NGI se pueden mitigar fácilmente.



Sin embargo, sigue habiendo desacuerdo sobre cuánta narcosis es prudentemente aceptable, en qué medida se puede manejar, y si el oxígeno también contribuye a la potencia narcótica del gas respirado por el buceador. Como resultado, **las prácticas varían ampliamente entre la comunidad del buceo deportivo**.

Un desafío importante en el estudio de la NGI ha sido la falta de una medida objetiva y confiable para cuantificar la aparición y la gravedad de la narcosis. Los buceadores han demostrado ser poco confiables en la autoevaluación de sus propios síntomas, y las pruebas psicológicas tradicionales pueden ser difíciles de llevar a cabo bajo el agua.

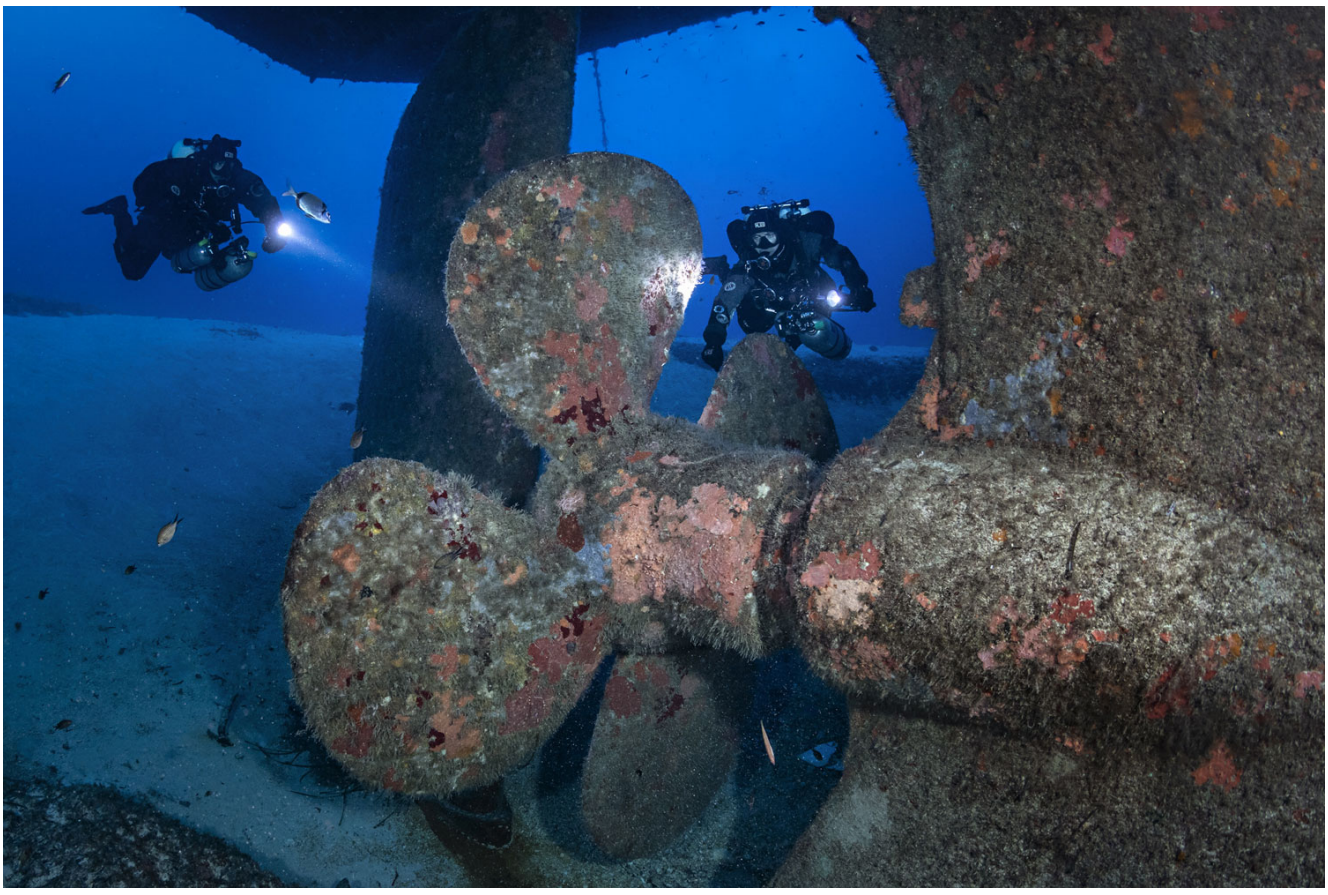
Sin embargo, en la última década, los investigadores de DAN Europe han publicado una serie de artículos que evalúan la eficacia de una nueva herramienta para evaluar la función cognitiva de un buceador, llamada Frecuencia Crítica de Fusión del Parpadeo (FCFP), que promete ser una medida objetiva de la NGI y que se puede implementar fácilmente.

Este artículo se centra en dos artículos que ofrecen algunas ideas sorprendentes y nuevas sobre la NGI. El primero, publicado en 2016, "Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity?" examinaba los efectos de diferentes ambientes hiperbáricos en la NGI y concluía que la presión y el gas pueden ser los únicos factores externos que influyen en la narcosis. También encontró que el inicio de la NGI comienza después de un breve período de agudeza mental aumentada, al descender, y sus efectos persisten al menos 30 minutos después de la inmersión.

El segundo artículo, "Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion frequency", comparaba la NGI en inmersiones con aire con las realizadas respirando aire enriquecido (EANx), utilizando ambas pruebas: las psicológicas tradicionales y la FFPC, y concluyó que las elevadas presiones parciales del oxígeno en las mezclas EAN, pueden actuar como un potente modulador de los efectos de la NGI.

Lo esencial en la Fusión del Parpadeo

La Frecuencia Crítica de Fusión del Parpadeo es la frecuencia a la que una luz parpadeante se percibe como constante y continua. Desarrollada por primera vez a principios del siglo XXth para estudiar la fisiología de la visión, la FCFP se ha convertido en una herramienta importante para medir el estado de alerta y la agudeza mental en condiciones que involucran patología, anestesia y exposiciones ocupacionales en la aviación.

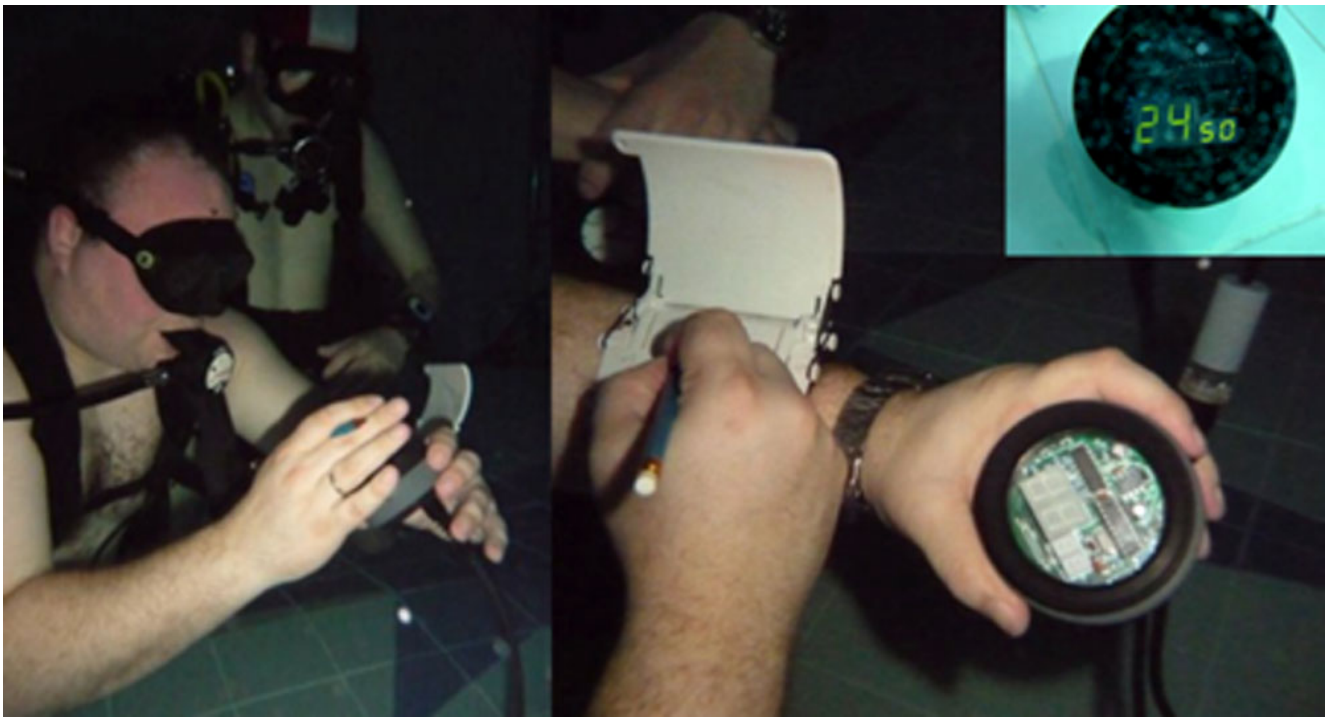


A medida que las funciones cognitivas de los sujetos se ven deterioradas o disminuyen, la frecuencia a la que perciben el parpadeo hasta percibirlo como luz fija, es decir, la "frecuencia de fusión", disminuye. Por el contrario, en estados de mayor estado de alerta mental, la frecuencia de fusión aumenta. Dado que los individuos perciben diferentes frecuencias, la frecuencia de fusión basal de un sujeto se considera del 100% y la FCFP se mide como un porcentaje de esta línea de base.

El fundador de DAN USA, el Dr. Peter Bennett, informó por primera vez sobre la correlación entre los estados mentales de los buceadores, FCFP y su electroencefalograma (EEG), en 1960, y más tarde el trabajo encontró que los cambios de FCFP durante una inmersión en saturación con heliox iban, aproximadamente, en paralelo con los cambios del EEG. Sin embargo, los investigadores no pudieron replicar posteriormente los resultados, y el uso del FCFP fue abandonado.

En los últimos años, los investigadores de DAN resucitaron la vieja prueba y han demostrado resultados prometedores. Demostraron que las pruebas FCFP ofrecen mediciones fiables bajo el agua (2012), y proporcionaron una evaluación de la función cognitiva de un buceador, similar a algunas de las pruebas del Sistema de Construcción de Experimentos en Psicología, (PEBL), al respirar aire y oxígeno a presión atmosférica (2014).

Las pruebas FCFP suelen ser más fáciles de aplicar bajo el agua que las pruebas PEBL, y posiblemente, menos fácilmente influenciadas por el sujeto. Las pruebas se llevan a cabo utilizando un pequeño dispositivo cilíndrico provisto con un LED azul y un anillo giratorio, que cambia la frecuencia de parpadeo. Durante la prueba, el buceador mira directamente al LED. A continuación, el investigador aumenta o disminuye la frecuencia de parpadeo. Cuando el buceador ve al LED cambiar de parpadeo a fusión, la prueba se detiene y se registra la frecuencia de fusión. Los resultados se comparan con el FCFP anterior a la inmersión de los sujetos, que sirve como base de referencia. En este caso, un aumento en la frecuencia de fusión se equiparó con el aumento de la función cognitiva, mientras que una disminución se consideró evidencia de NGI.

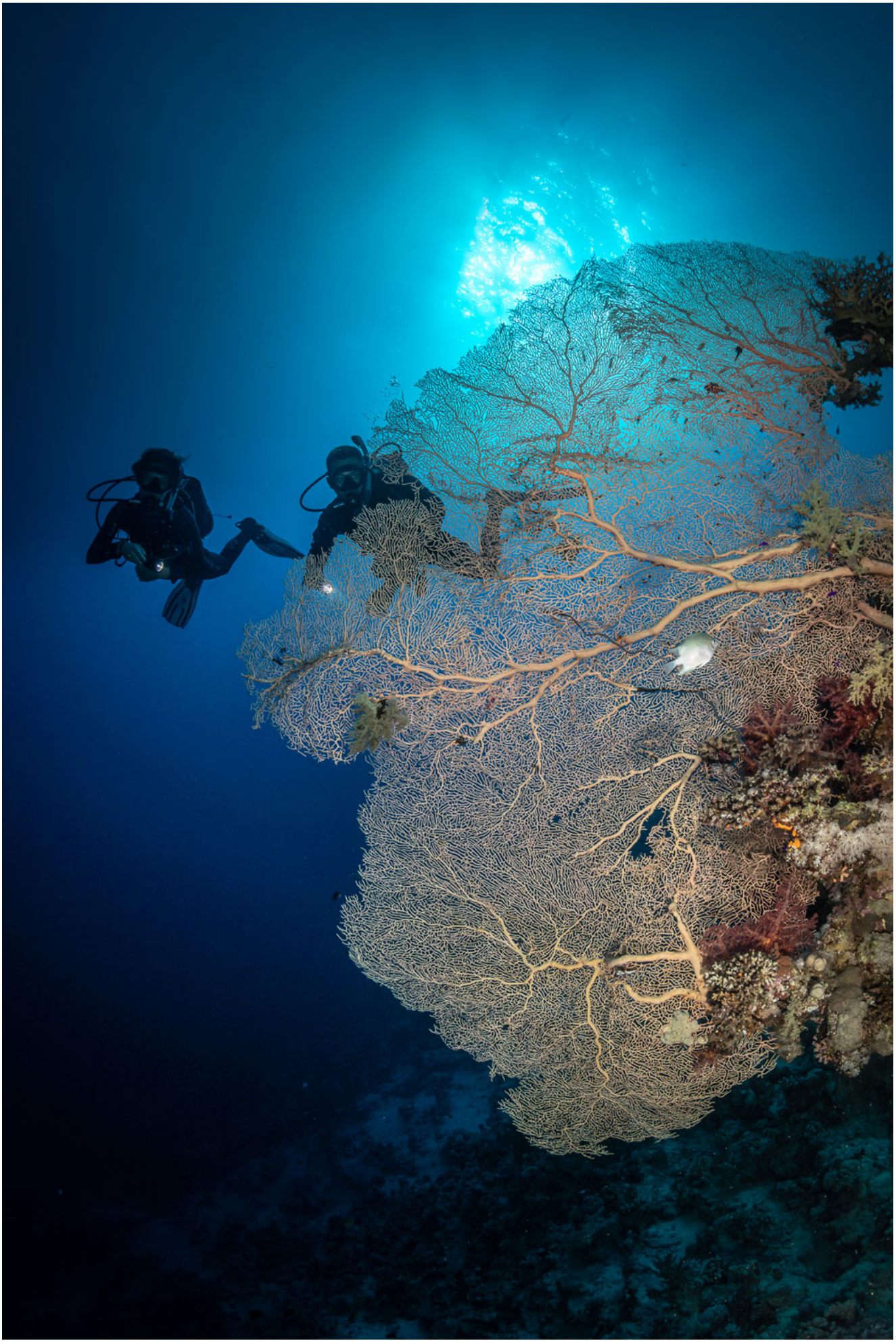


¿Cuánto influye el Medio Ambiente?

Dado que los buceadores se adaptan bajo el agua, parece muy probable que el entorno en sí influya en el rendimiento, a través de una combinación de factores. En consecuencia, se han presentado muchos factores como una contribución a la aparición y gravedad de la NGI.

En primer lugar, las elevadas presiones parciales de dióxido de carbono ($PCO_{2)}$) resultantes del esfuerzo debido al trabajo, la natación pesada y también del trabajo de respiración, es un primer sospechoso. Se cree que el aumento de la PCO_2 dilata agranda los vasos sanguíneos cerebrales, lo que conlleva un aumento de los niveles de nitrógeno en el cerebro. El frío también es un factor probable, ya que hace que los vasos periféricos se constriñan, pero como los vasos cerebrales no se pueden constreñir, el resultado es un aumento de la carga de nitrógeno cerebral.

Otros factores que se cree que contribuyen a la NGI incluyen el consumo de alcohol y de drogas, la resaca o la fatiga, la ansiedad, el exceso de trabajo, el estrés, la visibilidad restringida, la velocidad de descenso (compresión), el vértigo y la desorientación espacial. Sin embargo, desde un punto de vista científico, no hay una evidencia particularmente fuerte acerca de estos factores, y se necesitan más datos. Por esta razón, este primer estudio se centró en el entorno de buceo.



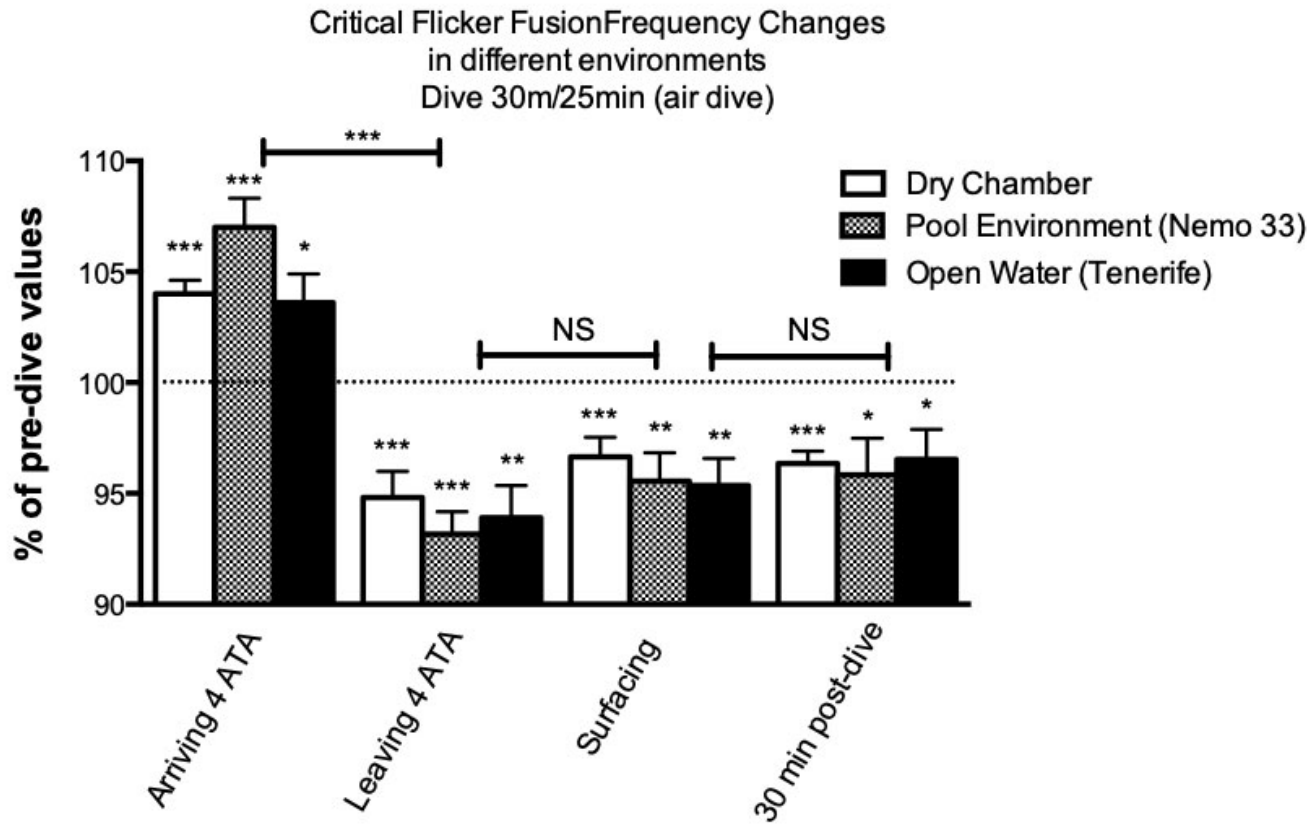
Los investigadores reclutaron a un grupo uniforme, de 40 buceadores varones no fumadores, de entre 30 y 40 años, que se ejercitaban regularmente y tenían un índice de masa corporal (IMC) entre 20-25. Los buceadores se abstuvieron de ingerir alcohol desde 72 horas antes del estudio.

Las inmersiones de prueba se llevaron a cabo a -30m, con tiempos de fondo de 20 minutos y en tres ambientes distintos: cámara hiperbárica, la piscina profunda Nemo 33, y una inmersión en el océano. La temperatura del agua en la piscina era de 33ºC,y no requería protección térmica. La temperatura del océano era de 19ºC, y los buceadores llevaban un traje de neopreno adecuado.

Se tomaron cinco conjuntos de mediciones FCFP para cada inmersión. Estos fueron:

- Pre-inmersión para establecer las líneas de base de los buceadores.
- Al llegar a -30m de profundidad
- Cinco minutos antes de la superficie.
- Al salir a la superficie.
- Treinta minutos después de la inmersión.

Según los autores, esta es la primera vez que los efectos de la NGI se miden en una población estándar, bajo diferentes condiciones ambientales, es decir, con traje seco frente a húmedo, con traje de protección frente a ninguno, sin referencias en el azul frente a una piscina). Sus hallazgos fueron sorprendentes.



Como se muestra en la Figura 1, los resultados de las FCFP fueron notablemente consistentes para cada uno de los tres entornos. En primer lugar, los valores FCFP de los buceadores aumentaron al llegar a la profundidad, lo que indica una mayor función cognitiva. Esto fue seguido, 15 minutos más tarde, por una disminución pronunciada en los valores FCFP, que reflejan la degradación cognitiva por NGI que, presumiblemente, comienza a surtir efecto. Sorprendentemente, este deterioro persistió al llegar a la superficie y 30 minutos después de la inmersión.

Esta persistencia sugiere que el viejo consejo de simplemente ascender unos metros después de experimentar narcosis es, probablemente, una estrategia ineficaz para afrontar el problema. También fue sorprendente el aumento inicial de los valores de los FCFP al alcanzar la profundidad, indicando un aumento de la excitación mental.

Según los investigadores, estas observaciones son consistentes con la teoría proteica de la narcosis, que ha ganado el favor, en los últimos tiempos, de devenir el mecanismo dominante sobre la teoría más antigua de Meyer-Overton, la de la anestesia basada en la solubilidad del N_2 en los lípidos, aunque ambos mecanismos son probables. De hecho, se cree que la NGI y la anestesia, comparten los mismos mecanismos.

Los autores suponen que el efecto observado de la excitación cerebral seguido de la degradación, son el resultado de un equilibrio entre los efectos directos "dopantes" del nitrógeno y del oxígeno, en los receptores GABA y la farmacocinética de estas interacciones. El oxígeno exhibe efectos activadores sobre los neurotransmisores, mientras que el nitrógeno exhibe efectos inhibitorios (Ver Rostain et al. 2011; Balestra et al. 2018).

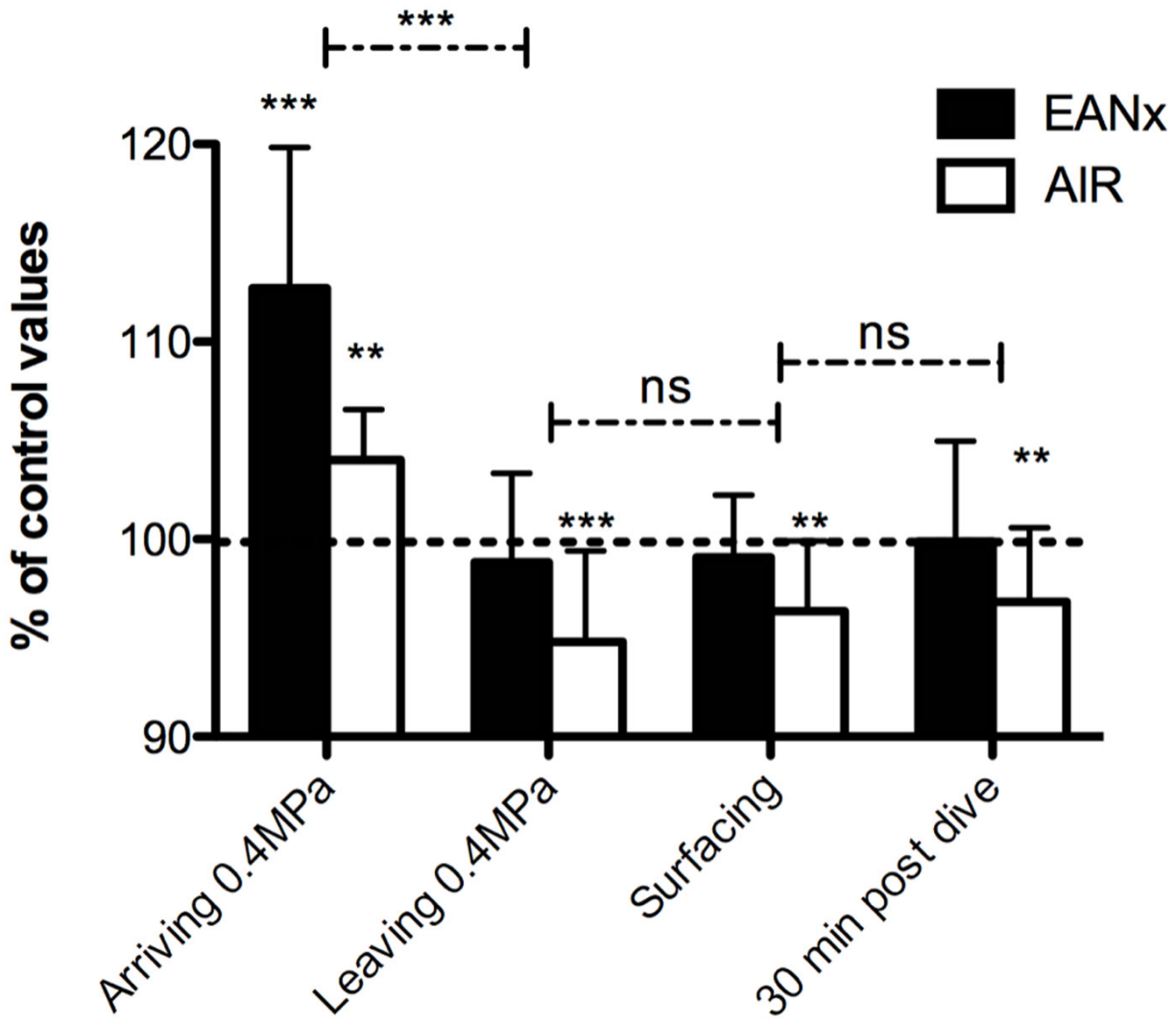
Los autores concluyeron que, cuando se miden objetivamente, esa presión y el gas. pueden ser los únicos factores externos que influyen en la NGI. Sin embargo, el estudio no fue efectuado con control del esfuerzo (es decir, con PCO_2s elevadas), que también podría ser, y probablemente es, un factor crítico.

Aire Versus Nitrox

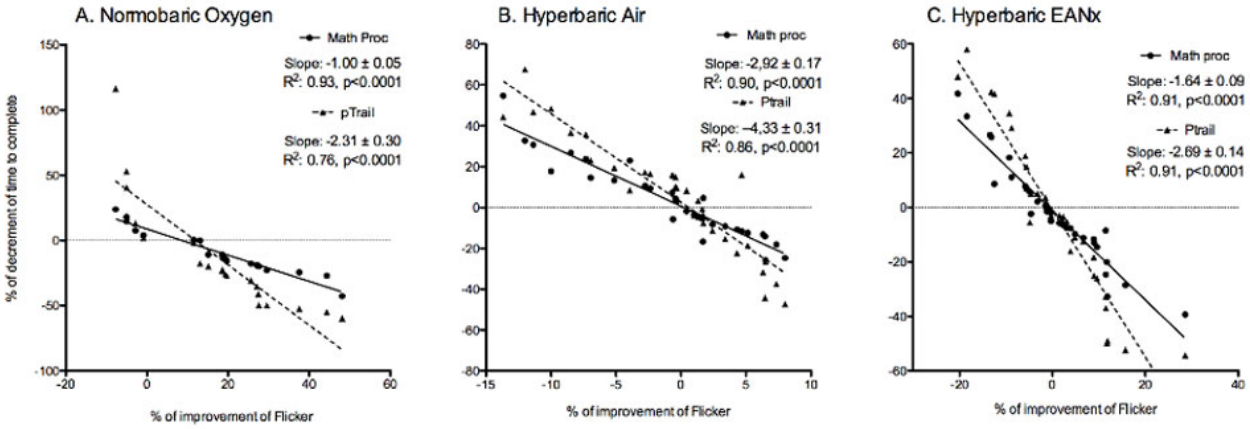
Ha habido pocos estudios comparativos entre los efectos del aire respirado y el aire enriquecido (EAN), en la NGI. Algunos estudios han reportado un peor rendimiento psicomotor al respirar O_2 o EANx. Otros han informado de que el deterioro por narcosis es el mismo, aunque los buceadores pueden percibir lo contrario. Los objetivos del estudio fueron mejorar el rendimiento cognitivo con diferentes presiones parciales de oxígeno y la eficacia de la FCPF como herramienta de medición.

Para este estudio, los investigadores seleccionaron ocho buceadores varones, de nuevo entre los 30-40 años de edad, con IMC de 20-25. Las inmersiones de prueba se llevaron a cabo con aire o EANx 40, en orden aleatorio, en una cámara seca, donde los gases inspirados se suministraban a través de una máscara facial. El perfil de buceo fue diseñado para producir narcosis: -30m o 4 ATA ,con un tiempo de fondo de 22 minutos, y una descompresión lineal de 12 minutos a 3m/minuto, con una parada de seguridad de 3 minutos a -3m..

El rendimiento cognitivo de los buceadores se evaluó durante las inmersiones utilizando tanto el dispositivo de prueba FCPF, como una batería de pruebas PEBL por ordenador, consistente en un proceso matemático, pruebas de camino y una prueba de vigilancia perceptiva. Al igual que en el estudio anterior, los buceadores fueron evaluados antes de la inmersión, al llegar a 4 ATA, dejando los 4 ATA, al llegar a la superficie y 30 minutos después de la inmersión.



Como se muestra en la Fig. 2, la evolución de los valores de FCPF, tanto para el aire como para el EANx, mostró un patrón similar al primer estudio. Al respirar aire, los valores de FCPF aumentaron al llegar a 4 ATA, seguidos 15 minutos más tarde por una disminución. El deterioro persistió al llegar a la superficie y 30 minutos después de la inmersión. Al respirar EANx, los valores de FCPF aumentaron al llegar a la profundidad, y luego disminuyeron pasados 15 minutos. Sin embargo, la disminución siguió hasta retornar a la línea de base. Sólo la primera medición fue estadísticamente distinta de la línea de base.



La Figura 3 muestra la correlación inversa significativa entre los cambios en los valores FCPF y el tiempo necesario para completar las pruebas PEBL, para ambas mezclas de gas. Al igual que los valores de FCFP , el tiempo necesario para completar las pruebas mostró una mejora al alcanzar la profundidad, para ambos gases, y luego se deterioró (los tiempos fueron más largos), incluso pasados 30 minutos después de la inmersión. Esto confirmó la validez de la FCPF como herramienta de medición en condiciones hiperbáricas y sugirió que la FCPF produce resultados comparables a los de las PEBL.

¿El aire comprimido sólo sirve para hinchar las ruedas?

Aunque la evolución de las inmersiones mostró un patrón similar, hubo una diferencia significativa entre los dos gases. El EANx se asoció con una mayor activación cerebral comparado con las inmersiones con aire, y hubo menos deterioro tardío en el buceo/post-inmersión. Esto fue coherente con los resultados del primer documento sobre las condiciones ambientales.

La teoría de los autores es que la fracción más alta de oxígeno inspirado tuvo un efecto beneficioso sobre el rendimiento excitado y cognitivo. Esto se ha demostrado en otros estudios sobre la respiración de oxígeno. Esto también sugiere que los buceadores susceptibles a NGI también pueden ser susceptibles a los efectos de PO_2s elevados. Además, incluso una pequeña reducción de la PN_2 significó un efecto beneficioso del EAN 28 (28% oxígeno) en el rendimiento cognitivo, en un estudio anterior.

¿El resultado? El estudio le da peso al lema lanzado en su día por los Global Underwater Explorers (GUE): "el aire comprimido es para los neumáticos". Es probable que los buceadores experimenten menos narcosis buceando con nitrox que con aire, y el nitrox también ofrece ventajas de descompresión.

Referencias clave

Rocco M, Pelaia P, Di Benedetto P, Conte G, Maggi L, Fiorelli S, Mercieri M, Balestra C, De Blasi RA & Investigators RP. (2019). Inert gas narcosis in scuba diving, different gases different reactions. *Eur J Appl Physiol* 119, 247-255.

Lafere P, Hemelryck W, Germonpre P, Matity L, Guerrero F & Balestra C. (2019). Early detection of diving-related cognitive impairment of different nitrogen-oxygen gas mixtures using critical flicker fusion

frequency. *Diving Hyperb Med* 49, 119-126.

Balestra C, Machado ML, Theunissen S, Balestra A, Cialoni D, Clot C, Besnard S, Kammacher L, Delzenne J, Germonpre P & Lafere P. (2018). Critical Flicker Fusion Frequency: A Marker of Cerebral Arousal During Modified Gravitational Conditions Related to Parabolic Flights. *Front Physiol* 9, 1403.

Lafere P, Balestra C, Hemelryck W, Guerrero F & Germonpre P. (2016). Do Environmental Conditions Contribute to Narcosis Onset and Symptom Severity? *International journal of sports medicine* 37, 1124-1128.

Freiberger JJ, Derrick BJ, Natoli MJ, Akushevich I, Schinazi EA, Parker C, Stolp BW, Bennett PB, Vann RD, Dunworth SA & Moon RE. (2016). Assessment of the interaction of hyperbaric N2, CO2, and O2 on psychomotor performance in divers. *J Appl Physiol (1985)* **121,** 953-964.

Balestra C, Lafere P & Germonpre P. (2012). Persistence of critical flicker fusion frequency impairment after a 33 mfw SCUBA dive: evidence of prolonged nitrogen narcosis? *Eur J Appl Physiol* 112, 4063-4068.

Rostain, J. C., Lavoute, C., Risso, J. J., Vallee, N., and Weiss, M. (2011). A review of recent neurochemical data on inert gas narcosis. *Undersea Hyperb. Med.*38, 49–59.

Otras Fuentes:

The Science of Diving: Things your instructor never told you (DAN Member's link – NON Member's link)

Sobre el autor

Michael es un galardonado periodista y tecnólogo que ha escrito sobre buceo y tecnología del buceo, durante décadas. Acuñó el término "buceo técnico". Su trabajo ha aparecido en revistas como Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Times, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED y X-Ray. Fundó y ejerció como editor en jefe de aquaCORPS, lo que ayudó a convertir la tecnología en la corriente principal del buceo deportivo. También organizó los primeras conferencias Tek, EuroTek y AsiaTek.