

# Últimos hallazgos sobre ED y Fisiología del Buceo (2ª parte)

Tras el [primer artículo](#), publicado el mes pasado, seguimos presentando los resultados de la investigación extraídos de "The Science of Diving", publicación de la clausura del proyecto científico llamado PHYPODE.

Un supuesto adicional era que el endotelio vascular, la capa interior de todos los vasos sanguíneos, jugaba un papel clave en la ED.

F. Guerrero (Laboratoire Optimisation des Régulations Physiologiques - ORPhy-Universidad de Brest, Francia) investigó la función endotelial alterada después de la inmersión.

En general, el endotelio vascular regula la actividad vascular y la salud cardiovascular mediante la liberación de sustancias que regulan muchas funciones, tales como el flujo de la sangre, los procesos inflamatorios, la trombosis, el estrés oxidativo, y así sucesivamente. El aumento de la permeabilidad endotelial - pérdida de contacto entre las células endoteliales micro vasculares y el debilitamiento de su adhesión a la membrana basal - participa habitualmente en la ED. Se encontró que cada inmersión disminuye la vasodilatación de cada vaso, como se muestra por las mediciones de la dilatación mediada por flujo (DMF). Los grandes vasos, así como los micro-vasos, es decir, la red capilar y el lugar de intercambio de gases, se deterioran después de bucear y se modifican aún más después de una ED. La investigación sobre los apneístas (que no generan burbujas) sugiere que la presión hidrostática y la hiperoxia son los responsables de este efecto destructivo sobre el endotelio, debido al estrés oxidativo que crean, activando la muerte de las células endoteliales. Dado que existen también casos de ED graves sin presentar dicha alteración, se puede concluir que no es el propio endotelio el que desempeña el papel clave, sino los factores circulantes que se derivan de ello. Uno de ellos es el óxido nítrico (NO), que es producido por el endotelio. Mediante el bloqueo del NO en estudios con animales, los investigadores encontraron diferencias relacionadas con el sexo: la incidencia de ED aumentó en las mujeres pero no en los hombres. Aquí es dónde se centrará la futura investigación - ver la influencia de las diferencias de sexo en el mecanismo de la ED.

Como se sabe, el oxígeno es un gas importante en el buceo, y la respiración de oxígeno puro es un primer tratamiento de emergencia, común y eficaz, para la ED. Sin embargo, **el oxígeno también tiene efectos negativos**. La investigación en el campo fue realizado por J. Kot (Centro Nacional de Medicina Hiperbárica de la Universidad Médica de Gdansk, Polonia). El estrés oxidativo es causado por el efecto destructivo de los radicales libres ( $O_2$ ,  $H_2O_2$ , OH) que se crean durante una reducción incompleta del oxígeno en la célula. Estos radicales son moléculas agresivas y de corta acción que destruyen las moléculas de ADN, las proteínas y los lípidos. Afortunadamente, el cuerpo humano posee un sistema de defensa antioxidante para gestionar el equilibrio entre los antioxidantes y los radicales y controlar el daño. La presión parcial de oxígeno es más alta en los pulmones, que sirven como la primera línea del sistema de defensa. El efecto destructivo puede conducir a la fibrosis del tejido pulmonar. Si esto sucede, los pacientes pueden padecer de hipoxia, a pesar de estar respirando oxígeno puro. La buena noticia es que este tipo de estrés oxidativo se aplica más a los buceadores técnicos, que utilizan mezclas de oxígeno (p.e. nitrox) que no utiliza la mayoría de los buceadores recreativos.

La investigación de PHYPODE sugiere que es evidente que existe una susceptibilidad individual a la ED, como lo demuestran los hallazgos de personas que presentan tendencia a generar fácilmente derivaciones vasculares, generadores de altos niveles de burbujas, buceadores con distinta calidad de endotelio, predisposición genética, y así sucesivamente. Según lo escrito anteriormente, una buena manera de reducir el riesgo de una ED es el pre-acondicionamiento. Otra posibilidad es el desarrollo de nuevas

tecnologías de buceo e implementar un modelo de descompresión revisada y más complejo que integre la medicina personalizada, así como información de la inmersión en tiempo real.

El concepto del "**Buceador Biónico**" nació hace unos años y se basa en nuevas consideraciones del algoritmo de descompresión (una adaptación del algoritmo basado en parámetros fisiológicos), que incorporará el seguimiento médico 24 horas de los parámetros fisiológicos, tales como la frecuencia cardíaca, el índice de masa corporal (IMC), y otra información personal. El objetivo es desarrollar un ordenador de buceo ajustable que adapte los programas de descompresión específicamente a la fisiología del buceador, en tiempo real, y tenga en cuenta también la hidratación, la fatiga y una variedad de otras condiciones que muestran cómo el cuerpo humano responde al estrés del buceo.

En la actualidad, MARES está probando un ordenador de buceo Icon HD modificado con un potente procesador y pantalla de color. Permite la recogida y presentación de información antes, durante y después de la inmersión, reconoce signos de narcosis de nitrógeno, realiza los cálculos de la descompresión, etc. Los desarrollos actuales fueron presentados por G. Distefano (Product Manager de MARES, Génova, Italia).

Como la medición de parámetros fisiológicos humanos se ha convertido en uno de los principales objetivos en la investigación del buceo, las opciones que puede ofrecer un dispositivo **reciclador** fueron presentadas por N. Donda.

Un aparato de respiración como el *rebreather* recicla el gas exhalado que se purifica del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) haciéndole circular a través de un circuito cerrado que consta de varios elementos, y que restituye la cantidad de oxígeno (O<sub>2</sub>) que el cuerpo ha metabolizado. Dado que el respirador mantiene el gas exhalado dentro del circuito cerrado, puede ser utilizado para recoger datos de la fisiología humana durante el buceo. Los investigadores decidieron instalar varios sensores para la medición de la calidad y la cantidad de gas inhalado y exhalado en los diferentes espacios de aire que pueden encontrarse en el dispositivo. Los parámetros monitoreados incluyen la cantidad de oxígeno inhalado / exhalado, la cantidad de CO<sub>2</sub> exhalado, la frecuencia respiratoria, el volumen total de gas de la respiración, la temperatura del gas inhalado y la temperatura exterior, y el nivel de humedad en el gas inspirado. Otros parámetros monitoreados fueron la profundidad (la presión), el tiempo de inmersión, la posición bajo el agua, la frecuencia de aleteo, la frecuencia cardíaca y la velocidad de descenso y ascenso del buceador. La fiabilidad del sensor se ensayó y los valores fueron convertidos en datos utilizables que fueron transferidos, ya fuese eléctricamente o de forma inalámbrica, a una unidad de almacenamiento con la memoria adecuada.

La medicina del buceo está avanzando, y hay nuevos hallazgos sobre los mecanismos de la descompresión. Hasta ahora, y debido a la falta de tecnología de detección apropiada, los datos fisiológicos del buceador sólo se recogían en el laboratorio o en situaciones de pre-y post-buceo, pero nunca durante una inmersión. Arne Sieber (Investigador Científico de IMEGO AB, Gothenburg, Suecia) ha desarrollado nuevas tecnologías de sensores para monitorizar el **ECG y la temperatura corporal** durante la inmersión. Los datos sobre el metabolismo del buceador se colectaron de un reciclador de circuito cerrado, donde pudieron medirse el oxígeno, el CO<sub>2</sub>, la frecuencia respiratoria, el volumen corriente, el volumen respiratorio por minuto y la presión arterial.

El componente central de este enfoque del buceador biónico o digital será un nuevo ordenador de buceo con una interfaz inalámbrica para que se puedan conectar varios sensores y que dispondrá de un potente microprocesador, capaz de realizar cálculos de descompresión integrales. Este sistema se utiliza momentáneamente sólo para fines militares, pero pronto estará disponible para el público en general y en todo tipo de sistemas.

En resumen, el proyecto de investigación PHYPODE ha traído una gran cantidad de datos, de extraordinaria calidad, en forma de conocimiento detallado, así como la prueba de muchos hábitos que los buceadores poseen intuitivamente pero no saben el por qué. Se han investigado, efectuado, probado y resuelto mecanismos de precisión y mediciones que ahora pueden conducir al desarrollo de un modelo de descompresión más seguro e implementado en un ordenador de buceo personalizado, integrando varios parámetros fisiológicos en tiempo real, con otra información médica. Estos cuatro años de intensa investigación han constituido un duro trabajo, pero han contribuido definitivamente al desarrollo de la tecnología de buceo, un gran paso adelante hacia la mejora de la seguridad del buceo. También han despejado el camino para futuras investigaciones, fomentando nuevas preguntas mientras daban respuesta a otras viejas.

En la conferencia, los responsables del proyecto tuvieron la oportunidad de presentar el libro "**The Science of Diving, Things your instructor never told you**", una recopilación completa de los conceptos e ideas actuales, así como los resultados de esta investigación de vanguardia. Con sus 273 páginas y 11 capítulos, el libro es una guía excelente para cualquier persona involucrada o interesada en el buceo, como médicos, personal de cámaras hiperbáricas, científicos, profesionales del buceo, operadores de buceo y estudiantes de cursos de buceo. Evita la jerga científica y con el uso de un lenguaje vivo, el libro mejora la comprensión incluso de los pasajes más sofisticados de la ciencia.

El libro fue editado por el Professor Balestra y el Dr. Germonpré, co-editado por M. Rozloznik, P. Buzzacott y D. Madden de la European Underwater and Baromedical Society (EUBS), y escrito por cada uno de los 14 investigadores de PHYPODE.

---

## Publicaciones Destacadas

### **"The Science of Diving, Things your instructor never told you"**

Publicado por Lambert Academic Publishing, que se puede comprar online [aquí](#), o se puede pedir a través de cualquier librería usando el número ISBN 978-3-659-66233-1. El libro se vende a 49,90 €, y todos los beneficios de la venta se donan a la EUBS, para promover aún más la investigación en la medicina del buceo.

### **Recursos Educativos: una ventaja de la afiliación a DAN**

Los afiliados a DAN reciben regularmente información y se les invita a interesantes conferencias, seminarios y eventos centrados en la seguridad en el buceo. Los descuentos en el precio de la entrada o la libre participación en este tipo de eventos, es sólo uno de los numerosos [beneficios que proporciona la afiliación](#) a DAN.

Para mantenerte al día con eventos similares a la conferencia PHYPODE, por favor [regístrate en la web de DAN Europe](#). Recibirás periódicamente nuestros boletines y valiosa información sobre las oportunidades de formación en primeros auxilios, planes de seguro de buceo, seminarios *online*, y mucho más.