Inmersión profunda en la base de datos de DAN

Los lectores habituales de esta revista sabrán que la descompresión personalizada es uno de los principales objetivos de investigación a largo plazo que persigue el equipo científico de DAN Europe, bajo la dirección del profesor Alessandro Marroni.

No es una misión fácil. Los estudios en ciencia hiperbárica suelen contar con muestras de tamaño muy reducido, lo que hace extremadamente difícil aislar factores individuales con significación estadística.

Sin embargo, DAN tiene un as en la manga (o toda una baraja, según se mire): una base de datos de 127.957 inmersiones reales, incluidas 628 que han dado lugar a ED, y con todos los datos de los ordenadores de buceo de los buceadores, recopilados a lo largo de un periodo de 15 años. Acumular una cantidad tan vasta de datos y armonizar los registros de las diferentes marcas y modelos de ordenadores de buceo para poderlos comparar, supone un esfuerzo colosal por parte de los investigadores.

Los registros fueron aportados por 5.907 buceadores individuales, de los cuales aproximadamente el 80 % eran hombres y el 20 % mujeres. Cada participante envió entre 1 y 1.432 perfiles de inmersión (mediana: 3).

Cada uno de estos perfiles viene acompañado de documentación adicional en forma de un cuestionario rellenado por el buceador, en el que proporciona datos personales básicos como su edad, sexo, peso y altura, así como información sobre su estado físico y cómo vivió la inmersión.

En un estudio publicado recientemente, los investigadores de DAN realizaron un complejo análisis estadístico de toda su base de datos, con el fin de identificar los parámetros que influyen en la probabilidad de que una inmersión termine con un episodio de ED. Para ello, las inmersiones se clasificaron en dos grupos principales: las que resultaron en una ED y las que no. A continuación, los científicos compararon ambos grupos, en función de una serie de posibles parámetros que podrían influir en la probabilidad de que una inmersión acabara en uno u otro grupo.

Vamos a echar una ojeada a los resultados.

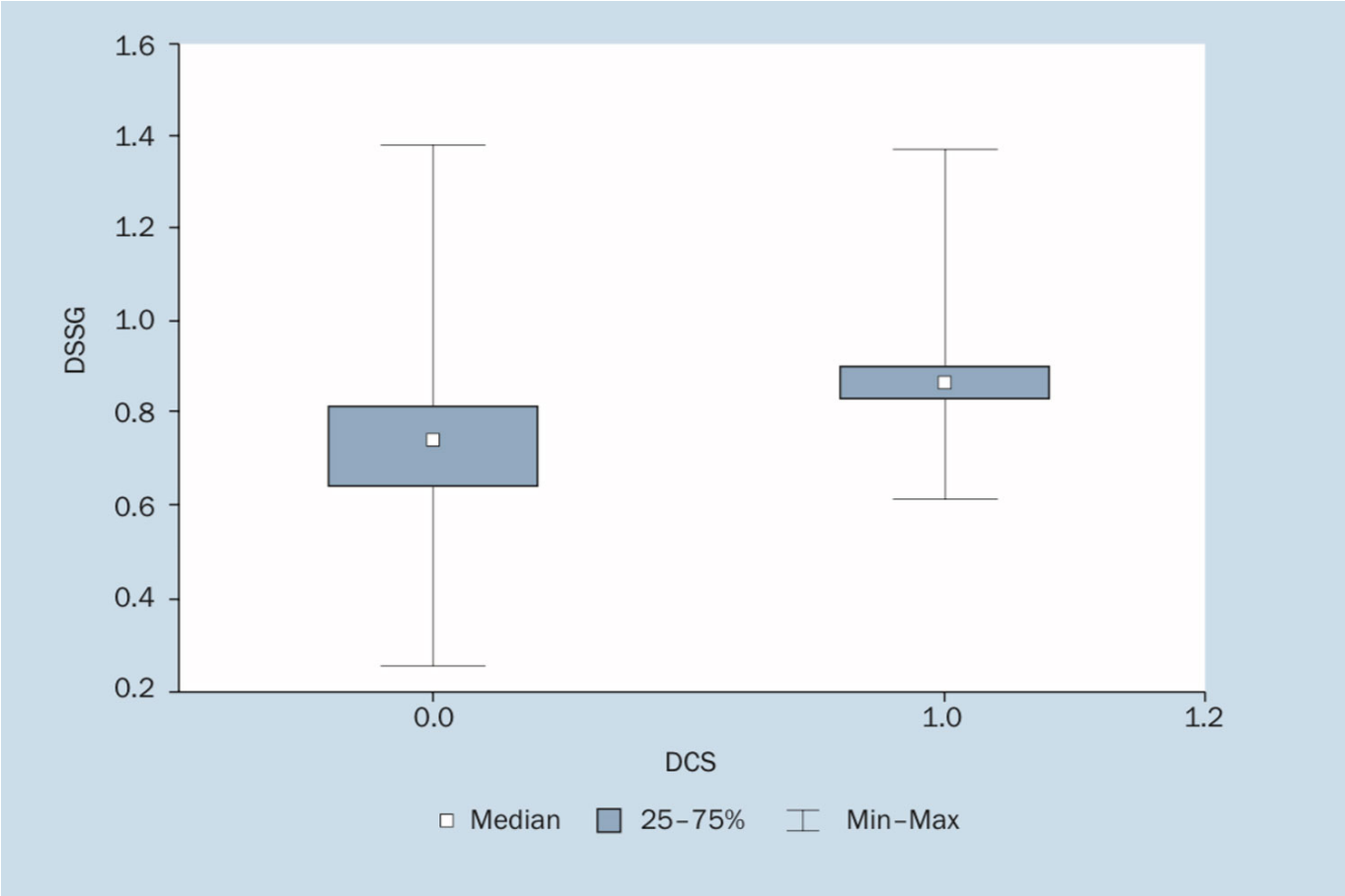
Perfil de la inmersión

Se analizaron los perfiles de cada inmersión para identificar el "*compartimento director*"; es decir, cuál de los 16 compartimentos tisulares teóricos del algoritmo Bühlmann ZHL-16C presentaba la mayor sobresaturación, así como el "*factor de gradiente*" de ese compartimento, al emerger; esto es, al salir a la superficie. Es decir, la tensión del gas en relación con el máximo teórico (valor M), expresada en porcentaje.

Dado que no todos los ordenadores de buceo utilizan el algoritmo de Bühlmann de forma nativa, ni registran el factor de gradiente al salir a la superficie, los científicos tuvieron que calcular retroactivamente los parámetros necesarios a partir de la información del perfil de inmersión. La métrica resultante (denominada "Gradiente DAN de sobresaturación en superficie", o DSSG) se utilizó como base para la comparativa.

Se observó que las inmersiones que resultaban en ED presentaban un DSSG significativamente mayor que las inmersiones que finalizaban sin incidentes (86,6 % frente a 74,3 %). También se observó que el riesgo de ED era mayor cuando el compartimento director tenía una constante de tiempo más corta (conocido coloquialmente como "*tejido rápido*"). Los buceadores pueden controlar ambos factores de riesgo realizando paradas prolongadas en aguas poco profundas antes de emerger.

En general, se observó que el perfil de inmersión era el factor más importante a la hora de determinar el riesgo de ED.



DSSG para inmersiones que provocaron ED (derecha) frente a las que no lo provocaron (izquierda). El recuadro oscuro muestra los dos cuartiles centrales (la mitad del número de perfiles de inmersión). Las barras muestran los extremos del rango.

Por ser mujer

En promedio, las buceadoras parecen tener un mayor riesgo (aproximadamente cuatro veces mayor) de sufrir una ED que los buceadores.

La causa de esta discrepancia no está del todo clara. Puede estar relacionada con factores como las diferencias de género en la función endotelial (membranas celulares), la coagulación sanguínea y la respuesta inflamatoria al estrés descompresivo. Los estudios de laboratorio (en ratones) han demostrado que los factores que determinan la resistencia a la ED no son los mismos para machos que para hembras. Es muy posible que esto también se aplique a los seres humanos.

En una conversación por correo electrónico con *Alert Diver,* los investigadores afirmaron que el estudio actual de DAN no distingue entre buceadoras en edad premenstrual, fértil y (post)menopáusica, y que, en el futuro, esta diferenciación podría proporcionar más pistas sobre los mecanismos exactos que intervienen.

Para contextualizar, conviene tener en cuenta que la ED grave sigue siendo extremadamente rara en personas de ambos sexos. Si se multiplica un número muy bajo por cuatro, el resultado sigue siendo un número muy bajo. Así que, por favor, ¡sigan buceando y no cuelguen las aletas!

Buceo técnico

El buceo técnico conlleva más riesgo que el buceo recreativo. En igualdad de condiciones, las inmersiones identificadas como “técnicas” conllevan un 36% más de riesgo de ED que las inmersiones recreativas.

En el estudio, se utilizó la cantidad de gases acarreados como indicador para valorar la magnitud y complejidad de la inmersión técnica, y se observó que el riesgo de ED se correlacionaba con esa cantidad. Los investigadores admiten que, con el uso cada vez más frecuente de los CCR, la cantidad de gases transportados pierde relevancia como indicador.

Índice de masa corporal (IMC)

Los investigadores de DAN agruparon a los buceadores en ocho categorías de IMC, desde la delgadez extrema severa hasta la obesidad mórbida. Se observó que la categoría de IMC (no el IMC directamente) se correlacionaba con el riesgo de ED, y (éste es uno de los hallazgos más sorprendentes del presente estudio), no solo para los buceadores con sobrepeso u obesos.

En cambio, la curva tiene forma de U, con un mayor riesgo en ambos extremos del espectro. Es decir, tener un peso muy por debajo de lo normal parece aumentar el riesgo de que un buceador sufra ED (+15 %). Solo se observó significación estadística en los extremos: aquellas personas patológicamente delgadas y patológicamente obesas.

Inmersiones repetitivas e intervalos en superficie.

Curiosamente, se descubrió que las inmersiones repetitivas conllevaban un menor riesgo de ED que las anteriores, lo que refuerza aún más la idea de que el cuerpo humano se adapta al estrés descompresivo. Los investigadores señalan que todas las inmersiones con un intervalo en superficie de 48 horas o menos, se consideraron repetitivas.

Junto con el hallazgo de que cada hora adicional de intervalo en superficie reducía el riesgo de ED en un 6 %, esto sugiere que realizar un número reducido de inmersiones al día, con largos intervalos en superficie y a lo largo de varios días consecutivos, podría ser el enfoque más seguro en términos de gestión del riesgo de la ED.

Fatiga, ejercicio antes de la inmersión, carga de trabajo durante la inmersión y confort térmico.

En el cuestionario, se pidió a los buceadores que proporcionaran información sobre si habían realizado ejercicio antes de la inmersión (cuatro categorías, desde ningún ejercicio hasta ejercicio intenso), si sentían frío o fatiga, y cómo valoraban la carga de trabajo durante la inmersión.

El ejercicio previo a la inmersión mostró una correlación positiva con el riesgo de ED. Los investigadores señalan que este hallazgo debe tratarse con gran cautela, ya que el ejercicio es un tema complejo y no se puede captar fácilmente en un único parámetro. Además, estudios específicos sugieren que el preacondicionamiento con ejercicio ligero antes de una inmersión puede utilizarse para reducir el riesgo de ED.

Se descubrió que tanto la sensación de fatiga como la de frío resultaban protectoras (reduciendo el riesgo de ED). Estos resultados pueden parecer contrarios a la intuición. En el caso concreto del frío, un conocido estudio de 2007 realizado por la Unidad de Buceo Experimental de la Marina de los Estados Unidos (NEDU) demostró que tener frío durante la fase de fondo y calor durante el ascenso reduce el riesgo de ED. Una posible explicación es que una incomodidad notable (autodeclarada) puede hacer que un buceador actúe de forma más conservadora.

Se observó que una carga de trabajo elevada (de nuevo, autodeclarada) aumentaba el riesgo de ED, lo cual concuerda con los conocimientos establecidos.

Investigación futura

Por la propia naturaleza de este estudio, parámetros como la fatiga, el ejercicio previo a la inmersión, la carga de trabajo y el estado térmico, no pueden medirse objetivamente, lo que hace que los hallazgos en estas áreas sean menos concluyentes que los relativos a los perfiles de inmersión o las diferencias de sexo, por ejemplo.

Para llegar al fondo de estas importantes interdependencias es necesario el uso de dispositivos de biomonitorización que registren factores como la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la oxigenación de la sangre y la temperatura cutánea y central. DAN lleva muchos años investigando activamente en este campo con su sistema interno DANA Health y tiene previsto ampliar sus esfuerzos mediante un nuevo dispositivo portátil de biomonitorización subacuática, capaz de realizar un ECG completo bajo el agua (*informó Alert Diver*).

Comentarios de los investigadores y perspectivas de futuro

Cuando se le pidió que resumiera los resultados del estudio, el profesor Costantino Balestra hizo hincapié en que muchos de los hallazgos son indicativos, pero no definitivos:

> *"El artículo ofrece una serie de indicios de que existen dos tipos diferentes de parámetros, algunos dependientes y otros independientes del riesgo de ED, y que no siempre coinciden con la sabiduría convencional. Por ejemplo, el IMC se relacionó con un mayor riesgo solo en los extremos de "muy delgado" o "muy gordo". El parámetro con mayor poder predictivo identificado en el artículo fue el DSSG".*

El fundador y CEO de DAN EU, el profesor Alessandro Marroni, ofrece una perspectiva de futuro:

> *"Este estudio es un primer paso importante hacia la personalización del riesgo del buceo en función de las características individuales, el nivel de tolerancia al riesgo (alto, medio, bajo), las modalidades de buceo, el tipo de equipo y los gases utilizados.*
>
> *La combinación de estos hallazgos con el creciente volumen de datos sobre las respuestas fisiológicas al buceo, permitirá dar el segundo paso hacia una verdadera individualización de las prácticas de buceo: el desarrollo de un modelo fisiológico probabilístico para mitigar y controlar el riesgo individual".*

Para nosotros, los buceadores, el estudio aún no ofrece recomendaciones claras sobre cómo planificar nuestra descompresión o configurar nuestros ordenadores, más allá de ser conservadores con nuestro factor de gradiente (alto) y ascender lentamente desde la última parada de descompresión o de seguridad.

Sin embargo, es probable que los futuros ordenadores de buceo incluyan un número cada vez mayor de funciones biométricas. Se necesitarán investigaciones como el estudio presentado en este artículo para interpretar las mediciones y ofrecer consejos práctico.

Acerca del traductor

Ramon Verdaguer es ingeniero industrial, diplomado en medicina hiperbárica y subacuática, examinador y Trainer de Instructores de buceo y buceador comercial.