

# Acondicionamiento previo y ED

En general se acepta que los factores de riesgo más influyentes para originar una enfermedad descompresiva (ED) son el tiempo de inmersión y la profundidad. Los buceadores también están muy interesados en conocer de que manera otros factores, como el ejercicio y el estado de hidratación, pueden afectar al riesgo de sufrir una ED. El acondicionamiento previo describe el uso de estímulos fisiológicos o farmacológicos para aumentar la resistencia a las lesiones o a ciertas enfermedades en particular. En este artículo, tratamos de entender si existen determinadas prácticas de preacondicionamiento que los buceadores puedan emplear para reducir su riesgo de ED. Preguntamos a los expertos.

**La recomendación que prevalece con respecto al ejercicio y el buceo es que los buceadores evitan la actividad física intensa en torno al buceo, pero se ha sugerido que practicar ciertos ejercicios puede reducir el riesgo de ED. ¿Cómo podría el ejercicio aumentar o disminuir el riesgo de ED, y qué consejos le daría a los buceadores acerca de ello?**

**Constantino Balestra:** Cada vez más investigadores están demostrando los beneficios del ejercicio pre-inmersión. Los mecanismos no se han identificado definitivamente, pero la clave parece ser "el movimiento". El beneficio parece radicar en acciones concomitantes del corazón, sistema vascular y sistema linfático.

**Michael Bennett:** En los últimos años, la relación entre el ejercicio y el buceo se ha convertido en sujeto de estudios muy interesantes. La visión tradicional es que el ejercicio pre-inmersión supone un factor de riesgo para la ED, lo cual se basa en el aumento potencial de la captación de nitrógeno a nivel tisular, debido a una circulación hiperdinámica. Sin embargo, la evidencia reciente indica que este punto de vista puede ser demasiado simplista. Estudios en animales y humanos sugieren que una sola sesión de ejercicio moderado o vigoroso, de 2 a 24 horas antes de una inmersión simulada, puede reducir la formación de burbujas (y, presumiblemente, el riesgo de ED). Todavía no está claro por qué esto debería ser así, pero parece probable que la generación de óxido nítrico (ON) durante el ejercicio bien puede favorecer la eliminación de los núcleos donde las burbujas tienden a formarse o, dicho de otro modo, alterar las células que recubren los vasos sanguíneos (el endotelio). Sin embargo, hay una serie de hipótesis alternativas, y ésta es un área de investigación muy activa. Jean-Eric Blatteau y colegas postularon, por ejemplo, que el efecto protector se debe a una hipovolemia moderada. Actualmente les digo a los buceadores que no hay evidencia de que el ejercicio realizado hasta unas dos horas antes de la inmersión vaya a ser perjudicial, pero no les animo vivamente a realizarlo.

Hay menos polémica en torno a los efectos del ejercicio en otras ocasiones por lo que se refiere al riesgo de ED. Practicar ejercicio durante una inmersión aumenta la captación y distribución de nitrógeno en los tejidos y se cree que aumenta el riesgo, mientras que el ejercicio suave durante la descompresión se ha defendido como método para ayudar a liberación de gas inerte y reducir el riesgo. El ejercicio vigoroso después de finalizar una inmersión no se recomienda debido a la posibilidad de incrementar la formación de burbujas debido a la estimulación mecánica.

**Alf Brubakk:** La práctica de ejercicio regular es recomendable para los buceadores. El ejercicio aeróbico antes de la inmersión reduce la formación de burbujas a nivel vascular. El ejercicio después de bucear puede aumentar o disminuir la formación de burbujas, y los efectos pueden depender de los niveles generales de forma física. Esta es un área donde falta todavía información para hacer recomendaciones en firme.

**La mayoría de los expertos coinciden en que una severa deshidratación puede incrementar el**

**riesgo de ED, pero se ha sugerido que una deshidratación leve o moderada, puede reducir el riesgo. ¿Qué opinas acerca de esto, y que recomiendas a los buceadores que hagan?**

**Balestra:** Hay puntos de vista que afirman que un volumen "normal" del plasma sanguíneo o incluso una moderada reducción del volumen plasmático, podría reducir la saturación de nitrógeno de los tejidos durante la inmersión. El mensaje a recordar es no aumentar demasiado el volumen plasmático o demasiado rápido, ya que esto aumentará la producción de orina y no hidratará realmente a los tejidos. Mi consejo es beber un vaso de agua cada 15 ó 20 minutos para permitir que los tejidos estén hidratados, sin aumentar el volumen plasmático.

**Bennett:** Algunos trabajos de investigación de los efectos del ejercicio y la exposición al calor respecto al riesgo posterior de sufrir una ED podrían ser interpretados, paradójicamente, como que una deshidratación leve es protectora. La sugerencia es una consecuencia de un posible mecanismo por el cual estas condiciones proporcionan protección contra la formación de burbujas. Blatteau y colegas sugirieron que la deshidratación moderada y la disminución del volumen de sangre (hipovolemia) inducida por el ejercicio pre-inmersión o exposición al calor en una sauna, podría disminuir el gasto cardíaco y reducir el suministro de nitrógeno a los tejidos. Sin embargo, hay toda una serie de teorías al respecto y no estoy al tanto de todos los datos que apoyan a esta afirmación en particular.

La sugerencia es realmente sorprendente. A pesar de que los riesgos asociados a la deshidratación aún no han sido bien definidos, todo lo que sabemos sugiere que la ingesta de líquido antes de bucear es una buena cosa, en lugar de ser perjudicial. Por ejemplo, Gempp y sus colegas publicaron en 2008 un estudio cruzado, que concluyó: "la hidratación por vía oral antes de bucear disminuye las burbujas circulantes, lo que ofrece un modo relativamente fácil de reducir el riesgo de enfermedad descompresiva". En este estudio, se practicó una prehidratación con 1,3 litros de una mezcla de solución salina y glucosa para atenuar la deshidratación y prevenir la hipovolemia inducida por el buceo, pero no cambió la tensión superficial del plasma. Mi recomendación es que los buceadores deben tratar de asegurarse una hidratación adecuada antes de sumergirse y evitar activamente el buceo cuando están deshidratados.

**Brubakk:** No sé de ningún dato que apoye esto y pienso que no existe ninguna teoría que lo sugiera. Recomiendo a los buceadores mantenerse bien hidratados.

**Algunos investigadores han propuesto la administración pre-inmersión de antioxidantes como la vitamina C, otros nutrientes, o medicamentos, tales como la nitroglicerina para reducir el riesgo de ED. ¿Cómo podrían estos agentes reducir el riesgo?**

**Balestra:** La experiencia demuestra que este enfoque en realidad no interfiere en la producción de burbujas, pero sí en la función endotelial. Después de una inmersión, cuando la función endotelial se altera transitoriamente, los antioxidantes pueden prevenir dicho deterioro, pero no hay una demostración clara de que la producción de burbujas se pueda reducir con tales agentes. La investigación sobre este tema sigue vigente.

**Bennett:** Recientemente hemos visto un creciente interés en la modificación de la función endotelial por medios farmacológicos. En general, el interés mayoritario se centra en los agentes que aumentan la disponibilidad de ON y el efecto posterior en los lugares (que se supone están en el endotelio), donde se forman las burbujas de gas. Tal formación de burbujas es probable que cause daño endotelial y obstrucción microvascular conjuntamente con la activación de cascadas de coagulación (cambios que pueden ser directamente responsables de la imagen clínica de la ED). En efecto, aunque es pronto, hay algunas pruebas experimentales en animales y seres humanos que evidencian que la administración de compuestos tales como los enumerados podría reducir significativamente el riesgo de ED. Esencialmente,

tanto los generadores de óxido nítrico (por ejemplo, la nitroglicerina), como antioxidantes (tales como la vitamina C) contrarrestan el estrés oxidativo, que es la causa del daño endotelial y que puede ser la razón de la lesión inducida por las burbujas y que tiene amplias repercusiones generalizadas en los buceadores.

Esta es un área fascinante de la investigación y pronto inducirá una serie de recomendaciones concretas para los buceadores. En este momento, sin embargo, debemos ser cautos. Muchos de estos agentes tienen efectos de gran alcance (algunos de los cuales pueden causar mucho más daño que bien) y hasta ahora no tenemos evidencia de que la clínica de la ED puede prevenirse mediante el uso de tales agentes.

**Brubakk:** Los antioxidantes parecen reducir la formación de burbujas. También puede ser que los antioxidantes reduzcan las respuestas inflamatorias que pueden desempeñar un papel en la ED. Esta es un área que necesita más estudio, pero es un enfoque prometedor. En la actualidad, se sabe muy poco sobre los efectos de los antioxidantes en personas sanas.

**Rune Djurhuus:** El óxido nítrico es una pequeña molécula de señalización que provoca la relajación y dilatación de los vasos sanguíneos. Los estudios en animales han indicado que la administración de un agente farmacológico (por ejemplo, nitroglicerina) que libera ON en el torrente sanguíneo, puede reducir la formación de la burbuja de gas y el aumento de la supervivencia después de la descompresión. Al contrario, la inhibición de la enzima óxido nítrico sintasa (ONS) que genera ON en la capa endotelial que recubre el interior de los vasos sanguíneos, agrava significativamente los síntomas de la ED. Por otra parte, el ejercicio físico también se conoce por estimular la generación de ON en el endotelio. Por tanto, una hipótesis que prevalece ha sido que la generación de óxido nítrico juega un papel en la protección del sistema vascular contra los efectos adversos de las burbujas de gas durante la descompresión.

El buceo generalmente implica una elevada presión parcial de oxígeno. Recientemente, hemos mostrado que dichas condiciones hiperóxicas no tienen ningún efecto sobre la capacidad de la ONS para la generación de ON en células endoteliales humanas aisladas. Sin embargo, para funcionar normalmente, la enzima es dependiente de varios cofactores; en particular, de la tetrahidrobiopterina (BH4). Este compuesto se oxida fácilmente, y la forma oxidada no es compatible con la síntesis de ON. La exposición de células endoteliales humanas a condiciones hiperóxicas (aproximadamente tres veces la presión parcial de oxígeno a nivel del mar) causó que la concentración de BH4 se redujera un 50 %, aproximadamente. La consecuencia de la exposición a condiciones hiperóxicas mientras se bucea puede producir, por tanto, una disminución del nivel de BH4, que a su vez limita la generación de ON por la ONS y aumenta potencialmente el riesgo de ED. Cabe destacar que estos resultados se obtuvieron en un modelo experimental, pero si el mecanismo detallado puede ser dilucidado y verificado en animales (preferiblemente seres humanos), posibilitará la administración de medidas correctoras. Éstas podrían incluir la neutralización de los efectos hiperóxicos mediante suministros adicionales de BH4 o mediante la administración de antioxidantes que estabilizan el cofactor en la forma activa, reducida. La administración de un antioxidante simple, como la vitamina C, se ha demostrado eficaz para ayudar a sostener el nivel de BH4 en modelos experimentales. A medida que avanza la investigación, otros factores pueden llegar a ser más importantes.

**También se han propuesto otros factores, como la vibración de cuerpo entero antes de la inmersión, la administración de oxígeno antes de sumergirse, inmersiones de entrenamiento y saunas antes de bucear, como métodos de acondicionamiento previo para prevenir la ED. ¿Han surgido aplicaciones prácticas de todas estas propuestas?**

**Balestra:** Estas técnicas de preacondicionamiento están directamente relacionadas con la actividad cardíaca moderada (sauna) o aumento de la actividad linfática (vibración de cuerpo entero, respiración

previa al buceo, de oxígeno). En algunos casos, el suministro de oxígeno se realizó demasiado tiempo antes de la inmersión para que cualquier efecto de desnitrogenación pueda ser considerado. Todas las técnicas enumeradas se cree que están más relacionadas con la desmicronucleización que la desnitrogenación.

**Bennett:** Todas estas medidas propuestas constituyen intentos de reducir la posibilidad de ED mediante el acondicionamiento previo para prevenir la formación de burbujas. La única que se aplica comúnmente a los buceadores son las inmersiones de entreno, método consistente en la realización de una serie de inmersiones de profundidad creciente a medida que los buceadores se acercan a la fecha de la inmersión principal (generalmente más profunda). Aunque hay poca evidencia a favor o en contra de cierto preacondicionamiento con este enfoque, hay una serie de buenas razones que validan la utilidad de realizar las inmersiones de prueba, que incluyen la familiarización con el equipo y el entorno, el control del equipo en un entorno difícil y el retomar las buenas prácticas del buceo .

Hay investigaciones en curso, especialmente en Europa, para evaluar el papel de una serie de estrategias de preacondicionamiento como las anteriormente mencionadas. Blatteau y sus colegas, por ejemplo, informaron de una exposición con voluntarios humanos a una sauna pre-inmersión, para reducir el recuento de burbujas después de un buceo simulado. Actualmente todas ellas siguen siendo teóricas, y no estoy al tanto de las aplicaciones prácticas que han surgido de este trabajo hasta la fecha.

**Brubakk:** No han surgido todavía aplicaciones prácticas, pero los datos sugieren que el empleo de dichas técnicas puede reducir la formación de burbujas

### **Conoce a los Expertos**

**Dr. Costantino Balestra**, es vicepresidente de investigación y formación de *DAN Europe*, director de Área de *DAN Europe* para Francia y Benelux y vicepresidente de la *European Underwater and Baromedical Society* (EUBS). También dirige el Laboratorio de Fisiología Ocupacional, Envejecimiento y Medio Ambiente de la Escuela Superior Paul-Henri Spaak, en Bruselas, Bélgica. Sus principales investigaciones están centradas en la fisiología en ambientes extremos y ciencias del deporte.

**Dr. Michael Bennett**, miembro del Colegio de Anestesiólogos de Australia y Nueva Zelanda, FANZCA, Diplomado en Medicina Hiperbárica y Subacuática del ANZCA, especialista y directivo en el Hospital Príncipe de Gales y profesor adjunto numerario de Medicina Hiperbárica en la Universidad Nueva Gales del Sur, en Sidney, Australia. Posee 17 años de experiencia en la gestión y tratamiento de lesiones de buceo en áreas remotas del Pacífico Sur y recibió su doctorado por sus trabajos basados en medicina hiperbárica y del buceo.

**Dr. Alf O. Brubakk**, es profesor de fisiología ambiental en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, en Trondheim, Noruega. Tiene experiencia en cardiología y anestesiología, y ha estudiado la enfermedad descompresiva durante más de 20 años. También estudia otras áreas de la fisiología y medio ambiente, incluidos los efectos del frío y del espacio exterior.

**Dr. Rune Djurhuus**, es un eminente científico, especialista en bioquímica y toxicología, de la Unidad Noruega de Intervención Subacuática, en Bergen, Noruega. Sus investigaciones están centradas en la contaminación química de los buceadores por los gases respirados (toxicología hiperbárica) y mecanismos celulares de defensa relacionados con el daño endotelial debidos al stress descompresivo