VFC y estrés fisiológico inducido por la descompresión

Nota del editor: Presentamos aquí el análisis de un colaborador sobre un tema reciente y muy debatido, que arroja luz sobre un estudio en el que también participan investigadores de DAN Europe. El artículo explora el intrincado vínculo entre la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) y el estrés de descompresión.

No hay nada que les guste más a los buceadores que encontrar una forma de recortar cinco minutos a su descompresión, independientemente de que la justificación sea un tentempié especialmente sabroso que espera en la superficie o datos de una investigación seria.

Gracias al trabajo reciente de un equipo de investigadores brasileños e italianos, y a una comprensión cada vez mayor de la enfermedad de descompresión, es posible que pronto se pueda cambiar la forma de planificar tus inmersiones de descompresión, de una manera seria. Un proyecto reciente, cuyo objetivo es desarrollar una herramienta para cuantificar mejor el estrés descompresivo en los buceadores, ha logrado correlacionar una métrica utilizada históricamente en medicina cardiovascular y los marcadores conocidos del estrés descompresivo, combinando ambos con un enfoque que considera la enfermedad por descompresión, no como una enfermedad causada por unas pocas burbujas rebeldes, sino como una enfermedad multifacética desencadenada por los factores que conocemos e impulsada por las respuestas fisiológicas a esos desencadenantes.



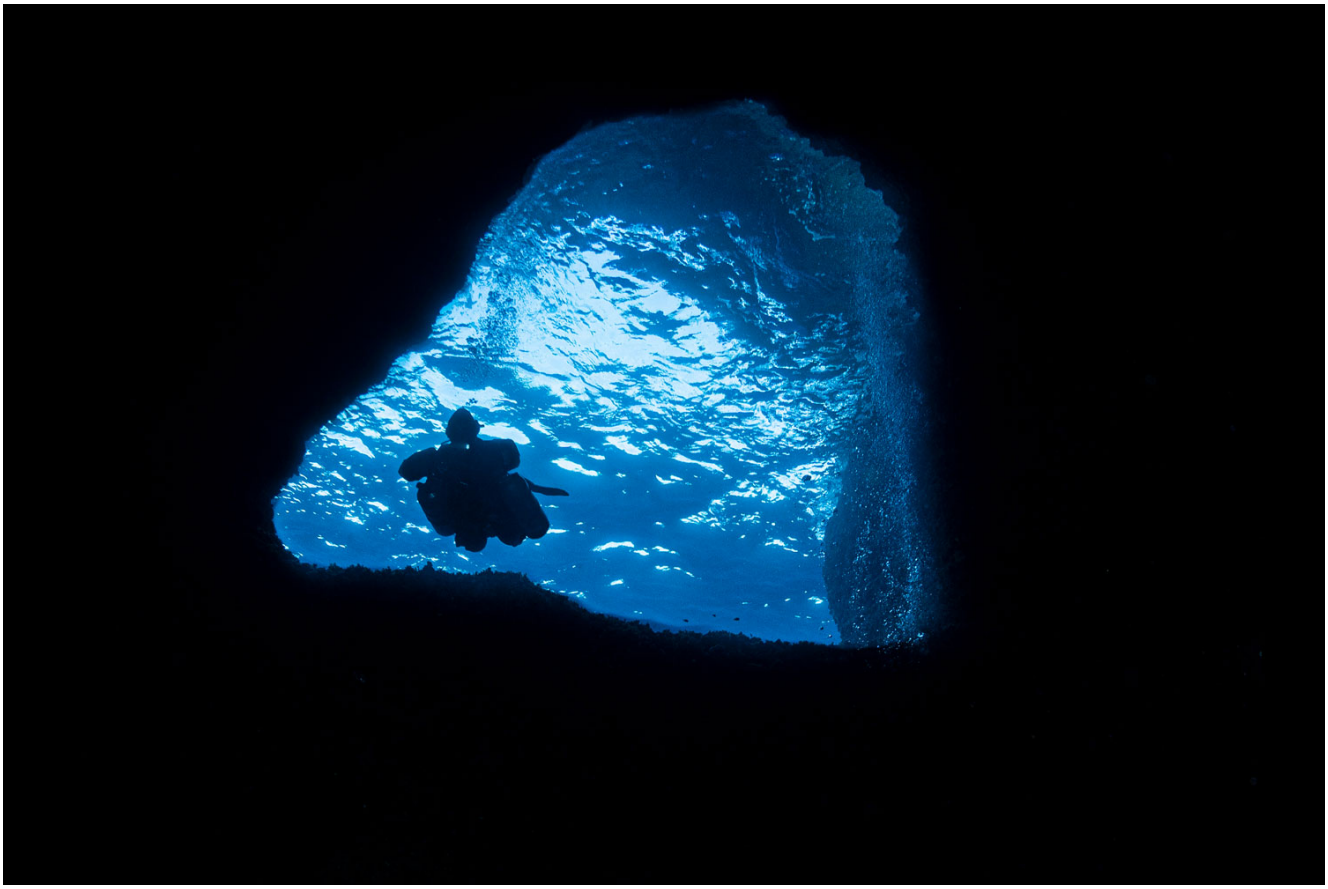
No es que la enfermedad por descompresión ya no tenga que ver con las burbujas, sino que no sólo tiene

que ver con las burbujas. En la última década, un gran número de nuevas investigaciones han ilustrado un modelo para la enfermedad descompresiva que se basa en un número cada vez mayor de respuestas fisiológicas y mecanismos bioquímicos, cada vez más complejos. El catalizador de este cambio en la comprensión ha sido principalmente la implicación de la investigación de la disfunción endotelial en la enfermedad por descompresión. Los procesos de señalización y respuesta de las células endoteliales se han relacionado con numerosos procesos patológicos y se ha disparado el interés por estos procesos y por la contribución de los procesos inflamatorios a las enfermedades conocidas. La disfunción endotelial es compleja y sigue evolucionando, pero lo que es importante entender es que la investigación moderna ha demostrado que incluso enfermedades que creíamos bien comprendidas pueden no ser producto de un único agente ofensivo, sino fruto de una combinación de un desencadenante y las propias respuestas del organismo; en algunos casos, la enfermedad puede estar causada por la propia respuesta del organismo a ese desencadenante, en su totalidad.

Desgraciadamente, esto significa que ya no podemos pensar en la enfermedad por descompresión como una simple enfermedad causada por burbujas en el torrente sanguíneo. En realidad, se ha demostrado que los émbolos de gas venoso (burbujas reales en la sangre) son un mal indicador de la ED y varían enormemente de un buceador a otro. En cambio, la disfunción endotelial se ha correlacionado con la exposición hiperbárica, y con ello los investigadores han tenido que bucear profundamente en los procesos inflamatorios y lo que conlleva las inmersiones reales que hacemos y la enfermedad por descompresión que pueda resultar.

El papel de la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC)

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), utilizada como posible abreviatura de una medida de respuestas inflamatorias específicas, se ha correlacionado con una serie de afecciones, desde la diabetes hasta las enfermedades cardiovasculaares, y se ha demostrado que cambian con el buceo. Aquí es donde entra en juego este último estudio. Se ha demostrado que las micropartículas en la sangre están relacionadas con la inflamación, que la VFC cambia con el buceo y está relacionada con la inflamación, y que las micropartículas aumentan con la exposición a los gases hiperbáricos inertes, por lo que es posible que la VFC pueda utilizarse como una herramienta práctica para medir las respuestas inflamatorias de los buceadores y estimar potencialmente el riesgo de sufrir enfermedad por descompresión. Si esto suena ambicioso, es porque lo es, pero si la correlación entre la variabilidad de la frecuencia cardiaca y el estrés fisiológico inducido por la descompresión pudiera validarse, resultaría como una enormemente poderosa herramienta para comprender cómo y por qué se lesionan los buceadores, cuáles son las respuestas fisiológicas al estrés por descompresión y proporcionaría un método para estimar el riesgo de descompresión sobre el terreno. Aún no hemos llegado a ese punto, pero se trata de un primer paso emocionante, el tipo de cosas con las que sueñan los frikis de las burbujas.



La investigación básica es un poco compleja, pero el quid de este estudio es la idea de que la VFC puede correlacionarse con marcadores inflamatorios asociados a la enfermedad descompresiva y utilizarse directamente como medida del riesgo de enfermedad por descompresión. En concreto, este equipo analizó marcadores extraídos de muestras de sangre y resultados de ECG para empezar a correlacionar la VFC con estos marcadores inflamatorios. Se sometió a 28 voluntarios a dos perfiles de inmersión distintos en una de las tres instalaciones. Todos los perfiles de inmersión tenían el mismo tiempo total de descompresión y la misma sobresaturación de gas, aunque variaban en las profundidades de las paradas de descompresión, para incluir alguna variación. Los intervalos entre inmersiones y los intervalos de recogida de datos fueron los mismos.

Los investigadores consolidaron los datos entre los dos perfiles para poder analizarlos como un único conjunto de datos. Dependiendo de la instalación, los participantes utilizaron *rebreathers* de circuito cerrado, gas respirable suministrado por cámara hiperbárica o equipos de buceo de circuito abierto. Se obtuvieron muestras de sangre y ECG antes y después de cada inmersión, con un intervalo de 30 minutos antes y después de cada inmersión, y se requirió un intervalo mínimo de 48 horas entre inmersiones para evitar que los datos se distorsionaran debido a los efectos persistentes de la exposición anterior.

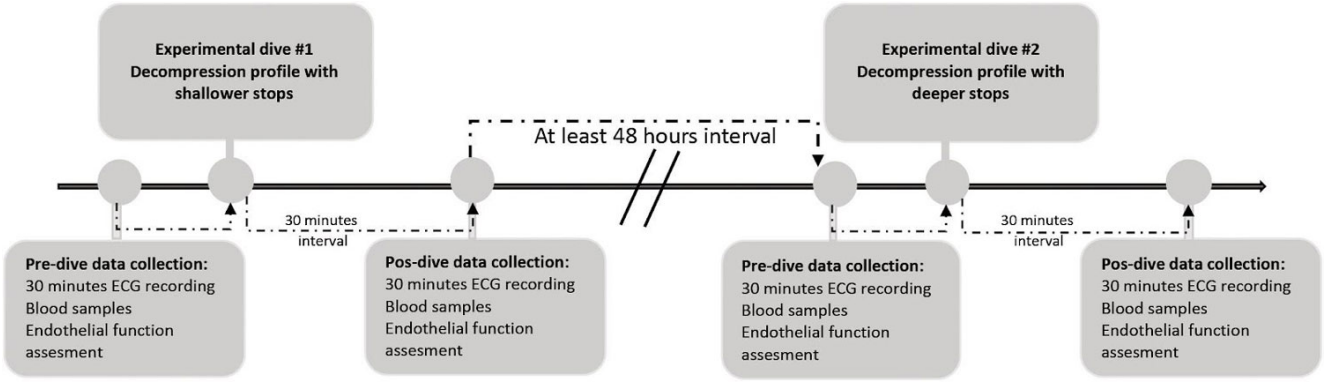


Imagen: Diagrama de flujo del procedimiento – Asociación entre la variabilidad de la frecuencia cardiaca y el estrés fisiológico inducido por la descompresión

Los resultados significativos acumulados se analizaron de la forma mejor descrita por los propios autores, y luego se utilizaron para crear un modelo teórico que extrapolara los resultados extraídos del grupo de muestra relativamente pequeño y los modelara en un conjunto de datos que incluía aproximadamente 1000 inmersiones. Hay varias vías interesantes que seguir entre los puntos de datos posteriores al análisis, pero el enfoque en la relación entre la VFC y los marcadores inflamatorios mostró un cambio estadísticamente significativo que podría ser muy prometedor.

Los datos pueden ser intimidantes, pero las tendencias clave pueden verse en la relación entre la VFC y el SDNN ("*Desviación Estándar entre los valores normales", N. del T.*"); la anexina y los MP ("*Micro Partículas, N.del T.*"), y la asociación positiva entre la VFC y los MP CD66b+ y CD31+. Para los perdidos en el baile de siglas, todo eso significa esencialmente que las correlaciones de múltiples datos parecen converger de forma que aportan pruebas estadísticamente válidas para las hipótesis de los investigadores.

	SDNN		LF		HF	
	Estimate	***p*-value**	**Estimate**	***p*-value**	**Estimate**	***p*-value**
CD16 +	−22.89	0.09	−5.11	0.24	−0.94	0.25
MPO (%)	−2.68	0.91	1.08	0.89	−1.66	0.25
MPO (MFI)	0.44	0.01	0.07	0.23	0.01	0.28
Annexin +	−125.37	0.03	−25.45	0.16	−7.70	0.02
CD66b +	195.27	0.74	376.92	0.04	34.12	0.33
CD31 +	78.87	0.72	122.34	0.08	2.00	0.88
CD41 +	3.14	0.52	1.83	0.23	0.09	0.74

Relaciones de postmodelación entre los indicadores de la VFC, MPO y MP – Asociación entre la variabilidad de la frecuencia cardiaca y la descompresión – Estrés fisiológico inducido

Nota: LF y HF son filtros de baja y alta frecuencia utilizados durante los estudios de ECG; ambos representan facetas diferentes del análisis electrocardiográfico de la VFC. Las diferencias no son críticas

para la comprensión general de este estudio, pero hay más información disponible para los interesados.

En Conclusión

Si todo esto te parece un poco denso para una lectura informal de tarde, es porque lo es. El número de variables que afectan a los procesos inflamatorios, a la enfermedad por descompresión e incluso a los datos cotidianos de la VFC en un mismo sujeto, es casi inconmensurable, y tener en cuenta tantas como sea posible requiere una enorme cantidad de investigación fundamental y planificación experimental. Intenta comprender los modelos lo suficiente como para validar la investigación, y luego céntrate en los resultados, que en este caso parecen indicar principalmente una correlación entre la VFC tras la descompresión y los indicadores de inflamación fisiológica y estrés, elegidos por los investigadores. Esto no es en absoluto una razón para comprar un pulsómetro y acortar la descompresión todo lo que puedas, pero es un resultado prometedor y un potencial emocionante para el futuro. Cabe señalar que los datos de los modelos animales no se correspondían con los ensayos en humanos, pero no aportaban nada que contradijera directamente las conclusiones de los estudios en humanos. Además, los resultados pueden variar en casos de sujetos que experimenten la enfermedad por descompresión, pero las posibilidades de investigación futura son enormes.

Si se consigue validar aún más esta relación entre la VFC y el estrés descompresivo, es posible que los modelos de descompresión puedan ser validados cualitativamente por buceadores en tiempo real, y que por fin sea posible una comprensión real de las incógnitas entre la sobresaturación tisular y la enfermedad por descompresión. Si se valida este modelo, podríamos estar ante cambios fundamentales en la forma de planificar la descompresión y de comprender y tratar la enfermedad descompresiva. Con la capacidad de la tecnología de consumo popular para identificar arritmias cardiacas a través de un reloj de pulsera, no es imposible que en el futuro podamos ver algo como este modelado de la VFC incorporado a los ordenadores de buceo. No es algo que deba cambiar tu forma de bucear ahora, pero este estudio y la investigación de nuevos modelos de comprensión polifacética de la enfermedad de descompresión deberían entusiasmarte de cara al futuro.

Trabajos citados:

1. Brubakk, A. O., Duplancic, D., Valic, Z., Palada, I., Obad, A., Bakovic, D., et al. (2005). A single air dive reduces arterial endothelial function in man. *J. Physiol.* 566, 901–906. doi: 10.1113/jphysiol.089862
2. Papadopoulou, V., Germonpré, P., Cosgrove, D., Eckersley, R. J., Dayton, P. A., Obeid, G., et al. (2018). Variability in circulating gas emboli after a same scuba diving exposure. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118, 1255–1264. doi: 10.1007/s00421-018-3854-7
3. Doolette, D. J. (2016). Venous gas emboli detected by two-dimensional echocardiography are an imperfect surrogate endpoint for decompression sickness. *Diving Hyperb. Med.* 46, 4–10.
4. Cognasse, F., Hamzeh-Cognasse, H., Laradi, S., Chou, M.-L., Seghatchian, J., Burnouf, T., et al. (2015). The role of microparticles in inflammation and transfusion: a concise review. *Transfus. Apher. Sci.* 53, 159–167. doi: 10.1016/j.transci.2015.10.013
5. Noh, Y., Posada-Quintero, H. F., Bai, Y., White, J., Florian, J. P., Brink, P. R., et al. (2018). Effect of shallow and deep SCUBA dives on heart rate variability. *Front. Physiol.* 9:110. doi: 10.3389/fphys.00110
6. Appel, M. L., Berger, R. D., Saul, J. P., Smith, J. M., and Cohen, R. J. (1989). Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? *J. Am. Coll. Cardiol.* 14, 1139–1148. doi:

10.1016/0735-1097(89)90408-7
7. von Känel, R., Nelesen, R. A., Mills, P. J., Ziegler, M. G., and Dimsdale, J. E. (2008). Relationship between heart rate variability, interleukin-6, and soluble tissue factor in healthy subjects. *Bone* 23, 1–7. doi: 10.1038/jid.2014.371
8. Schirato SR, El-Dash I, El-Dash V, Bizzarro B, Marroni A, Pieri M, Cialoni D and Chaui-Berlinck JG (2020) Association Between Heart Rate Variability and Decompression-Induced Physiological Stress. Front. Physiol. 11:743. doi: 10.3389/fphys.2020.00743

Acerca del autor

Reilly Fogarty es un instructor de rebreather afincado en Nueva Inglaterra y capitán con licencia USCG. Su experiencia profesional incluye la medicina quirúrgica y de urgencias en zonas salvajes, la investigación en medicina hiperbárica y la mitigación de riesgos de buceo a gran escala, así como el diseño y la gestión de programas de primeros auxilios. Anteriormente ha trabajado en ensayos humanos de fisiología en exposiciones extremas para el Centro Duke de Medicina Hiperbárica y Fisiología Ambiental y como Jefe del Equipo de Mitigación de Riesgos de la Red de Alerta de Buceadores, DAN.

Acerca del traductor

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