Zmienność rytmu serca (HRV) i stres fizjologiczny wywołany dekompresją

Uwaga od redaktora: Przedstawiamy tutaj analizę autora na niedawny i szeroko dyskutowany temat, rzucając światło na badanie, w które zaangażowani są również badacze DAN Europe. Artykuł bada skomplikowany związek między zmiennością tętna (HRV) a stresem dekompresyjnym.

Nic nie sprawia nurkom takiej przyjemności, jak skrócenie dekompresji o kilka minut, niezależnie od tego, czy przyczyną jest pyszna przekąska czekająca na powierzchni, czy udział w poważnych badaniach naukowych.

Dzięki eksperymentom przeprowadzonym niedawno przez ekipę badaczy z Brazylii i Włoch oraz szybko rozwijającej się wiedzy na temat choroby dekompresyjnej, być może niedługo będziesz mógł znacząco zmienić planowanie swoich nurkowań dekompresyjnych. Podczas pracy nad stworzeniem narzędzia do lepszego obliczania stresu dekompresyjnego u nurków, w ostatnio przeprowadzonym projekcie naukowcom udało się znaleźć korelację między pomiarem używanym wcześniej w medycynie układu krążenia a znanymi markerami stresu dekompresyjnego oraz połączyć je z podejściem, które traktuje chorobę dekompresyjną nie jako schorzenie wywołane przez kilka wrednych pęcherzyków, ale jako chorobę o wielu aspektach spowodowaną znanymi czynnikami i fizjologiczną reakcją organizmu na te czynniki.



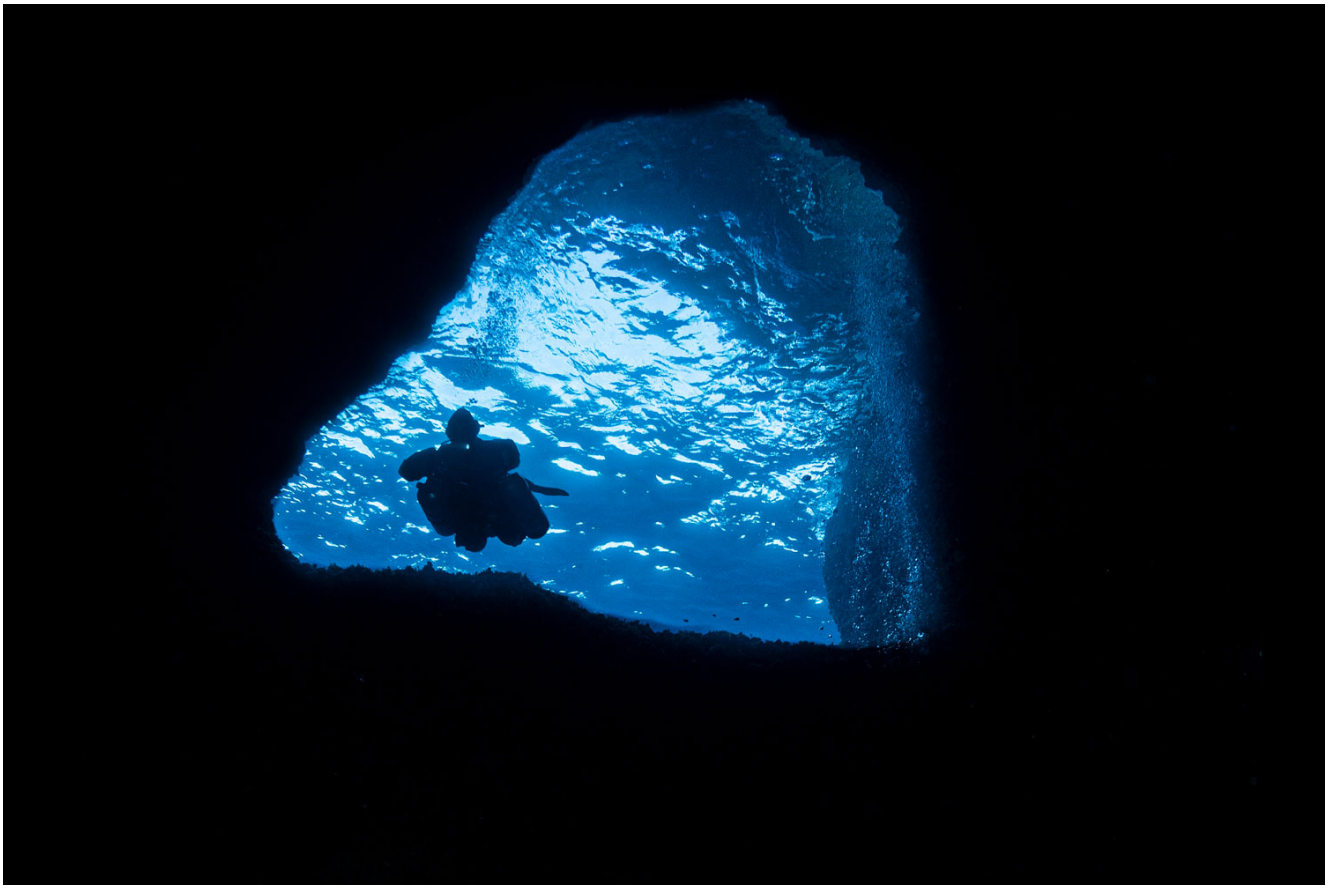
Nie oznacza to, że w chorobie dekompresyjnej nie występują już pęcherzyki, ale o to, że nie chodzi *tylko* o pęcherzyki. W ostatnim dziesięcioleciu wiele nowych badań stworzyło model choroby dekompresyjnej,

która zależy od ciągle rosnącej liczby reakcji fizjologicznych i coraz bardziej skomplikowanych mechanizmów biochemicznych. Katalizatorem tej zmiany w podejściu do tego schorzenia było przeprowadzenie badań nad dysfunkcją śródbłonka w chorobie dekompresyjnej. Procesy sygnalizacyjne i odbiorcze komórek śródbłonka zostały powiązane z wieloma procesami wywołującymi choroby, a zainteresowanie nimi i ich wpływem na rozwój znanych chorób w organizmie ogromnie wzrosło. Dysfunkcja śródbłonka jest skomplikowanym, wciąż nie do końca poznanym schorzeniem. Warto jednak zwrócić uwagę na nowoczesne badania, które wykazały, że nawet pozornie dobrze poznane choroby mogą być wywołane nie przez jeden czynnik, ale połączenie różnych czynników i reakcji organizmu. W niektórych przypadkach przyczyną choroby może być wyłącznie reakcja organizmu na dany czynnik.

Niestety oznacza to, że nie możemy już traktować choroby dekompresyjnej jako prostego schorzenia wywołanego przez pęcherzyki w układzie krwionośnym. Tak naprawdę udowodniono, że pęcherzyki gazu we krwi są słabym wskaźnikiem wystąpienia DCS i bardzo różnią się wśród nurków. Dysfunkcja śródbłonka została powiązana z wystawieniem na działanie ciśnienia hiperbarycznego i naukowcy musieli dokładnie zbadać procesy zapalne oraz to, co dzieje się między nurkowaniem a możliwym wystąpieniem choroby dekompresyjnej.

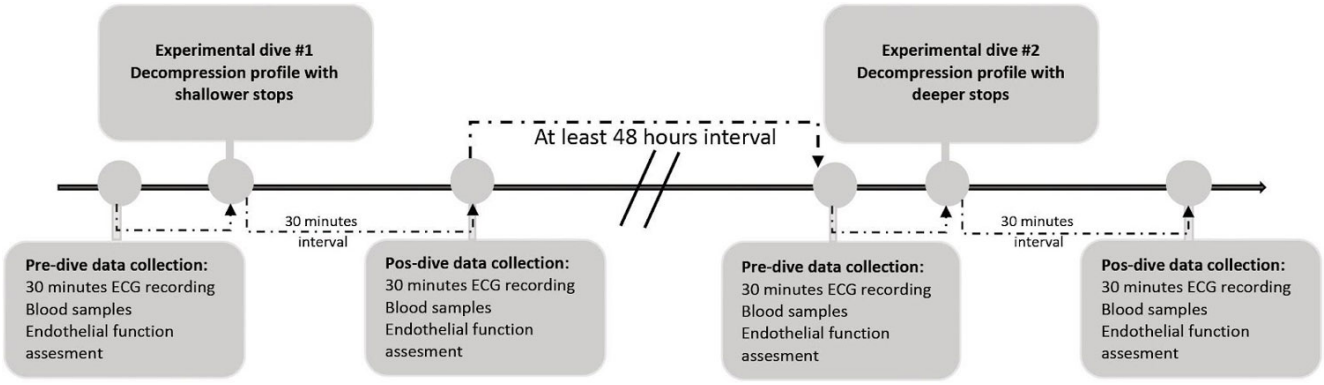
Rola zmienności rytmu serca (HRV)

Zmienność rytmu serca (HRV) jest używana jako potencjalna metoda mierzenia konkretnych reakcji zapalnych w organizmie. Jest ona powiązana z wieloma schorzeniami, takimi jak cukrzyca lub choroby układu krążenia i udowodniono, że zmienia się podczas nurkowania. Przyjrzyjmy się wynikom niedawno przeprowadzonych badań. Udowodniono, że mikrocząsteczki we krwi są związane z wystąpieniem stanów zapalnych, HRV zmienia się podczas nurkowania i również jest skorelowane z wystąpieniem reakcji zapalnych oraz że liczba mikrocząsteczek zwiększa się po wystawieniu organizmu na działanie hiperbarycznych gazów obojętnych. Dlatego możliwe jest wykorzystanie HRV jako wygodnego narzędzia do mierzenia reakcji zapalnych u nurków i potencjalnie do określenia ryzyka choroby dekompresyjnej. Ten projekt brzmi ambitnie – i taki jest. Jeżeli jednak udałoby się określić korelację między zmiennością rytmu serca a stresem fizjologicznym wywołanym przez dekompresję, dałoby nam to ogromne korzyści. Otrzymalibyśmy nie tylko narzędzie do zrozumienia, jak i dlaczego nurkowie doznają urazów, ale odkrylibyśmy również reakcje fizjologiczne na stres dekompresyjny i mielibyśmy metodę określenia ryzyka choroby dekompresyjnej w praktyce. Jeszcze tego nie osiągnęliśmy, ale zrobiliśmy ekscytujący pierwszy krok i jest to coś, o czym miłośnicy pęcherzyków od dawna marzą.



Bazowe badania są nieco skomplikowane, ale ich podstawą jest idea, że HRV może być skorelowane z markerami stanu zapalnego związanymi z chorobą dekompresyjną i może być stosowane bezpośrednio do mierzenia ryzyka wystąpienia tej choroby. Nasz zespół badał markery pobrane z krwi i wyniki ECG, aby rozpocząć korelowanie HRV z tymi markerami. 28 ochotników zostało umieszczonych w jednym z trzech ośrodków i wykonało po dwa nurkowania o różnych profilach. W zależności od ośrodka uczestnicy używali rebreatherów o obiegu zamkniętym, przebywali w komorze hiperbarycznej oddychając dostarczanym gazem lub nurkowali na obiegu otwartym.

Wszystkie nurkowania miały taki sam ogólny czas dekompresji i całkowite przesycenie gazem, ale różniły się głębokością przystanków dekompresyjnych w celu uwzględnienia pewnych wariacji. Przerwy między nurkowaniami oraz przerwy między zbieraniem danych były takie same. Badacze połączyli informacje z dwóch profilów nurkowych, aby przeanalizować je jako jeden zbiór danych. W ciągu 30 minut przed i po każdym nurkowaniu wykonano u nich ECG i pobrano próbki krwi. Wymagana przerwa powierzchniowa między nurkowaniami wynosiła 48 godzin w celu uniknięcia wpływu poprzednich nurkowań na wyniki badań.



Grafika: Tabela *Związek między zmiennością rytmu serca a stresem fizjologicznym wywołanym dekompresją*

Zebrano wiele znaczących wyników, które zostały przeanalizowane metodą opisaną najlepiej przez samych autorów. Zostały one następnie wykorzystane do stworzenia teoretycznego modelu, który pozwala przełożyć wyniki uzyskane po badaniu stosunkowo niewielkiej grupy kontrolnej na bazę danych obejmującą około 1000 nurkowań. Podczas analizy zebranych danych odkryto kilka interesujących kwestii, ale skupienie się na korelacji między HRV a markerami stanu zapalnego wykazało statystycznie znaczącą zmianę, której należałoby przyjrzeć się bliżej.

Dane są dość skomplikowane, ale główne trendy to korelacja między HF i SDNN, aneksynami i MP oraz pozytywna korelacja między LF i CD66b + oraz CD31 + MP. Dla osób, które gubią się w skrótach wyjaśniamy, że wszystko to oznacza istnienie wielu korelacji między danymi, które są zbieżne w taki sposób, że zapewniają statystycznie znaczące dowody na potwierdzenie hipotezy badaczy.

	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

Relacje między wskaźnikami HRV, MPO i MP po stworzeniu modelu – *Związek między zmiennością rytmu serca a stresem fizjologicznym wywołanym dekompresją*

Uwaga LF i HF to filtry niskiej i wysokiej częstotliwości używane podczas badania ECG. Reprezentują one różne aspekty elektrokardiograficznej analizy HRV. Różnice nie są kluczowe do ogólnego zrozumienia tego badania. Osoby zainteresowane mogą znaleźć więcej informacji tutaj.

Wniosek

Jeśli sądzisz, że ten artykuł jest dość skomplikowaną lekturą na wolne popołudnie, masz rację. Liczba czynników, które mają wpływ na procesy zapalne, chorobę dekompresyjną, a nawet HRV podczas codziennego życia i nurkowania jest prawie niemożliwa do zmierzenia, a wzięcie pod uwagę tylu czynników, ile się da wymaga zaplanowania i przeprowadzenia wielu badań. Wystarczy jednak zrozumieć ten model na tyle, aby ocenić badania, następnie skupić się na wynikach, które w tym przypadku wskazują na korelację między HRV po dekompresji a wskaźnikami stanu zapalnego i stresu fizjologicznego określonego przez badaczy. Nie jest to w żadnym wypadku powód, aby kupić pulsometr i jak najbardziej skracać dekompresję, ale wyniki są obiecujące i dają nam wspaniały potencjał w przyszłości. Warto

zauważyć, że dane z modeli zwierzęcych nie odpowiadały badaniom z udziałem ludzi, ale ich wyniki nie zaprzeczają bezpośrednio wnioskom z tych badań. Dodatkowo wyniki mogą być różne w przypadkach, kiedy u nurka wystąpi choroba dekompresyjna. Możliwości dla przyszłych badań są jednak ogromne.

Jeśli będziemy mieć szansę dokonania dalszej oceny związku między HRV a stresem wywołanym przez dekompresję, jest możliwe, że modele dekompresyjne będą mogły być jakościowo oceniane przez nurków w czasie realnym oraz że w końcu zrozumiemy, co naprawdę dzieje się w okresie między przesyceniem tkanek a wystąpieniem choroby dekompresyjnej. Jeżeli model ten zostanie zweryfikowany, być może wprowadzimy fundamentalne zmiany w sposobie planowania dekompresji oraz zrozumieniu i leczeniu choroby dekompresyjnej. Obecna technologia dostępna dla przeciętnego konsumenta umożliwia identyfikację arytmii serca przez zegarek na nadgarstku, dlatego być może w przyszłości komputery nurkowe będą miały funkcję modelowania HRV. Nie jest to coś, co zmieni Twój sposób nurkowania już teraz, ale omówione w tym artykule badanie i tworzenie nowych modeli zrozumienia choroby dekompresyjnej na wielu poziomach powinno zapewnić Ci wspaniałe możliwości w przyszłości.

Prace cytowane w tekście:

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

O autorze

Reilly Fogarty mieszka w Nowej Anglii i jest instruktorem rebreatherowym oraz ma licencję kapitana USCG

(United States Coast Guard). Jego profesjonalne przygotowanie obejmuje chirurgiczną pomoc doraźną, leczenie w sytuacjach awaryjnych na obszarach oddalonych, badania hiperbaryczne, ograniczanie ryzyka w nurkowaniu na dużą skalę oraz tworzenie i zarządzanie programami pierwszej pomocy. Wcześniej pracował przy testach na ludziach w ramach badania fizjologii osób wystawionych na działanie ekstremalnych warunków w Duke Centre for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology (Centrum Medycyny Hiperbarycznej i Fizjologii Środowiska w Duke) oraz był kierownikiem Zespołu Ograniczania Ryzyka w Divers Alert Network.

Tłumacz: Agnieszka Kostera-Kosterzewska