Variabilita srdeční frekvence (HRV) a fyziologický stres vyvolaný dekompresí

Poznámka redakce: Přinášíme analýzu přispěvatele k nedávnému a velmi diskutovanému tématu, která vrhá světlo na studii, na níž se podílejí i výzkumní pracovníci DAN Europe. Článek zkoumá složitou souvislost mezi variabilitou srdeční frekvence (HRV) a dekompresním stresem.

Neexistuje nic, co by potápěči milovali víc než najít nějaký způsob, jak si zkrátit alespoň o pět minut čas na potřebnou dekompresi, ať už kvůli nějakému chutnému občerstvení na hladině, nebo kvůli zájmu o seriózní data získaná při výzkumu.

Díky nedávné práci týmu brazilských a italských výzkumníků a rychle se rozšiřujícímu porozumění dekompresní nemoci možná budete brzy moci významně změnit způsob plánování dekompresních ponorů. Při práci na vývoji nástroje pro lepší kvantifikaci dekompresního stresu u potápěčů se při řešení nedávného projektu podařilo korelovat metriku historicky používanou v kardiovaskulární medicíně a známé markery dekompresního stresu, přičemž obě tyto skutečnosti se zkombinovaly s přístupem, který se dívá na dekompresní onemocnění nikoli jako na nemoc způsobenou několika “špatnými” bublinami, ale jako mnohostrannou nemoc vyvolanou známými faktory a podporovanou fyziologickými reakcemi na tyto spouštěče.



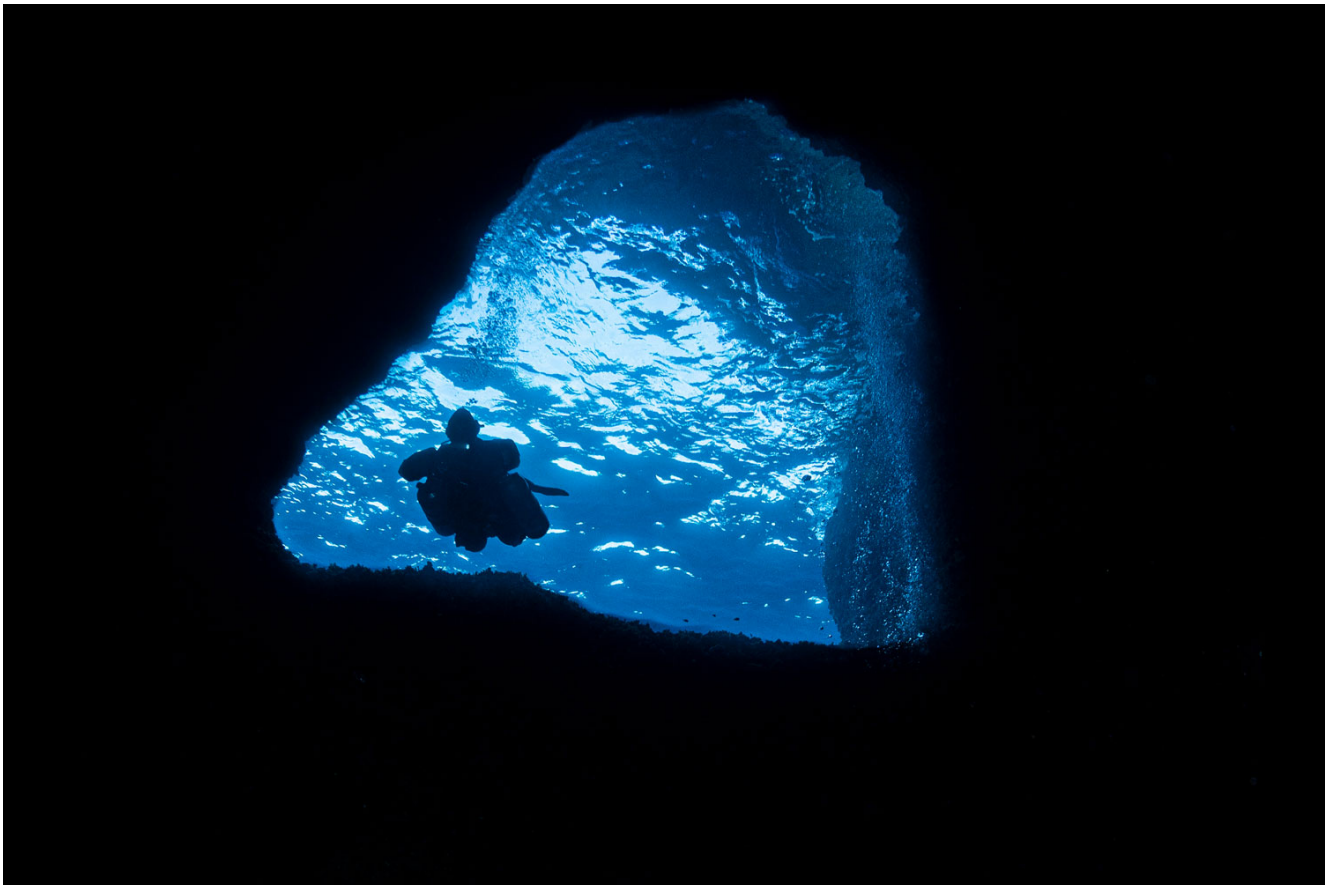
Neznamená to, že by dekompresní nemoc už nebyla o bublinách, ale jde o to, že se nejedná jen o bubliny. V posledním desetiletí řada nových výzkumů ilustrovala model dekompresní nemoci, který se opírá o neustále rostoucí počet fyziologických reakcí a stále složitější biochemické mechanismy. Katalyzátorem

tohoto posunu v chápání bylo především zapojení výzkumu endoteliální dysfunkce do dekompresní nemoci. Procesy signalizace a odezvy z endoteliálních buněk byly spojeny s četnými chorobnými procesy a zájem o tyto procesy a podíl zánětlivých procesů na známých onemocněních doslova explodoval. Endoteliální dysfunkce je složitá a stále se vyvíjí, ale důležité je pochopit, že moderní výzkum ukázal, že i nemoci, o kterých jsme si mysleli, že jsou již dobře prostudované a pochopené, nemusí být produktem jediného útočného činidla, nýbrž kombinací spouštěče a reakcí těla – v některých případech může být onemocnění dokonce zcela způsobeno reakcí těla na tento spouštěč.

Bohužel to znamená, že již nemůžeme uvažovat o dekompresní nemoci jako o jednoduché nemoci způsobené bublinami v krevním řečišti. Ve skutečnosti se ukázalo, že embolie žilního plynu (existence skutečných bublin v krvi) jsou špatným indikátorem DCS a mezi potápěči jsou velmi variabilní. Místo toho byla endoteliální dysfunkce korelována s hyperbarickou expozicí a výzkumníci se kvůli této skutečnosti museli začít důkladně zabývat studiem zánětlivých procesů a toho, co se vlastně děje skutečnými ponory, které provádíme a dekompresní nemocí, která může následovat.

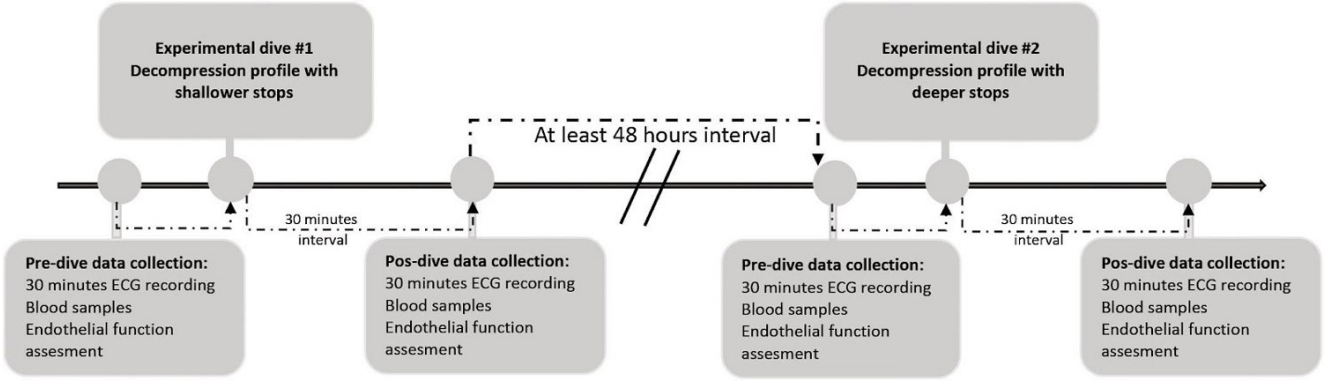
Role variability srdeční frekvence (HRV)

Variabilita srdeční frekvence (HRV) se používá jako potenciální zkratka pro měření specifických zánětlivých reakcí. Byla korelována s řadou stavů, a to od cukrovky až po kardiovaskulární onemocnění a ukázalo se, že se mění s potápěním. A právě tady vstupuje tento nový výzkum do hry. Bylo prokázáno, že mikročástice v krvi korelují se zánětem, HRV se mění s potápěním a koreluje se zánětem a mikročástice se zvyšují s vystavením inertním hyperbarickým plynům, takže je možné, že HRV by mohla být použita jako vhodný nástroj pro měření zánětlivých reakcí u potápěčů a potenciální odhad rizika dekompresní nemoci. Pokud to zní ambiciózně, tak jen proto, že tomu tak skutečně je, ale pokud by bylo možné potvrdit korelaci mezi variabilitou srdeční frekvence a fyziologickým stresem vyvolaným dekompresí, ukázalo by se to jako nesmírně účinný nástroj pro pochopení, jak a proč u potápěčů dochází k onemocnění a jaké jsou fyziologické reakce na dekompresní stres. Tím se přímo nabízí metoda pro odhad dekompresního rizika v terénu. Tak daleko sice ještě nejsme, ale určitě se jedná o vzrušující první krok na cestě, o které sní hlavně „bublinkoví maniaci“.



Základní výzkum je trochu složitý, ale jádrem této studie je myšlenka, že HRV lze korelovat se zánětlivými markery spojenými s dekompresní nemocí a dá se přímo použít jako měřítko rizika dekompresní nemoci. Konkrétně se tento tým podíval na markery odebrané ze vzorků krve a výsledky EKG, aby začal korelovat HRV s těmito zánětlivými markery. 28 dobrovolníků prošlo dvěma samostatnými profily ponorů v jednom ze tří zařízení. Všechny profily ponorů měly stejnou celkovou dobu dekomprese a přesycení plynem, i když se lišily v hloubkách dekompresních zastávek, aby obsahovaly i určité odchylky. Intervaly mezi ponory a intervaly sběru dat byly stejné.

Výzkumníci srovnali data mezi dvěma profily, aby je bylo možné analyzovat jako jeden soubor dat. V závislosti na zařízení účastníci používali buď rebreathery s uzavřeným okruhem, dýchací plyn dodávaný hyperbarickou komorou nebo potápěčské vybavení s otevřeným okruhem. Před ponorem a po ponoru byly odebrány vzorky EKG a krve s 30minutovým vyrovnávacím intervalem a po každém ponoru a mezi ponory byl vyžadován minimálně 48hodinový interval, aby se zabránilo zkreslení dat v důsledku přetrvávajících účinků předchozí expozice.



Obrázek: Vývojový diagram postupu – *asociace mezi variabilitou srdeční frekvence a dekompresí* –

indukovaný fyziologický stres

Významné získané výsledky byly analyzovány způsobem, který nejlépe popsali sami autoři, a poté byly použity k vytvoření teoretického modelu pro extrapolaci výsledků získaných z relativně malé skupiny vzorků a jejich modelování na datovém souboru zahrnujícím přibližně 1000 ponorů. Mezi postanalytickými datovými body existuje řada zajímavých směrů a cest, ale zaměření na vztah mezi HRV a zánětlivými markery ukázalo statisticky významnou změnu, která by mohla být skutečným příslibem. Získaná data mohou být sice hrozivá, ale klíčové trendy lze vidět ve vztahu mezi HF a SDNN, Annexinem a MP a pozitivní asociaci mezi LF a CD66b+ a CD31+ MP. Pro ty z vás, kteří jste se ztratili v té záplavě zkratek, to vše v podstatě znamená, že se zdá, že více korelací dat se sbližuje způsobem, který poskytuje statisticky platný důkaz pro hypotézy výzkumníků.

	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

Následné vztahy mezi ukazateli prokazujícími HRV, MPO (tj. exym myeloperoxidázu) a MP (mikročástice) – *asociace mezi variabilitou srdeční frekvence a dekompresí – vyvolaný fyziologický stres*

Poznámka: LF a HF jsou nízkofrekvenční a vysokofrekvenční filtry používané během používání EKG – oba představují různé aspekty elektrokardiografické analýzy HRV. Rozdíly nejsou zásadní pro celkové pochopení tohoto výzkumu, ale zájemcům je k dispozici více informací .

Závěr

Pokud vám tohle všechno připadá na běžné odpolední čtení až trochu moc náročné, je tomu tak proto, že to složité opravdu je. Počet proměnných, které ovlivňují zánětlivé procesy, dekompresní onemocnění a dokonce i každodenní údaje o HRV u stejného subjektu, je téměř nezměřitelný a zohlednění co největšího počtu vyžaduje obrovské množství základního výzkumu a experimentálního plánování. Nutné je pochopit modely natolik, aby bylo možné potvrdit korektnost výzkumu, až poté je možné se zaměřit na výsledky – které v tomto případě primárně naznačují korelaci mezi HRV po dekompresi a ukazateli fyziologického zánětu a stresu, na což upozorňují výzkumní pracovníci. V žádném případě to není důvod, proč si pořídit měřič srdečního tepu a zkrátit si dekompresi co možná nejvíce, ale jedná se o slibný výsledek a vzrušující potenciál do budoucna. Za zmínku stojí, že zvířecí modely jsou v rozporu s údaji tohoto výzkumu a výsledky se také mohou lišit v jednotlivých případech subjektů trpících dekompresní nemocí, nicméně možnosti budoucího výzkumu jsou obrovské.

Pokud lze tento vztah mezi HRV a dekompresním stresem dále ověřit, je možné, že by dekompresní modely mohli ověřit potápěči kvalitativně v reálném čase a konečně by bylo možné skutečně porozumět neznámým skutečnostem souvisejícím s přesycením tkání a dekompresní nemocí. Jestliže se tento model skutečně ověří, mohli bychom se stát svědky zásadní změny ve způsobu, jakým je třeba plánovat dekompresi a jak se má dekompresní nemoc chápat a léčit. Díky schopnosti populární spotřebitelské technologie identifikovat srdeční arytmie pomocí náramkových hodinek není nemožné, že bychom mohli v budoucnu vidět modelování HRV začleněné do potápěčských počítačů. Není to něco, co by mělo změnit způsob, jakým se nyní potápíte, ale tato studie a výzkum nových modelů mnohostranného chápání dekompresní nemoci by vás měly do budoucna naprosto nadchnout.

Citované prameny:

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 autorovi

Reilly Fogarty je instruktor potápění s rebreatherem v Nové Anglii a kapitán s licencí USCG. Jeho profesní zázemí zahrnuje chirurgickou a záchranářskou medicínu v divočině, výzkum v oblasti hyperbarické medicíny a rozsáhlého zmírňování rizika potápění, a také navrhování a řízení programů první pomoci. Předtím pracoval na výzkumu fyziologických reakcí lidského organismu při jeho vystavení extrémním zátěžím ve výzkumném středisku Duke Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology a jako vedoucí týmu pro zmírňování rizik pro Divers Alert Network.

Překladatel: Klement Hartinger