

Posunutí hranic možného: Nový výzkum v oblasti fyziologie hloubkového potápění s rebreatherem

Potápěči praktikující hloubkové potápění s rebreatherem nezkoumají jen nová a zřídka navštěvovaná potápěčská místa, ale také vstupují na neprobádanou „půdu“, pokud jde o fyziologické účinky takových ponorů. Dvě nedávné studie výzkumníků zabývajících se hyperbarií, mezi nimi i Constantino Balestra z DAN Europe, přispívají k zatím malému, ale neustále rostoucímu množství užitečných dat.

Na rozdíl od potápěčů s otevřeným okruhem, kteří jsou omezeni na pevně stanovené směsi plynů, které si nesou s sebou ve svých lahvích, potápěči s uzavřeným okruhem s rebreatherem (CCR) mohou řídit složení svého dýchacího plynu během ponoru. Využívají tak možnost udržovat optimální parciální parciální tlak kyslíku (PO₂) a tím minimalizovat zatížení inertním plynem. Výsledkem je, že použití CCR umožňuje kratší dekompresní časy ve srovnání s potápěči používajícími otevřený okruh.

Být na CCR navíc významně snižuje množství plynu, které potápěč používá – což je důležitý faktor vzhledem k časté obtížnosti získat helium (a také jeho ceně) v mnoha částech světa. Všechny tyto faktory přispěly k tomu, že se přechod od otevřeného okruhu k CCR stal důležitým trendem v posledních dvou desetiletích. Na trh vstoupili noví výrobci rebreatherů a elektronických ovladačů, technologie CCR se stále zdokonaluje a stává se spolehlivější a hluboké ponory s CCR jsou stále běžnější.

Má to však háček. Naše znalosti o dekompresi a dalších fyziologických aspektech ponoření se do značné míry opírají o data z velkého počtu ponorů, z nichž velká většina byla do poměrně menších hloubek. V hloubce do 50 metrů máme docela přesnou představu o tom, co pro průměrného člověka funguje a co ne. S rostoucí hloubkou se však data stávají vzácnějšími. Přestože existuje poměrně značné množství výzkumů z oblasti komerčního a saturačního potápění do velkých hloubek, podmínky, za kterých jsou tyto ponory prováděny, se velmi liší od „ponorů s odrazem“ (od hladiny k hladině), tedy od ponorů prováděných technickými potápěči, takže poznatky z takového výzkumu mají pouze omezenou použitelnost.

Rozhodnutí o dekompresních postupech učiněná hloubkovými potápěči technickými a potápěči s CCR jsou poněkud spekulativní, protože dekompresní algoritmy, které používají, jsou ověřené pouze pro menší hloubky.



Dehydratace, snížená funkce plic, nepředvídatelné bubliny

Ve snaze změnit tuto poněkud nešťastnou situaci přispívají dvě fyziologické studie zveřejněné v roce 2021 k tomuto zatím nevelkému, ale stále se zvětšujícímu množství našich znalostí. [První studie](#) vychází z expedice uskutečněné na Tahiti, jejímž hlavním cílem byl sběr vzorků z nedávno objevených korálových útesů v mezofotické zóně v hloubkách 90 a 120 metrů. Potápěči byli fyzicky zdraví muži, většinou kolem 30 let, s bohatými zkušenostmi. Celkový počet ponorů byl 16. Výzkumníci měřili řadu fyziologických parametrů, včetně spirometrie (výkon plic), tělesné hmotnosti (jako indikátoru hydratace), hematokritu, krátkodobé variability srdeční frekvence (HRV) a kritické frekvence blikání (CFFF) jako potenciálního indikátoru kognitivní poruchy.

Hlavním zjištěním vědců bylo, že došlo ke značnému úbytku tělesné hmoty v důsledku dehydratace – snížení o 3,5 kg ze 73,5 na 70,0 kg pro medián – a také k významnému snížení funkce plic bezprostředně po potápění, z čehož se potápěči postupně vzpamatovali. Zatímco kritická frekvence blikání (CFFF) se stále hodnotí jako [indikátor kognitivní výkonnosti](#), skutečnost, že nebyla pozorována žádná změna, je v souladu s naším poznáním o použití helia ke snížení narkózy a excitačních účinků dýchání hyperbarického kyslíku.

Ve [druhé studii](#) výzkumníci doprovázeli vrakovou potápěčskou expedici do Rudého moře s ponory do hloubek 64, 97 a 123 metrů. I když se opět jednalo o muže, tato skupina potápěčů byla rozmanitější než skupina první, a to pokud jde o věk, složení těla i fyzickou zdatnost. Tato studie byla zaměřena na dekompresní stres měřený záznamem žilní plynové embolie (VGE) nebo bublin, a sice pomocí srdeční podklíčkové dopplerovské echografie provedené 30 a 60 minut po vynoření.

Costantino 'Tino' Balestra je profesorem fyziologie na Haute École de Bruxelles-Brabant a také viceprezidentem DAN Europe pro výzkum a vzdělávání. Byl členem obou výzkumných týmů a laskavě souhlasil s tím, že se s časopisem *Alert Diver* podělí o některé poznatky z těchto studií.

„Jedna z věcí, která nám začíná být jasná, je, že je velmi obtížné předvídat hodnoty VGE u jednotlivých potápěčů na základě jejich saturace a desaturace, i když vezmeme v úvahu faktory jako věk, zdatnost a BMI,” vysvětlil Balestra. „U některých lidí zjišťujeme bubliny tam, kde by žádné být neměly. A u jiných lidí se bubliny moc netvoří, i když se potápí podle relativně agresivních profilů. Zdá se, že velkou roli hrají individuální faktory.

Ke studii z Tahiti Balestra řekl: „Naše klíčové poznatky se týkaly dočasného snížení respiračních funkcí a dehydratace po velmi hlubokých ponorech. Dá se opodstatněně předpokládat, že takové ponory značně zatěžují tělo potápěčů.”



Lidské subjekty a etika výzkumu

Provádění výzkumu hloubkového potápění s CCR představuje řadu výzev. „Hluboké ponory s CCR nejsou příliš běžné a obvykle se uskutečňují daleko od univerzitních laboratoří. Příležitosti pro výzkum jsou vzácné a my zde mapujeme nové území,” řekl Balestra. „A existují i další omezení. Jako výzkumník mohu provádět a pozorovat měření, ale nemohu lidem říkat, jak se mají potápět. To by bylo velmi neetické. Hlubkové potápění s CCR je riskantní, lidé nasazují svá těla a musí jít stoprocentně o jejich vlastní rozhodnutí:”

Výhled a rada

Jsme svědky jasného trendu ke zvýšenému používání rebreatherů při hloubkovém potápění a Balestra věří, že tento trend v brzké době nezmizí. „Existuje zde mnoho vzrušujících aspektů a lidé jsou touto technologií fascinováni,” řekl. Na otázku, jakou radu by dal někomu, kdo zvažuje, že se do tohoto druhu potápění pustí, však nabádá k opatrnosti. „Nejdřív byste se měli zeptat sami sebe, kolik ponorů za rok uděláte! Ponory s CCR jsou mnohem složitější než ponory s otevřeným okruhem a chce to hodně cviku, abyste udrželi své dovednosti neustále na potřebné úrovni. Navíc je rebreather velmi drahé zařízení. Pokud

provádíte méně než padesát ponorů ročně, pochybuji, že se to vyplatí, a sice jak z hlediska rizika, tak i nákladů.”

A pro ty, kteří se rozhodnou do toho jít?

„Z hlediska hyperbarické vědy: Nebudte si příliš jisti, že váš dekompresní protokol vás ochrání před DCS. Ve hře je mnohem více. To, co děláte ve svém každodenním životě a dokonce i bezprostředně před potápěním, může být stejně důležité jako váš výběr gradientních faktorů. V tomto směru existují zajímavé nové výzkumy, které se netýkají pouze lidí, kteří jdou do hloubky 120 metrů. Neustále se pohybujte a cvičte. My v DAN Europe jsme nyní svědky nového nárůstu DCS, který podle nás souvisí s tím, že lidé během pandemie vedli sedavější způsob života.”

Odkazy

Dugrenot, E., Balestra, C., Gouin, E. *et al.* [Physiological effects of mixed-gas deep sea dives using a closed-circuit rebreather: a field pilot study](#). *Eur J Appl Physiol* **121**, 3323–3331 (2021).

Balestra, C., Guerrero, F., Theunissen, S. *et al.* [Physiology of repeated mixed gas 100-m wreck dives using a closed-circuit rebreather: a field bubble study](#). *Eur J Appl Physiol* **122**, 515–522 (2022).

O autorovi

Tim Blömeke vyučuje rekreační a technické potápění na Tchaj-wanu a Filipínách. Je vášnivým jeskynním a vrakovým potápěčem používajícím často CCR. Rovněž je přispívajícím redaktorem a překladatelem pro časopis Alert Diver. Žije v Taipei na Tchaj-wanu. Sledovat ho můžete na Instagramu na [@timblmk](#).

Překladatel: [Klement Hartinger](#)