

# Možnosti předcházet riziko dekompresního onemocnění

Všeobecně se uznává, že nejzávažnějšími rizikovými faktory pro dekompresní onemocnění (DCI) jsou trvání a hloubka ponoru. Potápěče také velmi zajímá, jak mohou snížit nebezpečí DCI např. fyzická připravenost a stav hydratace. V tomto článku se pokusíme zjistit, zdali existují nějaké specifické preventivní metody, které by mohli potápěči používat, aby připravili svůj organismus na podmínky vyvolávající dekompresní onemocnění. Zeptali jsme se na to odborníků.

**Převládá názor, že v období potápění by se měli potápěči spíše vyhýbat fyzicky náročným činnostem, ale zároveň se tvrdí, že určitá tělesná cvičení mohou snižovat riziko DCI. Jak tedy může fyzická aktivita zvyšovat nebo snižovat nebezpečí DCI a co byste potápěčům v souvislosti s fyzickou zátěží a potápěním radili?**

**Constantino Balestra:** Stále více výzkumů vyzdvihuje kladný přínos fyzické přípravy před potápěním. Proč a jak dalece to spolu souvisí se sice ještě neví, ale klíčem k pochopení se zdá být prostě "pohyb". Hlavní výhodou je zřejmě intenzivnější součinnost srdce, cévní soustavy a lymfatického oběhu.

**Michael Bennett:** Vztah mezi fyzickým cvičením a potápěním se stal v několika posledních letech středem pozornosti. Tradičně se tvrdilo, že fyzická námaha před potápěním zvyšuje riziko onemocnění DCI; vycházelo se přitom z předpokladu zvýšené absorpce tkáňového dusíku kvůli hyperdynamické cirkulaci. Nejnovější poznatky však ukazují, že takové názory jsou příliš zjednodušující. Výzkumy na zvířatech i u lidí naznačují, že jednorázové mírné až náročné fyzické cvičení 2 až 24 hodin před simulovaným ponorem může snížit tvorbu bublinek (a pravěpodobně riziko DCI). Sice není dosud jasné proč, ale zdá se, že tvorba oxidu dusnatého (NO) během fyzické zátěže může příznivě ovlivnit eliminaci jader, kolem kterých se tvoří bublinky nebo pozměnit buňky, které pokrývají vnitřní povrch krevních cév (endotel, výstelku). Ale existuje řada dalších alternativních hypotéz, které jsou v současnosti předmětem intenzivního výzkumu. Jean-Eric Blatteau a jeho kolegové se např. domnívají, že ochranný účinek je výsledkem mírné hypovolemie (snížení objemu tekutiny v krevním řečišti). Vzhledem k současnému stavu vědy si dovoluji odpovědně tvrdit, že neexistuje důkaz o škodlivosti fyzické zátěže před potápěním, pokud k ní nedojde později než dvě hodiny před ponorem, ale také potápěčům fyzickou aktivitu před potápěním přímo nedoporučuji.

Mnohem méně sporné jsou dopady a účinky fyzické zátěže na riziko DCI v jiných časových úsecích. Větší námaha přímo během ponoru zvyšuje absorpci dusíku a jeho distribuci do tkání, což se považuje za zvýšené nebezpečí, zatímco lehká námaha během dekomprese se doporučuje kvůli uvolňování plynů a s tím souvisejícím snížením nebezpečí. K náročné fyzické zátěži po ukončení ponoru by naopak docházet nemělo, neboť při ní existuje možnost podpory tvorby bublinek mechanickou stimulací.

**Alf Brubakk:** Pravidelná fyzická námaha se potápěčům doporučuje. Aerobní cvičení před potápěním snižuje tvorbu vaskulárních bublinek. Cvičení po potápění může tvorbu bublinek zvýšit nebo snížit; účinky budou záviset na všeobecné tělesné zdatnosti. Zde se však jedná o oblast, kde chybí dostatek informací, aby se dalo něco radit a doporučit jednoznačně.

**Většina odborníků se shoduje, že silná dehydratace může zvýšit riziko DCI, ale zároveň se tvrdí, že mírná dehydratace toto riziko snižuje. Co si o tom myslíte a jak by se podle vás měli potápěči v tomto směru chovat?**

**Balestra:** Existují názory, že během ponoru může normální objem krevní plazmy nebo dokonce její mírně

snížený objem redukovat nasycování tkání dusíkem. Z toho plyne ponaučení nenavyšovat objem plazmy příliš rychle ani příliš mnoho, neboť to vede k vyšší produkci moči a tkáně se vlastně nezavodňují. Doporučuji vypít jednu sklenici vody každých 15 až 20 minut, aby se tkáně zavodňovaly bez zvětšování objemu plazmy.

**Bennett:** Některé práce zaměřené na zkoumání účinků tepla a fyzické námahy na riziko následného vzniku dekompresního onemocnění naznačují, že mírná dehydratace může paradoxně působit preventivním způsobem. Může to být způsobeno mechanismem, který podle provedeného výzkumu poskytuje ochranu proti tvorbě bublinek. Blatteau a spol. totiž tvrdí, že mírná dehydratace a snížený objem krve (hypovolemie) následkem fyzického cvičení nebo vystavení se teplu před ponorem (např. v sauně) snižují srdeční výdej a tím i dodávku dusíku do tkání. Na tento názor však existuje mnoho protichůdných teorií a já sám neznám žádné konkrétní údaje, které by shora uvedené tvrzení dokazovaly.

Shora zmíněné tvrzení je však dosti překvapivé. I když rizika spojená s dehydratací se musí teprve potvrdit a přesně definovat, vše, co je nám dosud známo, ukazuje na skutečnost, že tekutiny před ponorem jsou spíše ku prospěchu než ku škodě. Např. Gempp a spol. v roce 2008 zveřejnili zprávu z klinického výzkumu, jejíž závěr zněl: "Perorální hydratace před ponorem snižuje cirkulaci bublinek a proto nabízí poměrně snadný způsob, jak snížit nebezpečí dekompresního onemocnění." Podle jejich zprávy hydratace pomocí 1,3 litrů směsi fyziologického roztoku a roztoku glukózy před ponorem zmírnila dehydrataci a zabránila vzniku hypovolemie vyvolané potápěním, ale nezměnila povrchové napětí plazmy. Má rada je tedy jednoznačná: Na základě dosavadních poznatků potápěčům doporučuji, aby si před ponorem zajistili dostatečnou hydrataci a jsou-li dehydratováni, raději se nepotápěli.

**Brubakk:** Neznám žádné konkrétní údaje, které by potvrdzovaly teorii, že mírná dehydratace je pro potápění výhodná. I já potápěčům radím, aby se při všech činnostech souvisejících s potápěním udržovali v dobře hydratovaném stavu.

**Někteří odborníci doporučují před ponorem užívat antioxidanty (např. vitamin C), nutrienty nebo léky (např. nitroglycerin), aby se co nejvíce minimalizovalo nebezpečí DCI. Jak to může snížit takové riziko?**

**Balestra:** Zkušenosti prokazují, že tento přístup sice nijak významně neovlivňuje produkci bublinek, ale má dopad na endoteliální funkci. Bezprostředně po ponoru, kdy je endoteliální funkce přechodně narušena, mohou antioxidanty takovému zhoršenému stavu zabránit, ale neexistuje žádný jasný důkaz, že zmíněné přípravky redukují produkci bublinek. Výzkumy v této oblasti však stále probíhají.

**Bennett:** V poslední době jsme svědky rostoucích snah o upravování endoteliální funkce farmakologickými prostředky. Největší zájem vyvolávají přípravky, které zvyšují dostupnost NO a tudíž přímý dopad na místa (pravděpodobně na endotelu), kde se tvoří plynové bublinky. Tvorba bublinek zřejmě způsobuje poškození endotelu a podporuje mikrovaskulární obstrukci i aktivaci koagulačních kaskád - což jsou změny, které mohou být přímo odpovědné za klinický obraz DCI. I když zatím nelze činit nějaké definitivní závěry, existují již důkazy (získané experimentálně od zvířat i lidí), že užívání shora uvedených sloučenin může významně snížit riziko DCI. V podstatě platí, že donory NO (např. nitroglycerin) a antioxidanty (jako vitamin C) působí proti oxidačnímu stresu, který je příčinou endoteliálního poškození. Takové poškození může být důvodem, proč bublinky vyvolávají tak rozsáhlé poškození zdraví.

Jedná se o mimořádně zajímavý výzkum, který může potápěčům již brzy přinést zásadní a závazná doporučení. V současné době je však nutno postupovat velmi obezřetně. Mnoho z těchto přípravků má rozsáhlé účinky - některé z nich mohou způsobit více škody než užitku - a zatím nemáme žádné praktické důkazy, že tyto prostředky proti klinickému DCI potápěče skutečně ochrání.

**Brubakk:** Antioxidanty zřejmě skutečně snižují tvorbu bublinek. Při DCI může hrát svou roli i skutečnost, že antioxidanty oslabují zánětlivé reakce. Určitě je zde potřeba dalšího výzkumu, ale zatím se tato možnost jeví slibně. V současnosti však víme příliš málo o účincích antioxidantů na zdravé lidi.

**Rune Djurhuus:** NO je malá signální molekula způsobující uvolnění a rozšíření cév. Výzkumy na zvířatech prokazují, že užití farmakologického prostředku (např. nitroglycerinu), který do krve uvolňuje NO, může snižovat tvorbu bublinek a zvyšovat přežití po dekompresi. A naopak, inhibice enzymu NO-syntáza (NOS), který vytváří NO v endotelové vrstvě uvnitř cév, příznaky DCI významně zhoršila. Navíc je o fyzické námaze známo, že podporuje tvorbu NO v endotelu. Převládá tedy hypotéza, že tvorba NO hraje určitou roli při ochraně vaskulárního systému proti nepříznivým účinkům plynových bublinek během dekomprese.

S potápěním zpravidla souvisí zvýšený parciální tlak kyslíku. Nedávno jsme ukázali, že zvýšená přítomnost kyslíku v krvi (hyperoxie) nemá žádný dopad na schopnost NOS vytvářet NO v izolovaných buňkách lidského endotelu. Nicméně normální funkce tohoto enzymu závisí také na kofaktorech, zvláště na tetrahydrobiopterinu (BH4). Tato sloučenina se snadno oxiduje a v této formě nepodporuje syntézu NO. Vystavení lidských endoteliálních buněk hyperoxickým podmínkám (přibližně třikrát většímu parciálnímu tlaku kyslíku, než jaký je u hladiny moře) způsobilo snížení koncentrace redukovaného BH4 přibližně o 50 procent. Následkem takového vystavení hyperoxickým podmínkám při potápění může být tedy snížená hladina redukovaného BH4, což zase omezuje tvorbu NO prostřednictvím NOS a tedy potenciálně zvyšuje riziko DCI. Tomuto efektu lze předejít dodáváním BH4 do organismu, případně užíváním antioxidantů, které zabrání jeho oxidaci. U pokusných modelů se také prokázalo, že hladinu redukovaného BH4 pomáhá udržovat i jednoduchý antioxidant jako vitamin C. Je však nutno zdůraznit, že tento mechanismus zatím nebyl potvrzen pokusy na zvířatech a studiemi u lidí. Je možné, že další výzkum ukáže, že jiné faktory mohou sehrávat důležitější roli.

**Jako přípravná opatření proti DCI se navrhovaly i další postupy, např. celotělová vibrace před zahájením potápění, předběžné dýchání kyslíku, přípravné ponory a návštěva sauny před ponorem. Vyplývají z těchto návrhů nějaké praktické závěry?**

**Balestra:** Tato předběžná opatření přímo souvisí s mírným zvýšením srdeční činnosti (sauna) nebo se zvýšením lymfatické aktivity (celotělová vibrace, předběžné dýchání kyslíku). V některých případech se provádělo předběžné dýchání kyslíku příliš dlouho před ponorem, než aby se dalo uvažovat o nějakém denitračním účinku. Všechna zmíněná opatření souvisí spíše se zmírněním mikronukleace než s denitrací.

**Bennett:** Všechna navrhovaná opatření představují pokusy o snížení nebezpečí výskytu DCI tím, že se předejde tvorbě bublinek v organismu. Jediný všeobecně uznávaný a často používaný způsob je však provádění přípravných ponorů, což znamená, že potápěči, kteří se chystají na provedení nějakého velmi náročného ponoru (zpravidla do velké hloubky), uskuteční nejdříve řadu ponorů do postupně se zvyšujících hloubek, čím více se blíží datum onoho naplánovaného nejhlubšího ponoru. Pro správnost a oprávněnost tohoto přístupu neexistuje dostatek konkrétních důkazů, ale lze uvést řadu důvodů, proč by mohly být takové přípravné ponory užitečné: seznámení se s výstrojí i s místními mořskými podmínkami, prověření správné funkčnosti výstroje v nepříliš náročném prostředí, obnovení si správných návyků při provádění ponorů atd.

Obzvláště v Evropě neustále probíhají pokusy o důkladné vyhodnocení role a důležitosti nejrůznějších předběžných opatření a strategií, včetně všech shora uvedených. Např. Blatteau a spol. nedávno oznámili provedení pokusů s vystavením organismu účinkům sauny před potápěním za účelem snížení množství bublinek – tento pokus provedlo několik potápěčů dobrovolníků. Ale zatím vše zůstává pouze v teoretické rovině a až do této chvíle nevím o žádném praktickém využití, které by z jejich výzkumu vyplynulo.

**Brubakk:** Nebylo zveřejněno žádné praktické využití, ale získané údaje naznačují, že tato opatření tvorbu bublinek snižovat mohou.

### **Seznamte se s diskutujícími odborníky**

**Costantino Balestra**, Ph.D., je viceprezidentem pro výzkum a vzdělávání u DAN Europe, ředitelem DAN Europe pro území Beneluxu a Francie a viceprezidentem evropské společnosti European Underwater and Baromedical Society (EUBS). Rovněž řídí fyziologickou laboratoř Environmental, Aging and Occupational Physiology Lab na vysoké škole Haute Ecole Paul-Henri Spaak v Bruselu. Svůj hlavní zájem věnuje výzkumu fyziologie extrémních prostředí a vědeckému zkoumání různých druhů sportu.

**Michael Bennett**, M.D., FANZCA, ANZCA Cert DHM, je předním specialistou v nemocnici Prince of Wales Hospital a profesorem hyperbarické medicíny na Univerzitě Nového Jižního Walesu v Sydney v Austrálii. Má sedmnáctileté zkušenosti s řešením potápěčských nehod a zranění v Jižním Pacifiku a svůj doktorský titul získal za výsledky výzkumu v oboru potápěčské a hyperbarické medicíny.

**Alf O. Brubakk**, M.D., je profesorem environmentální fyziologie na Norské univerzitě přírodních věd a technologií v Trondheimu. Je specialistou na kardiologii a anesteziologii a více než dvacet let se zabývá studiem dekompresního onemocnění. Provádí výzkum i v jiných směrech environmentální fyziologie, včetně účinků chladu a kosmického prostoru.

**Rune Djurhuus**, Ph.D., je vedoucím vědeckým pracovníkem v oboru biochemie a toxikologie na Norském institutu pro zásahy pod vodou v norském Bergenu. Svůj výzkum zaměřuje na chemickou kontaminaci dýchacího plynu potápěčů (t. j. na hyperbarickou toxikologii) a na buněčné ochranné mechanismy související s endoteliálním poškozením způsobeným dekompresní stresem.