

# Proč je každý jinak náchylný k dekompresnímu onemocnění? Nový model bublinkové variability

Riziko dekompresního onemocnění po ponoru bylo vždy spojováno s přítomností bublinek plynu, které jsou nazývány „cévní plynové emboly“ a které cirkulují v krevním oběhu. Předpokládá se, že se rozvinou z předstupně, který nazýváme „plynová mikrojádra“. Ta vznikají, když je krev přesycena nějakým plynem. Nedávno bylo rovněž zjištěno, že dekompresní onemocnění může být také spojeno s [přítomností mikročástic v krvi a s příznaky vyvolanými zánětlivým procesem](#).

Bublinky plynových embolů, které po ponoru vznikají, lze měřit Dopplerovým ultrazvukem, nebo echokardiografií a jejich počet byl používán jako indikátory dekompresní zátěže, přestože samotné bublinky mohou být v krvi přítomny i bez následného rozvoje dekompresního onemocnění. Bylo zjištěno, že při stejném ponoru se mezi jednotlivci vyskytuje [významná variabilita v počtu vzniklých bublinek, která naznačuje, že velký význam mají individuální předpoklady](#). Zatímco někteří jedinci jsou k tvorbě bublinek a rozvoji dekompresního onemocnění náchylní, jiní vykazují jistou míru odolnosti. Navíc u jednoho potápěče se může tvorba bublinek významně lišit od ponoru k ponoru, což může být dáno přípravou, kterou před ponorem podstoupí. Žádný současný dekompresní model není schopen tuto variabilitu vysvětlit.

Nyní, v [novém článku](#), který vychází z klíčového výzkumu posledních několika desetiletí, navrhuje výzkumníci DAN Europe model, který vysvětluje variabilitu v náchylnosti k tvorbě bublinek a rozvoji dekompresního onemocnění pomocí individuálních metabolických procesů jednotlivých potápěčů. Tento nový model umožňuje popsat individuální rozdílnost a vliv přípravy před ponorem a vrhá světlo na zdroj krevních mikročástic. Rovněž označuje věk, fyzickou zdatnost a stres během ponoru jako klíčové faktory, které mají vliv na variabilitu v tvorbě bublinek.



## Metabolické bublinky jsou stále „na čekané“

Metabolický model postulovaný autory staví na doslova průkopnickém výzkumu Briana Hilla, který popisuje kavitaci bublinek a rovněž na [novějším výzkumu](#) izraelského výzkumníka Rana Arieliho, který popsal, že dekompresní bublinky se u potápěčů nemohou vyvinout bez předchozích plynových mikrojadér, které vznikají na aktivních hydrofobních místech nacházejících se na cévní výstelce.

Druhý předpoklad, kterým je model podpořen, je překvapující zjištění výzkumu provedeného v posledním desetiletí na téma dopadu [přípravy na ponor](#), který potvrdil, že stabilní a nepohyblivé nanobublinky se s největší pravděpodobností vyskytují u potápěčů ještě před ponorem.

Hypotéza autorů spočívá v předpokladu, že vlivem metabolismu potápěčů vznikají malé plynové bublinky, které nazývají „statické metabolické bublinky“, a které jsou přisedlé na cévní výstelce ještě před zahájením ponoru. Tyto bubliny následně slouží jako základ ke vzniku cirkulujících plynových embolů, které se objeví po ponoru.

Autoři předpokládají, že formace těchto statických bublinek je výsledkem vlivu dobře popsaného „[kyslíkového okna](#)“, tedy rozdílu mezi parciálním tlakem kyslíku v potápěčových plicních sklípcích, který je v rovnováze s vnějším prostředím, a nižším tlakem v žilním řečišti, který vzniká při aktivním metabolismu. Předpokládají, že tento gradient tlaků udržuje na cévní výstelce určité množství malých statických bublinek již před začátkem ponoru a čím větší je gradient, tím více statických bublinek vzniká. Toto následně vyjádřili matematicky pomocí rovnice, která popisuje formu, velikost a dynamiku vzniku statických bublinek.

V průběhu sestupu při ponoru dochází ke zmenšení objemu těchto stabilních bublinek podle Boyleova zákona. Pokud však u potápěče dochází k dekompresi, výměna plynů podporuje růst již existujících malých

statických bublinek pomocí difuze z přilehlých tkání. Malé bublinky tak rostou, až dosáhnou kritické velikosti k tomu, aby se odpojily od cévní výstelky a vytvořily cirkulující plynové emboly.

Množství plynových embolů tedy závisí na množství hydrofobních míst na cévní výstelce, počáteční velikosti malých statických bublinek, která je závislá na metabolismu potápěče a na rychlosti výstupu, který vytvoří gradient pro difúzi a určí, jak rychle budou malé statické bublinky růst a dávat možnost vzniku embolům. Navíc je předpoklad, že když se malé bublinky utrhnou od cévní stěny, tak uvolní i další mikročástice, které se mohou dostat skrz plicní filtr do tepenného řečiště a vyvolat zánětlivou reakci, což přispívá k rozvoji příznaků dekompresního onemocnění.



## Proč jsou tedy mezi potápěči rozdíly a jaký je vliv přípravy před ponorem?

Na základě tohoto modelu je výskyt malých stabilních bublinek daný individuálními vlastnostmi potápěče a predisponuje jej jak k určitému riziku rozvoje plynových embolů po vynoření, tak k rozvoji zánětu. Tento model tak může vysvětlit variabilitu, kterou nacházíme mezi různými potápěči. Metabolismus se s věkem zpomaluje a tím je možné vysvětlit vyšší hladiny plynových embolů u starších potápěčů.

Metabolická aktivita je rovněž přímo úměrná klidové srdeční frekvenci a je logaritmičtě závislá na tělesné hmotě. Z toho lze usoudit, že tělesná zdatnost zvětšuje kyslíkové okno. Na základě toho lze potom vysvětlit nižší hladiny plynových embolů u potápěčů v dobré kondici. Je zajímavé, že při analýze databáze DSL (Diving Safety Laboratory - Laboratoř bezpečného potápění) objevili výzkumníci DAN pouze dva faktory, které predisponují potápěče k vyšším hladinám bublinek a to Body Mass Index (index tělesné hmotnosti) a vyšší věk.

Model rovněž poskytuje nový pohled na nedávný výzkum, který se týká přípravy k ponoru. V této práci bylo zjištěno, že mechanické vibrace a dýchání kyslíku před ponorem snižuje počet bublinek po dekompresi. Tyto postupy pravděpodobně uvolňují malé stabilní bublinky z cévní stěny a zmenšují jejich objem ještě před ponorem, čímž sníží i počet plynových embolů po ponoru. Podobně lze podle tohoto modelu vysvětlit i zjištění, že delší klid na lůžku, který napodobuje pobyt v minimální gravitaci (podobně jako při letech do vesmíru), zvyšuje počty bublinek po dekompresi při ponorech s dýcháním vzduchu.





## Metabolické dekompresní algoritmy?

Přestože plynové emboly neznamení automaticky dekompresní onemocnění, menší hladiny bublinek znamenají vždy menší riziko. Autoři uzavírají, že množství bublinek a filtrační kapacita plic určuje, jak velká je pravděpodobnost, že se bublinky dostanou do tepenného řečiště a způsobí dekompresní onemocnění. Jak bylo rovněž zmíněno výše, uvolňování bublinek může rovněž uvolnit mikročástice, které, podobně jako samotné bublinky, mohou způsobit v tkáních zánět.

Podle autorů je za účelem správného určení přijatelného rizika rozvoje dekompresního onemocnění třeba, aby budoucí dekompresní algoritmy pracovaly rovněž s rozličnými parametry vycházejícími z individuálních vlastností potápěče. Možná také půjde doplnit M-hodnoty (Maximální přípustná hodnota tlaku inertního plynu, kterou tkáň snese bez příznaků dekompresní nemoci podle Workmannova modelu) a gradientové faktory pro existující algoritmy o tyto charakteristiky.

Je třeba zdůraznit, že nové algoritmy založené na individuálních vlastnostech potápěčů možná nepřinesou příliš odlišné dekompresní profily, protože současné profily již s sebou nesou přijatelně nízké riziko rozvoje dekompresního onemocnění. Nicméně nové metabolické modely mohou poskytnout lepší kontrolu nastavení bezpečnosti ponorů („konzervativnosti“) a nabídnou potápěčům možnost vybrat si úroveň dekompresní zátěže, kterou jsou ochotni podstoupit v rámci daného ponoru.

---

## O autorovi

Michael je novinář vyznamenaný řadou cen, a zároveň odborník zabývající se již několik desetiletí potápěním a nejrůznějšími technickými aspekty souvisejícími s potápěním. Je přímým autorem pojmu „technické potápění“. Jeho články a studie byly zveřejněny v časopisech jako Alert Diver, DIVER, Quest, Scientific American, Scuba Times, Sports Diver, Undercurrent, Undersea Journal, WIRED a X-Ray. Založil a pracoval ve funkci šéfredaktora aquaCORPS, což pomohlo zařadit technické potápění do hlavního spektra sportovního potápění. Rovněž pořádal první konference Tek, EuroTek a AsiaTek.