

# Nejnovější poznatky o dekompresní nemoci a fyziologii potápění (1. část)

O bublinkách způsobujících dekompresní nemoc (DCS) vědí všichni potápěči po celém světě. Zpravidla jde o bublinky inertního plynu dusíku. DCS představuje zdravotní riziko související s potápěním, přičemž projevů této nemoci může být široká škála - od vyrážky, přes bolesti kloubů různé intenzity, až po celoživotní trvalé ochrnutí a v nejhorším případě i úmrtí. Jestliže se inertní plyn, který nasýtil tělesné tkáně během zvýšeného okolního tlaku, uvolňuje při snižování tlaku příliš rychle, mohou se z něj v těle vytvořit cirkulující nebo tkáňové bublinky, které hrozí zablokováním cév, zvláště pak malých kapilár. Nastane-li tato situace v mozku, míše nebo srdci, mohou být následky velmi vážné až katastrofální. Lepší pochopení a prevence tohoto jevu hrají při vyvarování se tomuto nebezpečí a zmírnění možných následků klíčovou roli.

V roce 2009 zahájila skupina 14 nadšených výzkumných pracovníků práci na projektu nazvaném PHYPODE (PHYsioPathology Of Decompression), který byl sponzorován Evropskou unií v rámci iniciativy Marie Curie Initial Training Networks, s cílem prozkoumat DCS hlouběji než jen z hlediska pouhých fyziologických procesů.

Nyní byl po 4 letech zmíněný projekt ukončen. S cílem zveřejnit získané poznatky zorganizovala DAN (Divers Alert Network Europe) v bruselském ISEK 20. prosince 2014 jednodenní konferenci pod názvem "The Science of Diving".

## Vědecké předpoklady

Jelikož se někdy vyskytují případy DCS i bez zjevného pochybení v technice potápění a nelze je vysvětlit pouhým přesycením tkání, panuje všeobecné přesvědčení, že dekompresní modely, které se používají v současných potápěčských počítačích, nejsou dostatečně bezpečné, měly by se znovu přezkoumat a případně poopravit. Dále existuje předpoklad, že v případě DCS se nejedná o čistě fyzikální jev, nýbrž také o komplexní patofyziologický proces ovlivněný a/nebo vyvolaný různými faktory, které se mohou u různých lidí lišit. To vede k závěru, že riziko rozvoje DCS je u každého potápěče individuální. Proto se budoucí výzkumy v této oblasti zaměří na vývoj dokonalejší technologie použitelné při potápění v reálném čase. Ideálním výsledkem by bylo vytvoření jakéhosi „bionického“ potápěče vybaveného „potápěčským superpočítačem“ s novým algoritmem, který by dokázal v reálném čase (tj. před ponorem, během ponoru a po ponoru) sledovat zdravotní údaje příslušného jedince.

## Vědecké výsledky

Pro lepší poznání mnoha fyziologických faktorů a mechanismů bylo zapotřebí použít multifaktorový přístup. Každý výzkum v této oblasti, který pomůže prohloubit pochopení mechanismů a procesů vedoucích k DCS, je důležitým krokem k větší bezpečnosti potápění, což bylo vždy součástí poslání DAN. Proto také nadace DAN vytvořila v roce 1994 laboratoř DSL (Diving Safety Laboratory) s cílem získat a shromáždit co nejvíce údajů o uskutečněných ponorech, včetně údajů o potápěčských nehodách. Pod vedením profesora A. Marroniho, prezidenta DAN Europe a jednoho z předních vědců zúčastněných na projektu PHYPODE, se tyto údaje analyzovaly pomocí epidemiologické analýzy, aby se zjistily rizikové faktory a jejich znaky.

V roce 2014 byly v databázi DSL sesbírány údaje o 39 944 ponorech uskutečněných 2 615 potápěči (2176 mužů a 439 žen v průměrné věkové skupině 33-51 let).

Ke zjišťování produkce cirkulujících bublinek byla využita technika Dopplerovy sonografie. Vědci prokázali,

že bublinky lze zjistit 30 až 75 minut po výstupu na hladinu a vymizí asi po 1,5 hodině. Také se ukázalo, že produkce bublinek se zvyšovala s věkem, ale nezáleželo na tom, zda šlo o muže či ženy.

Na konferenci byly prezentovány rovněž nové poznatky týkající se **cestování letadlem po potápění**. Echokardiografické vyšetření potápěčů, vracejících se po týdenní potápěčské dovolené, prováděné během letu ukázalo, že potápěči, u kterých se zpravidla vyskytuje po ponoru hodně bublinek, by měli nastoupit cestu letadlem s větším časovým odstupem (36 - 48 hodin namísto běžných 24 hodin po posledním ponoru).

Co se týče dalších zdravotních rizik souvisejících s potápěním, dobré zprávy se zde dozvěděli **potápěči diabetici**. Nejnovější technologie totiž umožňují průběžnou kontrolu hladiny cukru v krvi (BG) i pod vodou. Glykemii je možno měřit za pomoci vodotěsných monitorovacích přístrojů, jejichž čidla jsou umístěná pod mokrým oblekem.

Výzkum **plicního edému vyvolaného zadržováním dechu** přinesl nové poznatky o genetických dispozicích, které by mohly činit některé potápěče náchylnější k rozvoji DCS. Několik nedávno provedených studií naznačilo, že určité genetické varianty enzymu e-NOS, které obsahují kyselinu glutamovou namísto kyseliny asparagové, vedou k vyšší produkci oxidu dusnatého (NO), což může mít ochranné účinky proti DCS.

O **bublínkách** toho víme hodně, ovšem přesný mechanismus jejich vzniku zůstával až do nedávna dosti nejasný. C. Balestra, profesor na bruselské vysoké škole Haute-Ecole Paul Henri Spaak a vedoucí tamní laboratoře integrované fyziologie (Integrative Physiology Lab), řídil výzkum zaměřený na tvorbu bublinek v hyperbarické dekompresi, tj. na tvorbu bublinek plynného dusíku v cévní soustavě potápěče po přístrojovém potápění a s tím související fyzikální a fyziologické procesy. Aby byl jasně viditelný růst bublinek i jejich hustota, což by umožnilo přesné sledování mechanismu jejich vzniku, použil profesor Balestra experimentální soupravu určenou k optickému zaznamenávání sledovaných jevů. Poté zkoumal dva odlišné druhy tkáňových povrchů, tj. hydrofilní a hydrofobní, jinými slovy - tkáň svalovou a tkáň tukovou. Přitom zjistil významně více bublinek na tukové tkáni (hydrofobní) než na tkáni svalové (hydrofilní). Zřejmě to souvisí s výskytem tzv. hydrofobních nukleačních bodů, na kterých se mohou bublinky tvořit. Vše nasvědčuje tomu, že s přibývajícím věkem roste i počet těchto hydrofobních bodů v cévní soustavě člověka, což by vysvětlovalo zvyšující se riziko možného DCS u starších jedinců, ale také vyšší nebezpečí výskytu Alzheimerovy choroby, celiakie (nesnášenlivosti lepku), různých alergií, diabetu a rakoviny. Hydrofobní body existující na vnitřní vrstvě cév, kde se mohou tvořit bublinky, mají tudíž dalekosáhlý interdisciplinární význam a tyto nově zjištěné poznatky mohou být přínosem nejen pro potápěče.

Peter Germonpré (ředitel Střediska pro hyperbarickou kyslíkovou terapii ve Vojenské nemocnici v Bruselu) zdůraznil důležitost tzv. **předběžné přípravy** sestávající z řady kroků, které může (a má) každý potápěč učinit před ponorem, aby snížil nebezpečí DCS. Všeobecně se má za to, že existují dva možné mechanismy, jak snížit množství bublinek: biochemický, tj. ovlivňování oxidační zánětlivé reakce vyvolané přítomností dekompresních bublinek v těle a mechanický, tj. snižování množství bublinkových „jader“ v cévním řečišti. Pro snižování množství bublinek se před potápěním doporučují následující kroky: fyzické cvičení, pobyt v teple, hydratace, dýchání kyslíku, vibrace aplikované na celé tělo a konzumace potravin obsahujících antioxidanty.

Cévní embolie (**VGE**) se dlouho považovala za příčinu (i marker) DCS. Čím více bublinek v krvi, tím pravděpodobněji se dostaví příznaky dekompresce. A jak je uvedeno již shora, bublinky se tvoří na hydrofobních nukleačních bodech na povrchu krevních cév. Z tohoto důvodu je zřejmé, že udržování cévní soustavy (i celého těla) v dobré kondici může vést ke snížení rizika DCS.

V zásadě lze říci, že fyzické **cvičení** podporuje ventilaci a zbavování se bublinek. Tepelný stres má za následek produkci bílkovin tepelného šoku, které mohou také bránit tvorbě bublinek. Rovněž dostatečná **hydratace** má známé preventivní účinky. Účinná hydratace se musí provádět vždy delší dobu před ponorem, aby se voda dostala do tělních tkání. Pít hodně vody těsně před ponorem nepomůže, tím se pouze zvětší objem tekutin v cévách, což pak vede k rychlému úbytku tekutin během ponoru a to naopak nebezpečí DCS zvyšuje. Mechanická **vibrace** aplikovaná na celé tělo před ponorem snižuje nebezpečí DCS zřejmě díky vytěsnění již existujících mikrobublinek. Proto také někteří provozovatelé potápěčských středisek upřednostňují přepravu na místo potápění v rychlém lehkém motorovém člunu. Důležitou roli v eliminaci nukleačních center bublinek má lymfatická drenáž, která je rovněž podporována vibracemi před ponorem. A konečně i dýchání stoprocentního **kyslíku** před ponorem patří k účinným způsobům, jak dostat dusík z těla ven.

Rovněž se zjistilo, že zatímco lehké fyzické cvičení má ochranné účinky, **náročné cvičení** ve spojení s potápěním lze považovat z důvodu jeho prozánětlivých účinků na krevní cévy za významný rizikový faktor zvyšující nebezpečí rozvoje DCS. Dopady různě intenzivních fyzických cvičení prováděných před ponory, mezi ponory a po ponorech zkoumal Z. Dujic z Lékařské fakulty Univerzity Split v Chorvatsku.

Cvičení po potápění může vyvolat tzv. arterializaci žil – otevření drobných otvorů ve stěně žíly, které umožňující průchod bublinek ze žilní do tepenné krve – což je jev, kterému se také říká *shunting* (přesunování) a který je spojen se zvýšeným nebezpečím vzniku DCS. Intenzita arterializace je u každého jedince individuální. U někoho může i prosté plavání na hladině, nebo přenášení výstroje po ponoru vyvolat tak silnou arterializaci, že se překročí její mezní hodnota.

Zjistilo se, že arterializaci při cvičení se dá zabránit dýcháním stoprocentního kyslíku. O<sub>2</sub> vyvolává smršťování cév s následným uzavřením otvorů (*shuntů*). Tento jev nabízí zároveň vysvětlení mechanismu účinku dýchání kyslíku při poskytování první pomoci v případech již vzniklého dekompresního onemocnění.

Dvě komparativní studie prokázaly ochranné účinky aerobního běhání a anaerobní jízdy na kole před ponorem ve smyslu redukce mikročástic (tj. zárodečných jader pro tvorbu bublinek). Naopak v 50 % případů se ukázalo, že fyzické cvičení po ponoru podporuje arterializaci. Závěrem lze konstatovat, že potápěčům, kteří jsou velkými „bublinkáři“ se snadno vznikajícími arterializačními otvory v krevních cestách, hrozí vysoké nebezpečí DCS.

Další zajímavé poznatky, např. jakou roli hraje při DSC cévní endotel (ploché epitelové buňky vystýlající cévy), toxicita kyslíku a koncepce „bionického“ potápěče budou prezentovány ve druhé části tohoto článku, který bude zveřejněn v příštím čísle časopisu Alert Diver.

---

## Tématická publikace

### “The Science of Diving, Things your instructor never told you”

Vydalo nakladatelství Lambert Academic Publishing a lze zakoupit [zde](#), nebo si můžete tuto publikaci objednat prostřednictvím kteréhokoliv knihkupectví pomocí čísla ISBN 978-3-659-66233-1. Tato kniha se prodává za 49,90 € a všechny honoráře získané jejím prodejem se převádějí na EUBS za účelem podpory dalšího výzkumu v oboru potápěčské medicíny.

### Zdroje vzdělávání – jedna z výhod členství v DAN

Členové DAN dostávají pravidelně pozvánky a informace týkající se zajímavých konferencí, seminářů a

podobných akcí zaměřených na bezpečnost při potápění. Slevy na vstupní poplatky nebo bezplatná účast na takových akcích jsou jen jednou z výhod z členství v [DAN](#).

Máme-li vás včas informovat o podobných událostech, jakou byla konference PHYPODE, zaregistrujte se prosím na webové stránce [DAN Europe](#). Budete pravidelně dostávat naše zpravodaje i cenné informace o různých školeních první pomoci, možnostech pojištění, webinářích on-line atd.