Nezapomeňte na dýchání

Otázka

V základních kurzech potápění na otevřené vodě se potápěčům říká „nikdy nezadržujte dech“, aby nenastalo nebezpečí poranění plic následkem expanze stlačeného vzduchu při výstupu k hladině. Také se zdůrazňuje, že nejnebezpečnější část výstupu je těsně pod hladinou. Proč je tomu tak? A k čemu vlastně dochází při poranění plic expandujícím plynem? Skutečně se natrhnou nebo prasknou? Plíce jsou obklopené vakem naplněným tekutinou, kde tedy dochází k expanzi? Je mezi plícemi, zmíněným vakem a ostatním tělem nějaký prázdný prostor? A proč je poslední část výstupu nebezpečnější než, řekněme, překonání stejné výšky, ale ve větší hloubce? Nemění se okolní tlak při výstupu z 20timetrové hloubky do 10 metrů stejně jako při výstupu z 10timetrové hloubky na hladinu?

Odpověď

Poranění plic způsobená expanzí patří k nejvážnějším a život nevíce ohrožujícím nehodám při přístrojovém potápění. Zpravidla se jedná o následek přehuštění plic vzduchem z důvodu patologického „uvěznění“ vzduchu (při plicním onemocnění) nebo kvůli zadržování dechu během výstupu k hladině. Pro pochopení nebezpečí spojených s poraněním plic je nezbytné pochopit anatomii tohoto orgánu. Hlavní průdušky se dělí na četnější a menší průdušinky, ty se dále větví na průdušinky o stále menším průměru, až se vytvoří tzv. respirační průdušinky končící v plicních sklípcích (alveolách). Plicní sklípky jsou nejdůležitější jednotkou celé soustavy, neboť právě v nich probíhá výměna plynů. Tyto jemné a křehké vzduchové váčky jsou obklopené velmi tenkou membránou o tloušťce pouze jedné či dvou buněk a zároveň se nacházejí v síti jemných krevních vlásečnic (kapilár). Jestliže jsou plíce vystaveny atmosférickému tlaku u hladiny moře, pracují při vdechování a vydechování v rovnovážném stavu. Při změně výšky dochází k mírným změnám tlaku, avšak vyrovnávání tlaku uvnitř a vně plic během každého vdechnutí či vydechnutí je pasivní a prakticky nepozorovatelné. Během ponoru do hloubky mají všechny tělesné prostory obsahující vzduch tendenci smrštit se, a to tím více, čím větší je okolní tlak; např. objem plic potápěče se zadrženým dechem se zmenšuje tím výrazněji, čím hlouběji ve vodě sestupuje. Scuba regulátory dodávají dýchací plyn odpovídající síle tlaku kolem potápěče, proto se do plic dostávají vyšší koncentrace dýchacího plynu, což zabraňuje zmenšování objemu plic, ke kterému by jinak nutně docházelo. Jinak by se zvětšoval objem plic natolik, až by se překročila mez pružnosti sklípků a došlo by k poranění plic. Následkem toho by se násilně dostal plyn do jedné z těchto tří oblastí:

1. do prostoru v hrudní dutině, což je stav známý pod názvem pneumotorax;
2. do vlastních plicních tkání (do jejich mezibuněčného prostoru), odkud se může dostat do tkání krku nebo hrtanu;
3. do krve.

V tomto posledním zmíněném případě (v tzv. stavu arteriální plynové embolie neboli AGE) se mohou bublinky přenášet z plicních vlásečnic prostřednictvím plicních žil do levé strany srdce a poté do krkavice nebo do basilárních tepen (s výsledným stavem cerebrální arteriální plynové embolie neboli CAGE). I když toto vysvětlení vypadá logicky, není zcela uspokojivé. Jelikož je plicní tkáň velice poddajná, dalo by se očekávat, že prostor mezi sklípky i v něm uložené cévy jsou vystavovány stejnému tlaku jako sklípky. Tyto cévy by se tedy mohly zbortit, což by zabránilo vstupu plynu. Plyn zřejmě vstupuje do cév v „rozích“ plíce – např. v oblasti mezi plící a mezihrudím, kde mohou rozdíly tlaku způsobit protržení, což umožní vstup dalšího plynu. Zde je důležité poznamenat, že výstup se zadrženým dechem z hloubky pouhého 1,2 metru

mořské vody (mmv) k hladině může vést k protržení plicních sklípků a výskytu jednoho z tří shora uvedených poranění. Pro vztah mezi objemem daného množství plynu a vnějším tlakem na něj platí Boyleův zákon. V podstatě lze říci, že irský fyzik a chemik Robert Boyle objevil, že za stálé teploty a při stejném množství plynu je objem plynu nepřímo úměrný tlaku působícímu na daný plyn. Když se tlak zdvojnásobí, objem plynu se zmenší na polovinu oproti původnímu objemu. A opačně platí, že když se tlak sníží o polovinu, objem plynu se zdvojnásobí.

Pro potápěče v hloubce 4,6 mmv činí celkový tlak působící na jeho tělo 1,5 atmosféry (t. j. součet jedné atmosféry na hladině plus další 0,5 atmosféry tlaku vodního sloupce). Náhlý výstup k hladině by tedy znamenal 30tiprocentní snížení tlaku a vzhledem k pružné stěně hrudníku nárůst objemu o 50 procent. Může tedy dojít k poranění plic. Ve skutečnosti jsou změny objemu menší, neboť okolní stěna hrudníku je do jisté míry pevná a poskytuje plicím určitou ochranu. Kdyby však ke stejné rozdílové změně výšky vodního sloupce došlo z hloubky 20 mmv, způsobil by výsledný rozdíl tlaku o 0,5 atmosféry pouze 16tiprocentní snížení tlaku a tedy 20tiprocentní navýšení objemu plic, což by znamenalo menší pravděpodobnost plicního poranění. Boyleův zákon tedy vysvětluje, proč jsou prudké změny hloubky v mělké vodě daleko nebezpečnější než stejné změny hloubky, ke kterým dojde v hluboké vodě.