

Patent foramen ovale: transcatheter closure or conservative dive profile in decompression sickness prevention in divers?

Foramen ovale patens: katetrizační uzávěr nebo konzervativní profil ponoru jako prevence dekompresní choroby potápěčů?

Novotný Š^{1,2}, Honěk J^{3,5}, Januška J⁴, Šefc L⁵, Horváth M³, Fiedler J³, Šrámek M^{5,6}, Veselka J³, Honěk T³, Tatár M²

¹Hyperbarická komora a poradna pro potápěče, Kladno, Česká republika

Novotny S, Honek J, Januska J, Sefc L, Horvath M, Fiedler J, Sramek M, Veselka J, Honek T, Tatar M. **Patent foramen ovale: transcatheter closure or conservative dive profile in decompression sickness prevention in divers?** Cardiology Lett. 2014;23(3):223–227

Abstract. *Aim:* The aim of this study was to compare the influence of transcatheter patent foramen ovale (PFO) closure and safe diving recommendations limiting bottom time and depth on the occurrence of arterial bubbles after simulated dives in a hyperbaric chamber.

Methods: Forty-seven divers with a PFO were enrolled in this observational trial. Nineteen divers with PFO performed a decompression dive to 18m for 80 min (control group), 15 divers after a transcatheter PFO closure performed the same dive (group 1) and 13 divers with PFO performed a dive to the same depth for a non-decompression time of 51 min (group 2). In all divers venous and arterial bubbles were screened, venous bubbles by means of transthoracic echocardiography, arterial by means of transcranial Doppler ultrasonography.

Results: Venous bubbles were detected in 74% divers in the control group, in 80% in group 1 ($p=1.0$) and in 31% in group 2 ($p=0.03$); arterial bubbles in 32% divers in control group, in 0% in group 1 ($p=0.02$), in 15% in group 2 ($p=0.42$).

Conclusion: Safe diving recommendations avoiding decompression procedure led to the decrease in occurrence of venous bubbles but not the elimination of arterial bubbles in divers with PFO. Transcatheter PFO closure led to elimination of arterial bubbles. The results suggest that transcatheter PFO closure might be an effective treatment in prevention of DCS: the effectivity of the up-to-date safety recommendations used needs to be further tested, especially in longitudinal clinical studies. Fig. 1, Tab. 1, Ref. 18, Online full text (Free, PDF) www.cardiology.sk

Key words: patent foramen ovale – decompression sickness – simulated dive – transcranial Doppler ultrasonography – paradoxical embolism

Novotný Š, Honěk J, Januška J, Šefc L, Horváth M, Fiedler J, Šrámek M, Veselka J, Honěk T, Tatár M. **Foramen ovale patens: katetrizační uzávěr nebo konzervativní profil ponoru jako prevence dekompresní choroby potápěčů?** Cardiology Lett. 2014;23(3):223–227

Z ¹Hyperbarické komory a poradny pro potápěče, Kladno, Česká Republika; ²Ústavu fyziologie a patologické fyziologie, Jeseniova lékařská fakulta UK, Martin, Slovenská republika; ³Kardiologické Kliniky, FN Motol a 2. LF UK, Praha, Česká republika; ⁴Nemocnice Podlesí a.s., Třinec; Česká republika; ⁵Ústavu patologické fyziologie 1. lékařské fakulty UK, Praha, Česká republika a ⁶Neurologické Kliniky, FN Motol a 2. LF UK, Praha, Česká republika

Do redakcie prišlo dňa 21. februára 2014; prijaté dňa 15. mája 2014

Adresa pre korešpondenciu: MUDr. Štěpán Novotný, Potápěčská a hyperbarická medicína KÚBECK s.r.o, Vančurova 1548, 272 59 Kladno, Česká republika, e-mail: step.novotny@seznam.cz

Abstrakt. *Cíl:* Cílem této práce bylo srovnat vliv katetrizačního uzávěru foramen ovale patens (PFO) a bezpečnostních doporučení omezujících dobu a hloubku ponoru na výskyt arteriálních dusíkových bublin po simulovaném sestupu v hyperbarické komoře.

Metodika: Tato observační průřezové studie se zúčastnilo celkem 47 potápěčů s PFO. Kontrolní skupinu tvořilo 19 potápěčů s PFO, kteří se zúčastnili dekompresního ponoru do 18 m na 80 min. Skupinu 1 představovalo 15 potápěčů, kteří v minulosti podstoupili katetrizační uzávěr PFO a provedli stejný ponor jako kontrolní skupina. Skupinu 2 tvořilo 13 potápěčů s PFO, kteří provedli ponor do stejné hloubky po maximální doporučenou bezdekompresní dobu 51 min. U všech byla do 60 min od vynoření provedena detekce venózních bublin pomocí transtorakální echokardiografie a arteriálních bublin pomocí transkraniální dopplerovské ultrasonografie.

Výsledky: Venózní bubliny byly detekovány u 74 % potápěčů v kontrolní skupině, ve skupině 1 u 80 % ($p = 1,0$), ve skupině 2 u 31 % ($p = 0,03$). Arteriální bubliny byly detekovány u 32 % potápěčů v kontrolní skupině, ve skupině 1 u 0 % ($p = 0,02$), ve skupině 2 u 15 % ($p = 0,42$).

Závěr: Bezpečnostní doporučení omezit ponor tak, aby nevyžadoval dekompresní zastávku, vedlo k snížení počtu venózních bublin u potápěčů s PFO, k eliminaci arteriálních bublin ale nedošlo. Katetrizační uzávěr PFO vedl k eliminaci arteriálních bublin. Výsledky naznačují, že katetrizační uzávěr PFO by mohl být efektivní léčbou v prevenci dekompresní choroby potápěčů, efektivitu v současnosti užívaných bezpečnostních doporučení bude nutno dále ověřit zejména v longitudinálních klinických studiích. Obr. 1, Tab. 1, Lit. 18, Online full text (Free, PDF) www.cardiology.sk

Klíčová slova: foramen ovale patens – dekompresní nemoc – simulovaný ponor – transkraniální dopplerovská sonografie – paradoxní embolizace

Přístrojové potápění je populární sport přitahující miliony zájemců po celém světě. V České republice je v současné době registrováno přes 250 potápěčských klubů a potápění provozuje aktivně 50 – 100 tis. lidí. Obecně lze potápění považovat za velmi bezpečný sport (0,0005 % úmrtí na ponor) (1). Na druhou stranu je pobyt pod vodní hladinou spojen se specifickými riziky, se kterými je veřejnost včetně zdravotníků stále málo seznámena.

Dekompresní nemoc (DCS) je způsobená vznikem dusíkových bublin v přesycených tkáních při výstupu potápěče k hladině. V průběhu ponoru dochází k sycení tkání dusíkem, který je pod vodní hladinou dýchán pod zvýšeným parciálním tlakem. Při příliš rychlém výstupu na hladinu (dekompresi) pak může dojít k překročení kritické hladiny a vzniku intravaskulárních a extravaskulárních bublin. Intravaskulární bubliny vznikají, vzhledem k tlakovým poměrům, především ve venózní krvi. Tyto bubliny následně embolizují do plic. Pro zamezení výskytu DCS probíhá vynoření potápěče podle dekompresních postupů omezujících rychlost výstupu a v případě potřeby dodržováním tzv. dekompresních zastávek v definovaných hloubkách, aby se umožnila bezpečná eliminace přebytečného dusíku z krve a tkání. Přesto i při dodržení těchto postupů v některých případech dojde k rozvoji DCS (nevypovokovaná dekompresní příhoda). Malé množství dusíkových bublin vzniká běžně ve venózní krvi i po jednom ponoru při dodržení bezpečnostních předpisů (2, 3). Většina takových příhod probíhá subklinicky, protože plicní kapilární filtr zachytí přítomné bubliny a umožní jejich postupné rozpuštění. U potápěčů s foramen ovale patens (PFO) dochází k pravo-levému (paradoxnímu) zkratu přes mezisíňovou přepážku a bubliny, které projdou do velkého

oběhu, mohou vést ke vzniku DCS (nejčastěji neurologické a kožní). K intermitentnímu pravo-levému zkratu přes PFO přitom dochází při přístrojovém potápění často. Jednak potápěč pravidelně provádí Valsalvův manévra k vyrovnání tlaku ve středním uchu, navíc dochází v průběhu ponoru k redistribuci krve z periferie do hrudníku a ke zvýšení tlaku v pravé síni (4).

Souvislost mezi PFO a DCS byla poprvé popsána v 80. letech 20. století (5, 6). Od té doby byla opakovaně zaznamenána vyšší prevalence PFO u potápěčů s neurologickou a kožní formou DCS (7, 8). Knauth et al. (9) popsali také chronické následky opakovaných asymptomatických embolizací do CNS v podobě mnohočetných lézí na magnetické rezonanci mozku. Přesto není dosud vyřešena otázka screeningu a dalšího postupu u potápěčů s PFO. Výskyt PFO v populaci je přitom vysoký (27 %) (10).

V naší předchozí práci jsme prokázali vysoký výskyt venózních i arteriálních bublin po simulovaných dekompresních ponorech potápěčů s PFO (11). Cílem této práce bylo porovnat výskyt arteriálních bublin po dekompresním ponoru potápěčů s PFO, po katetrizačním uzávěru PFO a po bezdekompresním ponoru dle současných bezpečnostních doporučení pro potápěče s PFO.

Materiál a metodika

V této průřezové observační studii bylo zařazeno celkem 47 potápěčů s PFO či po jeho katetrizačním uzávěru. Potápěči absolvovali simulované ponory v hyperbarické komoře a po výstupu byly sonograficky sledovány žilní a arteriální bubliny.

Kritéria pro zařazení do studie byly: věk ≥ 19 let, diagnostikované PFO nebo stav po provedení katetrizačního uzávěru PFO v minulosti a souhlas s účastí ve studii. Kritéria pro vyloučení ze studie byly: provedení jiného ponoru < 24 hod před simulovaným sestupem a nesouhlas se zařazením do studie. Studie byla schválena Etickou komisí Fakultní nemocnice Motol a všichni potápěči podepsali informovaný souhlas s účastí ve studii.

Katetrizační uzávěry byly prováděny ve dvou centrech mezi únorem 2006 a dubnem 2013. U 5 (25 %) potápěčů byl použit okluder Amplatzer septal occluder (AGA Medical Corporation, Golden Valley, USA) u 15 (75 %) byl použit okluder Occlutech Figulla PFO Occluder N (Occlutech GmbH, Jena, SRN). Výkon byl prováděn, jak bylo dříve popsáno (12). U všech potápěčů byl uzávěr indikován na základě proběhlé nevyprovokované DCS (příznaky DCS po provedení ponoru bez porušení předepsaných dekompresních pravidel).

Kontrolní skupina byli potápěči s PFO, kteří se účastnili dekompresního simulovaného ponoru v dekompresní komoře (HAUX Life Support, Karlsbad-Ittersbach, Německo) do 18 m na 80 min podle tabulek US Navy Air Decompression Procedure 1996, s výstupovou i sestupovou rychlostí 9 m/min a s dekompresní zastávkou po dobu 7 min v 3 m. Skupina 1 byli potápěči po katetrizačním uzávěru PFO, kteří se účastnili stejného ponoru. Skupina 2 byli potápěči s PFO, kteří se účastnili ponoru do 18 m podle dekompresní tabulky Bühlmann na maximální čas nevyžadující dekompresní zastávku (51 min), se sestupovou a výstupovou rychlostí 10 m/min a bezpečnostní zastávkou 1 min v 3 m.

Sonografické vyšetření bylo provedeno u všech potápěčů do 60 min od vynoření. Venózní bubliny byly detekovány pomocí transtorakální echokardiografie. Byl použit přístroj Philips HD 10 (Philips, Amsterdam, Nizozemsko) s multifrekvenční sondou s rozsahem 2 – 3,7 MHz. Bubliny byly sledovány po dobu jedné minuty pulzním dopplerovským vyšetřením ve výtokovém traktu pravé komory v parasternálním zobrazení na krátkou osu. Arteriální bubliny

byly detekovány pomocí stejného přístrojového vybavení. Po dobu jedné minuty byl při nativním dýchání sledován pulzním dopplerovským vyšetřením výskyt bublin v arteria cerebri media. Poté byly bubliny sledovány stejným způsobem třikrát po dobu 40 sekund po provedení Valsalvova manévru. Testy byly považovány za pozitivní při výskytu ≥ 1 bublin.

Data byla testována na normalitu pomocí Kolmogorova-Smirnovova testu. Parametrická data byla statisticky zhodnocena pomocí jednosměrné analýzy rozptylu, neparametrická data pomocí Kruskalova-Wallisova testu a Mannova-Whitneyho testu. Nominální proměnné byly zhodnoceny pomocí Fischerova testu a Chí-kvadrátu. Primárním cílem byl výskyt arteriálních bublin.

Výsledky

Celkem 47 potápěčů bylo sonograficky vyšetřeno na přítomnost arteriálních a venózních bublin po simulovaném sestupu v hyperbarické komoře. Kontrolní skupina ($n = 19$) byli potápěči s PFO, kteří provedli dekompresní sestup do 18 m na 80 min. Skupina 1 ($n = 15$) byli potápěči po katetrizačním uzávěru PFO, kteří provedli identický sestup jako potápěči v kontrolní skupině. Skupina 2 ($n = 13$) byli potápěči s PFO, kteří provedli bezdekompresní ponor do 18 m na 51 min. Charakteristika skupin je uvedena v **tabulce 1**.

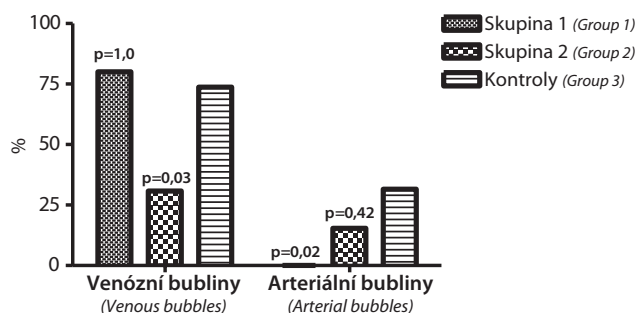
Venózní bubliny byly detekovány u 74 % potápěčů v kontrolní skupině, ve skupině 1 u 80 % potápěčů ($p = 1,0$), ve skupině 2 u 31 % potápěčů ($p = 0,03$). Arteriální bubliny u 32 % potápěčů v kontrolní skupině, ve skupině 1 u 0 % ($p = 0,02$) a ve skupině 2 u 15 % ($p = 0,42$). Výskyt arteriálních a venózních bublin je přehledně srovnán na **obrázku 1**. U dvou potápěčů ze 6 (33 %), kteří manifestovali v kontrolní skupině arteriální bubliny, byly zaznamenány příznaky DCS. Oba potápěči byli úspěšně léčeni rekompresí v hyperbarické komoře s promptní úlevou obtíží. Ve

Tabulka 1 Základní charakteristika skupin

Table 1 Baseline characteristics of study groups

	Skupina 1 (Group 1) ($n = 15$)	Skupina 2 (Group 2) ($n = 13$)	Kontroly (Controls) ($n = 19$)
Věk (roky) (Age in years)	40,6 $\pm$ 8,5*	36,5 $\pm$ 9,0	33,0 $\pm$ 7,6
Mužské pohlaví (Male sex) (%)	79	77	80
BMI (kg/m ²)	27,4, 24,7 – 30,9	25,2, 24,0 – 30,7	26,0, 22,2 – 29,7
Počet ponorů (Number of dives)	500, 100 – 1 880*	127, 40 – 364	100, 39 – 150
Počet dekompresních ponorů (Number of decompression dives)	150, 5 – 400*	3, 1 – 50	2, 0 – 15
DCS v anamnéze (DCS history) (%)	100	62	53

BMI – index tělesné hmotnosti (body mass index), DCS – dekompresní nemoc (decompression sickness). Data jsou uvedena jako průměr $\pm$ směrodatná odchylka respektive medián, interkvartilní rozsah; * $p < 0,05$ (Data are shown as mean $\pm$ standard deviation or median, interquartile range); * $p < 0,05$



Obrázek 1 Výskyt arteriálních a venózních bublin

Figure 1 Occurrence of arterial and venous bubbles

Srovnání výskytu venózních a arteriálních bublin u skupiny 1 (potápěči po katetrizačním uzávěru foramen ovale patens, dekompresní sestup), skupiny 2 (potápěči s foramen ovale patens, bezdekompresní sestup) a kontrol (potápěči s foramen ovale patens, dekompresní sestup). (Comparison of venous and arterial bubbles occurrence in group 1 (divers after transcatheter patent foramen ovale (PFO) closure, decompression dive), group 2 (divers with a PFO, non-decompression dive) and controls (divers with a PFO, decompression dive)).

skupině 1 ani skupině 2 nebyly zaznamenány projevy DCS u žádného potápěče.

Diskuse

PFO je u potápěčů spojeno se zvýšeným rizikem vzniku DCS zejména s kožní a neurologickou symptomatologií a to i tzv. nevyprovokovaných příhod, kdy potápěč neporuší doporučený dekompresní režim (7, 8). Diskutovány jsou i možné trvalé následky opakovaných asymptomatických arteriálních embolizací do mozku (9). Prevalence PFO v populaci je přitom velmi vysoká, kolem 27 % (10). Tato situace právem vzbuzuje obavy potápěčské veřejnosti a často i lékařů, kteří jsou stále s problematikou DCS málo seznámeni. Ve většině zemí včetně České Republiky zatím neexistují doporučené postupy, které by tuto problematiku řešily. Spolehlivou prevencí opakovaných DCS je ukončení potápěčské činnosti, ale toto řešení je z našich zkušeností pro většinu potápěčské veřejnosti nepřijatelné. Někteří autoři navrhuji v této indikaci katetrizační uzávěr PFO a zejména u profesionálních potápěčů, kde by jinak hrozila ztráta zaměstnání, je již tento výkon individuálně prováděn (13, 14). Jinou možností je doporučit konzervativní přístup k potápění, tedy soubor bezpečnostních doporučení s omezením maximální hloubky a doby ponoru, který by vedl k snížené tvorbě a paradoxní embolizaci bublin (15). Problémem takových doporučení je nedostatek důkazů, které by podporovaly dlouhodobý efekt jak katetrizačního uzávěru, tak konzervativního přístupu k potápění.

V naší studii jsme na malé skupině potápěčů po simulovaném sestupu v barokomoře přímo srovnali výskyt venózních a arteriálních bublin. Jako model dekompresního sestupu byl u kontrolní skupiny využit sestup do 18 m na 80

min (s dekompresní zastávkou po dobu 7 min v 3 m), který v naší práci generoval venózní bubliny u 74 % potápěčů a u 32 % potápěčů byly detekovány i bubliny arteriální. To je ve shodě s dříve popsáním faktem, že ke vzniku bublin dochází již po jednom ponoru i při dodržení dekompresního režimu (2, 3). V kontrolní skupině došlo u jedné třetiny potápěčů s arteriálními bublinami k rozvoji příznaků DCS. U potápěčů po katetrizačním uzávěru byl podle očekávání nalezen stejný počet venózních bublin, nicméně došlo k eliminaci bublin arteriálních a žádný potápěč neměl příznaky DCS. Zkrácením doby ponoru na bezdekompresní čas, doporučený Buehlmanovými tabulkami určenými pro rekreační potápěče, došlo k významnému snížení počtu venózních bublin, ale k úplné eliminaci arteriálních bublin u potápěčů s PFO nedošlo.

Tvorba bublin je individuální a závisí na řadě faktorů jako je věk, index tělesné hmotnosti, pohlaví, či hydratace před ponorem (16, 17). Množství rozpuštěného dusíku závisí zejména na době expozice a hodnotě parciálního tlaku dusíku. Ke vzniku bublin pak dojde při hypersaturaci tkání při příliš rychlém výstupu na hladinu (18). Tvorba bublin tedy závisí také na výstupové rychlosti (17). Pomalejší výstup na hladinu by mohl u potápěče s PFO vést k další redukci výskytu arteriálních bublin.

Z výsledků usuzujeme, že katetrizační uzávěr vedl k eliminaci arteriálních bublin po simulovaném sestupu v barokomoře a mohl by tak být efektivní léčbou rekurentní nevyprovokované DCS u potápěčů s PFO. Aplikace současných bezpečnostních doporučení pro potápěče s PFO vedla k nižšímu výskytu venózních bublin, ale nezabránila jejich paradoxní embolizaci do systémového oběhu a je tedy potřeba k takovým doporučením přistupovat obezřetně zejména s ohledem na klinické obtíže potápěče. Otázkou zůstávají dlouhodobé následky asymptomatických paradoxních embolizací. Odpověď na dlouhodobou efektivitu obou postupů by měly přinést výsledky longitudinálních studií s klinickým sledováním potápěčů s PFO.

Závěr

PFO může ohrožovat potápěče vznikem takzvané nevyprovokované dekompresní příhody s výskytem akutních symptomů i při dodržení dekompresních pravidel. Bezpečnostní doporučení pro potápěče s PFO by měly omezovat zejména maximální hloubku a dobu ponoru a nejspíše i doporučit delší bezpečnostní zastávky, pomalejší výstupovou rychlost a dostatečnou hydrataci před ponorem. Jejich efektivitu je nutno ověřit v longitudinálních klinických studiích. Katetrizační uzávěr PFO se zdá být možnou vysoce efektivní alternativou. Přístup k potápění s PFO by měl být individuální, základem prevence DCS nadále zůstává zejména důkladná edukace potápěče. Simulovaným sestupem lze ověřit individuální riziko vzniku bublin.

Literatura

1. Vann RD, Lang M. Recreational diving fatalities. *Undersea Hyperb Med* 2011;38:257-260.
2. Dunford RG, Vann RD, Gerth WA, et al. The incidence of venous gas emboli in recreational diving. *Undersea Hyperb Med* 2002;29:247-259.
3. Ljubkovic M, Dujic Z, Møllerløkken A, et al. Venous and arterial bubbles at rest after no-decompression air dives. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:990-995.
4. Marabotti C, Scalzini A, Menicucci D, Passera M, Bedini R, L'abbate A. Cardiovascular changes during SCUBA diving: an underwater Doppler echocardiographic study. *Acta Physiol (Oxf)* 2013 May 2 [Epub ahead of print], doi: 10.1111/apha.12112.
5. Wilmhurst PT, Ellis PT, Jenkins BS. Paradoxical gas embolism in a scuba diver with an atrial septal defect. *British Med J* 1986;293:1277.
6. Moon RE, Camporesi EM, Kisslo JA. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet* 1989;333:513-514.
7. Torti SR, Billinger M, Schwerzmann M, et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale. *Eur Heart J* 2004;25:1014-1020.
8. Wilmhurst PT, Pearson MJ, Walsh KP, Morrison WL, Bryson P. Relationship between right-to-left shunts and cutaneous decompression illness. *Clinical Science* 2001;100:539-542.
9. Knauth M, Ries S, Pohimann S, et al. Cohort study of multiple brain lesions in sport divers: role of a patent foramen ovale. *British Med J* 1997;314:701-705.
10. Hagen PT, Scholz DG, Edwards WD. Incidence and size of patent foramen ovale during the first 10 decades of life: an autopsy study of 965 normal hearts. *Mayo Clin Proc* 1984;59:17-20.
11. Honěk J, Januška J, Novotný Š, et al. Detekce dusíkových bublin po simulovaném ponoru potápěčů s foramen ovale patens. Kdy doporučit katetrizační uzávěr? *Interv Akut Kardiolog* 2012;11:108-111.
12. Meier B. Closure of patent foramen ovale: Technique, pitfalls, complications and follow up. *Heart* 2005;91:444-448.
13. Billinger M, Zbinden R, Mordasini R, et al. Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up. *Heart* 2011;97:1932-1937.
14. Honěk J, Šrámek M, Šefc L et al. Effect of catheter-based patent foramen ovale closure on the occurrence of arterial bubbles in scuba divers. *J Am Coll Cardiol Interv* 2014 Mar 13. [Epub ahead of print], doi: 10.1016/j.jcin.2013.12.199.
15. Klingmann C, Rathmann N, Hausmann D, Bruckner T, Kern R. Lower risk of decompression sickness after recommendation of conservative decompression practices in divers with and without vascular right-to-left shunt. *Diving Hyperb Med* 2012;42:146-150.
16. Gempp E, Blatteau JE, Pontier JM, et al. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. *Br J Sports Med* 2009;43:224-228.
17. Carturan D, Boussuges A, Vanuxem P, et al. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving. *J Appl Physiol* 2002;93:1349-1356.
18. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression Illness. *Lancet*. 2010;377:153-164.