

Detekce dusíkových bublin po simulovaném ponoru potápěčů s foramen ovale patens. Kdy doporučit katetrizační uzávěr?

Jakub Honěk¹, Jaroslav Januška³, Štěpán Novotný⁵, Luděk Šefc⁴, Jiří Fiedler¹, Martin Šrámek², Karolína Hoňková-Radilová⁶, Marie Parobková⁷, Josef Veselka¹, Tomáš Honěk¹

¹Kardiologická klinika, FN Motol a 2. LF UK, Praha

²Neurologická klinika, FN Motol a 2. LF UK, Praha

³Nemocnice Podlesí a.s., Třinec

⁴Ústav patologické fyziologie 1. LF UK, Praha

⁵Hyperbarická komora a poradna pro potápěče, Kladno

⁶MUDr. Karolína Hoňková-Radilová ambulance foniatrie a ORL, Praha

⁷Ústav Speciálních služeb MVČR, Praha

Cíl: Cílem práce bylo v simulovaném sestupu ověřit riziko paradoxní embolizace bublin u potápěčů s foramen ovale patens (PFO) a porovnat bezpečnost běžně užívaných dekompresních postupů.

Metodika: Tato studie navazuje na naši předchozí práci, kdy jsme provedli screening PFO celkem u 353 českých potápěčů pomocí transkraniální dopplerovské sonografie (TCD). U 31 potápěče s prokázaným PFO byl po simulovaných ponorech v barokomoře sledován výskyt venózních bublin pomocí transtorakální echokardiografie (TTE) a výskyt arteriálních bublin pomocí TTE i TCD. Počet bublin byl hodnocen jako malý (< 20) nebo velký (≥ 20). Byly porovnány tři rozdílné dekompresní postupy – Bühlmann 18 m, US Navy 18 m a US Navy 50 m.

Výsledky: Po ponoru Bühlmann 18 m byly detekovány venózní bubliny u 3 z 14 (21 %) potápěčů, arteriální bubliny nebyly prokázány (0 %). Po ponoru US Navy 18 m venózní bubliny detekovány u 6 z 9 (67 %), arteriální u 2 (22 %). Po ponoru US Navy 50 m detekovány venózní bubliny u 7 z 8 (88 %), arteriální u 6 (75 %). Při užití dekompresního postupu dle Bühlmannova vznikl signifikantně menší počet venózních bublin proti postupu dle US Navy (21 % vs. 76 %, $P < 0,01$).

Závěr: Na malém souboru potápěčů s PFO jsme ověřili známý fakt vzniku a paradoxní embolizace bublin po simulovaných ponorech. Signifikantně menší počet bublin vznikl při ponorech dle Bühlmannova, v ČR doporučovaných pro rekreační potápěče. Výsledky naznačují vyšší riziko paradoxní embolizace bublin při hlubších ponorech s relativně kratší dekompresí. Screening PFO lze doporučit všem potápěčům, volba dalšího postupu a indikace ke katetrizačnímu uzávěru je individuální, simulovaným ponorem lze ověřit individuální riziko.

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

Nitrogen bubble detection after simulated dives in divers with patent foramen ovale. Is catheter closure indicated?

Purpose: The aim of the study was to test the risk of paradoxical embolism of nitrogen bubbles after simulated dives in divers with patent foramen ovale (PFO), and to compare the safety of commonly used decompression regimens.

Methods: This study adds on our previous studies, where we performed screening for PFO in 353 Czech scuba divers using transcranial doppler sonography (TCD). In 31 divers previously diagnosed with PFO we detected venous bubbles using transthoracic echocardiography (TTE) and arterial bubbles using TTE and TCD after surfacing from simulated dives in recompression chambers. The amount of bubbles was rated as small (<20) or large (≥ 20). Three different decompression procedures were compared – Bühlmann 18 m, US Navy 18 m and US Navy 50 m.

Results: In the Bühlmann 18m regimen venous bubbles were detected in 3/14 (21 %) divers, no arterial bubbles (0 %) detected. In US Navy 18 m regimen venous bubbles detected in 6/9 (67 %), arterial in 2 (22 %). In US Navy 50 m regimen venous bubbles detected in 7/8 (88 %), arterial in 6 (75 %). Significantly lower number of venous bubbles was detected after Bühlmann regimen dives compared with US Navy (21 % vs. 76 %, $P < 0.01$).

Conclusion: The well documented fact of bubble formation and paradoxical embolization in divers with PFO after simulated dives was tested on a small study group. Significantly lower number of venous bubbles was detected when using Bühlmann regimen (recommended for recreational diving in the Czech Republic). The results indicate higher risk of paradoxical embolization of bubbles in deeper dives with relatively shorter decompression procedure. PFO screening should be recommended to all divers, further approach and indication to catheter closure is individual, simulated dives can test individual risk.

Key words: Patent foramen ovale, decompression sickness, simulated dive, transcranial doppler sonography, paradoxical embolism.

Interv Akut Kardiolog 2012; 11(3–4): 108–111

Úvod

Přístrojové potápění je celosvětově stále populárnější sport. V České republice je v současné době registrováno přes 250 potápěčských klubů a počet zájemců o potápění stále roste. Pobyt pod vodní hladinou je spojen se specifickými riziky, se kterými je veřejnost včetně zdravotníků doposud málo seznámena. Relativně častým následkem potápění je dekompresní nemoc (DCS) způsobená vznikem dusíkových bublin v těle potápěče. Bubliny vznikají při výstupu na hladinu, kdy může u potápěče s dýchacím přístrojem dojít k přesycení tkání dusíkem. Ke vzniku bublin dochází vzhledem k tlakovým poměrům především ve venózní krvi. Tyto bubliny následně embolizují do plic. Většina takových příhod probíhá subklinicky, pouze při masivní embolizaci dojde k projevům plicní formy DCS. U potápěčů s foramen ovale patens (PFO) dochází při provádění Valsalvova manévru (potápěč jej provádí během ponoru pravidelně k vyrovnání tlaku ve středouši) k pravo-levému zkratu přes mezisíňovou přepážku. Může tedy dojít k paradoxní embolizaci bublin do systémového oběhu. PFO jako rizikový faktor DCS u potápěčů s dýchacím přístrojem poprvé popsali Moon, et al. v roce 1989 (1). Dříve se spojovala paradoxní embolizace malého množství bublin přes PFO zejména s rozvojem neurologické formy DCS, novější práce však popisují i častější výskyt například kožních projevů (2). Dosud není spolehlivě vyřešena otázka screeningu a dalšího postupu u potápěčů s PFO. Výskyt PFO v populaci je přitom velmi vysoký, postihuje přibližně každého čtvrtého jedince (3). V naší předchozí práci jsme prokázali dobrou efektivitu screeningu PFO pomocí TCD (4, 5). V této práci se zaměřujeme na detekci dusíkových bublin po simulovaných ponorech potápěčů s prokázaným PFO. Naším cílem bylo v observační studii ověřit riziko paradoxní embolizace bublin a porovnat bezpečnost běžně užívaných dekompresních postupů pro potápěče s PFO.

Metodika

Tato studie navazuje na naší předchozí práci, kdy jsme provedli screening PFO celkem u 353 českých potápěčů pomocí transkraniální dopplerovské sonografie (TCD) (6). Sledování bylo umožněno zařazením vyšetření PFO do vstupní prohlídky potápěčů profesionálů v Ústavu speciálních služeb Ministerstva vnitra ČR. Tato pilotní studie prokázala dobrou senzitivitu TCD (100%), prevalence PFO byla 25 % (4, 6). U 31 potápěčů s prokázaným PFO jsme sledovali žilní i arteriální bubliny po simulovaných ponorech v barokomoře. Všichni potápěči podepsali informovaný souhlas s účastí ve studii a u všech bylo

Tabulka 1. Charakteristika jednotlivých skupin potápěčů. Počet jedinců ve skupině (N), zastoupení mužů a žen, průměrný věk, průměrný počet absolvovaných ponorů a průměrný body mass index (BMI)

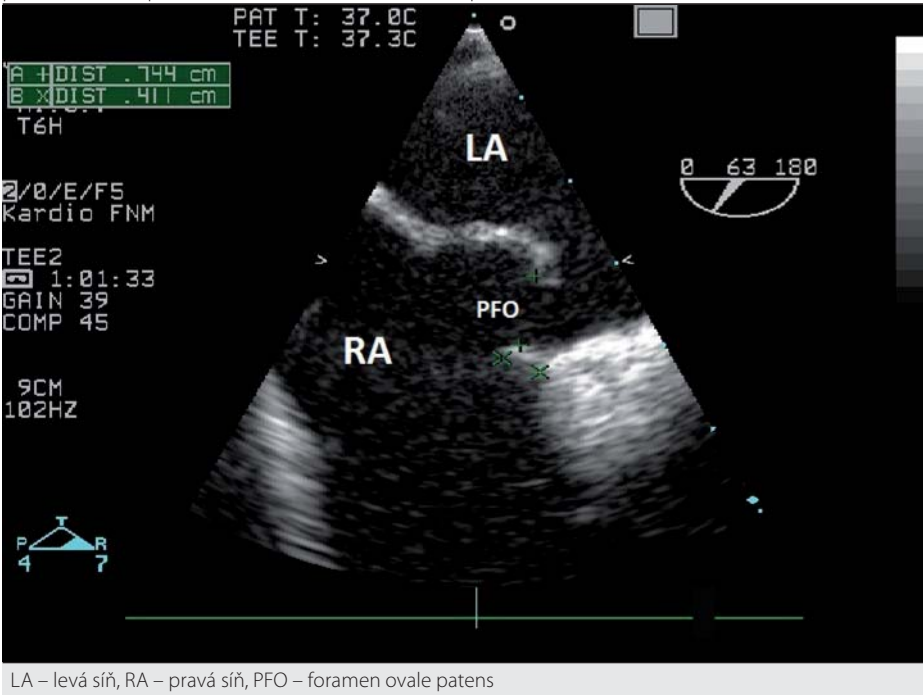
skupina	ponor	N	muži	ženy	věk (roků)	počet absolvovaných ponorů	BMI (kg/m²)
1	Bühlmann 18 m	14	12	2	40,1 +/- 7,6	356 +/- 181	26,5 +/- 3,3
2	US Navy 18 m	9	9	0	33,1 +/- 5,7	317 +/- 404	25,8 +/- 2,8
3	US Navy 50 m	8	8	0	33,5 +/- 5,9	404 +/- 548	25,4 +/- 2,6

provedeno tympanometrické vyšetření k ověření průchodnosti Eustachovy trubice. Ponory nebyly prováděny za účelem výzkumu a byly provozovány dle běžných dekompresních režimů. Studie spočívala v následné observaci potápěčů a vyšetření pomocí TCD a TTE. Byl ověřen vznik bublin po simulovaných ponorech za užití tří různých dekompresních postupů. Jednotlivé ponory byly prováděny nezávisle na sobě v různé dny, potápěči neprováděli žádný ponor 24 hodin před simulací. V první skupině byly použity v ČR běžně užívané Bühlmannovy tabulky (7). Byl zvolen ponor do 18 m na dobu 80 minut s dekompresní zastávkou ve třech metrech po dobu 24 minut, sestupová a výstupová rychlost 10 m/min. Ve druhé a třetí skupině byly použity dekompresní postupy podle US Navy air decompression procedure 1996 (8). Ve druhé skupině byl zvolen ponor do 18 m sestupovou rychlostí 10 m/min., čas na dně 80 min., výstup rychlostí 10 m/min. do třech m, kde byla dekompresní zastávka 7 min., stejnou výstupovou rychlostí dekomprese na atmosférický tlak. Ve třetí skupině byl zvolen ponor dle stejné tabulky (US Navy 1996) – sestup do 50 m, sestupová a výstupová rychlost stejná,

čas na dně 20 min. a dekompresní zastávka v 6 m na 4 min. a ve třech m na 15 min.

Po vynoření byl u všech potápěčů hodnocen klinický stav (cílený dotaz na obtíže, orientační neurologické vyšetření). Do 30 min. po vynoření bylo u všech provedeno TTE a TCD. Použity byly ultrazukové přístroje Philips HD10 a GE Vivid i s multipásmovou kardiologickou sondou o frekvenci 3 MHz s továrně nastaveným programem pro vyšetření srdce dospělého pacienta a pro TCD. Jednu minutu byl sledován výskyt bublin v pravostranných oddílech v 2D zobrazení z apikální čtyřdutinové projekce. Byl počítán absolutní počet bublin do 20, dále jen jako velký počet (≥ 20). Poté byl jednu minutu sledován výskyt bublin ve výtokovém traktu pravé komory (RVOT) pomocí pulzní dopplerovské ultrasonografie (PW), zobrazeno 2D v krátké ose. Počet bublin z obou měření byl sečten a uvádíme jej jako bubliny ve venózní krvi. Poté byl stejnou sondou sledován pulzní dopplerovskou ultrasonografií výskyt bublin v arteria cerebri media, přístroj nastaven v režimu TCD. Počet bublin kvantifikován v absolutním počtu do 20, dále jako velký počet (≥ 20). Charakteristiku jednotlivých skupin potápěčů uvádíme v tabulce 1 (tabulka 1).

Obrázek 1. Transezofageální echokardiografie. Pohled na mezisíňovou přepážku s foramen ovale patens v krátké příčné ose. Změřena šířka otevření po uvolnění Valsalvova manévru



LA – levá síň, RA – pravá síň, PFO – foramen ovale patens

Tabulka 2. Tabulka výsledků – srovnání ponorů Bühlmann 18 m, US Navy 18 m a US Navy 50 m. Počet jedinců ve skupině (N), počet potápěčů bez záchytu venózních bublin (venózní bubliny 0), se záchytem do 20 venózních bublin (venózní bubliny < 20), 20 a více venózních bublin (venózní bubliny ≥ 20), se záchytem jedné a více arteriálních bublin (bubliny na TCD ≥ 1)

simulovaný ponor	N	venózní bubliny				bubliny na TCD
		0	< 20	≥ 20	≥ 1	
18m/80min., 3m/24min. - Bühlmann	14	11	3	0	0	
18m/80min., 3m/7min. - US Navy	9	3	5	1	2	
50m/20min., 6m/4min., 3m/15min. - US Navy	8	1	0	7	6	

Tabulka 3. Srovnání dekompresních postupů Bühlmann 1983 a US Navy Air Decompression Procedure 1996. Počet jedinců ve skupině (N), počet potápěčů bez záchytu venózních bublin (venózní bubliny 0), se záchytem jedné a více venózních bublin (venózní bubliny ≥ 1), se záchytem jedné a více arteriálních bublin (bubliny na TCD ≥ 1)

dekompresní postup	N	venózní bubliny		bubliny na TCD
		0	≥ 1	
Bühlmann	14	11 (79%)	3 (21%)	0 (0%)
US Navy	17	4 (24%)	13 (76%)	10 (59%)

Výsledky

V první skupině byl použit dekompresní postup dle Bühlmanna, sestup do 18 m. Ve třech případech z 14 (21 %) byly detekovány bubliny v pravostranných oddílech (po 1 bublině v plicnici za 1 minutu). TCD neprokázala paradoxní embolizaci bublin u žádného potápěče (0 %).

V druhé skupině v simulaci US NAVY 18 m byl prokázán vznik bublin u 6 z 9 (67 %) potápěčů. U jednotlivých potápěčů bylo naměřeno 1, 2, 3, 4, 8 a více jak 20 venózních bublin. U dvou (22 %) potápěčů byla prokázána paradoxní embolizace do mozkových tepen pomocí TCD (5 a 8 bublin). Oba potápěči měli po sestupu DCS – první celkovou únavu a bolest ramene, druhý silnou bolest hlavy.

Ve třetí skupině po simulovaném ponoru dle US NAVY do 50 m bylo u 7 z 8 (88 %) potápěčů naměřeno velké množství venózních bublin. U šesti (75 %) potápěčů byla pomocí TCD prokázána paradoxní embolizace (3, 5, 8, 9, 14 a > 20

bublin). Jeden potápěč s velkým PFO a zkratem při nativním dýchání bez Valsalvova manévru měl DCS – silnou bolest hlavy.

Ponory s dekompresním postupem dle Bühlmanna s relativně delší dekompresí vykazovaly signifikantně menší riziko vzniku dusíkových bublin v žilním systému ve srovnání s ponory v režimu US NAVY (21 % vs. 76 %, P-Value 0,0038). Vyšší výskyt bublin v levostranných oddílech korespondoval s výskytem bublin v pravostranných oddílech a současně s vyšším výskytem DCS u potápěčů. Vzhledem k malému počtu výskytu DCS a bublin v levostranných oddílech jsme však tyto jevy nemohli statisticky zpracovat (tabulka 2, 3).

Diskuze

PFO může u potápěče při dekompresi způsobit paradoxní embolizaci dusíkových bublin a vznik DCS – nejčastěji s neurologickou symptomatologií (9). Možnost katetrizačního uzávěru PFO otevřela otázku, zda provádět screening u anomálie tak časté – podle literatury 20–30 % (10). Na rozdíl od kryptogenní mozkové příhody je kauzalita neurologické DCS vždy zřejmá – v naší předchozí práci bylo prokázáno PFO u všech potápěčů s neurologickou formou DCS, katetrizační uzávěr vedl k eliminaci obtíží (11). Naše úsilí bylo směřováno k nalezení jednoduché screeningové metody na průkaz PFO a určení velikosti zkratu (5). V této práci jsme se zaměřili na ověření bezpečnosti běžně užívaných dekompresních postupů u potápěčů s diagnostikovaným PFO. Práce ukazuje na rizikovost dekompresního potápění (sestup do velkých hloubek s následnou stupňovitou dekompresí podle tabulek) u potápěčů s PFO a naopak naznačuje relativní bezpečnost při dodržování bezdekompresních limitů doporučených pro rekreační potápěče (sestup do

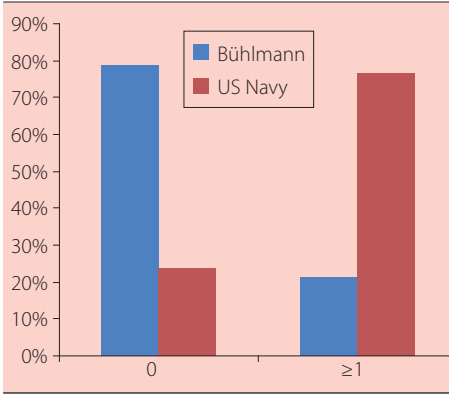
menší hloubky na maximální povolenou dobu bez nutnosti následného provádění stupňovité dekomprese) (graf 1). Tento fakt otvírá otázku dalšího postupu u potápěčů s nově diagnostikovaným PFO. Nabízí se tři možnosti: katetrizační uzávěr PFO, zákaz potápění, potápění s dodržováním speciálních bezpečnostních doporučení. Existují navrhovaná bezpečnostní doporučení mezinárodní organizace Divers Alert Network (DAN), která omezují maximální hloubku ponoru na 18 m, počet ponorů na jeden za 24 hodin a zakazují překračovat bezdekompresní limity (např. pro hloubku 18 m je maximální povolená délka pobytu pod hladinou 50 min.). V této studii jsme ukázali, že tvorba bublin a výskyt DCS se liší podle zvoleného dekompresního režimu (hloubka, čas na dně, rychlost výstupu, čas a hloubka dekompresních zastávek). Při dodržení postupu Bühlmann 18 m nedocházelo k incidenci DCS, na rozdíl od méně konzervativních režimů dle US Navy (12).

Individuálně může tvorba bublin záviset na dalších faktorech, avšak podle našich zkušeností byl rozdíl jen u mělkého ponoru, u hlubšího již bylo u 7 z 8 potápěčů detekováno velké množství bublin (13, 14, 15). Ponor dle US NAVY do 18 m vedl u většiny potápěčů ke tvorbě bublin, tak jak uvádí literatura (12). Při ponoru do 50 m mělo bezprostředně po vynoření v žilní krvi 7 z 8 (88 %) potápěčů takové množství bublin, že to u 6 z 8 (75 %) potápěčů umožnilo paradoxní embolizaci a v jednom případě vyvolalo DCS.

Ověřili jsme tedy, že při tzv. dekompresním potápění dochází u potápěčů s PFO ke vzniku velkého množství venózních bublin a následně k jejich paradoxní embolizaci a rozvoji DCS. Ke vzniku menšího počtu venózních bublin však dochází i při sestupech podle tabulek Bühlmann 1983 určených pro rekreační potápěče. Některé studie naznačují možnou souvislost těchto subklinických událostí s akumulací ischemických ložisek v mozku (16).

Z výše uvedeného vyplývá, že screeningové vyšetření PFO pomocí TCD a TTE lze doporučit jak u profesionálních, tak aktivních sportovních potápěčů (17). Domníváme se, že katetrizační uzávěr PFO je vhodný zejména u symptomatických profesionálních potápěčů, kdy ve většině případů nelze navrhovaným bezpečnostním doporučením vyhovět. U rekreačních potápěčů lze doporučit konzervativnější přístup k potápění (navrhovaná bezpečnostní doporučení DAN). V našem souboru jsme uzávěr indikovali v případech, že se jednalo o větší defekt u profesionálů (ASD), nebo u opakovaných DCS a nálezů embolizačních ložisek na MRI mozku. Symptomatologii lze ověřit

Graf 1. Srovnání dekompresních postupů Bühlmann 1983 (modře) a US Navy Air Decompression Procedure 1996 (červeně). Vlevo procentuální počet potápěčů bez záchytu venózních bublin po vynoření. Vpravo procentuální počet potápěčů se záchytem jedné a více venózních bublin po vynoření



simulovaným sestupem. Vyloučíme-li zkratovou vadu charakteru malého defektu septa síní a zjistíme-li, že se jednalo o hrubou dekompresní chybu – potápěče jen poučíme a katetrizační uzávěr neindikujeme. Tato observační studie si neklade za cíl srovnávat individuální rozdíly v tvorbě bublin, tak jak jsou známy z literatury, (13, 14, 15) nebo stanovit indikační kritéria k uzávěru PFO.

Závěr

Na malém souboru potápěčů s PFO jsme ověřili známý fakt vzniku a paradoxní embolizace bublin po simulovaných ponorech. Signifikantně menší počet bublin vznikl při ponorech dle Bühlmannových tabulek v České Republice doporučených pro rekreační potápěče. Výsledky naznačují vyšší riziko paradoxní embolizace dusíkových bublin při hlubších ponorech s relativně kratší dekompresí. Screening PFO lze doporučit všem aktivním potápěčům, volba dalšího postupu a indikace ke katetrizačnímu uzávěru je individuální, simulovaným ponorem lze ověřit individuální riziko.

*Projekt podpořen nadačním příspěvkem
NADACE ČEZ.*

Literatura

1. Moon R, Camporesi E, Kisslo J. Patent foramen ovale and decompression sickness in divers. *Lancet* 1989; 333: 513–514.
2. Wilmshurst PT, Pearson MJ, Walsh KP, et al. Relationship between right-to-left shunts and cutaneous decompression illness. *Clinical Science* 2001; 100: 539–542.
3. 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.
4. Honěk T, Veselka J, Tomek A, et al. Paradoxní embolizace při foramen ovale patens u potápěčů: možnosti screeningu. *Vnitř Lék* 2007; 53(2): 143–146.
5. Honěk T, Veselka J, Tomek A, et al. Foramen ovale patens jako příčina paradoxní embolizace u sportovních potápěčů. *Cor Vasa* 2006; 48: 286–288.
6. Honěk J, Honěk T, Januška J, et al. Sklerotizace varixů pěnovou metodou: jak velké je nebezpečí paradoxní embolizace při otevřeném foramen ovale? *Rozhl chir* 2012: v tisku.
7. Bühlman AA. *Decompression-Decompression Sickness*. Berlin New York: Springer-Verlag, 1983. ISBN 0387133089.
8. United States Navy. *US Navy Diving Manual: Air Diving*. Best Publishing, 1996.
9. Walsh KP, Wilmshurst PT, Morrison WL. Transcatheter closure of patent foramen ovale using the Amplatzer septal occluder to prevent recurrence of neurological decompression illness in divers. *Heart* 1999; 81: 257–261.
10. 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.
11. Januška J. Paradoxní embolizace – diagnostika a léčba patent foramen ovale. *Interv Akut Kardiol* 2008; 7: 24–29.
12. 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.
13. Dujic Z, Palada I, Obad A, et al. Exercise during a 3-min decompression stop reduces postdive venous gas bubbles. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 1319–1323.
14. 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.
15. 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.
16. 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 Journal* 1997; 314: 701–705.
17. Souteyrand G, Motreff P, Lussan JR, et al. Comparison of transthoracic echocardiography using second harmonic imaging, transcranial Doppler and transesophageal echocardiography for the detection of patent foramen ovale in stroke patients. *Eur J Echocardiography* 2006; 7: 147–154.

Článek přijat redakcí: 28. 12. 2011

Článek přijat po přepracování: 1. 2. 2012

Článek přijat k publikaci: 19. 2. 2012

MUDr. Jakub Honěk

Kardiologická klinika 2. LF UK a FN Motol
V Úvalu 84, 150 06 Praha 5
j.honek@seznam.cz
