

Kardiovaskulární systém a sportovní potápění

(Cardiovascular system and sport diving)

Radek Pudil

I. interní kardiologická klinika, Lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Hradec Králové

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 11. 4. 2020

Přepřeván: 16. 4. 2020

Přijat: 19. 4. 2020

Dostupný online: 1. 9. 2020

Klíčová slova:

Diving response

Edém plic

Freediving

Kardiovaskulární systém

Perzistentní foramen ovale

Potápění s přístrojem

Keywords:

Cardiovascular system

Diving response

Freediving

Lung edema

Persistent foramen ovale

Scuba diving

SOUHRN

Sportovní potápění patří mezi vyhledávané sportovně-rekreační aktivity, kterým se věnuje relativně početná skupina sportovců různého věku a úrovně fyzické zdatnosti. Sportovní potápění představují dvě hlavní disciplíny: potápění s přístrojem a volné potápění (freediving). Potápění je spojeno s velkými nároky na správnou funkci kardiovaskulárního systému. Cílem sdělení je připomenout základní faktory, které se podílejí na funkci kardiovaskulárního systému při potápění, podat základní informace o fyziologických procesech spojených s potápěním a připomenout některé potenciálně rizikové stavy, které mohou významně interferovat s potápěním (perzistentní foramen ovale, arteriální hypertenze, latentní srdeční selhání, arytmie, přítomnost kardiostimulátorů a kardiovaskulární medikace). Všechny tyto stavy s sebou přinášejí specifika, která se mohou projevit v souvislosti s potápěním a mohou za určitých okolností znamenat ohrožení života potápeče či jeho doprovodu. Znalost základních patofyziologických mechanismů spojených s potápěním umožňuje bezpečnější posuzování zdravotního stavu adeptů tohoto sportu.

© 2020, ČKS.

ABSTRACT

Sport diving is one of the popular sports and recreational activities, which is performed by a relatively large group of athletes of different ages and levels of physical fitness. Sport diving represents two main disciplines: scuba diving and freediving. Diving requires good function of cardiovascular system. The aim of the paper is to summarize basic factors influencing cardiovascular system during diving, to provide basic information about diving physiological processes and to inform about some danger conditions that potentially interfere with diving (persistent foramen ovale, arterial hypertension, latent heart failure, arrhythmias, cardiac pacemakers, and cardiovascular medication). All these conditions can potentially endanger the life of the diver or his buddy. Knowledge of the basic pathophysiological mechanisms associated with diving allows a safer assessment of the fitness to dive.

Adresa pro korespondenci: Prof. MUDr. Radek Pudil, Ph.D., I. interní kardiologická klinika, Lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Hradec Králové, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové, e-mail: pudilr@lfhk.cuni.cz, radek.pudil@fnhk.cz

DOI: 10.33678/cor.2020.027

Úvod

Potápění patří mezi činnosti, které provázejí lidstvo několik tisíciletí. V posledních desetiletích narůstá jeho popularita a věnuje se mu řada lidí. V České republice absolvovalo výcvik pro potápění s přístrojem více než 100 000 lidí, v poslední dekádě narůstá počet lidí, kteří se věnují tzv. nádechovému potápění. Ve vyspělých zemích byl zaznamenán trend vzestupu průměrného věku sportovních potápěčů. Tato skutečnost má řadu důvodů a přináší s sebou problematiku často snížené fyzické kondice adeptů potápění a zvyšující se počet komorbidit. Proto nabývají na významu pravidelné kontroly zdravotního stavu potápěčů. Podle dosavadních předpisů je doporučeno, aby každý potápěč absolvoval jednou ročně vyšetření lékařem s cílem posoudit zdravotní způsobilost pro potápění (tzv. fitness to dive). Základní vyšetření u rekreačně sportovních potápěčů provádějí praktičtí lékaři, kteří se v případě přítomnosti onemocnění kardiovaskulárního systému obrazejí na kardiology. Z těchto důvodů je nutné, aby se kardiologové orientovali v základní problematice potápění.

Druhy potápění, výstroj

Mezi základní druhy sportovně-rekreačního potápění patří potápění s přístrojem a volné potápění (freediving). Potápění s přístrojem zahrnuje potápění v teplých i chladných vodách zpravidla do hloubek menších než 40 metrů. Potápění na nádech zahrnuje vedle tzv. rekreačního šnorchlování a lovu ryb na nádech (spearfishing), dále sportovní disciplíny bazénové (plavání v apnoi na vzdálenost s ploutvemi/bez ploutví, statickou apnoi), dále hloubkové disciplíny (dosažení maximální hloubky s ploutvemi s přitahy lana a podobně).

Potápění s přístrojem zahrnuje potápění se zásobou dýchacího média (nejčastěji vzduchu, případně směsí – nitrox aj.), které potápěč přes dýchací automatiku dýchá pod tlakem, který je roven okolnímu tlaku vody v závislosti na hloubce, ve které se potápěč nachází. Tepelnou ochranu zajišťuje tzv. mokrý oblek (zpravidla neoprenový oblek) nebo suchý oblek (upravený neopren, trilaminát, kordura), který poskytuje větší tepelný komfort, avšak omezuje volnost pohybu potápěče. Ke kontrole vztlaku jsou používány kompenzátory vztlaku (tzv. žaket, křídlo, kobliha) a zátěž. Potápěč se pod vodou pohybuje prací dolních končetin vybavených ploutvemi. Za pozornost stojí váha výstroje sportovně rekreačního potápěče s přístrojem, která je na suchu kolem 25–30 kg. Potápěč na nádech je při každém z ponorů omezen jedním nádechem. Jeho výstroj zahrnuje potápěčskou masku (zpravidla nízkooobjemovou), neoprenový oblek, zátěž (opasek či tzv. neck weight) a ploutve (dlouhé tzv. bi-fins nebo monoploutev).

Fyzikální vlivy uplatňující se při potápění

Mezi základní fyzikální faktory, které mají vliv na funkci kardiovaskulárního a respiračního systému při potápění, patří hloubka, teplota vody a v případě potápění s přístrojem změny hustoty dýchací směsi.

Hloubka je významný faktor. S hloubkou narůstá okolní tlak, který se podílí na stlačení hrudního koše a ostatních tělesných dutin vyplněných plyny. V případě přístrojového potápění je nárůst okolního tlaku vyrovnán dýchací automatikou, která dodává dýchací plyn pod stejným tlakem, jaký má okolní prostředí. Problém může nastat při rychlém vynoření bez odpovídajícího výdechu (panická reakce), kdy prudké rozepětí plic může vést k barotraumatu a ke vzniku plynové arteriální embolie (barotrauma z přetlaku). V případě potápění na nádech vede stlačení hrudníku k významným změnám uložení nitrohručních orgánů (např. v 10 m je tlak prostředí dvojnásobný, objem plic se sníží na polovinu, bránice se vyklene směrem do hrudního koše, dochází k prostorovým změnám uložení nitrohručních orgánů. Při nedostatečné flexibilitě hrudního koše může dojít při sestupu výjimečně k barotraumatu z podtlaku („lung squeeze“).

Teplota vody je významným faktorem, který se podílí nejenom na tepelných ztrátách, ale také na procesu redistribuce cirkulace, vazokonstrikce v periférii a vzestupu afterloadu. Teplota vody u nádechových potápěčů iniciuje tzv. diving response.

Hustota dýchací směsi narůstá s hloubkou, což se projevuje zvýšením dechové práce. Svoji roli má také správná funkce dýchací automatiky.

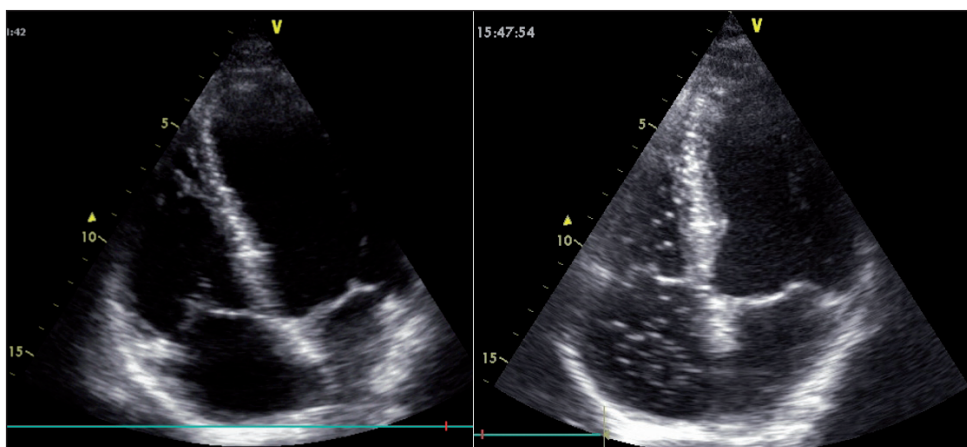
Reakce kardiovaskulárního systému na ponor

Základní reakcí kardiovaskulárního systému na fyzickou zátěž je zvýšení srdeční frekvence, zvýšení tepového objemu, redistribuce cirkulace s přednostním zásobením mozku, srdce, plic a pracujících svalů. Stav je provázen změnami afterloadu a preloadu s cílem zajistit vyšší minutový výdej.

Vodní prostředí tyto základní procesy ovlivňuje. Ochlazení těla vodou vede k zesílené periferní vazokonstrikci, zvýšení afterloadu, redistribuce oběhu je významnější. Stav je provázen zvýšenou diurézou. Zvýšení tlaku v dýchacím systému je provázeno vzestupem tlaku v arteria pulmonalis. Následkem je zvýšení nároků na správnou funkci myokardu.¹ Na tomto místě je nutné připomenout, že potápění se velmi často provozuje celoročně (zimní měsíce nevýmáje), v mnoha evropských zemích potápění ve sladké vodě představuje ponory v jezerech či lomech, kde je celoročně již ve střední hloubce relativně nízká teplota (4–10 °C).

Fyzická aktivita při potápění je velmi rozdílná, řada ponorů s přístrojem se vyznačuje velmi nízkou intenzitou fyzické zátěže. Stav se může velmi rychle změnit s nástupem krizové situace, kdy je třeba vynaložit relativně velkou námahu. Fyzickou náročnost pohybu zvyšuje velký odpor, který klade tělo potápěče s plnou výstrojí vodnímu prostředí. Podobně potápění v místech, kde jsou proudy, vyžaduje poměrně vysokou intenzitu fyzické práce.

Velmi zajímavý fenomén, který se uplatňuje především při nádechovém potápění, představuje tzv. **diving response** (někdy označován jako „diving mammalian reflex“ či „diving reflex“).² Jde o odpověď kardiovaskulárního systému na ponoření těla (především obličej) do vody, který indukuje relativně významný pokles tepové frekvence,



Obr. 1 – Cirkulující mikrobubliny po ponoru s přístrojem a dýcháním stlačeného vzduchu. Echokardiografický obraz apikální projekce potápeče před ponorem (vlevo) a bezprostředně po ponoru (vpravo). Po ponoru jsou v pravostranných oddílech detekovatelné mikrobubliny (archiv autora).

významně zesílenou redistribucí cirkulace, které jsou spojeny s poklesem minutového výdeje. Opakované ponory vedou ke kontrakci sleziny, kdy dojde k vyplavení přibližně 300 ml husté krve obsahující velký počet erytrocytů do oběhu. Tato reakce je indukována především ochlazením obličejových partií potápeče a její intenzita vzrůstá s nižší teplotou vody a dosaženou hloubkou (nezřídka dochází k poklesu tepové frekvence pod 30–40/min, relativně častý je výskyt extrasystol).

Některé preexistující patologie kardiovaskulárního systému a potápění

Perzistentní foramen ovale

Perzistentní foramen ovale (PFO) představuje vrozenou komunikaci mezi pravou a levou síní v důsledku neúplného uzávěru mezisíňového septa. Při potápění může sehrát velmi významnou roli při vzniku dekompresní příhody. Při potápění dochází v důsledku zvýšené rozpustnosti plynů v závislosti na tlaku k syčení některých tkání (především tukové). V průběhu výstupu se rozpustěný plyn uvolňuje zpět do cirkulace, kde tvoří mikrobubliny, které přenesou krevní proud do plicního řečiště. V optimálním případě (postupný výstup doplněný případně dekompresními přestávkami) jsou vydechovány plicemi. Preexistující foramen ovale umožňuje přestup těchto mikrobublin do systémového řečiště a vznik neočekávané dekompresní příhody. Přestup mikrobublin z pravé síně do levé mohou usnadnit některé manévry, které potápeči využívají například k vyrovnání tlaku ve středouší (modifikovaný Valsalvův manévr a podobně), kdy se otevírá preformovaný kanál v síňovém septu. Prevencí je plánování ponorů s cílem dosáhnout tzv. bezdekompresního profilu ponoru, velmi pomalý výstup, v případě vzniku symptomů je namísto terapie v barokomoře.³ Některá pracoviště provádějí u potápečů screening PFO s využitím transkraniálního dopplerovského vyšetření po podání kontrastní látky, zlatým standardem diagnostiky je transezofageální echokardiografie. Jednou z léčebných možností je uzávěr PFO Amplatzovým okluderem. Přítomnost PFO představuje kontraindikaci pro pracovní

potápění. Na základě současných mezinárodních doporučení u sportovně rekreačních aktivit je u adepta potápění doporučeno vysvětlení rizika spojeného s PFO a potápěním a zvážení, zda i přes tato rizika se chce adept této aktivitě věnovat. Pokud se potápeč rozhodne pokračovat v potápění, je doporučeno omezení situací, které jsou spojeny s riziky přestupu mikrobublin do systémového řečiště (nepoužívat Valsalvův manévr k vyrovnání tlaku ve středouší, omezení hloubky ponoru, velmi pomalá rychlost výstupu, nepoužívání tzv. břišního lisu, omezení opakovaných ponorů během jednoho dne aj.) (obr. 1).⁴

Arteriální hypertenze a preexistující srdeční selhání

Arteriální hypertenze a preexistující srdeční selhání (se zachovanou systolickou funkcí levé komory) mohou být příčinami otoku plic. V patofyziologii má důležitou roli periferní vazokonstrikce se zvýšením afterloadu, která je vyvolána především chladem. Tento stav vzniká velmi rychle a vyžaduje dobrý funkční stav myokardu pro zvýšení celkové srdeční práce. Řada onemocnění kardiovaskulárního systému je provázána snížením poddajnosti stěny levé komory (např. arteriální hypertenze, preexistující poruchy diastolické funkce levé komory či dosud klinicky němé postižení koronárních tepen).⁵ Tato onemocnění mohou vést v případě náhlého zvýšení afterloadu k rozvoji srdečního selhání. Tyto stavy byly dříve označovány jako edém plic plavců a potápečů, současné studie ukázaly, že tato patologie se může vyskytnout i u ostatních sportů, které se provozují v chladném prostředí (triatlon, cyklistika, běhy).

Klinicky se u postižených osob rozvíjejí známky akutního srdečního selhání (kašel, dušnost, případně otok plic), které mohou být za určitých okolností fatální.^{6–10}

Z těchto důvodů se doporučují u sportovně-rekreačních potápečů pravidelné kontroly zdravotního stavu zahrnující od určitého věku každoroční provedení zátěžového testu. V případě preexistující patologie kardiovaskulárního systému je nutné individuálně zvážit vhodnost potápění. Kompenzovaná arteriální hypertenze není kontraindikací potápění za předpokladu dobrého výsledku při zátěžovém testu.

Arytmie, přítomnost kardiostimulátorů

Vzhledem k nárokům, které představuje potápění, jsou arytmie potenciálně nebezpečné a mohou vést k ohrožení života potápeče a jeho doprovodu. Je samozřejmostí, že riziko život ohrožujících arytmí je jasnou kontraindikací pro potápění.¹ Avšak existuje řada arytmí, které nejsou považovány za příliš rizikové v běžném životě, ale při potápění představují potenciální riziko ohrožení života potápeče a jeho doprovodu. Mezi ně patří např. supraventrikulární arytmie (flutter síní, paroxysmy supraventrikulárních tachykardií, preexcitace a další), které mohou představovat náhlé snížení minutového výdeje, jež může být pro potápeče fatální.¹¹ Při posuzování je doporučeno řídit se pravidly hodnocení elektrokardiografických změn podle pravidel preparticipačního screeningu.

Přítomnost kardiostimulátoru či implantabilního defibrilátoru většinou představuje riziko vyplývající z primárního důvodu jejich implantace a je ve většině případů kontraindikací pro potápění. Ve výjimečných případech (zpravidla po individuálním zvážení kardiologem obeznámeným s problematikou potápění) se může potápění s určitými omezeními povolit.¹² Avšak je třeba mít na mysli další faktory, které mají podstatnou roli: jde o riziko mechanického poškození v důsledku vysokého tlaku ve vodním či hyperbarickém prostředí. V případě hyperbarické terapie je nutné zkontrolovat, zda daný typ kardiostimulátoru má atest pro pobyt v hyperbarickém prostředí, který je uveden na stránkách výrobce daného typu (riziko imploze těla kardiostimulátoru).¹³ Druhým významným faktorem, který vede ke kontraindikaci potápění, je riziko mechanického poškození systému z důvodu tlaku výstroje na oblast umístění kardiostimulátoru (ramenní popruhy výstroje) a častá poloha horních končetin ve vzpažení.

Ischemická choroba srdeční

Ischemická choroba srdeční a její následky (infarkt myokardu) jsou často kontraindikací pro potápění.¹¹ Podle všeobecně přijatých doporučení lze potápění povolit, pokud je v případě infarktu myokardu dosaženo plné revaskularizace, absenteje porucha systolické funkce podle echokardiografického vyšetření a je proveden zátěžový test, při kterém nedojde k indukci ischemie a vyšetřovaný je schopen tolerovat krátkodobě (alespoň 30 s) zátěž odpovídající 13 METs.¹⁴

Kardiovaskulární medicína

Kardiovaskulární medicína může sama o sobě představovat určitá rizika při potápění.¹⁵ Beta-blokátory používané v terapii arteriální hypertenze snižují srdeční frekvenci a mohou být příčinou nedostatečného zvýšení minutového výdeje potřebného v některých krizových situacích. Terapie beta-blokátory však nepředstavuje kontraindikaci pro potápění, avšak pacient by měl být poučen, aby volil nezáložné typy ponorů. Podobný názor je na použití ostatních bradykardizujících léků, avšak je třeba mít na mysli, zda původní indikace této léčby není sama o sobě kontraindikací pro potápění. Inhibitory angiotenzin konvertujícího enzymu a nebradykardizující blokátory kalciových kanálů nepředstavují většinou problém. Diuretika mohou potencovat dehydrataci a ztráty minerálů.

U pacientů léčených antikoagulačními léky představuje potápění rizikový stav. Ve většině případů sama indikace

pro antikoagulaci představuje kontraindikaci potápění. Avšak existují situace, které mohou za určitých podmínek umožnit potápění (některé trombofilní stavy, fibrilace síní a podobně). V těchto situacích je namíste individuální zvážení rizika zkušeným kardiologem.^{16,17} Antikoagulanty jsou potenciálním rizikem pro omezené možnosti zástavy krvácení po poraněních vzniklých pod vodou. Výsledky některých studií na zvířatech prokázaly trend ke zvýšení spontánních krvácení v oblasti centrálního nervového systému při ponorech do větších hloubek, dále v případě vzniku dekomprezní příhody představuje antikoagulanty zvýšení rizika intrakraniálního krvácení.

Medikace acetylsalicylovou kyselinou je provázena mírným sklonem ke krvácením, avšak nepředstavuje jasnou kontraindikaci pro potápění. Data o bezpečnosti duální antiagregace chybějí, avšak lze předpokládat, že z důvodu indikace této terapie je potápění kontraindikováno.

Závěr

Sportovně-rekreační potápění je hezkým sportem, kterému se dá věnovat do relativně vyššího věku. Bezpečné provozování této aktivity vyžaduje nejenom dobrý výcvik a udržování dostatečné úrovně fyzické kondice, ale také dobrou funkci kardiovaskulárního systému. V souvislosti se stárnutím populace dochází celosvětově také ke zvyšování věku sportovně-rekreačních potápečů, kdy se potápějí i lidé, kteří mají v anamnéze nějaké onemocnění kardiovaskulárního systému.¹⁸ Z těchto důvodů je nezbytné předejít potenciálně nebezpečným situacím a zabránit ohrožení života potápeče či jeho doprovodu. Proto je nutné vstupní vyhodnocení zdravotního stavu potápeče a pravidelné (zpravidla každoroční) prohlídky tělovýchovným či praktickým lékařem. Významným testem, který je doporučen provádět každoročně u potápečů starších 40 let či v případě preexistujícího onemocnění srdce je zátěžové EKG (ergometrie, případně spiroergometrie).

Z těchto důvodů byla připravena doporučení pro posuzování zdravotní způsobilosti sportovně-rekreačních potápečů.¹⁹

Financování

Práce byla podpořena výzkumným projektem Univerzity Karlovy: Progres Q 40/03.

Literatura

1. Edmonds C, Bennet M, Lippmann J, Mitchell S. Diving and subaquatic medicine. 5th ed. New York: CRC Press, 2016:835.
2. Foster GE, Sheel AW. The human diving response, its function, and its control. *Scand J Med Sci Sports* 2005;15:3–12.
3. Wilmhurst P. Detection of a persistent foramen ovale using echocardiography. *Diving Hyperb Med* 2016;46:47–49.
4. Anderson G, Ebersole D, Covington D, Denoble PJ. The effectiveness of risk mitigation interventions in divers with persistent (patent) foramen ovale. *Diving Hyperb Med* 2019;49:80–87.
5. Lippmann J, McD Taylor D, Stevenson C, et al. Diving with pre-existing medical conditions. *Diving Hyperb Med* 2017;47:180–190.
6. Koehle MS, Lepawsky M, McKenzie DC. Pulmonary oedema of immersion. *Sports Med* 2005;35:183–190.

7. Lindholm P, Ekborn A, Oberg D, Gennser M. Pulmonary edema and hemoptysis after breath-hold diving at residual volume. *J Appl Physiol* 2008;104:912–917.
8. Ma JL, Dutch J. Extreme sports: Extreme physiology. Exercise-induced pulmonary oedema. *Emerg Med Australas* 2013;25:368–371.
9. Moon R, Martina S, Peacher D, et al. Swimming-Induced Pulmonary Edema: Pathophysiology and Risk Reduction With Sildenafil. *Circulation* 2016;133:988–996.
10. Pons M, Blickenstorfer D, Oechslin E, et al. Pulmonary oedema in healthy persons during scuba-diving and swimming. *Eur Respir J* 1995;8:762–767.
11. Boässon MP, Rienks R, van der Ven A, van Hulst RA. Arrhythmogenicity of scuba diving: Holter monitoring in a hyperbaric environment. *Undersea Hyperb Med* 2019;46:421–427.
12. Muth CM, Tetzlaff K. Scuba diving and the heart. Cardiac aspects of sport scuba diving. *Herz* 2004;29:406–413.
13. Lafay V, Trigano JA, Gardette B, et al. Effects of hyperbaric exposures on cardiac pacemakers. *Br J Sports Med*. 2008;42:212–216.
14. Lynch JH, Bove AA. Diving medicine: a review of current evidence. *J Am Board Fam Med* 2009;22:399–407.
15. Bennet P, Cronje FJ, Campbell ES. Assessment of diving fitness for scuba divers and instructors. Flagstaff, Canada: BPC Printing, 2006:241.
16. Harrison D, Lloyd-Smith R, Khazei A, et al. Controversies in the medical clearance of recreational scuba divers: updates on asthma, diabetes mellitus, coronary artery disease, and patent foramen ovale. *Curr Sports Med Rep* 2005;4:275–281.
17. Lippmann J, McTaylor D, Stevenson C, et al. Diving with pre-existing medical conditions. *Diving Hyperb Med* 2017;47:180–190.
18. Lippmann J, Taylor DM, Stevenson C, Williams JW. Challenges in profiling Australian scuba divers through surveys. *Diving Hyperb Med* 2018;48:23–30.
19. Pudil R, Macura P, Hájek M, Slabý K. Doporučení pro posuzování zdravotního stavu sportovních potápěčů. *Med Sport Bohem Slov* 2014;23:47–54.