

Peter Radšel¹

Potapljanje

Diving

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: nevarnosti potapljanja, kesonska bolezen, dekompresijska bolezen, barotrauma

Potapljanje je priljubljen šport, ki je kljub številnim tehnološkim napredkom za izboljšanje varnosti ob nepoznavanju okolja, fizikalnih in fizioloških procesov ter posledičnih omejitev lahko nevaren. Za svetovanje in ustrezno zdravljenje je treba razumeti fiziologijo potapljanja. Prepoznati moramo morebitne zdravstvene zaplete, ki se lahko pojavijo pri potapljanju, in jih ustrezno zdraviti. Najpogostejši zapleti, povezani s potapljanjem, so barotrauma ušesa in pljuč, dekompresijska bolezen in poškodbe, ki nastanejo zaradi podvodnega okolja.

ABSTRACT

KEY WORDS: diving hazards, caisson disease, decompression sickness, barotrauma

Diving is a popular sport that, despite many technological advances to improve safety, can be dangerous when one is unfamiliar with the environment, the physical and physiological processes, and the resulting limitations. Physicians need to understand the physiology of diving and advise people with chronic diseases. They should also recognize and properly treat any medical complications that may arise from diving. The most common complications associated with diving are ear and lung barotrauma, decompression sickness, and injuries resulting from the underwater environment.

¹ Doc. dr. Peter Radšel, dr. med., Klinični oddelek za intenzivno interno medicino, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; Katedra za interno medicino, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Zaloška cesta 7, 1000 Ljubljana; peter.radsel@kclj.si

UVOD

»Ko te morje enkrat začara, te drži v svoji mreži čudes za vedno.«

(*»The Sea, once it casts its spell, holds one in its net of wonder forever.«*)

— Jacques Cousteau

V zadnjih desetletjih se je rekreativno potapljanje močno razširilo po svetu in trenutno je dejavnih okoli šest do devet milijonov rekreativnih potapljačev (1). S tem se tudi povečuje število neželenih posledic potapljanja in z njimi povezanih intervencij. Mednarodna raziskava je pokazala, da se manjše neprijetnosti zgodijo pri 1,3 % vseh potopov, nesreče zaradi dekompresije pa pri 2 od vsakih 10.000 potopov (2). Letno umre okoli 200 potapljačev (3).

Potapljanje običajno ne velja za naporen šport, saj je telo pod vodo breztežno in je zahtevan napor običajno le blag. Kljub temu se lahko zaradi nepredvidljivih okoljskih sprememb (tokovi, valovi, podvodne živali), povečanega upora potapljaškega regulatorja pri naraščajočih globinah in/ali čustvenih dejavnikov hitro pojavi velik fiziološki stres (4).

PREVENTIVNI PREGLEDI PRED POTAPLJANJEM

Pred začetkom potapljanja se priporoča zdravniški pregled za oceno sposobnosti za potapljanje. Oceno je od 18. do 40. leta starosti smiselno izvajati vsaka tri leta, kasneje enkrat letno (2).

Zdravniški pregled za oceno sposobnosti za potapljanje vključuje (5):

- anamnezo in klinični pregled,
- vizualni pregled bobniča,
- EKG v mirovanju,
- test pljučnega delovanja in
- cikloergometrijo.

Relativne in absolutne kontraindikacije za potapljanje

V tabeli 1 so predstavljena bolezenska stanja, pri katerih potapljanje ni priporočljivo

(absolutna kontraindikacija) oz. se je treba pred potapljanjem posvetovati s specialistom (relativna kontraindikacija).

POTAPLJANJE NA DAH

Zaradi velike gostote vode (1.000 kg/m^3) se ob potapljanju tlak okolja zelo spremeni že na majhni globini. Za vsakih dodatnih 10 m globine se tlak okolja dvigne za en bar. Tako je na globini 20 m tlak tri bare (en bar atmosferskega tlaka, ki se mu prišteje en bar na vsakih 10 m globine). Če se potapljač pri potopu spusti na 10 m, se volumen zraka v njegovih pljučih prepolovi, kar opisuje Boylov zakon. Teoretična meja globine za prosto potapljanje je dosežena, ko sprememb tlaka ni več mogoče nadomestiti z zmanjšanjem pljučnega volumna – teoretični najvišji tlak okolice v barih je enak vitalni kapaciteti pljuč, deljeni z rezidualnim volumenom. Povprečen človek lahko zadrži dih 30–90 sekund; izkušeni potapljači na dah pa lahko ostanejo pod vodo več kot 10 minut. Glavni dejavniki, ki vplivajo na trajanje zadrževanja diha, so volumen pljuč, stopnja porabe kisika (O_2) in toleranca za ogljikov dioksid (CO_2) (6). Hiperventilacija tik pred potopom zniža arterijski delni tlak CO_2 (angl. *partial pressure of carbon dioxide*, pCO_2), zato se odloži ponovni pojav dražljaja za dihanje, ki se običajno pojavi, ko pCO_2 naraste na 6–8 kPa (7). Hiperventilacija rahlo zviša tudi koncentracijo O_2 v pljučnih mešičkih in s tem arterijski delni tlak kisika (angl. *partial pressure of oxygen*, pO_2), kar pa ne nadomesti pomanjkanja O_2 , ki nastane proti koncu potopa. Ko je posameznikova zaloga O_2 porabljena, lahko pomanjkanje dihanja povzroči izgubo zavesti (izguba zavesti v plitvi vodi). Pri globinskem prostem potapljanju se pO_2 dodatno zniža v času dviga zaradi padajočega tlaka okolice. Tudi če potapljač pred potopom ni hiperventiliral, se lahko razvije hipoksija, ki povzroči izgubo zavesti, običajno v zadnjih nekaj metrih pod gladino (izguba zavesti pri dvigovanju).

Tabela 1. Absolutne in relativne kontraindikacije za potapljanje (2, 3). KOPB – kronična obstruktivna pljučna bolezen, FEV1 – forsiran ekspiratorni volumen v prvi sekundi (angl. *forced expiratory volume in one second*), FVC – forsirana vitalna kapaciteta (angl. *forced vital capacity*), AKS – akutni koronarni sindrom, PFO – odprto ovalno okence (angl. *patent foramen ovale*), MET – presnovni ekvivalent (angl. *metabolic equivalent of task*).

Relativne kontraindikacije	Absolutne kontraindikacije
Ušesa	
• začetno vnetje zunanjega ušesa, • nepopolna zožitev slušnega kanala, • kronično nepravilno delovanje Evstahijeve cevi z oslabljenim Valsalvinim manevrom	• popolna zožitev slušnega kanala, • akutno nepravilno delovanje Evstahijeve cevi, zaradi katere izenačitev tlaka z Valsalvinim manevrom ni mogoča, • raztrgan bobnič, • zgodovina akutne izgube sluha (z izraženo prizadetostjo ravnotežnega organa; akutna stopnja izgube sluha, akutna stopnja tinitusa)
Pljuča	
• dobro nadzorovana astma z zdravili ali brez (s stabilnim pljučnim delovanjem), • kronični bronhitis brez obstrukcije, • sekundarni pnevmotoraks z nepomembnimi spremembami na CT prsnega koša in normalnimi testi pljučnega delovanja	• slabo nadzorovana astma, • akutno poslabšanje astme, • KOPB z okvarjenim delovanjem pljuč • FEV1/FVC < 70 % • FEV1 < 80 %, • akutno poslabšanje KOPB
Srce	
• več kot eno leto po AKS z normalno srčno rezervo in dobrim delovanjem prekata, • kronična atrijska fibrilacija z dobrim nadzorom frekvence in normalno toleranco za vadbo, • preekscitacijski sindrom, • blage bolezni zaklopki ali stanje po operaciji zaklopki z normalnima hemodinamiko in toleranco za obremenitev, • hemodinamsko nepomembne napake atrijskega in prekatnega pretina, • PFO, • zmogljivost več kot 6 MET	• manj kot eno leto po AKS, • srčno popuščanje z zmanjšanim iztisnim deležem, • tahiaritmija, ki zahteva zdravljenje, • aortna ali mitralna zožitev z ustjem manj kot 1,5 cm², • hemodinamsko pomembne srčne nepravilnosti, • PFO, • zgodovina dekompresijske bolezni
Duševno zdravje	
• tesnoba, • psihiatrične bolezni v remisiji, • uporaba psihotropnih zdravil	• dejavna depresija, bipolarna motnja ali psihoza, • zgodovina paničnih napadov, • odvisnost od psihoaktivnih snovi, • duševna zaostalost

NEVARNOSTI PRI AVTONOMNEM POTAPLJANJU Barotravma

Pri avtonomnem potapljanju se poleg jeklenke s stisnjenim zrakom uporablja regulator tlaka, ki oskrbuje potapljača z zrakom, s tlakom, ki ustreza tlaku okolice na kateri koli globini. Razlike v tlaku, ki nastanejo v času spusta in dviga, se odpravijo z rednim dihanjem. Če potapljač neustrezno zadrži dih in

se dvigne, lahko posledična razlika med tlakom v prsnem košu in tlakom okolice povzroči pljučno barotravmo (pnevmotoraks, medpljučni emfizem in zračna embolija).

Najpogostejša poškodba pri potapljačih je barotravma ušesa (2, 3). Pri spuščanju neuspešno izenačevanje tlaka v prostoru srednjega ušesa ustvari gradient tlaka preko bobniča. Nastane edem bobniča, ta pa se lahko celo pretrga.

Eden najhujših zapletov barotravme pa je arterijska zračna embolija, do katere pride pri poškodbah pljučnega žilja. Zračni mehurčki prizadenejo predvsem srčno-žilni in živčni sistem. To je življenje ogrožajoče stanje, kjer čim prej začnemo zdravljenje s O_2 , potapljač pa potrebuje zdravljenje v hiperbarični komori in intenzivno zdravljenje (2).

Toksičnost dušika

Raztapljanje plinov v tkivih je odvisno od vrste plina, tlaka, temperature in časa. Dušik (N_2) predstavlja približno 78 % zraka, ki ga vdihavamo pri potapljanju; predstavlja največji delež plinov v zraku, ki se med potopom raztapljajo v krvi in drugih telesnih tkivih. Časovni potek raztapljanja N_2 je med spuščanjem v globino eksponenten, pri čemer se razpolovni časi nasičenja zelo razlikujejo med telesnimi tkivi in organi. Med potopom lahko visoki delni tlaki N_2 delujejo anestetično (dušikova narkoza oz. globinska pijanost). Sodobni potapljaški računalniki imajo algoritme za izračun nasičenosti in desaturacije z N_2 . Skupaj z ostalimi spremenljivkami (globina in čas, srčni utrip, temperatura vode) ti algoritmi načrt potopa prilagodijo posamezniku (8).

Dehidracija

Potopitev telesa v vodo, ki ima nižjo temperaturo od telesa, zaradi periferne vazokonstrikcije poveča venski priliv v srce (9). Posledično se začne izločati atrijski natriuretični peptid (ANP). Hkrati je diureza okrepljena z zmanjšanim izločanjem anti-diuretičnega hormona (ADH) iz zadnjega režnja hipotalamusa. Med dvigovanjem se tekočina izgublja tudi z izdihanim zrakom, saj se suh zrak pod tlakom, ki ga potapljač diha, med izdihom navlaži. Dehidracija spremeni reološke lastnosti krvi in spodbuja razvoj dekompresijske bolezni. Potapljači morajo zato pred potopom in po potopu zaužiti dovolj tekočine.

Dekompresijska bolezen

Topnost plinov v tekočini je odvisna od tlaka (Henryjev zakon). Tlak okolice med dviganjem pada.

Med dviganjem lahko nastanejo mehurčki plina, če se iz raztopine izloči več plina, kot ga je mogoče izdihati. Ti lahko povzročijo embolijo in posledično tkivno hipoksijo (2, 3, 9). Do dekompresijske bolezni hitreje pride pri hipovolemiji, telesnem naporu, znižanem tlaku okolja (let z letalom, vožnja čez gorske prelaze), akutni okužbi, vročini, stresu, utrujenosti, uživanju psihoaktivnih snovi in odprtem ovalnem okenecu (angl. *patent foramen ovale*).

Za blago obliko sta značilni utrujenost in srbež. Simptomi najpogosteje spontano minejo v 30 minutah. Pri hujši obliki prevladujejo simptomi prizadetosti živčnega sistema (parestezije, bolečine, vrtoglavica, motnje vida, motnje zavesti) in dispneja. V hujših primerih je potrebno takojšnje zdravljenje s O_2 , infuzijo kristaloidov in zdravljenje v hiperbarični komori (2, 3).

Za preprečevanje dekompresijske bolezni je smiselno upoštevati naslednje preventivne ukrepe (2):

- Potop naj se začne s spustom čim globlje.
- Med dvigovanjem naj ne bo ponavljajočih se dvigov v razponu nad 10 m.
- Zadnjih 10 m se je treba dvigovati počasi.
- Zadnjih 10 m dviga ne sme biti napornih.
- Ob dvigovanju je na globini 3–5 m priporočen varnostni postanek pet do deset minut.
- Časovnih omejitev potopa naj se ne prekorači.
- Varnostno raven potapljaškega računalnika je smiselno nastaviti na previdno.
- Po potopu je treba zaužiti dovolj tekočine.
- Po potopu se odsvetuje kajenje.
- Pred ponovnim potopom je smiselno počakati vsaj štiri ure.
- Priporočena sta največ dva potopa na dan.
- Pred vzponom na višjo nadmorsko višino na kopnem je treba počakati vsaj dve uri.

- V prvih dveh urah po potopu se odsvetuje izvajanje Valsalvinega manevra.
- V času prehlada se potapljanje odsvetuje.

Toksičnost kisika

Na velikih globinah in ob vdihovanju mešanice z višjim odstotkom O_2 lahko pride zaradi visokih pO_2 do epileptičnih krčev, ki se lahko pojavijo brez predhodnih opozorilnih znakov s strani živčevja (tinitus, vrtoglavica, motnje vida) (2, 3, 9, 10). Pri rekreativnih potopih na nižjih globinah s stisnjenim zrakom te nevarnosti ni.

Nevarnosti okolice

Morske živali so večinoma neškodljive, večina poškodb pa je posledica naključnih srečanj ali obrambnega ravnanja. Za poškodbe, ki jih povzročijo morske živali, so značilni bakterijska onesnaženost in tujki (2, 3). Občasno k poškodbi prispeva tudi delovanje strupa, ki je pogosto termolabilen (10).

Ujetost pod vodo je odgovorna za približno 20 % smrtnih potapljaških nesreč. Nevarnejši so predvsem potopi, ko nad glavo ni neposrednega, navpičnega dostopa do površine. Za potapljače, ki se želijo potapljati v jamah, kavernah, razbitinah ali pla-

vati pod ledom, sta smiselna ustrezno usposabljanje in dodatna oprema (3).

Letenje po potapljanju

Letenje z letalom je nekaj časa po potapljanju odsvetovano. Obdobje, v katerem je letenje odsvetovano, izračunajo sodobni potapljaški računalniki na podlagi pogostosti in trajanja potopov. Nevarnost predstavlja tudi vožnja čez gorske prelaze. Znižani zračni tlak zaradi višje nadmorske višine namreč povzroči simptomatsko dekompresijsko bolezen. Priporoča se, da se po posameznih potopih brez dekompresijskega postanka ne leti vsaj 12 ur in vsaj 24 ur po vseh drugih potopih (tj. kadar koli se je oseba potopila več kot enkrat na dan ali je opravila dekompresijski postanek) (3).

ZAKLJUČEK

Z doslednim upoštevanjem navodil je potapljanje varen in privlačen šport. Poznavanje simptomov in znakov najpogostejših bolezni, povezanih s potapljanjem, ter mehanizmov, ki do tega pripeljejo, pa omogoča hitrejše ukrepanje in posledično boljši izhod zdravljenja.

LITERATURA

1. DEMA: 2023 fast facts on recreational scuba diving and snorkeling [internet]. San Diego: Diving Equipment and Marketing Association; c2023 [citirano 2023 Mar 13]. Dosegljivo na: <https://www.dema.org/store/download.aspx?id=7811B097-8882-4707-A160-F999B49614B6>
2. Eichhorn L, Leyk D. Diving medicine in clinical practice. *Dtsch Arztebl Int.* 2015; 112 (9): 147–57.
3. Denoble P, Caruso J, Nelson C, et al. Diving fatalities [internet]. In: Tillmans F, ed. DAN Annual Diving Report 2020 Edition: A report on 2018 diving fatalities, injuries, and incidents. Durham (NC): Divers Alert Network; c2021 [citirano 2023 Mar 13]. p. 7–24. Dosegljivo na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK582514/>
4. Buzzacott P, Pollock NW, Rosenberg M. Exercise intensity inferred from air consumption during recreational scuba diving. *Diving Hyperb Med.* 2014; 44 (2): 74–8.
5. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, et al. Exercise standards for testing and training: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2013; 128 (8): 873–934.
6. Schagatay E. Predicting performance in competitive apnoea diving. Part I: Static apnoea. *Diving Hyperb Med.* 2009; 39 (2): 88–99.
7. Lin YC, Lally DA, Moore TO, et al. Physiological and conventional breath-hold breaking points. *J Appl Physiol.* 1974; 37 (3): 291–6.
8. Beckett A, Kordick MF. Risk factors for dive injury: A survey study. *Res Sports Med.* 2007; 15 (3): 201–11
9. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, et al. Human physiology in an aquatic environment. *Compr Physiol.* 2015; 5 (4): 1705–50.
10. Whittle K, Gallacher S. Marine toxins. *Br Med Bull.* 2000; 56 (1): 236–53.