



Aleš Koštomaj,  
Jernej Kapus

## Omejitveni dejavniki pri statični apneji

### Izveček

Že vse od prvih globinskih tekmovanj pri potapljanju na dih se sprašujemo, kje so končne meje človeških zmogljivosti in kateri dejavniki bodo določili te meje. Potapljači na dih so že močno presegli vse dosedanje napovedi strokovnjakov pri globinskih potopih in času trajanja potopa. Glavni dejavnik uspešnosti pri vseh tekmovalnih disciplinah apneje je čas trajanja apneje. Ta čas se lahko podaljša z vsemi sredstvi, ki povečujejo celoten volumen kisika v telesu, sposobnost premagovanja hipoksije in hiperkapnije ter intenzivnost presnove. V tem članku vam bomo podrobneje predstavili te glavne omejitvene dejavnike.

**Ključne besede:** potapljanje na dih, statična apneja, omejitveni dejavniki in fiziologija.



### Limiting factors in static apnoea

#### Abstract

Ever since the first deep diving competitions were organized, there has been debate about when the ultimate limits of human apnoeic performance will be reached, and which factors will determine these limits. Divers have thus far surpassed all former predictions by physiologists in depth and time. The common factor for all competitive apnoea disciplines is apnoeic duration, which can be prolonged by any means that increase total gas storage or tolerance to asphyxia, or reduce metabolic rate. These main limiting factors can be broken down further into several physiological or psychophysiological factors, which are identified in this article.

**Key words:** breath-hold diving, static apnoea, limiting factors and physiology.

## ■ Uvod

Beseda apneja izvira iz grške besede *apnoia* in pomeni "brez dihanja". Sam izvor besede v osnovi nima nikakršne povezave z vodo, vendar se beseda apneja v sodobni terminologiji uporablja kot sinonim za potapljanje na dih (Pelizzari in Tovaglieri, 2004). To pomeni potopitev pod vodo brez dodatnih zunanjih pripomočkov, ki bi nam omogočali dihanje.

Človeka je svet pod vodo začel zanimati zaradi želje po hrani in drugih vodnih dobrinah. Potapljanje na dih se je najverjetneje prvič pojavilo ob obalah morij in jezer, ki so predstavljala veliko zalogo hrane in vodnih dobrin. Najstarejši zapis o potapljanju na dih so arheologi odkrili ob obali Baltskega morja, kjer je bila nekje med 5000 in 7000 leti pred našim štetjem naseljena civilizacija, ki so jo imenovali školjkarji (Pelizzari idr., 2004). O potapljanju z namenom iskanja hrane in nabiranja biserov pričajo tudi najdbe v egipčanskih piramidah iz 4500 let pred našim štetjem ter arheološki ostanki na Kitajskem izpred 2500 let pred našim štetjem, če gledamo samo najstarejše vire.

Potapljanje na dih bolj kot kateri koli drug šport temelji na prvinskih, nezavednih refleksi, zapisanih v naših genih. Zarodek že pred rojstvom devet mesecev preživi v plodovnici (amnijski tekočini), ki je zelo podobna morski vodi. Kasneje, po rojstvu, pa ima novorojenček refleksno sposobnost plavati prsno pod vodo ter držati dih tudi do štirideset sekund (Pelizzari idr., 2004). Ta nenavadna sposobnost dojenčkov oziroma malčkov je prisotna vse, dokler le-ti ne shodijo. S postavitvijo na noge oziroma z obvladovanjem pokončne drže telesa pa ta refleks nekako zamre. Domneva se, da ta morda ostaja v kolektivnem spominu človeštva, ker si drugače zelo težko predstavljamo konstantno izboljševanje rekordov v vseh disciplinah potapljanja na dih. Kljub dolgi zgodovini je potapljanje na dih kot športna disciplina vseeno šele ena mlajših oblik športno-rekreacijskih aktivnosti v vodi, ki se je do danes že precej izpopolnila. Yaques Mayol velja za očeta moderne tehnike potapljanja na dih, ki temelji na sproščenosti in umirjenosti tik pred potopom (Pelizzari idr., 2004).

V zadnjem desetletju in pol je tekmovalno potapljanje na dih zelo hitro napredovalo v vseh treh značilnostih (globina, daljina in trajanje potopa). Svetovni rekordi se izboljšujejo skoraj na vsakem tekmovanju in temu ni videti konca. Pri moških smo v

globino že presegle 125 metrov, v daljino 300 metrov in v statični apneji (trajanje potopa) 12 minut. Ženski rekordi ne zaostajajo veliko: globina 100 metrov, daljina 240 metrov in statična apneja 9 minut. Krivulja naraščanja najboljših rezultatov je pri obeh spolih visoka in podobna. Takšen napredek si po eni strani lahko razložimo z vedno večjo udeležbo novih tekmovalcev na tekmovanjih in s tem posledično odkrivanjem novih talentov, na drugi strani pa globalizacija prinaša velik napredek pri metodah vadbe in potapljaških strategijah. Sistematična vadba in nenehno strokovno izpopolnjevanje je nujno potrebno za napredek in širjenje najbolj naprednih metod vadbe (Schagatay, 2009).

### Potapljanje na dih

Potapljanje na dih lahko razdelimo v dve skupini. V prvo skupino, za katero so značilni krajši zaporedni potopi s kratkimi vmesnimi odmori in ne največjimi globinami, štejemo podvodni ribolov, podvodno fotografiranje, vsa nabiranja (školjke, biseri, spužve ...), podvodni hokej in ragbi ter rekreativno potapljanje na dih.

V drugo skupino, ki ji pravimo tekmovalne oblike potapljanja, pa lahko uvrščamo enkratne maksimalne potope, ki se odražajo v globini, daljini in trajanju. Tekmovanja v potapljanju na dih potekajo v več disciplinah in po natančno določenih pravilih, ki jih določa Mednarodna potapljaška zveza (AIDA).

Tekmovanja v globino se prirejajo v morjih ali jezerih. Med globinske discipline štejemo: potop s konstantno obtežitvijo s pla-

vatmi (CWT), potop s konstantno obtežitvijo brez plavuti (CNF), prosti potop (FIM), potop s spremenljivo obtežitvijo (VVT) in potop brez omejitev (NLT). Za CWT, CNF in FIM je značilno, da se potapljači potapljajo v globino in dvigujejo iz nje s pomočjo lastnega gibalnega sistema. Vsa tekmovanja v globino se izvajajo samo v omenjenih treh disciplinah. Disciplini VVT in NLT sodita med tehnično zahtevnejše in zato nista na rednem programu tekmovanj. Pri VVT se potapljači potapljajo v globino s tako imenovanimi potapljaškimi sanmi, na površino pa se dvigujejo sami. Disciplina NLT je najbolj ekstremna, saj se potapljači potapljajo najgloblje (čež 200 metrov). V globino se potapljači potapljajo s potapljaškimi sanmi, iz globine pa se dvigujejo s pomočjo napihnjenega balona.

Tekmovanja v daljino in v trajanju pa se prirejajo v bazenih. Med bazenske discipline štejemo: dinamično apnejo s plavutmi (DYN), dinamično apnejo brez plavuti (DNF) in statično apnejo (STA). Statična apneja (STA) bo podrobneje opisana v naslednjem podpoglavju. Pri obeh dinamičnih apnejah je cilj, da se pod vodo preplava čim dlje v daljino.

Globina, daljina in trajanje potopa so odvisni od različnih omejitvenih dejavnikov. Za doseganje in preseganje vedno boljših rezultatov je nujen vadbeni proces. Učinki ustrezne vadbe se odražajo v večji globini (vse globinske discipline), daljini (vse daljinske discipline) in trajanju potopa (statična apneja). Z vadbo se torej potapljač prilagodi na določene ekstremne okoliščine. Na kakšen način to stori, pa je pomembno vprašanje.



Slika 1. Tekmovanje v statični apneji (Košťomaj, 2011).

## Statična apneja

Statična apneja je tekmovalna disciplina, ki se vedno izvaja v bazenu in pri kateri se meri trajanje zadrževanja diha. Potapljač leži v prsnem položaju na vodni gladini s potopljenim obrazom, tako da sta usta in nos potopljeni v vodo. Ob njem v vodi je vedno varnostni potapljač, ki ga varuje. Med zadrževanjem diha in po njem se mora po predpisanem protokolu odzivati sodniku (pravila AIDA).

Slika 1 prikazuje uradno tekmovalje v statični apneji na bazenu. Ob vsakemu potapljaču na dih je varnostni potapljač.

Uspešnost v statični apneji je odvisna le od zadrževanja diha, saj potapljač sproščeno miruje na vodni gladini v bazenu. Sposobnost zadrževanja diha je osnova vsem ostalim disciplinam in načinom potapljanja. Po Schagatayevi (2009) poznamo tri faktorje, ki določajo mejo zadrževanja diha:

- celoten volumen kisika ( $O_2$ ) v telesu (pljuča, kri in tkiva),
- sposobnost premagovanja hipoksije in hiperkapnije ter
- intenzivnost presnove.

V nadaljevanju predstavljamo vse tri dejavnike. Pri tem povzemamo članek Erike Schagatay, Predicting performance in competitive apnoea diving. Part 1: static apnea, objavljen leta 2009 v reviji Diving and Hyperbaric Medicine.

### Volumen kisika v telesu

#### Pljuča

Velik volumen pljuč je bil večkrat opisan kot dejavnik, po katerem se potapljači na dih razlikujejo med seboj (Ferretti, Costa, 2003). Koristnost velikih pljuč se pozna tako pri statični apneji kot tudi pri potopih v globino ali globinskih disciplinah. Schagatay, Lodin in Richardson (2007a) so poročali o povprečni vitalni kapaciteti pljuč (VC) 7,3 litra pri 14 vrhunskih potapljačih, ki je bila približno za dva litra večja kot pri kontrolni skupini po starosti in postavi podobnih merjencev. Individualna VC teh potapljačev je v povezavi z njihovo uspešnostjo potapljanja. To vodi k vprašanju, ali je razširjeni volumen pljuč posledica izbora ali pa odraža spremembe, ki jih povzročata vadba. VC se na splošno veča z odraščanjem/starostjo, številne raziskave pa kažejo, da jo specifična vadba lahko poveča. Študija (Carey, Schaefer in Alvis, 1956) je pokazala, da se lahko pljučni volumen dejansko

poveča z vadbo potapljanja na dih. Druge vzporedne študije kažejo tudi na visok učinek plavalne vadbe in izpostavljenost veliki nadmorski višini na pljučni volumen (Gaultier in Crapo, 1997).

#### Dihalne tehnike

Tehnika pakiranja (glosofaringealni dihalni maneuver) je pogosto uporabljena metoda za povečanje volumna pljuč. Običajen največji vdih je določen z maksimalnim krčenjem vdišnih mišic in prsnega koša ter podajnosti pljuč. Z uporabo ustne votline in jezika kot črpalke za pritiskajte majhne količine dodatnega zraka navzdol v pljuča, ki so že napolnjena z največjim vdihom, lahko potapljač poveča le-tega tudi do 4 litre (Wittaker in Irvin, 2007). Slabost tega manevra je, da posledično povečanje intratorakalnega pritiska zmanjša venski dotok, zaradi česar lahko pride do izgube zavesti, če se potapljač ne potopi pravočasno (Andersson in Schagatay, 1998). Dodatni volumen zraka bo podaljšal apnejo, in sicer z zagotavljanjem dodatnega shranjenega kisika ( $O_2$ ) in z redčenjem ogljikovega dioksida ( $CO_2$ ), pridobljenega iz krvi. V kombinaciji s specifično vadbo raztezanja prsnega koša se pakiranje lahko uporablja tudi pri vadbi kot metoda za povečanje volumna pljuč. Vseeno pa naj ne bi bilo pakiranje glavni mehanizem za dolgoročno povečanje volumna pljuč (Tetzlaff idr., 2008).

#### Kri

Kri je tekoče tkivo, katerega funkcija je prenašanje  $O_2$ , hranljivih snovi, produktov celične presnove, hormonov in sodelovanje pri obrambnih procesih organizma. Ima osrednjo funkcijo pri vzdrževanju homeostaze in je povezovalni del med notranjim ter zunanjim okoljem organizma. Sestavljena je iz medceličnine ali krvne plazme in krvnih celic. Funkcija krvne plazme je transport metabolitov, hormonov, encimov, hranljivih substanc, protiteles ter transport  $O_2$  in  $CO_2$ . Transport  $O_2$  in  $CO_2$  je glavna funkcija rdečih krvnih celic ali eritrocitov. Rdečih krvnih telesc je med krvnimi celicami največ. Glede na to, da vsaka rdeča krvna celica vsebuje skorajda isto količino hemoglobina (Hb), je celotna količina hemoglobina proporcionalna krvnemu hematokritu (Ht). Hematokrit je odstotek krvnega volumna, sestavljen iz krvnih celic in znaša nekaj manj kot polovico skupne količine krvi. Hemoglobinska molekula je sestavljena iz beljakovinskega dela (globina), ki ga tvorijo štiri polipeptidne verige, na vsako verigo pa je vezan nebeljakovinski del (hem). Na

vsako od štirih hemov je vezan atom železa (Fe). Hemoglobin ali krvno barvilo daje krvi njeno značilno barvo.  $O_2$  se po krvi prenaša na dva načina. Večji del (98 %) se ga prenaša vezanega na hemoglobin, manjši del pa je raztopljen v krvi. Čim več  $O_2$  se torej sprosti iz hemoglobinskih molekul, toliko večja je sposobnost hemoglobina za vezavo  $CO_2$ . Njegova naloga je, da prenaša  $O_2$  od pljuč proti ostalim delom telesa (Leff in Schumacker, 1993).

Količina krvi v sesalcih, ki se potapljaajo, je večja kot v drugih skupinah sesalcev. Količina krvi predstavlja 10–20 % telesne teže pri tujlnjih in morskih levih v primerjavi s 7–8 % pri kopenskih sesalcih (Courtice, 1943). Volumen človeške krvi se lahko poveča s povečanjem volumna plazme kot prilagoditev na vadbo vzdržljivosti in na toploto (Bass, Kleeman, Quinn, Henschel in Hegnauer, 1955; Convertino, Brock, Keil, Bernauer in Greenleaf, 1980). Povečanje volumna eritrocitov bo posledično malenkostno vplivalo tudi na skupno povečanje volumna  $O_2$  v telesu. Kratkoročne spremembe povzročijo krčenje vranice pri apneji in hipoksično dihanje (Schagatay, Andersson, Hallen in Palsson, 2001). Dolgoročne spremembe pa se kažejo z okrepljeno tvorbo eritropoetina (EPO) (Eckardt idr., 1989; de Bruijn, Richardson in Schagatay, 2008).

Vrhunski potapljači na dih imajo višje vrednosti hemoglobina v krvi kot smučarji tekači in netrenirani ljudje. Razlogi se skrivajo ali v vadbi potapljanja na dih ali v sami selekciji (de Bruijn idr., 2004). Število eritrocitov v krvi se krmili prek eritropoetina, ki ga proizvajata hipoksični ledvici (Erslev, 1953). Znano je, da izpostavljenost večji nadmorski višini povečuje tvorbo eritropoetina. Pred slabim desetletjem pa se je pokazalo, da vadba potapljanja na dih prav tako povečuje tvorbo eritropoetina (Eckardt idr., 1989; de Bruijn, Richardson in Schagatay, 2008). Z bolj intenzivno in specifično vadbo potapljanja na dih ter prehrano, ki vsebuje dosti železa, se raven hemoglobina lahko še poveča, kar vodi k večjemu transportu  $O_2$  in povečani zmogljivosti odvajanja  $CO_2$ . Potapljanje na dih, še posebej pa globinsko potapljanje, lahko povzroči močnejše dražljaje kot nadmorska višina za tvorbo eritropoetina (Balestra, Germonpre, Poortmans in Marroni, 2006).

#### Krčenje vranice

Vranica sesalcev, ki se potapljaajo, je dodatno mesto za shranjevanje eritrocitov. Ta zaloga pride v poštev pri daljši apneji

(Hurford, Hochachka, Schneider, Guyton in Stanek, 1996). Ta učinek je prisoten tudi pri sesalcih, specializiranih za vzdržljivostni tek (konji in psi) in pri ljudeh med intenzivno vadbo (Stewart in McKenzie, 2002). Krčenje vranice pri ljudeh v apneji je bilo prvič opazovano pri Ama-potapljačih (tradicionalno potapljanje na dih v Aziji za nabiranje biserov in školjk) (Hurford idr., 1990). Pred slabim desetletjem so ugotovili, da imajo najboljši potapljači na dih tudi največje vranice s prostornino do 600 ml (Schagatay, Richardson in Lodin, 2007b). Razlika v krčenju med najmanjšo in največjo vranico pri elitnih potapljačih na dih je predstavljala 30 s trajanja apneje. Krčenje vranice je aktivni kontrakcijski proces (Baković, 2003), ki ga delno povzroča hipoksija (Richardson, Lodin, Reimers in Schagatay, 2008). Krčenje vranice ni posledica potapljaškega refleksa (Schagatay, Andersson, Hallen in Palsson, 2001), saj se postopoma razvija skozi potapljanje na dih in potrebuje več potopov na dih, da se v celoti razvije (Schagatay, Haughey in Reimers, 2005).

### Tkivo

Zaloge  $O_2$  v tkivu so tudi pomemben vir za aerobno presnovo. V tkivu je shranjenega le 2–3 %  $O_2$  od celotnega shranjenega  $O_2$ . Največ ga je v mišičnem mioglobinu (Mb). V morskih sesalcih je lahko vsebnost mioglobina 10-krat večja kot pri sesalcih, ki živijo na kopnem (Kooyman in Ponganis, 1998). Mišični mioglobin je načeloma pomemben v vseh oblikah potapljanja na dih, še najbolj pa v dinamičnih disciplinah (preplavana daljina).

### Sposobnost premagovanja hipoksije in hiperkapnije

#### Faze apneje

Trajanje apneje je odvisno od sposobnosti premagovanja hipoksije in hiperkapnije (in acidoze). Dolgotrajna izpostavljenost hiperkapniji bo zmanjšala dihalni odziv (Schaefer, Hastings, Carey in Nichols, 1963). O blagem dihalnem odzivu na  $CO_2$  so poročali pri podmorniških reševalnih inštruktorjih, Ama-potapljačih in igralcih podvodnega hokeja. Pri ljudeh, ki se ne potaplajo, pa je  $CO_2$  prevladujoči dejavnik pri spodbujanju dihanja in prekinitev apneje. Potapljači lahko prenašajo višje ravni hiperkapnije in hipoksije (Ferretti, 2001).

Dejours (1965) deli apnejo na dve fazi: začetno brez nujnosti vdihava in končno fazo boja, pri katerem je predvsem kopičenje  $CO_2$

povod za postopno močnejšo potrebo po vdihu. Prva faza traja do začetka spontanege krčenja dihalnih mišic (začetek kopičenja  $CO_2$ ). Spontana krčenja dihalnih mišic povzročajo nelagodje in psihično breme, zato se z njihovim začetkom označuje tudi meja med prvima dvema fazama apneje. Druga faza pa je odvisna tudi od individualne motivacije in vzdržljivosti. Pokazalo se je, da dolgotrajna vadba apneje ne vpliva samo na trajanje apneje, ampak tudi na podaljšan čas prve začetne faze (Schagatay, van Kampen, Emanuelsson in Holm, 2000).

Večina neizkušenih potapljačev na dih prekine apnejo na začetku druge faze boja. Vrhunski potapljači na dih ločijo celo tri faze apneje: drugi fazi boja sledi tretja faza borbe (Dujic idr., 2009), v kateri se želja po dihanju zaradi združenih dražljajev hiperkapnije in hipoksije še poveča. V tej fazi potapljači niso več sproščeni, ampak uporabijo mišično moč za ohranjanje apneje. Razvita psihološka toleranca do močnega krčenja dihalnih mišic v zadnji fazi borbe je ključnega pomena za uspešnost v statični apneji. Izboljšamo jo lahko samo z dolgotrajno vadbo.

Hiperventilacijo v različnih oblikah uporabljajo potapljači za znižanje vsebnosti  $CO_2$  v telesu in podaljšanje prve faze apneje (Lin, Lally, Moore in Hong, 1974). Hiperventilacija pa s tem prinaša povečano tveganje za izgubo zavesti, saj se nivo  $O_2$  ni povečal v enakem obsegu in se zato ne izvaja.

### Hipoksija in delovanje možganov

Številne študije kažejo, da vadba apneje znižuje dopustno raven  $O_2$ , ki ga potrebujejo možgani (Lindholm in Lundgren, 2006). Med tekmovanjem potapljači pogosto doživljajo hipoksično izgubo nadzora gibanja in včasih celo zavest, vendar pa si ob pomoči hitro opomorejo. Postavlja pa se vprašanje, ali to povzroča kakšno dolgoročno škodo pri delovanju možganov. Študije nevronske funkcije potapljačev na dih niso pokazale negativnih dolgoročnih učinkov vadbe apneje na delovanje možganov (Ridgway in Farland, 2006), kar naj bi bila posledica regulacije zaščitnih stresnih proteinov (Tanaka, Uehara in Nomura, 2000). Trenutno se še ni pokazalo, da je izguba zavesti pri apneji škodljiva za človeške možgane. Vemo pa, da je hipoksija veliko manj škodljiva kot ishemija (Miyamoto in Auer, 2000). Mnogi potapljači, ki se udeležujejo tekmovanj, vedo, kje je njihova individualna hipoksična meja in samo z

dolgotrajno vadbo apneje se lahko ta meja premika naprej (Ferretti, 2001).

### Acidoza

Nabiranje  $CO_2$  in mlečne kisline med podaljšano apnejo vodi v vedno večjo acidozo. Odziv potapljaškega refleksa je močnejši pri potapljačih kot pa pri netreniranih posameznikov, kar kaže na to, da bi morali potapljači kopičiti več laktatnih ionov v manj aktivnih mišicah (Schagatay in Andersson, 1998). Količina  $CO_2$  je pri potapljačih dvakrat večja kot pri tistih, ki se ne potaplajo (Ferretti, 2001).

### Intenzivnost presnove

Tretji omejitveni dejavnik za trajanje apneje je intenzivnost presnove. Večja ko je intenzivnost, večja je poraba  $O_2$ . Čim manjša poraba le-tega pa je eden izmed najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na trajanje apneje.

### Srčno-žilni potapljaški refleks

Irving (1963) je bil prvi, ki je opazoval potapljaški refleks pri ljudeh. Kasneje se je izkazalo, da ima dva učinka: ohranjanje  $O_2$  in podaljševanje potopa (Schagatay in Andersson, 1998). Potapljaški refleks sproži vsaka apneja (Elsner in Gooden, 1983). Popoln odziv refleksa lahko pričakujemo šele pri potopitvi obraza, predvsem čela in oči (Schuitema in Holm, 1988). Glavna učinka refleksa sta: selektivna vazokonstrikcija na področjih, dovzetnih za hipoksijo, in vagnsna bradikardija. To se zgodi že po tridesetih sekundah apneje (Elsner in Gooden, 1983).

Potapljaški refleks se ne spremeni pri več serijah apnej, ampak ga okrepi dolgotrajna vadba apneje (Schagatay, van Kampen in Andersson, 1999). Bolj izrazita bradikardija pri nizki zasičenosti krvi s kisikom ( $SaO_2$ ) bo do neke mere spremenila hipoksičen odziv (Gooden, 1994).

### Temperatura

Potapljaški refleks je odvisen tako od temperature vode kot temperature zraka. Sprememba temperature vode in zraka, kjer se izvaja apneja, je ključni dražljaj, ki vpliva na potapljaški refleks (Schagatay in Holm, 1996). Hladnejša voda vpliva na hitrost odziva potapljaškega refleksa. Toplejša voda pa je pomembnejša pri trajanju apneje (Andersson, Schagatay, Gislén in Holm, 2000). To pojasnjuje, zakaj imajo tropski potapljači na dih močan potapljaški refleks kljub potapljanju v razmeroma topli vodi.

Drugi učinek temperature na presnovo je neposreden hladilni učinek na telo. Hladnokrvne živali imajo hitrost presnove in porabo O<sub>2</sub> vezano na telesno temperaturo. Sesalci se na nižjo temperaturo v telesu odzivamo s hitrejšo presnovo in predvsem z drgetanjem. Pri drgetanju mišične celice porabijo dvakrat več energije, kar vodi do povečanega površinskega pretoka krvi in posledično skrajšuje apnejo. Vsakdo, ki lahko vzdrži znižanje temperature brez drgetanja, bo verjetno sposoben opravljati daljše apneje.

Ama potapljači so nekoč veljali za ljudi, ki so se najbolj prilagodili hladnejši vodi. Študije kažejo, da je uporaba neoprenskih oblek privedla do deaklimatizacije (Park idr., 1983). Bolje izolirani posamezniki porabijo manj energije za drgetanje in omogočajo telesu znižanje telesne temperature, namesto da izgubljajo energijo za to, da je temperatura telesa konstantna. Toplotna moč vpliva na srčno-žilne odzive, pomembne za čas trajanja apneje.

## Antropometrija in telesna sestava

Kadar v vodo potopimo velike in majhne posameznike s podobno obliko telesa, se manjši ohlaja hitreje. Med osebam z enako telesno težo se bo tisti z manjšo telesno površino pod vodo kasneje ohlajal. Pri dveh posameznikih z isto telesno težo in obliko naj bi tisti z debelejšo plastjo podkožnega maščevja zdržal dlje pod vodo. V istem primeru bo manjša oseba morala imeti debelejšo podkožno maščobo, da bo zdržala pod vodo enako dolgo (Tikuisis, Jacobs, Moroz, Vallerand in Martineau, 2000). Na tej podlagi lahko sklepamo, da bi moral biti idealen potapljač moškega spola dovolj visok, srednje mišičasto razvit, z nekaj podkožne maščobe. Pri ženskah se pričakuje več podkožne maščobe za kompenzacijo manjše postave.

## Postenje in prehrana

Postenje je način, ki ga potapljači pogosto uporabljajo za povečanje potapljaških zmogljivosti. Glede na porabo kalorij se je pokazalo, da postenje zmanjšuje hitrost presnove v mirovanju do 17 % (Connolly, Romano in Patruno, 1999). Najboljše rezultate v statični apneji se lahko doseže v času posta, kar večina potapljačev že s prido izkorišča pri vadbi in na tekmovanjih. Vendar ne glede na te ugotovitve, nekateri potapljači na dih vzamejo dopolnilne ogljikove hidrate tik pred tekmovanjem za povečanje zmogljivosti. Presenetljivo je, da je

mnogim vrhunskim potapljačem izjemno pomembno, kaj jedo, na drugi strani pa so nekateri vrhunski potapljači, ki to ignorirajo.

## Sprostitvene tehnike

V športu, pri katerem je minimalna poraba kisika (VO<sub>2</sub> min) pomembnejša kot maksimalna poraba kisika (VO<sub>2</sub> max), je očitno, da imajo sprostitvene tehnike znaten vpliv na rezultate. To je še posebno očitno v statični apneji. Posebne sprostitvene vaje s poudarkom na dihalnih tehnikah so izpeljane iz joge in prilagojene apneji. Pred tekmovanjem jih uporablja skoraj vsak vrhunski potapljač. Ciklične sprostitvene tehnike iz joge naj bi znižale porabo O<sub>2</sub> za 32 % (Telles, Reddy in Nagendra, 2000).

## Zaključek

Potapljači na dih lahko z redno vadbo bistveno povečajo celoten volumen O<sub>2</sub> v telesu in sposobnost premagovanja hipoksije ter hiperkapnije v primerjavi z netreniranimi posamezniki. Intenzivnost presnove se lahko zmanjša s posebnimi meditacijskimi tehnikami. Trenutno še nimamo dovolj znanja o maksimalnem možnem potencialu človeka pri zadrževanju diha. Nekaj dejavnikov sicer že poznamo pri nekaterih morskih sesalcih (Schagatay, 2009). Te dejavnike bo potrebno raziskati tudi pri človeku. Tisti najboljši potapljači na dih menijo, da je maksimalna meja v statični apneji neke pri 15 minutah.

## Literatura

1. Andersson, J. in Schagatay, E. (1998). Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 19–24.
2. Andersson, J., Schagatay, E., Gislén, A. in Holm, B. (2000). Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnoea. *European journal of applied physiology*, 83(6), 566–572.
3. Baković, D., Valic, Z., Eterović, D., Vuković, I., Obad, A., Marinović-Terzić, I. in Dujic, Z. (2003). Spleen volume and blood flow response to repeated breath-hold apneas. *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1460–1466.
4. Bass, D. E., Kleeman, C. R., Quinn, M., Henschel, A. in Hegnauer, A. H. (1955). Mechanisms of acclimatization to heat in man. *Medicine*, 34(3), 323–380.

5. Carey, C. R., Schaefer, K. E. in Alvis, H. J. (1956). Effect of skin diving on lung volumes. *European Journal of Applied Physiology*, 8(5), 519–523.
6. Connolly, J., Romano, T. in Patruno, M. (1999). Effects of dieting and exercise on resting metabolic rate and implications for weight management. *Family practice*, 16(2), 196–201.
7. Convertino, V. A., Brock, P. J., Keil, L. C., Bernauer, E. M. in Greenleaf, J. E. (1980). Exercise training-induced hypervolemia: role of plasma albumin, renin, and vasopressin. *Journal of Applied Physiology*, 48(4), 665–669.
8. Courtice, F. C. (1943). The blood volume of normal animals. *The Journal of physiology*, 102(3), 290–305.
9. de Bruijn, R., Richardson, M., Haughey, H., Holmberg, H. C., Bjorklund, G. in Schagatay, E. (2004). *Hemoglobin levels in elite divers, elite skiers and untrained humans (Abstract)*. 33th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Ajaccio: France.
10. de Bruijn, R., Richardson, M. in Schagatay, E. (2008). Increased erythropoietin concentration after repeated apneas in humans. *European journal of applied physiology*, 102(5), 609–613.
11. Dejours, P. (1965). Hazards of hypoxia during diving. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. *Publication*, (1341), 183–193.
12. Dujic, Z., Uglesic, L., Breskovic, T., Valic, Z., Heusser, K., Marinovic, J. in Palada, I. (2009). Involuntary breathing movements improve cerebral oxygenation during apnea struggle phase in elite divers. *Journal of applied physiology*, 107(6), 1840–1846.
13. Eckardt, K. U., Boutellier, U. R. S., Kurtz, A., Schopen, M., Koller, E. A. in Bauer, C. (1989). Rate of erythropoietin formation in humans in response to acute hypobaric hypoxia. *Journal of applied physiology*, 66(4), 1785–1788.
14. Elsner, R. in Gooden, B. (1983). *Diving and asphyxia: a comparative study of animals and man (No. 40)*. Cambridge University Press.
15. Erslev, A. (1953). Humoral regulation of red cell production. *Blood*, 8(4), 349–357.
16. Ferretti, G. (2001). Extreme human breath-hold diving. *European journal of applied physiology*, 84(4), 254–271.
17. Ferretti, G. in Costa, M. (2003). Review: Diversity in and adaptation to breath-hold diving in humans. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 136(1), 205–213.
18. Gaultier, C. in Crapo, R. (1997). Effect of nutrition, growth hormone disturbances, training, altitude and sleep on lung volumes. *European Respiratory Journal*, 10(12), 2913–2919.
19. Gooden, B. A. (1994). Mechanism of the human diving response. *Integrative physiological and behavioral science*, 29(1), 6–16.

20. Hurford, W. E., Hochachka, P. W., Schneider, R. C., Guyton, G. P., Stanek, K. S., Zapol, D. G., Liggins, G. C. in Zapol, W. M. (1996). Splenic contraction, catecholamine release, and blood volume redistribution during diving in the Weddell seal. *Journal of Applied Physiology*, 80(1), 298–306.
21. Hurford, W. E., Hong, S. K., Park, Y. S., Ahn, D. W., Shiraki, K. E. I. Z. O., Mohri, M. O. T. O. H. I. K. O. in Zapol, W. M. (1990). Splenic contraction during breath-hold diving in the Korean ama. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 932–936.
22. Irving, L. (1963). Bradycardia in human divers. *Journal of Applied Physiology*, 18(3), 489–491.
23. Kooyman, G. L. in Ponganis, P. J. (1998). The physiological basis of diving to depth: birds and mammals. *Annual Review of Physiology*, 60(1), 19–32.
24. Leff, A. R. in Schumacker, P. T. (1993). *Respiratory physiology: basic and applications (First Edition)*. Philadelphia: Saunders.
25. Lin, Y. C., Lally, D. A., Moore, T. O. in Hong, S. K. (1974). Physiological and conventional breath-hold breaking points. *Journal of Applied Physiology*, 37(3), 291–296.
26. Lindholm, P. in Lundgren, C. E. G. (2006). Alveolar gas composition before and after maximal breath-holds in competitive divers. *Undersea and hyperbaric medicine*, 33, 463–467.
27. Miyamoto, O. in Auer, R. N. (2000). Hypoxia, hyperoxia, ischemia, and brain necrosis. *Neurology*, 54(2), 362–362.
28. Park, Y. S., Rennie, D. W., Lee, I. S., Park, Y. D., Paik, K. S., Kang, D. H., ... Hong, S. K. (1983). Time course of deacclimatization to cold water immersion in Korean women divers. *Journal of Applied Physiology*, 54(6), 1708–1716.
29. Pelizzari, U. in Tovaglieri, S. (2004). *Manual of freediving: Underwater on a single breath*. Reddick: Idelson-Gnocchi.
30. Richardson, M. X., Lodin, A., Reimers, J. in Schagatay, E. (2008). Short-term effects of normobaric hypoxia on the human spleen. *European journal of applied physiology*, 104(2), 395–399.
31. Ridgway, L. in McFarland, K. (2006). Apnea diving: long-term neurocognitive sequelae of repeated hypoxemia. *The Clinical neuropsychologist*, 20(1), 160–176.
32. Schaefer, K. E., Hastings, B. J., Carey, C. R. in Nichols, G. (1963). Respiratory acclimatization to carbon dioxide. *Journal of applied physiology*, 18(6), 1071–1078.
33. Schagatay, E. (2009). Predicting performance in competitive apnea diving. Part 1: static apnoea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 39(2), 88–99.
34. Schagatay, E. in Andersson, J. (1998). Diving response and apneic time in humans. *Undersea and hyperbaric medicine*, 25(1), 13.
35. Schagatay, E., Andersson, J., Hallen, M. in Palsson, B. (2001). Physiological and genomic consequences of intermittent hypoxia. Selected contribution: role of spleen emptying in prolonging apnoeas in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 90(4), 1623–11629.
36. Schagatay, E., Haughey, H. in Reimers, J. (2005). Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas. *European journal of applied Physiology*, 93(4), 447–452.
37. Schagatay, E. in Holm, B. (1996). Effects of water and ambient air temperatures on human diving bradycardia. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 73(1-2), 1–6.
38. Schagatay, E., Lodin, A. in Richardson, M. (2007a). *Lung volume and diving performance in elite apnoeists (Abstract)*. 33th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh: Egypt.
39. Schagatay, E., Lodin, A. in Richardson, M. (2007b). *Spleen size and diving performance in elite apnoeists (Abstract)*. 33th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh: Egypt.
40. Schagatay, E., van Kampen, M. in Andersson, J. (1999). Effects of repeated apnoeas on apnoeic time and diving response in non-divers. *Undersea and hyperbaric medicine*, 26, 143–149.
41. Schagatay, E., van Kampen, M., Emanuelsson, S. in Holm, B. (2000). Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. *European journal of applied physiology*, 82(3), 161–169.
42. Schuitema, K. in Holm, B. (1988). The role of different facial areas in eliciting human diving bradycardia. *Acta physiologica scandinavica*, 132(1), 119–120.
43. Stewart, I. B. in McKenzie, D. C. (2002). The human spleen during physiological stress. *Sports Medicine*, 32(6), 361–369.
44. Tanaka, S., Uehara, T. in Nomura, Y. (2000). Up-regulation of protein-disulfide isomerase in response to hypoxia/brain ischemia and its protective effect against apoptotic cell death. *Journal of Biological Chemistry*, 275(14), 10388–10393.
45. Telles, S., Reddy, S. K. in Nagendra, H. R. (2000). Oxygen consumption and respiration following two yoga relaxation techniques. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 25(4), 221–227.
46. Tetzlaff, K., Scholz, T., Walterspacher, S., Muth, C. M., Metzger, J., Roecker, K. in Sorichter, S. (2008). Characteristics of the respiratory mechanical and muscle function of competitive breath-hold divers. *European journal of applied physiology*, 103(4), 469–475.
47. Tikuisis, P., Jacobs, I., Moroz, D., Vallerand, A. L. in Martineau, L. (2000). Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 89(4), 1403–1411.
48. Watanabe, N., Reece, J. in Polus, B. I. (2007). Effects of body position on autonomic regulation of cardiovascular function in young, healthy adults. *Chiropractic and osteopathy*, 15(1), 1.
49. Wittaker, L. A. in Irvin, C. G. (2007). Going to extremes of lung volume. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 831–833

mag. Aleš Koštomaj, prof. šp. vzg.  
Osnovna šola Mengeš, Šolska ulica 11,  
1234 Mengeš  
ales.kostomaj@gmail.com