



Jernej Kapus<sup>1</sup>,  
Jure Daić<sup>2</sup>, Samo Jeranko<sup>3</sup>, Anton Ušaj<sup>1</sup>

# Laboratorijski testi kot pomoč pri ocenjevanju zmogljivosti potapljačev

## Izvleček

V preteklem letu smo v Laboratoriju za biodinamiko začeli s testiranjem potapljačev na diha. Vso vadbeno sezono smo spremljali pripravljenost dveh vrhunskih slovenskih tekmovalcev z željo analizirati učinke njihovih vadb in jima tako pomagati pri nadaljnji pripravi. Glede na to, da se do sedaj pri nas takih testiranj še ni izvajalo, je glavni namen pričujočega članka predstaviti teste, njihovo izbiro in ne nazadnje izzive, ki nas še čakajo.

**Ključne besede:** potapljanje, testiranje, zadrževanje diha, moč izdišnih mišic



## Laboratory tests for apnea divers

### Abstract

Last year, the process of testing of apnea divers was started in the Laboratory of Biodynamics. The abilities of two Slovenian elite apnea divers were regularly monitored throughout the competitive season. Due to the fact that physical improvements – including increased pulmonary volumes, expiratory muscle strength and diving responses during apnea with face immersion – depend on the nature of training program, the purpose of those testings was to help them at their training plan. The aim of the paper is to present the tests, our first experiences and further challenges.

**Keywords:** apnea diving, testing, apnea with face immersion, strength of inspiratory muscles

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Laboratorij za biodinamiko

<sup>2</sup>Športno društvo H2O team

<sup>3</sup>Društvo za podvodni ribolov Tjulnji

## ■ Na kratko o potapljanju

Glede na izvedbo lahko potapljanja na dih delimo v dve skupini. V prvo skupino spadajo krajši zaporedni potopi s kratkimi vmesnimi odmori in s ciljem čim več časa na uro ali na dan preživeti na določeni ne največji globini. Takšen način je značilen za rekreativno potapljanje, podvodni ribolov, podvodno fotografiranje, nabiranje školjk in biserov ter podvodni hokej in ragbi. V drugo skupino pa lahko uvrščamo enkratne in glede na trajanje ali dolžino ali globino maksimalne potope, ki so značilni za tekmovalno obliko potapljanja.

Potapljaška tekmovanja iz ustrezno določenimi pravili in natančnim beleženjem rekordov potekajo v več disciplinah, bodisi bazenskih (statična apneja, dinamična apneja s plavutmi in dinamična apneja brez plavutk) bodisi globinskih (potop s konstantno obtežitvijo, potop s konstantno obtežitvijo brez plavuti, potop s spremenljivo obtežitvijo, prosti potop in potop brez omejitev). Bolj ali manj dolgi potopi so odvisni od različnih omejitvenih dejavnikov. Kljub temu pa večina potapljačev tekmuje v vseh, zato njihova vadba običajno ni specializirana le za eno smer. Učinki ustrezne vadbe se tako odražajo v časovnem podaljšanju zadrževanja diha (statična apneja), podaljšanju podvodnega plavanja (dinamični apneji s plavutkami in brez njih) in globljem potopu (globinske discipline). Potapljač se torej z vadbo do določene mere prilagodi na ekstremne okoliščine. Kako, na kakšen način, pa je večje vprašanje. Vodno okolje in trenutna merilna tehnologija namreč ne omogočata spremljanja dogajanja v organizmu neposredno med potopom. Da bi temu vendarle zadostili, smo pri testiranju potapljačev za glavni test izbrali **statično apnejo ali zadrževanje diha v posodi z vodo** (Lemaitre, Buchheit, Joulia, Fontanari in Tourny-Chollet, 2008; Perini idr., 2008; Overgaard, Friis, Pedersen in Lykkeboe, 2006; Schagatay in Andersson, 1998). To je naloga, ki jo je možno izvesti v laboratoriju in pri kateri potapljača izpo-



Slika 1: Tekmovanje v statični apneji (foto: Samo Jeranko, osebni arhiv).

stavimo vsaj približno podobnim okoliščinam, kot se pojavijo na tekmovanju.

### Disciplina statična apneja

Statična apneja je tekmovalna disciplina, ki se običajno izvaja v bazenu in pri kateri se meri čas zadrževanja diha (Slika 1). Potapljač leži v prsnem položaju na vodni gladini. Obraz ima v vodi in tako potopljene dihalne poti. Ob njem je ves čas partner, ki ga varuje. Med izvedbo in po njej se mora po predpisanim protokolu odzivati sodniku.

Glede na to, da potapljač sproščeno miruje na vodni gladini, je uspešnost v tej disciplini odvisna le od zadrževanja diha. To je sposobnost, ki je tudi sicer osnova vsem ostalim disciplinam ter načinom potapljanja. Odvisna je od (Schagatay, 2009; Schagatay, 2010):

1. Prostornine  $O_2$  v telesu (pljuča, tkiva in kri). Največja zaloga  $O_2$  v telesu so pljuča. Torej so pomembne njihova velikost in različne dihalne tehnike, s katerimi je možno povečati zadnji vdih tudi preko velikosti vitalne kapacitete. Zaloge  $O_2$  v tkivih se nahajajo v mišičnem hemoglobinu, medtem ko so zaloge v krvi odvisne od skupne mase hemoglobina v njej, torej od sestave krvi. Pri slednjem ima pomembno vlogo tudi vranica, ki je glavno skladišče eritrocitov. Med daljšim zadrževanjem

dih se namreč skrči in iztisne dodatno količino krvi v krvni obtok.

2. Sposobnosti premagovanja hiperkapnije in hipoksije, torej okoliščin povišanega delnega tlaka  $CO_2$  v krvi in manjše količine  $O_2$  v telesu.
3. Stopnje presnove, ki je v največji meri določena z velikostjo srčno-žilnega potapljaškega refleksa.<sup>1</sup>

### ■ Laboratorijski testi

Izmed omenjenih omejitvenih dejavnikov statične apneje smo pri testiranjih potapljačev lahko spremljali:

- velikost potapljaškega refleksa s pomočjo spreminjanja frekvence srca (FS) in posredno tudi sposobnost premagovanja hipoksije ter hiperkapnije med *testom statične apneje v posodi z vodo*,
- velikost pljučnih volumnov s *spirometričnimi meritivami*,
- moč vdišnih in izdišnih mišic z *merjenjem največjega inspiracijskega in ekspiracijskega pritiska*. Ta sposobnost sicer ni neposredno povezana s sposobnostjo zadrževanja diha pri statični apneji, je pa pomembnejši dejavnik pri globinskih disciplinah.

<sup>1</sup>Zahtevnejšemu bralcu priporočamo pregledni članek Erike Schagatay z naslovom *Predicting performance in competitive apnoea diving. Part 1: static apnea*, kjer so učinki omenjenih dejavnikov in njihova prilagoditev ob ustrezni vadbi natančneje opredeljeni.

## Test statične apneje v posodi z vodo

Pred testom si je potapljač nos zatisnil s ščipalko, pod prsi namestil merilec FS in na kazalec roke pritržil ščipalko s senzorjem pulzne oksimetrije, s katero smo merili zasičenost krvi s kisikom ( $\text{SaO}_2$ ). V ležečem prsnem položaju v opori na podlahteh se je sprostil in ustrezno pripravil na apnejo. V mirovanju pred njo smo približno minuto merili pljučno ventilacijo, dihalni volumen, porabo  $\text{O}_2$  in delni tlak  $\text{O}_2$  ter  $\text{CO}_2$  ob koncu izdihla tako, da je ležal z glavo na deski nad posodo z vodo (Slika 2).



Slika 2: Priprava in merjenje dihalnih kazalcev pred apnejo (foto: Bogdan Martinčič).

Nato smo desko odmaknili, potapljač se je nadihal, brez pakiranja<sup>2</sup> zajel sapo in potopil glavo (Slika 3). Temperatura vode v posodi je bila  $30^\circ\text{C}$ . Med apnejo je z dlanjo dvakrat dal znak. Prvič, ko so se začela spontana krčenja dihalnih mišic (trenutek A), in drugič, ko so bila

<sup>2</sup>Pakiranje zraka je tehnika dodatnega požiranja zraka po maksimalnem vdihu, ki jo potapljači uporabljajo za povečanja volumna zadnjega vdihla pred maksimalnim potopom (Lindholm in Nyren, 2005).

ta krčenja tako močna, da jih ni mogel več umiriti (trenutek B).



Slika 3: Statična apneja v posodi z vodo (foto: Bogdan Martinčič).

Ko ni mogel več zadrževati diha, je dvignil glavo, na obraz smo mu takoj naredili masko, skozi katero je tudi prvič izdihnil. Na ta način smo mu še približno minuto po apneji merili vrednosti dihalnih kazalcev (Slika 4).



Slika 4: Merjenje dihalnih kazalcev po apneji (foto: Bogdan Martinčič).

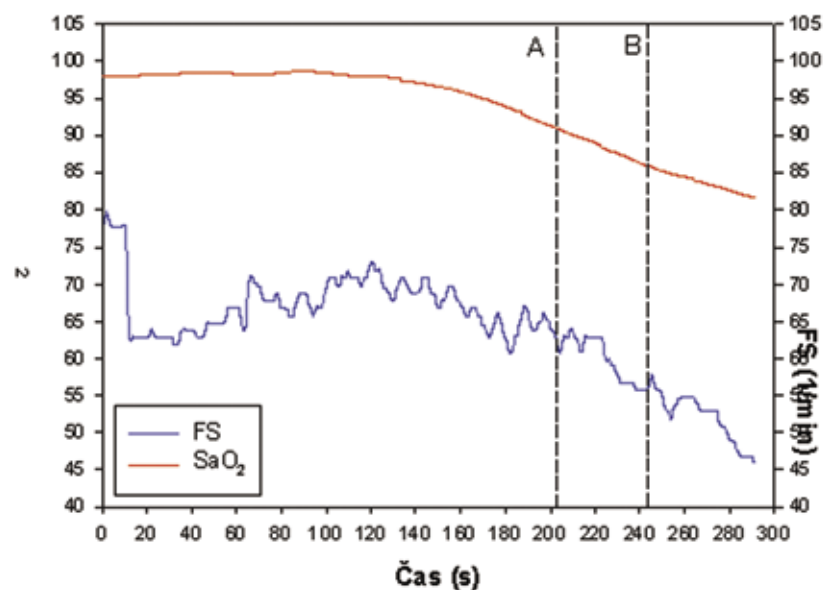
$\text{SaO}_2$  in FS smo pred apnejo, med njo in po njej merili z napravo BIOPAC. Dihalni kazalci so bili merjeni pred apnejo in

po njej z napravo  $V_{\text{MAX}29}$  (Sensor Medicis, ZDA).

Pri vsakem testiranju sta potapljača opravila enako število apnej. Odmor med njimi je bil vedno 5 minut. Povprečno trajanje zadnje ponovitve, ki so sicer bile pri posameznih testiranjih vedno najdaljše, je bilo  $270 (\pm 49)$  sekund. Pri tem sta se trenutka A in B pojavljala pri približno 62 % oziroma 90 % končnega časa apneje. Grafikon 1 prikazuje primer krivulj  $\text{SaO}_2$  in FS med statično apnejo v posodi z vodo.

Krivulje  $\text{SaO}_2$  med apnejo v posodi z vodo so bile tudi pri ostalih apnejah precej podobne (rdeči) krivulji, predstavljeni v Grafikonu 1. Ob začetku apneje so bile vrednosti nekaj časa nespremenjene, podobne vrednostim pred njo, nato pa so se začele zniževati za  $7 (\pm 1)$  % na minuto. Krivulje, izmerjene pri posameznih apnejah, so se med vadbeno sezono očitneje razlikovale v dveh značilnostih, kot sta:

1. trenutek začetka sprememb. V povprečju so se vrednosti  $\text{SaO}_2$  začele zniževati v  $52 (\pm 14)$  % končnega časa trajanja apneje;
2. najnižje vrednosti  $\text{SaO}_2$ , ki so segale od 92 % do 63 %. Slednja je bila še vedno bistveno višja od 50 %, torej zasičenosti, pri kateri naj bi se pri netreniranih



Grafikon 1: Primer krivulj zasičenosti krvi s kisikom in frekvence srca med statično apnejo v posodi z vodo. Navpični črti označujeta točki A in B, torej trenutka, ko so se pojavila prva in nato tudi močnejša krčenja dihalnih mišic.



Ijudeh že lahko pojavljale tovrstne težave.<sup>3</sup> Pri treniranih potapljačih je ta meja še nekoliko nižja (Schagatay, 2009).<sup>4</sup> Po izkušnjah obeh potapljačev se zdi, da okoliščine testa (ležanja na tleh, naslanjanje z vratom na rob posode, dotikanje s čelom dna ali polne platenke) onemogočajo zelo sproščeno zadrževanje diha, ki je sicer značilno za izvedbo statične apneje v bazenu. Posledično so tudi izvedbe apneje v laboratoriju krajše in s tega vidika zagotovo varnejše.

S pomočjo krivulje FS se najlažje spremlja delovanje potapljaškega refleksa, ki predstavlja zaščito organizma ob prekinitvi dihanja in potopitvi obraza v vodo (Foster in Sheel, 2005). Periferna vazokonstrikcija namreč povzroči preazporejanje krvi (in s tem  $O_2$ ) iz perifernih delov telesa v sredico do vitalnih organov, kot so srce, pljuča in možgani. Potapljaški refleks združuje različne srčne, žilne in dihalne odzive ter se najočitnejše odraža v znižanju FS (bradikardija). Podobno kot pri (modri) krivulji, predstavljeni v Grafikonu 1, so se tudi pri ostalih merjenjih FS pri statičnih apnejah v posodi z vodo med sezono pokazala tri območja, kar je sicer značilno za odlične potapljače (Perini idr., 2008; Perini, Gheza, Moia, Sponsiello in Ferreti, 2010):

1. Območje hitrega znižanja FS. Vrednosti FS so se zaradi zadrževanja diha in potopitve obraza v vodo (povečanje delovanje vagusnega živca) takoj po začetku znižale za  $22 (\pm 4) \%$  in se po približno 30 sekundah ustalile.
2. Stabilno območje FS, ki je trajalo od konca prvega do začetka ponovnega znižanja vrednosti v tretji ali četrti minuti apneje. Ob ugotovljenih konstantnih vrednostih krvnega tlaka in srčnega *outputa* naj bi to območje predstavljalo uspešno prilagoditev srčno žilnega sistema novim okoliščinam (Perini idr., 2008; Perini idr., 2010). Zanimivo je, da

<sup>3</sup>Najresnejša nevarnost pri potapljanju na dih nasploh je hipoksija možganskih celic in posledična izguba zavesti. Še posebno pogosta je pri treniranih potapljačih (Craig, 1976).

<sup>4</sup>Najnižja vrednost  $P_{E_{T_{O_2}}}$  ob koncu prvega izdihaja po apneji v posodi z vodo je bila 6,6 kPa. To je bistveno več od 2,7 kPa, torej od vrednosti, pri kateri so nekateri trenirani potapljači izgubili koordinacijo gibov – doživeli sambo (Lindholm in Lundgren, 2006).

so se vrednosti FS pri obeh potapljačih v tem območju celo zvišale (za  $11 (\pm 2) 1/\text{min}$ ; Grafikon 1). Razlog za dvig vrednosti FS nam ni poznan. Morda se je očitneje izrazil učinek dražljajev receptorjev na nateg v pljučih (zvišanje FS zaradi velikega pljučnega volumna), ki bi bil lahko v 1. območju prekrit z učinkom delovanja vagusnega živca. Konec tega območja naj bi sovpadal s trenutkoma A, torej z začetkom spontanega krčenja dihalnih mišic (Perini idr., 2008; Perini idr., 2010).

3. Območje ponovnega znižanja FS, ki je trajalo od konca drugega območja do konca apneje. Za to območje, ki se sicer pojavi le bi boljših potapljačih, je značilna očitnejša hipoksija in posledično periferna vazokonstrikcija z izrazitim povečanjem krvnega tlaka ter vedno močnejša krčenja dihalnih mišic (Lemaitre idr., 2008; Perini idr., 2008; Perini idr., 2010).

### Spirometrični testi

Spirometrične teste smo izvedli po standardnem protokolu (Miller idr., 2005). Potapljač jih je opravil dvakrat: prvič ob običajnem maksimalnem vdihu in drugič po pakiranju zraka.

Zadrževanje diha pri velikih pljučnih volumnih ima pomemben učinek na velikost pljučnih volumnov (Carey, Schaefer in Alvis, 1956; Skogstad, Thorsen in Haldorsen, 2000). Povprečna vrednost vitalne kapacitete potapljačev je bila  $8,92 (\pm 0,65)$ , kar je predstavljalo približno 139 % pričakovanih vrednosti glede na spol, njuno starost in višino. Možni vzroki za velike pljučne volumne so lahko večji prsni koš in večja količina alveolov (Armour, Donnelly in Bye, 1991), večja podajnost pljučnega tkiva (Clanton, Dixon, Drake in Gladek, 1987) ter večja moč inspiratornih dihalnih mišic (Clanton idr., 1987, Courteix, Obert, Lecoq, Guenon in Koch, 1997). Opisane lastnosti so lahko posledica dednosti ter predhodne selekcije (Adir, Shupak, Laor in Weiler-Ravell, 2005; Skogstad idr., 2000) in/ali ustrezne dolgoletne potapljaške vadbe.

Tehnika pakiranja zraka je povečala vitalno kapaciteto potapljačev za približno 12 %. Dosedanje raziskave so izme-

rile za 24 % (Lindholm in Nyren, 2005) in celo za 47 % (Loring, Butler, Lindholm, Jacobsen in Ferrigno, 2007) večji volumen. Zaradi večje zaloge  $O_2$  so lahko potapljači s pomočjo pakiranja zraka dlje zadrževali dih pri statični apneji (+12 %) in preplavali večjo razdaljo pri dinamični apneji brez plavutk (+13 %; Overgaard idr., 2006). Kljub temu je potrebno to tehniko uporabljati z zadržkom. Zaradi povečanega pritiska zraka (Loring idr., 2007) je namreč možna barotrauma pljuč (Chung idr., 2010).

### Testa moči vdišnih in izdišnih mišic

Moč vdišnih in izdišnih mišic smo določili z merjenjem največjega inspiracijskega (MIP) in ekspiracijskega pritiska



Sliki 5: Merjenje največjega ekspiracijskega pritiska (foto: Bogdan Martinčič).

(MEP). Pri merjenju MIP je potapljač temeljito izdihnil in ob rezidualnem volumnu kar najmočnejše vdihnil skozi manometer (MicroRMP, MicroMedical Ltd, Kent, Velika Britanija). Pri merjenju MEP pa je potapljač temeljito vdihnil do vitalne kapacitete in nato kar najmočnejše izdihnil skozi manometer (Sliki 5). Obe meritvi je večkrat ponovil, dokler niso bile izmerjene vrednosti znotraj 5 % (Kilding, Brown in McConnell, 2010).

Zaradi pogosto ekstremih okoliščin zahtevata vrhunsko potapljanje in temu primerna vadba tudi doseganje zelo velikih in zelo majhnih volumnov (Loring idr., 2006). To je možno le ob ustrezni podajnosti pljučnega tkiva in ob dovolj močnih vdišnih in izdišnih mišicah. Pri obeh potapljačih smo izmerili večjo moč izdišnih (povprečne vrednosti MEP so bile  $216 \pm 37$  cm-H<sub>2</sub>O) v primerjavi z vdišnimi mišicami (povprečne vrednosti MIP so bile  $139 \pm 25$  cm-H<sub>2</sub>O). Možna razloga zato sta pogosta uporaba tehnike Valsalva in pri vrhunskih potapljačih tudi prilagojena dihalna vadba na kopnem. S tehniko Valsalva (predvsem rekreativni) potapljači najpogosteje izenačujejo pritisk v ušesih med plitvejšimi potopih do 25 metrov. Pri tem skušajo izdihniti proti zaprtim ustom in zatisnjenima nosnicama. Ker aktiven potisk zraka iz pljuč ustvarjajo s krčenjem izdišnih mišic, predstavlja vsak potop tudi vadbo za njihovo krepitev. Pri globljih potopih se uporabljajo drugi načini izenačevanja pritiska v ušesih in je tehnika Valsalva le v pomoč pri tem. Z ustrezno pripravo dihalnih mišic, pljuč in prsnega koša se vrhunski potapljači že na kopnem pripravijo za globlje potope. Tako prilagojena dihalna vadba vključuje tudi vadbo izdišnih mišic v obliki ponavljajočih forsiranih izdihov do rezidualnega in še manjšega pljučnega volumna (Loring idr., 2006).

## ■ Zaključek

Menimo, da je predstavljeno testiranje smiselno, saj prve izkušnje kažejo, da so izmerjeni rezultati dobro odražali pripravljenost potapljačev. Kljub temu bo potrebno v bodoče pri teh testiranjih:

- standardizirati zadnji vdih pred testom statične apneje v posodi z vodo (Andersson in Schagatay, 1998; Overgaard idr., 2006). Način njegove izvedbe je bil pri dosedanjih testiranjih sicer podoben (maksimalni vdih brez pakiranja zraka), ni bil pa natančno nadzorovan. Posredni pokazatelj volumna zadnjega vdiha pred apnejo bi lahko bil volumen prvega izdiha po njej, vendar to ni dovolj natančno. Zato bomo v bodoče za vsakega potapljača posebej pred testom napolnili balon z natančno odmerjeno količino zraka. Slednje se bo določilo na osnovi njegove VC, izmerjene pri vsakokratnih spirometričnih meritvah. Zadnji vdih pred apnejo bo potapljač nato opravil tako, da bo balon izpraznil;
- izvesti test z vdihavanjem hiperkapnične mešanice, s katerim lahko natančneje določimo prilagojenosti potapljača na hiperkapnijo. Merjenje delnega tlaka CO<sub>2</sub> ob koncu prvega izdiha po testu statične apneje v posodi z vodo je namreč le posredni način spremljanja te sposobnosti. Pri testu z vdihavanjem hiperkapnične mešanice bo potapljač 30 minut kolesaril na kolesarskem ergometru pri nizki intenzivnosti. Prvih 15 minut bo vdihoval sobni zrak, drugih 15 minut pa hiperkapnično plinsko mešanico (Kelley, Owens in Fishman, 1982; McConnell in Semple, 1996). Občutljivost na CO<sub>2</sub> se bo nato določila kot odziv pljučne ventilacije na povišan delni tlak CO<sub>2</sub> ob koncu izdiha. Z enakim testom smo do sedaj v Laboratoriju za biodinamiko že preverjali učinke vadbe z nižjo frekvenco dihanja (Kapus, 2008). Podobne učinke, torej vadbene prilagoditev na hiperkapnijo, je pričakovati tudi po ustrezni potapljaški vadbi (Delapille, Verin, Tourny-Chollet in Pasquis, 2001; Florio, Morrison in Butt, 1979; Masuda, Yoshida, Hayashi, Sasaki in Honda, 1982).

Ob tem želimo v testiranje dodati tudi večstopenjske teste dinamičnih apnej s plavutmi ali brez njih. Potapljač bi torej izvedel več dinamičnih apnej v bazenu, pri čemer bi vsako odplaval enakomerno, vendar različno hitro. Odmor med apnejami bi bil primerno dolg, morda bi test izvedli celo tako, da bi posamezne apneje plaval v več dneh. Z merjenjem SaO<sub>2</sub> in vsebnosti laktatnih ionov pred apnejami in po njih bi lahko dobili tisto hitrost plavanja, ki še ne bi

povzročila izrazitih sprememb v telesu pri merjenih kazalcih. Skrbno izbrana in med izvedbo natančno nadzorovana hitrost plavanja je namreč eden od ključnih omejitvenih dejavnikov pri bazenskih disciplinah dinamičnih apnej s plavutmi ali brez njih (Schagatay, 2010).

S tako izpopolnjenimi testiranjimi bo v bodoče lažje ugotavljati učinke različnih tipov vadbe potapljačev na njihovo zmogljivost in posledično tudi na tekmovalno uspešnost.

## ■ Literatura

1. Adir, Y., Shupak, A., Laor, A. in Weiler-Ravell, D. (2005). Large lungs in divers. Natural selection or a training effect? *Chest*, 128 (1), 224–228.
2. 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.
3. Armour, J., Donnelly, P.M. in Bye, P.T.P. (1993). The large lungs of elite swimmers: an increased alveolar number? *European Respiratory Journal*, 6 (2), 237–247.
4. Carey, C.R., Schaefer, K.E. in Alvis, H.J. (1956). Effect of skin diving on lung volumes. *Journal of Applied Physiology*, 8 (5), 519–523.
5. Chung, S.C., Seccombe, L.M., Jenkins, C.R., Frater, C.J., Ridley, L.J. in Peters, M.J. (2010). Glossopharyngeal insufflation causes lung injury in trained breath-hold divers. *Respirology*, 15 (5), 813–817.
6. Clanton, T.L., Dixon, G.F., Drake, J. in Gadek, J.E. (1987). Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning. *Journal of Applied Physiology*, 62 (1), 39–46.
7. Courteix, D., Obert, P., Lecoq, A., Guenon, P. in Koch, G. (1997). Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistances and on the maximal expiratory flow-volume relationship in prepubertal girls. *European Journal of Applied Physiology & Occupational physiology*, 76 (3), 264–269.
8. Craig, A.B. (1976). Summary of 58 cases of loss of consciousness during underwater swimming and diving. *Medicine and Science in Sports*, 8 (3), 171–175.
9. Delapille, P., Verin, E., Tourny-Chollet, C. in Pasquis, P. (2001). Ventilatory responses to hypercapnia in divers and non-divers: effects of posture and immersion. *European Journal of Applied Physiology*, 86 (1), 97–103.
10. Florio, J.T., Morrison, J.B. in Butt, W.S. (1979). Breathing pattern and ventilatory response

- to carbon dioxide in divers. *Journal of Applied Physiology*, 46 (6), 1076-1080.
11. Foster, G.E. in Sheel, W.A. (2005). The human diving response, its function, and its control. *Scandinavian Journal of Medicine Science and Sports*, 15, 3-12.
  12. Kelley, M.A., Owens, G.R. in Fishman, A.P. (1982). Hypercapnic ventilation during exercise: effects of exercise methods and inhalation techniques. *Respiration Physiology*, 50 (1), 75-85.
  13. Kapus, J. (2008). *Učinki vzdržljivostne vadbe z nižjo frekvenco dihanja*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
  14. Kilding, A.E., Brown, S. in McConnell, A. (2010). Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *European Journal of Applied Physiology*, 108 (3), 505-511.
  15. Lemaitre, F., Buchheit, M., Joulia, F., Fontanari, P. in Tourny-Chollet, C. (2008). Static apnea effect on heart rate and its variability in elite breath-hold divers. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 79 (2), 99-104.
  16. 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 (6), 463-467.
  17. Lindholm, P. in Nyren, S. (2005). Studies on inspiratory and expiratory glossopharyngeal breathing in breathhold divers employing magnetic resonance imaging and spirometry. *European Journal of Applied Physiology*, 94 (5-6), 646-651.
  18. Loring, S.H., Butler, J.P., Lindholm, P., Jacobsen, F. in Ferrigno, M. (2006). Transpulmonary pressures and lung mechanics with glossopharyngeal insufflation and exsufflation beyond normal lung volumes in competitive breath-hold divers. *Journal of Applied Physiology*, 102, 841-846.
  19. Masuda, Y., Yoshida, A., Hayashi, F., Sasaki, K. in Honda, Y. (1982). Attenuated ventilator responses to hypercapnia and hypoxia in assisted breath-hold divers (Funado). *Japanese Journal of Physiology*, 32 (3), 327-336.
  20. McConnell, A.K. in Semple, E.S.G. (1996). Ventilatory sensitivity to carbon dioxide: the influence of exercise and athleticism. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (6), 685-691.
  21. Miller, M.R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., Crapo, R., Enright, P., van der Grinten, C.P.M., Gustafsson, P., Jensen, R., Johnson, D. C., MacIntyre, N., McKay, R., Navajas, D., Pedersen, O.F., Pellegrino, R., Viegi, G., Wanger, J. in Force, A.E.T. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26 (2), 319-338.
  22. Overgaard, K., Friis, S., Pedersen, R.B. in Lykkeboe, G. (2006). Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and  $P_{ET}O_2$  and  $P_{ET}CO_2$  on apnea performance in trained breath-hold divers. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 158-164.
  23. Perini, R., Tironi, A., Gheza, A., Butti, F., Moia, C. in Ferretti, G. (2008). Heart rate and blood pressure time courses during prolonged dry apnoea in breath-hold divers. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 1-7.
  24. Perini, R., Gheza, A., Moia, C., Sponsiello, N. in Ferretti, G. (2010). Cardiovascular time courses during prolonged immersed static apnoea. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 277-283.
  25. Schagatay, E. (2009). Predicting performance in competitive apnoea diving. Part 1: static apnea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 39 (2), 88-99.
  26. Schagatay, E. (2010). Predicting performance in competitive apnoea diving. Part 2: dynamic apnea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 40 (1), 11-22.
  27. Schagatay, E. in Andersson, J. (1998). Diving response and apneic time in humans. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 25 (1), 13-19.
  28. Skogstad, M., Thorsen, E. in Haldorsen, T. (2000). Lung function over the first 3 years of a professional diving career. *Occupational and Environmental Medicine*, 57, 390-395.

doc. dr. Jernej Kapus  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport,  
Katedra za plavanje, vodne aktivnosti v  
naravi in vodne športe  
Gortanova 22, 1000 Ljubljana  
nejc.kapus@fsp.uni-lj.si