



Aleš Koštomaj,
Jernej Kapus

Statična apneja na vdih in izdih v vodi in na kopnem

Izvleček

Glavni namen raziskave, v kateri je sodelovalo osem slovenskih potapljačev na diih, je bil primerjati učinke statičnih apnej po vdihu in po izdihu, izvedenih v vodi in na kopnem. Merjenci so že več let v rednem vadbenem procesu in veljajo za odlične potapljače na diih na državni in svetovni ravni. Vsak je v vodi izvedel dve maksimalni statični apneji po vdihu in dve po izdihu. Enak protokol je ponovil tudi na kopnem. Merili smo naslednje spremenljivke: čas trajanja posamezne apneje, začetek spontanega krčenja dihalnih mišic, frekvenca srca, sistolični in diastolični krvni tlak ter zasičenost krvi s kisikom. Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da pri frekvenci srca vadba statične apneje po vdihu na kopnem nima podobnega učinka na telo in uravnavne mehanizme kot vadba statične apneje po vdihu v vodi. Domnevamo pa lahko, da ima vadba statične apneje po izdihu na kopnem podobne učinke kot vadba statične apneje po izdihu v vodi. Kot dobro nadomestilo vadbe statične apneje po izdihu v vodi zato predlagamo statično apnejo po izdihu na kopnem. Rezultati raziskave so eden izmed prvih pomembnih korakov v našem prostoru pri izbiri ustreznega vadbenega procesa potapljačev na diih.

Ključne besede: potapljanje na diih, statična apneja, frekvenca srca, zasičenost krvi s kisikom, krvni tlak in spirometrija.



Foto: Aleš Koštomaj

Static apnoea in water and on land by breathing in and breathing out

Abstract

The main purpose of the research involving eight Slovenian men divers on the breath, was to compare the effects of static apnoea after inhalation and after exhalation carried out in water and on land. The divers that were measured have been in the regular training process for many years, and they are considered to be excellent breath-hold divers at national and world levels. Each diver performed static apnoeas in water, two maximum static apnoeas done after breathing in and two after breathing out. And then each diver did the same on land. We measured the following variables: the time duration of each apnoea, the beginning of a spontaneous contraction of the respiratory muscles, the heart rate, systolic blood pressure, diastolic blood pressure and blood saturation with oxygen. According to our results, it can be concluded that with the variable heart rate the training of static apnoea after breathing in on land does not have a similar effect on the body and regulating mechanisms as the training of static apnoea after breathing in in water. The results, on the other hand, show that it can be assumed that the training of static apnoea after breathing out on land has the effects similar to the ones of the training of static apnoea after breathing out in water. Thus the training of static apnoea after breathing out on land can be suggested as a good supplement for the training of static apnoea after breathing out in water. The results of this study are one of the first important steps in Slovenia when selecting an appropriate training process of breath-hold divers.

Key words: breath-hold diving, static apnoea, heart rate, blood saturation with oxygen, blood pressure and spirometry.

■ Uvod

Glavna značilnost tekmovalnih oblik potapljanja na dihanje so enkratni maksimalni potopi, ki se odražajo v globini, daljini in trajanju (Kapus, Daić, Jeranko in Ušaj, 2013). Tekmovanja v potapljanju na dihanje 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. Tekmovanja v daljino in v trajanju pa se prirejajo v bazenih. 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. Izmed vseh oblik potapljanja je statična apneja še najbolj primerna za raziskovanje, saj potapljač med apnejo (v vodi in na kopnem) popolnoma miruje (Sivieri, Fagoni, Bringard, Capogrosso, Perini in Ferretti, 2014; Perini, Gheza, Moia, Sponsiello in Ferretti, 2010; Lemaitre, Buchheit, Joulia, Fontanari in Tourny-Chollet, 2008; Perini, Tironi, Gheza, Butti, Moia in Ferretti, 2008).

■ Predmet in problem

Vadba potapljačev na dihanje je sestavljena iz različnih vadbenih tipov oziroma oblik vadbe, ki se med seboj prepletajo glede na vadbeno obdobje in glede na možnost izvedbe. Glavni cilj večine potapljačev na dihanje je potapljanje v globino, ki pa je možno samo v morjih oziroma jezerih. Zaradi logističnih in vremenskih pogojev večino sezone potapljači vadijo v bazenih, kjer različno intenzivno plavalno vadbo v pripravljalnem obdobju kasneje nadgradijo z vadbo statične apneje na vdih, izdih, v vodi in na kopnem ter vadbo dinamične apneje s plavutjo ali brez nje. Statično in obe dinamični apneji izvajajo v obliki serij krajših ali daljših apnej s krajšimi ali daljšimi odmori med njimi. Pri tem sledijo principu, da se značilnim nizkim vsebnostim O_2 v telesu med apnejo prilagodijo z dolgimi apnejami in dolgimi odmori med njimi. To se imenuje O_2 vadba. Serije s krajšimi apnejami in krajšimi odmori med njimi pa predstavljajo CO_2 vadbo. S takšno vadbo potapljači zmanjšajo potrebo po vdihu oziroma

se nanjo do neke mere celo prilagodijo. V poletnih mesecih vadbo dopolnjujejo tudi z globljimi potopi v morjih in jezerih, kjer se postopoma prilagajajo na vedno večji vodni tlak. Pri tem so še posebno izpostavljena njihova pljuča in ušesa. Skozi vso sezono si potapljači vadbo na različne načine lahko tudi popestrijo z igro podvodnega ragbija ali hokeja v bazenih ali v obliki podvodnega ribolova v morju. Programi vadbe za eno tekmovalno sezono vsebujejo različne kombinacije predstavljenih vadbenih tipov. V veliki meri temeljijo na strokovnem znanju, ki izvira iz izkušenj potapljačev in iz poznavanja splošnih vadbenih principov. Jasnih znanstvenih potrditev je bilo žal na področju potapljaške vadbe do sedaj zelo malo. Glavni razlog za to je verjetno dejstvo, da trenutna merilna tehnologija ne omogoča spremljanja dogajanja v telesu potapljača pri tako ekstremnih pogojih (potopi v globino), kot sta velik vodni tlak in samo vodno okolje. Pri bazenskih disciplinah je vse skupaj manj zahtevno, saj je vodni tlak skorajda konstanten (minimalne spremembe v globini potopa). Pri obeh dinamičnih apnejah so zaradi gibanja telesa in vodnega okolja meritve zahtevnejše kot pri statični apneji, pri kateri telo popolnoma miruje. Statična apneja nam torej zaradi svojih značilnosti omogoča najbolj stabilno izvedbo meritev.

Večji kot je volumen zadnjega vdiha, daljša je apneja in obratno (Overgaard, Friis, Pedersen in Lykkeboe, 2006). Vadba apneje po izdihu omogoča potapljačem na dihanje racionalnejšo vadbo z vidika trajanja apneje. Apneja po izdihu je krajša. Spremembe potekajo hitreje. Zato se tudi v globino ni potrebno tako globoko potapljati, da dosežemo podobne učinke pri izenačevanju pritiska kot pri apneji po vdihu (Fattah, 2001). Pri apnejah na vdih v velike globine obstaja verjetnost, da pride do dekomprisijske bolezni. Pri apnejah na izdih v velike globine je ta verjetnost zelo majhna (Murat, 2012).

Pri apneji po izdihu je intenzivnejši tudi odziv potapljaškega refleksa (Murat, 2012). Vadba statične apneje po izdihu se vadi pri različnih volumnih pljuč (Mali, 2013). Manjši volumen pljuč naj bi imeli večji učinek na bradikardijo (Foster in Sheel, 2005). Kawakami, Natelson in DuBois (1967) so primerjali statično apnejo po maksimalnem vdihu in maksimalnem izdihu ter niso našli nobenih statistično značilnih razlik pri intratorakalnem pritisku ter različnih pljučnih

volumnih. Hong (1987) meni, da zato, ker so napačno merili intratorakalni pritisk.

Potapljači na dihanje vadijo statično apnejo v vodi in tudi na kopnem (Pelizzari in Tovaglieri, 2004; Nitsch, 2015). Vsaka oblika vadbe apneje s potopljenim obrazom, tako da sta usta in nos potopljena v vodi, je zaradi možnosti utopitve lahko nevarna za življenje, zato je prisotnost varnostnega potapljača nujna (Muth, Ehrmann in Radermacher, 2005; Lindholm in Lundgren, 2009). Vadba apneje na kopnem v hrbtni legi je edina varna, kadar vadimo sami. Pomembno je, da ležimo na udobnem ležišču z rahlo privzdignjenim trupom in glavo ter brez ščipalke za nos. Samo v tem primeru se bo telo rešilo samo in bomo nezavedno zadihali, ker imata usta in nos neoviran prehod do zraka. Vsi ostali položaji vadbe apneje na kopnem (sede, stoje, v teku, v hoji, na kolesu ...) in brez varovanja so lahko v primeru izgube zavesti nevarni (Lahtinen, Kurra in Nissinen, 2015). Marabotti idr. (2013) so v svoji raziskavi ugotovili, da med apnejo v vodi in na kopnem v času trajanja apneje ni pomembnejših razlik. Glede na to, da so vsa tekmovanja v apneji vedno v vodi, bi bilo zanimivo primerjati statično apnejo v vodi in na kopnem.

Glavni namen naloge je torej primerjati učinke statičnih apnej po vdihu in po izdihu, izvedenih v vodi in na kopnem.

■ Metode

Merjenci

V raziskavi je sodelovalo 8 slovenskih potapljačev na dihanje, moškega spola (starost 37 ± 8 , telesna višina 182 ± 8 cm, telesna teža 82 ± 8 kg in najboljši osebni čas statične apneje v vodi s pakiranjem 402 ± 60 s). Vsi merjenci so že več let v rednem vadbenem procesu in veljajo za odlične potapljače na dihanje na državni in svetovni ravni.

Opis meritev

Meritve so potekale v bazenu na Fakulteti za šport v Ljubljani. Razdeljene so bile na dva dela (voda in kopno). Vsak merjenec je v vodi izvedel dve maksimalni statični apneji po vdihu (v nadaljevanju apneja po vdihu) in dve maksimalni statični apneji po izdihu (v nadaljevanju apneja po izdihu). Enak protokol je ponovil tudi na kopnem. Vrstni red posameznih apnej (po vdihu, po izdihu, v vodi in na kopnem) je bil pri merjenjih naključen in različen.

Protokol ogrevanja je bil enak pri izvedbi v vodi in na kopnem. Pred prvo apnejo je bilo pet minut časa za ogrevanje. Med posameznimi apnejami je bilo tri minute odmora. Pri ogrevanju oziroma nadihavanju pred začetkom apneje in med njimi ni bilo omejitev, le hiperventilacija je bila prepovedana. Vsak je lahko uporabil svojo tehniko. Določena pa sta bila zadnji vdih pred apnejo in zadnji izdih pred apnejo. Zadnji vdih pred apnejo po vdihu je bil maksimalen, vendar brez pakiranja. Zadnji izdih pred apnejo po izdihu je bil maksimalen, pri tem so merjenci poskušali iz pljuč izdihniti ves zrak.

V vodi so bili merjenci oblečeni v neoprensko obleko, saj je bila temperatura vode 27,5 °C in zraka 29,5 °C. V vodi so merjenci ležali v prsnem položaju na vodni gladini s potopljenim obrazom, tako da sta bila usta in nos potopljena v vodo. Na obrazu so imeli merjenci le ščipalko za nos. Potapljaška maska, plavalna očala in podvodne leče niso bile dovoljene.

Na kopnem so bili merjenci oblečeni v plavalne kopalke. Meritve so izvajali na bazenski ploščadi. Ležali so v hrbtnem položaju na udobnem ležišču z rahlo privzdignjenim trupom in glavo. Na obrazu so imeli le ščipalko za nos.

Med vsako apnejo so merjenci z dvigom dlani dali znak, kdaj so se začela spontana krčenja dihalnih mišic. Ko merjenci niso mogli več držati diha, so apnejo končali.

Pri vseh apnejah smo merili naslednje spremljivke: čas trajanja posamezne apneje (KA – konec apneje), začetek spontanega krčenja dihalnih mišic (TK – točka krčenja), frekenco srca (FS), zasičenost krvi s kisikom (SaO_2) ter (KT). Vsak merjenec je v vodi in na kopnem izvedel dve maksimalni apneji po vdihu in tudi dve maksimalni apneji po izdihu. Za nadaljnje analize smo izbrali apnejo z daljšim trajanjem.

Vse merjence in vse apneje smo posneli z videokamero. Videokamera je snemala vse glasovne znake (znak za TK in KA), elektronsko štoparico za merjenje časa TK in KA, FS in napravo za merjenje SaO_2 .

Merjenec si je na prsni koš pod neoprensko obleko na golo kožo namestil merilec srčnega utripa. FS smo merili neprekinjeno vsakih pet sekund v vodi in na kopnem pred apnejo, med njo in po njej z merilcem srčnega utripa Polar. FS je prikazana v številu srčnih utripov na minuto (1/min). FS smo kontrolno merili tudi z obema oksimetroma



Slika 1. Statična apneja v vodi na meritvah (Koštomaj, 2016).

ma (Trusat in SPO medical). FS smo analizirali glede na 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % in 100 % delež končnega časa pri vseh osmih merjencih.

Pri vseh apnejah smo SaO_2 merili neprekinjeno z dvema napravama v vodi in na kopnem, pred apnejo, med njo in po njej. Uporabili smo pulzna oksimetra TruSat Oximeter (Datex-Ohmeda, ZDA) in PulseOx 5500 (SPO Medical Equipment, Israel). Merjencu smo na kazalec in prstanec desne roke pritrdili obe ščipalki s senzorjema pulzne oksimetrije. SaO_2 smo analizirali v 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % in 100 % deležu končnega časa pri vseh osmih merjencih.

Krvni tlak smo merili v vodi in na kopnem, v mirovanju minuto pred začetkom apne-

je ter vsako minuto trajanja posamezne apneje. Merili smo ga na levi roki z napravo Sinkopa SE 6400a v mmHg. Vrednosti sistoličnega in diastoličnega KT smo analizirali glede na delež končnega časa v 0 %, 40 % in 90 %.

Obdelava podatkov

Statistično analizo smo izvedli s statističnim programom SPSS 23 (SPSS Inc., Chicago, IL ZDA). Po izračunu opisne statistike smo podatke analizirali s splošnim linearnim modelom (GLM) analiza variance za ponovljene meritve in post hoc analizo z Bonferronijevim testom. Vsi podatki so predstavljeni v tabelah in slikah, izdelanih v programih Microsoft Excel 2016 in Microsoft Word 2016 (Microsoft Inc., Redmond, WA, ZDA).



Slika 2. Meritve statične apneje na kopnem (Koštomaj, 2016).

Tabela 1

Seznam kratic

Kratica	Spremenljivka
KA	Čas trajanja posamezne apneje (konec apneje)
TK	Začetek spontanega krčenja dihalnih mišic (točka krčenja)
FS	Frekvenca srca
SaO ₂	Zasičenost krvi s kisikom
KT	Sistolični in diastolični krvni tlak

Rezultati

Z vsemi osmimi merjenci smo uspešno izvedli vse meritve. Vsi rezultati so prikazani v tabelah in slikah kot aritmetične sredine in standardni odkloni ($AS \pm SO$).

Tabela 2

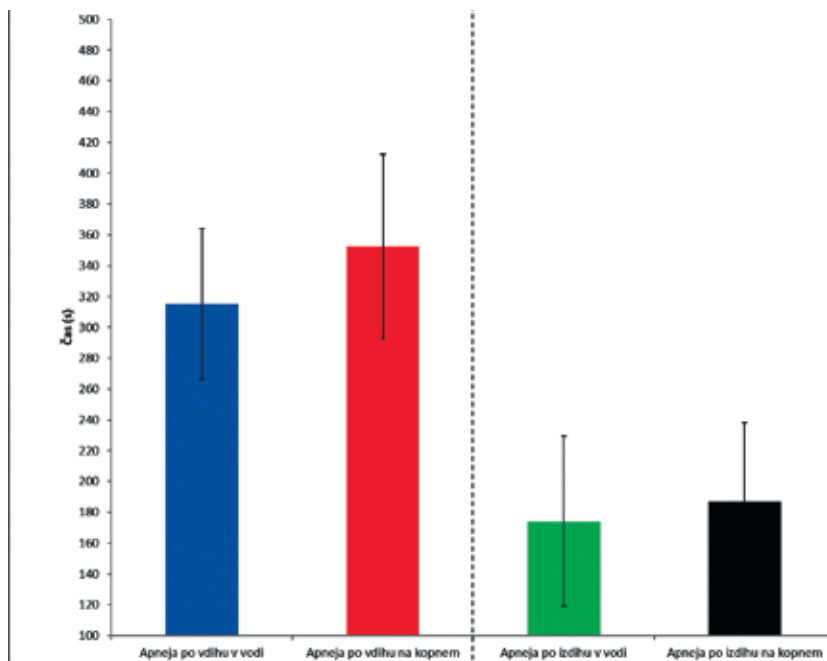
Rezultati meritev spirometričnih testov

Merjenci	VC (l)	FVC (l)	FEV ₁ (l/s)
M1	5,31	5,10	3,54
M2	7,10	6,96	5,72
M3	6,13	6,24	5,07
M4	8,49	8,01	5,26
M5	6,70	6,74	5,81
M6	6,77	7,01	5,98
M7	6,98	6,28	4,70
M8	6,83	6,53	4,96

Legenda: VC – vitalna kapaciteta v litrih; FVC – forsirana vitalna kapaciteta v litrih; FEV₁ – volumen forsiranega izdih v litrih v prvi sekundi.

Slika 3 prikazuje KA posameznih apnej. KA je bil najdaljši pri apneji po vdihu na kopnem s povprečnim časom 353 ± 60 s. Najdaljša izmerjena apneja po vdihu je bila na kopnem 462 s, najkrajša pa 250 s. Pri apneji po vdihu v vodi je bil povprečen čas 315 ± 49 s. Najdaljša apneja je bila dolga 405 s in najkrajša 260 s. Pri apneji po izdihu na kopnem je bil povprečen čas 187 ± 51 s. Najdaljša izmerjena apneja po izdihu na kopnem je bila 278 s, najkrajša pa 125 s. Merjenci so najmanj držali dih pri apneji po izdihu v vodi s povprečnim časom 174 ± 55 s. Najdaljša apneja je bila dolga 271 s in najkrajša 125 s.

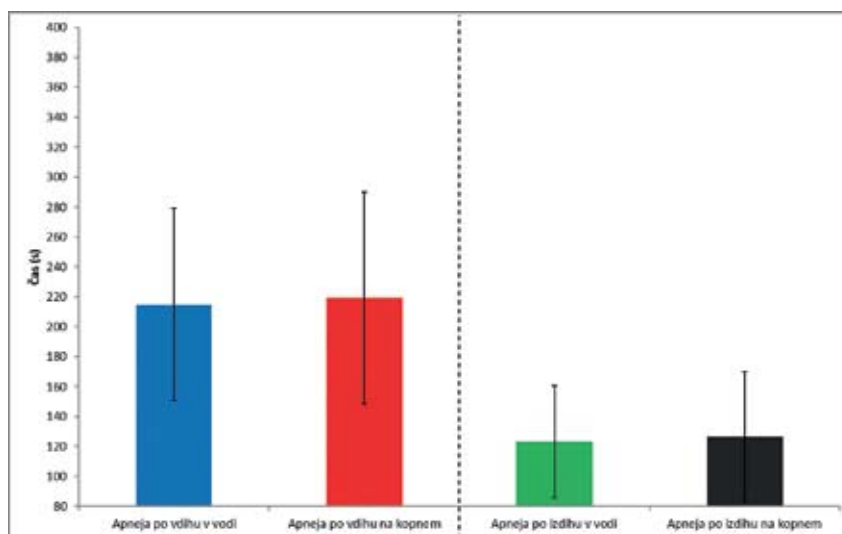
Slika 4 prikazuje TK posameznih apnej. Pri vseh apnejah (voda, kopno, vdih in izdih) je vedno cilj, da se TK pojavi čim kasneje. Nekateri avtorji TK povezujejo z zaščito zaloga O₂ v telesu (Palada idr., 2008; Dujic idr., 2009). TK se je najkasneje pojavila pri apneji po vdihu na kopnem s povprečnim časom 219 ± 71 s. Najprej se je to zgodilo



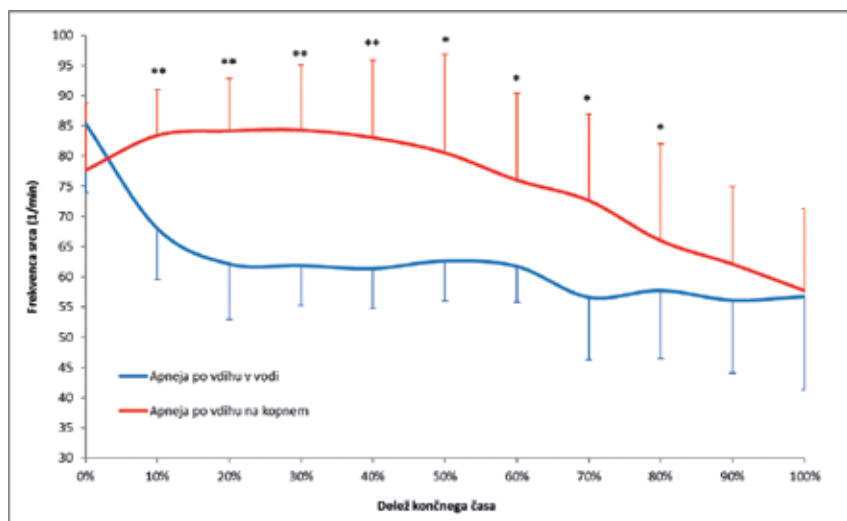
Slika 3. Trajanje posameznih apnej. Analiza variance za ponovljene meritve je sicer pokazala statistično pomembne razlike med apnejami, vendar ne med izvedbama po vdihu (v vodi in na kopnem) in med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem).

v 110. sekundi in najkasneje v 318. sekundi. Pri apneji po vdihu v vodi se je TK pojavila v 215 ± 64 s. Najprej v 120. sekundi in najkasneje v 297. sekundi. Pri apneji po izdihu na kopnem se je TK pojavila v 127 ± 43 s. Najprej v 55. sekundi in najkasneje v 203. sekundi. Najprej se je TK pojavila pri apneji po izdihu v vodi s povprečnim časom 123 ± 37 s. Najprej v 65. sekundi in najkasneje v 193. sekundi.

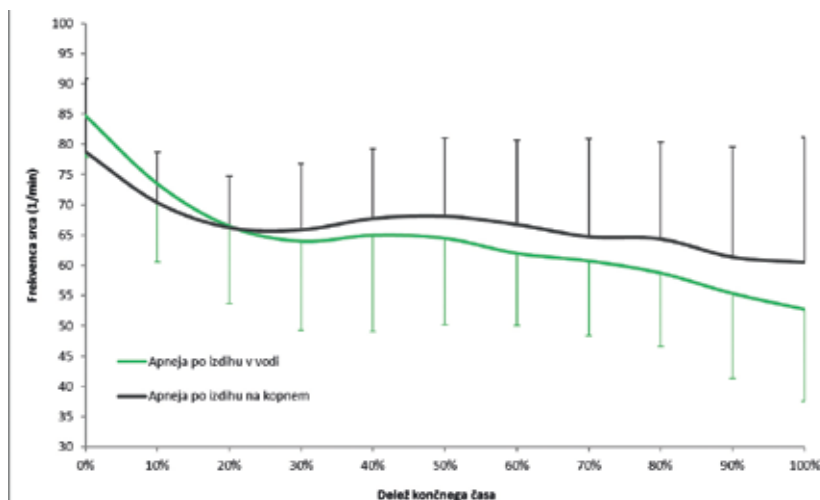
Slika 5 prikazuje vrednosti FS pri obeh apnejah po vdihu glede na delež končnega časa. Pri 0 % deležu končnega časa (začetek apneje) je bila očitna razlika v začetni FS med apnejo po vdihu v vodi 85 ± 11 (1/min) in apnejo po vdihu na kopnem 78 ± 11 (1/min). Najnižjo FS pri obeh apnejah po vdihu smo izmerili pri nekem potapljaču pri 70 % deležu končnega časa v apneji po vdihu v vodi (41 (1/min)).



Slika 4. Trenutek začetka spontanega krčenja trebušnih mišic posameznih apnej. Analiza variance za ponovljene meritve je sicer pokazala statistično pomembne razlike med apnejami, vendar ne med izvedbama po vdihu (v vodi in na kopnem) in med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem).



Slika 5. Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po vdihu. Pri apneji po vdihu na kopnem so prikazane pozitivne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Pri apneji po vdihu v vodi pa so prikazane negativne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Analiza variance za ponovljene meritve je pokazala statistično pomembne razlike med obema apnejama (**: $P \leq 0,010$ in *: $P \leq 0,050$) v večini deležev končnega časa.



Slika 6. Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po izdihu. Pri apneji po izdihu na kopnem so prikazane pozitivne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Pri apneji po izdihu v vodi pa so prikazane negativne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Analiza variance za ponovljene meritve je sicer pokazala statistično pomembne razlike med apnejama, vendar ne med izvedbo po obeh izdihih.

Tabela 3
Kazalci kinetike zasičenosti krvi s kisikom

	Apneja po vdihu v vodi	Apneja po vdihu na kopnem	Apneja po izdihu v vodi	Apneja po izdihu na kopnem
SaO ₂ TK (%)	80 ± 12	88 ± 7	80 ± 14	76 ± 16
SaO ₂ KA (%)	53 ± 12	55 ± 12	58 ± 9	55 ± 13
SaO ₂ TN (%)	40 ± 13	49 ± 12	47 ± 10	45 ± 14
SaO ₂ TNČ (s)	17 ± 9	6 ± 6	17 ± 6	18 ± 4

Legenda: SaO₂ TK – točka začetka spontanega krčenja trebušnih mišic SaO₂ v %; SaO₂ KA – konec apneje SaO₂ v %; SaO₂ TN – točka najnižje SaO₂ v %; SaO₂ TNČ – točka najnižje SaO₂ v času (s).

Slika 6 prikazuje vrednosti FS pri obeh apnejah po izdihu glede na delež končnega časa. Pri 0 % deležu končnega časa (začetek apneje) je bila očitna razlika v začetni FS med apnejo po izdihu v vodi 85 ± 7 (1/min) in apnejo po izdihu na kopnem 79 ± 12 (1/min). Najnižjo FS pri obeh apnejah po izdihu smo izmerili pri nekem potapljaču pri 100 % deležu končnega časa v apneji po izdihu na kopnem (36 (1/min)).

Slika 7 prikazuje vrednosti SaO₂ pri obeh apnejah po vdihu glede na delež končnega časa. Krivulji SaO₂ pri obeh apnejah po vdihu sta podobni. Najnižjo SaO₂ smo izmerili pri apneji po vdihu na kopnem na koncu apneje (39 % SaO₂).

Slika 8 prikazuje vrednosti SaO₂ pri obeh apnejah po izdihu glede na delež končnega časa. Krivulji SaO₂ pri obeh apnejah po izdihu sta sicer podobni. Med 20 % in 90 % deležem končnega časa so med obema krivuljama SaO₂ največje razlike, ki pa niso statistično pomembne. Najnižjo SaO₂ smo izmerili pri apneji po izdihu na kopnem na koncu apneje (30 % SaO₂).

V Tabeli 3 so prikazane aritmetične sredine in standardni odkloni kazalcev kinetike SaO₂.

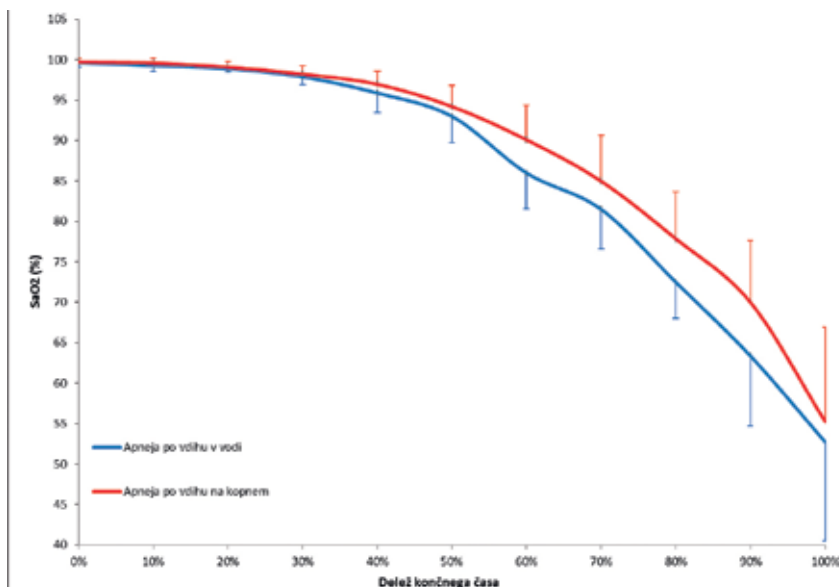
Sliki 9 prikazujeta sistolični KT posameznih apnej v mmHg glede na delež končnega časa. Sistolični KT narašča pri vseh apnejah glede na delež končnega časa. Dve največji posamezni vrednosti, ki smo ju izmerili, sta bili pri apneji po vdihu v vodi 228 mmHg ter pri apneji po vdihu na kopnem celo 240 mmHg.

Sliki 10 prikazujeta diastolični KT posameznih apnej v mmHg glede na delež končnega časa. Diastolični KT podobno kot sistolični KT narašča pri vseh apnejah glede na delež končnega časa. Pri 40 % deležu končnega časa so med apnejo po izdihu v vodi in apnejo po izdihu na kopnem statistično pomembne razlike. Dve najvišji posamezni vrednosti smo izmerili pri 90 % deležu končnega časa pri obeh apnejah po vdihu (v vodi 164 mmHg in na kopnem 145 mmHg).

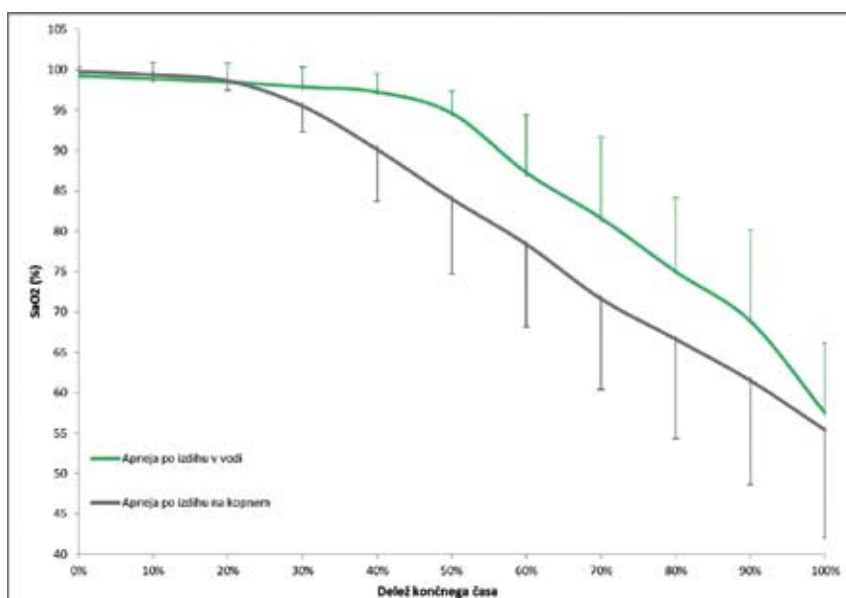
Razprava

Ugotovljene razlike v učinkih med statično apnejo po vdihu izvedene v vodi in na kopnem

Apneji po vdihu se v učinkih nista razlikovali glede na to, kje sta bili izvedeni. Razlika je le v gibanju vrednosti FS.



Slika 7. Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po vdihu. Pri apneji po vdihu na kopnem so prikazane pozitivne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Pri apneji po vdihu v vodi pa so prikazane negativne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Analiza variance za ponovljene meritve ni pokazala statistično pomembne razlike med obema apnejama.



Slika 8. Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po izdihu. Pri apneji po izdihu v vodi so prikazane pozitivne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Pri apneji po izdihu na kopnem pa so prikazane negativne vrednosti standardnega odklona od aritmetične sredine. Analiza variance za ponovljene meritve ni pokazala statistično pomembne razlike med obema apnejama.

V KA in TK med apnejo po vdihu v vodi in apnejo po vdihu na kopnem ni statistično pomembnejših razlik. To morda kaže na drugačno delovanje potapljaškega refleksa v vodi in na kopnem. Schuitema in Holm (1988) sta v svoji raziskavi ugotovila, da je odziv potapljaškega refleksa na kopnem manjši, v vodi pa večji. Po drugi strani pa verjetno pogoji merjenja v vodi niso do-

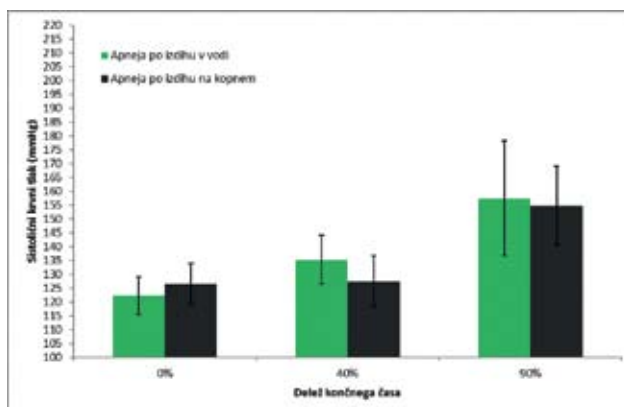
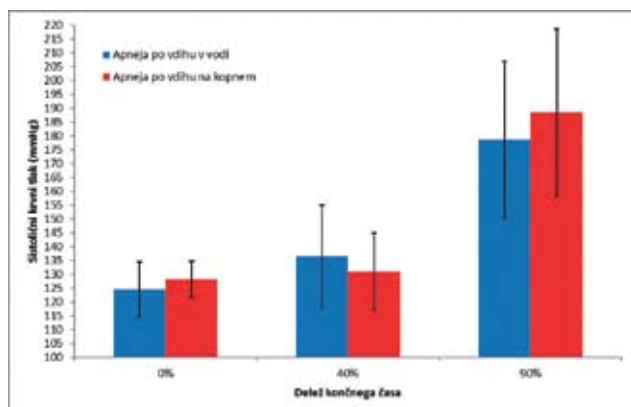
puščali daljših apnej. Vsi merjenci so se namreč pritoževali nad bolečinami v rokah pri meritvah v vodi. Zaradi merilnih naprav (merjenje SaO_2 in KT) so morali imeti merjenci obe roki na robu bazena (Slika 1). Bolečine v rokah so bile glavni razlog, da se merjenci niso mogli tako sprostiti kot na meritvah na kopnem (Slika 2). Ker smo želeli preveriti vpliv položaja rok, smo opravili

dodatni poskus, kjer smo merili samo čas trajanja apneje. Šest merjencev je ponovilo test apneje po vdihu v vodi z rokami ob telesu. Njihov povprečni čas je znašal 370 ± 65 s, kar je kar $15 \pm 2\%$ več kot pri testiranju z vzročenimi rokami na robu. Razlika je statistično značilna (**: $P \leq 0,010$). To jasno kaže, da je bil vpliv meritev pri apneji po vdihu v vodi (položaj rok) za trajanje apneje pomemben.

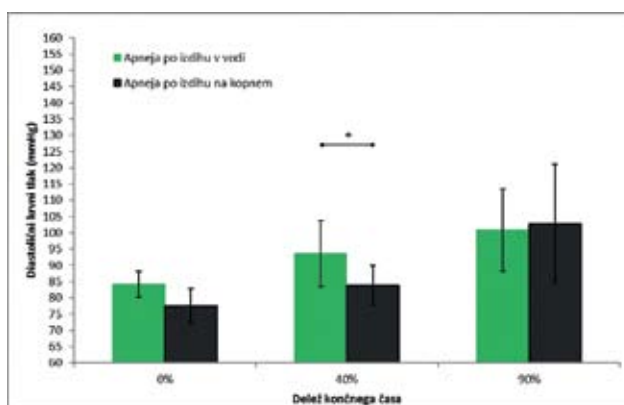
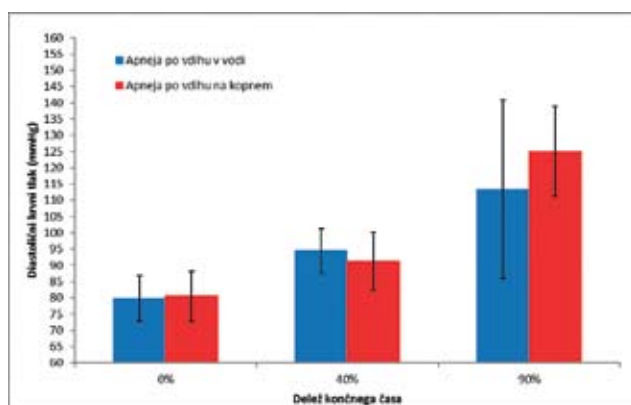
Kasneje ko se pojavijo TK, daljše so apneje (Kapus, Ušaj, Dajić in Jeranko, 2015). Sliki 3 in 4 potrjujeta to ugotovitev tudi v naši raziskavi. Če TK prikažemo v deležih KA, ugotovimo, da se pri apneji v vodi pojavi pri $67 \pm 13\%$ in pri apneji na kopnem pri $61 \pm 13\%$.

Vsi merjenci so na meritvah pri vseh apnejah imeli krajše čase apnej, kot so njihovi osebni rekordi. Razloga sta verjetno dva. Prvi je osebna forma merjencev (tempiranje forme za najboljše osebne čase), drugi pa, da na meritvah merjenci niso smeli uporabljati tehnike pakiranja. Dosedanje raziskave so izmerile za 24 % (Lindholm in Nyren, 2005) in celo za 47 % (Loring, O'Donnell, Butler, Lindholm, Jacobsen in Ferrigno, 2007) večji volumen ob uporabi tehnike pakiranja. Zaradi večje zaloge O_2 so lahko potapljači s pomočjo tehnike pakiranja zraka dlje zadrževali statično apnejo (+12 %) in pod gladino brez plavuti preplavali večjo razdaljo (+13 %) (Overgaard idr., 2006).

Delovanje potapljaškega refleksa med apnejo se najlažje spremlja z merjenjem FS. S pomočjo gibanja vrednosti FS med obema apnejama po vdihu smo ugotovili, da se FS ne spreminja enako (Slika 5). Že na samem začetku obeh apnej smo ugotovili, da je FS občutno višja pri apneji po vdihu v vodi kot pri apneji po vdihu na kopnem. Do razlik v začetni FS je prišlo zaradi različnih začetnih položajev pri obeh apnejah (Perini in Veicsteinas, 2003). Pri apneji po vdihu na kopnem so se merjenci nadihali in izvedli apnejo v sproščenem ležečem položaju na hrbtu. Pri apneji po vdihu v vodi so se merjenci zaradi specifičnega položaja v vodi nadihali v stoječem položaju in so nato prešli v ležeči položaj, ki je značilen za apnejo v vodi. Razliko v začetni FS med obema apnejama bi verjetno lahko rešili tako, da bi se merjenci pri apneji v vodi nadihali z dihalco v končnem, ležečem položaju. Težava bi bila potem ta, da bi bili pogoji sproščanja in nadihavanja pred obema apnejama različni. Pri apneji po vdihu v vodi so se pokazala tri območja, kar je značilno za odlične potapljače (Perini idr.,



Slika 9. Sistolični krvni tlak posameznih apnej. Analiza variance za ponovljene meritve je sicer pokazala statistično pomembne razlike med apnejami, vendar ne med izvedbama po vdihu (v vodi in na kopnem) in med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem).



Slika 10. Diastolični krvni tlak posameznih apnej. Analiza variance za ponovljene meritve je pokazala statistično pomembne razlike med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem) (*: $P \leq 0,050$) pri 40 % deležu končnega časa.

2008; Perini idr., 2010; Kapus idr., 2015). Za prvo območje je značilno strmejšje padanje FS do 20 % deleža končnega časa, kar je učinek potapljaškega refleksa in delovanje različnih mehanizmov (Foster idr., 2005). Sledi drugo stabilnejše območje z rahlim nihanjem navzgor in malce tudi navzdol do 60 % deleža končnega časa. V tem območju se je srčno-žilni sistem prilagodil novim okoliščinam (Perini idr., 2008; Perini idr., 2010). Gibanje vrednosti FS pri apneji po vdihu na kopnem je popolnoma drugačno. Za prvo območje je značilno strmo naraščanje do 10 % deleža končnega časa. Dvig FS bi bil lahko posledica refleksa na nateg v mišicah prsnega koša ter visokega intratorakalnega pritiska na srce (Ferrigno idr., 1997; Andersson in Schagatay, 1998; Costalat, Couquart, Castres, Tourny in Lemaitre, 2013), ki pa ga nismo merili. Do tega pride zaradi velikega pljučnega volumna, ki je posledica globokega vdiha, ter ležečega hrbtne položaja na kopnem. V drugem,

stabilnejšem območju do 50 % deleža končnega časa se FS v prvem delu krivulje zelo malo dvigne, v drugem delu pa se začne rahlo spuščati, ker se začne počasi manjšati volumen pljuč (Hong idr., 1971), se manjša tudi njihov vpliv, kar dodatno zniža FS (Mithoefer, 1965). Konec drugega in začetek tretjega območja (območje ponovnega padanja FS) naj bi sovpadala z začetkom TK (Perini idr., 2008; Perini idr., 2010). Pri apneji po vdihu na kopnem se je trenutno TK pojavil prej, in sicer pri 61 %, tretje območje pa se je začelo že malo prej pri 55 %. Pri apneji po vdihu v vodi se je TK pojavila pri 67 %, tretje območje pa pri 60 %. Tretje območje, ki je trajalo do konca meritev, se ponavadi pojavi le pri boljših potapljačih. Zanj je značilna očitnejša hipoksija in posledično periferna vazokonstrikcija z izrazitim povečanjem krvnega tlaka (Sliki 9 in 10) ter vedno močnejša spontana krčenja dihalnih mišic (Lemaitre idr., 2008; Perini idr., 2008; Perini idr., 2010). V zadnjem območju smo

pri obeh apnejah po vdihu (Slika 5) izmerili najnižje vrednosti FS (Kapus idr., 2015).

Vrednosti SaO_2 pri obeh apnejah po vdihu sta podobni (Slika 7). Med njima ni statistično pomembnih razlik, najverjetneje zaradi položaja rok pri meritvah v vodi. Glede na to, da je odziv potapljaškega refleksa večji v vodi kot na kopnem, bi pričakovali kasnejše padanje SaO_2 v vodi. Poudariti moramo tudi, da nižja SaO_2 ne pomeni nujno tudi daljše apneje. Drži pa dejstvo, da boljši potapljači lahko dosežejo nižje vrednosti SaO_2 med apnejo kot slabši (Schagatay, 2009).

Rezultati raziskave so pokazali, da pri obeh apnejah po vdihu (Sliki 9 in 10) s trajanjem zadrževanja diha naraščata tudi oba KT (Perini idr., 2010; Sivieri idr., 2014). Močno naraščanje obeh KT pri obeh apnejah po vdihu v zadnjem deležu končnega časa je povezano z večjim volumnom zraka v pljučih ter delovanjem številnih mehanizmov (Foster idr., 2005).

Ugotovljene razlike med statično apnejo po izdihu izvedene v vodi in na kopnem

Apneji po izdihu se v učinkih nista razlikovali glede na to, kje sta bili izvedeni. Razlika je le v diastoličnem KT pri 40 % deležu končnega časa.

Pri obeh apnejah po izdihu smo pričakovano dobili krajše čase apnej kot pri obeh apnejah po vdihu (Slika 3). Glavni razlog je manjši pljučni volumen in s tem posledično manjše zaloge O_2 (Ferretti in Costa, 2003).

Če TK prikažemo v deležih KA, ugotovimo, da se pri apneji v vodi pojavi pri 72 ± 14 % in pri apneji na kopnem pri 67 ± 12 %.

S pomočjo gibanja vrednosti FS med obema apnejama po izdihu pa smo ugotovili, da se FS spreminja podobno. Izjema je le začetna FS, ki je podobno kot pri obeh apnejah po vdihu različna zaradi obeh začetnih položajev, ki smo ju že opisali. Verjetno je delovanje potapljaškega refleksa pri obeh apnejah po izdihu podobno na kopnem (suh obraz) in ob potopljenu glavi (Slika 6), kajti pri obeh apnejah po izdihu so se tudi pokazala tri območja, ki imajo enake značilnosti, ki so opisane pri apneji po vdihu v vodi. Za prvo območje je značilno strmejšee padanje FS do 20 % deleža končnega časa. Sledi drugo, stabilnejše območje z rahlim nihanjem navzgor in malce tudi navzdol do 60 % deleža končnega časa. V tem drugem, stabilnejšem območju malo izstopi gibanje vrednosti FS pri apneji po izdihu na kopnem. Dvig je zanimiv, kajti pljuča so prazna in ni vpliva refleksa na nateg v mišicah prsnega koša. Dvig FS bi lahko tako povzročil ležeč položaj (Watanabe, Reece in Polus, 2007) in sila teže, ki deluje na cel prsni koš (Fahlman, 2008), kajti zaradi izdiha je notranji pritisk manjši. Bolj verjetno je za razliko med obema apnejama odgovoren večji odziv potapljaškega refleksa v vodi (Schuitema idr., 1988), ki pa ni statistično pomembno različen. Tretje območje se pri obeh apnejah po izdihu začne pri 60 % deležu končnega časa.

Krivulji SAO_2 pri obeh apnejah po izdihu sta podobni (Slika 8). Med njima sicer ni statistično pomembnih razlik, se pa lepo vidi vpliv potapljaškega refleksa na krivulji apneje po izdihu v vodi. Pri apneji po izdihu na kopnem smo pri KA izmerili najnižjo SAO_2 med vsemi štirimi apnejami pri enemu od merjenjcev (30 %).

Rezultati raziskave kažejo, da pri obeh apnejah po izdihu s trajanjem zadrževanja

diha naraščata tudi oba KT (Sliki 9 in 10). Za nas so zanimive statistično pomembne razlike pri diastoličnem KT (40 % delež končnega časa) med obema apnejama po izdihu. Verjetno je bil zaradi večjega odziva potapljaškega refleksa v vodi (Schuitema idr., 1988) diastolični KT pri apneji po izdihu v vodi višji kot pri apneji po izdihu na kopnem. Naraščanje obeh KT med obema apnejama ni sunkovito, je enakomerno. Pri obeh apnejah po izdihu, pri katerih je bil volumen zraka minimalen, je bilo namreč naraščanje enakomerno.

Zaključek

Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da pri spremenljivki FS vadba apneje po vdihu na kopnem nima podobnega učinka na telo in uravnlalne mehanizme kot vadba apneje po vdihu v vodi. Domnevamo pa lahko, da ima vadba apneje po izdihu na kopnem podobne učinke kot vadba apneje po izdihu v vodi, kar kažejo dobljeni rezultati meritev. Kot dobro nadomestilo treninga apneje po izdihu v vodi zato predlagamo apnejo po izdihu na kopnem.

Rezultati raziskave so eden izmed prvih pomembnih korakov v našem prostoru pri izbiri ustreznega vadbenega procesa potapljačev na dihi.

Literatura

- Andersson, J. P. A. in Evaggelidis, L. (2009). Arterial oxygen saturation and diving response during dynamic apneas in breath-hold divers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19(1), 87–91.
- 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.
- Costalat, G., Coquart, J., Castres, I., Tourny, C. in Lemaitre, F. (2013). Hemodynamic adjustments during breath-holding in trained divers. *European journal of applied physiology*, 113(10), 2523–2529.
- Fahlman, A. (2008). The pressure to understand the mechanism of lung compression and its effect on lung function. *Journal of Applied Physiology*, 104(4), 907–908.
- Fattah, E. (2001). *The Frenzel Technique, Step-by-Step*. Pridobljeno iz <http://folk.uio.no/gardot/frenzel.pdf>
- 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.

- Ferrigno, M., Ferretti, G., Ellis, A., Warkander, D., Costa, M., Cerretelli, P. in Lundgren, C. E. (1997). Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber. *Journal of Applied Physiology*, 83(4), 1282–1290.
- Foster, G. E. in Sheel, A. W. (2005). The human diving response, its function, and its control. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(1), 3–12.
- Hong, S. K. (1987). Breath-hold bradycardia in man: an overview. The Physiology of Breath-hold Diving. CEG Lundgren, Ferrigno M. Bethesda, Maryland, *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 158–173.
- Hong, S. K., Lin, Y. C., Lally, D. A., Yim, B. J. B., Kominami, N., Hong, P. W. in Moore, T. O. (1971). Alveolar gas exchanges and cardiovascular functions during breath holding with air. *Journal of Applied Physiology*, 47(5), 954–960.
- Kapus, N., Daić, J., Jeranko, S. in Ušaj, A. (2013). Laboratorijski testi kot pomoč pri ocenjevanju zmogljivosti potapljačev. *Revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 61(1/2), 37–42.
- Kapus, N., Ušaj, A., Daić, J. in Jeranko, S. (2015). Tekmovalna sezona dveh vrhunskih slovenskih potapljačev. *Revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 63(3/4), 95–103.
- Kawakami, Y. O. S. H. I. K. A. Z. U., Natelson, B. H. in DuBois, A. R. (1967). Cardiovascular effects of face immersion and factors affecting diving reflex in man. *Journal of Applied Physiology*, 23(6), 964–970.
- Lemaitre, F., Buchheit, M., Joulia, M., 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.
- Lahtinen, K., Kurra, S. in Nissinen, A. (2015). *Freediving*. Deep Ideas Oy.
- Lindholm, P. (2007). Loss of motor control and/or loss of consciousness during breath-hold competitions. *International journal of sports medicine*, 28(4), 295–299.
- Lindholm, P. in Lundgren, C. E. (2009). The physiology and pathophysiology of human breath-hold diving. *Journal of Applied Physiology*, 106(1), 284–292.
- Lindholm, P. in Nyren, S. (2005). Studies on inspiratory and expiratory glossopharyngeal breathing in breath-hold divers employing magnetic resonance imaging and spirometry. *European journal of applied physiology*, 94(5–6), 646–651.
- Lindholm, P., Sundblad, P. in Linnarsson, D. (1999). Oxygen-conserving effects of apnea in exercising men. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2122–2127.
- Loring, S. H., O'Donnell, C. R., Butler, J. P., Lindholm, P., Jacobson, F. in Ferrigno, M. (2007). Transpulmonary pressures and lung mechanics with glossopharyngeal insufflation and

- exsufflation beyond normal lung volumes in competitive breath-hold divers. *Journal of Applied Physiology*, 102(3), 841–846.
21. Mali, M. (12.2.2013). *STATIKA – Treningi in tek-movanja*. Športno društvo H₂O team. Pridobljeno iz <http://www.h2oteam.com/apnea/tehnike-in-izobrazevanja/?id=445>
 22. Marabotti, C., Piaggi, P., Menicucci, D., Passera, M., Benassi, A., Bedini, R. in L'Abbate, A. (2013). Cardiac function and oxygen saturation during maximal breath-holding in air and during whole-body surface immersion. *Diving Hyperb Med*, 43(3), 131–137.
 23. Mithoefer, J. C. (1965). The breaking point of breath holding. *Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan*, 195–205.
 24. Murat, S. (30.9.2012). *Sebastien Murat explains exhale freediving*. Swimmers Daily. Pridobljeno iz <http://www.swimmersdaily.com/2012/09/30/sebastien-murat-explains-exhale-freediving/>
 25. Muth, C. M., Ehrmann, U. in Radermacher, P. (2005). Physiological and clinical aspects of apnea diving. *Clinics in chest medicine*, 26(3), 381–394.
 26. Nitsch, H. (2015). *Herbert Nitsch*. Pridobljeno iz <http://www.herbertnitsch.com/media/ewExternalFiles/2015-06%20GEA.pdf>
 27. Overgaard, K., Friis, S., Pedersen, R. B. in Lykkeboe, G. (2006). Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and P ET O₂ and P ET CO₂ on apnea performance in trained breath-hold divers. *European journal of applied physiology*, 97(2), 158–164.
 28. Palada, I., Bakovic, D., Valic, Z., Obad, A., Ivancev, V., Eterovic, D. in Dujic, Z. (2008). Restoration of hemodynamics in apnea struggle phase in association with involuntary breathing movements. *Respiratory physiology and neurobiology*, 161(2), 174–181.
 29. Pelizzari, U. in Tovaglieri, S. (2004). *Manual of freediving: Underwater on a single breath*. Reddick: Idelson-Gnocchi.
 30. 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.
 31. 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.
 32. Perini, R. in Veicsteinas, A. (2003). Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 317–325.
 33. Schagatay, E. (2009). Predicting performance in competitive apnea diving. Part 1: static apnoea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 39(2), 88–99.
 34. Schuitema, K. in Holm, B. (1988). The role of different facial areas in eliciting human diving bradycardia. *Acta physiologica scandinavica*, 132(1), 119–120.
 35. Sivieri, A., Fagoni, N., Bringard, A., Capogrosso, M., Perini, R. in Ferretti, G. (2014). A beat-by-beat analysis of cardiovascular responses to dry resting and exercise in elite divers. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 119–128.
 36. Stewart, I. B., Bilmer, A. C., Sharman, J. E. in Ridgway, L. (2005). Arterial oxygen desaturation kinetics during apnea. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1871–1876.
 37. 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.

Aleš Koštomaj

magister znanosti in prof. šp. vzg.

Bevke, Bevke 68 D, 1358 Log pri Brezovici

Osnovna šola Mengeš, Šolska ulica 11,

1234 Mengeš

ales.kostomaj@gmail.com