



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za šport*

ALEŠ KOŠTOMAJ

**STATIČNA APNEJA NA VDIH IN IZDIH  
V VODI IN NA KOPNEM**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2016





Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za šport*

ALEŠ KOŠTOMAJ

**STATIČNA APNEJA NA VDIH IN IZDIH  
V VODI IN NA KOPNEM**

MAGISTRSKO DELO

MENTOR: doc. dr. Jernej Kapus

Ljubljana, 2016

#### IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani Aleš Koštomaj izjavljam, da sem avtor tega magistrskega dela z naslovom **Statična apneja na vdih in izdih v vodi in na kopnem.**

Podpis: \_\_\_\_\_

*... Sorji in Luciji...*

# ZAHVALA

Za mentorstvo v polnem pomenu besede se najlepše zahvaljujem doc. dr. Jerneju Kapusu.

Hvala prof. dr. Antonu Ušaju za pravo smer.

Hvala tudi Juretu, Andreju, Luku, Mateju, Robertu, Alanu, Toniju, Tomažu, Samu, Urši in Katji.

# STATIČNA APNEJA NA VDIH IN IZDIH V VODI IN NA KOPNEM

**Aleš Koštomaj**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, 2016

Strani: 77, tabel: 2, slik: 27, literature: 84.

## IZVLEČEK

Potapljači na dih lahko vadijo statično apnejo v vodi in tudi na kopnem. Kadar vadijo v vodi, je zaradi možnosti utopitve prisotnost varnostnega potapljača nujna. Možna pa je tudi vadba na kopnem, pri kateri ni nevarnosti utopitve in zato prisotnost varnostnega potapljača ni nujna. Glede na to, da se vsa tekmovanja v statični apneji izvajajo v vodi, bi bilo zanimivo primerjati statično apnejo v vodi in na kopnem. Vse raziskave statične apneje v različnih pogojih so bile do sedaj pri nas in v svetu narejene z vdihom (različni volumni). Odločili smo se, da bomo dodali tudi statično apnejo na aktivni (maksimalni) izdih, ki se pogosto uporablja pri vadbi.

Cilja:

- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po vdihu izvedeno v vodi in na kopnem.
- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po izdihu izvedeno v vodi in na kopnem.

Hipotezi:

- H1: Učinki statične apneje po vdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.
- H2: Učinki statične apneje po izdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.

V raziskavi magistrskega dela je sodelovalo 8 slovenskih potapljačev na dih (merjenci) moškega spola (starost  $37 \pm 8$ , telesna višina  $182 \pm 8$  cm, telesna teža  $82 \pm 8$  kg in vitalna kapaciteta pljuč (VC)  $6,8 \pm 0,9$  litrov). Merjenci so že več let v rednem vadbenem procesu in veljajo za odlične potapljače na dih na državni in svetovni ravni.

Vsak merjenec je v vodi izvedel dve maksimalni statični apneji po vdihu in tudi dve maksimalni statični apneji po izdihu. Enak protokol je ponovil tudi na kopnem. Vrstni red statičnih apnej je bil naključen. Merili smo naslednje spremenljivke: čas trajanja posamezne apneje (KA – konec apneje), začetek spontanega krčenja dihalnih mišic (TK – točka krčenja), frekvenco srca (FS), sistolični in diastolični krvni tlak (KT) ter zasičenost krvi s kisikom ( $\text{SaO}_2$ ).

Po izračunu opisne statistike smo podatke analizirali s splošnim linearnim modelom (GLM) analize variance za ponovljene meritve in post hoc analizo z Bonferronijevim testom.

Rezultati raziskave so potrdili obe hipotezi, vendar ne pri vseh spremenljivkah v celoti. Spremenljivki KA in TK v celoti potrjujeta H1 in H2. Pri spremenljivki FS rezultati potrjujejo v celoti le H2, medtem ko pri H1 rezultati potrjujejo le določene deleže končnega časa posameznih statičnih apnej (0%, 90% in 100%). Spremenljivka  $\text{SaO}_2$  potrjuje v celoti H1, ne pa tudi H2. Spremenljivka sistolični KT v celoti potrjuje H1 in H2. Pri spremenljivki diastolični KT rezultati v celoti potrjujejo le H1. Pri H2 spremenljivka diastolični KT potrjuje dva deleža končnega časa posameznih statičnih apnej (0% in 90%).

Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da pri spremenljivki FS 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, kar kažejo dobljeni rezultati meritev. Kot dobro nadomestilo treninga 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 dih.

**Ključne besede:** potapljanje na dih, statična apneja v vodi, statična apneja na kopnem, frekvenca srca, zasičenost krvi s kisikom, krvni tlak in spirometrija.



# **STATIC APNOEA IN WATER AND ON LAND BY BREATHING IN AND BREATHING OUT**

**Aleš Koštomaj**

University of Ljubljana, Faculty of Sport, Ljubljana, 2016

Pages: 77, tables: 2, pictures: 27, literature: 84.

## **ABSTRACT**

Breath-hold divers can train static apnoea in water or on land. Only when they train in water, an extra diver must be present to save them from drowning. But according to the fact that all static apnoea competitions take place in water, it would be interesting to compare static apnoea performed in water and on land. In Slovenia and other countries of the world, so far all the research of static apnoea performed in different conditions has been done by breathing in different volumes of air. Therefore we decided to add static apnoea performed by maximum breathing out which is often used for training.

The aims of our research were the following:

- to find out the difference in the effects of static apnoea performed in water and on land by breathing in,
- and to find out the difference in the effects of static apnoea performed in water and on land by breathing out.

The hypotheses of our research were the following:

- H1: The effects of static apnoea performed in water and on land by breathing in do not differ in a statistically significant way.
- H2: The effects of static apnoea performed in water and on land by breathing out do not differ in a statistically significant way.

In this master's thesis, eight Slovene apnoea divers participated in the research. They were male participants: aged  $37 \pm 8$ , being  $182 \pm 8$  centimetres tall, weighing  $82 \pm 8$  kilograms, and

having a vital lung capacity  $6,8 \pm 0,9$  litres. 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 measured 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. The order of statistical apnoeas was random. We measured the following variables: the time duration of each apnoea (EA – the end of apnoea), the beginning of a spontaneous contraction of the respiratory muscles (PC – the point of contraction), the heart rate (HR), systolic blood pressure and diastolic blood pressure (BP) and blood saturation with oxygen (SaO<sub>2</sub>).

After calculating the descriptive statistics, the data were analysed by using the general linear model (GLM), variance analysis for repeated measurements, and post hoc analysis with Bonferroni test.

The results of our research confirmed both hypotheses, but not with all the variables. The variables EA and PC confirm H1 and H2. The results with the variable HR confirm only H2, while in H1 they confirm only particular portions of the final time of individual static apnoeas (0%, 90% and 100%). The variable SaO<sub>2</sub> confirms H1 but not H2. The variable systolic BP confirms H1 and H2. The results with the variable diastolic BP confirm only H1. In H2, the variable diastolic BP confirms only two parts of the final time of individual static apnoeas (0% in 90%).

According to our results, it can be concluded that with the variable HR 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 in water, static apnoea on land, heart rate, blood saturation with oxygen, blood pressure and spirometry.

# KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	POTAPLJANJE NA DIH.....	2
1.2	STATIČNA APNEJA .....	6
1.2.1	VOLUMEN KISIKA V TELESU .....	8
1.2.1.1	Pljuča.....	8
1.2.1.2	Dihalne tehnike .....	8
1.2.1.3	Kri .....	9
1.2.1.4	Krčenje vranice .....	10
1.2.1.5	Tkivo .....	11
1.2.2	SPOSOBNOST PREMAGOVANJA HIPOKSIJE IN HIPERKAPNIJE .....	11
1.2.2.1	Faze apneje.....	11
1.2.2.2	Hipoksija in delovanje možganov.....	12
1.2.2.3	Acidoza .....	13
1.2.3	INTENZIVNOST PRESNOVE .....	13
1.2.3.1	Srčno-žilni potapljaški refleks .....	13
1.2.3.2	Temperatura .....	14
1.2.3.3	Antropometrija in telesna sestava .....	15
1.2.3.4	Postenje in prehrana .....	15
1.2.3.5	Sprostivne tehnike.....	16
2	PREDMET IN PROBLEM.....	17
3	CILJA.....	19
4	HIPOTEZI.....	20
5	METODE DELA .....	21

5.1	VZOREC MERJENCEV .....	21
5.2	OPIS MERITEV .....	23
5.3	VZOREC SPREMENLJIVK .....	26
5.3.1	ČAS TRAJANJA POSAMEZNIH APNEJ IN ZAČETEK SPONTANEGA KRČENJA DIHALNIH MIŠIČ .....	26
5.3.2	FREKVENCA SRCA.....	26
5.3.3	ZASIČENOST KRVI S KISIKOM.....	27
5.3.4	SISTOLIČNI IN DIASTOLIČNI KRVNI TLAK.....	27
5.4	IZRAČUNANI KAZALCI IN OPRAVLJENE ANALIZE.....	27
5.5	METODE OBDELAVE PODATKOV .....	29
6	REZULTATI.....	30
6.1	ČAS TRAJANJA POSAMEZNIH APNEJ IN ZAČETEK SPONTANEGA KRČENJA DIHALNIH MIŠIČ .....	30
6.2	FREKVENCA SRCA .....	33
6.3	ZASIČENOST KRVI S KISIKOM .....	36
6.4	SISTOLIČNI IN DIASTOLIČNI KRVNI TLAK .....	41
7	RAZPRAVA .....	44
8	ZAKLJUČEK.....	49
9	LITERATURA.....	51
10	PRILOGA.....	59
10.1	OBVEŠČENI PRISTANEK .....	59
10.2	FREKVENCA SRCA IN ZASIČENOST KRVI S KISIKOM PRI VSEH OSMIH MERJENCIH.....	60

## SEZNAM TABEL

Tabela 1: Rezultati meritev spirometričnih testov.....	23
Tabela 2: Kazalci kinetike zasičenosti krvi s kisikom.....	41

## SEZNAM SLIK

Slika 1: Podvodno fotografiranje (osebni arhiv).....	3
Slika 2: Tekmovanje v globino (Koštomaj, 2011).....	4
Slika 3: Dinamična apneja s plavutmi (osebni arhiv).....	5
Slika 4: Tekmovanje v statični apneji (Koštomaj, 2011).....	7
Slika 5: Meritve spirometrije (Kapus, 2016).....	22
Slika 6: Statična apneja v vodi na meritvah (osebni arhiv).....	24
Slika 7: Meritve statične apneje na kopnem (osebni arhiv).....	25
Slika 8: Prikaz izračunanih kazalcev K1 in K2.....	28
Slika 9: Trajanje posameznih apnej.....	30
Slika 10: Trenutek začetka spontanega krčenja dihalnih mišic posameznih apnej.....	31
Slika 11: Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po vdihu.....	33
Slika 12: Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po izdihu.....	34
Slika 13: Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po vdihu.....	36
Slika 14: Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po izdihu.....	37

Slika 15: Časovne spremembe SaO <sub>2</sub> pri K1 med posameznimi apnejami.....	38
Slika 16: Časovne spremembe SaO <sub>2</sub> pri K2 med posameznimi apnejami.....	39
Slika 17: Točka prevoja zasičenosti krvi s kisikom v času (s) posameznih apnej.....	40
Sliki 18: Sistolični krvni tlak posameznih apnej.....	41
Sliki 19: Diastolični krvni tlak posameznih apnej.....	42
Sliki 20: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M1.....	60
Sliki 21: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M2.....	60
Sliki 22: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M3.....	61
Sliki 23: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M4.....	61
Sliki 24: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M5.....	62
Sliki 25: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M6.....	62
Sliki 26: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M7.....	63
Sliki 27: Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M8.....	63

# 1 UVOD

Beseda apneja izvira iz grške besede a-pnoia 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 Tovagliari, 2004). To pomeni potopitev pod vodo brez dodatnih zunanjih pripomočkov, ki bi nam omogočali dihanje. Besedo apneja uporabljamo tudi pri opisu vadbe na kopnem (zadrževanje diha na kopnem).

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 katerikoli drugi šport, temelji na prvinskih, nezavednih refleksih, 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 prsno plavati 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 pri potapljanju na dih v vseh disciplinah. 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 presegli 125 metrov, v daljino 280 metrov in v statični apneji (trajanje potopa) 12 minut. Ženski rekordi

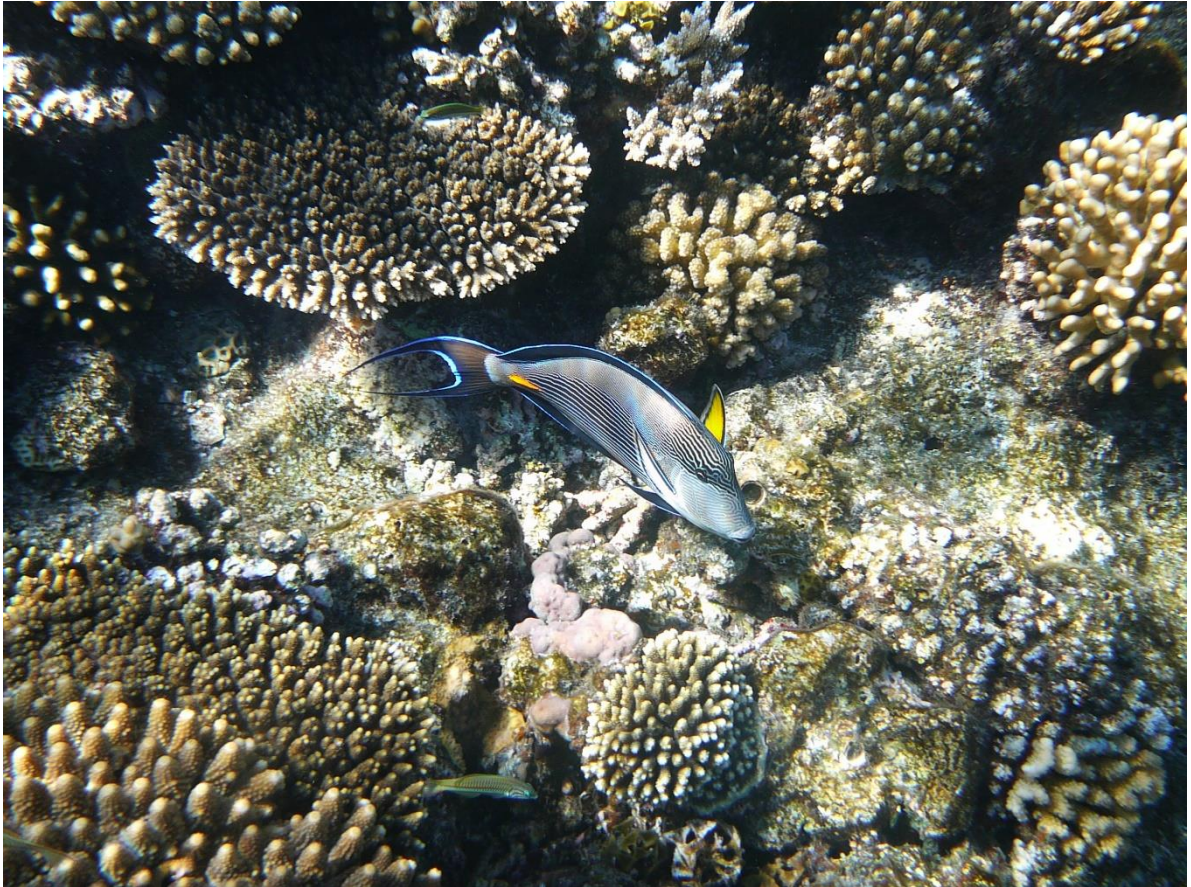
ne zaostajajo veliko: globina 100 metrov, daljina 240 metrov in statična apneja 9 minut. Krivulja naraščanja najboljših rezultatov je pri obeh spolih visoka in podobna. Takšen napredek si po eni strani lahko razložimo z vedno večjo udeležbo novih tekmovalcev na tekmovanjih in s tem posledično odkrivanjem 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).

S prakso potapljanje na dih zelo hitro napreduje. Žal so metode in strategije potapljanja stroki oziroma znanstvenikom manj znane in težje razložljive, ker jih je v vodnem okolju z obstoječo tehnologijo trenutno težko raziskovati (Kapus, Ušaj, Dajić in Jeranko, 2013).

## **1.1 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.





Slika 1. Podvodno fotografiranje (osebni arhiv).

Slika 1 prikazuje vodno okolje v Rdečem morju pri potapljanju 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 (Kapus idr., 2013). 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 plavutmi (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 potapljaajo v globino in dvigujejo iz nje s pomočjo lastnega lokomotornega sistema. Vsa tekmovanja v globino se izvajajo samo v omenjenih treh disciplinah. Disciplini VVT in NLT sodita med tehnično zahtevnejše in zato

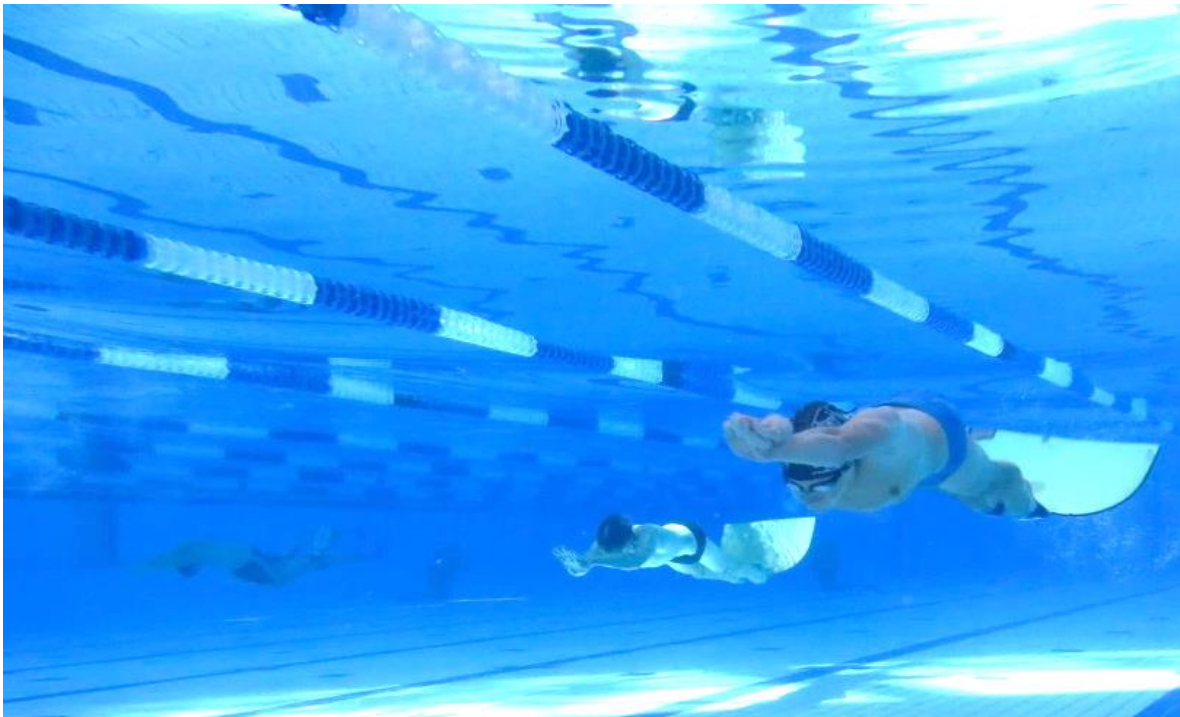
nista na rednem programu tekmovanj. Pri VVT se potapljači potapljaajo v globino s tako imenovanimi potapljaškimi sanmi, na površino pa se dvigujejo s pomočjo lastnega lokomotornege sistema. Disciplina NLT je najbolj ekstremna, saj se potapljači potapljaajo najgloblje (čez 200 metrov). V globino se potapljači potapljaajo s potapljaškimi sanmi, iz globine pa se dvigujejo s pomočjo napihnjenege balona. Vodni tlak se povečuje z globino in predstavlja največji omejitveni dejavnik pri potapljanju v globino. Za doseganje velikih globin sta pomembna tudi čas trajanja apneje in ekonomičnost gibanja. Čas trajanja apneje povečuje toleranco do zadušitve in zmanjša hitrost presnove. Neposredni vpliv vodnega tlaka v globinskih disciplinah povzroča barotravme, narkotični vpliv plinov, dekompresijske bolezni in nevarnost hipoksije (Schagatay, 2011).



Slika 2. Tekmovanje v globino (Koštomaj, 2011).

Slika 2 prikazuje uradno tekmovanje v globinskih disciplinah na morju. Tekmovalec je po uspešno opravljenem potopu od sodnika prejel beli karton, kar pomeni, da je dobil maksimalno število točk za potop.

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. Za obe dinamični apneji (DYN in DNF) je značilno gibanje, ki ga izvaja lastni lokomotorni sistem vsakega potapljača. Pri obeh dinamičnih apnejah je cilj, da se pod vodo preplava čim dlje v daljino. Glavni izziv pri obeh dinamičnih apnejah je imeti čim manjšo presnovo pri vseh aktivnih mišicah. Pretok krvi naj bi se tako usmerjal samo na področja, kjer je potreba po energiji največja. Ključne komponente pri obeh dinamičnih apnejah so: ekonomičnost porabe energije, zaloge kisika in energije v lokalnem tkivu ter anaerobne zmogljivosti mišic. K vsemu temu zelo veliko pripomore optimalna tehnika plavanja pod vodo s plavutmi in brez njih. Visoka raven laktata pri obeh dinamičnih apnejah kaže na intenzivnost vadbe in pomembnost anaerobnih zmogljivosti mišic (Schagatay, 2010).



Slika 3. Dinamična apneja s plavutmi (osebni arhiv).

Slika 3 prikazuje vadbo potapljačev na dih v disciplini dinamična apneja s plavutmi.

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. Statična apneja je zaradi teh omejitvenih dejavnikov še najbolj primerna za raziskovanje, saj potapljač med apnejo (v vodi in na kopnem) popolnoma miruje (Sivieri idr., 2014; Perini, Gheza, Moia, Sponsiello in Ferretti, 2010; Lemaitre, Buchheit, Joulia, Fontanari in Tourny-Chollet 2008; Perini, Tironi idr., 2008).

## **1.2 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 potopljena 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 4. Tekmovanje v statični apneji (Koštomaj, 2011).

Slika 4 prikazuje uradno tekmovanje v statični apneji na bazenu. Ob vsakemu potapljaču na dihanje je varnost potapljača.

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.

## 1.2.1 VOLUMEN KISIKA V TELESU

### 1.2.1.1 Pljuča

Velik volumen pljuč je bil večkrat opisan kot dejavnik, po katerem se potapljači na dihanje 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 povzroča 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 dihanje. Druge vzporedne študije kažejo tudi na visok učinek plavalne vadbe in izpostavljenost veliki nadmorski višini na pljučni volumen (Gaultier in Crapo, 1997).

### 1.2.1.2 Dihalne tehnike

Tehnika pakiranja (glosofaringealni dihalni manever) 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).

### 1.2.1.3 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), katerega 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 potapljujejo, je večja kot v drugih skupinah sesalcev. Količina krvi predstavlja 10-20% telesne teže pri tjušnjih in morskih levih v primerjavi s 7-8% v kopenskih sesalcih (Courtice, 1943). Volumen človeške krvi se lahko poveča s povečanjem volumna plazme kot prilagoditev za 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<sub>2</sub> 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. 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<sub>2</sub> in povečani zmogljivosti odvajanja CO<sub>2</sub>. Potapljanje na dih, še posebej pa globinsko potapljanje lahko povzroči močnejše dražljaje kot nadmorska višina za tvorbo eritropoetina (Balestra, Germonpre, Poortmans in Marroni, 2006).

#### 1.2.1.4 Krčenje vranice

Vranica sesalcev, ki se potaplja, 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).

#### 1.2.1.5 Tkivo

Zaloge O<sub>2</sub> v tkivu so tudi pomemben vir za aerobno presnovo. V tkivu je shranjenega le 2-3% O<sub>2</sub> od celotnega shranjenega O<sub>2</sub>. Največ ga je v mišičnem mioglobinu (Mb). V morskih sesalcih je lahko vsebnost mioglobina 10-krat večja kot v 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).

### 1.2.2 SPOSOBNOST PREMAGOVANJA HIPOKSIJE IN HIPERKAPNIJE

#### 1.2.2.1 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<sub>2</sub> so poročali pri podmorniških reševalnih inštruktorjih, Ama-potapljačih in igralcih podvodnega hokeja. Pri ljudeh, ki se ne potapljajo, pa je CO<sub>2</sub> prevladujoči dejavnik pri spodbujanju dihanja in prekinitvi apneje. Potapljači lahko prenašajo višje ravni hiperkapnije in hipoksije (Ferretti, 2001).

Dejours (1965) deli apnejo na dve fazi: začetno brez nujnosti vdiha in končno fazo boja, pri katerem je predvsem kopičenje CO<sub>2</sub> povod za postopno močnejšo potrebo po vdihu. Prva faza

traja do začetka spontanega krčenja dihalnih mišic (začetek kopičenja CO<sub>2</sub>). 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 dolgoročna 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 dihanju prekine apnejo na začetku druge faze boja. Vrhunski potapljači na dihanju ločijo celo tri faze apneje: prvi 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 se potapljači ne sprostijo, 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> ni povečal v enakem obsegu in se zato ne izvaja.

#### 1.2.2.2 Hipoksija in delovanje možganov

Številne študije kažejo, da vadba apneje znižuje dopustno raven O<sub>2</sub>, 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 dihanju niso pokazale slabih 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).

### 1.2.2.3 Acidoza

Nabiranje CO<sub>2</sub> in mlečne kisline med podaljšano apnejo vodi v vedno večjo acidozo. Odziv potapljaškega refleksa je močnejši pri potapljačih kot pa pri netreniranih posameznikih, kar kaže na to, da bi morali potapljači kopičiti več laktatnih ionov v manj aktivnih mišicah (Schagatay in Andersson, 1998). Količina CO<sub>2</sub> je pri potapljačih dvakrat večja kot pri tistih, ki se ne potapljajo (Ferretti, 2001).

## 1.2.3 INTENZIVNOST PRESNOVE

Tretji omejitveni dejavnik za trajanje apneje je intenzivnost presnove. Večja ko je intenzivnost, večja je poraba O<sub>2</sub>. Čim manjša poraba le-tega pa je eden izmed najpomembnejših dejavnikov, ki vplivajo na trajanje apneje.

### 1.2.3.1 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<sub>2</sub> 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 vagusna 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 ( $\text{SaO}_2$ ) bo do neke mere spremenila hipoksičen odziv (Gooden, 1994).

### 1.2.3.2 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  $\text{O}_2$  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.

### 1.2.3.3 Antropometrija in telesna sestava

Kadar v vodo potopimo velike in majhne posameznike s podobno obliko telesa, se manjši ohlaja hitreje. Med osebami 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.

### 1.2.3.4 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 pridom izkorišča pri vadbi in na tekmovanjih. Vendar ne glede na te ugotovitve, nekateri potapljači na diih vzamejo dopolnilne ogljikove hidrate tik pred tekmovanjem za povečanje zmogljivosti. Presenetljivo je, da je mnogim vrhunskim potapljačem na diih izjemno pomembno, kaj jedo, na drugi strani pa so nekateri vrhunski potapljači na diih, ki to ignorirajo.

#### 1.2.3.5 Sprostivene tehnike

V športu, pri katerem je minimalna poraba kisika ( $VO_2$  min) pomembnejša kot maksimalna poraba kisika ( $VO_2$  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 na dih. Ciklične sprostitvene tehnike iz joge naj bi znižale porabo  $O_2$  za 32% (Telles, Reddy in Nagendra, 2000).

## 2 PREDMET IN PROBLEM

Vadba potapljačev na dih 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 dih 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 spremljanje 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, ker ni vodnega tlaka. 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.

Skupna značilnost vseh raziskav, ki raziskujejo učinke zadnjega vdiha, je, da so apneje dolge (Schagatay idr., 1998). Večji kot je volumen zadnjega vdiha, daljša je apneja in obratno (Overgaard, Friis, Pedersen in Lykkeboe, 2006). Vadba apneje po izdihu omogoča potapljačem na dih racionalnejšo vadbo z vidika trajanja apneje. Pri apneji po izdihu vse hitreje poteka in 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 je velika verjetnost, da pride do dekompresijske 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 volumni 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 dih vadijo statično apnejo v vodi in tudi na kopnem (Pelizzari idr., 2004; Nitsch, 2015). Vsaka oblika vadbe statične 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 statične 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 statične 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 statično 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.



### **3 CILJA**

Glede na predmet in problem sta cilja raziskave naslednja:

- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po vdihu izvedeno v vodi in na kopnem.
- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po izdihu izvedeno v vodi in na kopnem.

## 4 HIPOTEZI

Glede na predmet, problem in cilja raziskave smo postavili naslednji hipotezi:

- H1: Učinki statične apneje po vdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.
- H2: Učinki statične apneje po izdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.

## **5 METODE DELA**

### **5.1 VZOREC MERJENCEV**

V raziskavi magistrskega dela je sodelovalo 8 slovenskih potapljačev na dih moškega spola (starost  $37 \pm 8$ , telesna višina  $182 \pm 8$  cm, telesna teža  $82 \pm 8$  kg in najboljši osebni čas statične apneje v vodi s pakiranjem  $402 \pm 60$  s). Vsi merjenci so že več let v rednem vadbenem procesu in veljajo za odlične potapljače na dih na državni in svetovni ravni. Informirani so bili o ciljih in metodah raziskave ter možnosti tveganja. Sodelovanje v raziskavi je bilo prostovoljno in merjenci so lahko kadarkoli odstopili od raziskave brez negativnih posledic. V času meritev so bili vsi merjenci zdravi in nepoškodovani. Vsak merjenec je podpisal obveščeni pristanek za sodelovanje v projektu (v prilogi).



Slika 5. Meritve spirometrije (Kapus, 2016).

Slika 5 prikazuje merjenca na meritvah spirometrije v laboratoriju za biodinamiko.

Spirometrične teste (ST) smo izvedli po standardnem protokolu (Miller idr., 2005). Za nas so bili uporabni: vitalna kapaciteta (VC), forsirana vitalna kapaciteta (FVC) in forsirani ekspiracijski volumen v prvi sekundi ( $FEV_1$ ).

Tabela 1

Rezultati meritev spirometričnih testov

Merjenci	VC (l)	FVC (l)	FEV <sub>1</sub> (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; FEV<sub>1</sub> – volumen forsiranega izdiha v litrih v prvi sekundi

V Tabeli 1 so prikazani rezultati meritev VC, FVC in FEV<sub>1</sub> za vseh osem merjencev.

Merjenci so se v rezultatih razlikovali. Sami ST ne povedo dovolj o značilnostih merjencev. Pomembni parametri so tudi spol, starost, telesna višina, telesna teža in tekmovalni staž. Dobro je, da so rezultati ST čim boljši. Prava kombinacija vseh omenjenih parametrov da najboljše rezultate. Kakšna je idealna formula za pravo kombinacijo, pa še ni znano.

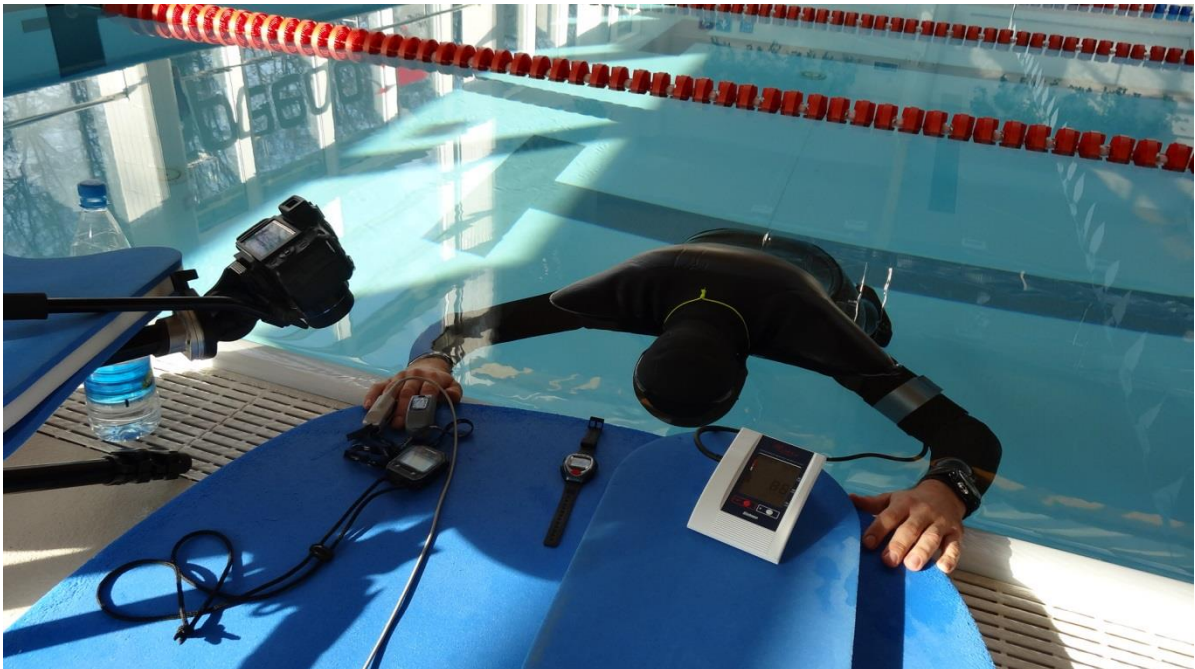
## 5.2 OPIS MERITEV

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 tudi 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 naključen in različen pri vseh merjencih.

Časovni protokol ogrevanja je bil enak pri izvedbi v vodi in na kopnem. Pred prvo apnejo je bilo pet minut časa za ogrevanje in potem med posameznimi apnejami tri minute odmora. Pri

ogrevanju oziroma nadihavanju pred začetkom in med apnejami niso imeli merjenci nobenih omejitev razen prepovedi hiperventilacije. 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.

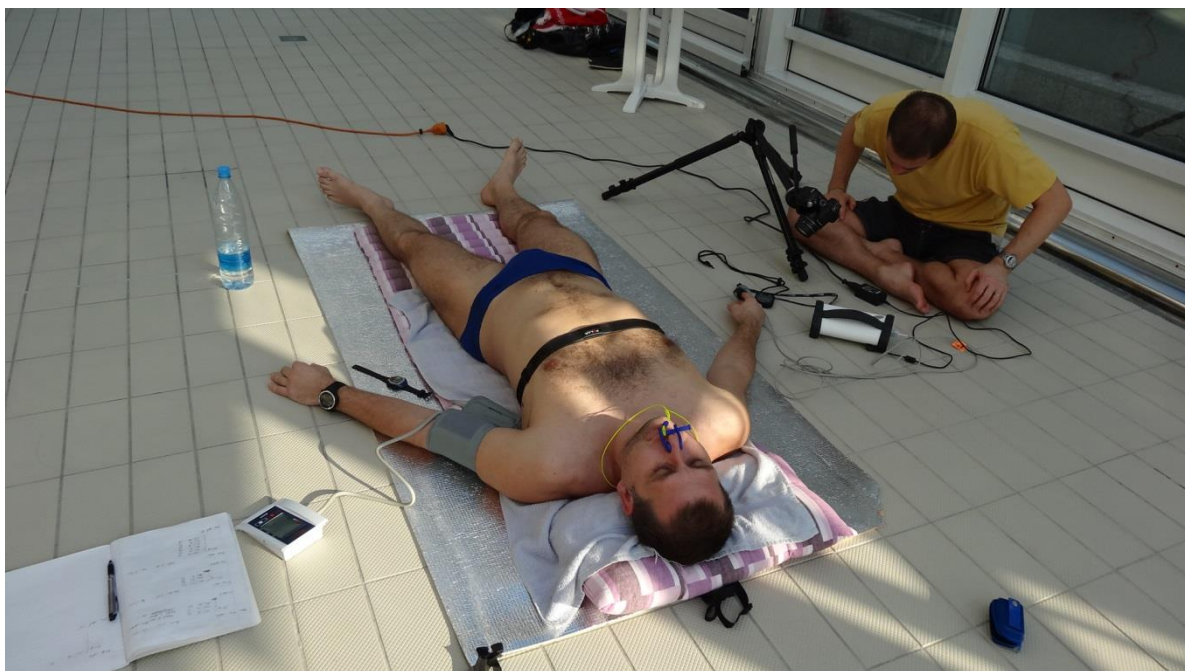
V vodi so bili merjenci oblečeni v neoprensko obleko, saj je bila temperatura vode 27,5°C in zraka 29,5°C. V vodi so merjenci ležali v prsnem položaju na vodni gladini s potopljenim obrazom, tako da sta bila usta in nos potopljena v vodo. Na obrazu so imeli merjenci le ščipalko za nos. Potapljaška maska,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



Slika 6. Statična apneja v vodi na meritvah (osebni arhiv).

Na Sliki 6 vidimo, kako so potekale meritve. Na levi strani slike je kamera neprekinjeno snemala čas apneje ter napravo za merjenje zasičenosti krvi s kisikom. Na levi roki je imel merjenec manšeto, ki je bila povezana z napravo za merjenje krvnega tlaka.

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.



Slika 7. Meritve statične apneje na kopnem (osebni arhiv).

Slika 7 prikazuje meritve na kopnem.

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

### 5.3 VZOREC SPREMENLJIVK

Pri vseh apnejah smo merili naslednje spremenljivke: čas trajanja posamezne apneje (KA – konec apneje), začetek spontanega krčenja dihalnih mišic (TK – točka krčenja), frekvenco srca (FS), zasičenost krvi s kisikom ( $\text{SaO}_2$ ) ter sistolični in diastolični krvni tlak (KT).

Vse merjenice in vse apneje smo posneli z videokamero. Videokamera je snemala vse glasovne znake (znak za TK in KA), elektronsko štoparico za merjene časa TK in KA, FS in napravo za merjenje  $\text{SaO}_2$ .

#### 5.3.1 ČAS TRAJANJA POSAMEZNIH APNEJ IN ZAČETEK SPONTANEGA KRČENJA DIHALNIH MIŠIC

Vse apneje (po vdihu, po izdihu, v vodi in na kopnem) so se merile z elektronskimi štoparicami na sekundo natančno (s). Med vsako apnejo so merjenci z dvigom dlani dali znak, kdaj so se začela TK, ki smo jih zabeležili na sekundo natančno (s).

#### 5.3.2 FREKVENCA SRCA

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



### 5.3.3 ZASIČENOST KRVI S KISIKOM

Pri vseh apnejah smo  $\text{SaO}_2$  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 pritrčili obe ščipalki s senzorjema pulzne oksimetrije.

### 5.3.4 SISTOLIČNI IN DIASTOLIČNI KRVNI TLAK

Krvni tlak smo merili v vodi in na kopnem, v mirovanju minuto pred začetkom apneje ter vsako minuto trajanja posamezne apneje. Merili smo ga na levi roki z napravo Sinkopa SE 6400a v mmHg.

## 5.4 IZRAČUNANI KAZALCI IN OPRAVLJENE ANALIZE

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.

FS smo analizirali glede na 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% in 100% deleža končnega časa pri vseh osmih merjencih.

$\text{SaO}_2$  smo analizirali na dva načina. Pri prvem načinu glede na 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% in 100% deleža končnega časa pri vseh osmih merjencih. Pri drugem načinu smo pri  $\text{SaO}_2$  analizirali več kazalcev. V času trajanja apneje lahko krivulji  $\text{SaO}_2$  glede na njene značilnosti priredimo dve območji (Foster idr., 2005; Kapus idr., 2013). Obe območji ločuje točka prevoja (TP) (Slika 6). V TP pride do očitnejše spremembe  $\text{SaO}_2$ . Za prvo območje je značilno konstantno rahlo padanje krivulje  $\text{SaO}_2$ . Za drugo območje pa je

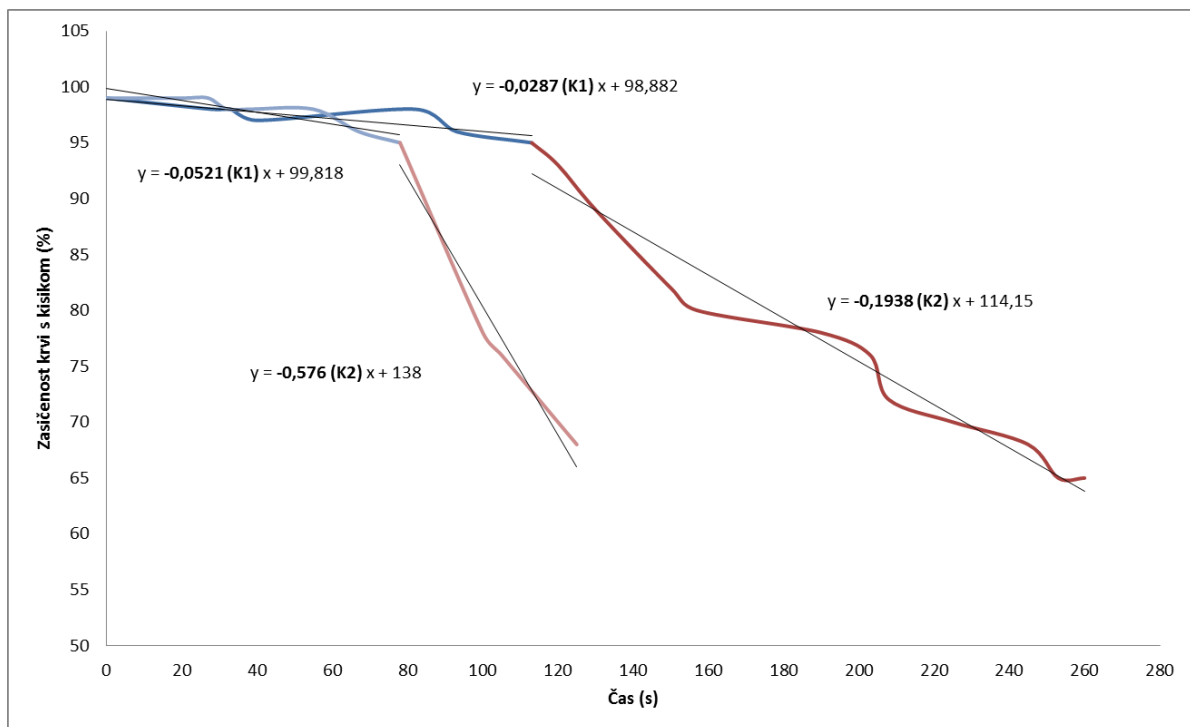
značilno hitrejše padanje SaO<sub>2</sub>. Za opis kinetike SaO<sub>2</sub> med apnejo smo podatkom 1. in 2. območja prilagodili kombinacijo dveh premic (Lindhholm, Sundblad in Linnarsson, 1999; Stewart, Bilmer, Sharman in Ridgway, 2005):

$$y(t) = \begin{cases} n_1 + K1 * t_1; & 0 < t < TP \\ n_2 + K2 * t_2; & t > TP \end{cases} \quad (1)$$

y (t) je bila izračunana vrednost SaO<sub>2</sub> med apnejo v trenutku opazovanja (t), n<sub>1</sub> in n<sub>2</sub> sta bili izračunani začetni vrednosti premic, K1 in K2 sta bila izračunana smerna koeficienta premic. Točko, ki loči K1 in K2, smo torej poimenovali TP. Določili smo jo z opazovanjem. Pri nadaljnji analizi kazalcev kinetike SaO<sub>2</sub> med apnejo smo posebej primerjali med sabo samo vrednosti K1 in vrednosti K2. Te vrednosti smo izračunali in prikazali, kot časovne spremembe:

$$\check{C}SSaO_2 = (\Delta SaO_2) / (\Delta \text{čas}) \quad (\%/min) \quad (2)$$

Kratica  $\check{C}SSaO_2$  pomeni časovno spremembo zasičenosti krvi s kisikom izraženo v % na minuto.



Slika 8. Prikaz izračunanih kazalcev K1 in K2.

Slika 8 prikazuje izračunane kazalce K1 in K2 za opis kinetike SaO<sub>2</sub> pri M1 (oznaka za enega od merjencev). Krajša krivulja SaO<sub>2</sub> velja za apnejo po izdihu na kopnem, daljša krivulja SaO<sub>2</sub> pa za apnejo po vdihu v vodi.

Pri analizi SaO<sub>2</sub> pri drugem načinu smo poleg K1 in K2 analizirali še naslednje kazalce:

- Točko prevoja (TP) SaO<sub>2</sub> v času (s)
- Vrednost SaO<sub>2</sub> (%) v začetku spontanega krčenja dihalnih mišic (TK)
- Vrednost SaO<sub>2</sub> (%) ob koncu apneje (KA)
- Najnižjo SaO<sub>2</sub> (%) v odmoru (TN)
- Čas (s) najnižje vrednosti SaO<sub>2</sub> v odmoru (TNČ)

Vrednosti sistoličnega in diastoličnega KT smo analizirali glede na delež končnega časa v 0%, 40% in 90%.

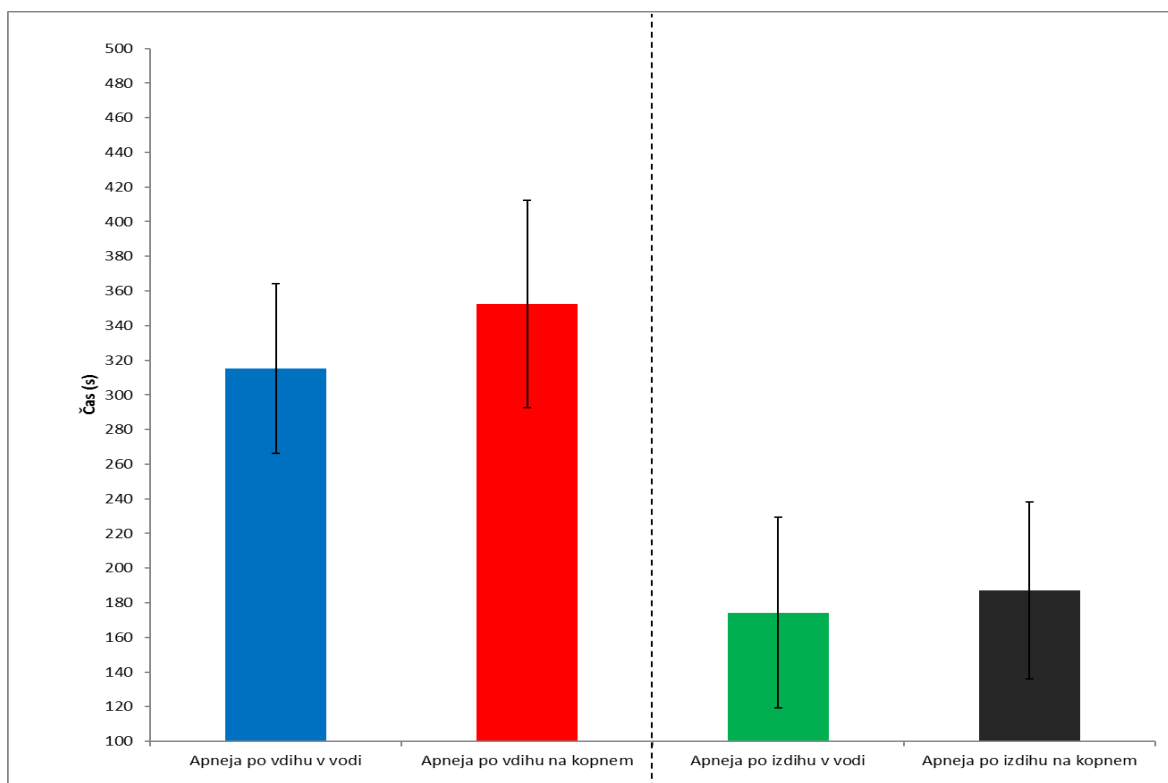
## **5.5 METODE OBDELAVE PODATKOV**

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).

## 6 REZULTATI

Z vsemi osmimi merjenci smo uspešno izvedli vse meritve. Vsi rezultati so prikazani v tabelah in slikah kot aritmetične sredine in standardni odkloni ( $AS \pm SO$ ). Znaki in kratice v tabelah in slikah pomenijo statistično pomembnost: \*\*:  $P \leq 0,010$  in \*  $\leq 0,050$ . Krivulje vrednosti FS in  $SaO_2$  se za vse merjence nahajajo v Prilogi. Začnejo se z začetkom apnej in končajo, ko se  $SaO_2$  v odmoru vrne nazaj na vsaj 98%.

### 6.1 ČAS TRAJANJA POSAMEZNIH APNEJ IN ZAČETEK SPONTANEGA KRČENJA DIHALNIH MIŠIČ

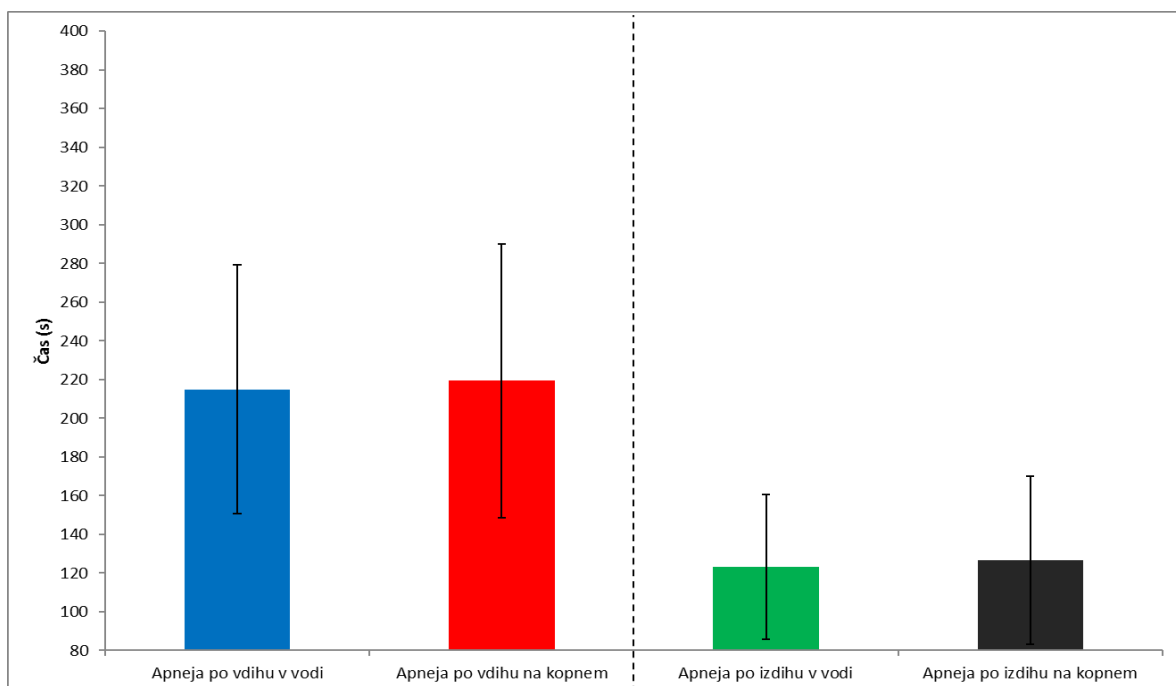


Slika 9. Trajanje posameznih apnej.

Slika 9 prikazuje KA 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).

KA je bil najdaljši pri apneji po vdihu na kopnem s povprečnim časom  $353 \pm 60$  s. Najdaljša apneja po vdihu je bila izmerjena na kopnem pri enemu od merjencev, in sicer 462 s, najkrajša apneja po vdihu na kopnem pa 250 s. Pri apneji po vdihu v vodi je bil povprečen čas  $315 \pm 49$  s. Najdaljša apneja je bila dolga 405 s in najkrajša 260 s. Pri apneji po izdihu na kopnem je bil povprečen čas  $187 \pm 51$  s. Najdaljša apneja po izdihu pa je bila izmerjena na kopnem pri enemu od merjencev, in sicer 278 s. Najkrajša apneja po izdihu na kopnem pa 125 s. Merjenci so najmanj držali dih pri apneji po izdihu v vodi s povprečnim časom  $174 \pm 55$  s. Najdaljša apneja je bila dolga 271 s in najkrajša 125 s.

Merjenci so povprečno 11% dlje držali dih pri apneji po vdihu na kopnem kot pri apneji po vdihu v vodi. Povprečno 7% dlje so merjenci držali dih pri apneji po izdihu na kopnem kot pri apneji po izdihu v vodi.



Slika 10. Trenutek začetka spontanega krčenja trebušnih mišic posameznih apnej.

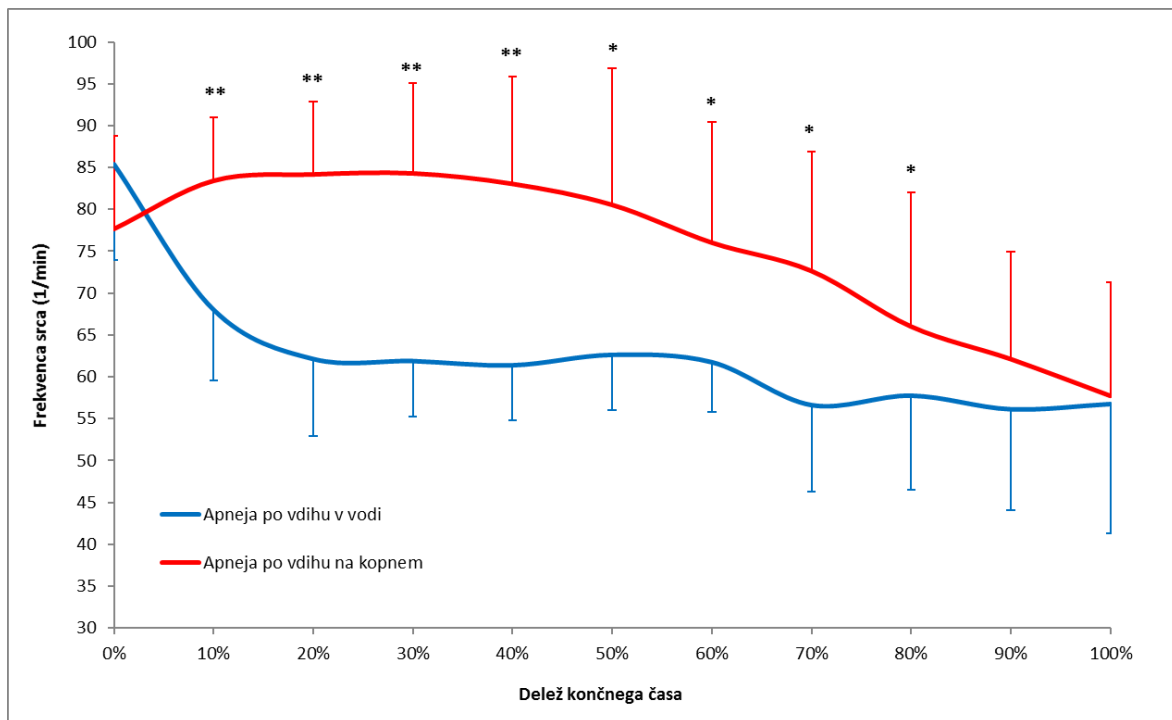
Slika 10 prikazuje TK posameznih apnej. Analiza variance za ponovljene meritve je sicer pokazala statistično pomembne razlike med apnejami, vendar ne med izvedbama po vdihu (v vodi in na kopnem) in med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem).

Pri vseh apnejah (voda, kopno, vdih in izdih) je vedno cilj, da se TK pojavi čim kasneje. Nekateri avtorji TK povezujejo z zaščito zaloga  $O_2$  v telesu (Palada idr., 2008; Dujic idr., 2009). TK se je najkasneje pojavila pri apneji po vdihu na kopnem s povprečnim časom  $219 \pm 71$  s. Najprej se je to zgodilo v 110. sekundi in najkasneje v 318. sekundi. Pri apneji po vdihu v vodi se je TK pojavila v  $215 \pm 64$  s. Najprej v 120. sekundi in najkasneje v 297. sekundi. Pri apneji po izdihu na kopnem se je TK pojavila v  $127 \pm 43$  s. Najprej v 55. sekundi in najkasneje v 203. sekundi. Najprej se je TK pojavila pri apneji po izdihu v vodi s povprečnim časom  $123 \pm 37$  s. Najprej v 65. sekundi in najkasneje v 193. sekundi.

Razlika pri TK med apnejo po vdihu na kopnem in apnejo po vdihu v vodi je bila povprečno 2%. Razlika pri TK med apnejo po izdihu na kopnem in apnejo po izdihu v vodi pa je bila povprečno 3%.

Časi KA in TK se med vsemi štirimi izvedbami ujemajo. Najprej se pojavita TK in KA pri apneji po izdihu v vodi, potem pri apneji po izdihu na kopnem, sledi apneja po vdihu v vodi in na koncu še apneja po vdihu na kopnem.

## 6.2 FREKVENCA SRCA

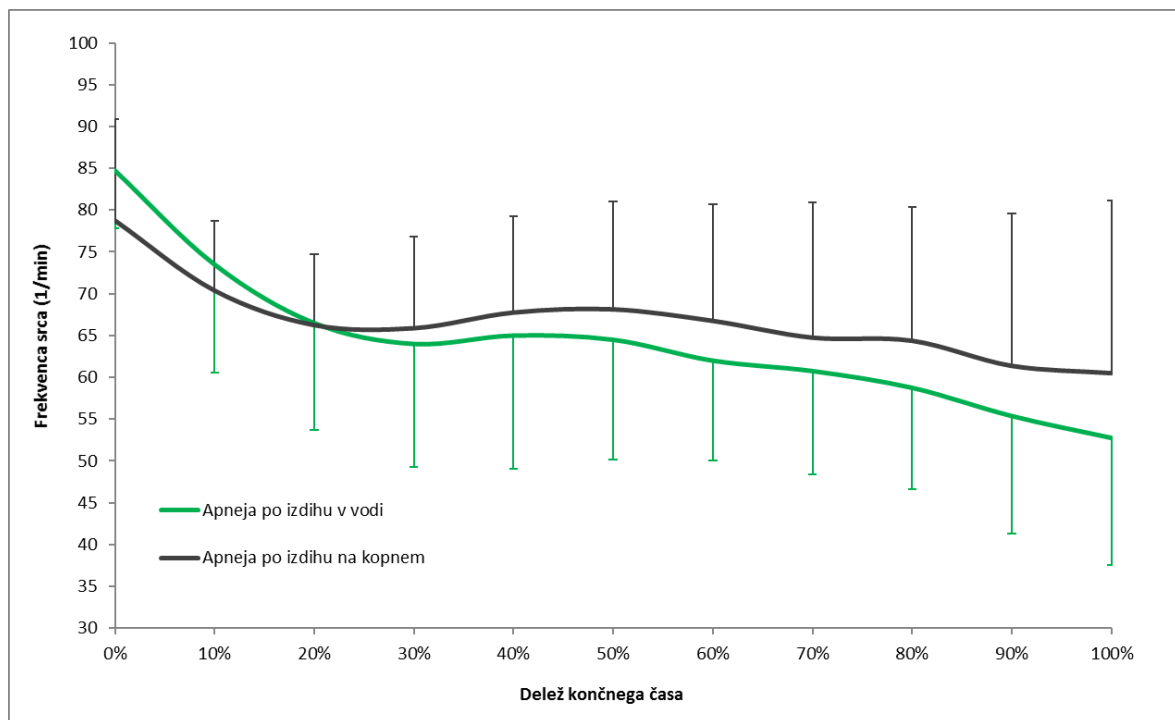


Slika 11. Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po vdihu.

Slika 11 prikazuje vrednosti FS pri obeh apnejah po vdihu glede na delež končnega časa. 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.

Pri 0% deležu končnega časa (začetek apneje) je bila očitna razlika v začetni FS med apnejo po vdihu v vodi  $85 \pm 11$  (1/min) in apnejo po vdihu na kopnem  $78 \pm 11$  (1/min). Pri 10% deležu končnega časa je prišlo do velike spremembe, saj je začela FS pri apneji po vdihu na kopnem naraščati. FS pri apneji po vdihu v vodi pa se je močno znižala. Krivulja FS pri apneji po vdihu na kopnem je bila med 10% in 55% deležem končnega časa na podobnem najvišjem nivoju. Pri 20% deležu končnega časa se je krivulja FS pri apneji po vdihu v vodi znižala na

$62 \pm 9$  (1/min). Med 20% in 60% deležem končnega časa je bila krivulja FS pri apneji po vdihu v vodi na podobnem nivoju. Od 55% deleža končnega časa naprej se začne krivulja FS pri apneji po vdihu na kopnem zniževati. Najnižje vrednosti FS pri apneji po vdihu na kopnem smo izmerili na koncu apneje (100% delež končnega časa). Za zadnje območje od 60% deleža končnega časa pa do konca apneje je značilno rahlo zniževanje FS pri apneji po vdihu v vodi. 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 12. Vrednosti frekvence srca pri obeh apnejah po izdihu.

Slika 12 prikazuje vrednosti FS pri obeh apnejah po izdihu glede na delež končnega časa. 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 apnejami, vendar ne med izvedbo po obeh izdihih.

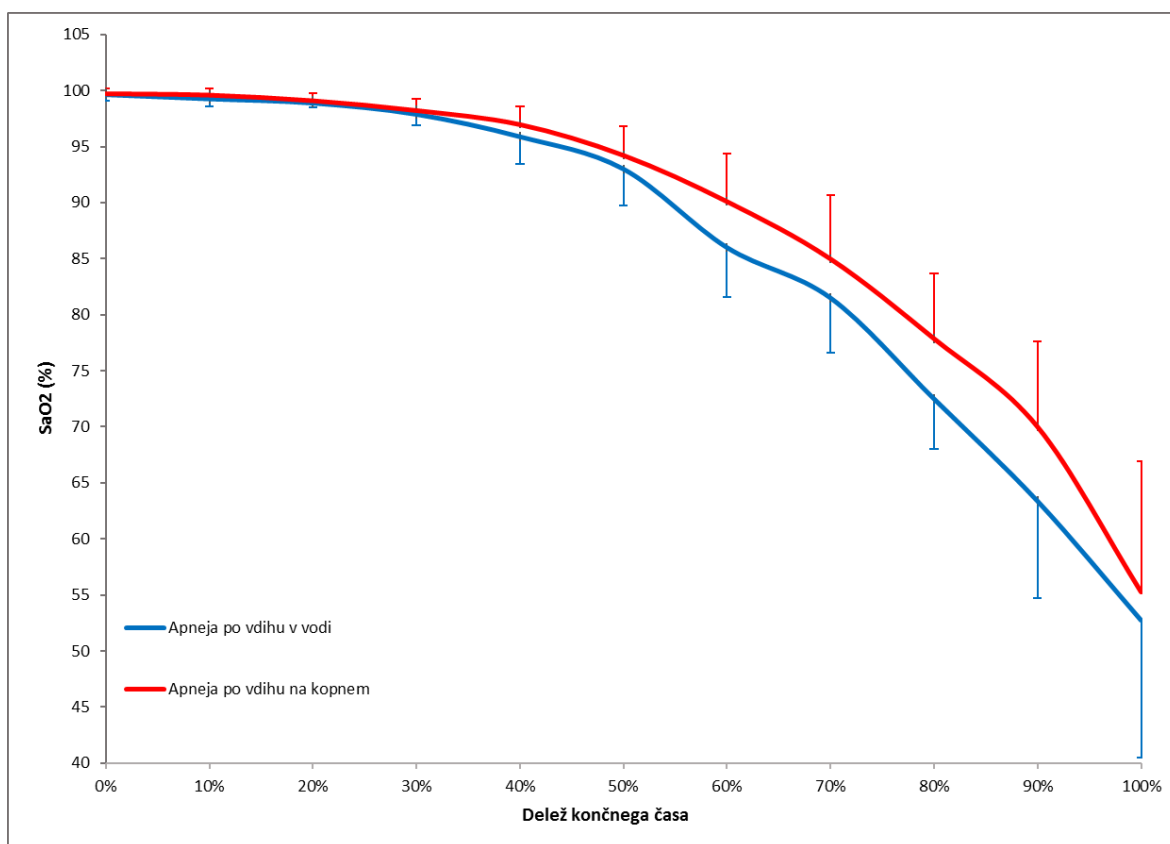


Pri 0% deležu končnega časa (začetek apneje) je bila očitna razlika v začetni FS med apnejo po izdihu v vodi  $85 \pm 7$  (1/min) in apnejo po izdihu na kopnem  $79 \pm 12$  (1/min). Krivulja FS se pri obeh apnejah takoj po začetku začne zniževati in ima podobne značilnosti skozi vse deleže končnega časa. Znižanje krivulje FS je najočitneje do 20% deleža končnega časa. Med 20% in 60% deležem končnega časa se krivulja FS pri obeh apnejah stabilizira. Za zadnje območje od 60% deleža končnega časa pa do konca apneje je značilno rahlo zniževanje FS pri obeh apnejah po izdihu. 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)).

Na krivuljah FS pri obeh apnejah v vodi ter pri apneji po izdihu na kopnem so se pokazala tri skupna območja (Sliki 9 in 10). Za prvo območje pri omenjenih treh apnejah je značilno strmejšo padanje FS do 20% deleža končnega časa. Sledi drugo stabilnejše območje z rahlim nihanjem navzgor in malce tudi navzdol do 60% deleža končnega časa. Zadnje, tretje območje pa pri vseh treh FS predstavlja padanje do konca apnej.

Slika pri apneji po vdihu na kopnem je drugačna (Slika 9). Za prvo območje je značilno strmo naraščanje do 10% deleža končnega časa. V drugem stabilnejšem območju do 55% deleža končnega časa se FS v prvem delu krivulje zelo malo dvigne, v drugem delu pa se začne rahlo spuščati. Za zadnje, tretje območje pa je značilno strmo padanje krivulje FS.

### 6.3 ZASIČENOST KRVI S KISIKOM

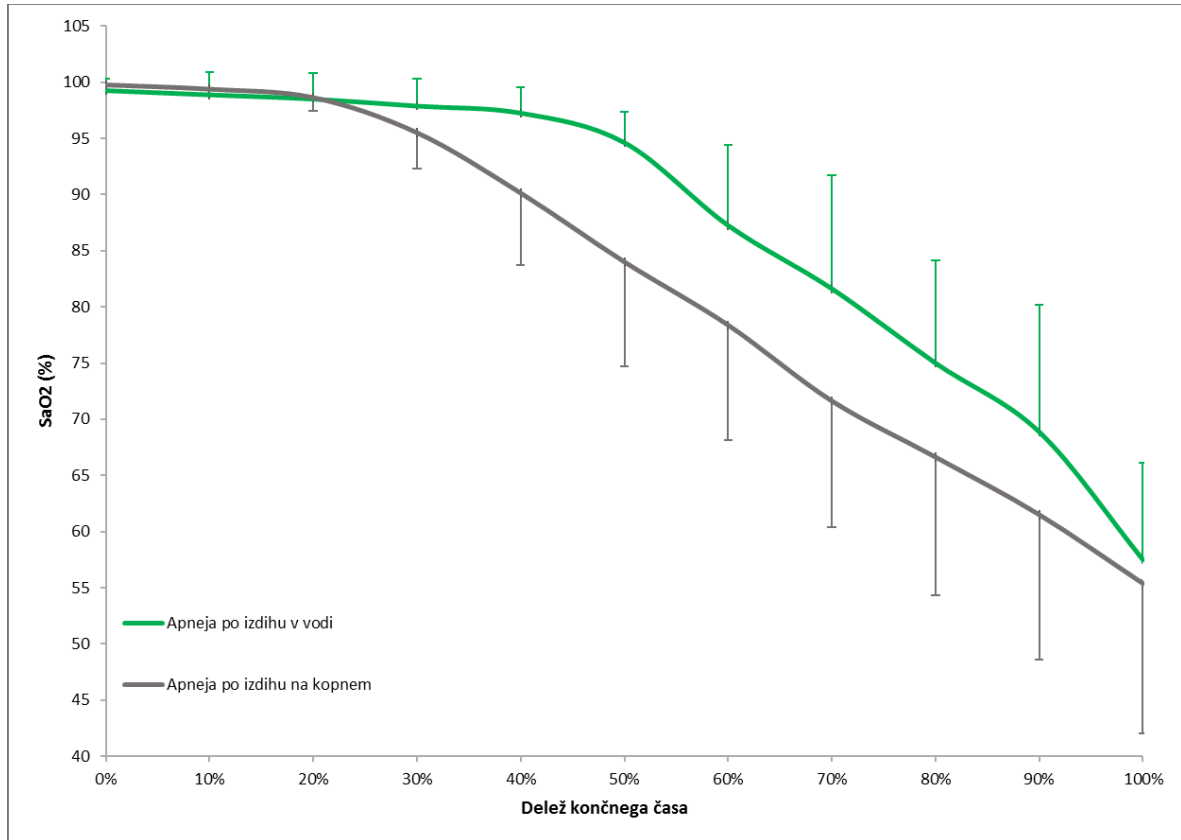


Slika 13. Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po vdihu.

Slika 13 prikazuje vrednosti SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po vdihu glede na delež končnega časa. 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.

Krivulji SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po vdihu sta podobni. Do 50% deleža končnega časa sta skoraj enaki. Med 50% in 90% deležem končnega časa so med obema krivuljama SaO<sub>2</sub> največje razlike, ki pa niso statistično pomembne. Krivulja SaO<sub>2</sub> pri apneji po vdihu v vodi je začela hitreje padati. Največji padeč SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po vdihu se je zgodil v zadnjem 10%

deležu končnega časa. Najnižjo SaO<sub>2</sub> smo izmerili pri apneji po vdihu na kopnem na koncu apneje (39% SaO<sub>2</sub>).

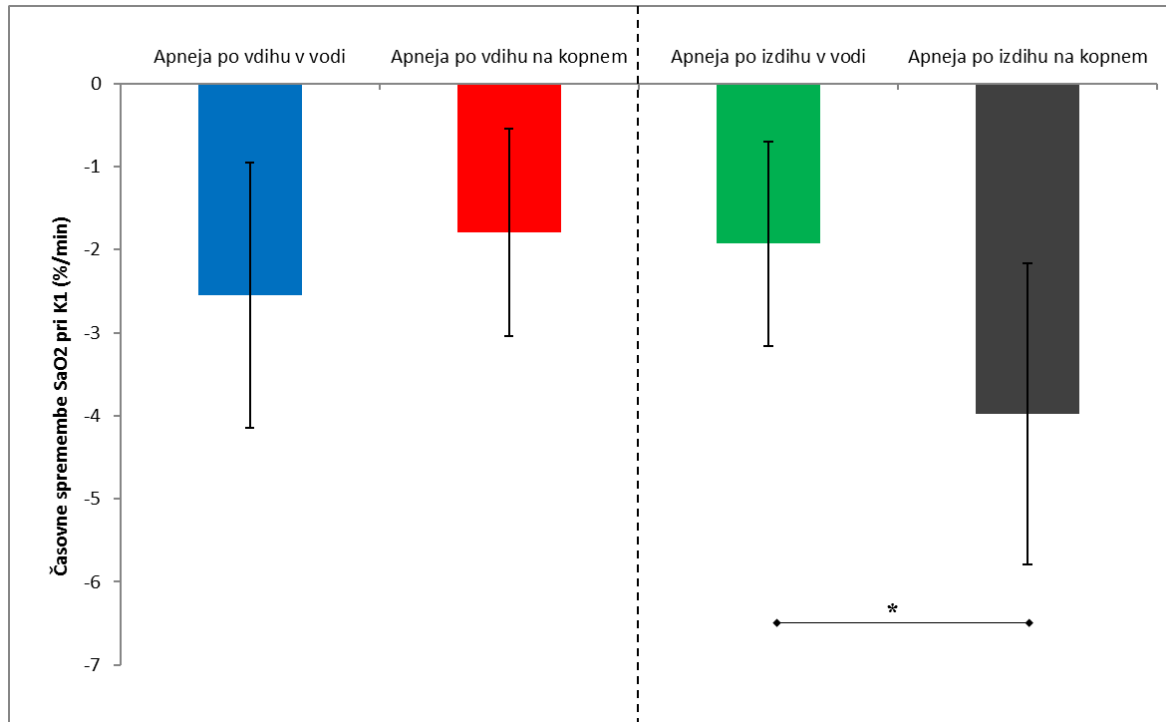


Slika 14. Vrednosti zasičenosti krvi s kisikom pri obeh apnejah po izdihu.

Slika 14 prikazuje vrednosti SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po izdihu glede na delež končnega časa. 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.

Krivulji SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po izdihu sta različni. Do 20% deleža končnega časa sta skoraj enaki. Med 20% in 90% deležem končnega časa so med obema krivuljama SaO<sub>2</sub> največje razlike, ki pa niso statistično pomembne. Krivulja SaO<sub>2</sub> pri apneji po izdihu v vodi se je do 40% deleža končnega časa zelo malo znižala. Njeno padanje se je začelo pri 40% deležu

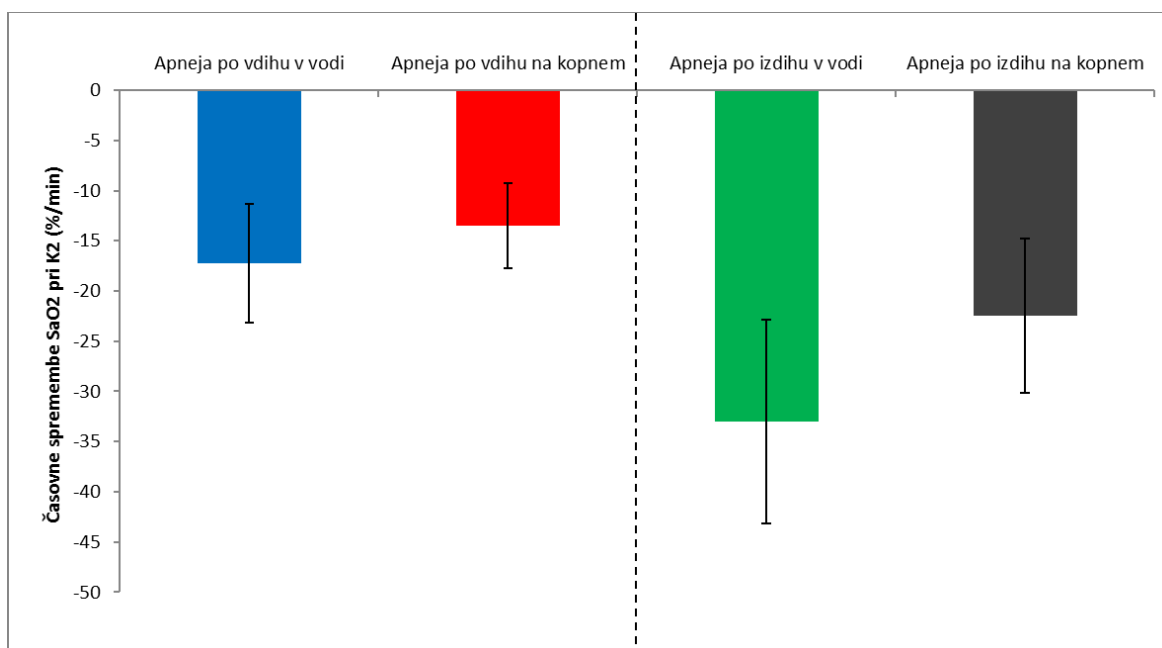
končnega časa. Krivulja SaO<sub>2</sub> pri apneji po izdihu na kopnem pa je začela padati že pri 20% deležu končnega časa. Največji padec SaO<sub>2</sub> pri obeh apnejah po izdihu se je zgodil v zadnjem 10% deležu končnega časa. Najnižjo SaO<sub>2</sub> smo izmerili pri apneji po izdihu na kopnem na koncu apneje (30% SaO<sub>2</sub>).



Slika 15. Časovne spremembe SaO<sub>2</sub> pri K1 med posameznimi apnejami.

Slika 15 prikazuje časovne spremembe SaO<sub>2</sub> pri K1 med posameznimi apnejami v %/min. Analiza variance za ponovljene meritve je pokazala statistično pomembne razlike med izvedbama po izdihu (v vodi in na kopnem) (\*:  $P \leq 0,050$ ).

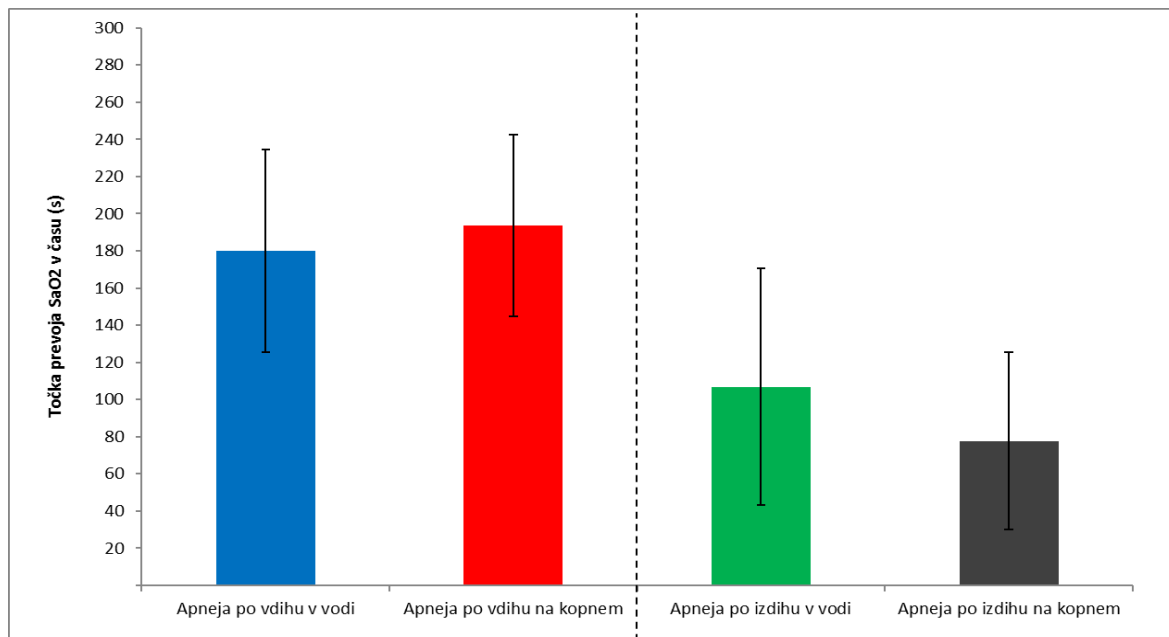
Časovne spremembe SaO<sub>2</sub> (ČSSaO<sub>2</sub>) pri K1 pri vseh štirih apnejah so majhne. Največje so pri apneji po izdihu na kopnem, najmanjše pa pri apneji po vdihu na kopnem. Želja vsakega potapljača na dihanje je, da so ČSSaO<sub>2</sub> pri K1 čim manjše in čim dlje trajajo, kajti takrat je SaO<sub>2</sub> visoka in fizično stanje potapljača je stabilno. Pri apneji po vdihu na kopnem so bile apneje pri merjenjih najdaljše, kar se lepo ujema s ČSSaO<sub>2</sub> pri K1, saj so te spremembe najmanjše od vseh štirih apnej. K1 se začne na začetku apneje in konča pri SaO<sub>2</sub> TP.



Slika 16. Časovne spremembe SaO<sub>2</sub> pri K2 med posameznimi apnejami.

Slika 16 prikazuje časovne spremembe SaO<sub>2</sub> pri K2 med posameznimi apnejami v %/min. 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).

ČSSaO<sub>2</sub> pri K2 so večje kot pri K1. K2 se začne pri SaO<sub>2</sub> TP in konča pri KA. ČSSaO<sub>2</sub> pri K2 pri vseh štirih apnejah se ujemajo s KA. Glede na dobljene podatke lahko rečemo, da obstaja zveza med ČSSaO<sub>2</sub> pri K2 pri SaO<sub>2</sub> in KA. V enaki zvezi s K2 pri SaO<sub>2</sub> in KA je tudi SaO<sub>2</sub> TK pri vseh štirih apnejah.



Slika 17. Točka prevoja zasičenosti krvi s kisikom v času (s) posameznih apnej.

Slika 17 prikazuje SaO<sub>2</sub> TP v času (s) 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).

Pri obeh apnejah po izdihu se TP v času (s) pojavi prej, kot pri obeh apnejah po vdihu. Obe apneji po vdihu sta tudi daljši v času trajanja.

Tabela 2

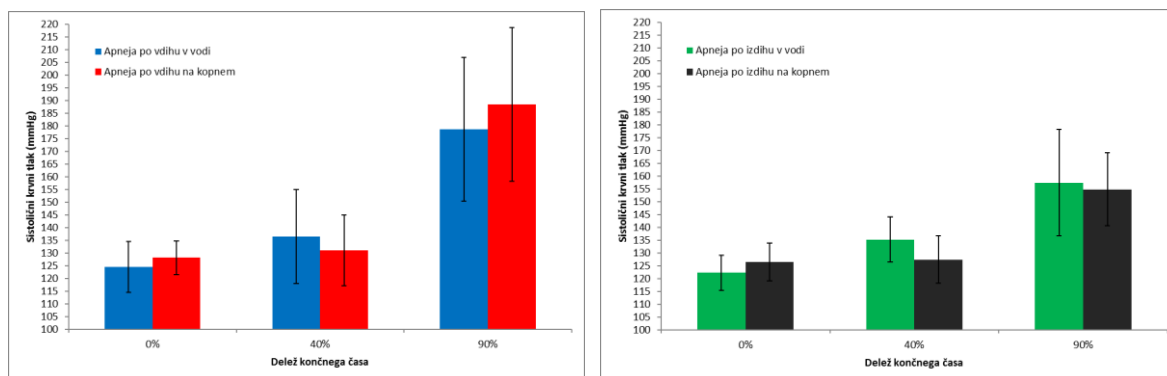
Kazalci kinetike zasičenosti krvi s kisikom

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

Legenda. SaO<sub>2</sub> TK – točka začetka spontanega krčenja trebušnih mišic SaO<sub>2</sub> v %; SaO<sub>2</sub> KA – konec apneje SaO<sub>2</sub> v %; SaO<sub>2</sub> TN – točka najnižje SaO<sub>2</sub> v %; SaO<sub>2</sub> TNČ – točka najnižje SaO<sub>2</sub> v času (s)

V Tabeli 2 so prikazane aritmetične sredine in standardni odkloni kazalcev kinetike SaO<sub>2</sub>.

## 6.4 SISTOLIČNI IN DIASTOLIČNI KRVNI TLAK

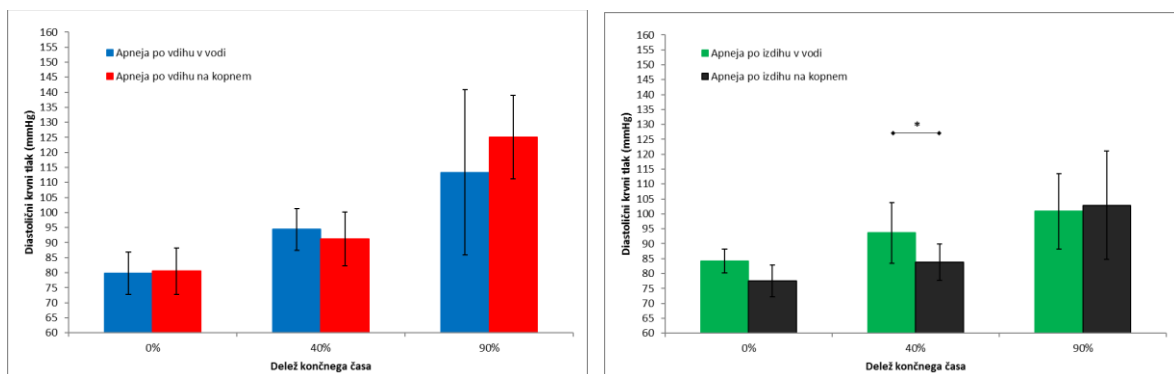


Sliki 18. Sistolični krvni tlak posameznih apnej.

Sliki 18 prikazujeta sistolični KT posameznih apnej v mmHg glede na delež končnega časa. 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).

Sistolični KT narašča pri vseh apnejah glede na delež končnega časa. Največji skok sistoličnega KT smo zaznali pri 90% deležu končnega časa. Pri zadnjem 90% deležu končnega časa se vidi razlika in med obema apnejama po vdih in obema apnejama po izdihu. 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. Med 40% in 90% deležem končnega časa so veliko večje razlike kot med 0% in 40% deležem končnega časa.



Sliki 19. Diastolični krvni tlak posameznih apnej.

Sliki 19 prikazujeta diastolični KT posameznih apnej v mmHg glede na delež končnega časa. 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.

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).



Sistolični KT podobno kot diastolični KT narašča pri vseh apnejah glede na delež končnega časa. Edina statistično pomembna razlika je pri diastoličnem KT med obema apnejama po izdihu pri 40% deležu končnega časa.

## 7 RAZPRAVA

Glavna cilja raziskave sta bila:

- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po vdihu izvedeno v vodi in na kopnem.
- Ugotoviti razliko v učinkih med statično apnejo po izdihu izvedeno v vodi in na kopnem.

### 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.

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 idr. (1988) so v svoji raziskavi ugotovili, da je odziv potapljaškega refleksa na kopnem manjši, v vodi pa večji. Po drugi strani pa verjetno pogoji merjenja v vodi niso dopuščali daljših apnej. Vsi merjenci so se namreč pritoževali nad bolečinami v rokah pri meritvah v vodi. Zaradi merilnih naprav (merjenje  $\text{SaO}_2$  in KT) so morali imeti merjenci obe roki na robu bazena (Slika 6). Bolečine v rokah so bile glavni razlog, da se merjenci niso mogli tako sprostiti kot na meritvah na kopnem (Slika 7). Ker smo želeli preveriti vpliv položaja rok na meritvah v vodi, smo k poskusu povabili vseh osem merjencev. Šest merjencev od osmih je sodelovalo v poskusu. V poskusu so merjenci izvedli še sproščeno apnejo po vdihu v vodi in brez tehnike pakiranja s položajem rok v vodi (Slika 4). Njihov povprečni čas je znašal  $370 \pm 65$  s. Razlika z apnejo po vdihu v vodi (na meritvah) tako znaša  $15 \pm 2\%$ . Razlika je statistično značilna (\*\*:  $P \leq 0,010$ ). Rezultati dovolj jasno kažejo, da je bil vpliv meritev pri apneji po vdihu v vodi (položaj rok) za konec apneje pomemben (Slika 6).

Kasneje ko se pojavijo TK, daljše so apneje (Kapus, Ušaj, Dajić in Jeranko, 2015). Sliki 9 in 10 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. Kapus idr. (2015) so v svoji raziskavi ugotovili, da se je pri testiranjih med sezono povečala VC potapljača A za  $15 \pm 3\%$ , potapljača B pa za  $17 \pm 2\%$ . 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. 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. Potapljaški refleks predstavlja zaščito telesa ob prekinitvi dihanja tako na kopnem kot tudi v vodi (Elsner idr., 1983; Gooden, 1994; Foster idr., 2005). Uravnavanje FS med apnejo je posledica delovanja različnih mehanizmov, ki se vključijo zaradi draženja. Pri potopitvi obraza z usti in nosom v vodo se vzdražijo obrazni receptorji za mraz, ki povečajo aktivnost vagusnega živca in s tem takoj znižajo FS. Periferna vazokonstrikcija zviša upor in posledično tudi KT. To zaznajo baroreceptorji, ki refleksno znižajo FS. Ob globokem vdihu receptorji na nateg v mišicah prsnega koša zaznajo raztezanje mišic in dvignejo FS (Berne, Levy, Koeppen in Stanton, 1998). Ker pa se med apnejo volumen pljuč počasi manjša, se manjša tudi njihov vpliv, kar dodatno zniža FS (Mithoefer, 1965). Apneja povzroči tudi spremembe v vsebnosti  $O_2$  in  $CO_2$  v krvi, kar zaznajo kemoreceptorji, to povzroči tudi vazokonstrikcijo (Perini idr., 2008) in znižanje FS (Lemaitre idr., 2008).

S pomočjo gibanja vrednosti FS med obema apnejama po vdihu smo ugotovili, da se FS ne spreminja enako (Slika 11). 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 dihalko v ležečem končnem 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., 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, 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 trenutek 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 18 in 19) 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 11) izmerili najnižje vrednosti FS (Kapus idr., 2015).

Vrednosti  $SaO_2$  pri obeh apnejah po vdihu sta podobni (Slika 13). Med njima ni statistično pomembnih razlik. Glede na to, da je odziv potapljaškega refleksa večji v vodi kot na kopnem, bi pričakovali kasnejše padanje  $SaO_2$  v vodi. V prvem delu gibanja vrednosti  $SaO_2$  je zaželeno, da so  $\dot{C}SSaO_2$  pri K1 čim manjše (Slika 15) in da se TP pojavi čim kasneje (Slika 17). Nimajo pa  $\dot{C}SSaO_2$  pri K1 pomembnega vpliva na KA in TK, kar se vidi iz rezultatov meritev (Sliki 9 in 10). Pri K2 je slika drugačna, kajti  $\dot{C}SSaO_2$  pri K2 se ujema pri obeh apnejah na vdih (Slika 16). Merjenci imajo v povprečju tudi podobne vrednosti  $SaO_2$  pri TP

(94%), TK (81%), KA (55%), TN (45%) in TNČ (17 s) pri obeh apnejah na vdih (Tabela 2), kar pomeni, da je verjetno fiziološki odziv telesa pri obeh apnejah na vdih pri spremenljivki SaO<sub>2</sub> podoben (Lindhholm idr., 2006). V povprečju so bile vrednosti kazalcev kinetike SaO<sub>2</sub> pri vseh merjencih dokaj skupaj. Standardni odkloni pa kažejo tudi na določeno razpršenost vrednosti SaO<sub>2</sub>. Razlog so lahko različne funkcionalne sposobnosti merjencev ali pa različni volumni zadnjih vdihov (Stewart idr., 2005) in izdihov. Izvedba je bila pri vseh merjencih podobna, ni pa bila točno nadzorovana. Poudariti moramo tudi, da nižja SaO<sub>2</sub> ne pomeni nujno tudi daljše apneje. Drži pa dejstvo, da boljši potapljači lahko dosežejo nižje vrednosti SaO<sub>2</sub> med apnejo kot slabši (Schagatay, 2009).

Rezultati raziskave so pokazali, da pri obeh apnejah po vdihu (Sliki 18 in 19) 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 ČSSaO<sub>2</sub> pri K1 in diastoličnemu KT pri 40% deležu končnega časa.

Pri obeh apnejah po izdihu smo pričakovano dobili krajše čase apnej kot pri obeh apnejah po vdihu (Slika 9). Glavni razlog je manjši pljučni volumen in s tem posledično manjše zaloge O<sub>2</sub> (Ferretti idr., 2003).

Če TK prikažemo v deležih KA, ugotovimo, da se pri apneji v vodi pojavi pri  $72 \pm 14\%$  in pri apneji na kopnem pri  $67 \pm 12\%$  (Sliki 9 in 10).

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

potopljeni glavi (Slika 12), 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 strmejšo 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. Najnižje vrednosti FS smo pri obeh apnejah po izdihu izmerili na koncu apneje. Pri apneji po izdihu v vodi ( $53 \pm 15$  (1/min)) in pri apneji po izdihu na kopnem ( $61 \pm 21$  (1/min)). Najnižjo vrednost FS med vsemi štirimi apnejami smo izmerili pri apneji po izdihu na kopnem ( $36$  (1/min)) na koncu apneje.

Krivulji  $SaO_2$  pri obeh apnejah po izdihu sta različni (Slika 14). Med njima sicer ni statistično pomembnih razlik, se pa lepo vidi vpliv potapljaškega refleksa na krivulji apneje po izdihu v vodi.  $SaO_2$  pri apneji po izdihu v vodi začne kasneje padati kot  $SaO_2$  pri apneji po izdihu na kopnem.  $\check{C}SSaO_2$  pri K1 med obema apnejama po izdihu so statistično pomembno različne, verjetno pa nimajo pomembnega vpliva na KA in TK (Sliki 9 in 10). Pri  $\check{C}SSaO_2$  pri K2 ni pomembnih razlik glede izvedbe v vodi ali na kopnem. Med obema apnejama po izdihu so v povprečju podobne vrednosti  $SaO_2$  pri TP (94%), TK (81%), KA (55%), TN (45%) in TNČ (17 s). Pri apneji po izdihu na kopnem smo pri KA izmerili najnižjo  $SaO_2$  med vsemi štirimi apnejami pri enemu od merjencev (30%).

Rezultati raziskave kažejo, da pri obeh apnejah po izdihu s trajanjem zadrževanja diha naraščata tudi oba KT (Sliki 17 in 18). Glede na H2 so za nas 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.

## 8 ZAKLJUČEK

Hipotezi:

- H1: Učinki statične apneje po vdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.
- H2: Učinki statične apneje po izdihu se statistično pomembno ne razlikujejo med izvedbo v vodi in izvedbo na kopnem.

Rezultati raziskave so potrdili obe hipotezi, vendar ne pri vseh spremenljivkah v celoti.

Spremenljivki KA in TK v celoti potrjujeta H1 in H2. Pri spremenljivki FS rezultati potrjujejo v celoti le H2, medtem ko pri H1 rezultati potrjujejo le določene deleže končnega časa posameznih apnej (0%, 90% in 100%). Spremenljivka SaO<sub>2</sub> potrjuje v celoti H1. H2 ne potrjujejo ČSSaO<sub>2</sub> pri K1. Spremenljivka sistolični KT v celoti potrjuje H1 in H2. Pri spremenljivki diastolični KT rezultati v celoti potrjujejo le H1. Pri H2 spremenljivka diastolični KT potrjuje dva deleža končnega časa posameznih apnej (0% in 90%).

Ker je TK relativno skupaj pri vseh štirih apnejah (67% KA), lahko torej sklepamo, da obstaja zveza med vsemi štirimi apnejami.

Raziskava je razkrila tudi nekaj težav. Največ smo jih imeli z občutljivostjo in ustreznostjo merjenja SaO<sub>2</sub> na kazalcu in prstancu leve roke. Merilne naprave, ki omogočajo merjenje SaO<sub>2</sub> čim bližje pljučem in možganom, bi bile ustreznejše, ker bi bila zakasnitev manjša. Vsi merjenci se pri apneji v vodi niso mogli sprostiti (položaj rok) in so zato posledično manj časa zdržali v apneji. Verjetno nam bo merilna tehnologija v bližnji prihodnosti omogočala izvedbo takšnih meritev v vodi, da se bodo merjenci lahko popolnoma sprostiti. Na kopnem teh težav nismo imeli, saj so bili lahko merjenci v položaju za meritve sproščeni.

Najnižje vrednosti SaO<sub>2</sub> so imeli merjenci v času odmora, takoj po koncu apnej (Tabela 2). Z vidika hipotez to sicer ni pomembno, je pa pomembno z vidika varnosti. Z meritvami SaO<sub>2</sub> s senzorjem na kazalcu in prstancu desne roke lahko le s časovno zakasnitvijo sklepamo o zasičenosti krvi s kisikom v pljučih (Andersson in Evaggelidis, 2009). Podobna časovna zakasnitev je tudi pri pretoku krvi od pljuč do možganov (Lindholm, 2007). SaO<sub>2</sub> TNČ smo namreč izmerili v obdobju 17 sekund po KA (Tabela 2). Najprej se je to zgodilo v 4 sekundi

in najkasneje v 28 sekundi in sicer pri apneji po vdihu v vodi. Vrednost  $\text{SaO}_2$  TN je bila v povprečju 45%. Najnižja izmerjena vrednost  $\text{SaO}_2$  nasploh pa je bila komaj 15%, in sicer pri apneji po vdihu v vodi. Merjenec je zaključil apnejo brez težav. Zaradi te časovne zakasnitve in posledične nevarnosti utopitve je potrebno varovati potapljače na dih v vodi še vsaj 30 sekund (Andersson idr., 2009) po koncu apneje.

Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da pri spremenljivki FS vadba apneje po vdihu na kopnem nima podobnega učinka na telo in uravnalne 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 dih.



## 9 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.
- 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.
- Baković, D., Valic, Z., Eterović, D., Vuković, I., Obad, A., Marinović-Terzić, I. in Dujić, Z. (2003). Spleen volume and blood flow response to repeated breath-hold apneas. *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1460-1466.
- Balestra, C., Germonpre, P., Poortmans, J. R. in Marroni, A. (2006). Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the “normobaric oxygen paradox”. *European Journal of Applied Physiology*, 100(2), 512-518.
- 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.
- Berne, R. M., Levy, M. N., Koeppen, B. M. in Stanton, B. A. (1998). *Physiology*. Mosby. Inc., St. Louis, MO USA.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- Courtice, F. C. (1943). The blood volume of normal animals. *The Journal of physiology*, 102(3), 290-305.
- 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.
- 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.
- Dejours, P. (1965). Hazards of hypoxia during diving. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. *Publication*, (1341), 183-193.
- 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.
- 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.
- Elsner, R. in Gooden, B. (1983). *Diving and asphyxia: a comparative study of animals and man (No. 40)*. Cambridge University Press.
- Erslev, A. (1953). Humoral regulation of red cell production. *Blood*, 8(4), 349-357.
- 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. (2001). Extreme human breath-hold diving. *European journal of applied physiology*, 84(4), 254-271.
- 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.
- 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.
- Gooden, B. A. (1994). Mechanism of the human diving response. *Integrative physiological and behavioral science*, 29(1), 6-16.
- 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.
- 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.
- 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.
- Irving, L. (1963). Bradycardia in human divers. *Journal of Applied Physiology*, 18(3), 489-491.

- 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.
- 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.
- 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.
- Leff, A. R. in Schumacker, P. T. (1993). *Respiratory physiology: basic and applications (First Edition)*. Philadelphia: Saunders.
- 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.
- 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. G. (2006). Alveolar gas composition before and after maximal breath-holds in competitive divers. *Undersea and hyperbaric medicine*, 33, 463-467.
- 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.
- Mali, M. (12.2.2013). *STATIKA – Treningi in tekmovanje*. Športno društvo H<sub>2</sub>O team. Pridobljeno iz <http://www.h2oteam.com/apnea/tehnike-in-izobrazevanja/?id=445>
- 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.
- Miller, M. R., Hankinson, J., Brusasco, V., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A.,...Force, A. E. T. (2005). Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal*, 26(2), 319-338.
- Mithoefer, J. C. (1965). The breaking point of breath holding. *Physiology of Breath-Hold Diving and the Ama of Japan*, 195-205.
- 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/>
- Muth, C. M., Ehrmann, U. in Radermacher, P. (2005). Physiological and clinical aspects of apnea diving. *Clinics in chest medicine*, 26(3), 381-394.
- Miyamoto, O. in Auer, R. N. (2000). Hypoxia, hyperoxia, ischemia, and brain necrosis. *Neurology*, 54(2), 362-362.
- Nitsch, H. (2015). *Herbert Nitsch*. Pridobljeno iz <http://www.herbertnitsch.com/media/ewExternalFiles/2015-06%20GEA.pdf>

- Overgaard, K., Friis, S., Pedersen, R. B. in Lykkeboe, G. (2006). Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and P ET O<sub>2</sub> and P ET CO<sub>2</sub> on apnea performance in trained breath-hold divers. *European journal of applied physiology*, 97(2), 158-164.
- 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.
- 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.
- Pelizzari, U. in Tovaglieri, S. (2004). *Manual of freediving: Underwater on a single breath*. Reddick: Idelson-Gnocchi.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ridgway, L. in McFarland, K. (2006). Apnea diving: long-term neurocognitive sequelae of repeated hypoxemia. *The Clinical neuropsychologist*, 20(1), 160-176.
- 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.
- Schagatay, E. (2009). Predicting performance in competitive apnea diving. Part 1: static apnoea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 39(2), 88-99.

- Schagatay, E. (2010). Predicting performance in competitive apnea diving. Part 2: dynamic apnea. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 40(1), 11-22.
- Schagatay, E. (2011). Predicting performance in competitive apnea diving. Part 3: deep diving. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 41(4), 216-228.
- Schagatay, E. in Andersson, J. (1998). Diving response and apneic time in humans. *Undersea and hyperbaric medicine*, 25(1), 13.
- 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.
- 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.
- 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.
- Schagatay, E., Lodin, A. in Richardson, M. (2007a). *Lung volume and diving performace in elite apnoeists (Abstract)*. 33th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh: Egypt.
- Schagatay, E., Lodin, A. in Richardson, M. (2007b). *Spleen size and diving performace in elite apnoeists (Abstract)*. 33th Annual Scientific Meeting of the European Underwater and Baromedical Society. Sharm el Sheikh: Egypt.
- 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.
- 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.
- Schuitema, K. in Holm, B. (1988). The role of different facial areas in eliciting human diving bradycardia. *Acta physiologica scandinavica*, 132(1), 119-120.

- 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.
- 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.
- Stewart, I. B. in McKenzie, D. C. (2002). The human spleen during physiological stress. *Sports Medicine*, 32(6), 361-369.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wittaker, L. A. in Irvin, C. G. (2007). Going to extremes of lung volume. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 831-833.



# 10 PRILOGA

## 10.1 OBVEŠČENI PRISTANEK

1. Merjenec: \_\_\_\_\_

Rojen: \_\_\_\_\_

2. Raziskovalna ustanova:

UNIVERZA V LJUBLJANI, Fakulteta za šport, Inštitut za šport

Gortanova 22, 1000 Ljubljana

3. Raziskava:

STATIČNA APNEJA NA VDIH IN IZDIH V VODI IN NA KOPNEM

4. IZJAVA MERJENCA:

Podpisani kot merjenec v raziskavi sem razumel metodo raziskave. Moje sodelovanje v raziskavi je popolnoma prostovoljno in ga lahko odklonim ali izstopim iz raziskave. Obvestili so me, da bodo rezultati te raziskave služili napredku kineziološkega znanja. Dobrobit, tveganje in nevšečnosti mi je razumljivo razložil ALEŠ KOŠTOMAJ, ki je odgovoren za mojo varnost v teku raziskave.

Datum: \_\_\_\_\_

Podpis merjenca: \_\_\_\_\_

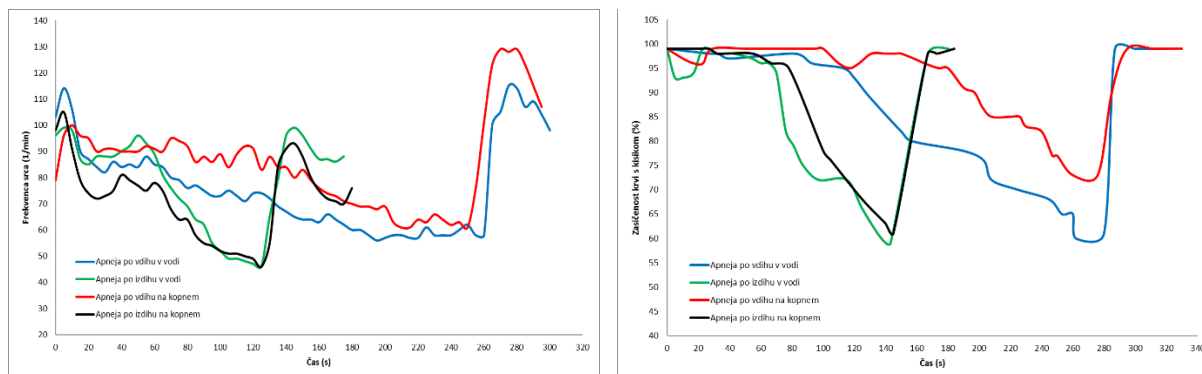
5. IZJAVA RAZISKOVALCA

Podpisani sem merjencu razumljivo razložil dobrobit, tveganje in nevšečnosti sodelovanja v raziskavi.

Datum: \_\_\_\_\_

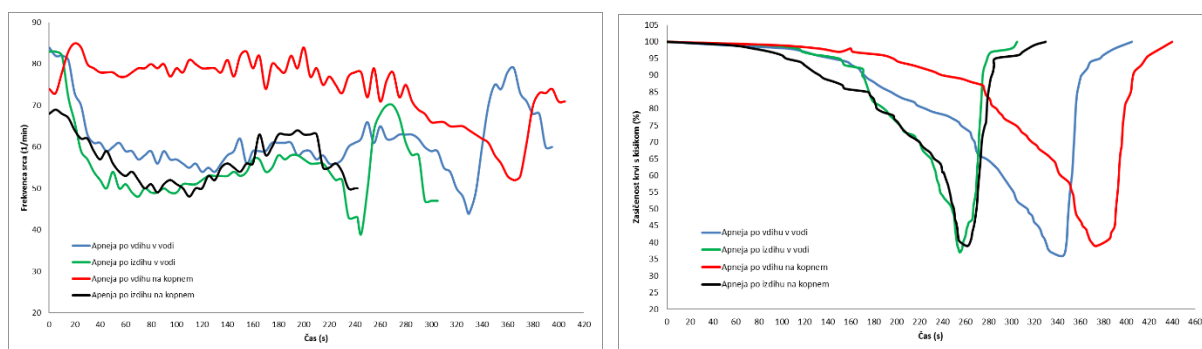
Podpis raziskovalca: \_\_\_\_\_

## 10.2 FREKVENCA SRCA IN ZASIČENOST KRVI S KISIKOM PRI VSEH OSMIH MERJENCIH



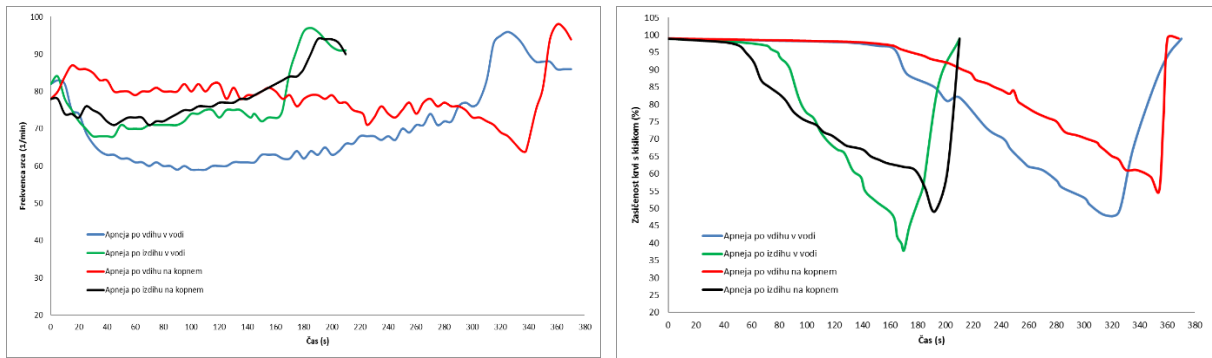
Sliki 20. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M1.

Sliki 20 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M1 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



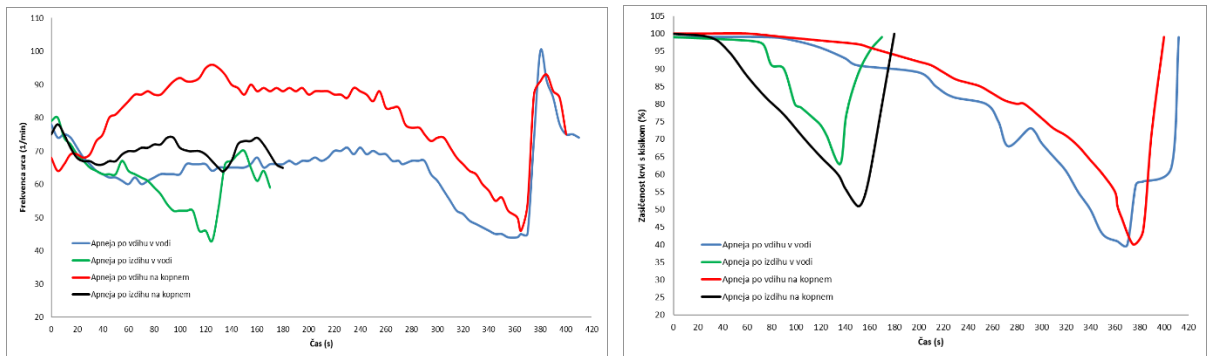
Sliki 21. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M2.

Sliki 21 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M2 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



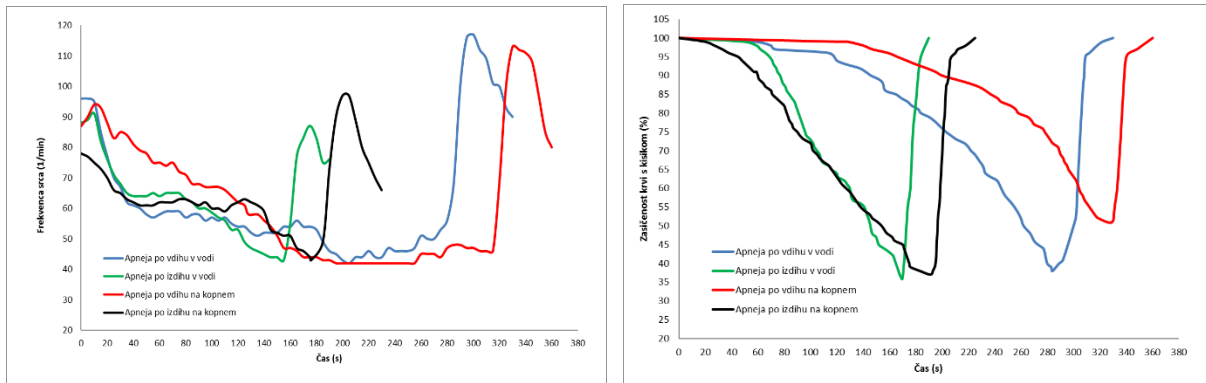
Sliki 22. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M3.

Sliki 22 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M3 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



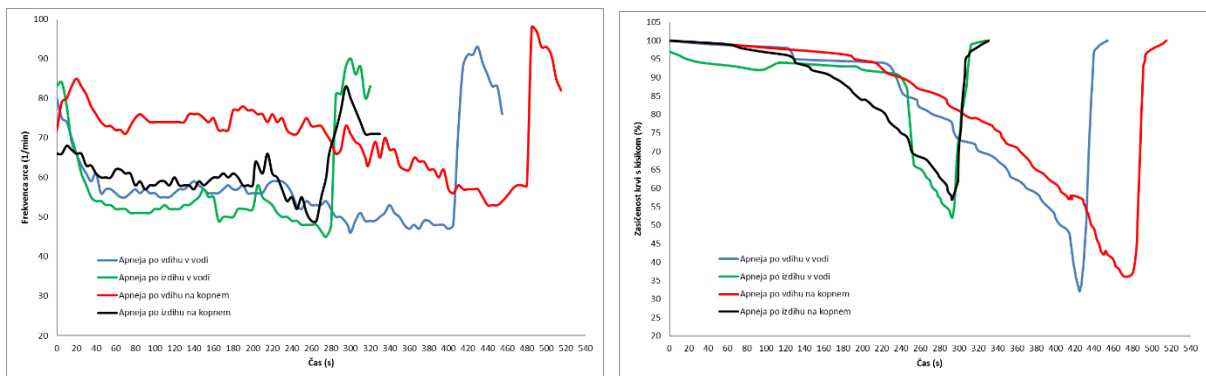
Sliki 23. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M4.

Sliki 23 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M4 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



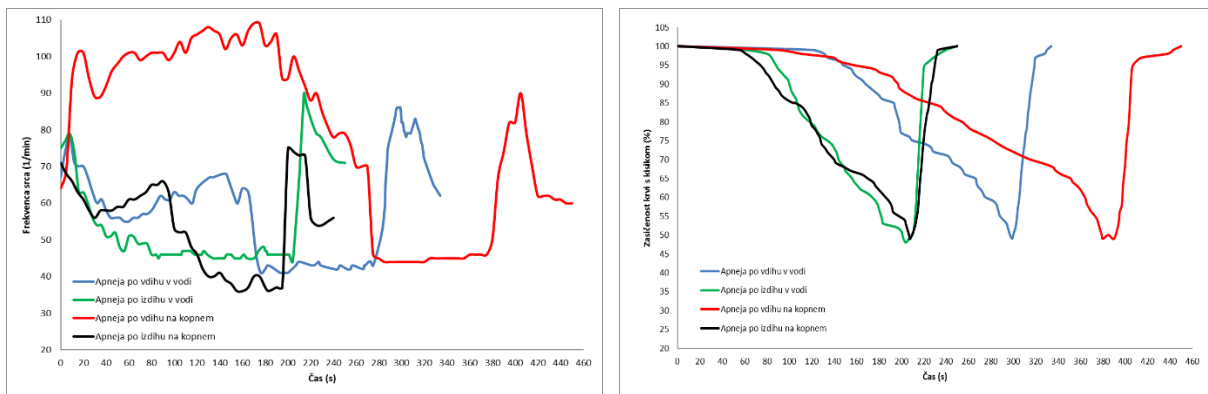
Sliki 24. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M5.

Sliki 24 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M5 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



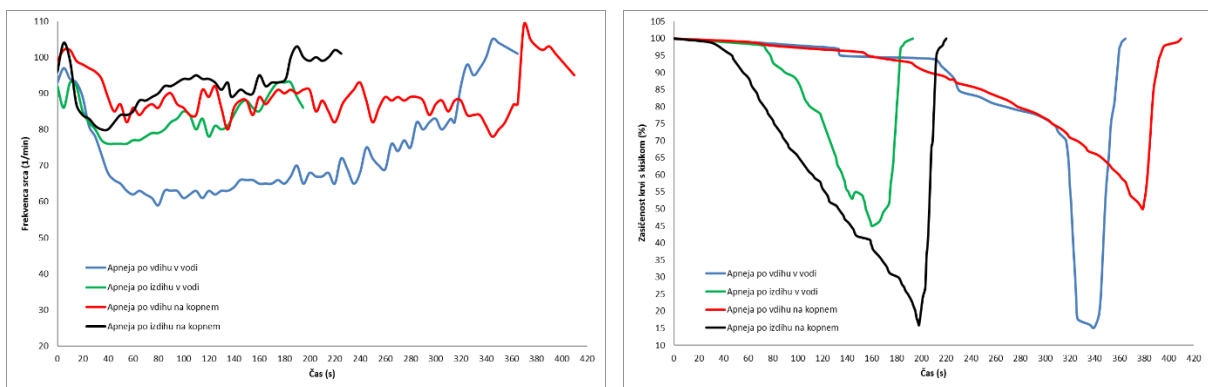
Sliki 25. Frekvenca srca in zasičenost krvi s kisikom pri M6.

Sliki 25 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M6 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%)



Sliki 26. Frekvencna srca in zasičenost krvi s kisikom pri M7.

Sliki 26 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M7 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).



Sliki 27. Frekvencna srca in zasičenost krvi s kisikom pri M8.

Sliki 27 prikazujeta celotno območje merjenja FS in SaO<sub>2</sub> pri M8 od začetka vseh štirih apnej pa do konca merjenja (dvig SaO<sub>2</sub> nad 98%).