

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje
Kondicijsko treniranje

**ALI JE MOGOČE ZAZNATI RAZLIKE MED IGRALCI
PODVODNEGA HOKEJA, KI REDNO VADIJO, IN TISTIMI, KI
VADIJO LE OBČASNO**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:

prof. dr. Anton Ušaj

RECENZENT:

doc. dr. Boro Štrumbelj

KONZULTANT:

doc. dr. Nejc Kapus

AVTOR:

Ivan Uršič Drolc

Ljubljana 2009

Zahvala gre mentorju Antonu Ušaju in konzultantu Nejcu Kapusu za izčrpno pomoč pri nastajanju diplomskega dela.

Hvala Barbari, ki mi je stala ob strani in mi pomagala oblikovati delo pri lepopisju.

Hvala tudi staršem, ki so potrpežljivo čakali, da sine diplomira.

Ključne besede: podvodni hokej, omejeno dihanje, hiperkapnija, hipoksija, pljučna ventilacija.

Naslov diplomskega dela: Ali je mogoče zaznati razlike med igralci podvodnega hokeja, ki redno vadijo, in tistimi, ki vadijo le občasno.

Ivan Uršič Drolc

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2009

Športno treniranje, kondicijsko treniranje.

47 str.; 12 preglednic; 12 grafikonov; 14 virov; 2 sliki; brez priloge.

IZVLEČEK

Temeljni namen diplomskega dela je bilo ugotoviti, ali se igralci podvodnega hokeja, ki trenirajo sistematično, pri čemer zadržujejo dih in se pojavljata hiperkapnija in hipoksija, razlikujejo od podvodnih hokejistov, ki se ne udeležujejo treningov. Poleg tega smo želeli pripraviti test, ki bo te morebitne razlike zaznal in ki bi postal standardizirani postopek pri ugotavljanju pripravljenosti igralcev podvodnega hokeja.

V raziskavo je bilo vključenih šest igralcev podvodnega hokeja, od teh so trije redno vadili (trenirani), trije pa se niso udeležili treninga podvodnega hokeja že vsaj šest mesecev (netrenirani). Trenirane preiskovance smo analizirali med igro podvodnega hokeja, tako smo izvedeli, koliko časa traja neprekinjeni del igre in koliko časa od tega igralec prebije pod vodo in na gladini. Analize so pokazale, da igra neprekinjeno teče v povprečju od dve do tri minute, nato sledi prekinitev, kjer je igralcu na voljo od 20 sekund do dveh minut počitka. V neprekinjenem delu igre igralec podvodnega hokeja izmenjuje prebije od pet do 15 sekund pod vodo in od treh do 11 sekund na gladini. Vseh šest preiskovancev smo analizirali z dvema plavalnima testoma: a) 300 m s

plavutmi $\frac{1}{2}$ dolžine pod vodo – $\frac{1}{2}$ dolžine na gladini; b) 25 m pod vodo, štartni interval 30 sek, in s testom na cikloergometru, kjer so preiskovanci v glavnem delu testa pet minut intervalno dihali (10 sekund zadrževanja diha/10 sekund neomejenega dihanja) pod obremenitvijo 150 W.

Trenirani so se od netreniranih značilno razlikovali pri plavalnih testih in testu na cikloergometru. Pri plavalnih testih so trenirani dosegli boljše rezultate (hitrejše plavanje na 300 m in večje število ponovitev na 25 m pod vodo). V testu na cikloergometru pa so trenirani imeli nižji $\dot{V}O_2$ in $\dot{V}CO_2$ ter nižjo frekvenco dihanja, nakazovala se je tudi nižja V_E , v rezultatih $P_{ET}O_2$ in $P_{ET}CO_2$ pa sta si bili skupini podobni. Nižja frekvenca dihanja je lahko posledica večje vitalne kapacitete (večji dihalni volumen) in/ali nižje občutljivosti treniranih za CO_2 . Nižja frekvenca dihanja bi v igri podvodnega hokeja pomenila, da so se igralci sposobni »nadihati« na gladini v krajšem času in se hitreje vrniti pod vodo. Predvidevamo tudi, da imajo trenirani večjo najvišjo hitrost plavanja, boljše tehniko plavanja in potapljanja ter večjo fizično zmogljivost.

ABSTRACT

The basic aim of my work was to determine whether underwater hockey players, who strive to train systematically (while holding breath hypercapnia and hypoxia appear), give different results from underwater hockey players who do not train.

We also wanted to put together a test that would recognize the differences that might appear. The test could therefore be used in a certain standard procedure when trying to figure out the »fitness« of underwater hockey players.

Six underwater players were used in the research, three out of them trained regularly, three failed to attend the training for at least six months. Trained players were analyzed during the game. Our intention was to find out the amount of time spent underwater and also calculate the amount of the time that players spent undersurface and above the surface.

The analyses showed that the average game took about two to three minutes, and then a time out followed, when the players were allowed to rest from twenty seconds and up to two minutes. During the game, the hockey players spent from five to fifteen seconds undersurface and from three to eleven above the surface. All six of them were analyzed by going through two swimming tests: a) 300 m meters using fins, half the length under and half the length above the surface; b) 25 meters under water, starting interval thirty seconds with a test on the cycloergometer where the players mainly breath in intervals for five minutes (10 seconds holding breath and 10 seconds of normal breathing) charged under 150 W.

There were dramatic differences among the two groups, especially when analyzing the tests taken on the cycloergometer. The players attending the training did better at swimming (faster swimming at 300 m and more frequent swimming of underwater swimming at 25m). Analyzing the test on cycloegometer, the players had lower $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ and a lower breathing frequency range as well, lower V_E was noticed, in results $PETO_2$ and $PETCO_2$. the groups were almost alike. Lower breathing frequency range could be the consequence of a larger vital capacity (larger breath intake) and/or lower sensitivity to CO_2 . Lower breathing frequency range in an underwater hockey game could therefore mean that the players are able to get sufficient amount of air in a shorter period of time and return under surface a lot faster. We believe that the trained players have the ability to swim faster, have acquired a better technique of both swimming and diving and better physical capabilities.

KAZALO

1. Uvod.....	8
2. Predmet in problem.....	10
3. Cilji	13
4. Hipoteza	14
5. Metode dela	14
5.1 Analiza tekme.....	14
5.2 Plavalni testi	15
5.3 Obremenilni test na cikloergometru.....	15
5.3.1 Meritve na cikloergometru	17
6. Rezultati	18
6.1 Analiza tekme – opazovanje posameznega igralca med tekmo.....	18
6.2 Testi plavanja	19
6.2.1 Plavanje na 300m s plavutmi; 12,5 m pod vodo, 12,5 m na gladini kravl	19
6.2.2 Plavanje na 25 m pod vodo, 30'' štart, < 15'' podvodni del.....	19
6.3 Meritve na cikloergometru.....	20
6.3.1 VO_2 (l/min) – minutna poraba kisika.....	20
6.3.2 VCO_2 (l/min) – minutni volumen izdihanega CO_2	22
6.3.3 Respiratorni količnik (RQ) preiskovancev	24
6.3.4 V_E (l/min) – pljučna ventilacija	25
6.3.5 Frekvenca dihanja	27
6.3.6 $PETO_2$ in $PETCO_2$ (kPa) – delni tlak O_2 in CO_2 v zadnjem deležu izdihanega zraka	27
7. Razprava.....	29
7.1 Test na 300 m s plavutmi.....	30
7.2 Test na 25 m pod vodo s plavutmi.....	31
7.3 Test na cikloergometru	33
8. Sklep	43
9. Literatura	46

1. Uvod

Podvodni hokej je razmeroma nova, predvsem pa neznana športna panoga. Igrati se je začel leta 1954 v britanskem klubu British SubAqua. Začetnik je Alan Blake. Prvotno ime je bilo »porivalci«, v angleščini »The pushers«. Kasneje se ga je prijelo ime Octopush; oct- za osem igralcev in -push za porivanje. Ker niso imeli šestnajstih igralcev, se je uveljavilo šest igralcev v vodi in dve menjavi. Ime podvodni hokej oz. Underwater hockey se je prijelo šele pozneje. Drugo pomembnejše središče za razvoj podvodnega hokeja je bilo v Južnoafriški republiki, kjer se je igra razvila leta 1961. Štirinajst let pozneje so naredili promocijsko turnejo po Evropi. Prvo svetovno prvenstvo je bilo leta 1980 v Vancouvru v Kanadi. Ekipa iz Slovenije se je prvič udeležila evropskega prvenstva leta 1995 v Amersfortu na Nizozemskem.

Danes je podvodni hokej najbolj popularen v Avstraliji, na Novi Zelandiji, v Južni Afriki, Veliki Britaniji, na Nizozemskem in v Franciji ter še približno tridesetih državah po vsem svetu.

Oprema in pravila igre

Podvodni hokej se igra na dih pod vodo na dnu bazena. Vsak igralec ima masko, dihalko, plavutke, zaščitno rokavico in kapo za lažje ločevanje ekip. Palice oz. *pusherji* so do 30 cm dolge in široke do 5 cm. Morajo biti iz materiala, ki plava na vodi (les, plastika), in so belo oziroma črno obarvane za lažje ločevanje igralcev pod vodo. Zaščitne rokavice so največkrat narejene iz bombažnih rokavic, na katere se nanese silikon, ki ščiti pred udarci (slika 1).



Slika 1: Rokavica, plavuti, palica, pak

Igrišče je veliko 25 X 15 m in globoko dva metra ali več. Na vsaki strani je tri metre dolg kovinski gol (žleb), v katerega je treba spraviti pak. Pak je izdelan iz svinca in plastike, velik je 3 X 8 cm in težak okoli 1,3 kg.

Vsaka ekipa ima šest igralcev v vodi in do štiri menjave, ki čakajo na robu bazena. Menjava igralcev se lahko opravlja v vsakem trenutku igre, vendar mora igralec, ki odhaja iz igre, povsem zapustiti igralno območje, preden ga lahko nadomesti nov. Tekma traja 2x15 minut.

Igra se začne tako, da vsaka ekipa na svoji strani bazena čaka na začetni signal, pak pa je na dnu bazena na sredini igrišča. Na znak se obe ekipi poženeta in skušata priti do paka pred nasprotno ekipo. Med igro se lahko igralci paka dotaknejo le s palico, s katero ga vodijo po dnu bazena oziroma ga z močnim sunkom vzdignejo z dna in podajo soigralcu. Igra ni kontaktna, kar pomeni, da s telesom ni dovoljeno oviranje nasprotnih igralcev, če pred tem nimaš v posesti paka.

Sodniki so štirje: trije v vodi, ki spremljajo dogajanje med igro, in eden na robu bazena, ki po signalizaciji sodnika iz vode sproži zvočni signal, da ga igralci slišijo in prekinajo igro. Za manjše prekrške lahko sodnik dosodi t. i. prednostni pak, za težje pa tudi izključi igralca za določen čas ali do konca igre.

V Slovenijo je podvodni hokej prišel pred 15 leti. V vsem tem času se je na področju ugotavljanja bioloških in fizioloških sposobnosti igralca podvodnega hokeja zgodilo zelo malo. Pravzaprav stopamo na novo pot.

2. Predmet in problem

Poznamo samo nekatere značilnosti podvodnega hokeja:

- *Naloge, ki jih med tekmo opravlja vsak tekmovalec.*

V ekipi je deset igralcev, od tega jih je šest v igri, štirje pa čakajo v menjavi. Vsak igralec, ki se želi aktivno vključiti v igro, mora zajeti zrak in se potopiti na dno bazena. Podvodni hokejist se aktivno vključi v igro z namenom, da se odkrije soigralcu za podajo ali da ovira igro nasprotni ekipi.

Igralec tudi na gladini vode ne miruje, plava v skladu s potekom igre na dnu bazena.

- *Osnovne značilnosti obremenitve med tekmo.*

Tekma traja 2 X 15 minut s triminutnim odmorom med polčasoma. Igra se prekinja zaradi doseženih golov ali prekrškov igralcev, ki trajajo od 20 do 30 sekund. Zaradi prekinitev se čas ustavlja zadnji dve minuti tekme.

Spremljali smo tri igralce podvodnega hokeja med igro, in sicer vsakega posebej. Merilca sta stala ob robu bazena in merila čas, ki ga je merjenec prebil pod vodo in na gladini. Z analizo teh podatkov smo ugotovili, koliko časa igralec podvodnega hokeja prebije pod vodo in koliko na gladini ter koliko časa traja ta intenzivna izmenjava faz dihanja in nedihanja. Analize so pokazale, da igra neprekinjeno teče v povprečju od dve do tri minute, nato sledi prekinitev, ko je igralcu na voljo od 20 sekund do dveh minut počitka. Dolžina počitka je odvisna od tega, ali gre za:

- prekinitev igre zaradi gola (30 sekund),
- prekinitev igre zaradi prekrška (30 sekund) ali
- zamenjavo igralca (traja toliko časa, dokler se soigralec ne zamenja).

V neprekinjenem delu igre igralec podvodnega hokeja izmenjuje prebije od pet do 15 sekund pod vodo in od tri do 11 sekund na gladini.

Ker del igre poteka v apneji, lahko iz nekaterih izkušenj iz plavanja (Kapus, 2008) in meritev igre podvodnega hokeja pa tudi predhodnih raziskav podvodnega hokeja (Davis, Graves, Guy, Prisk, & Tanner, 1987) sklepamo, da bodo tisti podvodni hokejisti, ki bodo ob enaki intenzivnosti zadržali dih dlje časa:

- imeli večjo kapaciteto pljuč,
- se manj odzivali na povečan P_{CO_2} ,
- učinkoviteje izmenjavali CO_2 in O_2 ob dihanju na gladini in
- boljši plavalci.

Vendar pa pri igranju podvodnega hokeja ne gre za enako intenzivnost. Na tekmi obstajajo že prej omenjene prekinitve in menjave, ko si igralec lahko odpočije. Pomembnejši za raziskavo je intenzivnejši del igre, to je čas, ko igralec brez prekinitve plavanja in potapljanja prehaja iz dihanja v obdobja nedihanje.

Gibanje na gladini vode je sestavljeno iz nenehnega plavanja, s katerim se išče primerni položaj za potop ali za nadzor igre, in kratkih šprintov, po katerih navadno sledi potop. Intenzivnost pri podvodnem plavanju je verjetno večja kot pri plavanju na gladini, saj se v veliki večini pri podvodnem plavanju ob uporabi plavuti plava na vso moč.

Ker je podvodni hokej takšna obremenitev, sklepamo, da je plavanje v apneji kritičen omejitveni dejavnik. S tem pa je povezano dihanje.

Apneja je zavestno zadrževanje zraka, kjer se delež P_{CO_2} povečuje, vrednosti pH-ja pa znižujejo (Guyton, 1965). Ritem in amplituda dihanja sta neprestano pod vplivom sprememb pH-ja, PO_2 in PCO_2 v krvi. Povečanje PCO_2 pospeši dihanje, prav tako kot znižanje PO_2 in pH-ja. (Perilleux, Anselme, & Richard, 1999). Pri zavestnem zadrževanju zraka (apnea) je dolžina zadrževanja diha odvisna od posameznika. Ko so signali, ki prihajajo v dihalni center zaradi visokega PCO_2 in nizkega pH-ja, tako veliki, da posameznik ne more več zadrževati zraka, se to konča (Guyton, 1965).

Dihanje je le delno avtomatizirano. Živčni center – respiratorni center, ki nadzira ventilacijo, je v spodnjih možganih pod talamusom. Hipotalamusni respiratorni center je narejen tako, da ritmično izmenjuje vdih in izdih.

Respiratorni center se deli na štiri področja:

1. center za izdih v podaljšani hrbtenjači,
2. center za vdih v podaljšani hrbtenjači,
3. apneistični center v prstanasti izboklini (stimulira center za vdih),
4. pnevmotaksijski center v prstanasti izboklini (stimulira center za izdih) (Brooks, Fahey, & Baldwin, 2005).

Osnovni ritem dihanja se lahko spreminja, s čimer organizem prilagaja izmenjavo dihalnih plinov svojim potrebam (Perilleux, Anselme, & Richard, 1999). Zrak se v pljučih izmenja zaradi sprememb prostornine prsnega koša, ki nastanejo zaradi spreminjanja pritiskov v pljučih (Brooks et al., 2005). Dihanje je prenos O_2 v telo in izločanje CO_2 iz telesa. Temelji na procesu difuzije – prehajanja plinov z območja z nižjo na območje z višjo koncentracijo skozi polprepustno membrano. Namen dihanja je izmenjava plinov med zrakom in krvjo v pljučih. Pri dihanju (respiracija) razlikujemo dve fazi. Vdih je vsesavanje zraka v pljuča, sledi izdih, to je iztiskanje zraka iz pljuč (Guyton, 1965).

Ker ne poznamo napora niti značilnosti dihanja, ki ga premaguje igralec podvodnega hokeja med tekmo:

- *Ne poznamo zahtev po specifičnih zmogljivostih športnika.*

Do danes ni bilo opravljenih veliko raziskav na tem področju. Odgovor, zakaj podvodni hokej ni bolje raziskan, se verjetno skriva v majhni razširjenosti tega športa in odročnosti, kar pomeni, da je meritve težje izvajati. Z nalogo bi radi pokazali, kaj je tisto, kar spodbudi enega igralca podvodnega hokeja prej po zrak kot drugega. Ugotoviti želimo, kateri so omejevalni dejavniki pri podvodnem hokeju. Povečan P_{CO_2} bi lahko bil pomemben omejevalni dejavnik.

F. Lemaitre in sodelavci so v svoji raziskavi, v kateri so morali merjenci zadrževati zrak, ugotovili, da je pri podvodnih hokejistih glede na kontrolno skupino opaziti hipoventilacijo in višjo vrednost P_{ETCO_2} (delni tlak CO_2 v zadnjem deležu izdihanega zraka) oziroma hiperkapnijo, kar nakazuje večjo toleranco na CO_2 . Podvodni hokejisti

so imeli višjo vrednost saturacije O₂ in nižjo koncentracije laktata v krvi (Lemaitre et al., 2007). Davis in sodelavci so v raziskavi med drugim dali podvodnim hokejistom in kontrolni skupini dihati mešanico, ki je vsebovala 7 odstotkov CO₂, 43 odstotkov N₂ in 50 odstotkov O₂ za čas štirih minut. Opazovali so ventilacijski odziv pri obeh skupinah. Podvodni hokejisti so imeli statistično značilno nižji ventilacijski odziv na CO₂ (Davis, Graves, Guy, Prisk, & Tanner, 1987). Coetsee in Terblanche sta opazovala, kako zadrževanje zraka vpliva na akumulacijo laktata, PO₂, PCO₂ in pH krvi. Statistično pomembne razlike sta odkrila pri PCO₂ in pH krvi. PCO₂ se je pri zadrževanju zraka povečal, sočasno pa so se vrednosti pH krvi pri zadrževanju zraka znižale (Coetsee, & Terblanche, 1988).

- *Ne poznamo tudi vadbe, ki je primerna za izboljšanje zmogljivosti.*

Iz analize tekme lahko predvidimo nekatere značilnosti vadbe, ki je primerna za izboljšanje zmogljivosti igralca podvodnega hokeja. Prav gotovo bo šlo za izmenjavanje plavanja na gladini in plavanja pod vodo, tj. v apneji, ki jo označujeta hipoksija in hiperkapnija.

3. Cilji

Ugotoviti želimo, ali obstajajo razlike med podvodnimi hokejisti, ki redno vadijo, in tistimi, ki vadijo le občasno. Tako bi lahko ocenili, kakšne so pravzaprav zahteve po zmogljivosti v tej športni panogi.

Ali se igralci podvodnega hokeja, ki redno vadijo, razlikujejo od tistih, ki vadijo le občasno, bomo poskušali ugotoviti s primerjavo različnih testov.

1. S testi v vodi bomo raziskali plavalne sposobnosti (zmogljivosti) pri plavanju na gladini in plavanju pod vodo.
2. Na cikloergometru nameravamo raziskati občutljivost na povišane vrednosti PCO₂.

4. Hipoteza

Tisti, ki redno vadijo, so bolj prilagojeni na nenehno potapljanje, torej na hipoksijo in hiperkapnijo. Zato bodo v takšnih okoliščinah tudi bolj zmogljivi od tistih, ki ne vadijo redno in zato niso prilagojeni na prej omenjene razmere.

5. Metode dela

V merjenje je bilo vključenih šest preiskovancev. Povprečna starost je bila 29 ± 5 leta, višina 183 ± 10 cm, teža 86 ± 12 kg. Vsi preiskovanci so bili zdravi moški, igralci podvodnega hokeja. Od šestih preiskovancev so trije redno vadili podvodni hokej, trije pa občasno.

Skupina redno vadečih se udeleži vsaj dveh treningov podvodnega hokeja na teden, medtem ko skupina, ki vadi le občasno, ni trenirala že vsaj šest mesecev. Skupini redno vadečih smo pred testi na cikloergometru dodali še dva dodatna treninga na teden za obdobje petih tednov. Skupino redno vadečih smo poimenovali *trenirani*, skupino občasno vadečih pa *netrenirani*.

Pred preiskavami na cikloergometru smo z obema skupinama opravili posebne plavalne teste, ki naj bi kazali na specifično zmogljivost igralcev. Skupino treniranih smo analizirali med igro podvodnega hokeja.

5.1 Analiza tekme

Opazovanje posameznega igralca med tekmo.

Preiskovanec se spremlja vsaj sedem minut. Pri testu rabimo dva merilca, enega, ki bo beležil čase, ki jih igralec prebije na gladini in drugega, ki bo beležil čase, ki jih igralec prebije pod vodo.

Kriterij zmogljivosti:

- igralec, ki prebije več časa pod vodo in manj časa na gladini, je bolj zmogljiv.

5.2 Plavalni testi

a) *plavanje na 300 m s plavutmi; 12,5 m pod vodo, 12,5 m na gladini kravl. Gre za izmenjavanje v plavanju na 12,5 m pod vodo in 12,5 m na gladini.*

Test se je opravil enkrat, pri čemer je merjenec poskušal razdaljo preplavati najhitreje.

Kriterij zmogljivosti:

- dosežen čas.

b) *Plavanje 25m s plavutmi pod vodo, 30'' štart, < 15'' podvodni del. Merjenec je moral v manj kot 15 sekundah preplavati 25 m. Štartni razmak med 25 m je bil 30 sekund. Merjenec je poskušal čim večkrat preplavati razdaljo 25 m.*

Kriterij zmogljivosti:

- čim več ponovitev.

Test na cikloergometru temelji na analizi treniranih igralcev med tekmo.

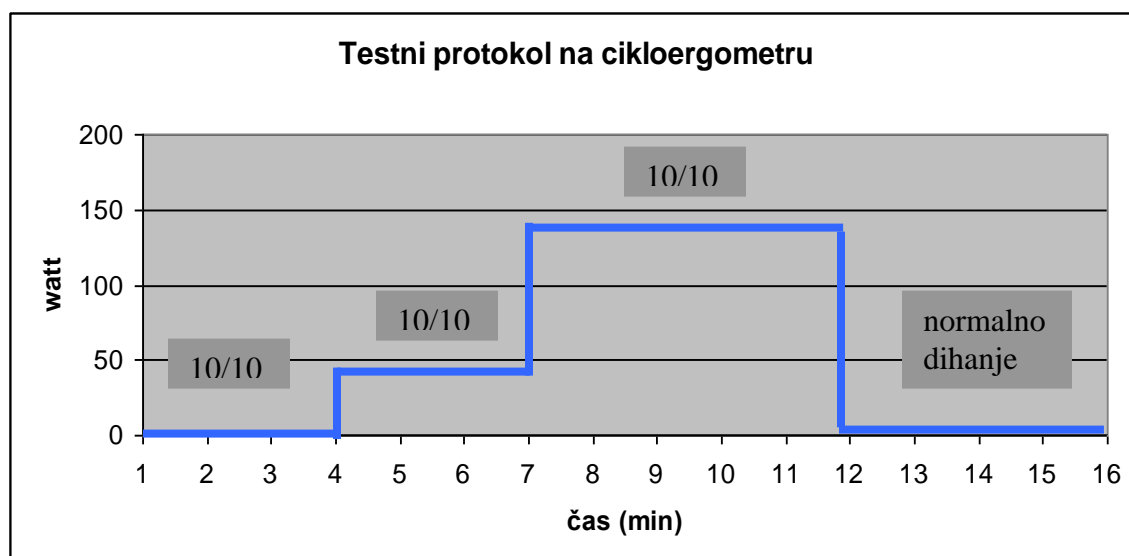
5.3 Obremenilni test na cikloergometru

Preiskovanec je sedel od tri do pet minut na cikloergometru in miroval (slika 2). V ustih je imel cevko, skozi katero je intervalno dihal. Dihalni metronom mu je omogočil 10-sekundno dihanje, za 10 sekund pa zaprl dovod zraka (10/10), takrat je preiskovanec zadrževal dihanje. Po tri do petminutnem mirovanju je preiskovanec začel triminutno ogrevanje na 50 W in pri 60 obratih/minuto. Sledila je petminutna obremenitev na 150 W in pri 60 obratih/minuto. Po koncu je preiskovanec dihal neomejeno, obremenitev se je zmanjšala na 20 W in 60 obratov/minuto, kar je trajalo okoli štiri minute (grafikon 1).

Dihalni metronom je sestavljen iz ustnika, plastične cevke in posodice za odtekanje sline, jeklene cevi ter plinskega ventila za nizke tlake (Jakša, Slovenija). Ta zadnji je krmiljen s krmilnikom Logo (Siemens, Nemčija) in se je med testom odpiral in zapiral za 10 sekund. Dihalni metronom deluje pod 24-voltno napetostjo in se napaja z akumulatorjem (Kapus, 2008).



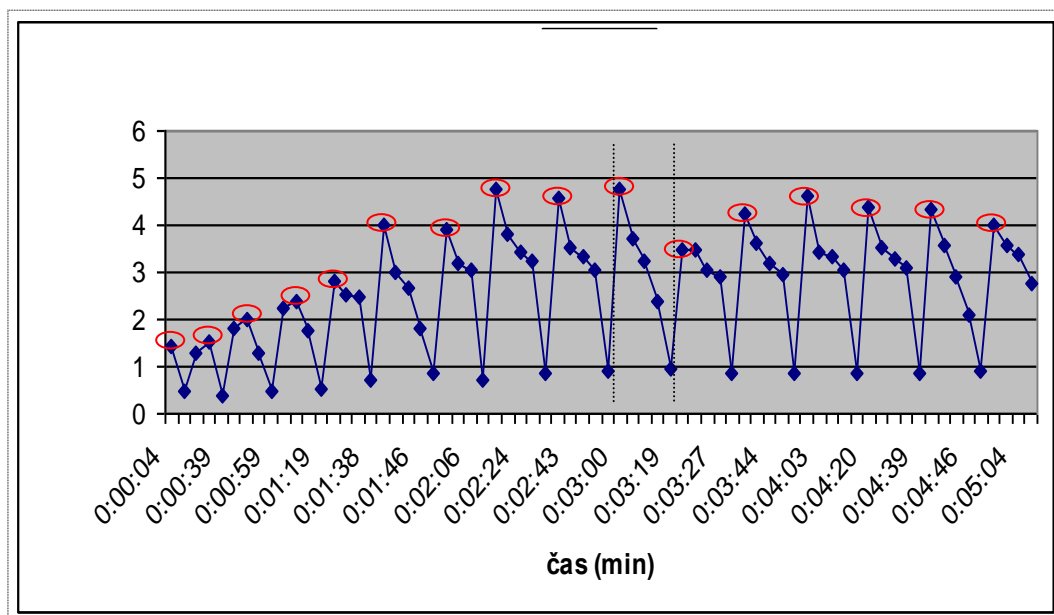
Slika 2: Preiskovanec sedi na cikloergometru, miruje in intervalno diha (10/10).



Grafikon 1: Do 4. minute ni bilo obremenitve, od 4. do 7. minute je bila obremenitev 50 W, od 7. do 12. minute 150 W, od 12. do 16. minute pa 20 W. Do 12. minute je intervalno dihanje 10/10, sledi normalno dihanje.

Podrobneje smo analizirali obdobje med obremenitvijo 150 W, katero so preiskovanci vozili pet minut. V tem času se je zvrstilo trideset 10-sekundnih intervalov neomejenega dihanja in zadrževanja zraka. Preiskovanci so v 10-sekundnem intervalu dihanja imeli različne frekvence dihanja. Nekateri so napravili pet vdihov, drugi na primer tri. Upoštevali smo največjo vrednost izdiha določene spremenljivke (na grafikonu št. 2

označena z rdečim krogom) v posameznem intervalu (na grafikonu št. 2 je to območje označeno med črtkanima črtama). Na podlagi 15 najvišjih vrednosti posameznega intervala smo dobili povprečje, ki je veljalo kot referenčni rezultat.



Grafikon 2: Prikaz dihanja 10/10 med obremenitvijo 150 W. Rdeči krogi označujejo najvišjo vrednost intervala. Interval je označen s črtkanima črtama, ko so preiskovanci imeli različne frekvence dihanja.

5.3.1 Meritve na cikloergometru

Na cikloergometru so bili ves čas testa merjeni pljučna ventilacija (V_E), poraba kisika (V_{O_2}) in minutni volumen tvorjenja CO_2 (V_{CO_2}), vsi izraženi v l/min. Spremljali smo tudi delni tlak O_2 in CO_2 v zadnjem deležu izdihanega zraka ($P_{ET_{O_2}}$ in $P_{ET_{CO_2}}$), izražena v kPa. Vse meritve so bile opravljene s pnevmotahografom in analizatorjem izdihanih plinov $V_{max_{29c}}$ (Sensor Medics, ZDA).

Sočasno smo s pulzmetrom Vantage NV (Polar, Finska) merili frekvenco srca, ki je bila povprečena vsakih deset sekund.

Kriterij zmogljivosti:

- bolj zmogljivi so tisti, ki so imeli nižji VO_2 , VCO_2 , $PETCO_2$ ter V_E ali le enega od teh kazalcev; bolj zmogljivi so tudi tisti, ki so imeli ob podobnem $PETCO_2$ manjši odziv V_E .

Rezultate plavalnih testov in povprečja najvišjih vrednosti spremenljivk pri 150 W smo analizirali v programu SPSS s T-testom za neodvisne vzorce.

6. Rezultati

6.1 Analiza tekme – opazovanje posameznega igralca med tekmo

Trenirane igralce podvodnega hokeja smo med igro merili sedem minut, medtem je bila igra dvakrat prekinjena po približno 30 sekund. Za povprečje smo upoštevali vse podvodne in nadvodne intervale, brez dveh intervalov prekinitev. Treniran igralec podvodnega hokeja pod vodo v povprečju prebije $9,2 \pm 1,6$ sekunde, na gladini pa $6,6 \pm 1,2$ sekunde (preglednica 1).

Preglednica 1: Povprečje posameznega igralca med tekmo in njihovo skupno povprečje.

	čas pod vodo (sek)	čas na gladini (sek)
Treniran; 1	10,8	5,4
Treniran; 2	8,2	7,6
Treniran; 3	8,6	6,8
$\bar{x} \pm SD$	$9,2 \pm 1,4$	$6,6 \pm 1,1$

6.2 Testi plavanja

6.2.1 Plavanje na 300 m s plavutmi; 12,5 m pod vodo, 12,5 m na gladini kravl

Preglednica 2: Čas plavanja na 300 m s plavutmi; 12,5 m pod vodo, 12,5 m na gladini kravl. Izraženo v sekundah.

300m	netrenirani (sek)	trenirani (sek)
1	230	201
2	243	207
3	252	210
$\bar{x} \pm SD$	$241,7 \pm 11,1$	$206 \pm 4,6^{**}$

$^{**}P < 0,01$

Trenirani igralci podvodnega hokeja so porabili za 300 m plavanja s plavutmi na gladini in pod vodo $206 \pm 4,6$ sekunde, netrenirani pa $241,7 \pm 11,1$ sekunde ($^{**}P < 0,01$).

Če vzamemo za primer najboljši čas 201 sekunde, dobimo povprečni čas na 25 m 16,75 sekunde, to je 8,375 sekunde, ki ga merjenec prebije pod vodo in na gladini izmenjaje skozi ves test.

6.2.2 Plavanje na 25 m pod vodo, 30'' štart, < 15'' podvodni del

Preglednica 3: Plavanje na 25 m pod vodo, 30'' štart, < 15'' podvodni del. Izraženo v številu ponovitev.

25 m	netrenirani (št. pon.)	trenirani (št. pon.)
1	2	8
2	2	6
3	2	6
$\bar{x} \pm SD$	2 ± 0	$6,67 \pm 1,2^{**}$

$^{**}P < 0,01$

Trenirani igralci so 25 m pod vodo preplavali večkrat kot netrenirani, in sicer v povprečju $6,67 \pm 1,2$ krat, netrenirani pa 2 ± 0 krat ($^{**}P < 0,01$).

Tudi test 25 m pod vodo, kjer so morali merjenci podvodni del preplavati v manj kot 15 sekundah, štartni interval pa je na 30 sekund, smo zasnovali tako, da merjenec prebije enako časa pod vodo kot na gladini.

Prav tako se je ta test izkazal za dober približek igri podvodnega hokeja, kajti če vzamemo za primer najboljši dosežek, to je osem ponovitev, dobimo končni čas 3 minut in 45 sekund.

6.3 Meritve na cikloergometru

Test na cikloergometru (grafikon 1) so netrenirani opravili drugače kot trenirani, če smo jih opazovali v izbranem 5-minutnem intervalu pri 150 W (grafikon 2).

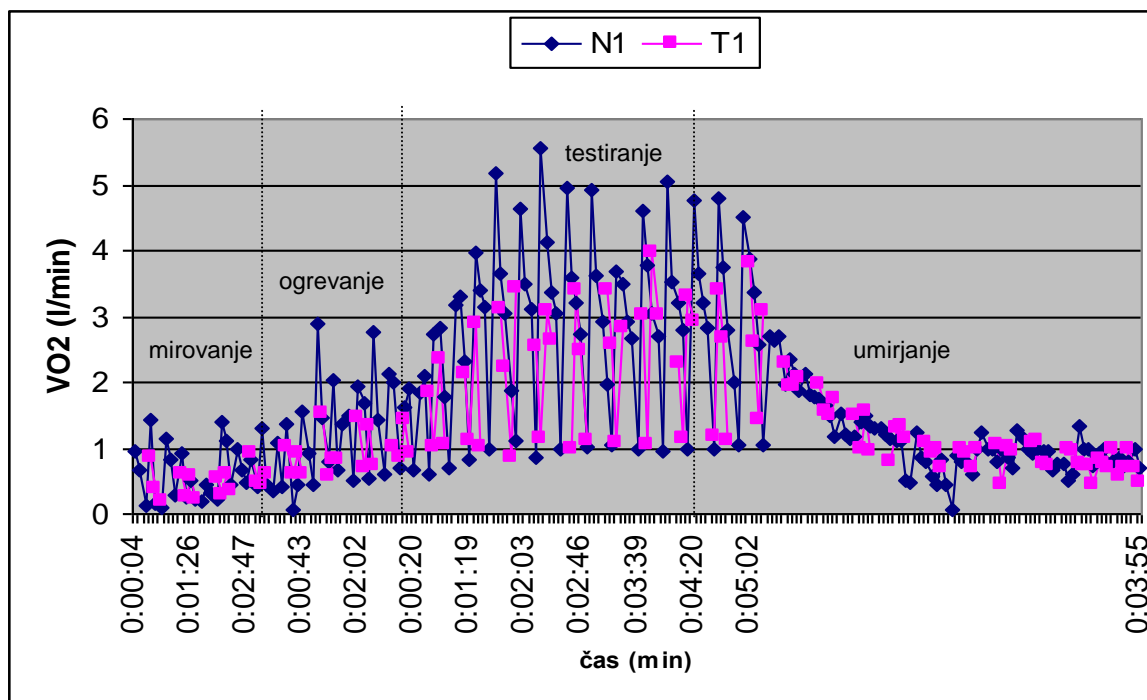
6.3.1 VO_2 (l/min) – minutna poraba kisika

Pri netreniranih je bil VO_2 v mirovanju in pri omejenem dihanju 10/10 $0,874 \pm 0,190$ l/min, pri treniranih pa $0,742 \pm 0,151$ l/min, kar ni statistično značilno. Med ogrevanjem na 50 W in pri omejenem dihanju se je netreniranim VO_2 povečal na $1,995 \pm 0,270$ l/min, treniranim pa na $1,375 \pm 0,340$ l/min, kar tudi ni statistično značilno, se je pa razlika med skupinama povečala. Pri 150 W in omejenem dihanju pa nastanejo statistično pomembne razlike. Obema skupinama se je VO_2 prvi dve minuti enakomerno povečeval (grafikon 3), nato pa je do konca petminutne obremenitve fluktural: netreniranim okoli vrednosti $4,298 \pm 0,044$ l/min, treniranim pa okoli $3,192 \pm 0,347$ l/min (**P < 0,01) (preglednica 4 in grafikon 4).

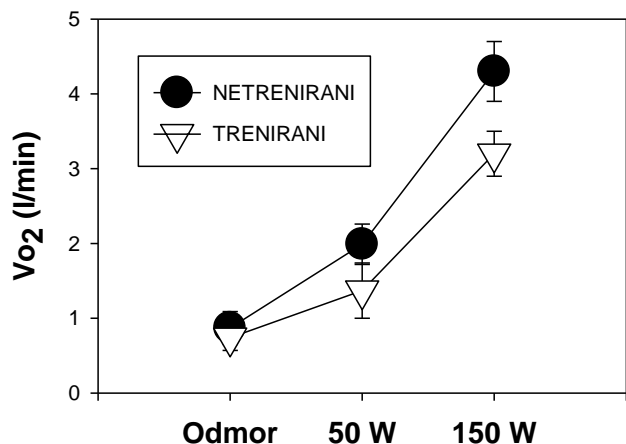
Preglednica 4: Povprečje najvišje vrednosti vseh intervalov dihanja pri 150 W in petminutnem trajanju testa za VO_2 v l/min (posebej za netrenirane in trenirane).

	netrenirani	trenirani
1	4,326	2,845
2	4,248	3,538
3	4,321	3,195
$\bar{x} \pm SD$	$4,298 \pm 0,044$	$3,192 \pm 0,347^{**}$

**P < 0,01.



Grafikon 3: Primerjava med netreniranim in treniranim skozi celotno trajanje testa (testiranje označuje obremenitev 150 W, ki smo jo analizirali; N1 ima povprečje 4,326 l/min, T1 pa 2,845 l/min).



Grafikon 4: Razlika se od odmora dalje med skupinama povečuje. Statistično pomembne razlike nastanejo pri obremenitvi 150 W (**P < 0,01).

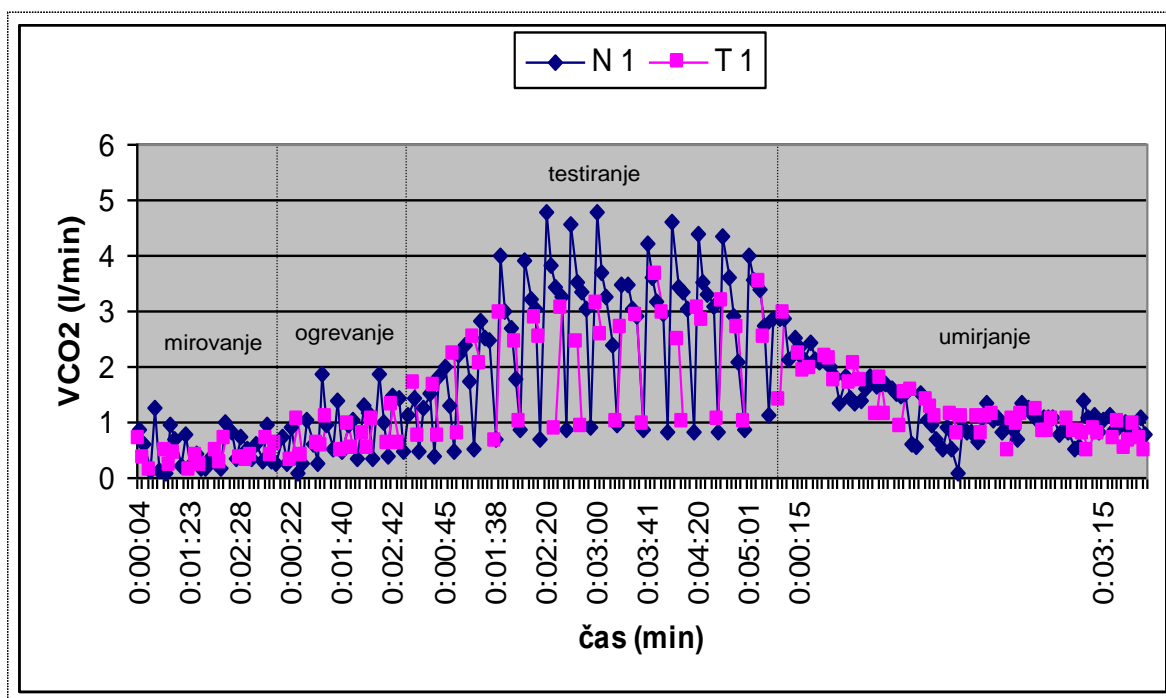
6.3.2 VCO₂ (l/min) – minutni volumen izdihanega CO₂

Pri netreniranih je bil Vco₂ v mirovanju in pri omejenem dihanju 10/10 0,961 ± 0,268 l/min, pri treniranih pa 0,837 ± 0,372 l/min kar ni statistično značilno. Pri 50 W in omejenem dihanju se je netreniranim Vco₂ povečal na 1,607 ± 0,283 l/min, treniranim pa na 1,263 ± 0,545 l/min, kar tudi ni statistično značilno, se je pa razlika med skupinama povečala. Pri 150 W in omejenem dihanju se je Vco₂ prvi dve minuti pri obeh skupinah povečeval, nato pa so se vrednosti na tem območju spreminjale do konca petminutne obremenitve (grafikon 5). Pri netreniranih je Vco₂ dosegel vrednost 3,421 ± 0,367 l/min, pri treniranih pa 2,606±0,180 l/min, kar pa je statistično značilno (*P < 0,05) (preglednica 5 in grafikon 6).

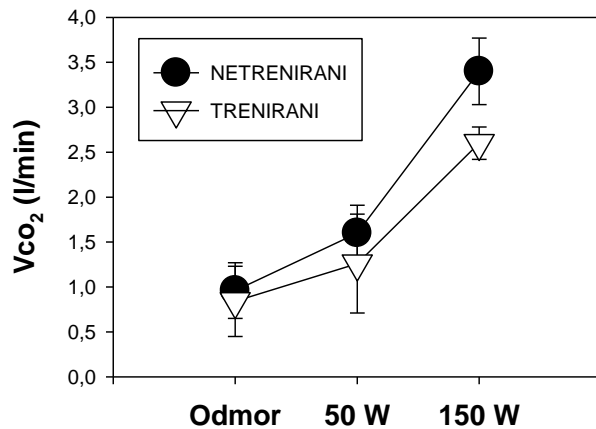
Preglednica 5: Povpreče najvišje vrednosti vseh intervalov dihanja pri 150 W in petminutnem trajanju testa za VCO₂ v l/min (posebej za netrenirane in trenirane).

	netrenirani	trenirani
1	3,726	2,472
2	3,014	2,811
3	3,523	2,535
$\bar{x} \pm SD$	$3,421 \pm 0,367$	$2,606 \pm 0,180^*$

*P < 0,05



Grafikon 5: Primerjava med netreniranim in treniranim skozi celotno trajanje testa (testiranje označuje obremenitev 150 W, ki smo jo analizirali; N1 ima povprečje 3,726 l/min, T1 pa 2,472 l/min).



Grafikon 6: Od odmora se razlika med skupinama povečuje. Statistično pomembne razlike nastanejo pri obremenitvi 150 W (*P < 0,05).

6.3.3 Respiratorni količnik (RQ) preiskovancev

Zanimalo nas je, ali se skupini razlikujeta v RQ-ju, ki je koeficient med porabo O₂ in tvorjenjem CO₂. Ugotovili smo, da se netrenirani ne razlikujejo od treniranih pri obremenitvi 150 W (preglednica 6). Ravno tako se niso razlikovali v mirovanju niti med ogrevanjem pri 50 W.

Preglednica 6: primerjava RQ med skupinama (povprečje najvišjih vrednosti 150 W)

	netrenirani	trenirani
1	0,97	0,89
2	0,89	0,83
3	0,96	0,89
$\bar{x} \pm SD$	0,94 ± 0,04	0,87 ± 0,03

6.3.4 V_E (l/min) – pljučna ventilacija

Pri netreniranih je bila V_E v mirovanju in pri omejenem dihanju 10/10 40 ± 15 l/min. Med ogrevanjem na 50 W in pri omejenem dihanju se je povečala na 54 ± 15 l/min. Pri 150W in omejenem dihanju se je V_E prvi dve minuti enakomerno povečevala do vrednosti 86 ± 12 l/min (preglednica 7 in grafikon 8), kjer je nato fluktuirala do konca petminutne obremenitve.

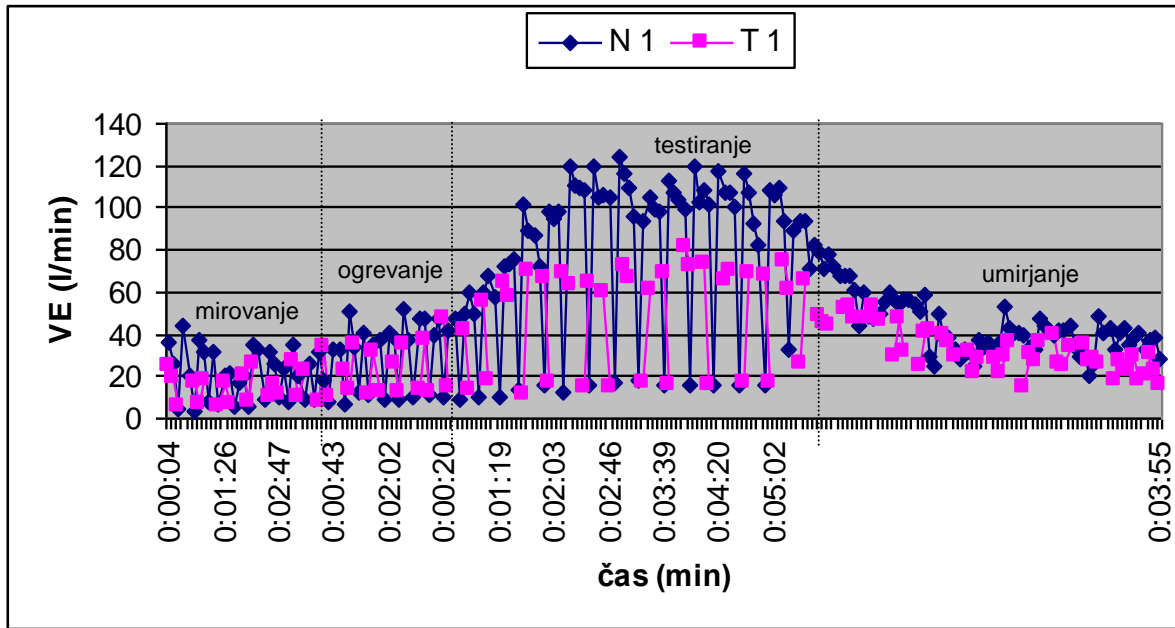
V_E pri treniranih pa je bila v mirovanju in pri omejenem dihanju 37 ± 18 l/min. Pri 50 W in omejenem dihanju se je povečala na 52 ± 22 l/min, pri 150 W in omejenem dihanju pa se je V_E prvi dve minuti enakomerno povečevala do vrednosti 69 ± 14 l/min (preglednica 7 in grafikon 8). V tem območju so se vrednosti treniranih spreminjale do konca petminutne obremenitve.

Razlika se je med skupinama od 50 W do 150 W povečala, vendar ni bilo statistično značilnih razlik (grafikon 8).

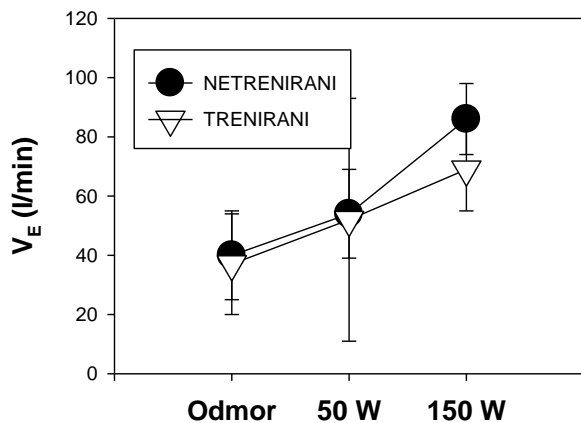
Preglednica 7: Povprečje najvišje vrednosti vseh intervalov dihanja pri 150 W in petminutnem trajanju testa za V_E v l/min (posebej za netrenirane in trenirane).

	netrenirani	trenirani
1	100	59
2	82	64
3	77	85
$\bar{x} \pm SD$	86 ± 12	69 ± 14

$P > 0,05$



Grafikon 7: Primerjava med netreniranim in treniranim skozi celotno trajanje testa (testiranje označuje obremenitev 150 W, ki smo jo analizirali; N1 ima povprečje 100 l/min, T1 pa 59 l/min).



Grafikon 8: Skupini se med seboj nista statistično pomembno razlikovali. Pri 150 W se nakazuje nižja V_E treniranih.

6.3.5 Frekvenca dihanja

V mirovanju so netrenirani vdihnili $3,6 \pm 1,3$ krat, trenirani pa 2 ± 0 krat na interval. Med ogrevanjem na 50 W so netrenirani napravili $4 \pm 1,1$ vdiha, trenirani pa $2,5 \pm 0,4$ vdiha na interval. V mirovanju in med ogrevanjem se skupini nista statistično značilno razlikovali, čeprav se jasno nakazuje razlika med njima.

Netrenirani so se statistično pomembno razlikovali v frekvenci dihanja od treniranih pri 150 W. V povprečju so netrenirani v intervalu napravili $5,1 \pm 0,5$ vdiha, medtem ko so trenirani vdihnili le $3,1 \pm 0,5$ krat (**P < 0,01) v intervalu (preglednica 8).

Preglednica 8: Povprečje frekvenc dihanja pri 150 W in petminutnem trajanju testa (posebej za netrenirane in trenirane).

	netrenirani	trenirani
1	4,7	2,8
2	5,6	2,8
3	5,1	3,7
$\bar{x} \pm SD$	$5,1 \pm 0,5$	$3,1 \pm 0,5^{**}$

**P < 0,01

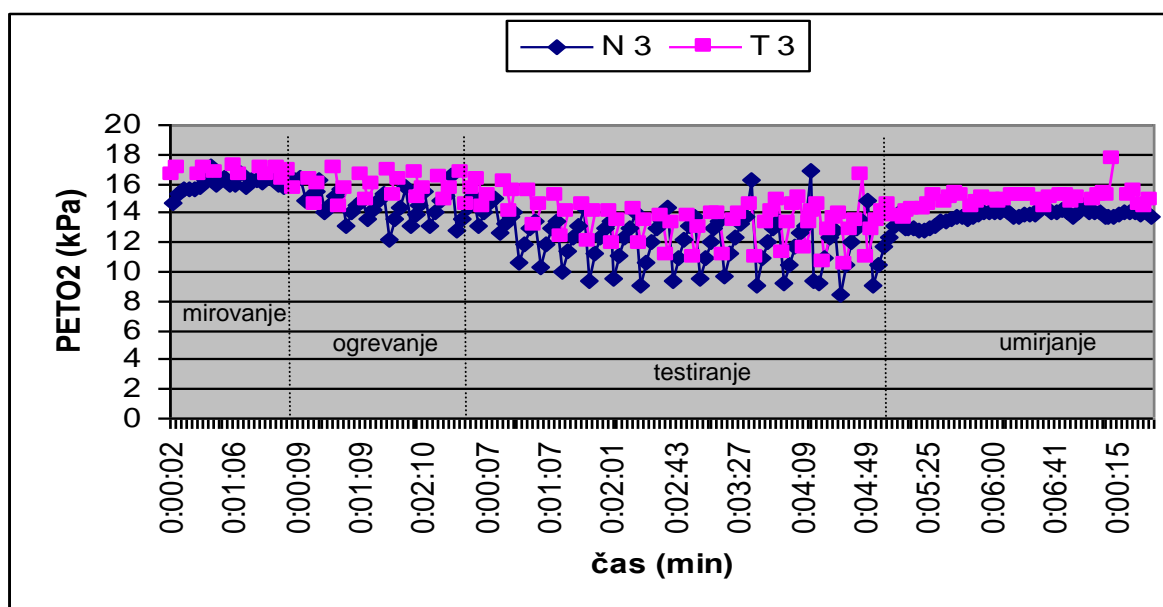
6.3.6 P_{ETO_2} in P_{ETCO_2} (kPa) – delni tlak O_2 in CO_2 v zadnjem deležu izdihanega zraka

Netrenirani se niso razlikovali od treniranih v P_{ETO_2} in P_{ETCO_2} (kPa). V mirovanju in pri omejenem dihanju so imeli netrenirani P_{ETO_2} $15,0 \pm 1,8$ kPa in P_{ETCO_2} $4,3 \pm 0,6$ kPa, medtem ko so imeli trenirani P_{ETO_2} $14,8 \pm 2,3$ kPa in P_{ETCO_2} $4,2 \pm 1,2$ kPa. Med ogrevanjem pri 50 W in omejenem dihanju so se pri obeh skupinah vrednosti P_{ETO_2} znižale, pri P_{ETCO_2} pa nekoliko zvišale.

Pri obremenitvi 150 W in omejenem dihanju so se vrednosti P_{ETO_2} in P_{ETCO_2} v prvih dveh minutah spreminjale (grafikon 6), nato pa stabilizirale. Netrenirani so imeli povprečje P_{ETO_2} $9,9 \pm 0,7$ kPa ter P_{ETCO_2} $7,3 \pm 0,3$ kPa, trenirani pa P_{ETO_2} $10,4 \pm 1,2$ kPa ter P_{ETCO_2} $7,0 \pm 1,1$ kPa (preglednica 9).

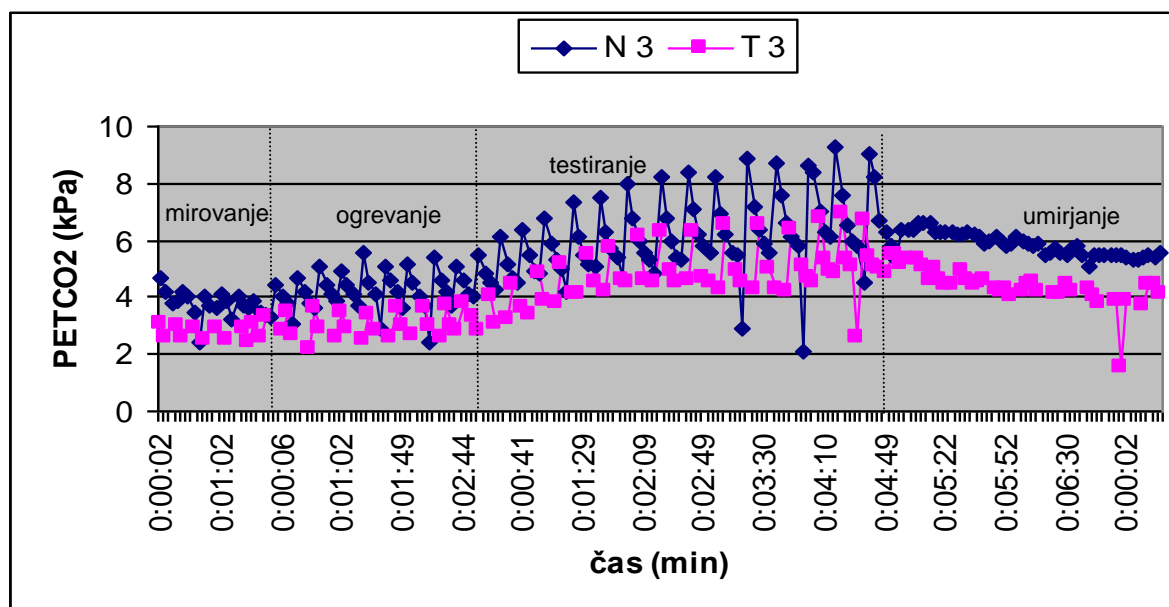
Preglednica 9: Povprečje najvišje vrednosti vseh intervalov dihanja pri 150 W in petminutnem trajanju testa za $P_{ET}O_2$ in $P_{ET}CO_2$ (kPa) (posebej za netrenirane in trenirane).

	netrenirani		trenirani	
	$P_{ET}O_2$	$P_{ET}CO_2$	$P_{ET}O_2$	$P_{ET}CO_2$
1	10,5	7,3	9,5	7,9
2	9,2	7,0	10	7,3
3	9,9	7,6	11,8	5,7
$\bar{x} \pm SD$	$9,9 \pm 0,7$	$7,3 \pm 0,3$	$10,4 \pm 1,2$	$7,0 \pm 1,1$



Grafikon 9: Primerjava med netreniranim in treniranim skozi celotno trajanje testa. (testiranje označuje obremenitev 150 W, ki smo jo analizirali; N3 ima povprečje 9,9 kPa,

T3 pa 11,8 kPa)



Grafikon 10: Primerjava med netreniranim in treniranim skozi celotno trajanje testa. (testiranje označuje obremenitev 150 W, ki smo jo analizirali; N3 ima povprečje 7,6 kPa, T3 pa 5,7 kPa)

7. Razprava

Podvodni hokej je dinamična in zelo intenzivna športna igra. Sestavljen je iz plavanja na gladini in plavanja pod vodo. Med igro ima obdobja največje in manjše intenzivnosti ter je zato podoben drugim športnim igram z žogo. Podvodni hokej je poseben, ker je skoraj edina športna igra (poleg podvodnega rugbyja), pri kateri je treba zadržati dih, če se želiš vključiti vanjo, torej potopiti na dno bazena. Po uradnih pravilih podvodnega hokeja traja tekma 2 X 15 minut s triminutnim odmorom med polčasoma.

Ugotovili smo, da je med tekmo igralec podvodnega hokeja aktiven približno tri minute, nato sledi odmor, ki je dolg od 30 sekund (ustavitev igre zaradi prekrška ali gola) do približno dveh minut (igralec se zamenja; igralec je v menjavi od 15 sekund do dveh minut, odvisno od situacije v igri), pri čemer igralec izmenično prebije približno enako

časa pod vodo kot na gladini. Da bi ugotovili, kaj se dogaja v organizmu podvodnega hokejista in ali obstajajo fiziološke razlike med treniranimi in netreniranimi igralci, smo na podlagi analize tekme razvili plavalna testa in test na cikloergometru. Zakaj smo se odločili delati primerjavo z netreniranimi igralci podvodnega hokeja? Zaradi specifik športa, da namesto ljudi, ki nimajo izkušenj s potapljanjem in zadrževanjem zraka, vzamemo za primerjavo z igralci podvodnega hokeja, ki redno vadijo, posameznike, ki so se v preteklosti že seznanili s potapljanjem in zadrževanjem diha. To pa iz dveh vzrokov:

1. Premagovanje napora med zadrževanjem diha je posebnost. Nekdo, ki ni navajen na tovrstno premagovanje napora, bi verjetno potreboval nekaj časa, da se navadi, saj drugače rezultati ne bi bili objektivni.
2. Pri plavalnih testih bi navajanje na dihalko, omejeno dihanje, plavanje s plavutmi ter potapljanje prav tako vzelo veliko časa. Nenavajenost na naštetu ne bi dala merodajnih rezultatov.

7.1 Test na 300 m s plavutmi

Prvi plavalni test je bil plavanje na 300 m s plavutmi v 25-metrskem bazenu, pri čemer so morali preiskovanci pol dolžine preplavati pod vodo in pol na gladini. Najbolj zmogljivi so test preplavali v manj kot treh minutah in 30 sekundah, najmanj zmogljivi pa v več kot štirih minutah. Pri obremenitvi, ki traja od ene do šestih minut in kjer dihanje ni omejeno, se v napor vključuje 30 % aerobnih in 70 % anaerobnih energijskih presnovnih procesov (Ušaj, 1997). Pri taki obremenitvi je tvorba laktatov večja od njihove porabe (Brooks et al., 2005). Med plavanjem, kjer je dihanje omejeno, se pri obremenitvah, ki trajajo slabe štiri minute, vključuje približno enak odstotek aerobnih in anaerobnih energijskih presnovnih procesov (Maglischo, 1993). Pri našem testu gre za daljše obdobje aktivnosti brez dihanja. Pri testu na 300 m sta plavanje na gladini in pod vodo na 25 m skupaj trajala od 17 do 20 sekund, samo podvodno plavanje pa od osem sekund in pol do deset sekund. Trenirani so z rednimi treningi verjetno poleg manjše občutljivosti za CO₂ pridobili večji dihalni volumen in vitalno kapaciteto in so sposobni

hitreje spraviti CO₂ iz telesa od netreniranih. Kapus v svoji raziskavi ugotavlja, da so preiskovanci, ki so vadili z omejenim dihanjem, imeli višji P_{CO₂}, ki so ga poskušali uravnavati z večjim dihalnim volumnom. Glavna učinka take vadbe sta znižanje občutljivosti za CO₂ in povečanje vitalne kapacitete (Kapus, 2008). Predvidevamo, da so trenirani preplavali testno razdaljo hitreje od netreniranih tudi zaradi manjše občutljivosti za CO₂ in večjega dihalnega volumna. Ne moremo pa vedeti, koliko zadrževanje diha vpliva na čase preiskovancev, ker nismo opravili primerjalnega testa na 300 m s plavutmi z neomejenim dihanjem. Pri našem testu je hitrost plavanja verjetno nižja, kot če bi plavali samo na gladini, ne vemo pa, ali je to zanje manjši napor. Predvidevamo, da gre pri našem testu za vključevanje podobnega deleža aerobnih in anaerobnih presnovnih procesov.

7.2 Test na 25 m pod vodo s plavutmi

Pri drugem plavalnem testu, pri katerem so trenirani bistveno večkrat preplavali testno razdaljo pod vodo kot netrenirani, je bilo treba v manj kot 15 sekundah preplavati 25 m pod vodo. Štartni interval je bil na 30 sekund. Kriterij večje zmogljivosti je bil čim večkrat preplavati 25 m pod vodo. Pri najboljšem preiskovancu je test trajal 3 minute in 45 sekund, saj je uspešno preplaval zahtevano razdaljo osemkrat. Pri preostalih dveh treniranih je test trajal 2 min in 45 sek, zahtevano dolžino sta uspešno preplavala šestkrat. Netrenirani so test opravili že po 45 sek oziroma največ po 1 min (odvisno od tega, ali so poskušali preplavati še tretjo dolžino, pa jim ni uspelo zaradi preseženega časa 15 sek ali pa niso zmogli preplavati celotne dolžine pod vodo), saj so vsi zmogli le po dve dolžini v predpisanem času. Očitno pride pri drugem testu bolj do izraza navajenost na zadrževanje diha kot pri prvem, pri katerem gre za 300 m neprekinjene obremenitve, kjer preiskovanci preplavajo le 12,5 m pod vodo in 12,5 m na gladini izmenjaje. Če primerjamo podvodne čase pri testih na 25 m in 300 m, vidimo, da so pri testu na 300 m netrenirani v povprečju preplavali 12,5 m pod vodo v 10 sek, trenirani pa v 8 sek in pol. Obe skupini pa sta 25 m pod vodo preplavali v 15 sek, še enkrat toliko pa sta imeli na voljo, da sta se na robu bazena predihali za nov poskus. Pri testu na 25 m

dobimo čas na 12,5 m 7 sek in pol (če poenostavimo in čas na 25 m razdelimo na pol). To pomeni, da je bila hitrost plavanja pri testu 25 m višja kakor pri testu 300 m.

Odločilni dejavniki pri obeh plavalnih testih bi lahko bili:

- Izmenjava plinov: če je med skupinama izmenjava plinov enaka, to pomeni, da so trenirani bolj prilagojeni na hiperkapnijo in/ali imajo večjo pljučno kapaciteto, tako da se CO₂ pri enako dinamični tvorbi lahko kopiči več časa za enako spremembo v tlaku; če izmenjava plinov ni enaka, so oboji podobno občutljivi za hiperkapnijo.
- Najvišja hitrost plavanja: čeprav s temi preiskovanci nismo delali testa na 25 m pod vodo v polni hitrosti, nam izkušnje nakazujejo, da so trenirani igralci verjetno hitrejši od netreniranih. Predvidevamo, da za trenirane 15 sek ni takšen napor kot za netrenirane.
- Tehnika plavanja in potapljanja: predvidevamo, da trenirani z rednimi treningi bolj optimizirajo tehniko plavanja in potapljanja kot netrenirani in zato porabijo manj energije pri enako hitrem plavanju.
- Fiziološki dejavniki: pri plavalnih testih nismo merili fizioloških kazalcev. Sklepamo lahko, da imajo netrenirani pri enaki hitrosti plavanja kot trenirani pri prvem testu večja VO₂ in V_E in so zato počasneje plavali, da so uspešno preplavali testno dolžino. Pri drugem testu so verjetno imeli večja VO₂ in V_E in med ponovitvami niso imeli dovolj časa, da bi več kot dvakrat pod vodo preplavali 25 m. Iz tega sklepamo, da so trenirani manj občutljivi za CO₂ kot netrenirani. To bi pomenilo, da lahko trenirani pri istem delnem tlaku CO₂ zdržijo dlje časa brez diha.

Zato smo razvili test na cikloergometru, na katerem je bilo mogoče spremljati fiziološke kazalce. Za njegovo izdelavo smo imeli zaradi testov, ki smo jih opravili v vodi, na voljo dovolj podatkov in izkušenj, da izdelamo test, ki bo dobro ponazarjal dogodke med igro podvodnega hokeja.

7.3 Test na cikloergometru

Trenirani so imeli absolutno VO_2 statistično značilno nižjo kot netrenirani (**P < 0,01) (preglednica 4). Z VO_2 ocenjujemo aktivnost aerobne presnove (Astrand, & Rodahl 1986). Enaka obremenitev bo v posameznikih izzvala različen napor in s tem povezano različno VO_2 (Brooks et al., 2005). Iz tega lahko sklepamo, da so bili pri testu na cikloergometru netrenirani slabše pripravljeni na tovrstne napore. Velikost VO_2 je odvisna od velikosti transporta O_2 do mišic, difuzije plinov med pljučnimi mešički in krvjo, oksiforne kapacitete krvi in arterijsko-venske razlike kisika (Brooks et al., 2005).

Kaj je vzrok za različne VO_2 med treniranimi in netreniranimi? Da bi videli, ali so trenirani tudi sicer boljše fizično pripravljeni, bi morali narediti primerjalni test na cikloergometru z isto obremenitvijo, istim trajanjem testa ter neomejenim dihanjem. Tako pa ne moremo zagotovo vedeti, ali so razlike nastale zgolj zaradi boljše navajenosti treniranih na zadrževanje diha. Lahko primerjamo obe skupini v mirovanju z omejenim dihanjem, pri čemer vidimo, da je bil VO_2 pri netreniranih $0,874 \pm 0,190$ l/min, pri treniranih pa $0,742 \pm 0,151$ l/min. Večji VO_2 netreniranih je lahko tudi posledica večjega stresa zaradi manjše navajenosti na omejeno dihanje.

Tudi pri V_{CO_2} so se netrenirani statistično značilno razlikovali od treniranih (*P < 0,05) (preglednica 5). V_{CO_2} je delno odvisen od VO_2 . Če bo VO_2 višji, bo višji tudi V_{CO_2} . Ni pa nujno, da bo razmerje med VO_2 in V_{CO_2} enako. Oznaka za to razmerje je RQ (respiratorni koeficient): $RQ = V_{CO_2}/VO_2$. Na velikost V_{CO_2} in s tem na RQ vplivajo V_E , dieta, tip in trajanje vadbe, pufri, seveda tudi zadrževanje dihanja. RQ pove, kateri vir energije organizem uporablja za premagovanje napora pri neomejenem dihanju (Brooks et al., 2005).

Tip in trajanje vadbe oziroma obremenitve prav tako vplivata na RQ. Pri manjših obremenitvah in takšnih, ki trajajo dlje časa, bo telo kot vir energije več uporabljalo maščobe (M). Bolj, ko bo obremenitev intenzivna, več bo anaerobnih metabolnih energijskih procesov v telesu in telo bo kot vir energije začelo vključevati OH (Brooks et al., 2005). Sklepali smo, da bo obremenitev na testu za trenirane manjši napor, kar naj bi povzročilo dodatno manjši V_{CO_2} ter posledično nižji RQ. Za trenirane je bila

obremenitev manjši napor, to vidimo že pri V_{O_2} , ni pa povzročila dodatno manjšega V_{CO_2} . Treba je tudi upoštevati trajanje testa, ki ne omogoča, da bi se začeli vsi metabolični procesi.

Zadrževanje diha zmanjšuje RQ, ker je V_{CO_2} manjši kot pri običajnem dihanju zaradi zadrževanja tega plina v mišicah, plazmi in eritrocitih (Lee, Cordain, Sockler, & Tucker, 1990).

Trenirani se v RQ niso značilno razlikovali od netreniranih (preglednica 6), kar pomeni, da so imeli trenirani manjši V_{CO_2} le zaradi manjšega V_{O_2} , iz česar lahko sklepamo, da je bil test zanje manjši napor in so bili verjetno bolj navajeni na zadrževanje diha.

Pljučna ventilacija je produkt frekvence dihanja in dihalnega volumna. Pri majhnih obremenitvah se volumen in frekvenca dihanja enakomerno povečujeta. Pri večjih doseže volumen dihanja plato, ventilacija pa se povečuje le še na račun višje frekvence dihanja (Brooks et al., 2005). Za ventilacijo velja, da je pri obremenitvah z običajnim dihanjem višja pri netreniranih kot pri treniranih posameznikih (Brooks et al., 2005).

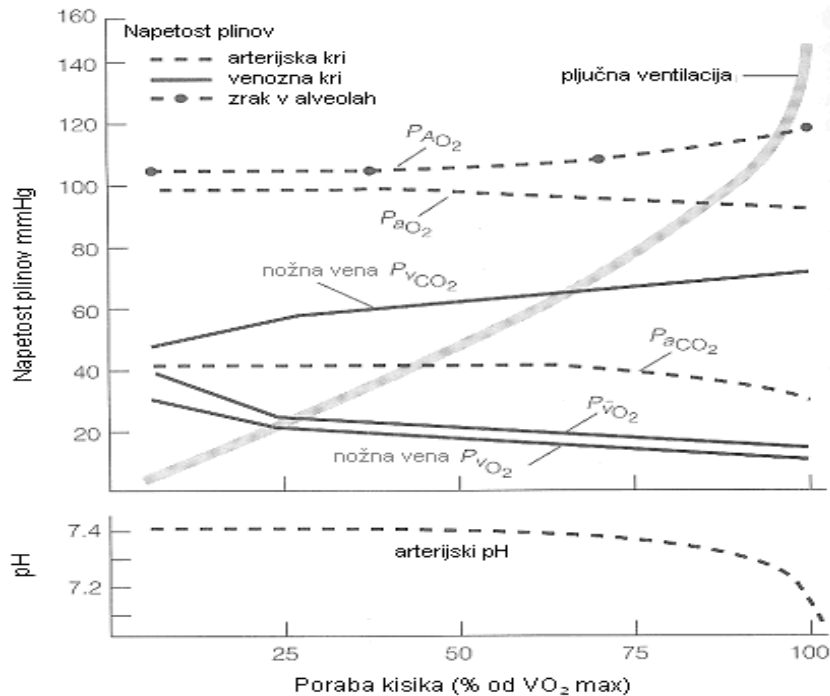
CO_2 je glavni kemijski dejavnik pri regulaciji pljučne ventilacije, saj vpliva neposredno na dihalni center. Stimulira kemoreceptorje v aorti in karotidni arteriji. Neposredni učinek CO_2 na dihalni center je desetkrat močnejši od kemoreceptorjev. CO_2 lahko poveča V_E za 900 %, acidoza za 400 %, padec PO_2 pa le za 65 % (Guyton, 1965).

Delni tlak CO_2 v pljučih določata dva faktorja:

1. hitrost difuzije CO_2 iz krvi v alveole,
2. hitrost odstranjevanja CO_2 iz alveol kot posledice pljučne ventilacije.

Kolikor večja je V_E , toliko se delni tlak CO_2 v alveolah hitro niža. Ali drugače, kolikor večja je difuzija CO_2 v alveole, toliko večji je alveolarni delni tlak CO_2 . To pomeni, da se delni tlak CO_2 v alveolah najprej povišuje, ker se izloča iz krvi, in s tem stimulira dihalni center, kar poveča V_E . Posledica povečane V_E je znižanje delnega tlaka CO_2 v alveolah in s tem v arterijski krvi (Guyton, 1965) (grafikon 10).

Pri zadrževanju diha se torej $PETCO_2$ dviguje zaradi zadrževanja CO_2 v telesu, kar vpliva na povečanje V_E po prenehanju zadrževanja.



Grafikon 11: Delni tlak O_2 in CO_2 v alveolarnem zraku (P_A), arterijski krvi (P_a) in mešani venski krvi (P_v) (Astrand, & Rodahl, 1986).

Pri našem testu se trenirani v V_E niso statistično značilno razlikovali od netreniranih (preglednica 7). Se pa pri treniranih nakazuje nižja V_E . Dva trenirana od treh sta imela značilno nižjo V_E od preostalih. T3, ki je imel najvišjo V_E med treniranimi in podobno dvema netreniranim (preostali netreniran je imel značilno višjo), je imel značilno najnižji P_{ETCO_2} izmed vseh preiskovancev. Imel je tudi značilno nižji V_{CO_2} kot netrenirani (preglednica 10). V njegovem primeru lahko sklepamo, da je zavestno globlje dihal, ker je imel V_E podobno dvema netreniranim, V_{CO_2} pa značilno manjši. Kot je znano, povišan P_{CO_2} dvigne V_E , kar naj bi povečalo izločanje CO_2 , ki povzroči znižanje P_{CO_2} . To ne velja v primeru T3-ja, saj je reagiral drugače. Trenirani so imeli značilno nižjo frekvenco dihanja – ta je bila v 10-sekundnem intervalu neomejenega dihanja poljubna – kar lahko pomeni, da so dihali z večjim dihalnim volumnom. Kapus v svoji raziskavi ugotavlja, da je nižja frekvenca dihanja povezana z večjim dihalnim volumnom (Kapus, 2004). Ne moremo pa zagotovo vedeti, da so trenirani dihali z večjim dihalnim volumnom, ker se je pri njih nakazovala nižja V_E .

Tudi v $PETCO_2$ in $PETO_2$ se skupini nista značilno razlikovali. Pri vseh preiskovancih verjetno pride do respiratorne acidoze. Pri T3-ju, ki ima najnižji $PETCO_2$, se ta med testom dvigne tudi do 6,9 kPa, za katero je med drugim značilno zvišanje $P_{CO_2} > 5,3$ kPa (Kapus, 2004). Verjetno pri podvodnem hokeju nastaja respiratorna acidoza. Edini zaščitni mehanizem proti respiratorni acidozi pri športnem naporu je znotrajcelično puferiranje. Vadba z omejenim dihanjem verjetno izboljšuje pufersko kapaciteto (Kapus, 2004). V_E je pri podvodnem hokeju omejitveni dejavnik, ker med obremenitvijo ne more dovolj odstraniti CO_2 iz telesa. Igralec podvodnega hokeja mora trenirati tako, da poveča vitalno kapaciteto (s tem dvigne dihalni volumen) in zmanjša občutljivost za CO_2 , kar ne povzroči takega odziva V_E . Do nevarne hipoksije ni prišlo, saj je varna cona P_{O_2} do 6 kPa (Astrand, & Rodahl, 1986). Pri našem testu se $PETO_2$ najnižje spusti pri N2-ju (7,4 kPa).

Najvišji $PETCO_2$ in najnižjo V_E je imel T1 (preglednica 10). V njegovem primeru bi pričakovali, da bi glede na $PETCO_2$ moral imeti najvišjo V_E , a je bilo ravno obratno. Zato lahko pri T1, sodeč po plavalnih testih, kjer je bil najboljši, in glede na najnižjo VO_2 na cikloergometru sklepamo, da je najbolj izmed vseh navajen na hiperkapnijo. Mogoče lahko pri T1 govorimo o talentu za podvodni hokej.

Mnogo avtorjev je preiskovalo vpliv vdihavanja hiperkapične plinske mešanice na V_E . Tega v našem testu nismo poskušali, lahko pa naredimo primerjavo, saj je mogoče primerjati odziv V_E na vdihavanje zraka z večjim deležem CO_2 z odzivom V_E na CO_2 , ki nastaja med obremenitvijo. McGurk je s sodelavci preučeval razmerje med $PETCO_2$ in V_E . Primerjal je športnike v različnih intenzivnostnih športih, predvsem vzdržljivostne atlete s športi, kjer prevladujeta moč in hitrost, ter z nešportniki. V svoji raziskavi je tudi ugotavljal, ali je občutljivost za CO_2 podedovana ali se jo da prilagoditi s treningom. Ventilacijsko-hiperkapični odziv je poimenoval S. Primerjava med maratonci in nešportniki je pokazala statistično značilno nižji ventilacijski odziv maratoncev ($P < 0.05$). S v mirovanju pri maratoncih je bil 1,12 l/min/mm Hg, pri nešportnikih pa 1,86 l/min/mm Hg. Primerjava med 13 univerzitetnimi športniki z desetimi nešportniki je pokazala, da so imeli športniki 47 % nižji S. Po izsledkih neke druge analize imajo vzdržljivostni plavalci nižji S (1,43 l/min/mm Hg) kot plavalci sprinterji (2,03 l/min/mm Hg). McGurk je, kot že omenjeno, še raziskoval, ali je občutljivost za CO_2 podedovana

ali se jo da prilagoditi s treningom. Študije, ki jih je omenil v svoji raziskavi, se bolj nagibajo k temu, da je občutljivost za CO₂ deloma podedovana. Dalo naj bi se jo tudi natrenirati, predvsem z vzdržljivostnim treningom (McGurk, Blanksby, & Anderson, 1995). T1 je bil v plavalnem testu na 300 m najhitrejši, kar kaže, da je bolj vzdržljiv od drugih preiskovancev. Lahko da je zaradi svoje vzdržljivosti manj občutljiv na CO₂.

Po drugi strani je Alison McConnell v svoji raziskavi odkrila, da imajo vzdržljivostni športniki zmanjšano občutljivost za CO₂ samo v mirovanju. Izkazalo se je, da med obremenitvijo zmanjšana občutljivost za CO₂ izgine. Primerjal je: skupino vzdržljivostnih športnikov (VŠ), skupino športnikov, ki trenirajo športe, kjer potekajo anaerobni energijski procesi (AN), in kontrolno skupino (KS), katere posamezniki se ne udeležujejo rednih sistematičnih treningov. V vsaki skupini je bilo deset preiskovancev, od tega pet moških in pet žensk, vsi zdravi in nekadilci. Testni protokol: preiskovanci so dihali štiri plinske mešanice (zrak, 2 %, 3 % in 4 % CO₂) 14 minut. Najprej so osem minut sedeli na cikloergometru in dihali skozi ustno cevko, V_E in P_{ETCO₂} sta se merila zadnji dve minuti, nato so kolesarili šest minut pri 30 % VO_{2max} (ki so ga prej izmerili) pri enaki plinski mešanici, V_E in P_{ETCO₂} sta se merila zadnjo minuto testa. Med vsakim vdihavanjem plinske mešanice je bilo najmanj pet minut odmora. Preiskovanci niso vedeli, katero plinsko mešanico vdihavajo. V mirovanju je S pri VŠ statistično značilno nižji kot pri AN in skoraj statistično značilno nižji kot pri KS (p < 0.058). Med obremenitvijo se je S dvignil samo VŠ, tako da so bile vrednosti S med obremenitvijo skoraj enake med VŠ, AN in KS (McConnell, & Semple, 1996).

Kot smo že omenili, se trenirani od netreniranih statistično značilno razlikujejo v frekvenci dihanja. Netrenirani so na interval vdihnili 5,1 ± 0,45-krat, trenirani pa 3,1 ± 0,52-krat (**P < 0,01) (preglednica 8). To lahko pomeni, da:

- a) trenirani niso dosegli najvišjega dihalnega volumna, ker ta obremenitev zanje ni bila tak napor kot za netrenirane in so lahko dihali z nižjo frekvenco,
- b) so trenirani dihali z večjim dihalnim volumnom, zaradi katerega so imeli nižjo frekvenco dihanja,
- c) pri treniranih podoben P_{ETCO₂} ne povzroča takega odziva kot pri netreniranih in so sposobni ponovno zadržati zrak z manj vdih.

Čeprav se po velikosti V_E skupini medsebojno ne razlikujeta, se bistveno razlikujeta v frekvenci dihanja. To lahko pomeni, da bodo trenirani igralci podvodnega hokeja med igro na gladini manjkrat vdihnili in se bodo zaradi tega sposobni hitreje vrniti pod vodo. Ta podatek je zelo bistven pri igri podvodnega hokeja.

Lahko bi sklepali, da se skupini tudi po velikosti V_E značilno razlikujeta in da je bil test za trenirane manjši napor kot za netrenirane. V prid temu sta dva podatka:

- a) T3 je imel, ne glede na to, da je imel višjo V_E kot dva netrenirana, bistveno nižjo frekvenco dihanja.
- b) T3 je imel najnižji P_{ETCO_2} , najvišji P_{ETO_2} in največji odziv V_E na P_{ETCO_2} med vsemi preiskovanci. Po McGurku in McConnellovi bi moral biti T3 najmanj vzdržljiv, ker je že v mirovanju imel drugo najvišjo V_E , vendar izsledki plavalnih testov kažejo drugače. Ali je v njegovem primeru možno, da je z globljim dihanjem namerno ohranjal nizko raven CO_2 v krvi in da je bila zaradi tega V_E pri njem višja kakor pri dveh netreniranih? Omeniti je treba tudi, da je imel poleg velikega odziva V_E nizek V_{CO_2} glede na netrenirane, kar po nekaterih dosedanjih raziskavah ni običajno. Pri T3 bi bilo zanimivo videti, kako bi se V_E večala pri večjih obremenitvah in večjem P_{ETCO_2} .

Kot smo že omenili, se skupini nista razlikovali v P_{ETCO_2} in P_{ETO_2} (preglednica 9). Iz tega lahko sklepamo, da podoben P_{ETCO_2} preiskovancev pri treniranih sproža nižji odziv V_E kot pri netreniranih. Nižji odziv V_E treniranih bi lahko pomenil večjo toleranco na CO_2 , kar je eden ključnih dejavnikov pri uspešni igri podvodnega hokeja. Večja toleranca na CO_2 lahko pomeni dvoje:

- 1) pri istem P_{ETCO_2} bo netrenirani doživel večji odziv od treniranega in bo potreba po vdihu večja in
- 2) pri istem P_{ETCO_2} bo netrenirani imel višjo ventilacijo kot trenirani in bo na gladini potreboval več vdihov, kar pomeni dalj časa, da ponovno zajame zrak.

F. Lemaitre et al. (2007) so v svoji raziskavi, v kateri so morali merjenci zadrževati zrak, ugotovili, da je pri podvodnih hokejistih glede na kontrolno skupino opaziti hipoventilacijo in višjo vrednost P_{ETCO_2} , kar nakazuje večjo toleranco na CO_2 . Podvodni hokejisti so imeli višjo vrednost saturacije O_2 in nižjo koncentracijo laktata v krvi. V test

sta bili vključeni dve skupini. Eno je sestavljalo deset članov državne reprezentance v podvodnem hokeju, druga skupina je bila kontrolna, prav tako sestavljena iz desetih posameznikov. Testni protokol je vseboval pet apnej. Vsaka je trajala 45 sekund, med katero je preiskovanec potopil glavo v vodo ter sočasno vrtel pedala pri 75 W. Odmor med apnejami je trajal pet minut, v tem času je preiskovanec miroval (Lemaitre et al., 2007).

Davis et al. (2007) so v raziskavi med drugim dali podvodnim hokejistom in kontrolni skupini dihati mešanico, ki je vsebovala 7 % CO₂, 43 % N₂ in 50 % O₂, za čas štirih minut, oziroma so test končali prej, če je bil CO₂ merjenca 10 %. Opazovali so ventilacijski odziv pri obeh skupinah. Podvodni hokejisti so imeli statistično značilno nižji ventilacijski odziv CO₂. Primerjavo so delali med tremi skupinami. V eni so bili kopenski športniki (n = 28), v drugi podvodni hokejisti, ki ne igrajo na najvišji ravni (n = 26), v tretji skupini pa so bili podvodni hokejisti, ki igrajo za reprezentanco (n = 8).

Preglednica 10: Ventilacijski odziv na CO₂ (S).

V obeh primerih statistična značilna razlika, P < 0,05 (Davis et al., 1987).

	podvodni hokejisti (n = 34)	kopenski športniki (n = 28)
ventilacijski odziv, l*min ⁻¹ *mmHg CO ₂ ⁻¹	1,08 ± 0,55	1,68 ± 0,72
minutna ventilacija pri Pco ₂ 60 mmHg	19,9 ± 9,1	25,4 ± 10,8

Primerjali so zadrževanje zraka med tremi skupinami. Meritve so bile narejene pri dveh pljučnih prostorninah: a) funkcionalna rezidualna kapaciteta (FRK) in b) skupna pljučna kapaciteta (SPK). Med skupinama kopenskih športnikov in reprezentančnih igralcev podvodnega hokeja so primerjali zadrževanje zraka po petminutnem dihanju 100 % O₂ (Davis et al., 1987).

Preglednica 11: Časi zadrževanja zraka pri FRK, SPK in SPK na 100 % O₂ izraženi v sekundah; *P < 0,01 proti kopenskim športnikom; **P < 0,02 proti nereprezentančnim podvodnim hokejistom (Davis et al., 1987)

	FRK	SPK	SPK-O ₂
kopenski športniki	37 ± 10 (n = 20)	90 ± 20 (n = 20)	185 ± 66 (n = 10)
nereprezentančni podvodni hokejisti (n = 26)	38 ± 13	81 ± 21	—
reprezentančni podvodni hokejisti (n = 8)	55 ± 18 ^{*,**}	132 ± 37 ^{*,**}	261 ± 71 [*]

FRK je prostornina, ki ostane v pljučih po normalnem izdihu. SPK je največja možna pljučna prostornina, ki nastane po najglobljem možnem vdihu (Guyton, 1965).

Craig, & Medd (1968) sta v svoji raziskavi med drugim opazovala pljučno ventilacijo, porabo kisika in tvorjenje CO₂ ter P_{ETO₂} in P_{ETCO₂} na cikloergometru. Testni protokol je bil 30-sekundni interval zadrževanja diha pri poganjanju pedalov pod določeno obremenitvijo in 30-sekundni interval prostega dihanja v mirovanju. Interval se je ponovil desetkrat pri isti obremenitvi. Obremenitev se je povečevala po vsaki desetkratni ponovitvi intervala. V članku je obremenitev določena s kg-m/min, zaradi lažjega razumevanja pa smo jo pretvorili v vate. V_E, V_{O₂} in V_{CO₂} so merili pred zadrževanjem diha in po njem ter vzeli povprečje iz serije desetih ponovitev. Pri P_{ETO₂} in P_{ETCO₂} pa so prikazani rezultati le po zadrževanju zraka, ki je prav tako povprečje iz serije desetih ponovitev.

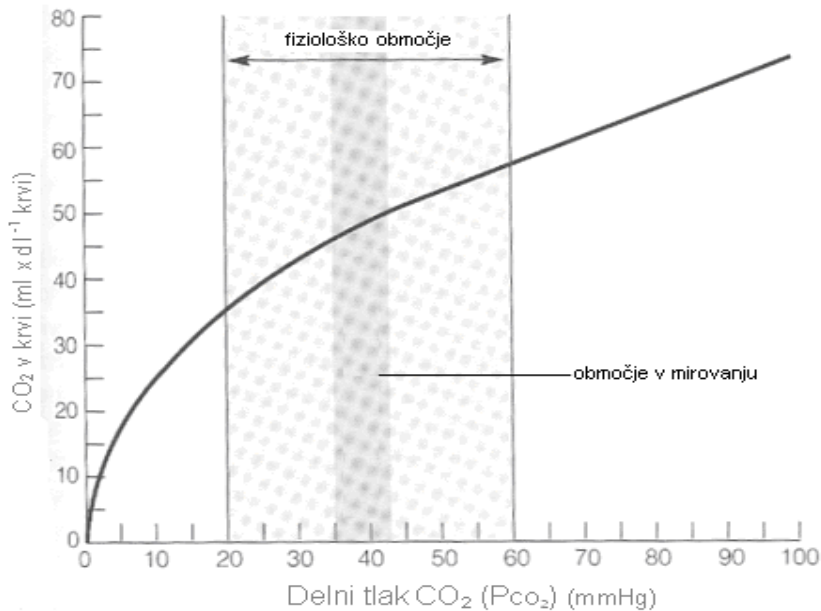
Preglednica 12: Povprečje izmenjave plinov desetkratne ponovitve 30-sekundnega zadrževanja diha pri določeni obremenitvi na cikloergometru in 30-sekundnega dihanja v mirovanju.

obremenitev (W)	V_E (l/min)	V_{O_2} (l/min)	V_{CO_2} (l/min)	RQ	P_{ETO_2} (kPa)	P_{ETCO_2} (kPa)
0	2,6	0,33	0,25	0,74	13,1	5,2
10	12,4	0,64	0,46	0,73	10,8	6,2
21	14,4	0,74	0,54	0,73	9,9	6,2
42	21,2	1,03	0,83	0,81	9,2	7,7
84	38,1	1,35	1,25	0,93	7,8	8,1
105	47,5	1,43	1,49	1,04	8,3	8,2

Iz članka je razvidno, da so na cikloergometru nehali povečevati obremenitev, ko je bila ta previsoka za uspešen konec desetkratne intervalne serije (Craig, & Medd, 1968).

Rezultati največje obremenitve, ki so jo preiskovanci še zmogli, dajejo podobne rezultate P_{ETO_2} in P_{ETCO_2} kot naš test. Iz rezultatov P_{ETO_2} in P_{ETCO_2} je razvidno, da je blizu mejna vrednost, pri kateri človek, ne da bi mu bilo slabo ali da bi doživljal hude bolečine, še lahko zadržuje dihanje (grafikon 11).

Čeprav so preiskovanci zadrževali zrak 30 sekund, so rezultati V_E , V_{O_2} in V_{CO_2} pri končni obremenitvi nižji kot v naši preiskavi. Verjetno zato, ker je bila obremenitev manjša in ker so v intervalu, ko so lahko dihali, mirovali.



Grafikon 12: Prenos CO₂ v kri je zelo odvisen od delnega tlaka CO₂ (Brooks et al., 2005); grafikon prikazuje fiziološko območje od 20 do 60 (mmHg), kar ustreza od 2,3 do 7,9 (kPa).

Coetsee, & Terblanche (1988) sta opazovala, kako zadrževanje zraka vpliva na akumulacijo laktata, Po₂, Pco₂ in pH krvi. Statistično pomembne razlike sta odkrila pri Pco₂ in pH krvi. Pco₂ je pri zadrževanju zraka narastel, pH krvi pa se je posledično znižal – respiratorna acidoza.

Testni protokol na cikloergometru je simuliral igro podvodnega hokeja. V preiskavo je bilo vključenih 15 igralcev podvodnega hokeja. Preiskovanci so ves čas trajanja testa izmenjaje 10 sekund kolesarili in 10 sekund mirovali. Test je trajal 12 minut, obremenitev pa je bila tolikšna, da je povzročala srčni utrip okoli 160 udarcev na minuto. Test je bil dveh vrst. Pri testu zadrževanja diha so preiskovanci zrak zadrževali pri desetsekundnem kolesarjenju, v mirovanju pa dihali neomejeno. Pri testu normalnega dihanja so ves čas dihali neomejeno.

Statistično pomembne razlike med testoma so vidne pri Pco₂ in pH. Pco₂ je statistično značilno narastel, pH pa se je statistično značilno zmanjšal.

Po₂ je pri testu, kjer se je zadrževal diha, nižji kot pri testu, kjer se je dihala neomejeno, vendar razlika ni statistično značilna. Zanimivo je bilo opazovati Po₂ v času okrevanja, torej po končani obremenitvi, ko je Po₂ pri testu z zadrževanjem diha višji kot Po₂ pri

testu z neomejenim dihanjem. Verjetna razlaga tega pojava je, da se V_E poveča zaradi višjega P_{CO_2} in nižjega pH.

Laktat v obeh testih dosega skoraj popolnoma enake vrednosti, celo malo nižje pri testu z zadrževanjem zraka, ko je srčni utrip narastel nad 155 udarcev na minuto. Tudi sicer laktat pri obeh testih ne dosega velikih vrednosti (do $5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$) (Coetsee, & Terblanche, 1988). To, da ne naraste, je prav gotovo posledica samega testa, kjer gre za desetsekundno obremenitev in desetsekundno mirovanje. Mlečna kislina narašča pri neprekinjenih obremenitvah, ki trajajo od 30 sekund do 3 minut (Ušaj, 1997). Je pa razvidno, da laktat ni omejevalni dejavnik pri zadrževanju zraka.

8. Sklep

Med treniranimi in netreniranimi igralci podvodnega hokeja obstajajo razlike. Razlikujejo se tako pri plavalnih testih kot pri testu na cikloergometru.

Pri plavalnem testu na 300 m se kažeta pri treniranih nižja občutljivost za CO_2 in verjetno večja aerobna moč, saj so dosegli boljše čase od netreniranih. Ne vemo pa, kakšno vlogo igra pri testu zadrževanje diha, ker nismo naredili primerjalnega testa na 300 m na gladini. Pri testu na 25m se pri treniranih prav tako kaže večja navajenost na hiperkapnijo. Pri obeh testih lahko med skupinama nastanejo razlike zaradi:

- različne občutljivosti za hiperkapnijo,
- aerobne moči,
- najvišje hitrosti plavanja,
- vitalne kapacitete pljuč (dihalni volumen),
- hitrosti izmenjave plinov in
- tehnike plavanja in potapljanja.

Oba plavalna testa sta se izkazala za dober približek igri podvodnega hokeja, saj je njuno trajanje pri treniranih igralcih podobno tistemu iz analize tekme, kjer igra brez prekinitve traja približno tri minute.

Test na cikloergometru ločuje med treniranimi in netreniranimi. VO_2 in V_{CO_2} sta bistveno nižja pri treniranih kot pri netreniranih. Nakazuje se nižja V_E treniranih, ki dihajo z

bistveno nižjo frekvenco ob podobnih P_{ETCO_2} in P_{ETO_2} . Nižji odziv V_E treniranih pomeni nižjo občutljivost za CO_2 , kar pomeni, da bodo trenirani ob podobnem P_{ETCO_2} pod vodo imeli manjši odziv od netreniranih in držali dih dlje časa. Trenirani so dihali z nižjo frekvenco zaradi:

- večjega dihalnega volumna in
- nižjega odziva V_E pri podobnem P_{ETCO_2} .

Vsekakor nižja frekvenca dihanja omogoča, da se bodo na gladini sposobni »predihati« v krajšem času in se hitreje potopiti ter aktivno vključiti v igro podvodnega hokeja kot netrenirani. Test na cikloergometru je bil za trenirane manjši napor kot za netrenirane.

Iz tega je razvidno, da so trenirani bolj navajeni na obremenitve, kjer se zadržuje dih in kjer nastaja hiperkapnija. Trenirani so s sistematičnim treningom podvodnega hokeja razvili nižjo občutljivost za CO_2 in verjetno večjo vitalno kapaciteto ter večjo aerobno moč.

Pomanjkljivosti testa in diplomske naloge so bile:

- majhno število preiskovancev, kar je zaradi razširjenosti tega športa pri nas razumljivo: v nalogo je bilo vključenih šest preiskovancev, ki smo jih razdelili na dve skupini,
- nismo naredili primerjalna testa: plavalni test na 300 m s plavutmi in test na cikloergometru z neomejenim dihanjem pri večji obremenitvi.

Vidimo torej, da je eden glavnih omejitvenih dejavnikov navajenost na CO_2 , iz česar sledi, da je trening treba prilagoditi navajanju organizma na povečano tvorjenje CO_2 . To dosežemo s treningom, kjer se v neki aktivnosti izmenjujejo faze dihanja in nedihanja. Po opravljenih analizah igre podvodnega hokeja smo ugotovili, da sta fazi dihanja in nedihanja približno enako dolgi. Intenzivni del obremenitve pa ponavadi ne presega treh minut (iz izkušenj pa vemo, da lahko tudi pet minut in več), nato sledi prekinitev, ki traja od 20 sekund do dveh minut.

Za dobrega igralca podvodnega hokeja je nujno, da je sposoben ostati pod vodo čim dlje s predpostavko, da ob tem prebije čim manj časa na gladini. Lahko bi rekli, da ne sme biti predolgo pod vodo za ceno daljšega časa na gladini. Zato mora igralec

podvodnega hokeja trenirati tako navajenost na CO_2 , ki mu niža V_E , kot tudi aerobno moč in anaerobno kapaciteto, ki pri enaki obremenitvi zmanjšuje porabo O_2 in V_E , s tem pa krajša čas, ki ga prebije na gladini vode.

Hipoteza je, da so tisti, ki redno vadijo, bolj prilagojeni na nenehno potapljanje, torej na hipoksijo in hiperkapnijo. Zato bodo v takšnih okoliščinah tudi bolj zmogljivi od tistih, ki ne vadijo redno in zato niso prilagojeni na prej omenjene razmere.

Z rezultati meritev smo pokazali, da je naša hipoteza pravilna. Res pa je, da je bilo število preiskovancev majhno, zato moramo omejiti veljavnost ugotovitev. Test bo sčasoma pokazal, ali so naše ugotovitve veljavne, saj verjamemo, da se bo v prihodnje testiralo še več igralcev podvodnega hokeja.

Želimo si, da bi test postal reden preizkus igralcev podvodnega hokeja in bi bil kot tak eden od kazalnikov njihove pripravljenosti. V prihodnosti bo verjetno treba test nekoliko dopolniti. Dobro bi bilo razmisliti o primerjalnem testu z neomejenim dihanjem, tako na cikloergometru kot v vodi, teste v vodi pa dopolniti z možnostjo spremljanja fizioloških kazalcev.

9. Literatura

1. Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1970). *Textbook of work physiology*. New York: Mcgraw-Hill book company.
2. Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). *Exercise physiology*. New York: Mcgraw Hill.
3. Coetsee, M. F., Terblanche, S. E. (1988). The effects of breathhold on lactate accumulation, pO₂, pCO₂ and pH of blood. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 59(6), 540 – 543.
4. Craig, A. B. Jr., & Medd, W. L. (1968). Oxygen consumption and carbon dioxide production during breath-hold diving. *Journal of applied physiology* 24(2), 190 – 202.
5. Davis, F. M., Graves, M. P., Guy, H. J. B., Prisk, G. K., Tanner, T. E. (1987). Carbon dioxide response and breath-hold times in underwater hockey players. *Undersea Biomedical Research* 14(6), 527 – 534.
6. Guyton, A. C. (1965). *Udžbenik medicinska fiziologija*. Beograd, Zagreb: Medicinska knjiga.
7. Kapus, J. (2004). *Vpliv vadbe z manjšim številom vdihov med plavanjem na sposobnost premagovanja maksimalnih naporov pri 200 metrov kravl in pri enakomernih plavanjih do utrujenosti*. Magistrsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
8. Kapus, J. (2008). *Učinki vzdržljivostne vadbe z višjo frekvenco dihanja*. Doktorska disertacija, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
9. Lemaitre, F., Polin, D., Joulia, F., Boutry, A., Le Pessot, D., Chollet, D., Tourny-Chollet, C. (2007). Physiological responses to repeated apneas in underwater hockey players and controls. *Undersea&Hyperbaric Medicine* 34(6), 407 – 414.
10. Maglischo, E. W. (1993). *Swimming even faster*. Mountain View: Mayfield Publishing Company.
11. McConnell, A. K., & Semple, E. S. G. (1996). Ventilatory sensitivity to carbon dioxide: the influence of exercise and athleticism. *Medicine and science in sports and exercise* 28(6), 685 – 691.

12. McGurk, S. P., Blanksby, B. A. & Anderson, M. J. (1995). The relationship of hypercapnic ventilatory responses to age, gender and athleticism. *Sports medicine* 19(3), 173 – 183.
13. Perilleux, E., Anselme, B., Richard, D. (1999). *Biologija človeka*, Ljubljana: Državna založba Slovenije.
14. Ušaj, A. (1997). Kratek pregled osnov športnega treniranja. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Inštitut za šport.