

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Športna vzgoja

UČINEK UTRUJENOSTI DIHALNIH MIŠIC NA PLAVANJE

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:
doc. dr. Jernej Kapus
RECENZENT:
prof. dr. Anton Ušaj

Avtorica dela:
AJDA PRISTAVEC

Ljubljana, 2015

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju in moji družini za vse nasvete in podporo.

Ključne besede

plavanje, dihalne mišice, vdišne mišice, utrujenost, plavalna tehnika, kravl

Učinek utrujenosti dihalnih mišic na plavanje

Ajda Pristavec

Izvleček:

Namen raziskave je bil ugotoviti učinek utrujanja vdišnih mišic na čas plavanja, frekvenco zaveslajev in frekvenco dihanja pri seriji plavanja 8x50 metrov kravl. Predpostavili smo, da predčasno utrujanje dihalnih mišic vpliva na daljši čas plavanja pri seriji 8x50 metrov ter da predčasno utrujanje dihalnih mišic vpliva na povečanje frekvence dihanja in frekvenco zaveslaja.

Testirali smo 13 študentov Fakultete za šport in sicer osem študentk starih od 20 do 24 let, težkih od 56 do 71 kilogramov in visokih med 155 in 176 centimetri ter pet študentov starih od 18 do 25 let, težkih od 58 do 82 kilogramov in visokih med 166 in 195 centimetri. Vsi študentje so izvedli eksperimentalno in kontrolno merjenje. Merili smo serijo 8x50 m s predhodnim utrujanjem dihalnih mišic in ponovili serijo 8x50m brez predhodnega utrujanja dihalnih mišic. Pri eksperimentalnem merjenju smo mišice utrujali s powerbreathe napravo. Utrujanje je trajalo tudi do ene ure.

Rezultati so pokazali, da je predhodno utrujanje dihalnih mišic vplivalo na statistično značilno podaljšanje časa zadnjih dveh ponovitev 50 metrov plavanja in da je bila frekvenca zaveslajev povečana pri vseh ponovitvah in je bila statistično zelo pomembna. Tudi pri frekvenci dihanja je vidno povečanje, ki je statistično značilno pri šestih od osem ponovitev. Povečanje frekvence dihanja in zaveslajev pri utrujenih vdišnih mišicah pa so pokazale tudi že predhodne raziskave drugih avtorjev.

Keywords

Swimming, breathing muscle, inspiratory muscle, fatigue, swimming technique, front crawl

The Effect of Respiratory Muscle Fatigue on Swimming

Ajda Pristavec

Abstract:

The purpose of this research project was to identify the effect of respiratory muscle fatigue on swimming time, stroke rate, and breathing frequency in 8x50 meter series front crawl. We hypothesized that respiratory muscle fatigue prolongs swimming time during 8x50m series, and that respiratory muscle fatigue increases both breathing frequency and stroke rate.

We tested 13 University of Ljubljana students enrolled in an undergraduate program at the Faculty of Sports. Eight were female, aged 20 to 24 years, weighting 56 to 71 kilograms, and between 155 and 176 centimetres tall. Five were male, aged 18 to 25 years, weighting 58 to 82 kilograms, and between 166 and 195 centimetres tall. All students performed under both the experimental and the control condition. We first measured all three factors during 8x50m series after fatiguing respiratory muscles, followed by measurements during a series repetition without first fatiguing the muscle. During the experimental condition, we fatigued the respiratory muscle using the Powerbreathe, with the procedure lasting up to one hour.

The results show that respiratory muscle fatigue is statistically significantly associated with a prolongation in the time needed to perform the last two repetitions of 50 meter swims, and that stroke rate is increased for each repetition. In addition, breathing frequency is statistically significantly increased in six out of eight repetitions. Both the observed increase in breathing frequency and stroke rate under the fatigued respiratory muscle condition are in line with results obtained by previous research.

Kazalo

1 Uvod.....	7
1.1 Cilji	12
1.2 Hipoteze	12
2 Metode dela.....	13
2.1 Preizkušanci	13
2.2 Pripomočki	13
2.3 Postopek.....	14
2.3.1 Način zbiranja podatkov	14
2.3.2 Metode obdelave podatkov	14
3 Rezultati in razprava	15
4 Sklep	20
5 Viri	21
6 Priloge.....	23

Kazalo slik

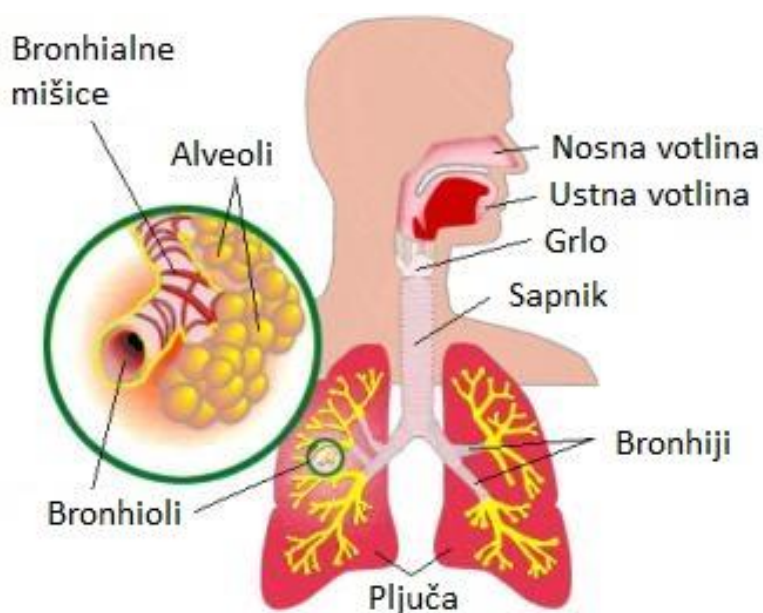
Slika 1 Dihalni sistem; nosna votlina (nasal cavity), ustna votlina (oral cavity), grlo (larynx), sapnik (trachea), bronhiji (bronchi), pljuča (lung), bronhiji (bronchioles), bronhialne mišice (bronchiolar muscle), alveoli (alveoli)	7
Slika 2 Vdišne (Inspiratory) in izdišne (Expiratory) mišice (McConnel, 2011)	9
Slika 3 Powerbreathe pripomoček za utrujanje vdišnih mišic	13
Slika 4 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov časa v sekundah vsakih 50 metrov, pri spočitih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost.....	16
Slika 5 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov frekvence zaveslaja (število zaveslajev v minuti) vsakih 50 metrov, pri spočitih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost.....	17
Slika 6 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov frekvence dihanja (število vdihov v minuti) vsakih 50 metrov, pri spočitih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost.....	18

Kazalo tabel

Tabela 1 Trajanje posameznih faz dihalnega cikla v sekundah med kravlom pri boljših plavalcih (Cardelli, Lerda in Chollet, 2000 v Kapus 2009)	10
Tabela 2 Opisne statistike največjega vdišni pritisk vseh preizkušancev v cmH ₂ O.....	15

1 Uvod

Dihanje je preprost fizikalni proces (Slika 1). Razširitev prsnega koša povzroči zmanjšanje tlaka v prsni votlini in zrak steče po dihalni cevi z mesta z višjim tlakom na mesto z nižjim – v pljučne mešičke. Manjšanje prostornine prsnega koša povzroči višanje tlaka in zrak steče iz pljuč (Cerar, Lasan, 2010). V pljučnih mešičkih poteka izmenjava kisika in ogljikovega dioksida preko kapilarne mreže. Preko kapilar potuje v kri kisik, iz krvi v pljučni mešiček pa ogljikov dioksid. Ob izdihu organizem izloči nastali ogljikov dioksid (McConnel 2011).



Slika 1 Dihalni sistem; nosna votlina (nasal cavity), ustna votlina (oral cavity), grlo (larynx), sapnik (trachea), bronhiji (bronchi), pljuča (lung), bronhioli (bronchioles), bronhialne mišice (bronchiolar muscle), alveoli

Dihanje vpliva tudi na energijske procese v telesu. Intenzivnost napora definiramo tudi glede na prevladujoče energijske procese pri neki obremenitvi. To so:

- aerobni,
- aerobno-anaerobni,
- anaerobno-aerobni in
- anaerobni napor.

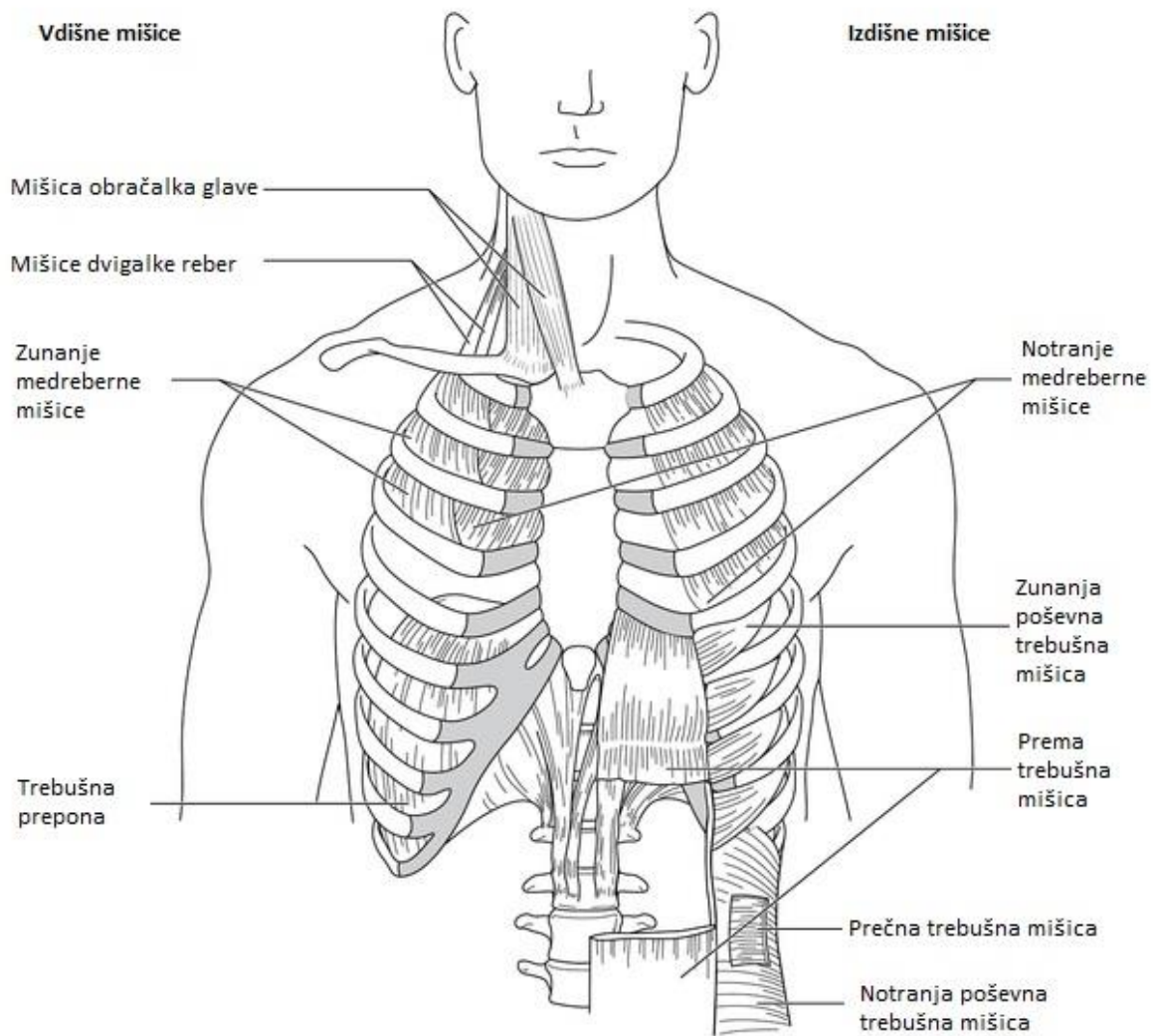
Aerobni naporji so vsi nizko do srednje intenzivni naporji, v katerih prevladujejo aerobni energijski procesi. Aerobni napor sega nekje do 50% največje porabe kisika. Pri intenzivnosti, ki presega ta napor, se začnejo dodatno aktivirati tudi anaerobni laktatni energijski procesi. Aerobni procesi so zelo učinkoviti energijski procesi, pri katerih se energija sprošča počasi, zato se bolj aktivno odvijajo pri manj intenzivnih, a trajnejših naporjih. Za razgradnjo goriv organizem potrebuje kisik. Aerobno-anaerobni procesi se

začnejo aktivneje odvijati, ko organizem potrebuje več energije in mora biti zato sproščanje le te hitrejše. Aerobno-anaerobni napor presega nivo laktatnega praga. Poraba kisika pri tovrstnih naporih narašča premo sorazmerno z intenzivnostjo obremenitve. Povečuje se tudi ventilacija pljuč, ki pripomore k uravnavanju spremembe v acidobaznem ravnovesju, nastalim s kopičenjem laktata v krvi. Anaerobno-aerobni napor pa presega stopnjo največje porabe kisika. Tak napor športnik lahko premaguje le nekaj minut. Vsebnost laktata premo sorazmerno narašča s trajanjem obremenitve. Anaerobni napor je značilen za najvišjo intenzivnost obremenitve in jo mišice lahko premagujejo le tja do 10 sekund (Ušaj, 2003).

Pri naporih velike intenzivnosti, kjer je anaerobna presnova izrazitejša, je tvorba mlečne kisline hitrejša od njen razgradnje, zato se začne kopičiti. Mlečna kislina je šibka organska kislina in hitro disociira na laktatne (LA^-) in vodikove (H^+) ione. Povečanje števila H^+ ionov pa pomeni znižanje pH v krvi. Rezultat prekomerne tvorbe vodikovih ionov je torej metabolična acidoza. Zaradi visoke prisotnosti H^+ ionov se začne dogajati množica procesov (na primer upočasnjena glikoliza), ki neposredno vplivajo na mišično utrujenost. Organizem se proti preveliki acidozi bojuje tudi s pomočjo večje aktivacije dihalnih mišic in tako tudi s povečanjem pljučnega dihanja. Vodikovi ioni se v končni fazi v kapilarni mreži pljuč iz ogljikove kisline vežejo v CO_2 in H_2O , ki se nato izločita z dihanjem. Poteka proces, ko organizem s povečanim odvajanjem CO_2 in s tem vezavo H^+ v H_2O , z dihanjem uravnava pH v krvi. Imenujemo ga respiratorna kompenzacija metabolične acidoze (Jones, 1980). Dihanje torej vpliva na uravnavanje pH v krvi in s tem manjša utrujenost mišic.

Ko mišice močno naprezamo, se metabolični produkti, kot mlečna kislina, nabirajo v in med vlakni. Ti metaboliti stimulirajo receptorje v mišicah, da pošljejo signale do možganov, ki sprožijo refleks ustavljanja cirkulacije, vključno z dovodom krvi v mišice. Posledice spremembe pretoka krvi do mišic omejujejo zalogo kisika in ovirajo odstranitev produktov, ki nastanejo zaradi vadbe. Posledično pride do utrujenosti mišic hitreje, zato je izvedba vaje slabša. Povečanje dela vdišnih mišic torej pospeši aktivacijo metabolnega refleksa, okončine se hitreje utrudijo, izvedba se poslabša. Najverjetneje je metabolnega refleks zaščitna funkcija, ki prisili športnika, da upočasnji ali preneha z dejavnostjo, da ne bi prišlo do zelo visokega nivoja utrujenosti dihalnih mišic (McConnel, 2011).

Pri pospešenem dihanju sta fazi vdih in izdih aktivni. Pri vdihu sodelujejo trebušna prepona (diafragma) in zunanje medrebrne mišice, pri pospešenem vdihu pa še mišice dvigalke reber (sprednja, srednja, zadajšnja) in mišica obračalka glave. Za aktiven izdih pa uporabljamo notranje medrebrne mišice (internal intercostal), trebušne mišice (rectus abdominis), zunanjo poševno trebušno mišico (external oblique), prečno trebušno mišico (transversus abdominis) in notranjo poševno trebušno mišico (intrenal oblique). Dihalne mišice so prečnoprogaste mišice. Delimo jih na vdišne in izdišne mišice (Slika 2).



Slika 2 Mišice ki sodelujejo pri vdihu in izdihu (McConnel, 2011)

Plavanje je osnovni način gibanja v vodi, je obvladovanje vode z lastnimi silami, ki omogočajo gibanje v želeni smeri na vodni gladini ali pod njo. Plavalne tehnike pa so oblike cikličnega gibanja, ki so opredeljene s tekmovalnimi pravili. Mednje spadajo:

- kravl,
- prsno,
- hrbtno,
- delfin.

Pri plavanju pa je tako kot pri vsakem športu izrednega pomena dihanje. Dihanje med plavanjem je še bolj specifično zaradi vodoravnega položaja in dodatnega pritiska vode, ki je še 900x večji od zračnega pritiska. Tako so mišice bolj obremenjene in se hitreje utrudijo. Vdišne mišice so namreč 16 odstotkov šibkejše, kadar oseba leži vodoravno v vodi, če to primerjamo s stoječim položajem na suhem. Plavalci se trudijo zaradi ekonomičnosti zmanjšati število in čas trenutkov, ko njihov obraz gleda ven iz vode, zato morajo vdihniti

hitro in čim globlje. Omejen čas vdih vpliva na hitrost krčenja mišic, ki morajo v krajšem času priti do večjega dihalnega volumna. Plavalci torej želijo izvesti čim manjše število vdihov, kar vpliva na hitrejšo utrujenost mišic celega telesa (McConnel, 2011).

V vodoravnem položaju se poveča količina krvi v osrednjem delu telesa, zato se poveča prekrvavljenost pljuč in se s tem olajša pljučna difuzija, vendar se vitalna kapaciteta pljuč zmanjša. Na primer pri kravlu je tako zaradi vodnega okolja prosto dihanje onemogočeno in oteženo z vodnim tlakom. Med plavanjem mora biti dihanje tudi usklajeno s plavalno tehniko (Kapus, 2009).

Dihalni cikel med plavanjem je sestavljen iz kratkega vdih, kratkega zadržanega diha in podaljšanega izdih. Ker je čas za vdih kratek, se morajo dihalne mišice hitreje skrčiti (Tabela 1) do večjega dihalnega volumna, ki pa je pomemben, saj poveča plavalčevo plavnost. Prav tako pa nekatere mišice, ki sodelujejo pri vdihu, hkrati sodelujejo tudi pri zaveslaju. To pomeni, da morajo uskladiti zahteve dihanja in gibanja. Prav iz tega razloga pa je utrujenost dihalnih mišic pri plavalcih večja kot pri drugih športnikih.

Tabela 1 Trajanje posameznih faz dihalnega cikla v sekundah med kravlom pri boljših plavalcih (Cardelli, Lerda in Chollet, 2000 v Kapus 2009)

	Zmerna hitrost	Najvišja hitrost
Vdih	0,4	0,2
Zadržan diha	0,2	0,2
Izdih	1,4	0,9
Ves dihalni cikel	2,0	1,3

Utrujenost vdišnih mišic je kar dobro raziskana pri veliko športih, vendar je narejeno le nekaj študij na področju plavanja. V teh študijah pa so poročali, da pride od 11 do 27% utrujenosti po le 2,7 – 4,9 minutah visoko intenzivnega plavanja tehnike kravl (Jakovljevič in McConnel, 2009; Lomax in McConnel, 2003; Thomaidis idr., 2009). To pa je hitreje, kot je pri študijah, ki so delale meritve pri drugih vrstah športa. Posledice mišičnega utrujanja pa so bile do sedaj bolj preverjane le pri aktivnostih izven vode. Pokazalo se je, da se znatno skrajša trajanje vaje, zmanjša dihalni volumen, zviša frekvenca dihanja in da je dihanje oteženo (dispneja) (Mador, 1991). Zanimivo je, da še ni bilo narejenih veliko raziskav, kako utrujenost vdišnih mišic vpliva na plavanje kravla, glede na to, da:

- ima tehnika kravl naravno nižjo frekvenco dihanja in s tem večji dihalni volumen v primerjavi z aktivnostmi na kopnem, kot sta kolesarjenje in tek (Rodriguez, 2000) ter
- dihanje med plavanjem tehnike kravl lahko poruši koordinacijo rok (Cardelli idr., 2000) in zmanjša propulzivno silo (Cardelli idr., 1999).

Najbolj ekonomična koordinacija pri plavanju kravla je, ko je dolžina zaveslaja podaljšana in frekvenca zmanjšana pri enaki hitrosti (Wakayoshi idr., 1995). Dihanje ovira vodoravnost položaja (Seifert, Chollet, Allard, 2005) in zvišuje upor, s tem pa se zmanjša dolžina zaveslaja in hitrost plavanja. Zato ni presenetljivo, da je frekvenca dihanja nižja in je

koordinacija rok boljša pri boljših plavalcih kot pri slabših (Wakayoshi idr 1995). Utrujenost vdišnih mišic vpliva na vzorec dihanja že pri kopenskih aktivnostih, zato bo prisotnost utrujenosti vdišnih mišic pri kravlu zvišala frekvenco dihanja (in število vdihov). Posledično se poruši tudi koordinacija rok - zmanjša se dolžina, poviša pa frekvenca zaveslaja. To dejstvo pomembno vpliva na odločitve trenerjev pri načrtovanju vadbe ko želijo optimizirati razmerje med dolžino in frekvenco zaveslaja ali minimizirati frekvenco dihanja (in število vdihov).

Vpliv utrujenosti mišic na dihanje in zavesljaje pri enakomernem plavanju na razdalji 200 metrov sta raziskali že Lomax in Castle (2011). Testiranci so bili dobro trenirani plavalci. Namen naše raziskave je bil enak, le da smo preverjali vpliv pri seriji 8x50 metrov.

1.1 Cilji

Cilj 1: Raziskati učinek utrujenja vdišnih mišic na čas plavanja pri seriji 8x50 metrov

Cilj 2: Raziskati učinek utrujanja vdišnih mišic na plavalno tehniko

1.2 Hipoteze

Hipoteza 1: Predčasno utrujanje vdišnih mišic vpliva na daljši čas plavanja pri seriji 8x50 metrov.

Hipoteza 2: Predčasno utrujanje vdišnih mišic vpliva na povečanje frekvence dihanja in frekvenco zaveslaja.

2 Metode dela

2.1 Preizkušanci

Merili smo 13 študentov Fakultete za šport in sicer osem študentk in pet študentov. Vsi študentje so izvedli eksperimentalno in kontrolno merjenje. Povprečna starost študentk je bila 22 let (± 3), višina 166cm (± 7) in teža 62kg (± 5), pri študentih pa 22 let (± 3), 179cm (± 11) in 74kg (± 9).

2.2 Pripomočki

Uporabili smo:

- Powerbreathe, kot napravo za utrujanje dihalnih mišic (Gaiam Ltd., Southham, UK),



Slika 3 Powerbreathe pripomoček za utrujanje vdihnih mišic

- spirometer (Vocatest P2a, Mijnhardt, Netherlands),
- videokamero (DCR-TRV 410E, PAL, Sony, Tokyo, Japan),
- metronom,
- ročno štoparico SEIKO (Retail-Jewelry, Precision Instruments and Machinery, Tokyo, Japan)
- tehniko in
- meter.

2.3 Postopek

2.3.1 Način zbiranja podatkov

Najprej smo izmerili rezultat merjencev plavanja na 400 metrov kravl, da smo dobili načrtovani tempo plavanja 8x50 metrov kravl.

Merjenci so odplavali 8x50m kravl dvakrat:

- s predhodnim utrujanjem dihalnih mišic
- brez predhodnega utrujanja dihalnih mišic

Start plavanja je bil iz vode. Odmor med ponovitvami je bil dolg 10 sekund. Plavanji smo posneli in kasneje preko analize posnetkov pridobili čas vsake ponovitve 50 metrov plavanja, frekvenco in število zaveslajev vsakih 50 metrov plavanja in število in frekvenco vdihov. Čas in frekvenco zaveslajev smo merili z ročno štoparico. Frekvenca dihanja pa je bila izračunana kot število vdihov na minuto. Pri frekvenci zaveslaja velja, da en zaveslaj predstavlja en cikel desne in leve roke skupaj.

Pri plavanju s predhodnim utrujanjem dihalnih mišic smo le-te utrujali s Powerbreath napravo in s pomočjo metronoma, ki je določal ritem treh sekund za vdih in dveh za izdih. Merjenci so utrujali mišice tako dolgo, dokler niso dosegli 70% maksimalnega pritiska vdišnih mišic, ki smo jo izmerili pred, med in po seriji plavanja, s pomočjo spirometra. Utrujanje mišic je potekalo tudi do ene ure. Pritisk vdišnih mišic (MIP – ang. Maximal inspiratory pressure – cmH₂O): smo merili v stoječem položaju tako, da je merjenec izvedel maksimalni vdih v prenosni merilec. Pred vdihom je merjenec izdihnil zrak do rezidualnega volumna. Vdih je moral biti izrazit in močan. Čas maksimalnega vdiha je bil minimalno dve sekundi.

2.3.2 Metode obdelave podatkov

Statistično analizo smo izvedli s statističnim paketom SPSS (IBM SPSS Statistics 22) Izračunali smo opisno statistiko in nato s T-testom za odvisne vzorce preverili, ali obstajajo statistično pomembne razlike pri kazalcih med plavanjem v dveh različnih pogojih. Na podlagi pridobljenih rezultatov smo izdelali grafe, v katerih smo primerjali vrednosti aritmetične sredine in standardnega odklona za eksperimentalno in kontrolno serijo 8x50 metrov kravl. Pri ponovitvah, ki so bile statistično značilne smo na grafu označili z * in sicer: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001., zgornja meja tveganje je bila 0,05.

3 Rezultati in razprava

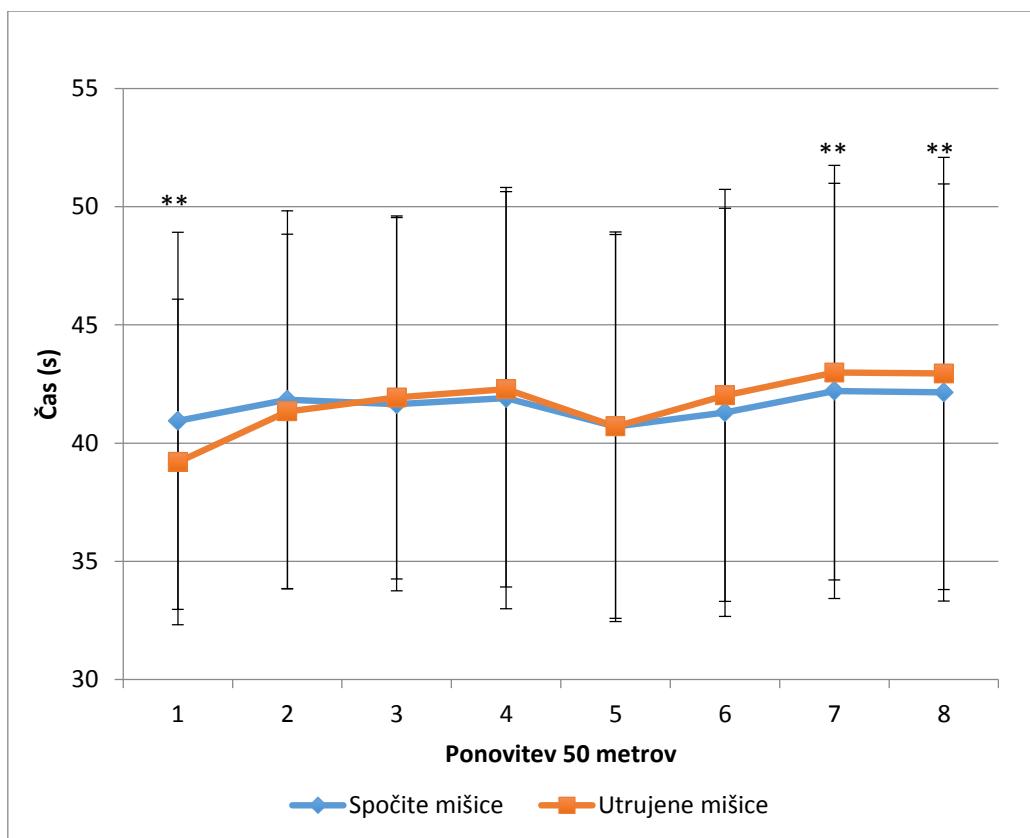
V Tabeli 2 je razviden povprečni maksimalni pritisk vdišnih mišic in standardni odklon pri merjenjih pred in po seriji 8x50 metrov brez predhodnega utrujanja dihalnih mišic ter tudi s predhodnim utrujanjem dihalnih mišic. Razvidno je tudi, kolikšen je bil povprečni pritisk dihalnih mišic po utrujanju.

Tabela 2 Opisne statistike največjega vdišni pritisk vseh preizkušancev v cmH₂O

Moč vdišnih mišic	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>Brez predhodnega utrujanja dihalnih mišic</i>				
Pred	130	33	83	192
Po koncu	123	34	61	175
<i>S predhodnim utrujanjem dihalnih mišic</i>				
Pred	135	28	89	182
Po utrujanju	116	27	79	173
Po koncu	117	34	76	180

Legenda: M – aritmetična sredina; SD – standardni odklon; Min – najnižja vrednost; Max – najvišja vrednost

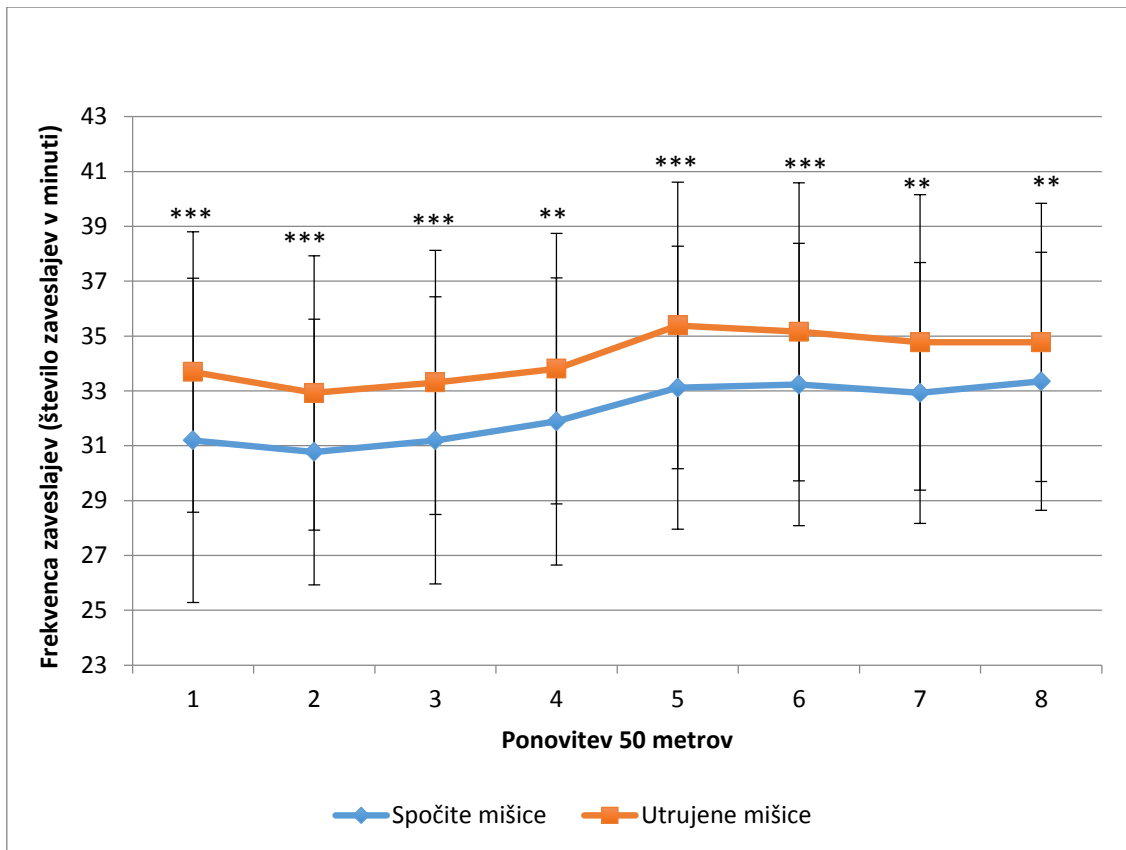
Rezultati dvostranskega parnega t-testa kažejo, da razlika med povprečnim maksimalnim pritiskom vdišnih mišic po koncu serije 8x50 metrov kravl ($M=123$; $SD=34$ cmH₂O) in povprečnim maksimalnim pritiskom vdišnih mišic s predhodnim utrujanjem po koncu serije 8x50 metrov ($M=117$; $SD=34$) statistično ni značilna.



Slika 4 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov časa v sekundah vsakih 50 metrov, pri spočitih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost

*Legenda: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$*

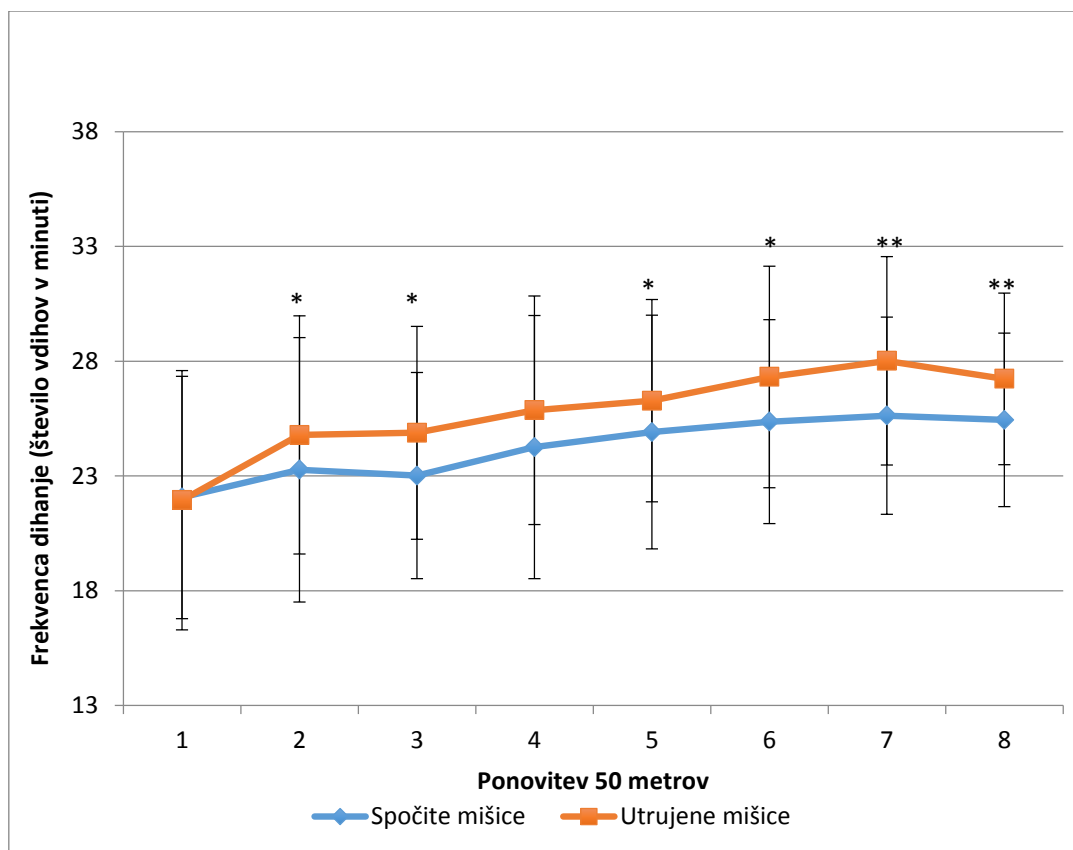
Na grafu (Slika 4) lahko vidimo značilno izboljšanje časa pri prvi ponovitvi, kar ni bilo pričakovano in je najverjetneje rezultat hiperventilacije, do katere je prišlo pri protokolu utrujanja. Razviden je značilen slabši rezultat zadnjih dveh ponovitev, na kateri verjetno vpliva utrujenost vdišnih mišic.



Slika 5 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov frekvence zaveslaja (število zaveslajev v minuti) vsakih 50 metrov, pri spočutih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost

*Legenda: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$*

Na Sliki 5 je razvidno, da utrujenost vdišnih mišic značilno vpliva na frekvenco zaveslaja pri vseh ponovitvah. Rezultati prikazujejo pomembno povečanje frekvence zaveslaja tudi v raziskavi Lomax in Castle (2011).



Slika 6 Graf aritmetičnih sredin in standardnih odklonov frekvenca dihanja (število vdihov v minuti) vsakih 50 metrov, pri spočitih in utrujenih mišicah in z * označena statistična značilnost

*Legenda: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$*

Pri Sliki 6 je razvidno, da se značilno poveča frekvenca dihanja pri drugi, tretji, peti in šesti ponovitvi, pri sedmi in osmi pa se kaže bolj značilno povečanje frekvenca dihanja. Prav tako je bila ugotovljeno povečanje frekvenca dihanja v raziskavi Lomax in Castle (2011).

Rezultati študije kažejo, da prisotnost predhodnega utrujanja vdišnih mišic vpliva na povečanje frekvenca zaveslaja in frekvenca dihanja ter poslabšanje časa plavanja pri seriji 8x50 metrov kravla. Čeprav povečanje frekvenca dihanja dopušča povečanje porabe kisika (Town, 1990), je povečanje frekvenca dihanja in število vdihov kot odziv na utrujenost vdišnih mišic verjetno le posledica oteženega dihanja (dispneje). Ta občutek se poveča ob prisotnosti utrujenosti vdišnih mišic (Mador in Acevedo, 1991). Če je frekvenca dihanja povečana in se pri tem spremeni vzorec dihanja iz dvostranskega na enostransko, je rezultat manj simetričen zaveslaj. Posledično to lahko povzroči neravnovesje porazdelitve moči med desno in levo roko. Zato med sprinterskim plavanjem kravla bolj izkušeni plavalci vdihnejo manjkrat kot manj izkušeni. Tako je utrujenost vdišnih mišic lahko le še dodatna težava za plavalce, ki že imajo nesimetrične zaveslaje. Najbolj ekonomična koordinacija kravla je, ko je pri isti hitrosti dolžina zaveslaja podaljšana, frekvenca pa znižana (Wakayosi idr., 1995). V primeru, da se zgodi nasprotno, bi se zaradi povečanja frekvenca dihanja povečala tudi potreba po energiji (pri gibanju naprej) (Costill idr 1985).

Možno pa je, da utrujenost vdišnih mišic neposredno vpliva na koordinacijo rok. Ko se med plavanjem pojavi utrujenost, je zmožnost proizvodnje sile v rokah zmanjšana (Toussaint, 2006).

Utrujenost vdišnih mišic zmanjša možnosti zgornjega dela telesa, da proizvede silo za zaveslaj. To se lahko zgodi pri mišicah, ki sodelujejo pri vdihu in pri zaveslaju. Te so :

- velika prsna mišica,
- široka hrbtna mišica,
- zgornji del trapezaste mišice in
- sprednja nazobčana mišica.

Naštete mišice so aktivirane pri močnejšem ali globokem vdihu (Kendall idr, 2005) in pri zaveslajih kravla. Tako se verjetno povečata frekvenci zaveslaja in dihanja ter zmanjša dolžina zaveslaja, da se lahko vzdržuje hitrost plavanja. To bi bilo potrebno v prihodnje še raziskati.

4 Sklep

Dihalne mišice pripomorejo k oskrbi mišic telesa s kisikom in odvajajo ogljikov dioksid, ter s tem uravnavajo pH. Z utrujanjem teh mišic lahko poslabšamo rezultat ter tudi vplivamo na plavalno tehniko.

Raziskali smo učinek utrujanja vdišnih mišic pri seriji 8x50 metrov in s tem dosegli Cilj 1. Pri tem smo potrdili Hipotezo 1, saj je predčasno utrujanje vdišnih mišic vplivalo na večji čas plavanja pri zadnjih dveh ponovitvah v seriji 8x50 metrov. Pri prvi ponovitvi se je sicer čas celo zmanjšal, vendar se pri zadnjih dveh ponovitvah kaže vpliv utrujenosti dihalnih mišic z večjim časom plavanja.

Dosegli smo tudi Cilj 2 in raziskali učinek utrujanja vdišnih mišic na plavalno tehniko. S tem smo potrdili Hipotezo 2, saj je predčasno utrujanje vdišnih mišic vplivalo na povečanje frekvence dihanja in frekvenco zaveslaja. Predvsem pomembno vpliva na povečanje frekvence zaveslajev.

V prihodnjih raziskavah bi lahko primerjali, kaj se zgodi z utrujenostjo dihalnih mišicah pri točno določenem dihalnem vzorcu in jih primerjali z raziskavami s prosto izbiro dihanja med plavanjem. Potrebno bi bilo tudi primerjanje drugih parametrov pri utrujenosti, na primer spremljanje pH krvi in laktata v krvi, da bi bili rezultati bolj verodostojni oziroma bi se jih lažje interpretiralo, kot na primer rezultat časa prve ponovitve 8x50 metrov pri merjenju brez predhodnega utrujanja in s predhodnim utrujanjem.

5 Viri

- Cardelli, C., Chollet, D., Lerda, R. (1999). Analysis of the 100-m front crawl as a function of skill level in non-expert swimmers. *Human Movement Studies*. 36: 51-74
- Cardelli, C., Lerda, R., Chollet, D., (2000). Analysis of breathing in the crawl as a function of skill and stroke characteristics. *Perceptual and Motor Skills Journal*. 90: 979-987
- Cerar, K. in Lasan, M. (2010). *Dihanje in zdravje*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., King, D. Energy expenditure during front crawl swimming; Predicting success in middle-distance events. *International Journal of Sports Medicine*. 6: 266-270
- Dihalni sistem. (7.9.2015). *The respiratory system*. Pridobljeno iz <http://leavingbio.net/respiratory%20system/the%20respiratory%20system.htm>
- Jakovljevič, D. G., McConnel, A. K. (2009). Influence of different breathing frequencies on the severity of inspiratory muscle fatigue induced by high-intensity front crawl swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23: 1169-1174
- Jones, N. L. (1980). Hydrogen ion balance during exercise. *Clinical Science Journal*. Vol.: 59, 85-91.
- Juršič, S. (2014). *Učinek prenehanja vadbe dihalnih mišic na plavalni rezultat 100 in 200m kravl* (Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport). Pridobljeno iz <http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Diplome/Diploma22071940JursicSaso.pdf>
- Kapus, J. (2013). Effects of inspiratory muscle training on inspiratory muscle strength and sprint swimming performance in young female and male swimmers. *Kinesiologia Slovenica*, 19(1), 53-61
- Kapus, J. (2009). Učinki plavalne vadbe, ki so posledica specifičnega dihanja med plavanjem. *Šport LVII(1-2)*, 47-49
- Kapus, V. idr. (2011). *Plavanje, učenje*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G., Rodgers, M. M., Romani, W.A. (2005). *Muscles Testing and Function with Posture and Pain*. MD: Lippincott Williams and Wilkins
- Lomax, M., McConnel, A. K., (2003) Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200m swim. *Journal of Sports Sciences*. 21: 659-664
- Lomax, M., Castle, S. (2011). Inspiratory Muscle Fatigue Significantly Affects Breathing Frequency, Stroke Rate and Stroke Length during 200-m Front Crawl Swimming. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2691-2695
- Mador, M. J., Acevedo, F. A. (1991). Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *Journal of Applied Physiology*. 70:2059-2065
- McConnel, A., (2011). *Breathe Strong Perform Better*. Human Kinetics.

- Phillips, A. (2015). Oscillating oxygen. *Swimming science. Breathing in swimming*. Pridobljeno 16. 8. 2015, iz <http://www.swimmingscience.net/2012/01/breathing-in-swimming.html>
- Powerbreathe pripomoček za vadbo dihalnih mišic (7.9.2015). *POWERbreathe Kinetic Series – the Best Way to Watch Your Lung Capacity Grow!* Pridobljeno iz: <http://www.spearfishing.com.au/sf-blog/powerbreathe-kinetic-series-%E2%80%93-the-best-way-to-watch-your-lung-capacity-grow/>
- Rodriguez, F. A. (2000). Maximal oxygen and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 40: 87-95
- Seifert, L., Chollet, D., Allard, P. (2005). Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. *Human Movement Studies*. 24: 234-256
- Thomaidis, S. P., Toubekis, A. G., Mpousmoukilia, S. S., Douda, H. T., Antoniou, P.D., Tokmakidis, S. P., (2009). Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front crawl swimming trial. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 49:194-200
- Toussaint, H. M., Carol, A., Kranenborg, H., Truijens, M. J. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100m front-crawl race. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 38: 1635-1642
- Town, G. P., Vanessa, J. M., (1990). Metabolic responses to controlled frequency breathing in competitive swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 22: 112.116
- Ulaga, M., Kajtna, T., (2014). *Učbenik za informatiko v športu – navajanje virov in oblikovanje tabel in slik*. Ljubljana: Fakulteta za šport
- Ušaj, A. (2003). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport
- Wakayosi, K., Acquisto, L. J. D., Cappaert, J. M., Troup, J. P. (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*. 16: 19-23

6 Priloge

Priloga 1 Primerjava časa (s), frekvence zaveslajev (zaveslajev na minuto) in frekvence dihanja (vdihov na minuto) vseh osmih ponovitvah pri spočitih in utrujenih dihalnih mišicah

	Spočite mišice		Utrujene mišice		t-test	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> (12)	<i>p</i>
<i>Čas</i>						
1	40,94	7,97	39,20	6,89	3,4444 **	0,0049
2	41,84	7,99	41,34	7,49	1,7963	0,0977
3	41,65	7,89	41,93	7,68	-1,0256	0,3253
4	41,90	8,91	42,28	8,36	-0,9113	0,3801
5	40,70	8,24	40,70	8,12	-0,0204	0,9840
6	41,30	8,63	42,02	8,72	-1,7477	0,1060
7	42,21	8,78	42,99	8,76	-3,9697 **	0,0019
8	42,15	8,82	42,95	9,14	-3,4605 **	0,0047
<i>Frekvenca zaveslajev</i>						
1	31,19	5,91	33,69	5,11	-5,9544 ***	0,0001
2	30,77	4,85	32,92	5,01	-7,0183 ***	0,0000
3	31,19	5,23	33,31	4,81	-4,9863 ***	0,0003
4	31,88	5,23	33,81	4,94	-4,0645 **	0,0016
5	33,12	5,16	35,38	5,22	-5,5791 ***	0,0001
6	33,23	5,15	35,15	5,43	-4,8603 ***	0,0004
7	32,92	4,76	34,77	5,39	-3,9148 **	0,0021
8	33,35	4,71	34,77	5,07	-3,5251 **	0,0042
<i>Frekvenca dihanja</i>						
1	22,00	5,26	22,00	5,73	0,0000	1,0000
2	23,31	5,79	24,69	5,09	-2,5758 *	0,0243
3	23,08	4,65	24,77	4,66	-2,9665 *	0,0118
4	24,23	5,75	25,77	4,85	-1,6169	0,1319
5	25,00	5,05	26,23	4,32	-2,3094 *	0,0395
6	25,38	4,54	27,31	4,94	-2,4653 *	0,0297
7	25,69	4,15	28,00	4,71	-3,2896 **	0,0065
8	25,54	3,86	27,23	3,65	-3,3104 **	0,0062

Legenda. *M* – aritmetična sredina; *SD* – standardni odklon; *p* – statistična značilnost *t*-testa; **p*<0,05; ***p*<0,01; ****p*<0,001