

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Športna vzgoja

**UČINKI VIŠINSKE VADBE NA VZDRŽLJIVOST PRI
KOLESARJENJU**

MAGISTRSKO DELO

Avtor dela
TINE LAVRENČIČ

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Športna vzgoja

UČINKI VIŠINSKE VADBE NA VZDRŽLJIVOST PRI KOLESARJENJU

MAGISTRSKO DELO

MENTOR:

Prof. dr. Anton Ušaj, prof. šp. vzg.

RECEZENT:

Doc. dr. Boro Štrumbelj, prof. šp. vzg.

KONZULTANT:

Asist. dr. Samo Rauter, prof. šp. vzg.

Avtor
TINE LAVRENČIČ

Ljubljana, 2017

Čas, potrpežljivost, predanost in močna želja lahko izpolnijo tudi najbolj drzna ter neverjetna pričakovanja (Viki Grošelj).

Iskreno in iz srca se zahvaljujem mentorju, prof. dr. Antonu Ušaju. Svoje široko znanje in izkušnje je bil pripravljen kadarkoli nesebično deliti z menoj. S tem mi je že v času študija vzbudil veliko zanimanje, hkrati pa me je s sproščenim odnosom in veliko mero zavzetosti usmerjal in mi pomagal pri nastajanju te naloge.

Hvala doc. dr. Boru Štrumblju za recenzijo, njegovo pomoč in vse nasvete v času študija. Hvala tudi asist. dr. Samu Rauterju za njegove nasvete.

Posebna zahvala gre tudi dr. Jožefu Križaju, ki mi je dobrodušno pomagal pri vseh manjših, pa tudi nekoliko večjih zapletih, ki so se pojavili med ustvarjanjem tega dela.

Hvala tebi Lara, za motivacijo in navdih pri pisanju in za vse nasmeh, ki mi neizmerno lepšajo dneve.

Na koncu bi se rad zahvalil še vsem mojim domačim za podporo v času študija, predvsem tebi tata, ker si mi omogočil študij. Vedno in povsod sem se lahko zanašal nate in na tvojo pomoč. Brez tebe ta naloga ne bi obstajala.

Ključne besede: vzdržljivost, višinska vadba, hipoksija, aklimatizacija, kolesarjenje

VPLIV VIŠINSKE VADBE NA VZDRŽLJIVOST PRI KOLESARJENJU

Tine Lavrenčič

IZVLEČEK

V magistrski nalogi so predstavljeni rezultati poskusa višinske vadbe, ki je potekal tri tedne na Rogli, kjer so merjenci bivali na simulirani višini v višinskih sobah in vadili na nadmorski višini Rogle.

Naloga vsebuje podatke trinajstih preiskovancev, ki so bili razdeljeni na testno (7 preiskovancev) in kontrolno (6 preiskovancev) skupino. Testna skupina je bila med tritedensko vadbo izpostavljena metodi živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini. Preiskovanci v tej skupini so na zmerni hipoksiji ($1500\text{m} + \text{FiO}_2 = 0,18 - 0,17$) preživeli okrog 14 do 18 ur dnevno. Vadba je potekala na zmerni nadmorski višini 1500m. Kontrolna skupina je bivala in vadila na nizki nadmorski legi. Vadba te skupine je potekala v Ljubljani, na Fakulteti za šport.

Obe skupini sta v tritedenskem ciklu opravili 14 treningov po enakem protokolu. Vadba je potekala na kolesih, ki so bila priključena na kolesarske trenažerje. Vsebovala je 5-minutno ogrevanje, nato pa enourno kolesarjenje, med katerim so merjenci kolesarili z največjo možno močjo, ki so jo bili tisti dan sposobni premagati na kolesu. Merjenci obeh skupin so pred in po vadbenem ciklusu opravili testiranja v Laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport v Ljubljani. Testiranja so zajemala večstopenjski obremenitveni test in neprekinjen test do utrujenosti. Podatke iz testiranj smo kasneje uporabili za primerjavo učinkov posamezne metode vadbe. Pri skupini, ki je bivala na simulirani nadmorski višini, je bilo opravljenih tudi 5 odvzemov krvi za hematološke raziskave. Skušali smo ugotoviti, kakšen je vpliv hipoksije. Ker smo predvidevali, da vadba na nizki nadmorski legi ne bo vplivala na spremembe v hematoloških kazalcih, pri kontrolni skupini nismo opravili odvzemov krvi.

Rezultati kažejo, da se je pri obeh skupinah izboljšala večina funkcionalnih dejavnikov. Statistično značilno je bilo povečanje moči kolesarjenja pri laktatnem pragu, saj smo tako pri testni skupini ($p=0,018$), kot tudi pri kontrolni skupini ($p=0,02$) zaznali statistično značilne razlike. Prav tako sta obe skupini povišali svojo moč kolesarjenja pri OBLA-i (testna [$p=0,004$], kontrolna [$p=0,02$]). Statistično značilne razlike v maksimalni moči kolesarjenja smo zaznali tako pri kontrolni skupini ($p=0,025$), kot tudi pri testni skupini ($p=0,016$). Izboljšanje maksimalnega privzema kisika smo zaznali le pri testni skupini ($p=0,04$). Pri nobeni skupini nismo zaznali statistično značilnih sprememb v vrednostih laktata pri laktatnem pragu ali OBLA-i, smo pa pri testni skupini zaznali statistično značilne razlike v povišanju maksimalnih vrednosti laktata ($p=0,014$), medtem ko pri kontrolni skupini kljub povišanju povprečnih vrednosti statistično značilnih razlik nismo zaznali. Hematološki kazalci so pokazali, da se je vsebnost hemoglobina po prihodu na višino najprej občutno zvišala ($p=0,00$), nato pa se je hitro znižala. Statistično značilnih razlik v vsebnosti hemoglobina med prvim in zadnjim odvzemom, ki se je zgodil teden dni po prihodu z višinske vadbe ni. Opazen je le rahel trend naraščanja, saj

je bila vsebnost hemoglobina ob zadnjem merjenju le še za 1,3% višja od povprečne začetne vrednosti. Hematokrit se je iz relativno visoke začetne vrednosti najprej znižal ($p=0,016$), nato je sledil porast, kasneje pa spet padec. Med vrednostjo hematokrita pred višinsko vadbo in teden dni po višinski vadbi ne prihaja do statistično značilnih razlik, opazen je le rahel trend povišanja hematokrita.

Vadba je podobno povečala zmogljivost v obeh skupinah, tako pri kazalcih submaksimalnega napora, kot tudi pri kazalcih maksimalnega napora. Triterdenska višinska vadba po metodi živi visoko – vadi na zmerni nadmorski višini ni prinesla statistično značilnih sprememb v hematoloških kazalcih, katerih posledica bi lahko bila izboljšana zmogljivost.

Keywords: endurance, altitude training, hipoxia, acclimatization, cycling

THE INFLUENCE OF ALTITUDE TRAINING ON ENDURANCE IN CYCLING

Tine Lavrenčič

ABSTRACT

This master thesis presents the results of three-week altitude training, which was performed on Rogla, where the objects lived on simulated altitude in the altitude room.

This paper contains the data of 13 subjects, which were divided into experimental group (7 subjects) and control group (6 subjects). During the three-week live high - train on moderate altitude, the experimental group was exposed to moderate hypoxia ($1500\text{m} + \text{FiO}_2 = 0,18 - 0,17$) for 14 to 18 hours per day. Training took place at a moderate altitude of 1500m. Control group was training and living at low altitude location. Trainings of this group took place in Ljubljana at the Faculty of Sport. In the three-week training cycle, both groups followed the same training protocol. Training was performed on bicycle, which were connected to the cycling training simulators. Training included five minutes of warm-up and one hour of cycling with as much power as the subject was able to develop that day on the bike. The subjects of both groups were tested before and after three-week training on incremental test and continuous test. These tests were performed in Laboratory of biodynamics at the Faculty of Sport in Ljubljana. We used the results of these tests to compare the performance of each group – of each training method. We also took 5 blood samples from experimental group for determination of hematological changes. We did not take blood samples of the control group, because we considered that the exercise at low altitude will not have any influence on blood changes.

The results show that the most functional factors were improved by both groups. A statistically significant improvement in power of cycling at lactate threshold was observed in the test group ($p=0.018$), as well as in the control group ($p=0.02$). Both groups also increased their power cycling at OBLA (experimental [$p=0.004$] and the control [$p=0.02$]). Statistically significant differences in the peak power of cycling was also detected in both groups (control, [$p=0.025$], experimental [$p=0.016$]).

Improved maximum oxygen consumption was observed only in the experimental group ($p=0.04$). We did not observed significant changes in the levels of lactate at the lactate threshold, or at OBLA in any group, but we found a statistically significant difference in the increase of the maximum value of lactate in experimental group ($p=0.014$), while in the control group, despite the increase of the average value of the statistically significant differences were not detected. Hematologic parameters showed that after arriving at the altitude, hemoglobin started significantly increasing, but then it decreased rapidly. Statistically significant was the increase in hemoglobin after two weeks staying at the high altitude ($p=0.00$), but there was no significant changes in the levels of hemoglobin between first and last measurement, which took place a week after the arrival from altitude training. There was only a slight trend of increasing hemoglobin, because we noticed 1.3% higher average value of hemoglobin compared to the

average of the initial value. Hematocrit was first reduced from a relatively high initial value ($p=0.016$), then followed by an increase and then decreased again, which is probably due to the fatigue of the subjects. Between hematocrit values before altitude training and values measured one week after the arrival from altitude training, there are no statistically significant differences. Only a slight increases in hematocrit were observed.

The training had similar influence in both groups. Both indicators of submaximal effort, as well as indicators of maximum effort were improved. A three-week altitude training method live high - train at moderate altitude did not show any statistically significant changes in hematologic indicators, which could have influence in the improved performance of experimental group.

1. UVOD	12
1.1. VZDRŽLJIVOST	13
1.1.1. OMEJITVENI DEJAVNIKI	14
1.2. VISOKA NADMORSKA VIŠINA	14
1.2.1. AKLIMATIZACIJA IN PROBLEMI S PRILAGAJANJEM	16
1.2.2. OBMOČJA POVEČANIH NADMORSKIH VIŠIN IN NJIHOVI VPLIVI NA ORGANIZEM.....	17
1.3. VIŠINSKA VADBA	18
1.3.1. METODE VIŠINSKE VADBE	18
1.4. CILJI IN HIPOTEZE.....	20
2. METODE DELA	21
2.1. PREISKOVANCI.....	21
2.2. TESTI IN KAZALCI.....	21
2.3. POSTOPEK	23
2.3.1. TRENING IN BIVANJE NA ROGLI	23
3. REZULTATI.....	25
3.1. ANALIZA VADBENEGA OBDOBJA	25
3.2. HEMATOLOŠKI PARAMETRI	32
4. RAZPRAVA	35
5. SKLEP	39
6. VIRI	40
7. PRILOGE.....	44

Kazalo slik:

Slika 1: Zračni tlak in delni tlak kisika v odvisnosti od nadmorske višine (Paralihar, S. J., Paralihar, J. H., 2010).....	15
Slika 2: Urnik aktivnost KROP (Dolinšek, A., 2013)	24

Kazalo tabel:

Tabela 1: Rezultati meritev pri pragu – kontrolna skupina	31
Tabela 2: Rezultati meritev pri pragu – testna skupina	31

Kazalo grafov:

Graf 1: Časovni potek FS v mirovanju in skozi podobno obdobje moči kolesarjenja	25
Graf 2: Vrednosti moči in frekvence srca pri laktatnem pragu pred in po vadbi	26
Graf 3: Vsebnosti laktata pri laktatnem pragu pred in po vadbi.....	27
Graf 4: Moč pri OBLI glede na posamezno meritev obeh skupin.....	27
Graf 5: Frekvenca srca, ki jo določa OBLA.....	28
Graf 6: : Maksimalna moč dosežena pred in po vadbi pri testni in kontrolni skupini.....	28
Graf 7: Vrednosti laktata pri maksimalnem naporu pred in po vadbi kontrolne in testne skupine	29
Graf 8: Maksimalen privzem kisika pred in po vadbi testne in kontrolne skupine	30
Graf 9: Individualni odziv koncentracije hemoglobina v krvi glede na čas odvzema krvi	32
Graf 10: Povprečne vrednosti koncentracije hemoglobina v krvi glede na čas odvzema krvi	32
Graf 11: Individualni odziv vrednosti hematokrita v krvi glede na čas odvzema krvi.....	33
Graf 12: Povprečne vrednosti hematokrita v krvi glede na čas odvzema krvi	34

1. UVOD

Višinska vadba se že desetletja uporablja kot sredstvo, s katerim so predvsem elitni vzdržljivostni športniki skušali dosegati boljše rezultate na tekmovanjih na normalni nadmorski višini. Takratno vedenje o višinski vadbi je temeljilo na učinkih izpostavljenosti športnika hipoksiji (Levine in Stray-Gunderson, 1997). Ta vpliva na hormon eritropoetin (EPO) tako, da spodbudi tvorbo večjega števila rdečih krvničk (RBC). S tem se poveča prenos kisika do mišic. Zaradi fizioloških vplivov, ki jih znižanje pO_2 prinese s spremembo višine, se višinska vadba najpogosteje uporablja za izboljšanje vzdržljivosti pri športnikih.

Normoksija predstavlja okoljske značilnosti v katerih je delni tlak kisika (pO_2) v vdihanem zraku enak tistemu, ki se pojavlja na morski gladini (»Farlex Partner Medical Dictionary«, 2012). Hipoksija pa pomeni okoliščine v katerih je delni tlak kisika v zraku (pO_2) znižan, zato se zniža delni tlak kisika v krvi (Jennett, 2008). To povzroči tudi znižanje saturacije krvi s kisikom (SAO_2). (Botella idr., 2008).

Raziskave o vplivu povišane nadmorske višine na človekov organizem so že zelo stare in segajo celo v 19. stoletje. Najprej so bile uporabljene v namene alpinizma in gorništvu, kasneje pa tudi v športni namen. V raziskave so se še posebej poglobili v 60. letih, ko so se športniki pripravljali na Olimpijske igre v Mehiki, ki so potekale na povišani nadmorski višini (2300m). Predvsem tekmovalci, ki so tekmovali v vzdržljivostnih športih, so tam dosegali slabše rezultate, kot so jih imeli na normalni nadmorski višini (Wilber, 2004).

Prve resnejše raziskave o vplivu visoke nadmorske višine na športnikov organizem, so se začele leta 1967, pod vodstvom Faulknerja idr. (1967). Testirali so 15 moških plavalcev, ki so 14 dni živeli in trenirali na 2300m, v kraju Alamosa v ameriški zvezni državi Kolorado. Plavanja na 100, 200 in 500m so bila prvi dan po prihodu na višino za 2%, 5% in 6% počasnejša. Po tretjem dnevu bivanja na višini so bile hitrosti nižje za 2% na 100m in 4% na 200m in 400m (Wilber, 2004).

Na Olimpijskih igrah v Mehiki, na nadmorski višini 2300m, so se pojavili zanimivi rezultati, predvsem v vzdržljivostnih panogah. Tako so na primer zmagovalci na 1.500m, 3.000m, 5.000m, 10.000m in na maratonski razdalji s svojim zmagovalnim časom zaostali za časom, ki je bil istega leta potreben za zlato na svetovnem prvenstvu, ki je potekalo na nizki nadmorski višini za 0.8%, 5.3%, 6.1%, 6.5% in 8.4%. Negativni vpliv visoke nadmorske višine na zmogljivost športnikov iz nižje ležečih mest je takrat najbolje prikazal Ron Clark iz Avstralije, ki je bil takrat aktualni svetovni rekorder na 5.000m in 10.000m. Clarke je tekmo na 5.000m končal na 5. mestu, njegov čas je bil skoraj minuto slabši od njegovega rekorda. Nekaj dni zatem je na 10.000m končal na 6. mestu, z več kot dve minuti slabšim rezultatom od njegovega rekorda. Naslednji zanimiv pojav iz teh Olimpijskih iger je bilo dejstvo, da je bila večina dobitnikov medalj v moških tekih na srednje in dolge proge iz geografsko visoko ležečih držav, denimo Kenije in Etiopije (Wilber, 2004).

1.1. VZDRŽLJIVOST

Vzdržljivost je sposobnost vztrajanja v določeni fizični aktivnosti, brez mišične utrujenosti, ki bi aktivnost onemogočila (deVries, 1986). Vzdržljivost lahko na podlagi različnih bioloških in psiholoških osnov razdelimo na tri vrste:

- **Hitrostna vzdržljivost:** sposobnost pri premagovanju največjega navora, ki traja do 2 minuti.
- **Dolgotrajna vzdržljivost:** njena biološka osnova so aerobni energijski procesi. Ti so edini zmožni dolgotrajne sprotne obnove porabljene energije. To zmogljivost omogočajo kisik, ki v mišice prihaja iz ozračja in primerna goriva: glikogen, glukoza, proste maščobne kisline in glicerol, ki so v dovolj velikih količinah v človekovem organizmu. Ti dejavniki določajo trajanje (kapaciteto) energijskih procesov. Pri dolgotrajni vzdržljivosti pa je posebej pomembna tudi moč teh procesov, saj določa, kako hitro se bo lahko sproščena energija sproti obnavljala. Zaradi tega tudi določajo zgornjo mejo intenzivnosti navora. Ta meja je pri aerobnih naporih najbolj natančno definirana z največjim privzemom kisika med naporom (VO_{2max}). Gre za značilnost, ki definira napore od 3 minut do ene ure.
- **Superdolgotrajna vzdržljivost:** se od dolgotrajne ne razlikuje bistveno in ji je podobna. Toda veliko daljše trajanje (>1 ura do 8 ur ali celo več dni) in nekoliko manjša intenzivnost navora zahtevata specifične sposobnosti in značilnosti športnikov. Je pretežno aerobni napor (Ušaj, 2003).

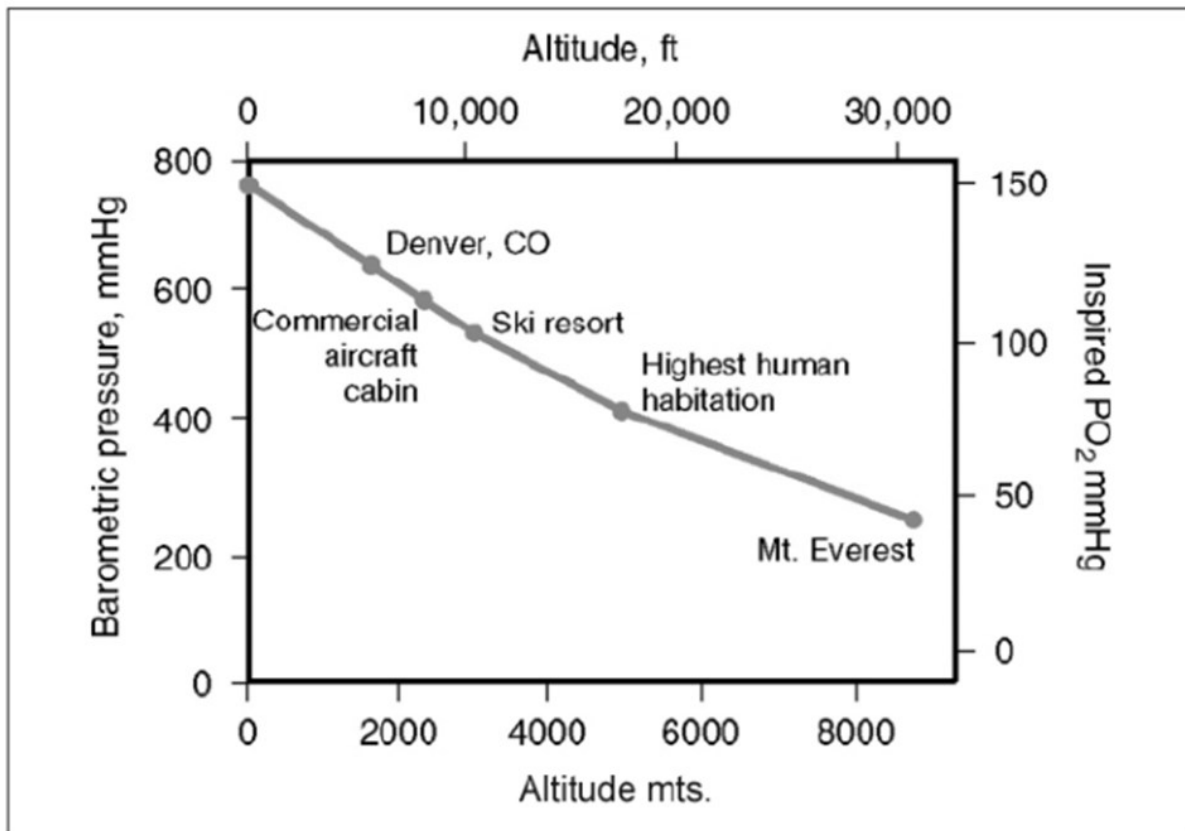
Znano je, da sta aerobna zmogljivost človeka in njegova vzdržljivost med seboj močno povezana (Noakes, 1991). Največji privzem kisika (VO_{2max}) je tisti kazalec, ki najbolj sovпада z zmogljivostjo pri vzdržljivostnem naporu. Gre za minutni volumen kisika, ki so ga mišice sposobne privzeti za obnovo ATP (adenozin-trifosfata) (Shepard in Astrand, 2000). Kapaciteto energijskih zalog predstavlja vsebnost glikogena v mišicah. Ta kazalec je v neposredni zvezi z zmogljivostjo v tistih športnih panogah, kjer je najpomembnejši dejavnik superdolgotrajna vzdržljivost (Ušaj, 2003). Mehanska energija se tvori z razgradnjo ATP. Ta energija pa se kasneje porabi za premagovanje navora (Astrand, 2003). VO_{2max} pri vrhunskih športnikih omejuje predvsem največja možna količina O_2 , ki so jo sposobni prenesti do delujoče mišice (Wagner, 1996).

1.1.1. OMEJITVENI DEJAVNIKI

- Aerobni in anaerobni energijski procesi: Energija, ki je namenjena za omenjeni napor, se lahko sprošča v aerobnih energijskih procesih. Mišice bolj vzdržljivih športnikov vsebujejo večji delež počasnih vlaken. Ta imajo več in večje mitohondrije, kjer potekajo aerobni energijski procesi.
- Transport O₂ in CO₂ s krvjo: Potek biokemičnih reakcij v teh procesih je odvisen predvsem od razpoložljivosti kisika. Ker ta prihaja izključno s krvjo, je delovanje srčno-žilnega sistema podrejeno cilju, da je treba mišičnim celicam kar najbolj učinkovito dobaviti kisik. Pri športnikih, ki so glede dolgotrajne vzdržljivosti boljši, je opaziti učinkovitejšo osrednjo črpalko za kri, srce.
- Dihanje – privzem kisika: Privzem kisika v obremenjenih mišicah in celotnem organizmu je tisti pomemben dejavnik, ki določa, do katere intenzivnosti obremenitve bo premagovanje napora potekalo pretežno s pomočjo aerobnih energijskih procesov.
- Presnovni produkti: Posledice njihovega kopičenja v organizmu so pri tovrstnem naporu zelo pomemben dejavnik, ki vpliva na vzdržljivost. Pri tem naporu prevladujejo aerobni energijski procesi, katerih presnovna produkta sta ogljikov dioksid (CO₂) in voda (H₂O). Hkrati pa dokaj živahno potekajo tudi anaerobni energijski procesi, katerih glavni produkt je laktat. Pri kratkotrajnejšem in bolj intenzivnem naporu (3 do 5 minut) dosega visoke vrednosti in povzroča acidozo. Ta ima ključno vlogo pri pojavu utrujenosti.
- Goriva: Organizem ima pri tovrstnem naporu na voljo predvsem dve vrsti goriv: ogljikove hidrate in maščobe. Ogljikovi hidrati so v organizmu prisotni kot glikogen v mišicah in jetrih ter kot glukoza v krvi.
- Ekonomičnost – koordinacija in tehnika: Tehnika je pogojena čim manjši porabi energije. Med naporom navadno prihaja do poslabšanja tega izkoristka, predvsem zaradi vključevanja novih, slabše prilagojenih tipov mišičnih vlaken.
- Okolje: Za dolgotrajno vzdržljivost so pomembni predvsem trije dejavniki: nadmorska lega, temperatura okolja in onesnaženost zraka (Ušaj, 2003).

1.2. VISOKA NADMORSKA VIŠINA

Zmotno je splošno prepričanje, da se z večanjem nadmorske višine vsebnost kisika v Zemljinem ozračju manjša, saj je njegova vrednost povsod enaka in znaša 20,9% (Clausen, 1977). Razlika, ki se pojavlja je v tem, da se z večanjem nadmorske višine pojavlja vedno nižji zračni tlak in posledično je znižan tudi delni tlak kisika v zraku, ki ga dihamo. Zaradi teh lastnosti, se na visoki nadmorski višini pojavi pomanjkanje kisika v organizmu (hipoksija).



Slika 1: Zračni tlak in delni tlak kisika v odvisnosti od nadmorske višine (Paralikar, S. J., Paralikar, J. H., 2010)

Kisik zavzema približno 1/5 atmosferskega zraka in ima na morski gladini delni zračni tlak 21,2 kPa. Na enaki višini je alveolni delni tlak kisika znižan na 13,9 kPa. Pomembno je, da ločimo atmosferski pO₂, ki se nahaja v zraku in ga dihamo in alveolni pO₂, ki pa dejansko pride v kontakt s pljučnimi kapilarami, kjer pride do izmenjave plinov (Clarke, 1975). Nasičenost kisika v krvi (saturacija [SaO₂]) na morski gladini znaša blizu 100% v mirovanju. Na višini 5800 m, pa se vrednost SaO₂ zniža na samo 67% v mirovanju, z aktivnostjo pa se lahko dodatno zniža tudi pod 50% (deVries, 1986).

Zaradi sprememb v pO₂, človek pri enakem vdihu zraka na višji nadmorski višini ne more do pljučnih kapilar prenesti enako število kisikovih molekul, kot jih lahko na višini morja. Zaradi tega je na visoki nadmorski višini pogost pojav hiperventilacija (Clarke, 1975). V telesu se namreč nahajajo karotidna telesca, ki zaznavajo delni tlak kisika. Da bi se preprečila prevelika hipoksija v organizmu, se poveča pljučna ventilacija tako v mirovanju, kot tudi med obremenitvijo. Posledica povečane ventilacije je rahlo povečanje nasičenosti krvi s kisikom – saturacije (Wilmore in Costill, 1994). Za začetek aklimatizacijskih procesov v telesu potrebujemo vsaj 2100m nadmorske višine (Chapman idr., 2014), mogoče pa jo je izzvati tudi z uporabo t.i. višinskih sob (Rusko, 1996).

Hipoksična – višinska soba je prostor, kjer je zračni tlak enak atmosferskemu zunaj sobe (normobarična hipoksija). V sobo umetno uvedemo zrak, ki vsebuje znižan odstotek kisika. To dosežemo bodisi z odtegotvanjem kisika iz sobe, bodisi z dodajanjem plinov (dušik), ki so zastopani v zraku, z izjemo kisika. Za to skrbi niz aparatov, ki so vezane na črpalko, slednja pa preko sistema cevi dodaja pline v sobo. Vsaki znižani vsebnosti kisika v zraku take sobe lahko izračunavamo ekvivalentno nadmorsko višino, kjer bi bila vsebnost kisika enaka. Prednost uporabe sob z normobarično hipoksijo, višinskih šotorov ali mask, je predvsem zmanjšanje časa, ki ga športniki porabijo za potovanje v visokogorje in nazaj (Mollard, idr., 2007).

1.2.1. AKLIMATIZACIJA IN PROBLEMI S PRILAGAJANJEM

Sposobnost ohranjanja stacionarnega stanja notranjega okolja v telesu, kljub različnim motnjam imenujemo homeostaza. Kadar je organizem izpostavljen naporu ali spremembam v okolju, kot so na primer visoka nadmorska višina ali ekstremni mraz ali vročina, se v telesu začnejo različni procesi, ki skušajo zagotoviti ohranjanje homeostaze (Shepard, 1987).

Proces aklimatizacije na povišano nadmorsko višino vključuje različne mehanizme s katerimi se človeški organizem prilagodi na spremembe v okolju (Clarke, 1975). Na povišani nadmorski višini organizem težje ohranja homeostazo, ki je porušena zaradi znižanega delnega tlaka kisika («Adjustments at High Altitude», 2016). Če je športnik dovolj dolgo izpostavljen hipoksiji, se v telesu sprožijo fiziološki in biokemični procesi, ki sčasoma pripomorejo k temu, da se odziv telesa na vadbo prilagodi novim pogojem. Prilagoditev na višino je sčasoma možna le do 4300m (Shepard in Astrand, 2000).

Zaradi višanja nadmorske višine in posledičnega zmanjševanja pO_2 v vdihanem zraku, se človeški organizem odzove, da bi ohranil delež kisika, ki ga telo prejme na ustrezni ravni. Zato se v telesu začnejo različni procesi prilagoditve (aklimatizacija):

- povečanje V_E in minutnega volumna srca v mirovanju in v območju submaksimalnega napora,
- povečan volumen kapilarne krvi v aktivnih tkivih (večja perfuzija),
- počasnejši pretok kapilarne krvi,
- povečano število eritrocitov in povečana koncentracija hemoglobina v krvi,
- povečana koncentracija mioglobina v mišičnih celicah ter
- povečan tlak v pljučnih obtokih (Karvonen, Lemon in Iliev, 1992).

Nekateri izmed teh mehanizmov (na primer povečanje ventilacije) so zelo hitro učinkoviti in skušajo v najkrajšem možnem času zmanjšati vpliv hipoksije v mišicah in tkivih. Drugi mehanizmi pa so počasnejši (na primer povečanje mase hemoglobina v krvi, povečanje kapilarne mreže) in potrebujejo več dni, tednov ali celo mesecev za popolno učinkovitost (Karvonen, Lemon in Iliev, 1992).

Odziv organizma na hipoksijo se pojavlja na različnih nivojih. Najprej se poveča pljučna ventilacija, ki izboljša prenos O_2 v krvni obtok. Kot odziv na hipoksijo, se pojavi povečanje vsebnosti 2,3 – DPG (difosfoglicerata) v eritrocitih (Haymes in Wells, 1986). To je spojina, ki olajša sproščanje kisika v tkiva. Zelo hitro se začne tudi povečanje tvorbe eritrocitov. Nizka vsebnost kisika v krvi (hipoksemija) vpliva na ledvice, ki stimulirajo hormon eritropoetin, ki začne s povečano tvorbo eritrocitov iz kostnega mozga. Kostni mozeg poveča porabo železa za tvorbo hemoglobina 48 ur po prihodu na višino. Prav tako se prenos O_2 izboljša zaradi povišanega srčnega utripa in povečanega utripnega volumna srca (Mazzeo, 2008). Če je organizem že popolnoma prilagojen na visoko nadmorsko višino, lahko svoje vrednosti eritrocitov poveča tudi do 50% (Paralihar in Paralihar, 2010).

Kot posledica slabe prilagoditve na višino, se pri človeku lahko pojavijo simptomi akutne višinske bolezni. Glavni simptom je glavobol, poleg njega pa so pogosti še slabost, bruhanje, pomanjkanje sape in nespečnost. Prvi znaki akutne višinske bolezni se lahko pojavijo že po nekaj urah, lahko pa šele po treh dneh od prihoda na povečano višino. Trajajo lahko tudi do dva tedna. Ljudje, ki imajo boleznih dihal, srca ali ožilja, so bolj nagnjeni k akutni višinski bolezni (Hallagan, idr., 1998).

Nekatere raziskave so pokazale, da so tudi učinki aklimatizacije enaki, če višino simuliramo s podtlakom v barokomori ali pa zmanjšamo delež kisika oziroma povečamo delež dušika v atmosferi pri normalnem zračnem tlaku (Rusko, 1996).

1.2.2. OBMOČJA POVEČANIH NADMORSKIH VIŠIN IN NJIHOVI VPLIVI NA ORGANIZEM

Visoka nadmorska višina (1.500 - 3.500m):

- Zaradi znižanja delnega tlaka vdihanega zraka (pO_2), se poslabša človekova sposobnost premagovanja napora in poveča ventilacija (znižanje arterijske $PaCO_2$).
- Zniža se saturacija (nasičenost arterijske krvi s kisikom [SaO_2], vendar je še vedno nad 90%). Zniža se arterijski delni tlak kisika (PaO_2).
- Zaradi velikega števila ljudi, ki se povzpnejo na to višino, je v tem območju višinska bolezen zelo pogost pojav.

Zelo visoka nadmorska višina (3.500 - 5.500m):

- Vrednost SaO_2 se zniža pod 90%, pO_2 se zniža pod 8 kPa.
- Med vadbo, spanjem, ob prisotnosti pljučnega edema ali drugih akutnih obolenj pljuč, lahko pride do skrajne hipoksemije.
- Pojavi se lahko huda oblika višinske bolezni.

Ekstremna nadmorska višina (nad 5.500m):

- Značilna stanja ekstremne nadmorske višine so hipoksemija, hipokapnija in alkalozna.
- Postopna okvara fizioloških funkcij postopoma prekaša zmožnost aklimatizacije. Kot rezultat tega, človeških bivališč na tej višini ne najdemo (Paralihar, S.J., Paralihar, J. H, 2010).

1.3. VIŠINSKA VADBA

Ko so na Olimpijskih igrah v Mehiki favorizirani atleti iz nižje ležečih držav doživeli poraz zaradi vpliva nadmorske višine, so se raziskave o višinski vadbi še intenzivneje nadaljevale. Šele takrat je namreč postalo jasno, kako malo je znanega o dejavnikih, ki omejujejo nastop na visoki nadmorski višini (Karvonen, Lemon in Iliev, 1992). Po Olimpijskih igrah v Mehiki, so raziskave skušale odgovoriti na nekaj ključnih vprašanj, s katerimi bi lahko ocenili vpliv višinske vadbe na zmogljivost na nižji nadmorski višini. Katera je najprimernejša višina za višinsko vadbo? Kako dolgo naj športnik vadi na višini, da bo deležen pozitivnega učinka visoke nadmorske višine? Kako dolgo po prihodu na nižino, bo ta vpliv še učinkoval? Ali imajo športniki iz višje ležečih držav že v osnovi prednost pred tistimi, ki prihajajo iz nižje ležečih držav? Od leta 1960 do danes, so raziskave s področja višinske vadbe postajale vedno bolj navzoče, predvsem z namenom, da bi natančneje določili vpliv višinske vadbe na športnikov nastop na normalni nadmorski višini (Wilber, 2004).

Ko so bili znani učinki bivanja na višji nadmorski višini, so športniki in njihovi trenerji začeli v svoje vadbene načrte vključevati tudi bivanje in vadbo na visoki nadmorski višini, kar je v zgodnjih letih višinske vadbe pomenilo premik in vadbo v visokogorje, kasneje, pa je razvoj tehnologije in znanosti omogočil razvoj aparatov, s katerimi lahko na normalni višini ustvarimo simulirane pogoje, ki ustrezajo pogojem na določeni visoki nadmorski višini.

1.3.1. METODE VIŠINSKE VADBE

Z leti in s številnimi raziskavami, so se začele pojavljati tudi nove oblike metod same višinske vadbe. Tako so se iz začetne oblike, kjer je bil športnik ves čas izpostavljen hipoksiji, razvile metode, pri katerih so skušali optimizirati učinke treninga. Na visoki višini je namreč trening manj učinkovit, saj s fiziološkega vidika enak napor povzroča večji stres na organizem (Astrand in Rodahl, 2003). Zaradi tega je na visoki višini tvegano izvajati intenzivne treninge, saj le ti lahko vodijo do preutrujenosti. Zato so se razvile metode, pri katerih se vadba izvaja v normoksičnih pogojih, samo bivanje pa ostane izpostavljeno hipoksiji. Danes se kombinacije bivanja in vadbe na višini delijo v naslednje metode:

Živi visoko – vadi visoko (LH-TH):

Gre za tradicionalno metodo, ki je bila uporabljena prva. Pri tej metodi so športniki ves čas izpostavljeni hipoksičnim pogojem. Stellingwerff (2006) ugotavlja, da se pri tej metodi veliko prilagoditev zgodi tako v skeletnih mišicah, kot tudi na nivoju srčno-žilnega sistema. Poveča se kapilarizacija in pretok krvi skozi žile (vazodilatacija) ter poveča se glikoliza (razgradnja glukoze). Negativna posledica te metode pa je, po mnenju Stellingwerffa, drastično zmanjšanje intenzivnosti vadbe. Avtor navaja, da so fiziološki vplivi te metode popolnoma drugačni od metode živi visoko - vadi nizko.

Živi visoko – vadi nizko (LH-TL):

To je metoda, pri kateri vadeči živijo in/ali spijo na visoki nadmorski višini (2.000-2.700m), vadbo pa opravljajo na višini, ki je nižja od 1.000m (Wilber, 2004). Koncept te metode je tak, da športniku ponudi tako močne hipoksične pogoje, ki že sprožijo prilagoditvene procese v telesu, obenem pa se količina in intenzivnost vadbe ne znižata. Ključno je, da športniki živijo dovolj dolgo in dovolj visoko, da je doseženo povečanje VO_{2max} . Zaradi povečanja števila eritrocitov, morajo istočasno vaditi dovolj nizko, da lahko vzdržujejo intenzivne treninge, medtem ko so izpostavljeni normoksičnim pogojem. Ti pogoji športnikom namreč omogočajo vzdrževanje visoke hitrosti, kar posledično vpliva tudi na boljše prilagoditve centralnega živčnega sistema in boljše regeneracije po težkih vadbenih enotah (Stellingwerff, 2006).

Začetne raziskave o metodi LH-TL sta vodila Levine in Stray-Gunderson, ki sta leta 1997, po štirih tednih bazične vadbe v nižini, poslala 13 moških in ženskih univerzitetnih tekačev na 28 dnevno višinsko vadbo, kjer so tekači bivali na 2.500m (Park City, Utah), vadili pa na 1.250 m (Salt Lake City, Utah). Tri dni po vrnitvi iz višine, sta ponovno izvedla testiranje tako testne kot tudi kontrolne skupine. Zaznala sta občutno povečanje števila rdečih krvničk (5%), hemoglobina (9%) in izboljšanje VO_{2max} (5%). Po drugi strani, pa v kontrolni skupini ni bilo moč opaziti nobenega izboljšanja v izbranih kazalcih. Prav tako so se rezultati teka na 5.000m izboljšali le pri skupini, ki je trenirala po metodi LH-TL.

Živi nizko - vadi visoko (LL-TH):

Gre za metodo, pri kateri športnik biva na normalni nadmorski višini, medtem pa je v intervalih izpostavljen hipoksičnim pogojem, ki trajajo od 5 minut do 3 ur. Metodo delimo na izpostavljenost hipoksiji v mirovanju (IHE – intermittent hypoxic exposure) in na izpostavljenost hipoksiji med vadbo (IHT – intermittent hypoxic training). Metoda je učinkovita za tiste športnike, ki se odpravljajo na višinsko vadbo, kot predpriprava in način aklimatizacije (Wilber, 2007).

Vadba v občasni hipoksiji (IHT):

Omenjena metoda je tista, pri kateri športniki bivajo v pogojih normoksije, periodično pa so med vadbo izpostavljeni hipoksiji. Ta metoda vadbe je najlažje izvedljiva z napravami, s katerimi med treningom lahko znižamo dotok O_2 med samim treningom (Stellingwerff, 2006). Metoda temelji na kratkih hipoksičnih intervalih, ki so med seboj prekinjeni z normoksičnimi

pogoji. Vključevanje kratkih hipoksičnih intervalov v vadbo športnika, naj bi povzročilo podobne učinke, kot jih povzroča dalj trajajoča (kronična) izpostavljenost. Vadba v občasni hipoksiji naj se ne bi uporabljala več kot eno do dve uri na dan. Glavni namen te metode ni izboljšanje hematoloških parametrov, ampak predvsem izboljšanje učinkovitosti in delovne zmogljivosti mišice (Debevec, 2011).

Odzivnost športnikov na višinsko vadbo:

Raziskovalci, ki se ukvarjajo s področjem višinske vadbe se soočajo z dvema skupinama testirancev, ki se delijo na odzivne in neodzivne (Wilber, Stray-Gunderson in Levine, 2007). To delitev je narekovalo prisotnost ali odsotnost hematoloških sprememb. Stellingwerff (2006) navaja, da ne moremo z zagotovostjo trditi, da obstajajo določene specifične lastnosti, ki bi lahko določale ali je športnik odziven na vplive, ki jih prinaša hipoksija ali ne.

1.4. CILJI IN HIPOTEZE

Naš cilj je ugotoviti, ali se z višinsko vadbo po principu živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini (1500m) (LH-TM) pojavijo drugačni učinki kot pri vadbi na nizki nadmorski višini.

Ugotoviti želimo ali metoda višinske vadbe živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini ob uporabi neprekinjenega enournega napora, učinkuje na vzdržljivost pri kolesarjenju bolj, kot pa vadba z uporabo enake metode na nizki nadmorski višini.

Hipoteza:

Predvidevamo, da bo višinska vadba povzročila izražene hematološke spremembe. Le te pa bodo omogočile povečano zmogljivost kolesarjenja na nizki nadmorski višini. Vzrok bomo pripisovali večji zmogljivosti aerobnih procesov, ki pa jih ne pričakujemo v takšni meri pri kontrolni skupini, ki bo vadila na nizki nadmorski višini. Ker bo učinek višinske vadbe opažen na povečani kapaciteti krvi za prenos kisika, pričakujemo, da bo ta metoda učinkovala tako pri submaksimalnih kot maksimalnih kazalcih vzdržljivosti.

2. METODE DE LA

2.1. PREISKOVANCI

Vzorec merjencev sta predstavljali dve skupini. Kontrolna skupina je vsebovala 6 merjencev, rekreativnih športnikov, ki niso imeli nikakršnih zdravstvenih težav. Njihova začetna zmogljivost se je razlikovala, nekateri so bili bolj, spet drugi pa manj zmogljivi. Nihče od njih ni bil nikdar profesionalni športnik ali dobro treniran kolesar. Ta skupina je vadbo in bivanje opravljala v pogojih normoksije, v Ljubljani. Njihova povprečna starost je bila $22,7 \pm 1,03$ let, telesna masa (TT) $76,0 \pm 5,3$ kg in telesna višina (TV) $179,0 \pm 4,2$ cm. Testna skupina je vadbo in bivanje opravljala na Rogli in je tvorila 7 merjencev. Vsi so bili rekreativni športniki in brez zdravstvenih težav. Nihče od merjencev pred tem ni bil dobro treniran kolesar. Povprečna telesna masa testne skupine je bila $82,6 \pm 17,1$ kg, povprečna višina $178,7 \pm 6,7$ cm, starost pa $23,6 \pm 2,1$ let. Merjenci v testni skupini so preživeli 22 dni v višinskih sobah na Rogli, in sicer od 9.9.2013 do 29.9.2013, ter opravili 16 treningov na nadmorski višini 1500m.

Bivanje in spanje je potekalo v pogojih normobarične hipoksije $FiO_2=0,18$, katerim so bili merjenci izpostavljeni od 16-18 ur dnevno. Vadba na višini je potekala 5-krat tedensko na višini 1500m. Merjenci so premagovali enourni napor z največjo možno intenzivnostjo, ki so jo bili zmožni proizvesti tisti dan. Začetna intenzivnost na kolesu je bila izbrana s pomočjo tiste najvišje, dosežene pri večstopenjskem obremenilnem testu, zmanjšanemu za 40W.

2.2. TESTI IN KAZALCI

V raziskavi je bil uporabljen večstopenjski obremenilni test na cikloergometru Ergoline 900 (Sensor Medics, ZDA). Obremenitev se je od začetne 40W, povečevala za 40W vsake 4 minute do utrujenosti. Merjenci obeh skupin so na večstopenjski obremenilni test prišli v športni opremi, dovolj hidrirani in zadnjega obroka niso zaužili vsaj 2 uri pred testom. Vsi merjenci so se pred testom stehali in izmerili telesno višino. Test so opravili na cikloergometru Ergoline 900 (Sensor Medics, ZDA). Test je potekal tako, da je bila začetna moč nastavljena na 40W. Na tej stopnji so merjenci začeli z ogrevanjem. Vsake nadaljnje 4 minute se je obremenitev na cikloergometru povečala za 40W. Zadnje izmerjene vrednosti niso nujno iz tistih obremenitev, ki so jih merjenci zdržali do konca.

Meritve:

- **P: moč kolesarjenja (W):** Cikloergometer je bil opremljen z elektro-mehansko zavoro. Na podlagi jakosti zaviranja je bila preračunana moč kolesarjenja (W).
- **VO₂: privzem kisika (l/min):** Gre za minutni volumen kisika, ki ga lahko športnik privzame v eni minuti (Astrand in Rodhal, 2003).
- **FS: frekvenca srca (u/min):** Frekvenca srca je bila merjena z merilci srca Polar 810 (Polar, Finska). Vsaka vrednost je predstavljala povprečje utripov v intervalu petih sekund.
- **LA: vsebnost laktata v krvi:** Med naporom se vsebnost laktata pri športnikih močno poveča. Med počitkom, pa se vsebnost laktata ponovno zniža na vrednosti v mirovanju. Včasih je za to potrebnih več ur (Wilmore in Costill, 1994). Na vsaki obremenitvi se je merjencem izmerila vsebnost laktata v krvi, ki je bil odvzet iz ušesne mečice in analiziran s pomočjo laktat analizatorja (DR. LANGE, Nemčija).
- **Hb: vsebnost hemoglobina v krvi:** Hemoglobin je tisti protein v eritrocitu, na katerega se veže kisik (O₂). Sestavljen je iz štirih podenot. Vsaka ima proteinski (globin) in prostetično skupino – neproteinski del (hem). Koncentracija hemoglobina nam pove količino na liter krvi. Te vrednosti so lahko znižane zaradi anemije, pri športnikih pa so ponavadi višje, lahko pa so zaradi napora ali povečanega volumna krvi celo znižane. Referenčna vrednost je od 120 do 160 g/L za ženske in od 140 do 180 g/L za moške. En gram veže 1,34 mL O₂. Koncentracija Hb je višja pri prebivalcih višje ležečih krajev. Pri teh se vredost dvigne za približno 10 g/L, ko se saturacija O₂ v arterijski krvi zniža za vsake 3 do 4 % (Osredkar, 2013).
- **Ht: hematokrit krvi:** Volumen stisnjenih eritrocitov ali Ht nam pove razmerje med volumnom eritrocitov in volumnom celotne krvi. Referenčna vrednost je od 0,37 do 0,47 za ženske in od 0,40 do 0,54 za moške. Izračunamo ga iz števila eritrocitov v krvi in njihovega povprečnega volumna (MCV), Ht dobimo tudi iz razmerja med stisnjenimi eritrociti in celotno krvjo po centrifugiranju (Osredkar, 2013).

2.3. POSTOPEK

Raziskava je bila izvedena v dveh delih. Vsa testiranja pri obeh skupinah so bila opravljena v Laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport v Ljubljani. Raziskava je vsebovala dve skupini: testno, ki je bivala v hipoksiji in vadila na nadmorski višini 1500m in kontrolno, ki je vadbo in bivanje opravljala na nizki nadmorski višini. Obe skupini sta v sklopu raziskave opravili večstopenjski obremenilni test. Pri testni skupini, ki je bivala na višini, so bili izmerjeni tudi hematološki kazalci, saj smo želeli preveriti, kako bivanje na višini vpliva na hematološke spremembe. Pri kontrolni skupini zaradi bivanja na nizki nadmorski višini sprememb v hematoloških kazalcih nismo pričakovali, zato niso bili izmerjeni. Vsi testi v laboratoriju so bili po enakem postopku kot pred vadbo, izvedeni tudi po vadbi.

2.3.1. TRENING IN BIVANJE NA ROGLI

Merjenci so na Roglo prispeli 8.9.2013, pred tem pa so opravili še testiranja v Zrečah. Merjenci so bili v višinske sobe razdeljeni po parih. V višinskih sobah so morali merjenci preživeti vsaj 15 ur na dan, od tega so morali imeti vsaj 8 ur spanca. S tem smo skušali zagotoviti ustrezen dražljaj hipoksičnih pogojev, saj smo predvidevali, da bo taka izpostavljenost dovolj visoka, da se bo organizem začel odzivati in prilagajati na novo okolje. Treningi so potekali 5x tedensko, ob sredah in nedeljah pa so imeli merjenci prost dan, ki so ga izkoristili za počitek. Trening je vseboval 5 minutno ogrevanje, nato pa eno uro kolesarjenja z največjo možno močjo, ki so jo lahko merjenci na določen dan zmogli. Po eni uri je sledila še 5 minutna razpeljava in ohlajanje. Med testom smo merjencem na vsakih 5 minut beležili vrednosti moči kolesarjenja, srčnega utripa in saturacije O₂.

Merjenci so se vsako jutro zbudili ob 7h zjutraj. Še v postelji so opravili z merjenjem frekvence srčnega utripa v mirovanju in saturacije O₂. Sledil je zajtrk od 7:30 do 8:30, ki so ga merjenci izkoristili tudi za prezračevanje višinskih sob. Od 8:30 do 13:00 so se merjenci v skupinah po 3 udeležili treninga. Ves preostali čas do kosila, so merjenci morali preživeti v višinski sobi. Kosilo so imeli ob 13:00, zatem pa je ponovno sledil počitek v višinskih sobah. Med kosilom in večerjo so lahko merjenci po želji uporabljali tudi bazen ali fitness. Od 19:00 do 20:00 je sledila še večerja, po njej pa počitek in spanje. Vsi obroki so bili za vse merjence enaki, z izjemo enega, ki je bil vegan, zato so bili obroki njemu pripravljene posebej.

Razpored aktivnosti projekt KROP (8.-28. september 2013)							
ura/dan	ponedeljek	torek	sreda	četrtek	petek	sobota	nedelja
7:30-8:30	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk
8:30-13:00	trening	trening		trening	trening	trening	
13:00-14:00	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo
15:30-16:00	malica	malica	malica	malica	malica	malica	malica
16:00-19:00		sauna 17:00-18:30	1/2 dvorane 16:00-17:30			sauna 17:00- 18:30	1/2 dvorane 16:00-17:30
19:00-20:00	večerja	večerja	večerja	večerja	večerja	večerja	večerja
20:00	počitek	počitek	počitek	počitek	počitek	počitek	počitek

Slika 2: Urnik aktivnost KROP (Dolinšek, A., 2013)

Merjenci so začeli z bivanjem na simulirani višini 2000m, na kateri so preživel prvi dan in prvo noč. Nato smo višino postopoma zviševali, tako da so merjenci naslednje tri dni (10.9. – 12.9.) bivali na višini 2400m. V teh dneh ni bilo posebnosti. Od 13.9. do 17.9. so merjenci bivali na 2600m. Počutje merjencev je bilo še dokaj dobro, razen izjem še ni bilo znakov utrujenosti. Ko se je naslednjih 7 dni višino povečalo na 2800m (18.9. – 24.9.) so se začeli pri vseh merjencih kazati znaki utrujenosti. Srčni utrip v mirovanju je bil višji, prav tako so bili subjektivni znaki utrujenosti zelo pogost opis merjencev. Kljub temu, da je bil 18.9. dan za počitek, so bili merjenci naslednji dan še vedno nekoliko utrujeni. 24.9. smo v vseh sobah povišali višino na 3000m, vendar je bila čez dva dni v dveh sobah spet znižana na 2800m. Določen je bil tudi izredni dan počitka, da bi se merjenci dobro spočili za zadnji trening, saj smo na treningu 26.9. opazili močno utrujenost pri vseh merjencih. V soboto 28.9. je sledil še zadnji trening, vendar so bili merjenci še vedno nekoliko utrujeni.

2.3.2 STATISTIČNE ANALIZE

Podatke smo obdelali s programom Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, Redmond, ZDA) in s statističnim programom IBM SPSS 19 (SPSS Inc., Chicago, ZDA). Predhodno smo vsem spremenljivkam izračunali mere opisne statistike (povprečja in standardne odklone).

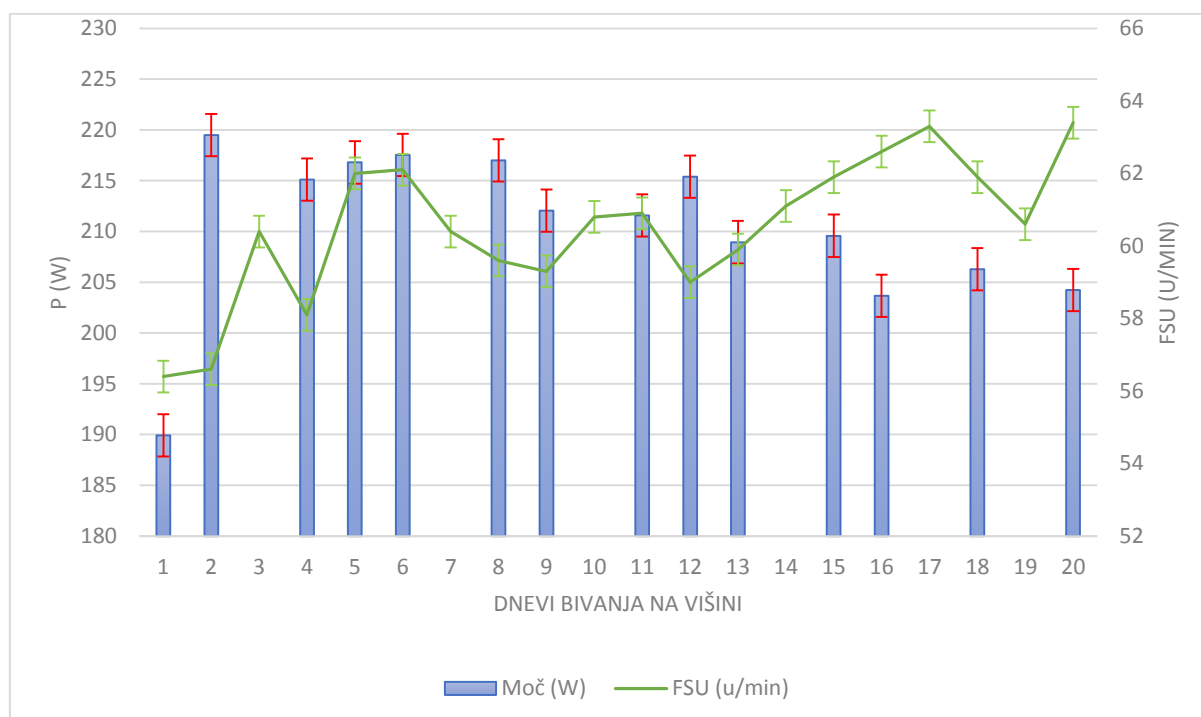
Za testiranje razlik med obema skupinama v izbranih kazalcih smo uporabili t-test za neodvisne vzorce. Pred izvedbo tega testa smo preverili predpostavko o normalnosti porazdelitve (Shapiro-Wilkov test) in homogenosti varianc (Levenov test). V primeru, da je bila ena izmed predpostavk kršena smo uporabili neparametričen test- Mann-Whitney.

Za ugotavljanje razlik v začetni in končni meritvi posamezne skupine smo uporabili t-test za odvisne vzorce. Tudi tu smo pred uporabo tega testa preverili predpostavko o normalnosti porazdelitve (Shapiro-Wilkov test). Če smo ugotovili kršitev predpostavke, smo uporabili neparametričen test- Wilcoxon. Rezultate smo prikazali v stolpčnih grafikonih. Vse podatke smo obdelali pri stopnji tveganja 5%.

3. REZULTATI

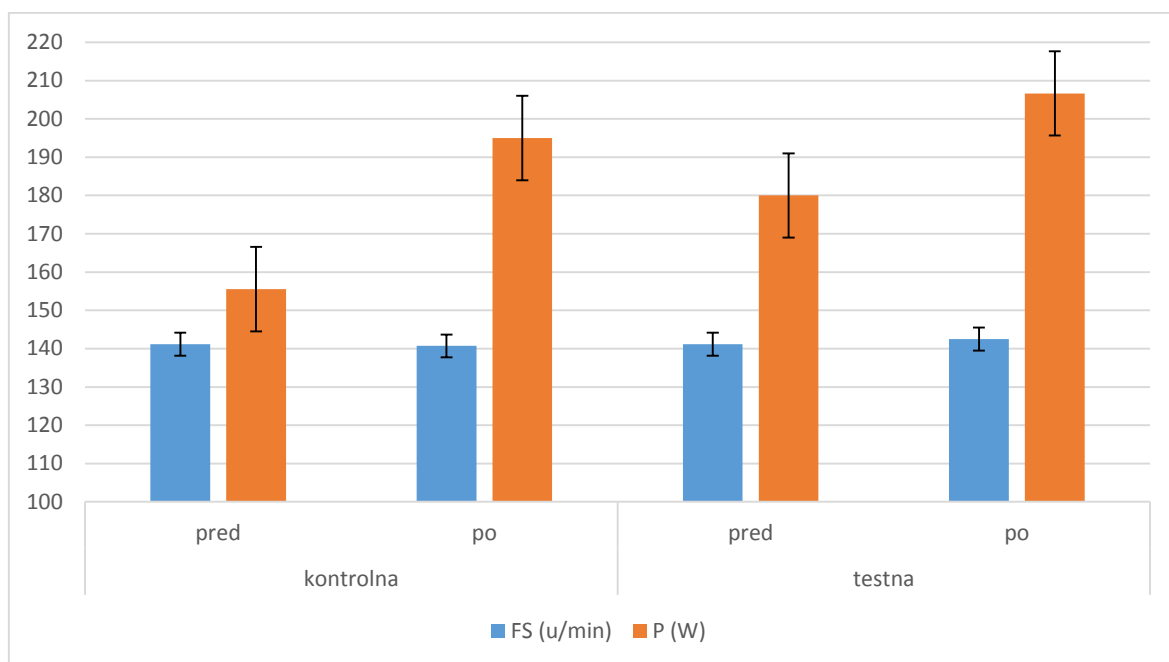
Rezultate smo razdelili na analizo vadbenega obdobja in analizo testiranj, kjer so predstavljeni podatki in rezultati tako testne kot tudi kontrolne skupine in na hematološke parametre, kjer so predstavljeni le rezultati testne skupine, ki je bivala na simulirani nadmorski višini, saj smo predvidevali, da bo le pri tej skupini prišlo do hematoloških sprememb.

3.1. ANALIZA VADBENEGA OBDOBJA



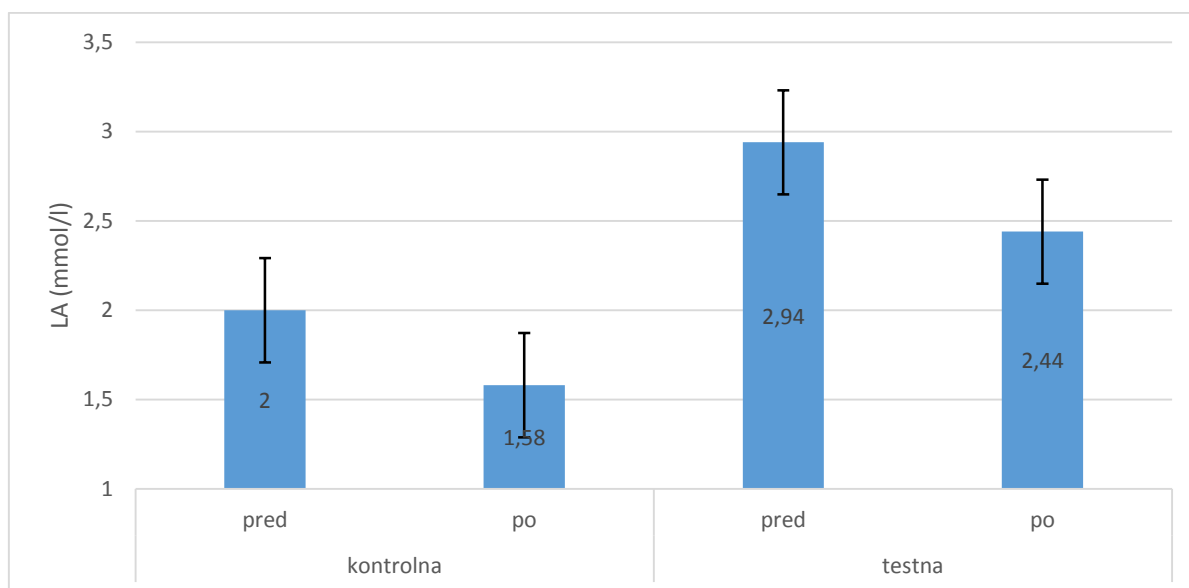
Graf 1: Časovni potek FS v mirovanju in skozi podobno obdobje moči kolesarjenja

Na Grafu 1 lahko vidimo, kako sta se povprečna moč kolesarjenja in FS v mirovanju spreminjala skozi vadbeno obdobje. Moč kolesarjenja (P) se je v obdobju do 12. vadbene enote ohranjala na približno enakem nivoju, v območju od $215\pm 4\text{W}$ do $220\pm 1\text{W}$, z izjemo 1. vadbene enote (Graf 1). Po 12. vadbene enoti pa se je moč zniževala do $205\pm 4\text{W}$ v zadnjih dveh vadbeneh enotah (Graf 1). Opaziti je mogoče, da se je frekvenca srca v prvih 5. vadbeneh enotah povečala z okrog $56\pm 6\text{W}$ do $62\pm 10\text{W}$, nato do 12. enote zniževala do $59\pm 17\text{W}$, nato pa se je do konca vadbenega obdobja povečevala do $64\pm 9\text{W}$ (Graf 1).



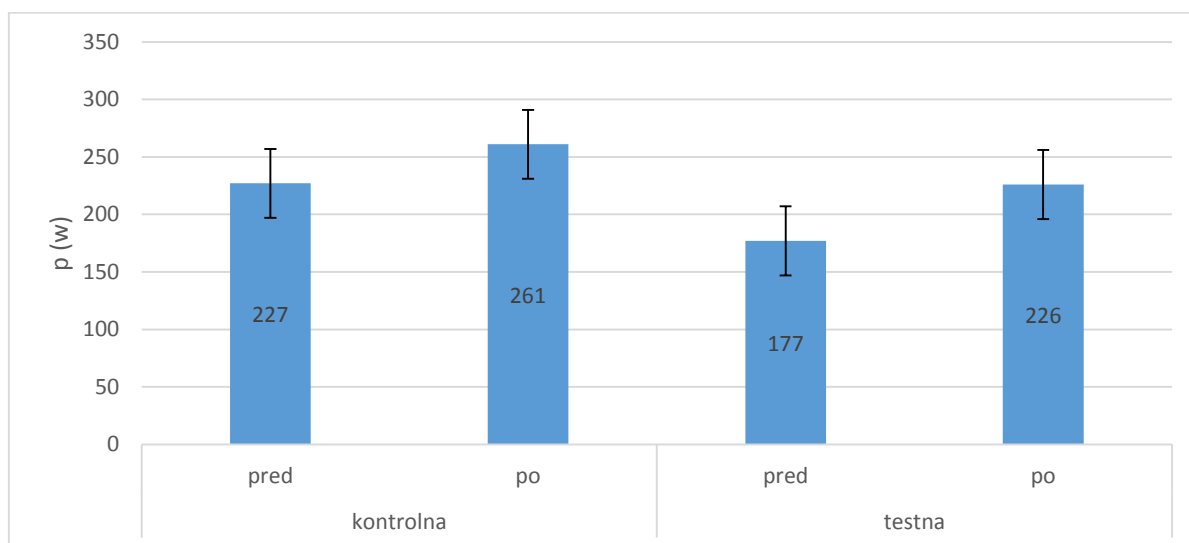
Graf 2: Vrednosti moči in frekvence srca pri laktatnem pragu pred in po vadbi

Pri nobeni skupini nismo zaznali statistično značilnih razlik v spremembi frekvence srca pri laktatnem pragu (Graf 2). Merjenci v obeh skupinah so pri laktatnem pragu dosegli ob približno enaki frekvenci srca večjo moč. Povečanje moči pri laktatnem pragu je za obe skupini tudi statistično značilno. Skupina, ki je vadbo opravljala na nizki nadmorski višini po metodi LL-TL, je po tritedenski vadbi svoje vrednosti pri laktatnem pragu povečala za 27W (iz 180 ± 22 W na 207 ± 30 W, [p=0,018]). Skupina, ki je bila izpostavljena hipoksičnim pogojem po metodi LH-TM, pa je svoje rezultate povečala za 39W (iz 156 ± 35 W na 195 ± 13 W, [p=0,02]) (Graf 2).



Graf 3: Vsebnosti laktata pri laktatnem pragu pred in po vadbi

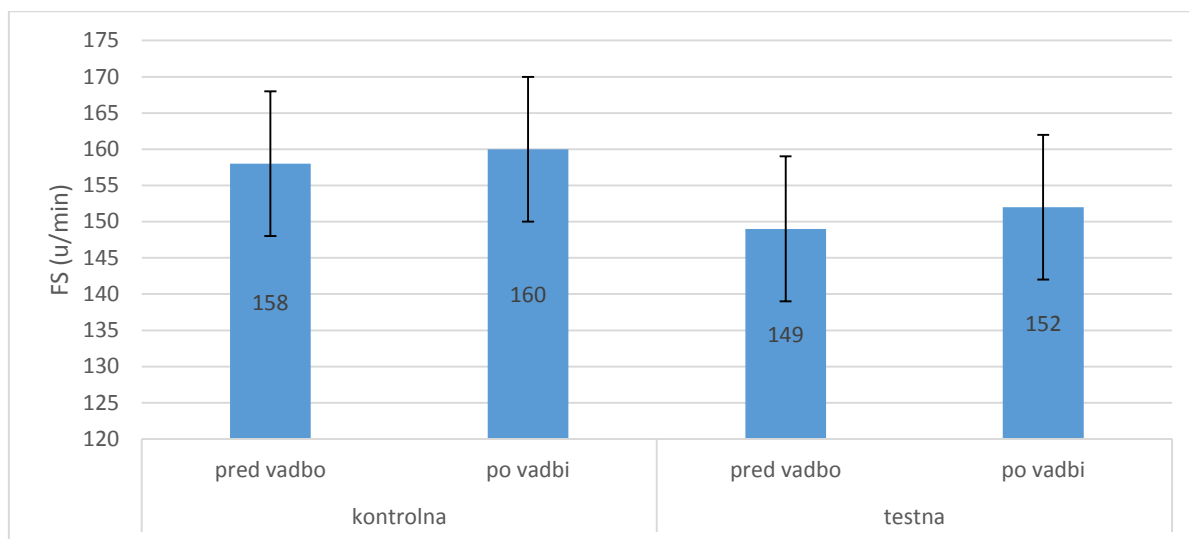
Graf 3 prikazuje spremembe v povprečni vrednosti laktata pri laktatnem pragu. Pri obeh skupinah je po tritedenski vadbi opaziti trend znižanja povprečnih vrednosti laktata (za približno 0,5 mmol/l), vendar statistično značilnih razlik ni moč zaznati.



Graf 4: Moč pri OBLI glede na posamezno meritev obeh skupin

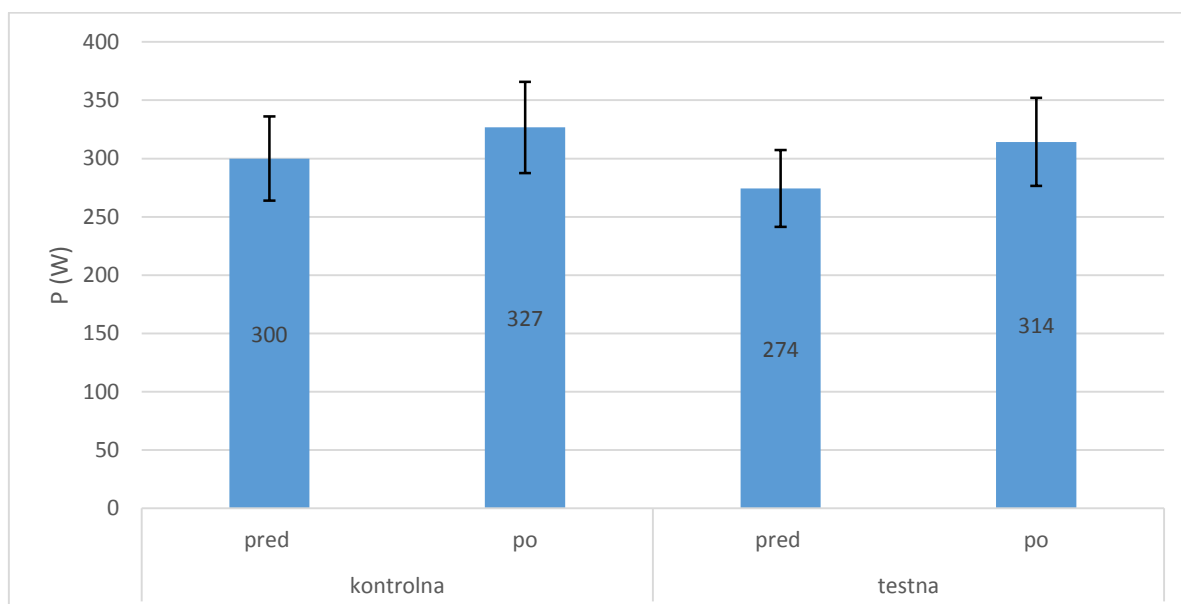
Na Grafu 4 so prikazani rezultati moči kolesarjenja, ki jo določa kriterij OBLA pri obeh skupinah. Rezultati kažejo, da prihaja do značilnih razlik med začetno in končno meritvijo znotraj posamezne skupine, kot tudi med skupinama v obeh meritvah. V začetnih meritvah je kontrolna skupina dosegla višjo moč za okrog 50W ($p=0,04$). V končni meritvi se je razlika med skupinama zmanjšala in je znašala 35W ($p=0,04$). Znotraj testne skupine (LH-TM) smo ugotovili povečanje moči za 49W (iz $177\pm 37W$ na $226\pm 22W$, [$p=0,00$]). Podobno povečanje smo ugotovili tudi pri kontrolni skupini, ki je vadila po metodi LL-TL. Povprečna moč se je

povečala za 33W (iz 228 ± 41 W na 261 ± 32 W, [$p=0,02$]), torej je vadba podobno povečala zmogljivost v obeh skupinah (Graf 4).



Graf 5: Frekvenca srca, ki jo določa OBLA

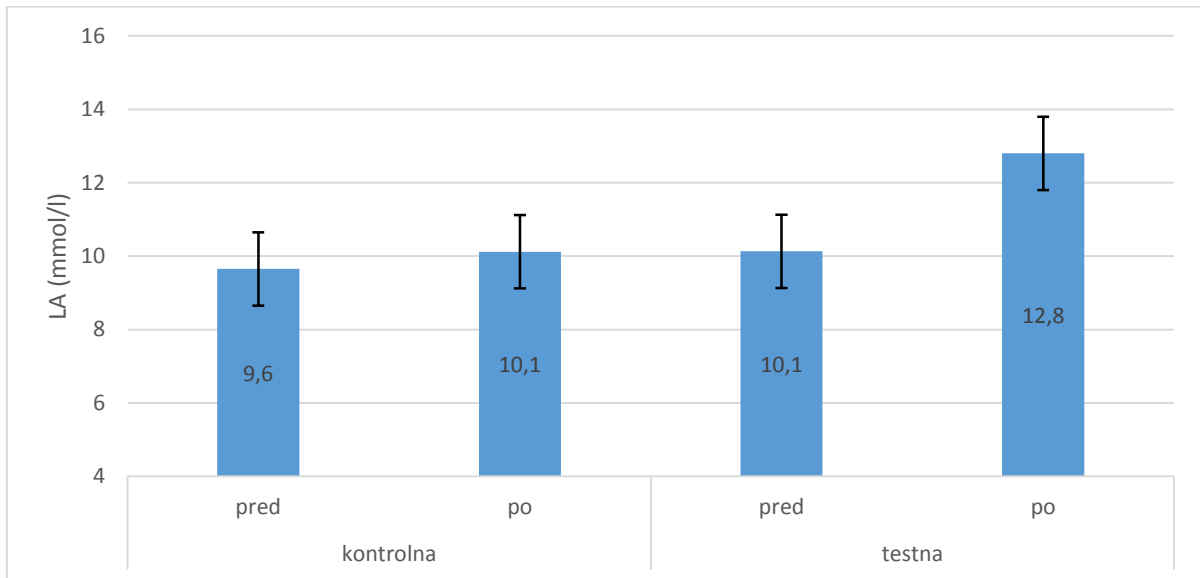
Na Grafu 5 so prikazane vrednosti frekvence srca ob začetnih in končnih merjenjih, ki jih določa kriterij OBLA v obeh skupinah. Moč kolesarjenja, ki jo določa kriterij OBLA je bila po vadbi višja kot pred vadbo, frekvenca srca pa se ni spremenila (Graf 5).



Graf 6: : Maksimalna moč dosežena pred in po vadbi pri testni in kontrolni skupini

Maksimalna moč kolesarjenja v večstopenjskem obremenilnem testu se je pri obeh skupinah povečala (Graf 6). Pri testni skupini, ki je bivala na višini je povečanje moči znašalo okrog 40W. Pri njej smo ugotovili tudi statistično značilne razlike pri primerjavi začetnih in končnih

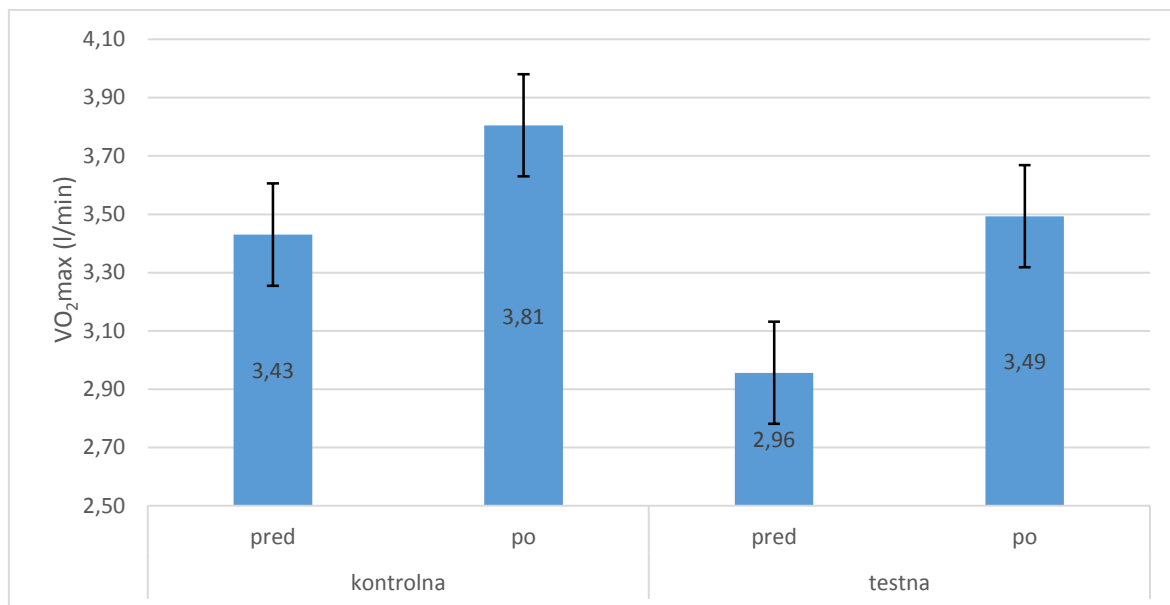
maksimalnih vrednosti (iz 274 ± 43 W na 314 ± 43 W, [$p=0,016$]). Kontrolna skupina, ki je vadbo in bivanje opravljala na nizki nadmorski višini, pa je svoje rezultate izboljšala za 27W (iz 300 ± 33 W na 327 ± 30 W). Tudi razlike pri kontrolni skupini so statistično značilne ($p=0,025$). Vadba na višini torej ni povzročila razlik v primerjavi z vadbo na nizki nadmorski višini.



Graf 7: Vrednosti laktata pri maksimalnem naporu pred in po vadbi kontrolne in testne skupine

Vrednosti laktata pri maksimalnem naporu nam prikazuje Graf 7. Le pri testni skupini, ki je bivala na višini, je mogoče zaznati statistično značilno povečanje vsebnosti (iz $10,1 \pm 1,3$ mmol/l na $12,8 \pm 3,0$ mmol/l; [$p=0,014$]). Vrednosti laktata pri maksimalnem naporu so se povečale, vendar se je povečala tudi moč pri kateri so dosegli vrednost laktata (iz 274 ± 43 W na 314 ± 43 W).

Vsebnost laktata pri najvišjih obremenitvah, ki so jih vadeči dosegli pred vadbo je nižja, če jo opazujemo pri enaki obremenitvi, ki je sedaj submaksimalna.



Graf 8: Maksimalen privzem kisika pred in po vadbi testne in kontrolne skupine

Samo metoda živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini (LH-TM), ki jo uporablja testna skupina, je povzročila povečanje maksimalnega privzema kisika in statistično značilno razliko med začetnimi in končnimi vrednostmi (iz $2,96 \pm 0,63$ l/min na $3,49 \pm 0,34$ l/min; [p=0,04]). Vrednosti maksimalnega privzema kisika se pri kontrolni skupini niso povečale (iz $3,43 \pm 0,39$ l/min na $3,81 \pm 0,27$ l/min; [p=0,21]) (Graf 8). Torej je le kombinacija vadbe na zmerni nadmorski višini in bivanja v hipoksiji statistično značilno vplivala na povečanje maksimalnega privzema kisika.

KONTROLNA	Pred višinsko vadbo	Po višinski vadbi	p
P _{LP} (W)	180±22	207±30	0,018
FS _{LP} (u/min)	141±10	143±9	0,805
LA _{LP} (mmol/l)	2,0±0,7	1,6±0,5	0,215
P _{OBLA} (W)	228±40	261±32	0,02
FS _{OBLA} (u/min)	158±9	160±14	0,628
P _{MAX}	300±33	326±30	0,025
LA _{MAX}	9,7±2,5	10,1±2,4	0,746

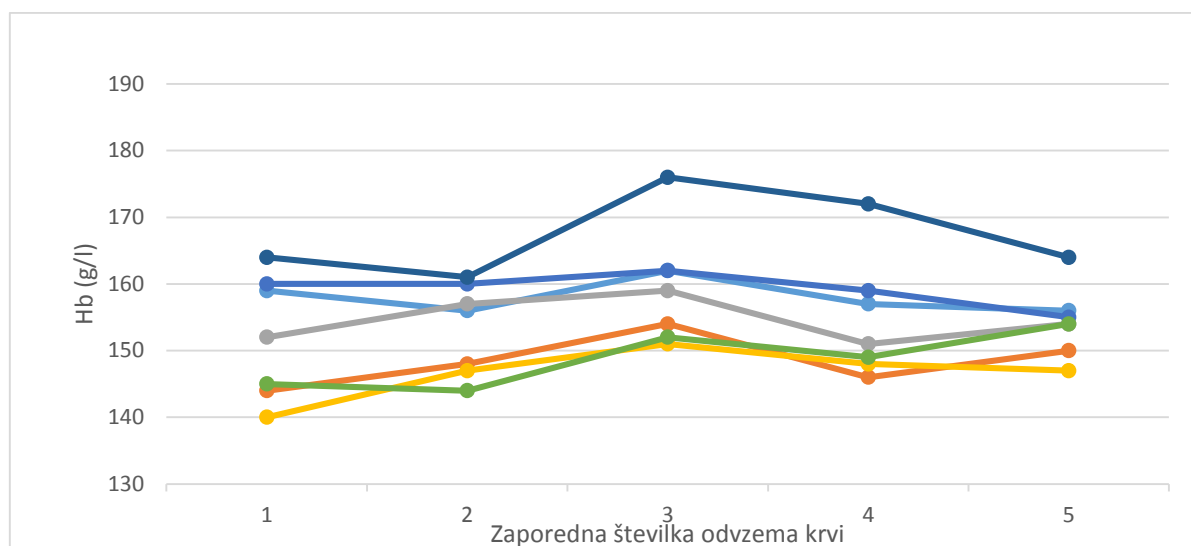
Tabela 1: Rezultati meritev pri pragu – kontrolna skupina

TESTNA	Pred višinsko vadbo	Po višinski vadbi	p
P _{LP} (W)	156±36	195±13	0,02
FS _{LP} (u/min)	141±11	140±10	0,933
LA _{LP} (mmol/l)	2,9±0,5	2,4±0,5	0,05
P _{OBLA} (W)	177±37	226±22	0,004
FS _{OBLA} (u/min)	149±10	152±10	0,597
P _{MAX}	274±43	314±43	0,018
LA _{MAX}	10,1±1,3	12,8±3,0	0,014

Tabela 2: Rezultati meritev pri pragu – testna skupina

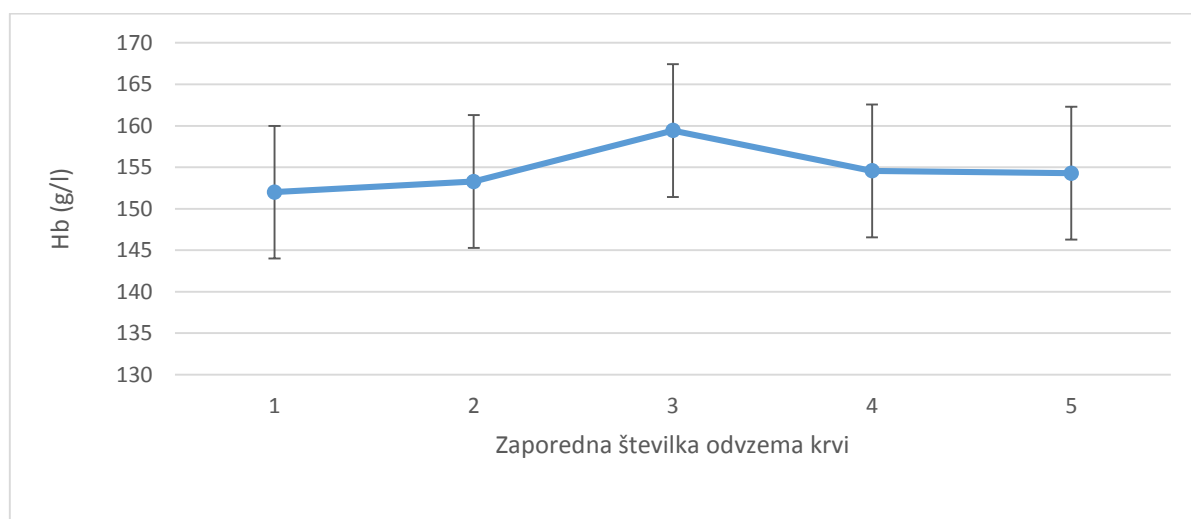
Tabela 1 in Tabela 2 kažeta vse spremembe v obremenitvi, frekvenci srca in vsebnosti laktata, ki so se pri obeh skupinah pojavile pred in po vadbi pri laktatnem pragu, OBLA-i in pri največji obremenitvi. Opazimo lahko, da sta obe skupini znižali vrednosti laktata pri laktatnem pragu, kljub temu da so obremenitev pri laktatnem pragu obe izrazito povečali. Prav tako se nazorno vidi, kako se je kljub majhnim, skoraj zanemarljivih razlikah v frekvenci srca pri OBLA-i in laktatnem pragu, moč znatno povečala.

3.2. HEMATOLOŠKI PARAMETRI



Graf 9: Individualni odziv koncentracije hemoglobina v krvi glede na čas odvzema krvi

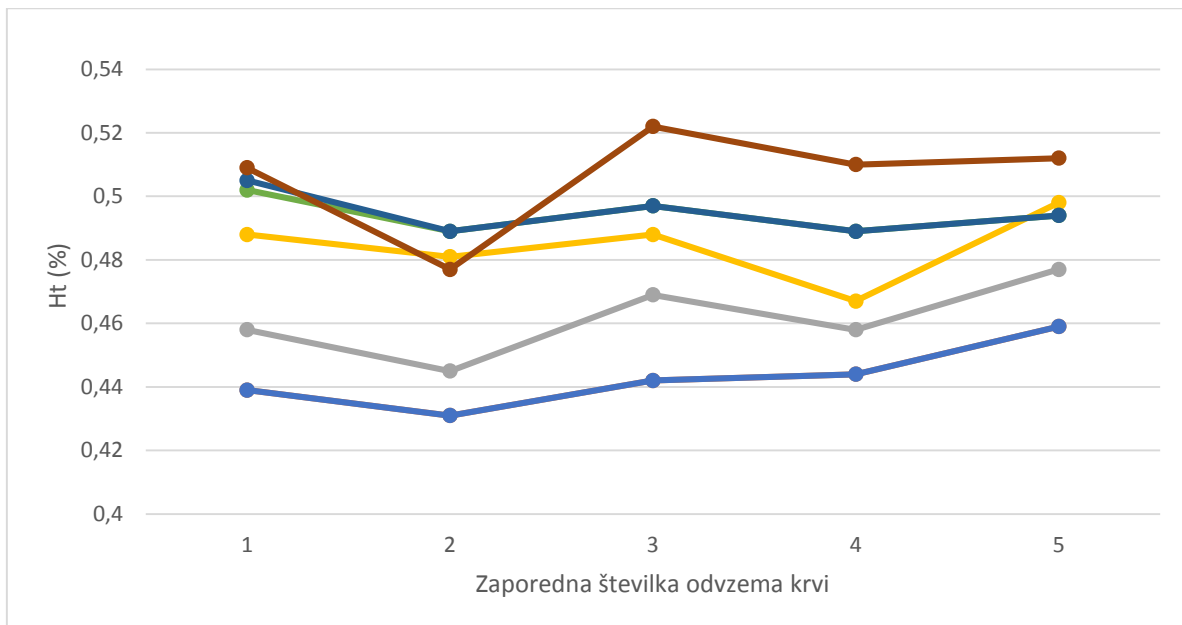
Graf 9 nam prikazuje vrednosti hemoglobina posameznih merjencev glede na časovno obdobje in izpostavitve hipoksiji. Merjenec T7 je imel ob tretjem merjenju visoko koncentracijo hemoglobina v krvi 176 g/l, prav tako je imel najvišjo koncentracijo že ob prvem merjenju. Merjenec T6 je imel najvišjo izmerjeno vrednost koncentracije hemoglobina ob zadnjem merjenju.



Graf 10: Povprečne vrednosti koncentracije hemoglobina v krvi glede na čas odvzema krvi

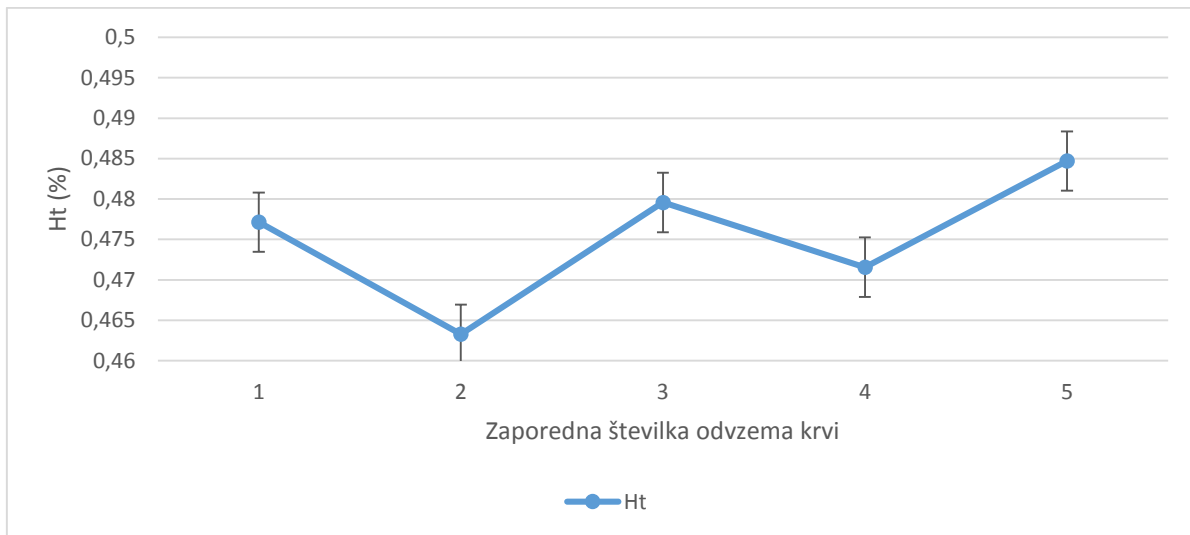
Graf 10 nam prikazuje, kako se je povprečna vrednost koncentracije hemoglobina spreminjala glede na časovno obdobje in na izpostavitve hipoksiji. Povprečne vrednosti hemoglobina so se ob bivanju na višini povečale z 152 ± 9 g/l na vrednost 159 ± 9 g/l ($p=0,00$). To vrednost so merjenci dosegli ob tretjem odvzemu krvi, po dveh tednih bivanja na višini. Po zaključku višinske vadbe so se vrednosti hemoglobina hitro znižale in se po enem tednu bivanja na

normalni nadmorski višini ustalile na približno 154 ± 3 g/l. Razlike v hemoglobinu pred višinsko vadbo in teden dni po njej niso statistično značilne ($p=0,3$).



Graf 11: Individualni odziv vrednosti hematokrita v krvi glede na čas odvzema krvi

Graf 11 nam prikazuje posamezne vrednosti hematokrita vsakega preiskovanca, glede na časovno obdobje in izpostavljenost hipoksiji. Merjenec T7 je imel ob tretji meritvi vrednost hematokrita preko 0,52%. Merjenca, ki sta imela najvišjo in najnižjo vrednost hematokrita pri prvem merjenju, sta imela najvišjo in najnižjo vrednost tudi pri zadnjem merjenju.



Graf 12: Povprečne vrednosti hematokrita v krvi glede na čas odvzema krvi

Graf 12 nam prikazuje, kako so se povprečne vrednosti hematokrita spreminjale glede na časovno obdobje. Hematokrit v krvi se je iz začetne vrednosti pri drugem odvzemu krvi znižal z $0,48 \pm 0,03$ na $0,46 \pm 0,03\%$ ($p=0,016$). Med četrtem merjenjem, ki je bilo opravljeno dan po koncu višinske vadbe in petim merjenjem, ki je bilo opravljeno teden dni po koncu višinske vadbe, pa smo ugotovili statistično značilen porast vrednosti hematokrita ($p=0,014$). Verjetno je do tega pojava prišlo predvsem zaradi utrujenosti merjencev ob koncu višinske vadbe.

4. RAZPRAVA

V raziskavi smo ugotovili, da sta tako višinska vadba, kot tudi vadba na nizki nadmorski legi pozitivno vplivali na večino izbranih funkcionalnih dejavnikov. Merjenci obeh skupin so izboljšali svojo moč kolesarjenja pri submaksimalnih obremenitvah (laktatni prag, OBLA) in maksimalnih obremenitvah. Pri testni skupini, ki je bivala v hipoksiji in vadila na zmerni nadmorski višini 1500m smo ugotovili povečanje maksimalnega privzema kisika, kar se pri kontrolni skupini ni zgodilo. Vsebnost laktata pri laktatnem pragu se je pri testni skupini znižala, pri maksimalni obremenitvi pa povišala. Frekvenca srca se pri OBLA-i in laktatnem pragu ni spremenila, so pa merjenci obeh skupin ob isti frekvenci srca dosegli večjo moč kolesarjenja.

Moč kolesarjenja

Pri obeh skupinah se je moč kolesarjenja povečala tako pri submaksimalnih obremenitvah, kot tudi pri maksimalnih obremenitvah. Omeniti je potrebno dejstvo, da je imela testna skupina (LH-TL) pred višinsko vadbo v povprečju nižje vrednosti pri OBLA-i, kot pa kontrolna skupina (LL-TL). To lahko pomeni, da je bila testna skupina slabše trenirana kot kontrolna in zato lahko tudi bolj dovzetna za izboljšanje rezultatov, ki jih je povzročila sama vadba. Ne glede na to, pa lahko povzamemo, da sta obe metodi vadbe vplivali na dvig moči kolesarjenja pri OBLA-i.

Podobno kot pri OBLA-i, se je tudi pri laktatnem pragu pri obeh skupinah pojavilo izboljšanje moči, kar pomeni da sta obe metodi vadbe vplivali na povečanje moči pri enakem naporu, ki ga predstavljata laktatni prag in OBLA. Tako lahko ugotovimo, da so merjenci že s samo vadbo uspeli izboljšati svoje rezultate pri submaksimalnih naporih.

Podoben trend naraščanja moči smo zaznali tudi pri maksimalni moči kolesarjenja. Preiskovanci obeh skupin so svoje rezultate po vadbi izboljšali. Kot smo že omenili, so bili preiskovanci iz testne skupine na začetku slabše pripravljeni in je bilo njihovo izhodišče nižje. Glede na to, da je pri obeh skupinah prišlo do izboljšanja, lahko sklepamo, da sta obe metodi podobno učinkoviti.

Največji privzem kisika (VO_{2max})

Troup je v svoji raziskavi (1990) ugotovil, da lahko VO_2 po prihodu z višine precej niha, a je po 7 -12 dneh bivanja na nižini nižja kot pred vadbo na začetku. Troup ugotavlja tudi, da se poveča VO_{2max} , vendar ni prepričan, ali je to posledica višinske vadbe ali same izpostavljenosti treningu. Podobne ugotovitve smo izpeljali tudi iz analize naše raziskave, kjer se naraščanje vrednosti VO_{2max} le nakazuje. Do nekoliko večjega napredka v VO_{2max} je prišlo pri skupini, ki je treninge izvajala po principu živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini. Menimo, da je povečanje vrednosti VO_{2max} pri obeh skupinah, bolj posledica samega vadbenega procesa, kot pa okolja, v katerem se je vadba izvajala. Vzrok za nekoliko večji napredek pri skupini, ki je bivala na simulirani višini, pa je po našem mnenju bolj povezan s slabšo začetno pripravljenostjo merjencev testne skupine, zaradi česar so bili veliko bolj dovzetni za

spremembe, ki jih povzročata sam trening. Morebiti je do nakazanih razlik v VO_{2max} prišlo tudi zaradi nekoliko višje vsebnosti hemoglobina pri skupini, ki je bivala na višini, saj je mogoče zaznati trend naraščanja hemoglobina, le tega pa ne moremo potrditi tudi statistično. Garvican idr. (2011) so v raziskavi izvedeni na kolesarjih, ki so 26 dni bivali v simuliranih pogojih hipoksije in vadili na nizki nadmorski višini ugotovili, da se povečanje mase hemoglobina pozna tudi pri povečanju VO_{2max} . Ugotovili so, da povečanje mase hemoglobina za 1g izboljša VO_{2max} za približno 4 ml/min. Raziskava Stray – Gundersona (2001), izvedena na 14 moških tekačev in 8 ženskih tekačicah, ki so 27 dni bivali in vadili po metodi živi visoko - vadi nizko, je prav tako pokazala 3% izboljšanje v VO_{2max} . Po drugi strani pa je Saunders (2003) v svoji raziskavi, ki jo je opravil na 22 tekačih na srednje proge zaznal znižanje vrednosti VO_{2max} . Merjenci iz testne skupine, ki so vadili po metodi LH-TL, so bili 3 tedne od 9 do 12 ur dnevno na višini od 2.100m do 3.000m, vadili pa so na višini 600m. Na znižanje VO_{2max} bi lahko ključno vplivala tudi utrujenost, saj bi lahko merjenci, ki so bili izpostavljeni višinski vadbi zaradi utrujenosti po prihodu z višine, slabše opravili s testiranjem. V raziskava Chapmana, Gundersena in Levina (1998) so 39 tekačev na dolge proge razdelili na dve skupini – ena je vadila po metodi LH-TL, kjer so merjenci bivali na višini 2500m in vadili na višini 1250m, druga pa je vadila po metodi LL-TL in je bivala in vadila na višini 1250m. Vadba je trajala 28 dni, po njej pa so raziskovalci ugotovili, da metoda LH-TL poveča VO_{2max} . V poznejši raziskavi Gundersona in Levina (2008), v kateri sta tekače razdelila v tri skupine, izmed katerih je vsaka vadila po svojem principu, (LH-TL, LL-TL, LH-TH) sta ugotovila, da je po treh tednih vadbe po različnih metodah, VO_{2max} narastel le pri skupinah, ki so bile izpostavljene hipoksiji.

Frekvenca srca

Vrednosti frekvenca srca so se pri laktatnem pragu pri kontrolni skupini po vadbi ohranile, kljub temu, da se je moč pri laktatnem pragu precej povišala. Torej lahko sklepamo, da je vadba na nižini pozitivno vplivala na frekvenco srca. Pri testni skupini pa smo ob še večjem povišanju moči pri laktatnem pragu, opazili celo trend rahlega znižanja frekvenca srca. Iz tega lahko sklepamo, da sta obe vadbi podobno učinkovali na frekvenco srca.

Podobne rezultate smo dobili pri merjenju frekvenca srca pri OBLA-i.

Vsebnost laktata

Maksimalna vsebnost laktata se pri obeh skupinah zviša. Višji laktat je posledica tudi višjih obremenitev, ki so jih merjenci obeh skupin po vadbi dosegli. Pri obeh skupinah je opazno, da se laktat pri začetnih obremenitvah ne spreminja v tolikšni meri, kot se spreminja pri višjih obremenitvah. Največje razlike se pokažejo po vrednosti 4 mmol/l, saj po vadbenem obdobju laktat ne narašča več tako izraženo kot pred vadbo. Razlog za te spremembe, je po našem mnenju predvsem metoda po kateri so merjenci vadili, saj je šlo za visoko intenzivno vadbo, ki povzroča pozitivne spremembe pri višjih obremenitvah. Ker so se spremembe pojavljale pri obeh skupinah ne moremo trditi, da je bila to posledica višinske vadbe, saj so pri slabše pripravljenih športnikih učinki same vadbe boljši. Merjenci so za določitev laktata pred in po vadbi opravljali večstopenjski obremenilni test. Če primerjamo vrednosti laktata pri maksimalni obremenitvi pred vadbo z enako obremenitvijo po vadbi, zaznamo občutno zmanjšanje

vrednosti laktata pri enakem maksimalnem naporu. Te vrednosti laktata kažejo na pozitivne učinke, ki jih povzroča vadba. Raziskava Saundersa (2003) je pokazala, da je skupina, ki je vadila po metodi LH-TL znižala vrednosti laktata, medtem ko se pri skupini, ki je vadila po metodi LL-TL, vrednost laktata ni spremenila. Skupina, ki je bila v tej raziskavi izpostavljena hipoksiji, je 12 ur dnevno preživela v simuliranih pogojih do 2100m do 3000m, vadila pa je na višini 600m. Zanimivo, da se masa hemoglobina zaradi preslabe izpostavljenosti hipoksiji ni spremenila. Podobno kot pri nas, je tudi v raziskavi Humberstone-Gougha idr. (2013) prišlo do statistično značilnih razlik v spremembah laktata, tako pri submaksimalnih kot tudi pri maksimalnih hitrostih. Merjenci iz skupine LH-TL, ki so 17 dni bivali na višini 3.000m, so v primerjavi s skupino LL-TL dosegli višje hitrosti pri vrednosti laktata 3 mmol/l. Skupina LL-TL svoje hitrosti pri tej vrednosti ni izboljšala. Prav tako so se vrednosti laktata pri maksimalni hitrosti znižale le pri skupini LH-TL.

Hematološki kazalci

Koncentracija hemoglobina v krvi se je po dveh tednih bivanja na višini zvišala za približno 5%, kar bi lahko smatrali za dokaj izraženo spremembo, saj so Clark idr. v svoji raziskavi (2008) zajeli 12 dobro treniranih kolesarjev, ki so 3 tedne bivali in vadili po principu živi visoko - vadi na zmerni višini, ob 14 urni dnevni hipoksični izpostavljenosti, ugotovili, da se je pri njih koncentracija hemoglobina zvišala za 3,3%. Po drugi strani, pa so v raziskavi Ashendena idr. (1999) želeli preveriti učinek metode živi visoko - vadi na nizki višini. 23 dni je bilo 13 moških merjencev (triatloncev, kolesarjev in tekačev na smučeh) od 8 do 10 ur izpostavljenih hipoksičnim pogojem, primerljivih z nadmorsko višino 3000m, samo vadbo pa so opravljali na višini 600m. Raziskava ni pokazala nobenih sprememb v koncentraciji hemoglobina. Glede na to, da so bili ti merjenci izpostavljeni višji hipoksiji in na višini bivali več časa kot so bili merjenci v naši raziskavi, lahko sklepamo, da sta dnevna izpostavljenost hipoksiji in dovolj visoka višina na kateri merjenci vadijo, ključnega pomena za povečanje koncentracije hemoglobina. V naši raziskavi je bila povprečna koncentracija hemoglobina v krvi teden dni po zaključku bivanja na višini podobna kot pred višinsko vadbo. Rusko idr. (1999) so primerjali različne časovne izpostavljenosti enaki hipoksiji. Skupina, ki je bila hipoksiji izpostavljena od 8 do 11 ur ni pokazala izboljšanja vsebnosti hemoglobina v primerjavi s tistimi, ki so bili izpostavljeni hipoksičnim pogojem od 12 do 16 ur. Do podobnih zaključkov so prišli tudi Brugniaux idr. (2006), ki so ugotovili, da daljša dnevna izpostavljenost hipoksiji (od 12 do 17 ur dnevno) pozitivno vpliva na povečanje rdečih krvničk in mase hemoglobina. Po drugi strani pa Saunders idr. (2003) v svoji raziskavi, ki je vsebovala krajšo dnevno izpostavljenost hipoksiji (od 6 do 12 ur na dan), niso zaznali izboljšanja v masi hemoglobina. Humberstone-Gough idr. (2013) so v raziskavi, ki so jo izvajali na 24-ih triatlonecih ugotovili, da je skupina, ki je vadbo opravljala po metodi LH-TL in je bila po 14 ur dnevno izpostavljena umetni višini 3.000m, vrednosti hemoglobina povišala za 3,2%. Na drugi strani pa pri skupini, ki je vadbo opravljala v normoksičnih pogojih teh sprememb ni bilo moč zaznati. Te pozitivne spremembe vrednosti hemoglobina lahko povežemo z odzivom organizma na dovolj močen hipoksični dražljaj, ki v organizmu sproži eritropoezo. Ta je odvisen predvsem od časovne izpostavljenosti in same višine, na kateri se bivanje izvaja. V kolikor je bivanje prekratko ali pa je višina na kateri

merjenci bivajo ali vadijo prenizka, ne bo prišlo do dovolj močnega dražljaja in organizem ne bo začel s prilagoditvenimi procesi.

Raziskava, ki so jo opravili Schuler, Thomsen, Gassmann in Lundby (2007) je pokazala, da je spreminjanje vrednosti hemoglobina skoraj skladno s spreminjanjem vrednosti eritrocitov. Iz tega bi lahko sklepali, da bo tudi v našem primeru podobno, vendar smo opazili, da spremembe vrednosti hemoglobina nikakor ne sovpadajo s spremembami hematokrita. Garvican idr. (2010) so v raziskavi, v kateri so bili športniki tri tedne izpostavljeni hipoksiji na višini 2760m ugotovili, da je po postopnem dviganju števila rdečih krvničk, po 12. dnevu to število začelo padati in je bilo teden dni po prihodu z višinske vadbe nižje, kot je bilo pred višinsko vadbo. Kot ključni razlog za to so navedli zmanjšano količino eritropoetina, ki je povzročil hiter upad števila eritrocitov. Če bi primerjali le rezultate prvega merjenja in tiste, ki smo jih izmerili na zadnjem merjenju, teden dni po višinski vadbi, bi lahko sklepali, da porast hemoglobina sovpada z zvišanjem števila eritrocitov, saj sta se obe vrednosti zvišali za približno 1,5%. Vendar so bila povečanja in zmanjšanja (fluktuacije) vrednosti med ostalimi merjenji zelo različne. Pri tretjem merjenju smo namreč zaznali skoraj 5% povišanje vsebnosti hemoglobina, medtem ko smo pri hematokritu zaznali le 0,4% zvišanje vrednosti. Iz teh rezultatov lahko povzamemo, da spremembe v vsebnosti hemoglobina ne povzročajo enakih sprememb v istem časovnem obdobju med bivanjem v hipoksiji. Ashenden idr. (1999) so v svoji raziskavi ugotovili, da po 23 dnevih bivanja in vadbe po metodi LH-TL, kjer so merjenci bivali na višini 2500m in vadili na višini 1250m, ni prišlo do nobenih sprememb v številu retikulocitov. Med bivanjem na višini so sicer zaznali povečanje vsebnosti eritrocitov za 5,3%, vendar se je stanje po koncu višinske vadbe znižalo za 6,1%. Tudi v naši raziskavi nismo ugotovili nobenega statistično značilnega izboljšanja v vrednosti hematokrita po višinski vadbi. Smo pa zaznali višjo vrednost hematokrita teden dni po prihodu z višine, v primerjavi s prvim dnevom po prihodu z višine.

Omejitve naloge

V nalogi je bil opravljen poskus ugotavljanja učinkov višinske vadbe na temelju hematoloških kazalcev. To pomeni, da smo se omejili zgolj na zvezo različnih kazalcev, povezanih z vsebnostjo laktata (laktatni prag, OBLA) in zmogljivostjo (največja obremenitev).

Spremembe, ki povzročajo učinke na zmogljivost, kot so znižanje vsebnosti laktata v krvi med naporom in povečanje največjega privzema kisika, pa so posledica predvsem nehematoloških sprememb, ki jih nismo opazovali. Menimo, da bi bilo v prihodnjih raziskavah potrebno posvetiti pozornost predvsem nehematološkemu učinkom višinske vadbe.

5. SKLEP

Višinska vadba velja v današnjem času za zelo popularno metodo, s katero naj bi športniki, zaradi njenih vplivov na človeški organizem, dosegali boljše rezultate na tekmovanjih. Bivanje v hipoksičnih pogojih, kjer pride do znižanja pO_2 in posledično do slabšega vnosa kisika v telo, povzroči verigo fizioloških odzivov na organizem, ki lahko ob primernem hipoksičnem dražljaju povzročijo povečanje vzdržljivosti. Nekateri odzivi se začnejo že takoj ob prihodu v hipoksično okolje, spet drugi pa se odzovejo nekoliko kasneje. Izboljšanje le teh, pa lahko igra ključno vlogo pri športnikovem nastopu ob vrnitvi na normalno nadmorsko višino. Zavedati pa se moramo, da so spremembe, ki jih povzroča bivanje na višini zelo zapletene in nanje vpliva veliko dejavnikov. Najpomembnejši so verjetno čas, ki ga športnik preživi v hipoksiji, dovolj visoka višina in ustrezna metoda. Vsi ti dejavniki skupaj tvorijo ogromno različnih kombinacij višinske vadbe, vsaka med njimi pa ima lahko različne vplive na športnika. V našem primeru smo opazili tudi to, da niso vsi športniki enako odzivni na enake hipoksične dražljaje. Nekateri se nanje odzovejo zelo dobro (odzivni), nekateri pa se nanje sploh ne odzovejo (neodzivni).

Edina sprememba, ki jo je višinska vadba po metodi živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini (LH-TM) povzročila različno od metode živi in vadi nizko (LL-TL) je največji privzem kisika (VO_{2max}). Vsi ostali, za vzdržljivost pomembni kazalci, so se bodisi povečali podobno pri obeh metodah (moči kolesarjenja, ki jih določajo laktatni prag [P_{LA}], OBLA [P_{OBLA}] in največji napor [P_{MAX}]) ali ostali nespremenjeni (frekvence srca, ki jih določata laktatni prag [FS_{LA}] in OBLA [FS_{OBLA}]). Višinska vadba po metodi živi visoko - vadi na zmerni nadmorski višini ni vplivala na hematološke kazalce (hemoglobin, hematokrit).

Lahko zaključimo, da so uporabljene značilnosti metode višinske vadbe LH-TL povzročile zelo podobne vadbene učinke kot vadba na nizki nadmorski višini, če pri vadbi uporabimo enourne neprekinjene obremenitve. Pri tem pa opazimo različne odzive posameznikov. Ker pa so vadbene učinki podobni tako pri višinski vadbi, kot pri vadbi na nizki nadmorski višini, hematološke spremembe prav gotovo niso tiste, ki so pripomogle k tem spremembam v vzdržljivosti.

6. VIRI

- Adjustments at High Altitude. Boundless Anatomy and Physiology. (2016). pridobljeno 1.5.2017 iz: <https://www.boundless.com/physiology/textbooks/boundless-anatomy-and-physiology-textbook/respiratory-system-22/respiratory-adjustments-213/adjustments-at-high-altitude-1042-4941/>
- Ashenden, M.J., Gore, C.J., Dobson, G.P. in Hahn, A.G. (1999) "Live high, train low" does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 nights. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80 (5), 479-484.
- Astrand, P. O., Rodahl, K. (2003). Textbook of Work Physiology. Physiological basis of exercise. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Brugniaux, J.V.; Schmitt, L.; Robach, P.; Nicolet, G.; Fouillot, J.P.; Moutereau, S.; Lasne, F.; Pialoux, V.; Saas, P.; Chorvot, M.C.; Cornolo, J.; Olsen, N.V. and Richalet, J.P. (2006). Eighteen days of "living high, training low" stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *Journal of Applied Physiology* 100(1), 203-211.
- Botella de Maglia, J., Real Soriano, R., Compte Torrero, L. (2008). Arterial oxygen saturation during ascent of a mountain higher than 8,000 meters. *Medicina Intensiva*. 32(6): 277-81.
- Chapman, F. R., Stray – Gunderson J. in Levine, D. B. (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of applied physiology*, 85, 1448-1456.
- Chapman, F. R., Karlsen, T., Resaland, G. K., Ge, R. L., Harber, M. P., Witkowski, S., Stray-Gunderson, J., Levine, B. D. (2014). Defining the "dose" of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *Journal of applied physiology*, 116 (6), 595-603.
- Clausen, J. P. (1977). Effects of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiology Reviews*: 57 (4): 779.815.
- Debevec, T. (2011). Uporaba normobarične hipoksije in hiperoksije za izboljšanje športne sposobnosti na nižini in/ali višini. Doktorska disertacija. Ljubljana: Inštitut Jožef Štefan.
- DeVries, H. A., (1986). Physiology of Exercise. Dubuque, Iowa, USA. C. Brown Publishers.
- Farlex Partner Medical Dictionary. (2012). Pridobljeno 22.4.2017 iz: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/normoxia>
- Garrett, W. E. Jr., Kirkendall, D. T. (2000). Exercise and sport science. Lippinkott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.

- Garvican L., Martin D., Quod M., Stephens B., Sassi A. in Gore C. (2010). Time course of haemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclist. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22, 95 – 103.
- Garvican, L. A., Pottgiesser, T., Martin, T. D., Schumacher, O. Y., Barras, M. in Gore, J. C. (2011). The contribution of haemoglobin mass to increases in cycling performance induced by simulated LHTL. *European journal of applied physiology*, 111, 1089 – 1101.
- Hallagan, L. F., Pigman, E. C. (1998). Encyclopedia of Sports medicine and Science, Altitude: Acclimatization to Intermediate Altitudes. Department of Emergency Medicine, George Washington University Medical Center, Washington, DC, USA. Pridobljeno 8.2.2017 iz: <http://www.sportsci.org/encyc/index.html>
- Jennett, S. (2008). Churchill Livingstone's Dictionary of Sport and Exercise Science and Medicine. Elsevier Health Science, Philadelphia, USA.
- Karvonen, J., Lemon, P. W. R., Iliev, I. (1992). Medicine and Sport Science: vol 35; Medicine in sports training and coaching. Basel: Thür AG Offsetdruck, Pratteln.
- Levine, D. B., Stray-Gundersen, J. (1997). »Living high-training low« : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*. 83 (1), 102-112.
- Maršić, T., Dizdar, D. in Šentija, D. (2008). Osnove treninga izdržljivosti i brzine. Zagreb: Udruga Tjelesno vježbanje i zdravlje.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude: An update. *Sports Medicine*. 38 (1), 1-8.
- Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition*.(2003). Pridobljeno 9.2.2017 iz: <http://medicaldictionary.thefreedictionary.com/hypoxia>
- Mollard P., Woorons, X., Letournel M., Lamberto, C., Favret, F., Pichon, A., Beaudry, M. in Richalet J. P. (2007). Determinants of maximal oxygen uptake in moderate acute hypoxia in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 100 (6), 663-673.
- Noakes, T.D. (1991). Lore of Running, Champaign: Leisure Press, A Division of Human Kinetics.
- Osredkar, J. (2008). Izbrana poglavja iz klinične kemije. Ljubljana: Klinični inštitut za klinično kemijo in biokemijo.
- Osredkar, J. (2013). Učinki vzdržljivostne vadbe na povišani nadmorski legi – krvne analize. Končno poročilo. Ljubljana: Klinični inštitut za klinično kemijo in biokemijo.
- Paralika S. J., Paralika J. H. (2010). High – altitude medicine. *Indian Journal of Occupational Environment Medicine*. 14 (1): 6-12.

- Rusko, H. (1996). New aspects of altitude training. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6): 48-52.
- Rusko H., Tikkanen H., Hamalainen I., Kalliokoski K., Puranen A. (1999). Effect of living in hypoxia and training in normoxia on sea level VO₂max and red cell mass. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31, 86.
- Saunders P. U., Telford R. D., Pyne D. B., Cunningham R. B., Gore C. J., Hahn A. G. in Hawley J. A. (2003). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate – altitude exposure. *Journal of applied physiology*, 96, 893-937.
- Shepard, R. J. (1987). Exercise physiology. B. C. Decker Inc. Burlington: Ontario.
- Shepard, R. J., Astrand, P. O. (2000). Endurance in Sport. Oxford: Blackwell.
- Stellingwerff, T. (2006). Altitude, hypoxic and hyperoxic training: research evidence vs. practical applications. Pridobljeno 30.5.2017 iz: <http://www.runhilarityrun.ca/Trent/GeneralInterestArticles/StellingwerffAltitudeTrainingArticle.pdf>
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F., Levine, B., D. (2001). »Living high-training low« altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of applied physiology* 91: 1113-1120.
- Thomas, V. (1975). Exercise Physiology. Crosby Lockwood Staples: London.
- Troup, J. (1990). The effects of altitude training on sea level swimming performance. *International Center for Aquatic Research annual-Studies by the International Center for Aquatic Research, 1989-90*. United States Swimming Press.
- Ušaj, A. (2003). Osnove športnega treniranja. Ljubljana. Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Ušaj, A. (2011). Temelji športne vadbe. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Wilber, R. L. (2004). Altitude training and athletic performance. USA: Human Kinetics.
- Wilber R. L., Stray-Gundersen J. in Levine B. D. (2007). Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. *Medicine in Science and Sports Exercise*. 39: 1590-1599.
- Wilber, R. L. (2011). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Journal of Human Sport Exercise*. (6) 2, 1-14.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. (1994). Physiology of sport and exercise. Champaign (IL): Human Kinetics.

7. PRILOGE