

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ŠPORT  
Športna vzgoja

**VPLIV VIŠINSKE VADBE NA IZBRANE HEMATOLOŠKE  
PARAMETRE IN FUNKCIONALNE DEJAVNIKE V  
MIROVANJU IN MED NAPOROM**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:

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

RECEZENT:

doc. dr. Jernej Kapus, prof. šp. vzg.

Avtor:

TINE LAVRENČIČ

Ljubljana, 2014

## ZAHVALA

Najprej bi se rad zahvalil mentorju doc. dr. Boru Štrumblju, za vso pomoč, ki mi jo je izkazoval v času pisanja diplome.

Hvala doc. dr. Janezu Vodičarju, brez katerega ta naloga ne bi bila takšna kot je.

Zahvaljujem se tudi doc. dr. Jerneju Kapusu za recenzijo naloge.

Posebna zahvala pa gre mojim bližnjim, ki so mi ves čas študija stali ob strani, me podpirali in vzpodbujali.

Hvala vam!

**Ključne besede:** višinska vadba, hipoksija, aklimatizacija, višinska soba, vzdržljivost, hematološke in funkcionalne spremembe.

## **VPLIV VIŠINSKE VADBE NA IZBRANE HEMATOLOŠKE PARAMETRE IN FUNKCIONALNE DEJAVNIKE V MIROVANJU IN MED NAPOROM**

**Tine Lavrenčič**

### **IZVLEČEK:**

V diplomski nalogi so predstavljeni rezultati tritedenskega bivanja in vadbe, ki je potekala na Rogli, na simulirani višini v višinski sobi.

Naloga vsebuje podatke enega izmed merjencev, ki se je udeležil raziskave. Merjenec je treniral po vadbenem principu živi visoko, treniraj nizko (normalno). V našem primeru je vadba potekala na nadmorski višini 1500m. Vadba je potekala petkrat tedensko na kolesu, ki je bil priključen na trenažer. Vadba je vsebovala pet minutno ogrevanje, v glavnem delu pa je merjenec skušal v eni uri opraviti čim več dela, ki ga je bil sposoben tisti dan opraviti. Merjenec je pred višinsko vadbo opravil večstopenjski obremenilni test, neprekinjen test do utrujenosti ter test tekmo na trenažerju. Ti testi so potekali v Ljubljani, v laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport. Rezultati testov so nam služili za primerjavo s podatki, ki smo jih dobili na istih testih po opravljenih treh tednih vadbe. Opravljeni so bili tudi štirje odvzemi krvi za ugotavljanje hematoloških sprememb, ki jih povzroči vadba in bivanje na višini, in sicer prvi odzvem pred višinsko vadbo, drugi po desetih dneh na višini, tretji odzvem krvi je bil dan po prihodu z višine, četrti pa teden dni po prihodu z višine.

Rezultati kažejo na to, da se je izboljšala večina spremljanih funkcionalnih dejavnikov. Vsebnost laktata v krvi (LA) se je ob enaki obremenitvi zmanjšala, frekvenca srčnega utripa (FSU) se je ob enaki obremenitvi znižala, povečala pa se je moč in vzdržljivost merjenca. Pljučna ventilacija ( $V_E$ ) in poraba kisika ( $VO_2$ ) sta bili pri enakih obremenitvah na testu nižji. Ne moremo pa trditi, da so se ti funkcionalni dejavniki izboljšali zaradi same višinske vadbe, saj se le ti izboljšajo tudi, če je športnik izpostavljen normalnemu trenažnemu procesu.

Na drugi strani pa so hematološke spremenljivke, ki jih sam trenažni proces ne spremeni v tolikšni meri, kot jih spremeni višinska vadba. Rezultati so pokazali povečanje vseh spremljanih hematoloških dejavnikov (eritrociti, hemoglobin - Hb in hematokrit - Ht) že po desetih dneh bivanja in treniranja na povečani nadmorski višini. Takoj po višinski vadbi se je delež eritrocitov zmanjšal, vendar se je po enem tednu bivanja na normalni višini spet povečal. S temi rezultati sovпада tudi vrednost hematokrita. Pri masi hemoglobina pa se je po enem tednu bivanja na normalni višini pojavil padec, kljub temu da se je število eritrocitov povečalo.

**Keywords:** altitude training, hypoxia, acclimatization, altitude room, endurance, haematological and functional changes.

## **THE INFLUENCE OF ALTITUDE TRAINING ON SELECTED HAEMATOLOGICAL PARAMETERS AND FUNCTIONAL FACTORS IN REST AND DURING EXERCISE**

**Tine Lavrenčič**

### **Abstract:**

This paper presents the results of three-week stay, which was performed in Rogla on simulated altitude in the altitude room.

This paper contains the data of one of the subjects, which participated in the research. The subject was training by the training principle live high, train low (normal). In our case, the exercise took place at an altitude of 1500m. Training was carried out five times a week on the bike, which was connected to the trainer. Training included five minutes of warm-up, and one hour of cycling with as much power as the subject was able to do that day. Before altitude training, the subject was tested on incremental test, continuous test and test race on a trainer. These tests were performed in biodynamic laboratory at the Faculty of Sport in Ljubljana. We used the results of these tests for comparison with the results that we get on the same tests after three weeks of altitude training. We also took four blood samples for determination of haematological changes caused by exercise and altitude exposure. The first sample of the blood was taken before the altitude training, the second after ten days living at the height, the third sample was taken one day after the arrival from the height and the fourth week after the arrival from height.

The results show that most of functional factors were improved. The lactate concentration in the blood (LA) at the equal intensity decreased, heart rate decreased (FSU) at equal intensity, although the training increased the power and endurance of subject. The oxygen uptake ( $VO_2$ ) and ventilation ( $V_E$ ) decreased. We cannot assure that these functional factors were improved due to the altitude training, because they can be improved even when the athlete is exposed to the normal process of training.

On the other hand, the haematological parameters do not change by normal training process as much as if athlete is exposed to altitude training. The results showed a significant increase in all major hematologic factors (erythrocytes, haemoglobin - Hb and hematocrit - Ht) after ten days living and training at altitude. Immediately after altitude training, the concentration of red blood cells decreased, but after one week at normal height, the concentration increased again. The hematocrit is consistent with these results. However, after one week at a normal height, the mass of haemoglobin decreased, despite the fact that the number of red blood cells increased.

<b>1. UVOD</b> .....	<b>7</b>
1.1. VIŠINSKA VADBA .....	7
1.1.1. <i>VPLIV NADMORSKE VIŠINE NA FIZIOLOŠKE PROCESSE V TELESU</i> ...	9
1.1.2. <i>PRILAGODITEV NA VIŠINO</i> .....	9
1.1.3. <i>HIPOKSIČNA SOBA – VIŠINSKA SOBA</i> .....	10
1.2. VZDRŽLJIVOST .....	12
1.2.1. <i>DOLGOTRAJNA VZDRŽLJIVOST</i> .....	12
1.2.2. <i>NEKATERI OMEJITVENI DEJAVNIKI DOLGOTRAJNE VZDRŽLJIVOSTI</i> .....	12
1.3. CILJI IN HIPOTEZE .....	13
<b>2. METODE DELA</b> .....	<b>14</b>
2.1. PREISKOVANEC .....	14
2.2. PRIPOMOČKI .....	14
2.3. POSTOPEK .....	14
2.3.1. <i>TESTIRANJA PRED VIŠINSKO VADBO</i> .....	14
2.3.2. <i>VADBA IN BIVANJE NA ROGLI</i> .....	17
<b>3. REZULTATI IN RAZPRAVA</b> .....	<b>19</b>
3.1. VEČSTOPENJSKI OBREMENILNI TEST PRED VIŠINSKO VADBO IN PO NJEJ .....	19
3.1.1. <i>LAKTAT</i> .....	20
3.1.2. <i>FREKVENCA SRČNEGA UTRIPA</i> .....	21
3.1.3. <i>PORABA KISIKA</i> .....	22
3.1.4. <i>PLJUČNA VENTILACIJA</i> .....	23
3.2. NEPREKINJEN TEST DO UTRUJENOSTI .....	24
3.2.1. <i>LAKTAT</i> .....	25
3.2.2. <i>PORABA KISIKA</i> .....	26
3.2.3. <i>PLJUČNA VENTILACIJA</i> .....	27
3.3. LAKTATNI PRAG IN OBLA .....	28
3.4. HEMATOLOŠKE SPREMEMBE .....	30
3.4.1. <i>ERITROCITI</i> .....	31
3.4.2. <i>HEMOGLOBIN</i> .....	32
3.4.3. <i>HEMATOKRIT</i> .....	33
<b>4. SKLEP</b> .....	<b>34</b>
<b>5. VIRI</b> .....	<b>35</b>

## Kazalo slik:

Slika 1. Zračni tlak (Barometric pressure) in delni tlak kisika (Inspired $PO_2$ ) v odvisnosti od nadmorske višine (Altitude) (Paralihar, S. J., Paralihar, J. H., 2010).....	9
Slika 2. Vsebnost kisika po višinskih sobah (osebni arhiv). .....	11
Slika 3. Testiranje v laboratoriju (osebni arhiv). .....	15
Slika 4. Večstopenjski obremenilni test (osebni arhiv). .....	16
Slika 5. Najvišja dosežena obremenitev na večstopenjskem obremenilnem testu. ...	19
Slika 6. Vsebnost laktata (LA) med večstopenjskim obremenilnim testom. ....	20
Slika 7. Frekvenca srca (FSU) med večstopenjskim obremenilnim testom. ....	21
Slika 8. Poraba kisika ( $VO_2$ ) med večstopenjskim obremenilnim testom. ....	22
Slika 9. Pljučna ventilacija ( $V_E$ ) med večstopenjskim obremenilnim testom. ....	23
Slika 10. Čas kolesarjenja (t) med neprekinjenim testom do utrujenosti pri dani obremenitvi. ....	24
Slika 11. Laktat (LA) med neprekinjenemu testu do utrujenosti. ....	25
Slika 12. Poraba kisika ( $VO_2$ ) med neprekinjenim testom do utrujenosti. ....	26
Slika 13. Pljučna ventilacija ( $V_E$ ) med neprekinjenim testom do utrujenosti. ....	27
Slika 14. Laktatni prag in OBLA glede na obremenitev pred višinsko vadbo. ....	28
Slika 15. Laktatni prag in OBLA glede na obremenitev po višinski vadbi. ....	28
Slika 16. Frekvenca srca (FS) pri laktatnem pragu in OBLI pred višinsko vadbo. ....	29
Slika 17. Frekvenca srca (FS) pri laktatnem pragu in OBLI glede na frekvenco srca po višinski vadbi. ....	29
Slika 18. Vsebnost eritrocitov glede na datum odvzema krvi. ....	31
Slika 19. Koncentracija hemoglobina (Hb) glede na datum odvzema krvi. ....	32
Slika 20. Hematokrit (Ht) glede na datum odvzema krvi. ....	33

## Kazalo tabel:

Tabela 1. Dnevnik bivanja in vadbe na Rogli. ....	17
Tabela 2. Urnik aktivnosti na Rogli (Alekselj Dolinšek, 2013). ....	18
Tabela 3. Rezultati laboratorijskih meritev pragov .....	30

# 1. UVOD

Športnik je v želji po vedno boljših rezultatih, poleg same vadbe, odvisen tudi od okolja v katerem se nahaja oziroma izvaja vadbo. Nekatera okolja lahko na razvoj športnika vplivajo slabše, nekatera pa boljše. Eno izmed možnih okolij, v katerih se lahko športnik znajde med vadbo ali tekmo, je tudi okolje s povišano nadmorsko višino.

Raziskave o vplivu nadmorske višine na človekov organizem so že zelo stare in segajo celo v 19. stoletje. Najprej so bile uporabljene v namene alpinizma in gornišstva, 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 povečani nadmorski višini (2300m). Predvsem tekmovalci, ki so tekmovali v vzdržljivostnih športih, so tam dosegali slabše rezultate, kot so jih imeli na normalni nadmorski višini.

Leta 1960, med Olimpijskimi igrami v Rimu, ko je etiopski tekač Abebe Bikila presenetljivo zmagal na maratonu, je le malo specialistov omenilo, da je bil rojen in treniran na nadmorski višini od 2000 do 2500 metrov. Vplivi zmerne nadmorske višine na vadbeno zmogljivost in uspešnost v športu so bili v takratnem času relativno neznani. Šele več let pozneje, ko je bil za gostitelja Olimpijskih iger izbran Mexico City, je postalo jasno, kako malo je znanega o omejitvenih dejavnikih, ki jih prinaša nadmorska višina okrog 2300 metrov (Iliev, 1992).

V diplomskem delu smo predstavili rezultate vpliva tri tedenske višinske vadbe, ki je potekala na Rogli v mesecu septembru, na določene hematološke in funkcionalne dejavnike, ki lahko pomembno vplivajo na športnikovo izboljšanje sposobnosti.

Ena glavnih zahtev pri vzdržljivostnih športih je oskrba obremenjene mišice z zadostnimi količinami kisika. Koliko kisika pa naša mišica dobi, je odvisno od različnih dejavnikov. Te dejavnike in vpliv višinske vadbe nanje, pa bom natančneje predstavil v diplomski nalogi.

## 1.1. VIŠINSKA VADBA

Vadba na povišani nadmorski višini predstavlja s fiziološkega vidika stres za organizem. Na večji nadmorski višini predstavlja namreč enaka obremenitev večjo obremenitev za naše telo. Ker se z večanjem nadmorske višine znižuje delni tlak kisika, se v telesu poveča pljučna ventilacija ( $V_E$ ) in frekvenca srčnega utripa (FSU). Pojavijo se tudi ostali simptomi utrujenosti. Prilagoditev na hipoksične pogoje zahteva določen čas (Astrand, 2003).

Skupaj z razvojem in vse večjim zanimanjem se je pojavilo tudi vedno več oblik in metod višinske vadbe. V začetku razvoja višinske vadbe se je pojavila metoda LH – TH (live high, train high), pri kateri so športniki bivali in vadili na povišani nadmorski višini. Kasneje se je razvila metoda, pri kateri so športniki vadili na normalni nadmorski višini (nizko) ter živeli na visoki nadmorski višini. To metodo so

poimenovali LH – TL (live high, train low). Kot zadnja se je razvila metoda, kjer športniki vadijo na povečani nadmorski višini, živijo pa na nizki oziroma normalni nadmorski višini LL-TH (live low, train high).

Nadmorsko višino lahko delimo na:

➤ VISOKO NADMORSKO VIŠINO (1500-3500m)

Tu se pojavijo prve posledice zmanjšane delnega tlaka kisika v vdihanem zraku, kar vključuje zmanjšano vadbeno zmogljivost in povečano  $V_E$  zaradi znižanja delnega tlaka v arterijski krvi. Značilen je tudi oslavljen prenos kisika po arterijski krvi, saturacija kisika v krvi ( $SaO_2$ ) znaša vsaj 90%, vendar je arterijski delni tlak kisika ( $pO_2$ ) bistveno zmanjšan. Zaradi velikega števila ljudi, ki se hitro povzpnejo na 2500-3500m je v tem območju pogosto prisotna višinska bolezen.

➤ ZELO VISOKO NADMORSKO VIŠINO (3500-5500m)

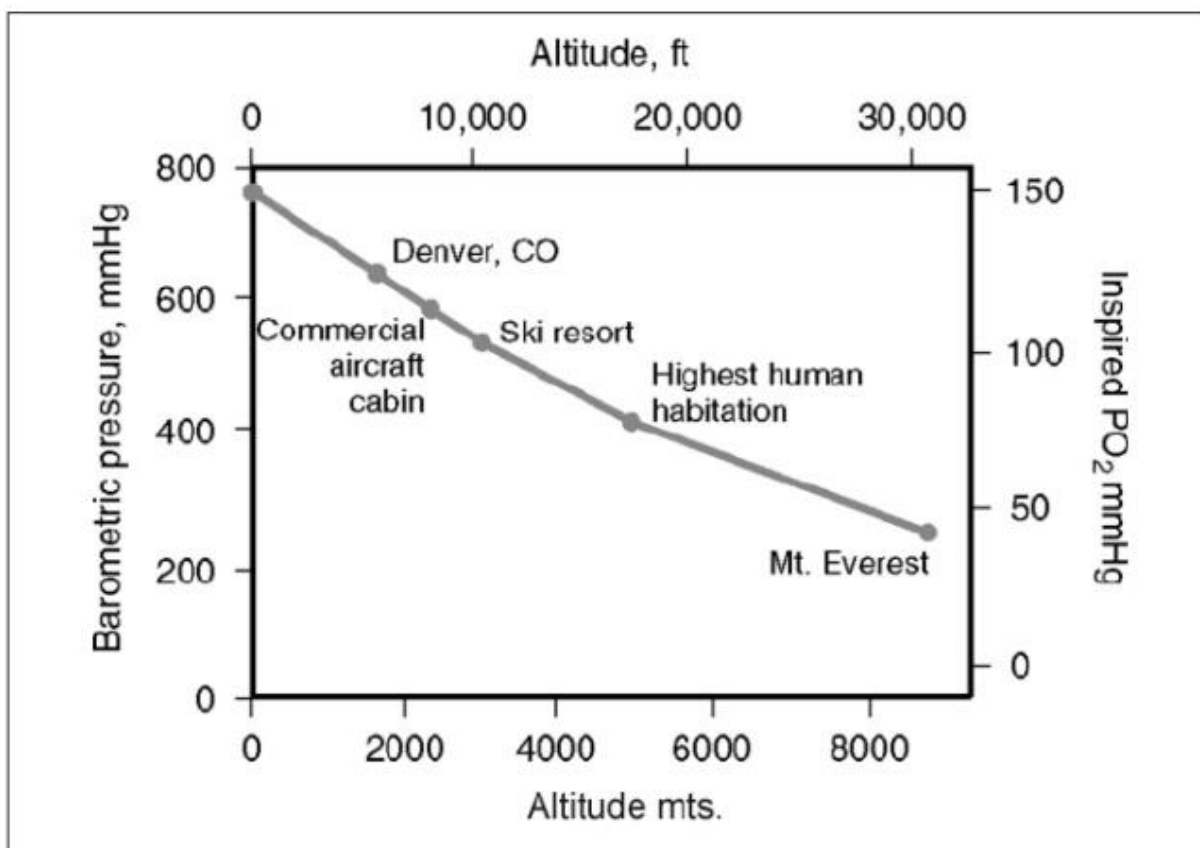
Maksimalna  $SaO_2$  pade pod 90%,  $pO_2$  pa pade pod 60mm Hg. Pojavi se lahko ekstremna hipoksemija, ki je največkrat prisotna med samo vadbo, med spanjem in v prisotnosti pljučnih edemov ali drugih akutnih stanj pljuč. Zelo pogosta je tudi huda oblika višinske bolezni.

➤ EKSTREMNO NADMORSKO VIŠINO (nad 5500m)

Značilnosti ekstremne nadmorske višine so hipoksemija, hipokapnija in alkalozna. Postopna slabitev fizioloških funkcij sčasoma prevlada nad aklimatizacijo. Posledično nad 5500m ni človeških bivališč (Paralihar, S.J., Paralihar, J.H., 2010).

Višinska vadba se lahko izvaja v okolju z dejansko povečano nadmorsko višino, zadnje čase pa postaja veliko bolj praktična metoda s simuliranimi pogoji v višinskih sobah, kjer ustvarimo pogoje normobarične hipoksije ali hipobarične normoksije. Pri prvi obliki moramo biti še posebej pozorni na ostale značilnosti okolja, kot so na primer znižanje temperature zraka, znižan upor zraka, večje sevanje UV žarkov, itd. S t.i. višinskimi sobami se tem dejavnikom lahko izognemo.





Slika 1. Zračni tlak (Barometric pressure) in delni tlak kisika (Inspired PO<sub>2</sub>) v odvisnosti od nadmorske višine (Altitude) (Paralihar, S. J., Paralihar, J. H., 2010).

### 1.1.1. VPLIV NADMORSKE VIŠINE NA FIZIOLOŠKE PROCESSE V TELESU

Povečana nadmorska višina povzroči znižanje pO<sub>2</sub>, kar povzroči hipoksijo. Znano je, da je človekov organizem in njegovo delovanje odvisno od kisika. Če želimo ohranjati normalno funkcijo in delovanje telesa, moramo telesu priskrbeti primerno količino kisika. To količino kisika lahko telesu priskrbimo iz zraka, ki ga vdihujemo. V transport kisika so vključeni različni sistemi (po vrsti):

1. Pljučna ventilacija
2. Difuzija in vezava kisika med pljučnimi mešički in krvjo
3. Transport kisika po krvi
4. Difuzija in vezava kisika med krvjo in celicami (Iliev, 1992).

### 1.1.2. PRILAGODITEV NA VIŠINO

Če športnik ostane na višini dovolj časa, se začne v telesu širok spekter fizioloških in biokemijskih prilagoditev, ki postopoma pripomorejo k temu, da se odziv telesa na vadbo, ki je na višini drugačen, spet približa tistemu, ki ga je imel na normalni nadmorski višini. Sčasoma pa je relativno popolna prilagoditev na visoko nadmorsko višino možna do 4300m (Shepard, 2000).

Ko z višanjem nadmorske višine začne upadati  $pO_2$  v vdihanem zraku, se naš organizem začne boriti, da bi ohranil delež kisika na ustreznem nivoju. Zato se začnejo v telesu različni prilagoditveni procesi (Iliev, 1992):

- povečanje  $V_E$  in minutnega volumna srca v mirovanju in v conah submaksimalnega napora,
- povečan volumen kapilarne krvi v aktivnih tkivih,
- počasnejši pretok kapilarne krvi,
- povečano število rdečih krvnih celic in povečana koncentracija hemoglobina v krvi ter
- povečana koncentracija mioglobina v mišičnih celicah.

Nekateri izmed teh mehanizmov so zelo hitro učinkoviti in skušajo v najkrajšem možnem času zmanjšati hipoksijo v mišicah in tkivih. Drugi mehanizmi pa so počasnejši in potrebujejo več dni, tednov ali celo mesecev za popolno učinkovitost (Iliev, 1992).

Povečanje števila rdečih krvničk se začne takoj, medtem ko prostornina krvi potrebuje približno dva meseca, da se poveča v primerjavi s prostornino iz normalne nadmorske višine. Nizka raven kisika v krvi stimulira ledvice, ki začnejo z proizvodnjo eritropoetina, ki stimulira rdeči kostni mozeg, da poveča proizvodnjo števila rdečih krvničk. Prav tako se zaradi aklimatizacije pojavijo respiratorne spremembe.  $V_E$  se poveča kmalu po prihodu na višino (Haymes in Wells, 1986).

Težnja organizma po vzdrževanju enakega stanja notranjega okolja – neposrednega okolja celic (medceličnine) – se imenuje homeostaza in je temeljni pogoj za nemoteno delovanje vsake in vseh celic organizma. Ta težnja je zakodirana v delovanju notranjih organov prek njihovih spontano porajajočih notranjih ritmov in naravnosti občutljivosti njihovih receptorjev, ki omogoča, da se spremembe zadržujejo znotraj razpona, ki še zagotavlja celicam svobodno delovanje. Hipotalamus, ki nadzoruje vsa omenjena dogajanja, je naravnan tako, da z vgrajenimi vrednostmi – za toploto, koncentracijo kisika, volumen plazme in koncentracijo anorganskih soli v njej in za koncentracijo glukoze v krvi – vzdržuje pogoje, ki omogočajo delovanje najbolj občutljivega dela organizma – možganov. Receptorji v hipotalamusu se vzdražijo, ko se poviša ali zniža telesna temperatura, ko se zniža tlak kisika v krvi, ko se zmanjša volumen plazme ali poveča koncentracija anorganskih snovi v njej ali, ko pade koncentracija glukoze v krvi (Lasan, 2005).

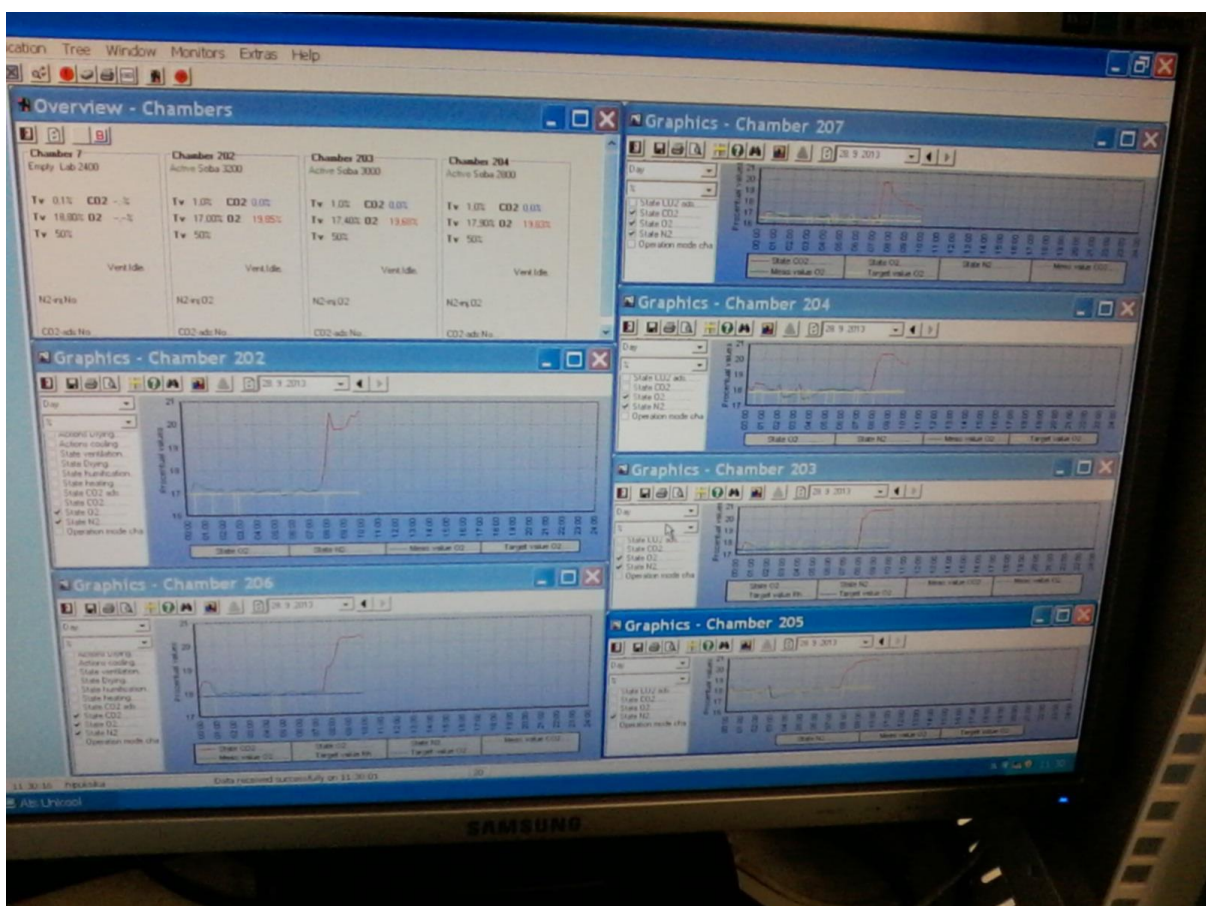
### **1.1.3. HIPOKSIČNA SOBA – VIŠINSKA SOBA**

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 (Žiberna in Gorjanc, 2002).

Višinsko hipoksijo lahko umetno vzpostavimo v višinski sobi, v kateri lahko tlak znižamo oziroma ustvarimo podtlak. Barokomore so zelo drage, potrebujejo veliko prostora in vključujejo veliko dodatne opreme.

Fiziološke 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. Tako mešanico zraka lahko pripravimo iz utekočinjenega plina (kisika in dušika), vendar so, glede na izgube, potrebne količine utekočinjenega plina velike (Vrhovec, Gorjanc in Mekljavič, 2002).



Slika 2. Vsebnost kisika po višinskih sobah (osebni arhiv).

## 1.2. VZDRŽLJIVOST

Med vsemi motoričnimi sposobnostmi je vzdržljivost tista, ki nam omogoča izvajati neko dalj časa trajajočo aktivnost, brez počitka zaradi utrujenosti. Na podlagi različnih psiholoških in bioloških osnov, lahko vzdržljivost razdelimo na tri vrste:

- **Hitrostna vzdržljivost:** sposobnost, s katero premagujemo največje napore v časovnem intervalu do 2 minuti.
- **Dolgotrajna vzdržljivost:** sposobnost, ki nam definira napore, ki trajajo od 3 minut do ene ure. Njena najpomembnejša biološka osnova so aerobni energijski procesi.
- **Superdolgotrajna vzdržljivost:** se od dolgotrajne razlikuje predvsem v trajanju (od ene ure do 8 ur ali celo več dni) in nekoliko manjši intenzivnosti napora (Ušaj, 1996).

### 1.2.1. DOLGOTRAJNA VZDRŽLJIVOST

Najpomembnejša biološka osnova dolgotrajne vzdržljivosti 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 porabljena energija sproti obnavljala. Zaradi tega tudi določajo zgornjo mejo intenzivnosti napora. Ta meja je pri aerobnih naporih najbolj natančno definirana z največjo porabo kisika med naporom ( $VO_{2max}$ ) (Ušaj, 1996).

### 1.2.2. NEKATERI OMEJITVENI DEJAVNIKI DOLGOTRAJNE VZDRŽLJIVOSTI

- **Aerobni in anaerobni energijski procesi:** energija za omenjeni napor se lahko sprošča le v aerobnih energijskih procesih. Mišice bolj vzdržljivih športnikov vsebujejo večji delež počasnih mišičnih vlaken.
- **Transport  $O_2$  in  $CO_2$  s krvjo:** potek biokemijskih 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 – poraba kisika:** je tisti pomemben dejavnik, ki določa, do katere stopnje 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 (CO<sub>2</sub>) in voda (H<sub>2</sub>O). Hkrati pa dokaj živahno potekajo tudi anaerobni energijski procesi, katerih glavni produkt je mlečna kislina – laktat (LA). Pri kratkotrajnem naporu dosega visoke vrednosti in povzroča acidozo. Ta pa ima ključno vlogo pri pojavu utrujenosti. Pri naporu, ki traja od 10 do 30 minut, vsebnost ni tako visoka, zato ne povzroča tako izrazite acidoze. Toda acidoza je še vedno tako izražena, da je dihalni sistem izrazito obremenjen. Z intenzivnim dihanjem organizem skuša zmanjšati stopnjo acidoze.
- **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.
- **Motivacija:** potrebno je dolgotrajnejše ohranjanje nekega srednje intenzivnega vzburljenja, za kar je potrebna specifična motivacija.
- **Okolje:** za dolgotrajno vzdržljivost so pomembni predvsem trije dejavniki: nadmorska lega, temperatura okolja in onesnaženost zraka (Ušaj, 1996).

### 1.3. CILJI IN HIPOTEZE

Namen diplomske naloge je ugotoviti, kako višinska vadba vpliva na izbrane funkcionalne sposobnosti in hematološke kazalce rekreativnega športnika. Od teh dejavnikov je posledično odvisna tudi sposobnost športnika z vidika vzdržljivosti.

Cilj, ki smo si ga zastavili je:

- Ugotoviti, ali in kako višinska vadba vpliva na izbrane hematološke kazalce in funkcionalne dejavnike v mirovanju in med naporom.

Na podlagi zastavljenih ciljev smo zastavili naslednje hipoteze:

- H1: Višinska vadba vpliva na povečanje hemoglobina (Hb) v krvi na višini in po prihodu z višine.
- H2: Višinska vadba pozitivno vpliva na izboljšanje izbranih funkcionalnih dejavnikov med naporom na višini in po prihodu z višine.

## **2. METODE DE LA**

### **2.1. PREISKOVANEC**

Vzorec raziskave predstavlja ena oseba, starosti 23 let. Njegova telesna višina je 179 cm, telesna teža pa 72 kg. Oseba je rekreativni športnik, brez zdravstvenih težav. S kolesarjenjem se pred tem ni nikoli ukvarjal. Celotna raziskava je potekala 5 tednov, od 2.9.2013 – 6.10.2013, od tega je merjenec preživel 22 dni v višinski sobi na Rogli (od 9.9 do 29.9.) in v teh dneh opravil 13 vadb na kolesu. V raziskavo se je prostovoljno vključil.

### **2.2. PRIPOMOČKI**

Za izvedbo testiranj so bili uporabljeni naslednji pripomočki:

Merjenec je test tekmo opravljal na gorskem kolesu, ki je bilo nameščeno na ergometerski trenažer (Tacx Bushido, Nizozemska). Trenažer je meril moč, frekvenco in hitrost kolesarjenja. Večstopenjski obremenilni test in neprekinjeni test do utrujenosti pa sta bila opravljena na cikloergometru Ergoline 900 (Sensor Medics, ZDA). Vadbe, ki so se izvajale na Rogli, je preiskovanec prav tako opravljal na trenažerju (Tacx Bushido), na katerem je bilo nameščeno gorsko kolo. Merjenec je med testiranjem uporabljal merilnik srčnega utripa (Polar, Finska). Dihalni kazalci (poraba kisika -  $Vo_2$  in  $V_E$ ) so bili merjeni s pomočjo naprave Sensor Medics (ZDA).

### **2.3. POSTOPEK**

#### **2.3.1. TESTIRANJA PRED VIŠINSKO VADBO**

Z raziskavo smo začeli 2.9.2013, ko je pri merjencu prišlo do prvega odvzema krvi. To je bilo šest dni pred odhodom na višinsko vadbo. Naslednji dan je merjenec opravil 20 km test tekmo na ergometerskem trenažerju, 4.9.2013 pa je opravil z meritvami v laboratoriju, kjer je dopoldan opravil večstopenjski obremenilni test, popoldan pa še neprekinjen test do utrujenosti. Vsi testi so bili opravljeni na Fakulteti za šport v Ljubljani. Po višinski vadbi so se vsi zgoraj omenjeni testi še enkrat ponovili po istem postopku, za primerjanje rezultatov pred in po višinski vadbi.

#### **ODVZEM KRVI**

Odvzemi krvi so bili izvedeni petkrat. Dvakrat pred višinsko vadbo, enkrat med višinsko vadbo in dvakrat po višinski vadbi (2.9., 6.9., 18.9., 30.9., 6.10.). Merjenec je prišel na odzem tešč, pred odvzemom je popil le nekaj vode. Prvi in drugi odzem sta potekala v fiziološkem laboratoriju na Fakulteti za šport, po standardnem

postopku. Sledila je natančna analiza krvi na Kliničnem inštitutu za klinično kemijo in biokemijo za izbrane hematološke kazalce (Hb, hematokrit - Ht in eritrocite) . Za analizo se je uporabljal hematološki analizator Advia 120.

Hematološki analizator Advia 120 omogoča analizo kompletne krvne slike na osnovi optičnih meritev sipanja svetlobe in citokemičnega barvanja (Osredkar, 2013).

## VEČSTOPENJSKI OBREMENILNI TEST

Test se je odvijal 4.9.2013 v dopoldanskih urah v laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport. Merjenec je dve uri pred testom pojedel obrok, tako da je lahko optimalno opravil s testiranjem, prav tako je pred testom poskrbel za dobro hidracijo (voda), saj med testom ni mogoče zaužiti tekočine. Merjenec si je namestil merilnik srčnega utripa (Polar, Finska) ter sedel na cikloergometer Ergoline 900 (Sensor Medics, ZDA). Pred testom je bila izmerjena tudi njegova telesna teža (71kg) ter telesna višina (179cm). Test se je po ogrevanju začel na 40W, ki jih je merjenec poganjal s frekvenco 70 obratov na minuto. Vsake nadaljnje štiri minute se je obremenitev povečala za 40W. Pri vsaki obremenitvi se je sproti beležilo LA v krvi, ki je bil odvzet iz ušesne mečice in analiziran s pomočjo laktatnega analizatorja (DRLANGE, Nemčija), FSU (Polar, Finska),  $VO_2$  in  $V_E$  (Sensor Medics, ZDA). Merjenec je zadnje štiri minute opravil na obremenitvi 280W.



Slika 3. Testiranje v laboratoriju (osebni arhiv).

## NEPREKINJEN TEST DO UTRUJENOSTI

Neprekinjen test do utrujenosti se je odvijal prav tako 4.9.2013. Ker smo želeli, da je merjenec kar se da spočit po večstopenjskem obremenilnem testu, je test potekal šele v popoldanskih urah. Test poteka tako, da merjenec po ogrevanju prične s tisto obremenitvijo, ki jo je še lahko v celoti dokončal na večstopenjskem obremenilnem testu. V našem primeru je bilo to 280W. Ogrevanje je potekalo 10 minut na 100W obremenitve, frekvenca vrtenja pa je bila 70 obratov na minuto. Merjenec pri tem testu skuša maksimalno obremenitev premagovati čim dlje časa. Kazalce, ki so nas zanimali, smo izmerili pri ogrevanju in nato na vsake tri minute (3, 6, 9), dokler je merjenec še uspel premagovati zahtevano obremenitev. Spremljali smo naslednje kazalce: LA, FSU,  $VO_2$  in  $V_E$ . Merjenec je na testu zdržal 9 minut. Po maksimalni obremenitvi je za zaključek testa sledila še 4 minutna regeneracija.



Slika 4. Večstopenjski obremenilni test (osebni arhiv).



## 2.3.2. VADBA IN BIVANJE NA ROGLI

V diplomski nalogi so predstavljeni rezultati enega izmed merjencev, ki je sodeloval v raziskavi na Rogli. Vseh merjencev je bilo deset. Merjenec je na Roglo prišel v nedeljo, 8.9.2013. Po kosilu je opravil test tekmo na normalni nadmorski višini Rogle, nato pa se je namestil v višinsko sobo. V vsaki sobi sta bivala po dva merjenca skupaj. Merjenec je moral vsak dan zjutraj in zvečer izmeriti FSU, SaO<sub>2</sub> v krvi in odčitati količino kisika v sobi, ki jo je merila posebna naprava, nameščena v sobi. Vsako jutro je pred zajtrkom opravil tudi obvezno tehtanje, zvečer pa je zabeležil tudi število ur, ki jih je čez dan preživel v višinski sobi.

Tabela 1. Dnevnik bivanja in vadbe na Rogli.

DATUM	FS mir	SaO <sub>2</sub> mir	TT	P(W) avg.	FS avg.	W/kg	KOMENTAR
9.sep	50	98	71,5	171,6	149,91	2,4	
10.sep	54	95	71,7	243,36	163,36	3,39	
11.sep	58	95	71,7	počitek			
12.sep	54	96	70,8	211,09	166,91	2,98	
13.sep	60	95	70,9	219,63	166,6	3,1	
14.sep	54	95	71,5	227,82	167,91	3,19	
15.sep	54	97	71,2	počitek			
16.sep	52	96	74,3	237,45	166	3,2	
17.sep	54	92	71,4	244,91	169,91	3,43	
18.sep	54	96	70,6	počitek			
19.sep	56	92	71,4	224	172,83	3,14	zbudil se je utrujen
20.sep	54	92	71,5	235,91	174,55	3,3	
21.sep	54	95	70,7	243,2	170,8	3,44	
22.sep	56	91	71,1	počitek			
23.sep	54	95	71,9	241,45	171	3,36	
24.sep	58	95	71,6	ni vadil			prebavne motnje-ni vadbe
25.sep	54	92	70,7	počitek			
26.sep	53	93	70,4	234,73	174,55	3,33	po 20 min ga je odrezalo.utrujenost
27.sep	60	94	70,7	počitek			
28.sep	60	94	71	232,64	174,55	3,28	
29.sep	63	94	71,2				

Urnik aktivnosti je zajemal pet vadb na teden, ter dva prosta dneva, ki sta bila namenjena počitku in regeneraciji. To sta bila sreda in nedelja. Merjenec je vstajal ob 7h zjutraj, sledil je zajtrk in nato vadbo na trenažerju, največkrat ob 8.30. Po vadbi je sledil počitek, pri katerem je merjenec skušal čim več časa preživeti v višinski sobi. Običajen dan je zajemal 4 obroke, vadbo in počitek. Število ur, ki jih je merjenec na dan preživel v višinski sobi se je gibalo od 15 do 19 ur dnevno. Merjenec je imel vsak dan na razpolago tudi bazen ter savno, ki jo je uporabljal večer pred prostim dnevom, saj nismo hoteli da bi savna negativno vplivala na njegovo vadbo. Na voljo je bil tudi fitness, v katerem je občasno izvajal vaje za moč. Ob prostih dneh je največkrat izbral aktivni počitek, ki je vseboval daljši sprehod ali rekreacijo v dvorani. Merjenec je med bivanjem na Rogli imel nekaj zdravstvenih težav, zato je izpustil eno vadbo, prav tako

je zaradi tega en dan preživel v Ljubljani in tisti dan ni bil izpostavljen hipoksičnim pogojem.

Vadba, ki jo je merjenec opravil, je bila zastavljena tako, da merjenec v eni uri na trenažerju opravi čim več dela, ki ga je tisti dan sposoben opraviti na trenažerju. Najprej je sledilo 5 minutno ogrevanje, nato pa ena ura vadbe. Med samimo vadbo se je vsakih pet minut beležila FSU, SaO<sub>2</sub> in pa moč (P), ki jo je merjenec proizvedel na trenažerju.

Tabela 2. Urnik aktivnosti na Rogli (Aleksej Dolinšek, 2013).

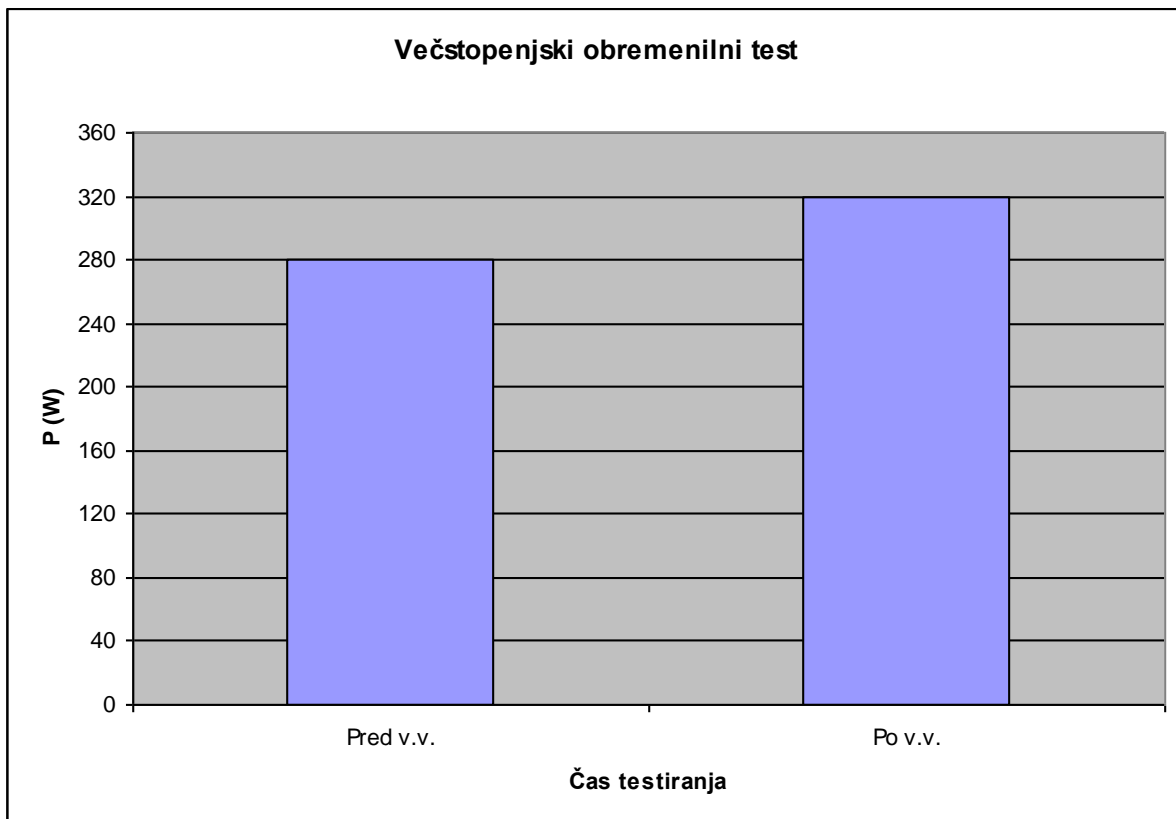
Razpored aktivnosti projekt KROP (8.-28. september 2013)							
ura/dan	ponedeljek	torek	sreda	četrtek	petek	sobota	nedelja
7:30-8:30	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk	zajtrk
8:30-13:00	trening	trening		trening	trening	trening	
13:00-14:00	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo	kosilo
15:30-16:00	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

### 3. REZULTATI IN RAZPRAVA

V nadaljevanju bodo predstavljeni rezultati testov, ki smo jih opravili pred, med in po višinski vadbi. Primerjane so določene spremenljivke, ki smo jih spremljali med naporom, na podlagi katerih bomo lahko primerjali, kakšna je razlika pred in po višinski vadbi.

V drugem delu bodo predstavljeni še rezultati nekaterih hematoloških spremenljivk, ki smo jih spremljali, na podlagi katerih bomo skušali ugotoviti, kakšen vpliv je povzročila višinska vadba in samo bivanje na višini na določene hematološke spremenljivke.

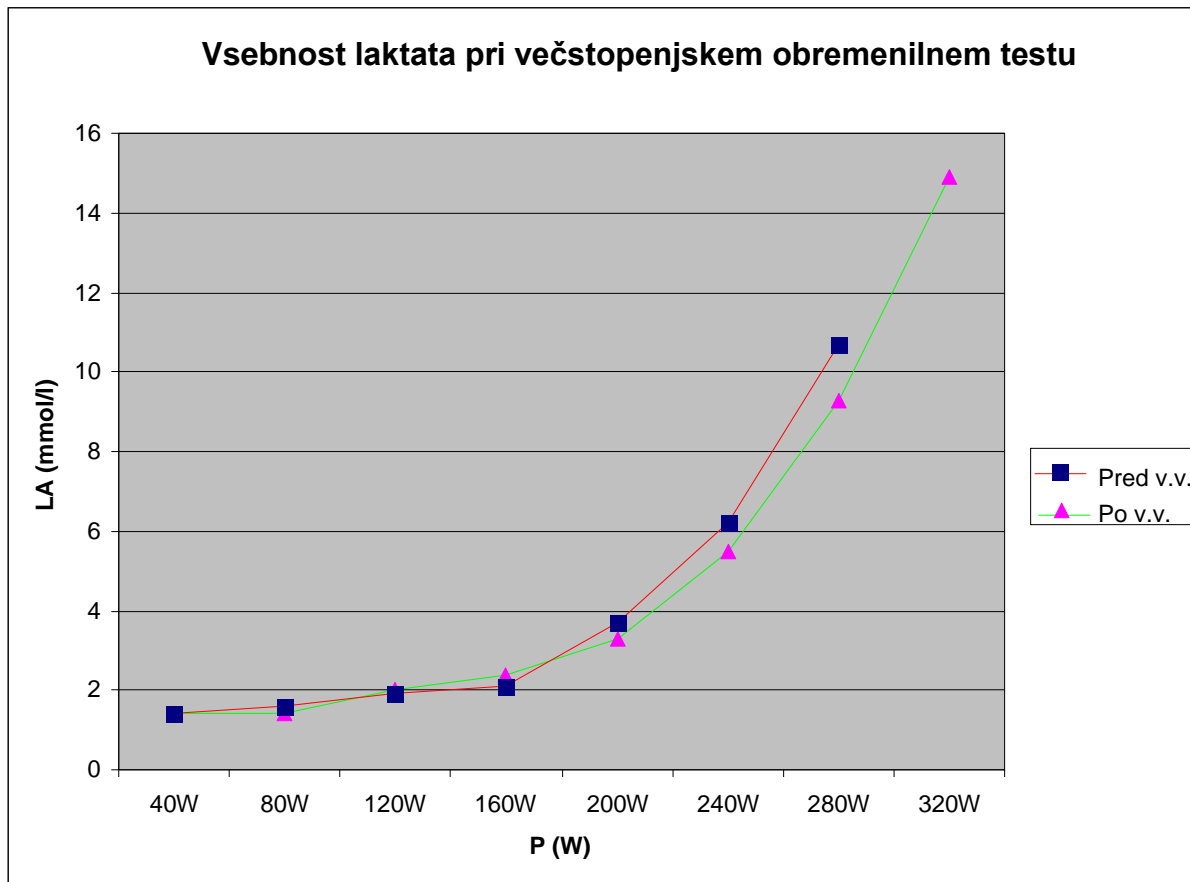
#### 3.1. VEČSTOPENJSKI OBREMENILNI TEST PRED VIŠINSKO VADBO IN PO NJEJ



Slika 5. Najvišja dosežena obremenitev na večstopenjskem obremenilnem testu.

Merjenec je pred odhodom na višinsko vadbo na večstopenjskem obremenilnem testu zdržal do obremenitve 280W. Po prihodu z višine je merjenec uspel zdržati do obremenitve 320W, ki jo je zdržal 2 minuti. Po višinski vadbi je merjenec uspel povečati moč vrtenja na cikloergometru za 40W. Tega izboljšanja pa ne moremo pripisati izpostavljenosti hipoksičnim pogojem, ampak je to spremembo verjetno povzročil že sam vadbeni proces, ki mu je bil merjenec izpostavljen v času višinske vadbe.

### 3.1.1. LAKTAT

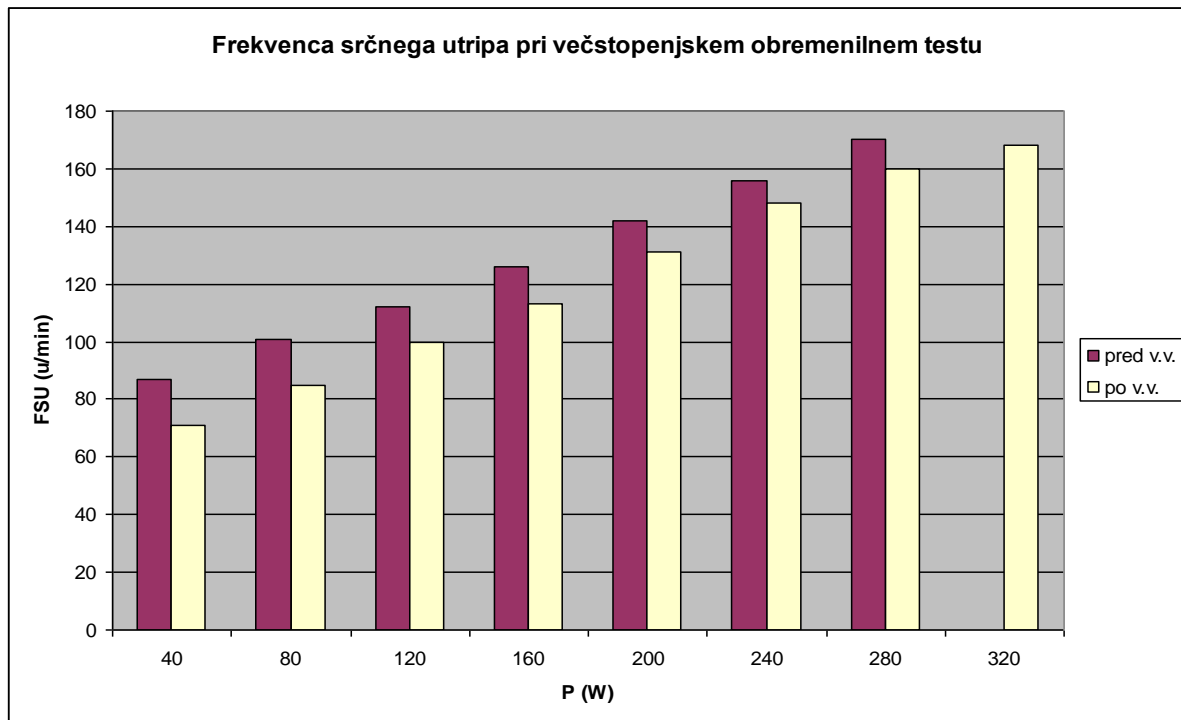


Slika 6. Vsebnost laktata (LA) med večstopenjskim obremenilnim testom.

Merjenec je pred višinsko vadbo na večstopenjskem obremenilnem testu pri obremenitvi 280W dosegel vsebnost LA 10,7 mmol/l. Po višinski vadbi je njegova vsebnost LA v največji obremenitvi 320W znašala 14,9 mmol/l. Pri nižjih obremenitvah v prvih 15 minutah razlika v LA ni močno izražena. Pri obremenitvi 160W je merjenec imel po višinski vadbi večjo vsebnost LA. Razlike se pojavijo okrog 200W, oziroma okrog 4 mmol/l. Po tej meji laktatna krivulja počasneje narašča in pri 280W je razlika v vsebnosti laktata 1,4 mmol/l.

Vrednosti LA so bile pri nižjih obremenitvah na testu podobne, medtem ko se je nad vrednostmi laktatnega praga krivulja pomaknila v desno, kar pomeni, da je bil LA pri enaki obremenitvi nižji. Verjetno je k temu pripomogel način vadbe na višini, ki je bil visoko intenziven in je posledično povzročil pozitivne spremembe pri višjih obremenitvah. Ali je bila to posledica vadbe na višini ali same vadbe ne moremo z gotovostjo reči, saj tudi sicer visoko intenzivna vadba povzroči te spremembe (Štrumbelj, 1994).

### 3.1.2. FREKVENCA SRČNEGA UTRIPA

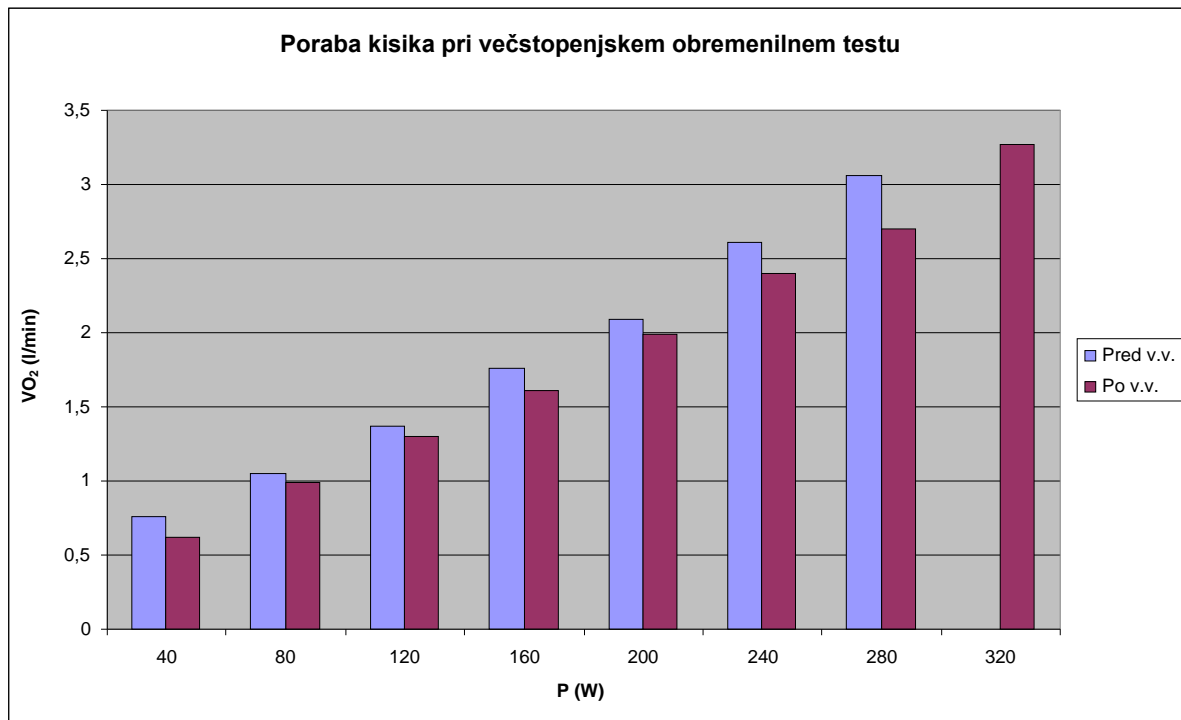


Slika 7. Frekvenca srca (FSU) med večstopenjskim obremenilnim testom.

FSU med obremenitvijo se je pri merjencu po višinski vadbi pri vseh obremenitvah zmanjšala. Pri obremenitvi 280W je njegov pulz po višinski vadbi znašal 160, kar je kar 10 utripov na minuto manj, kot jih je imel na testu, preden se je odpravil na višinsko vadbo. Največja razlika v FSU je bila pri merjencu opazna pri prvih dveh obremenitvah (40 in 80W), kjer je razlika znašala 16 utripov na minuto.

Študija tekačev (Levine, 1997) je pokazala, da so tekači, ki so bili izpostavljeni višinski vadbi, svojo FSU bolj znižali (za 2 utripa) kot tekači, ki niso bili izpostavljeni hipoksičnim pogojem. Zato lahko na podlagi te študije potrdimo naše rezultate, le da se je pri nas razlika v FSU občutneje povečala. To lahko pripišemo tudi temu, da merjenec ni bil vrhunsko trenirani športnik, ampak rekreativec. Pri treniranih športnikih so namreč vplivi vadbe na funkcionalne dejavnike manjši, kot pri netreniranih (Henderson, 2012).

### 3.1.3. PORABA KISIKA

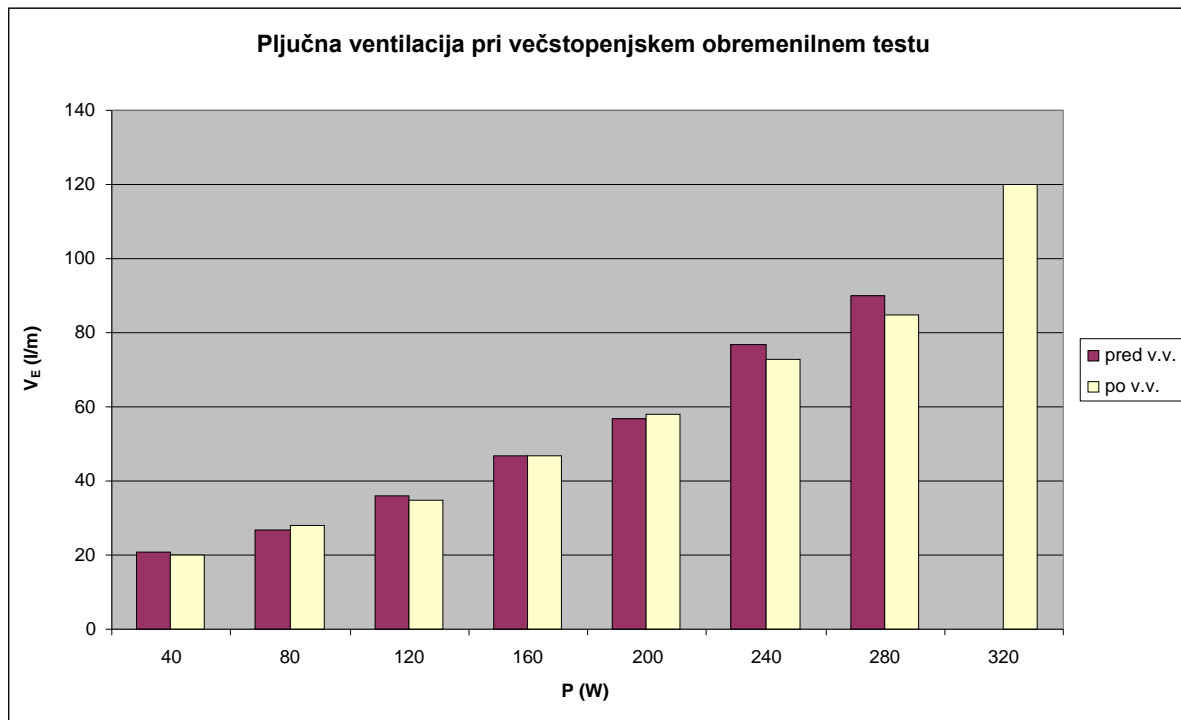


Slika 8. Poraba kisika ( $VO_2$ ) med večstopenjskim obremenilnim testom.

Merjenec je imel pred višinsko vadbo  $VO_2$  na 280W 3,061 l/min, po višinski vadbi pa je za premagovanje iste obremenitve porabil 2,699 l/min.  $VO_2$  pri merjencu se je pri najvišji obremenitvi zmanjšala za prib. 0,6 l/min. Po višinski vadbi je njegov  $VO_2$  na 320W obremenitve znašal 3,270 l/min. Merjenec je pri vseh obremenitvah imel po višinski vadbi nižji  $VO_2$ .

Troup (1990) je v svoji raziskavi ugotovil, da je lahko  $VO_2$  po prihodu z višine zelo različna, vendar naj bi bila po 7-12 dneh nižja, kot je bila pred višinsko vadbo. Robertson idr.,(2010) pa so na polprofesionalnih tekačih, ki so bili 21 dni izpostavljeni hipoksičnim pogojem po 14 ur dnevno dokazali, da so tisti, ki so bili izpostavljeni višinskim pogojem tudi izboljšali svoj  $VO_{2MAX}$  v primerjavi z ostalimi, ki niso bili deležni višinske vadbe.

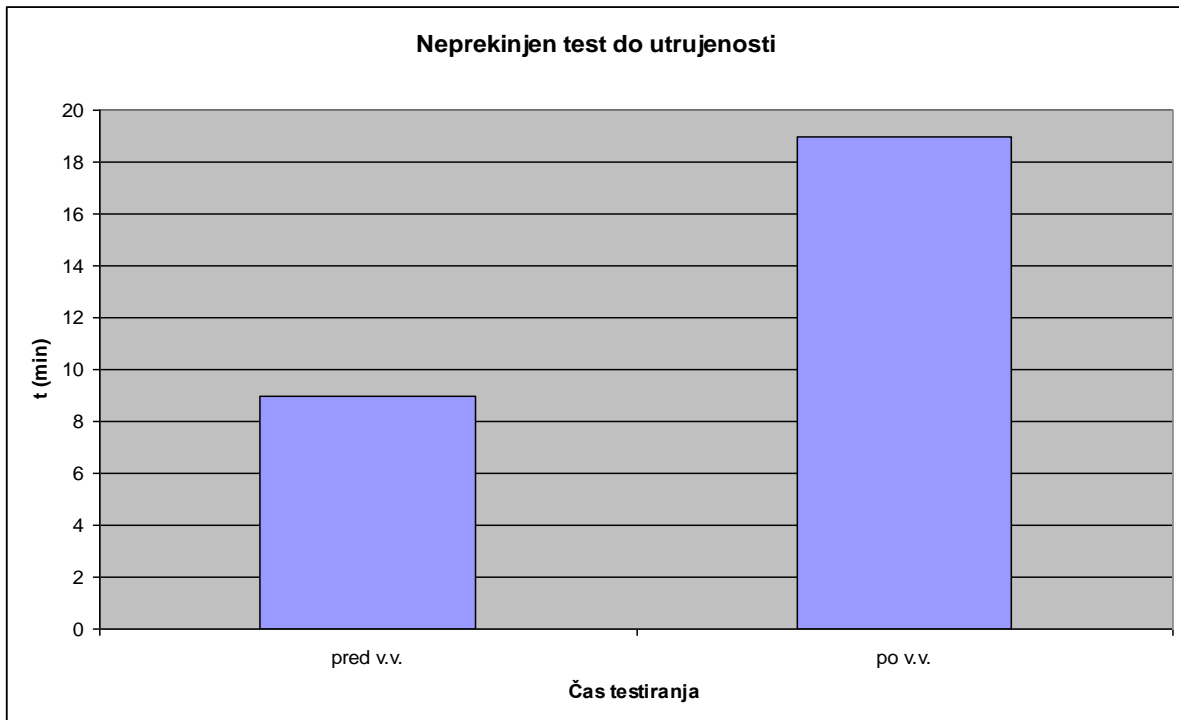
### 3.1.4. PLJUČNA VENTILACIJA



Slika 9. Pljučna ventilacija ( $V_E$ ) med večstopenjskim obremenilnim testom.

Večjih razlik v spremembi  $V_E$  v prvih 20 minutah ni bilo zaznati. Pri obremenitvi 80W in 200W je bila  $V_E$  po višinski vadbi rahlo povečana, na 160W obremenitve pa je tako pred kot tudi po višinski vadbi  $V_E$  znašala 47 l/min. Največja razlika v znižanju  $V_E$  se je pokazala pri najvišjih obremenitvah (240W in 280W). Na obremenitvi 280W je tako  $V_E$  pred višinsko vadbo znašala 90 l/min, po višinski vadbi pa 85 l/min. Predvsem pri višjih obremenitvah lahko opazimo zmanjšanje  $V_E$ , kar pomeni, da je merjenec za enako obremenitev predihal manj zraka in zgloda, da je vadba povzročila večjo racionalizacijo z vidika  $V_E$  pri enakih obremenitvah.

### 3.2. NEPREKINJEN TEST DO UTRUJENOSTI

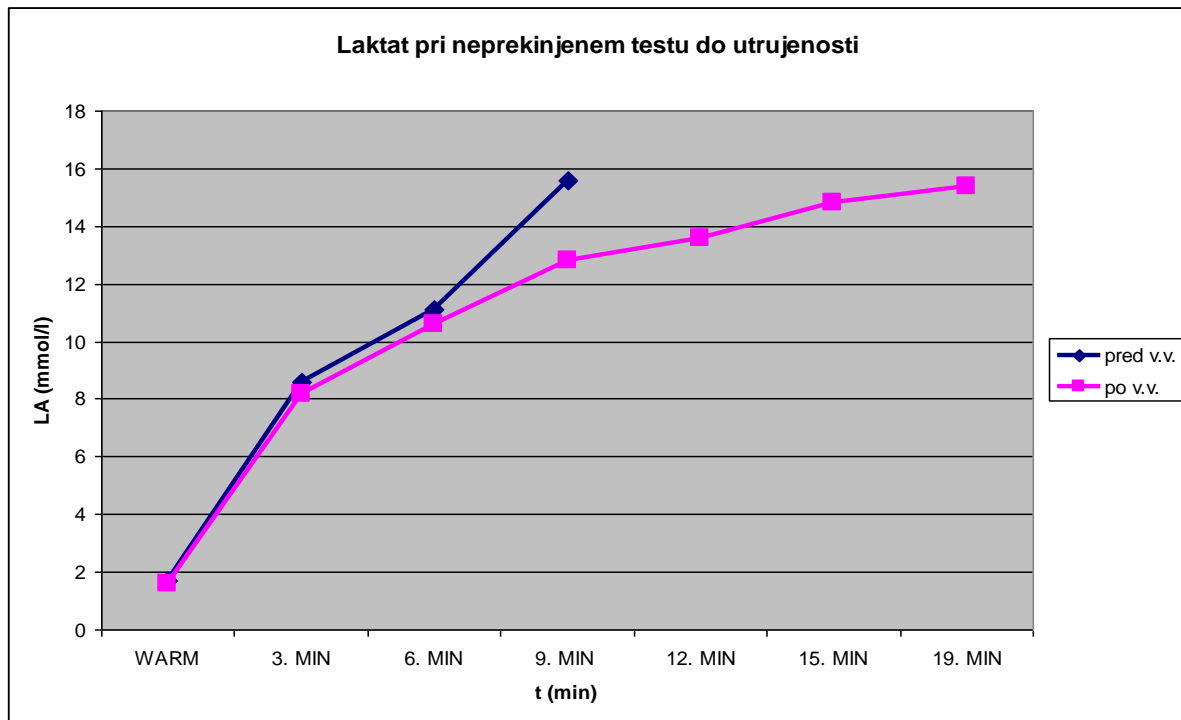


Slika 10. Čas kolesarjenja (t) med neprekinjenim testom do utrujenosti pri dani obremenitvi.

Merjenec je med neprekinjenim testom do utrujenosti pred višinsko vadbo zdržal 9 minut, po višinski vadbi pa 19 minut. Ker je ergometer po 19 minutah odpovedal, ni mogel nadaljevati s testom, vendar bi merjenec s testom lahko še nadaljeval. Merjenec je tako po višinski vadbi bistveno izboljšal svoje rezultate. Ali je pozitivna sprememba v rezultatih posledica višinske vadbe ali posledica samega trenažnega procesa, ne moremo reči.



### 3.2.1. LAKTAT

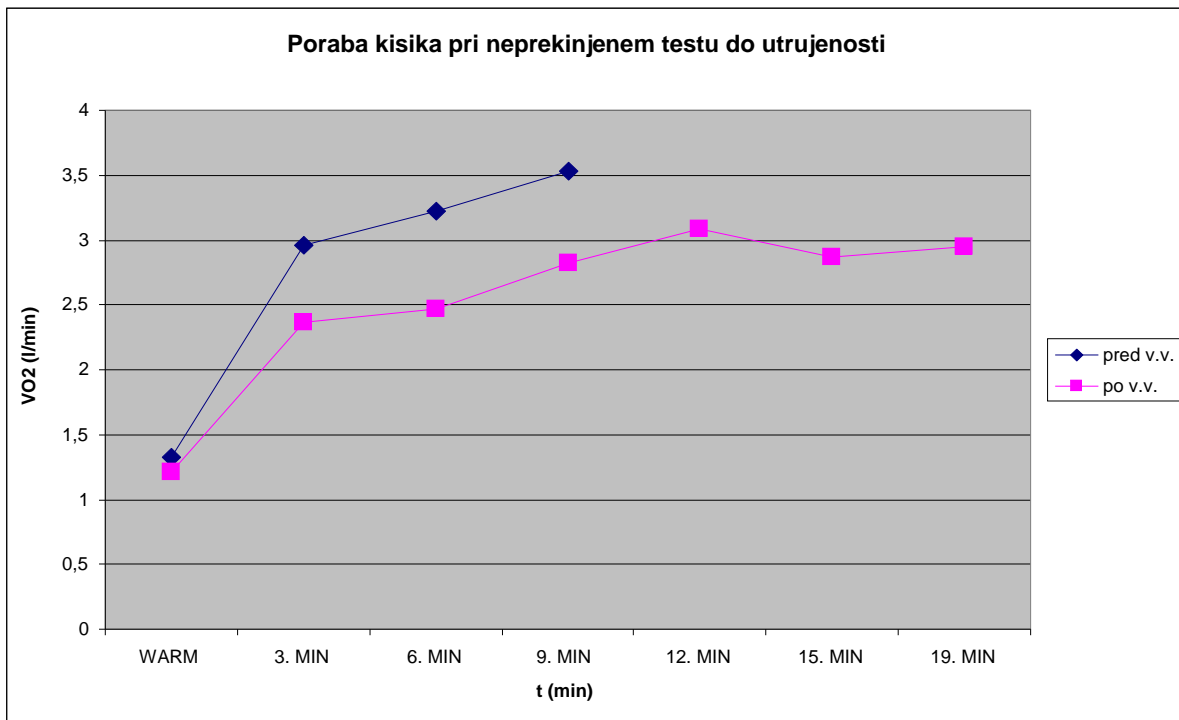


Slika 11. Laktat (LA) med neprekinjenemu testu do utrujenosti.

Merjenec je pred višinsko vadbo po devetih minutah dosegel vsebnost LA 15,6 mmol/l. Po višinski vadbi je LA po devetih minutah na isti obremenitvi znašal 12,8 mmol/l. Po 19-ih minutah na testu je LA pri merjencu znašal 15,4 mmol/l. Merjenec je po višinski vadbi zdržal na enaki obremenitvi še deset minut več, vendar je bila vsebnost LA še vedno nižja od tiste, ki jo je dosegel pred višinsko vadbo po devetih minutah na neprekinjenem testu. Po treh minutah je LA pred in po višinski vadbi ostal skoraj nespremenjen, prav tako tudi po 6-ih minutah, čeprav je ves ta čas opazen trend zniževanja. Kasneje pa se je pojavila velika razlika, saj se krivulja, ki prikazuje vsebnost LA po višinski vadbi ni povzpela tako strmo kot krivulja, ki prikazuje vsebnost LA pred višinsko vadbo.

Gore idr., (2001) so zaznali izrazito znižanje vsebnosti LA po opravljeni višinski vadbi, na drugi strani pa Robertson (2010) tega znižanja glede na kontrolno skupino ni zaznal. Lahko bi rekli, da je veliko odvisno tudi od same odzivnosti posameznika na višinsko vadbo, vsekakor pa tudi sama vadba v določeni meri vpliva na znižanje vsebnosti LA.

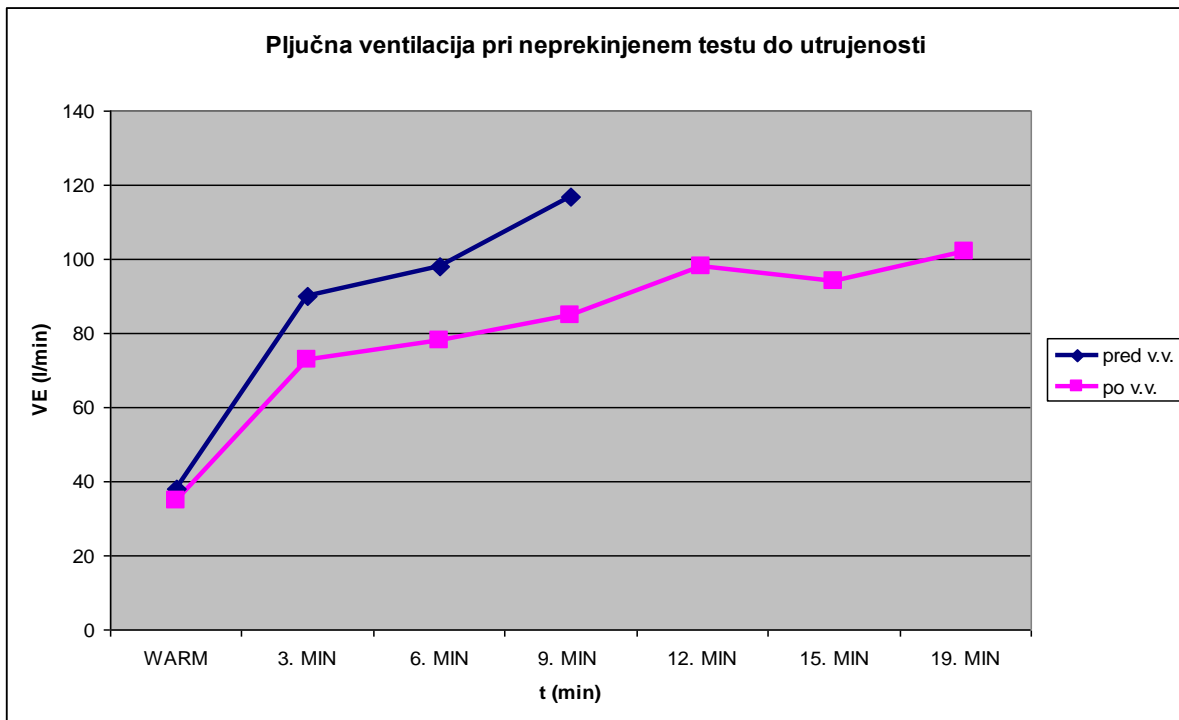
### 3.2.2. PORABA KISIKA



Slika 12. Poraba kisika (VO<sub>2</sub>) med neprekinjenim testom do utrujenosti.

Merjenec je po višinski vadbi pri enaki obremenitvi in času znižal VO<sub>2</sub>. Po devetih minutah na 280W obremenitve se je VO<sub>2</sub> zmanjšala za 0,71 l/min. Zanimivo je, da se je merjencu pri 15 minuti VO<sub>2</sub> glede na vrednost pri 12 minuti, zmanjšala. Tudi vrednost ob koncu merjenja kaže na nižjo vrednost, kot jo je merjenec imel pri 12 minuti.

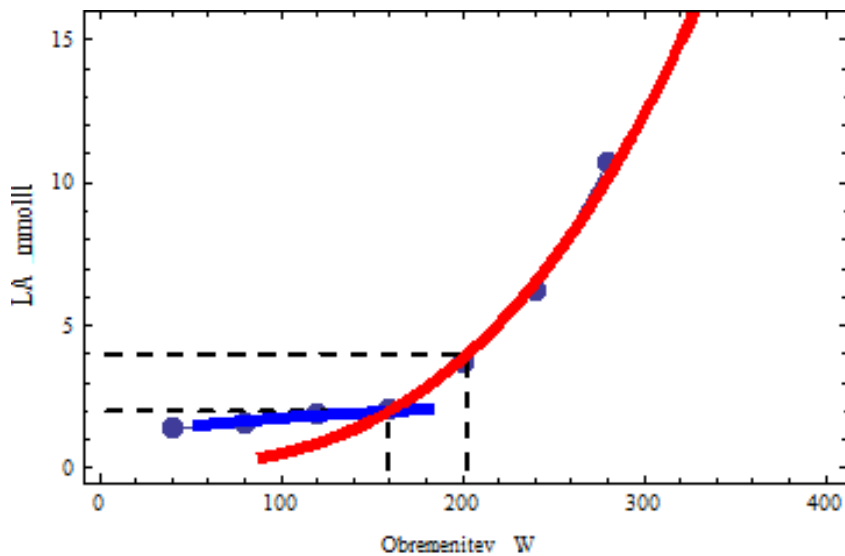
### 3.2.3. PLJUČNA VENTILACIJA



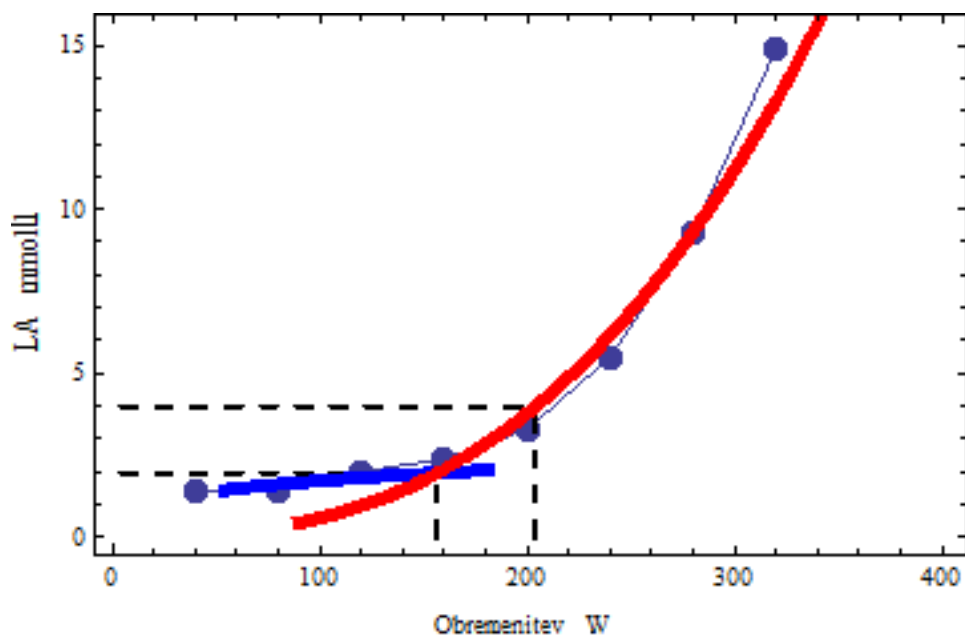
Slika 13. Pljučna ventilacija ( $V_E$ ) med neprekinjenim testom do utrujenosti.

Merjenec je po višinski vadbi zmanjšal  $V_E$ . Graf je zelo podoben prejšnjemu grafu, ki prikazuje  $VO_2$ .  $V_E$  je po 9-ih minutah na 280W obremenitve po višinski vadbi znašala 85 l/min, pred višinsko vadbo pa 117 l/min. Razlika je znašala kar 32 l/min. Po 19-ih minutah je  $V_E$  znašala 102 l/min.

### 3.3. LAKTATNI PRAG IN OBLA

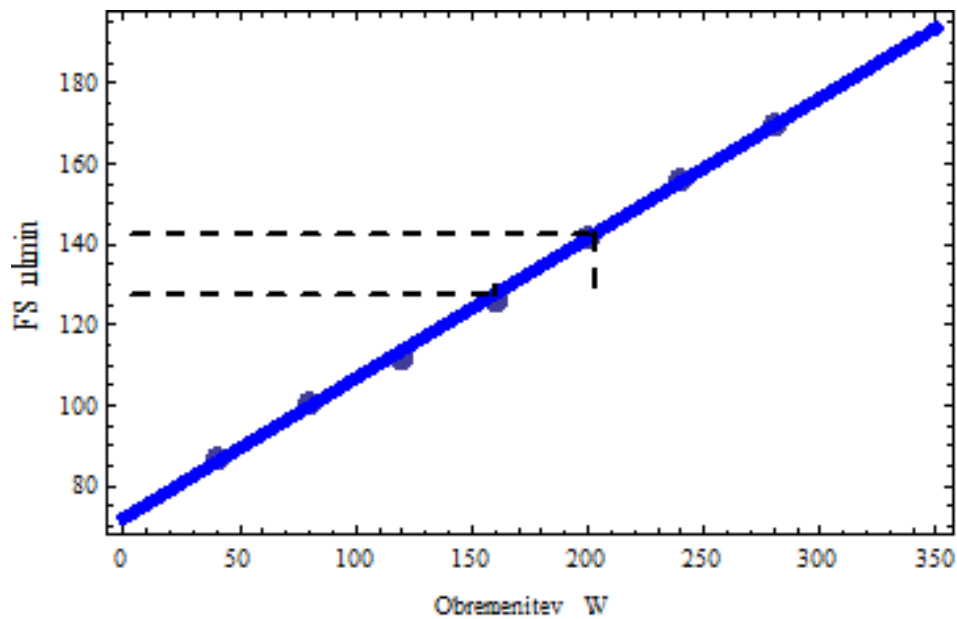


Slika 14. Laktatni prag in OBLA glede na obremenitev pred višinsko vadbo.

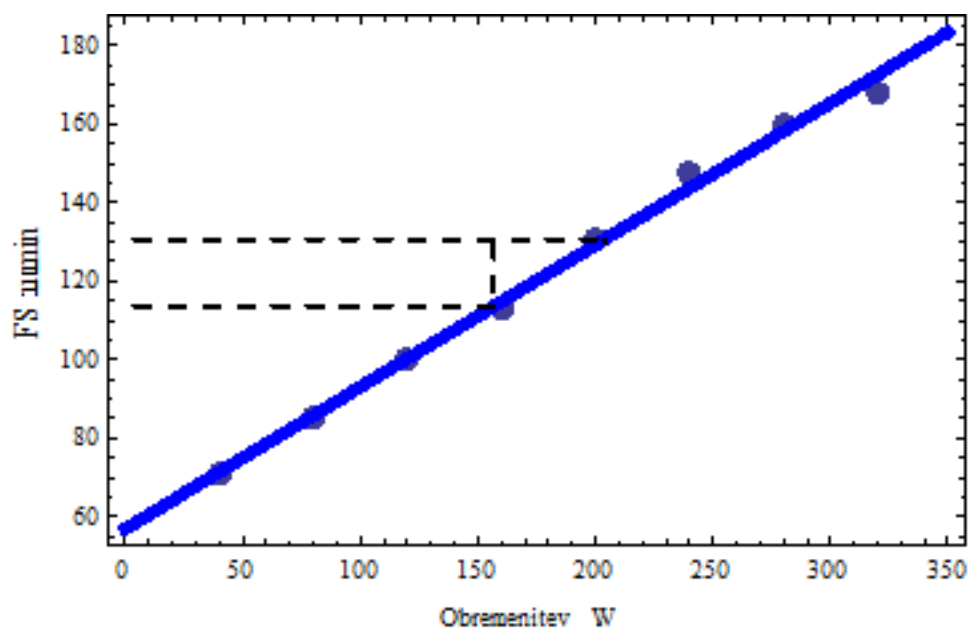


Slika 15. Laktatni prag in OBLA glede na obremenitev po višinski vadbi.

Na Sliki 14 in Sliki 15 lahko opazimo, da do večjih sprememb ni prišlo. Obremenitev, pri kateri je merjenec prišel do laktatnega praga (LP) po višinski vadbi, je bila celo za 2W nižja, kar ni v skladu z pričakovanji. Obremenitev, pri kateri je merjenec dosegel OBLO (onset of blood lactate accumulation), se je po višinski vadbi povečala le za 1W. V obeh primerih lahko rečemo, da gre za zanemarljive spremembe.



Slika 16. Frekvenca srca (FS) pri laktatnem pragu in OBLI pred višinsko vadbo.



Slika 17. Frekvenca srca (FS) pri laktatnem pragu in OBLI glede na frekvenco srca po višinski vadbi.

Kot lahko opazimo na Sliki 16 in Sliki 17, se je FSU po višinski vadbi tako pri laktatnem pragu, kot tudi pri OBLI občutno znižala.

Tabela 3. Rezultati laboratorijskih meritev pragov

	Pred višinsko vadbo	Po višinski vadbi
LA <sub>LP</sub> (mmol/l)	2	1,97
Obremenitev LP (W)	159	157
Obremenitev OBLA (W)	203	204
FS LP (u/min)	128	113
FS OBLA (u/min)	142	130

Tabela 3 kaže spremembe v FSU in v obremenitvi, pri katerih sta se pri merjencu pred in po višinski vadbi pojavila LP in OBLA. Iz teh podatkov lahko vidimo, da je prišlo predvsem do znižanja FSU pri obeh pragovih, manj pa do sprememb v presnovi.

Na podlagi rezultatov lahko H2 sprejmemo, saj so se izboljšali vsi funkcionalni dejavniki, ki smo jih spremljali. Posledično se je zato izboljšal tudi rezultat večstopenjskega in neprekinjenega testa do utrujenosti.

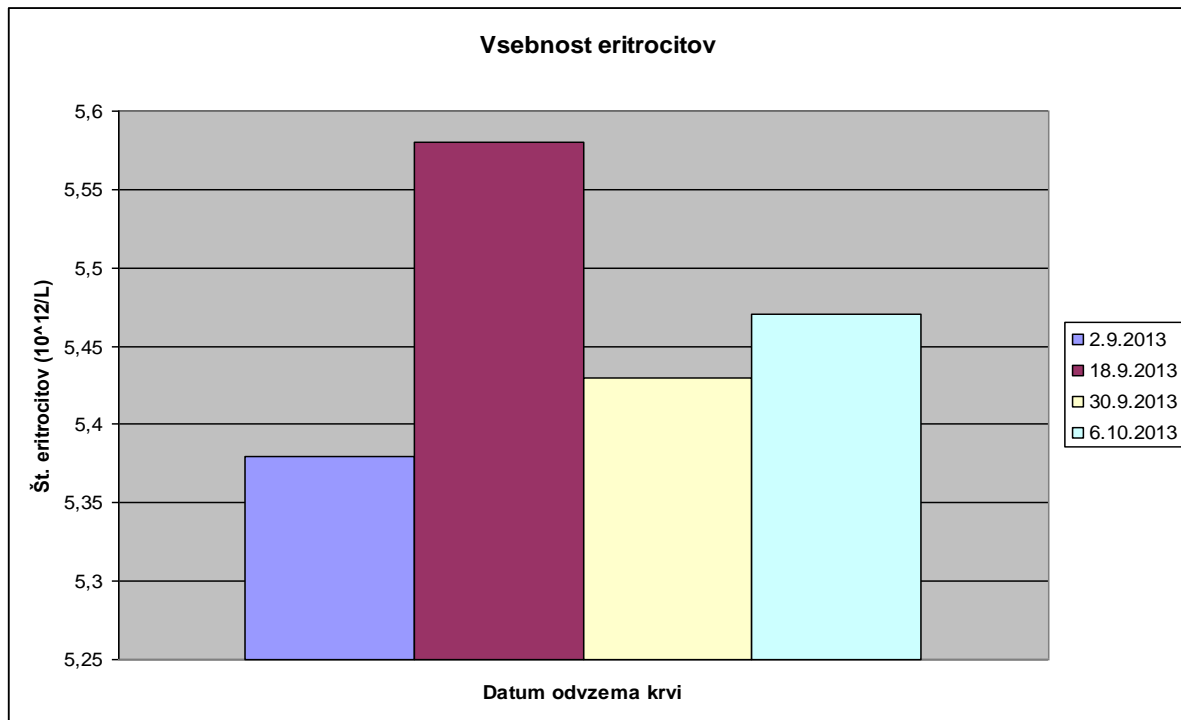
### 3.4. HEMATOLOŠKE SPREMEMBE

Kri je tekoče tkivo, v katerem so krvne celice (krvničke, krvna telesca) v medceličnini, imenovani plazma. Krvna telesca predstavljajo približno 45% (hematokrit), krvna plazma pa 55% celotne krvi (Finderle, Štiblar Martinčič, 2012).

Višinska vadba ima, za razliko od vadbe na normalni nadmorski višini, zaradi specifičnih pogojev vpliv tudi na hematološke dejavnike. Znižanje pO<sub>2</sub>, ki se pojavi z večanjem nadmorske višine, lahko povzroči spremembo sestave krvi. Predstavljeni bodo rezultati štirih odvzemov krvi, na podlagi katerih bomo ugotovili, kakšne so spremembe, ki so nastale zaradi vpliva bivanja na višina.

Dostava kisika je ključna za vse napore, daljše od nekaj sekund. Oksiforna kapaciteta krvi, delovanje srca in pretok krvi določajo, kakšno zalogo kisika dobijo mišične celice (Mazzeo, 2008). Okisforna kapaciteta krvi določa količino kisika, ki jo sprejme volumenska enota krvi. Odvisna je od koncentracije Hb (moški 160 g/l; ženske 140 g/l krvi) in njegove sposobnosti vezave kisika (1g Hb veže 1,34 ml O<sub>2</sub>). Ko se večja koncentracija Hb, se večja oksiforna kapaciteta krvi (Lasan, 2005).

### 3.4.1 ERITROCITI



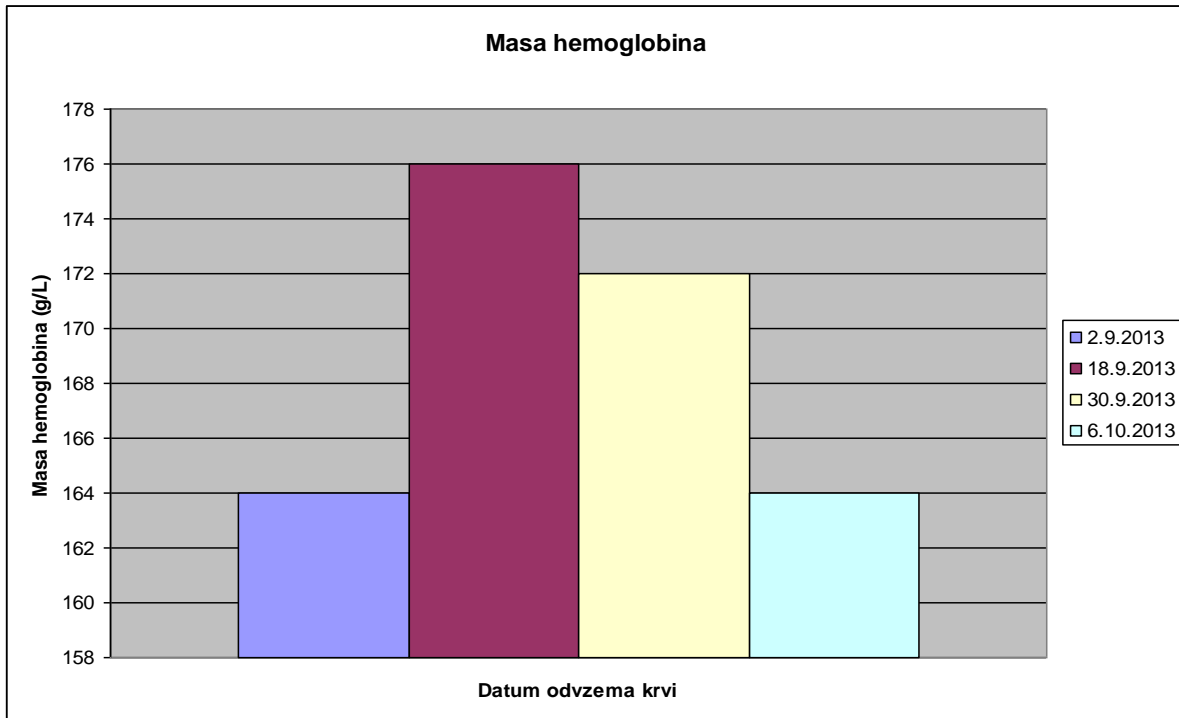
Slika 18. Vsebnost eritrocitov glede na datum odvzema krvi.

Eritrociti nastajajo (eritropoeza) v rdečem kostnem mozgu, ki se pri odraslih nahaja v ploščatih kosteh glave, kosteh medenice, rebrih in grodnici. Za njihovo nastajanje je nujno potrebno železo. Nastajanje eritrocitov vzpodbudi tudi hormon eritropoetin (EPO), ki ga izloča ledvično tkivo v razmerah hipoksije. Glavna naloga eritrocitov je prenašanje kisika, v njih se ogljikov dioksid pretvori v bikarbonatni ion. Življenjska doba eritrocitov je med 80 in 120 dni (Finderle, Štiblar Martinčič, 2012). V litru krvi jih je  $4,5-5,5 \times 10^{12}$ . Vseh je 25.000 milijard. Iz njih bi nastala 200.000 km dolga nit. Razprti bi pokrili 3200 kvadratnih metrov. Vsako sekundo jih razpade 2-3 milijone in prav toliko jih tudi nastane (Lasan, 2005).

Pri merjencu se je vsebnost eritrocitov po desetih dneh bivanja na višini povečala iz 5,38 na 5,58, kar kaže na to, da je zaradi hipoksičnih pogojev telo začelo z pospešenim izločanjem hormona EPO, ki je vzpodbudil nastajanje eritrocitov. Ugotovimo lahko, da je bil merjenec dovolj časa izpostavljen hipoksičnim pogojem, saj je v sobi preživel od 15-19 ur dnevno, kar je imelo vpliv tudi na povečanje števila eritrocitov. Kasneje je vsebnost eritrocitov nekoliko padla, ko pa je merjenec zaključil z višinsko vadbo, se je vsebnost spet nekoliko povečala.

Rezultati raziskav, ki se ukvarjajo z preučevanjem hematoloških parametrov (Richalet in Gore, 2008), se velikokrat razlikujejo, predvsem zaradi razlike v dnevni izpostavljenosti hipoksičnim pogojem. Študije, ki vključujejo izpostavljenost hipoksiji med 12 do 17 ur dnevno, kažejo na povečanje volumna eritrocitov (Robach idr., 2006). Študije, ki preiskujejo krajše dnevne izpostavljenosti, od 6 do 12 ur na dan, pa niso pokazale nobenih sprememb v masi Hb (Saunders idr., 2004) ali v številu retikulocitov (Ashenden, Gore, Dobson in Hahn, 1999).

### 3.4.2. HEMOGLOBIN



Slika 19. Koncentracija hemoglobina (Hb) glede na datum odvzema krvi.

Kisik se v krvi prenaša vezan na Hb (98%) in v topni obliki (2%). Hb izpolnjuje rdeče krvničke in je sestavljen iz dveh delov: beljakovinskega (globin) in nebeljakovinskega (hem). Vezava kisika na železo v hemoglobinu se imenuje oksigenacija (Lasan, 2005).

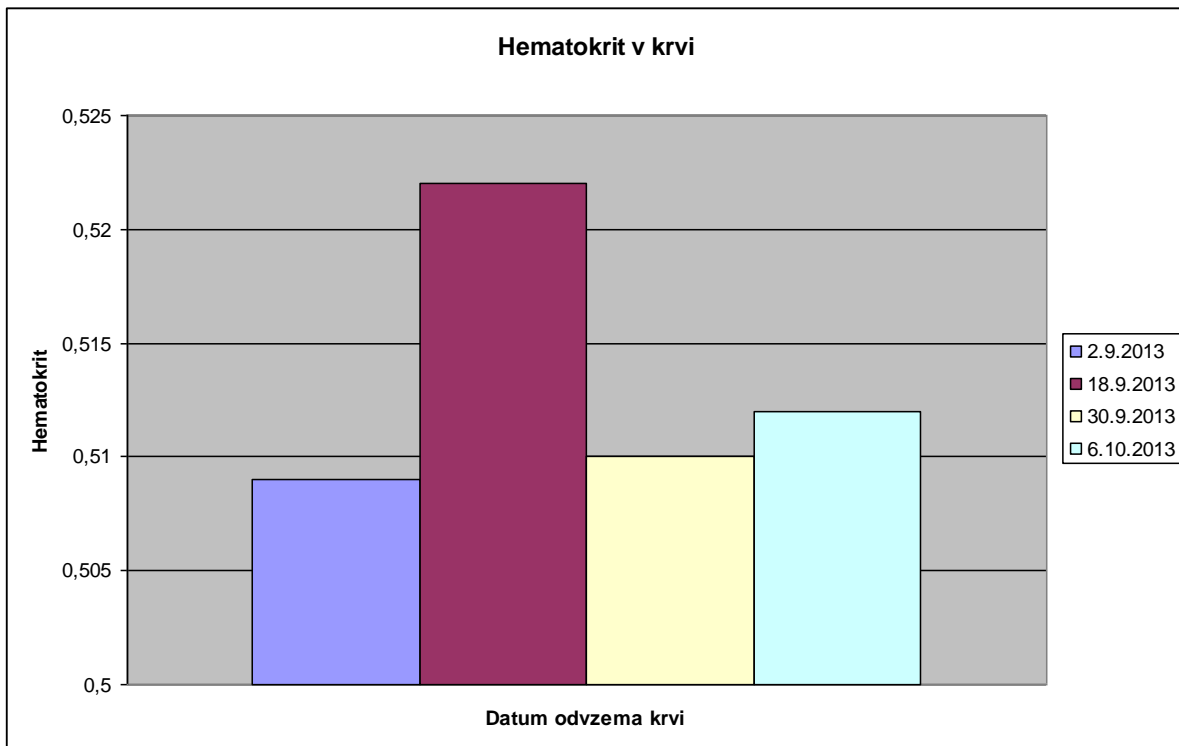
Pri koncentraciji Hb lahko pri merjencu opazimo, da se je po desetih dneh bivanja na višini, le ta povečala za 12 g/l in je znašala 179 g/l. Prvi dan po prihodu z višine se je masa Hb rahlo zmanjšala (172 g/l), po enem tednu bivanja na normalni nadmorski višini, pa se je masa Hb že vrnila na začetno raven (164 g/l).

Levine in Stray-Gunderson (1997) sta dokazala, da se pri višinski vadbi izrazito poveča tako vsebnost Hb, kot tudi volumen eritrocitov. Clark idr. (2008) so v raziskavi na kolesarjih, ki so bili 3 tedne po 14 ur izpostavljeni simulirani višini 3000m in trenirali na 600m, ugotovili, da se jim je masa Hb povečala za 3%.

Na podlagi rezultatov, ki smo jih predstavili, lahko H1 delno sprejmemo in delno ovržemo, saj se je masa Hb po prihodu na višino povečala, ob prihodu z višine pa je masa hitro padla in po šestih dneh že ni bilo vidne razlike med začetnim in končnim stanjem mase Hb.



### 3.4.3. HEMATOKRIT



Slika 20. Hematokrit (Ht) glede na datum odvzema krvi.

Odstotek celic v krvi se imenuje hematokrit (Ht). Odvisen je predvsem od volumna rdečih krvničk, ker jih je številčno največ (Lasan, 2005). Zato ne čudi, da se je pri merjenju Ht gibal sorazmerno z vrednostjo eritrocitov. Po desetih dneh bivanja na višini se je Ht povzpел iz 0,509 na 0,522. Po prihodu z višine je Ht znašal 0,51, po enem tednu bivanja na normalni nadmorski višini pa je spet rahlo narastel, vendar so te spremembe zelo majhne.

## 4. SKLEP

Višinska vadba je postala v današnjem času ena izmed popularnih metod vadbe, s pomočjo katere naj bi športnik dosegal boljše rezultate zaradi njenih vplivov na človekovo telo. Vadba in bivanje na visoki nadmorski višini, kjer pride do znižanja  $pO_2$ , povzroči verigo fizioloških odzivov, ki jih sproži telo v želji po čim boljši aklimatizaciji in uravnavanju ravnovesja v telesu – homeostaze. Nekateri odzivi se začnejo že takoj, ko se izpostavimo hipoksičnim pogojem, nekateri pa potrebujejo malo več časa. Vsekakor pa je odziv telesa odvisen od velikosti nadmorske višine in pa posameznika samega, saj se določeni ljudje na višino odzovejo bolje kot ostali. Prav tako je znanih več metod višinske vadbe. Metoda živi visoko, vadi visoko je najstarejša, v zadnjem času pa sta se razvili še metodi živi nizko, vadi visoko in pa živi visoko, vadi nizko. Zaradi novih načinov in tehnik, s katerimi lahko ustvarjamo simulirane pogoje, je ta metoda vadbe postala dosegljiva tudi za rekreativne športnike in bo verjetno vedno bolj aktualna.

V diplomski nalogi smo ugotovili, da metoda živi visoko, vadi nizko pozitivno vpliva na športni rezultat, saj se je večina funkcionalnih dejavnikov izboljšala. Ugotovili smo, da se je FSU po višinski vadbi občutno znižala, prav tako pa se je znižal LA, tako na večstopenjskem obremenilnem testu, kot tudi na neprekinjenem testu do utrujenosti ob enakih obremenitvah.  $V_E$  in  $VO_2$  sta se ob enakih obremenitvah zmanjšali, kar pomeni, da je vadba vplivala tudi na boljšo ekonomičnost gibanja.

Pri hematoloških spremembah smo opazili največje razlike v koncentraciji eritrocitov, kar sovпада z že znanimi ugotovitvami drugih avtorjev, ki govorijo o naraščanju števila eritrocitov zaradi vpliva hipoksije, ki stimulira hormon EPO, ki je odgovoren za intenzivnejšo proizvodnjo eritrocitov. Masa Hb se je pri merjencu po enem tednu bivanja na višini povečala za 12 g/l, nato pa je postopoma začela padati. En teden po višinski vadbi se je masa Hb že nahajala na isti vrednosti, kot je bila pred višinsko vadbo.

Lahko potrdimo, da je višinska vadba pozitivno vplivala na merjenca. Vendar je tu potrebno poudariti, da ti rezultati niso posledica le višinske vadbe kot same, ampak jih lahko posameznik izboljša tudi, če je pod vplivom normalnega vadbenega procesa. Prav tako težko delamo zaključke na podlagi rezultatov enega samega merjenca, saj se, kot je že bilo povedano, vsak posameznik drugače odzove na višinsko vadbo. Zato se študije, ki so bile opravljene na temo višinske vadbe tudi tako zelo razlikujejo v rezultatih. Za boljše zaključke, bi bilo potrebno analizirati večje število merjencev.

## 5. VIRI

- 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 bases of exercise*. Champaign (IL): Human kinetics.
- Burtscher, M., Gatterer, H., Faulhaber, M., Gerstgrasser, W. in Schenk, K. (2010). Effects of intermittent hypoxia on running economy. *International journal of sports medicine*, 31(9), 644-650.
- Clark S. A., Quod M. J., Clark M. A., Martin D. T., Saunders P. U. in Gore C. J. (2009). Time course of hemoglobin mass during 21 days live high : train low simulated altitude. *European journal of applied physiology*, 106, 399 – 406.
- Gore, C.J., Hahn, A.G., Aughey, R.J., Martin, D.T., Ashenden, M.J., Clark, S.A., idr. (2001). Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency, *Acta physiologica Scandinavia*, 173(3), 275-86.
- Haymes, E. M., Wells, C. L. (1986). *Environment and human performance*. USA: Human kinetics publisher, Inc.
- Henderson, J. (2012). Running 101. (12.8.2014). Pridobljeno iz <http://www.runnersworld.com/beginners/running-101>.
- 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.
- Lasan, M. (2005). *Stalnost je določila spremembo*. Ljubljana: Fakulteta za šport: Inštitut za šport.
- Levine, B. D. in 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.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude: An update. *Journal of sports medicine*, 38 (1), 1–8.
- Osredkar, J. (2013). Učinki vzdržljivostne vadbe na povišani nadmorski legi – krvne analize. Ljubljana: KIKKIB.
- Paralihar, S., Paralihar, J. (2010). High altitude medicine. *Indian journal of occupational & environmental medicine*, 114(1), 6-12.
- Robach, P., Schmitt, L., Brugniaux, J. V., Roels, B., Millet, G., Hellard, P., ... Richalet, J. P. (2006). Living high-training low: Effect on erythropoiesis and

- aerobic performance in highly-trained swimmers. *European journal of applied physiology*, 96 (4), 423–433.
- Robertson, E.Y., Saunders, P.U., Pyne, D.B., Aughey, R.J., Anson, J.M. in Gore, C.J. (2010). Reproducibility of performance changes to simulated Live high/train low altitude, *Medicine and science in sports and exercise*, 42(2), 394-401.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Cunningham, R. B., Gore, C. J., Hahn, A. G. in Hawley, J. A. (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *Journal of applied physiology*, 96 (3), 931–937.
- Shepard, R. J., Astrand, P. O. (2000). *Endurance in Sport*. Oxford: Blackwell.
- Štiblar Martinčič, D., Cvetko, E., Cör, A., Marš, T., Finderle, Ž. (2012). *Anatomija, histologija in fiziologija*. Ljubljana: Medicinska fakulteta.
- Štrumbelj, B. (1994). *Analiza priprave na 28 km tek*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za šport.
- Ušaj, A. (1996). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Vrhovec, B., Gorjanc, J., Mekjavič, I. B. (2002). Hipoksična soba v Ratečah. *Medicinski razgledi*, 41 (2/3), 177-181.
- Žiberna, M., Gorjanc, J. (2002). Hipoksična soba: Rateče, prvi slovenski kraj s spremenljivo nadmorsko višino. *Atletika*, 27, 9-12.