

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Kineziologija

PRIMER VIŠINSKEGA TRENINGA GORSKE TEKAČICE

DIPLOMSKO DELO

MENTOR: doc. dr. Boro Štrumbelj

JANA BRATINA

RECENZENT: doc. dr. Jernej Kapus

Ljubljana, 2014

Ključne besede: gorski tek, vzdržljivost, višinski trening, hipoksija, kisik, krvni parametri, VO_2 max

PRIMER VIŠINSKEGA TRENINGA GORSKE TEKAČICE

Jana Bratina

IZVLEČEK

Predmet raziskave je bil predstaviti primer višinskega treninga gorske tekačice z namenom izboljšati zmogljivost in tekmovalni nastop. Preučevali smo učinke hipobarične normoksije na nekatere fiziološke parametre, ki naj bi dvignili preiskovankine zmogljivosti. Glede na pomembnejšo tekmo, ki naj bi se je udeležila preiskovanka, smo raziskavo načrtovali v skladu s priporočili za bivanje in vadbo na višini.

Bivanje in vadba na višini sta potekala od 8. do 29. septembra 2013 na Rogli (1500 m n.m.). Pred odhodom na višino je preiskovanka v Laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport opravila test zmogljivosti. Prav tako je pred odhodom opravila krvne preiskave. Teden dni po prihodu z višine se je preiskovanka udeležila mednarodne tekme v gorskem teku.

Preiskovanka je 3 tedne bivala na nizki višini, spala na nizki do srednji višini, vadila pa je tako na nizki kot srednji nadmorski višini. Glede na izsledke preteklih raziskav, ki poročajo o pozitivnih učinkih vadbe v hipoksiji, smo zasnovali vadbo po modelu spi visoko/vadi nizko (live high/train low) ter dodali še vadbo po modelu vadi visoko (train high). Glede na to, da je med raziskavo preiskovanka vadila na podoben način kot na normalni višini, smo pričakovali dvig nekaterih fizioloških kazalcev in krvnih parametrov. Krvne parametre smo spremljali tekom raziskave. Beležili smo vrednosti frekvence srca v mirovanju, saturacijo kisika v krvi, podatke o treningu, simulirani nadmorski višini in počutju.

Izsledke raziskave smo ovrednotili z rezultati testiranja pred in po odhodu na višino. Kljub povišanju nekaterih hematoloških kazalcev rezultati stopenjskega obremenilnega testa pri preiskovanki niso pokazali napredka.

Key words: mountain running, endurance, altitude training, hypoxia, oxygen, blood parameters, VO₂ max

THE CASE OF A MOUNTAIN RUNNER'S ALTITUDE TRAINING

Jana Bratina

ABSTRACT

The aim of my research was to present the case of a mountain runner's altitude training with a view to improving her capacity and competition performance. We examined the effects of hypobaric normoxia on a range of physiological parameters that were expected to improve the athlete's capacity. The research was planned in accordance with recommendations on living and training at higher altitudes, taking a major race the athlete intended to attend into consideration.

The athlete under investigation lived and trained at altitude between 8 and 29 September 2013 at Rogla, Slovenia (1500 m above sea level). Beforehand, she took a graded exercise test on treadmill at the Biodynamics Laboratory of the Faculty of Sport and underwent blood tests. A week after returning from altitude she competed at an international mountain running race.

For three weeks the athlete lived at a low altitude, slept at a low to medium altitude, and trained at both a low as well as a medium altitude. Based on the findings of previous research reporting on the positive effects of hypoxia training, we designed her training according to the "live high, train low" principle and added some training based on the "train high" model. During the investigation the athlete trained similarly as at a normal altitude and we therefore expected a number of physiological indicators and blood parameters to improve. Blood parameters were monitored in the course of the research. Resting heart rate, oxygen saturation in blood as well as data about training, simulated altitude and overall feeling were recorded.

We evaluated the research findings against the results of the tests taken before and after moving to altitude. Although some haematological indicators improved, the athlete's results in the graded exercise test did not show progress.

Kazalo

1.	UVOD	7
1.1.	VZDRŽLJIVOST	8
1.2.	ZNAČILNOSTI GORSKEGA TEKA	9
1.3.	BIVANJE NA VIŠINI IN VIŠINSKA VADBA	10
1.3.1.	Značilnosti višinske vadbe	11
1.3.2.	Metode višinske vadbe	12
1.3.3.	Čas po prihodu z višine	15
1.3.4.	Odzivni in neodzivni športniki	16
1.3.5.	Metode umetne vzpostavitve stanja hipoksije	16
1.3.6.	Učinki višinske vadbe na zdravje	17
1.3.7.	Višinska vadba in doping	17
1.4.	CILJI IN HIPOTEZE	18
2.	METODE DELA	19
2.1.	Preiskovanka	19
2.2.	Postopek	19
2.2.1.	Načrt eksperimenta	19
2.3.	Pripomočki	20
2.3.1.	Testiranja zmogljivosti	20
2.3.2.	Beleženje vadbe	21
2.3.3.	Podatki o telesni teži, FS zjutraj in zvečer, počutju, drugi podatki	21
2.3.4.	Hematološke preiskave	21
2.3.5.	Podatki o saturaciji in koncentraciji kisika	22
3.	REZULTATI IN RAZPRAVA	22
3.1.	Podatki o telesni teži, FS zjutraj in zvečer, počutju, drugi podatki	22
3.1.1.	Srčni utrip (FS)	22
3.1.2.	Telesna teža (TT)	22
3.1.3.	Splošno fizično in psihično počutje	23
3.2.	Hematološke preiskave	23
3.3.	Rezultati testiranj	25
3.3.1.	Poraba kisika (VO_2)	25
3.3.2.	Pljučna ventilacija (V_E)	26
3.3.3.	Volumen izdihanega ogljikovega dioksida (VCO_2)	27

3.3.4.	Respiratorni količnik (RQ).....	27
3.3.5.	Laktatni prag in prag OBLA	28
4.	SKLEP	31
5.	VIRI	33

Kazalo slik

Slika 1.	Prikaz najbolj in najmanj primernih obdobij za nastop na tekmovanju po različnih avtorjih (Chapman in Wilber, 2011).	15
Slika 2.	Preiskovanka med stopenjskim obremenilnim testom (osebni arhiv).	21
Slika 3.	Pulzni oksimeter (osebni arhiv).	22
Slika 4.	Prikaz FS in TT glede na spremembo višine.	23
Slika 5.	Grafični prikaz nihanja vrednosti hematoloških parametrov.	24
Slika 6.	Primerjava vrednosti absolutne porabe kisika (VO_2) med obema testoma.....	25
Slika 7.	Primerjava vrednosti relativne porabe kisika (VO_2) med obema testoma.	26
Slika 8.	Primerjava vrednosti pljučne ventilacije (V_E) med obema testoma.....	26
Slika 9.	Primerjava volumna izdihanega zraka med obema testoma.	27
Slika 10.	Primerjava vrednosti respiratornega količnika (RQ) med obema testoma.	28
Slika 11.	Primerjava vrednosti laktata med obema testoma.	28

Kazalo tabel

Tabela 1.	Primer mikrocikla (DV – dolgotrajna vzdržljivost, AnP – anaerobni prag).....	20
Tabela 2.	Primerjava rezultatov laktatnega praga in praga OBLA med obema testoma	29

1. UVOD

Želja po napredku in izboljšanju tekmovalnega rezultata je glavno vodilo vsakega športnika. Obstaja vrsta sredstev in metod vadbe, s katerimi športnik dviga svojo zmogljivost. Vendar ima tudi napredek določene meje – v športu pravimo, da je športnik dosegel svoj plato. V takem primeru mora športnik v svojo vadbo uvesti nov, močnejši dražljaj, na katerega se bo organizem odzval na način, da bo zvišal svoje fiziološke ali katere druge sposobnosti in lastnosti.

Višinski trening (v nadaljevanju diplomskega dela za izraz trening navajamo slovensko besedo vadba) je od 90. let priljubljena metoda med vzdržljivostnimi športniki. Posebno pozornost so mu začeli namenjati v času olimpijskih iger v Mexico Cityju leta 1968. Potekale so na nadmorski višini 2300 metrov. Na teh igrah so v vzdržljivostnih panogah največje uspehe poželi športniki, ki so tudi sicer bivali in vadili na visoki nadmorski višini. Izkazalo se je, da imajo tekači, vajeni bivanja in vadbe na visokih nadmorskih višinah, neprimerne prednosti pred ostalimi tekmovalci tudi na tekmovanjih, ki se odvijajo na nizkih nadmorskih višinah. Na podlagi teh opažanj je bilo izvedenih veliko raziskav, vezanih na metode višinske vadbe ter simulacijo hipoksičnega okolja v smislu razvoja višinskih sob, šotorov in drugih naprav (Noakes, 2001).

Višina predstavlja človeškemu organizmu dodaten stres, saj zaradi nižjega delnega tlaka kisika v zraku prihaja do manjše nasičenosti hemoglobina s kisikom. S tem je skeletnim mišicam med vadbo na voljo manj kisika – aerobna presnova je okrnjena. Organizem se na ta dražljaj odzove tako, da začne proizvajati več hormona eritropoetina, ta pa pospeši tvorbo rdečih krvnih celic – eritrocitov. Eritrociti vsebujejo hemoglobin, molekule, sestavljene iz štirih polipeptidnih verig, ki nase vežejo kisik iz zraka ter ga prenašajo do tkiv. Večja kot je skupna količina hemoglobina in s tem število eritrocitov, bolj učinkovit je prenos kisika do mišic. Slednje je še zlasti pomembno pri vzdržljivostnih športih, kjer med naporom prevladuje aerobna presnova v skeletnih mišicah (Noakes, 2001).

1.1. VZDRŽLJIVOST

Pri disciplinah vzdržljivostnega teka, npr. polmaratoni, krosi, gorski teki, ki trajajo več kot 1 uro, govorimo o dolgotrajni oz. superdolgotrajni vzdržljivosti. Omejitveni dejavniki za to sposobnost so:

- zaloge glikogena v mišicah pred začetkom napora,
- hitrost porabe glikogena in s tem povezani
 - o intenzivnost napora,
 - o presnovni produkti,
- okoljski dejavniki (povečana/znižana temperatura okolja, nadmorska lega, onesnaženost zraka),
- struktura mišic,
- ekonomičnost gibanja,
- motivacija,
- v manjši meri tudi največja poraba kisika in
- laktatni prag (Ušaj, 2003).

Zaloge glikogena in hitrost porabe sta pomembna dejavnika pri dolgotrajni vzdržljivosti. Hitrost porabe je odvisna od procesov glikolize in glikogenolize v mišicah – če je ta manjša, se v večji meri kot gorivo porabljajo maščobe, in telo varčuje z glikogenom. Vendar dolgotrajni napor presega 70 % VO_2 max, kar pomeni, da so prevladujoče gorivo ogljikovi hidrati. Zaloge so v jetrih v obliki glikogena in v krvi kot glukoza. Čeprav so zaloge goriv velike, lahko pri podaljšanih naporih pride do izčrpanja in posledično do utrujenosti ter zmanjšanja sposobnosti premagovanja napora (Ušaj, 2003).

Pomemben dejavnik pri tovrstnem naporu so tudi presnovni produkti in njihovo kopičenje v organizmu. Pri naporih, ki trajajo 1 uro in več, v največji meri potekajo aerobni procesi, katerih presnovna produkta sta voda in ogljikov dioksid. Sočasno pa potekajo tudi anaerobni procesi. Ti povzročajo kopičenje mlečne kisline. Pri višjih intenzivnostih kratkega trajanja je acidoza višja kot pri intenzivnostih daljšega trajanja, kjer se laktat porablja v procesu oksidacije. Skladno s tem je pri višjih intenzivnostih dihalni sistem bolj obremenjen, saj vzpostavlja ravnovesje s povišano ventilacijo. Posledica tega je, da lahko pri dalj časa trajajočem sorazmerno visokem naporu pride do utrujanja dihalnih mišic (Ušaj, 2003).

Pri vzdržljivostnem tekaču glede na strukturo mišic v največji meri prevladujejo rdeča počasna vlakna tipa I, ki so vzdržljiva in se najkasneje utrudijo (Noakes, 2001). Energija za tak napor se lahko sprošča samo v aerobnih pogojih. Pomembni so čim bolj učinkovit transport kisika mišicam, čim boljša kapilarizacija, čim višje število mitohondrijev ter čim višje število rdečih krvnih celic. Učinkovita mora biti tudi srčna črpalka. Srce je pri treniranih športnikih večje, posledično je večji utripni volumen in največji minutni volumen srca. Poleg tega je srce treniranih športnikov bolj učinkovito in gospodarno pri istem naporu v primerjavi z netreniranimi. Največja poraba kisika je pomembna pri naporu do intenzivnosti, kjer premagovanje napora poteka še v pretežno aerobnih pogojih (čim višji, tem bolje). Največja poraba kisika je večja pri športnikih v disciplinah, kjer prevladuje vzdržljivost. Pri superdolgotrajni vzdržljivosti to ni tako izraženo, ker je napor nizek v intenzivnosti (Ušaj, 2003).

Pri okoljskih dejavnikih je posebej pri dalj časa trajajočih naporih (1 ura in več) problematična povišana temperatura, saj je s tem oteženo odvajanje presnovnih produktov – toplote in vode. Športnik mora neprestano vnašati tekočino, da ohranja elektrolitsko ravnovesje. Znižana temperatura ni tako problematična. Nadmorska lega je pomembna zaradi razpoložljivosti kisika, ki ga transportni sistem dovaja v mišice. Znižana vrednost delnega tlaka kisika v krvi zaradi naraščanja nadmorske višine vpliva na zmanjšanje količine kisika v krvi. Zgodijo se fiziološke prilagoditve, ki od športnika zahtevajo določeno aklimatizacijo (Ušaj, 2003).

Tekač postane ekonomičen le z ustrezno tehniko teka, kar mu prinese večjo tekmovalno učinkovitost (Škof, 2001, v Hameršak, 2011). Isti avtor navaja tudi, da vadba tehnike ne prinese samo izboljšanja učinkovitosti tekalnega koraka, temveč pomeni tudi izboljšanje hitrosti, moči in vzdržljivosti tekača.

1.2. ZNAČILNOSTI GORSKEGA TEKA

Gorski tek je vzdržljivostna disciplina, vendar se zaradi nekaterih specifik razlikuje od ostalih tekaških disciplin. Tekmovalne proge potekajo po naravnem terenu, ki je zaradi svojih značilnosti večkrat nepredvidljiv. Predvsem menjavanje vzponov, spustov in ravninskih terenov ter s tem sprememba ritma teka predstavljata določene zahteve za tekača. V osnovi gorske teke ločujemo na disciplini "gor" in "gor/dol". Organizacija WMRA (World Mountain Running Association), ki v okviru svetovne atletske zveze bdi nad gorskimi teki, podrobneje predpisuje (ali priporoča) pravila tekmovalj in karakteristike prog, kot so tekmovalne razdalje, največji naklon spusta in maksimalna dolžina asfaltne podlage (Novak, 2003).

Za gorskega tekača je predvsem pomembno, da razvije mišično moč in adaptacijo na spremembe terena, sposobnost učinkovitega odziva na spremembo tekalne podlage, ravnotežje, vzdržljivost in tekaško tehniko. Prav tako ne gre zanemariti razvoja gibljivosti ter koordinacije. Woods (2009) navaja, da so razlike med vadbo gorskega teka in drugimi vzdržljivostnimi disciplinami v teku predvsem razlike v zahtevi po vadbi v klanec in vadbi spustov, oba pa zahtevata veliko prakse. Navaja tudi primere vadbenih sredstev, med katere vključuje kratke in dolge intervalne teke v klanec, teke navzdol in t. i. "cross training", ki vključuje aktivnosti, kot so plavanje, kolesarjenje in tek na smučeh. "Cross training" se resda razlikuje od tekmovalne discipline, kljub temu pa lahko prispeva k razvoju moči in vzdržljivosti. Predvsem je smiselno v prehodnem obdobju, lahko pa ga vključimo tudi v razbremenilni mikrociklus ali kot regeneracijska vadba (Woods, 2009). O podobni "nadmestni" vadbi prav tako piše Novak (2003), ki vadbo dopolnjuje tudi z drugimi športnimi aktivnostmi, kot so kolesarjenje, tek na smučeh in pohodništvo, ki zmanjšujejo možnost za nastanek tipičnih tekaških poškodb ter popestrijo monotone tekaške vadbe.

"Sredstva treniranja so že dolgo znana, umetnost je iz njih napraviti pravo mešanico." Lojze Pungerčič

Novak (2003) navaja, da je vadba gorskega teka v osnovi najbolj podobna atletske dolgoprogaški vadbi. Pri vadbi uporablja naslednja sredstva:

1. dolgi neprekinjeni teki v počasnejšem tempu,
2. hitrejši, t. i. tempo teki (z merjenjem časa; po možnosti na atletski stezi),
3. ponavljalni teki, intervalni teki (z merjenjem časa; po možnosti na atletski stezi),
4. hitri ponavljalni teki na krajših razdaljah (vadba hitrosti),
5. daljši vzdržljivostni teki v klanec,
6. ponavljalni teki v klanec,
7. vadba spusta,
8. fartlek po razgibanem terenu,
9. atletski poskoki,
10. krožna vadba (vaje za moč) (Novak, 2003).

Za gorskega tekača je nujna tudi vadba spusta oz. tek navzdol. Pri teku navzdol pride do največjih obremenitev tetivno-mišičnega sistema zaradi ekscentrične kontrakcije ekstenzorjev kolena in kolka. Na te mišice se v trenutku dotika stopala tal prenese do trikratna telesna teža. Mišice niso "navajene" večkratnega ponavljanja ekscentričnih kontrakcij, zato pride do mikropoškodb in vnetja – govorimo o zakasneni mišični bolečini (DOMS) (Noakes, 1991, in Novak, 2003).

1.3. BIVANJE NA VIŠINI IN VIŠINSKA VADBA

Da lahko višinska vadba pripomore k izboljšanju fizioloških značilnosti dolgoprogašev, je znano že dolgo let. Eden izmed mejnikov so zagotovo olimpijske igre v Mexico Cityju (2300 m) l. 1968, na katerih so dominirali predvsem tekači na dolge proge Vzhodne in Severne Afrike, živeči na visoki nadmorski višini. Ko so ti začeli tekovati in zmagovati tudi na srednjih progah, na nizki nadmorski višini, je bilo jasno, da imajo zaradi bivanja in vadbe na visoki višini prednost pred ostalimi tekmovalci (Noakes, 2003).

Bistvo vadbe na visoki višini je adaptacija organizma na stres, ki ga povzroči nižja vsebnost kisika na višini. Sestava zraka je sicer enaka tako na normalni višini kot na visoki nadmorski višini in vsebuje 20,93 % kisika, 0,03 % ogljikovega dioksida in 79,04 % dušika, spremenijo pa se delni tlaki posameznih plinov. Sprememba delnega tlaka kisika v vdihanem zraku povzroči manjši dotok kisika v kri v primerjavi z normalno višino, kar pomeni, da v večji meri v mišicah potekajo anaerobni procesi. Organizem se na ta dražljaj prilagodi s proizvodnjo več rdečih krvnih celic (eritrocitov), ki vsebujejo molekule hemoglobina, na katere se veže kisik iz zraka (Noakes, 2003, in Sunderland, 2011). V ledvicah se naravno proizvaja hormon eritropoetin, ki spodbuja nastanek rdečih krvnih celic v kostnem mozgu. Spodbuja dotok krvnih celic v krvni obtok, kjer se delež celic (hematokrit) poveča. S povečanjem hematokrita in skupne količine hemoglobina je telo tako sposobno prenašati več kisika (McArdle, Katch in Katch, 2010).

Takojšnji možni odzivi bivanja na višini so po Sunderlandu (2011) in McArdlu, Katchu in Katchu (2010):

- povišana koncentracija kateholaminov, predvsem noradrenalina, ki med drugim vpliva na:

- regulacijo krvnega tlaka,
- periferni upor,
- sestavo energijskih substratov (povečana poraba ogljikovih hidratov),
- povišana frekvenca dihanja,
- povišana frekvenca srca,
- znižanje $\text{VO}_2 \text{ max}$,
- večja arterijsko-venska razlika,
- hiter dvig koncentracije hemoglobina,
- dehidracija.

Nastopijo lahko tudi:

- zaspanost,
- slabost,
- vrtoglavica,
- glavobol,
- vazodilatacija (Sunderland, 2011, in McArdle, Katch in Katch, 2010).

Dolgoročni odzivi bivanja na višini:

- povišana koncentracija kateholaminov (noradrenalin),
- povišan volumen eritrocitov (proizvodnja rdečih krvnih celic se začne 15 ur po prihodu na višino in ostane povišana tekom bivanja),
- povišana volumen in koncentracija hemoglobina,
- znižanje volumna plazme ter povišana viskoznost krvi,
- povišana kapilarizacija,
- zmanjšan $\text{VO}_2 \text{ max}$,
- znižan utripni volumen,
- povišanje bazalnega metabolizma in spremembe v telesni sestavi (znižanje puste mase),
- povišana vsebnost laktata v krvi pri submaksimalnem naporu (Sunderland, 2011, in McArdle, Katch in Katch, 2010).

1.3.1. Značilnosti višinske vadbe

Najkrajši priporočeni čas za vadbo na višini so 3 oz. vsaj 4 tedni. Večkrat kot je športnik na višini, hitreje se bo readaptiral in več časa bodo trajali učinki po vrnitvi z višine. Športnik se za višinsko vadbo odloči samo v primeru brezhibnega zdravstvenega stanja ter v primeru ustreznih vrednosti železa v krvi. Na visoki višini je po intenzivni vadbi regeneracija počasnejša (Stellingwerff, 2006). Po priporočilih Mednarodne organizacije atletskih zvez (IAAF) za časa svetovnega prvenstva v Daeguju v Južni Koreji l. 2011 mora športnik vsaj 2 tedna pred odhodom na višino preveriti stanje feritina v krvi in začeti z jemanjem železovih dopolnil. Zaloge železa morajo za moške znašati vsaj 30 $\mu\text{g/L}$ in 20 $\mu\text{g/L}$ za ženske (Chapman in Wilber, 2011).

V kolikor se želi športnik adaptirati na večji volumen vadbe, je najprimernejši čas za višinske priprave v zgodnjem pripravljalnem obdobju (oktober in november). Če se športnik želi

pripraviti na opravljanje težje vadbe, potem je za to ugodno pozno pripravljeno obdobje (marec, april, maj). Če je športniku primarna priprava na specifično tekmo, se v tem primeru za višinske priprave odloči približno 6 tednov pred začetkom tekmovalne sezone (maj, junij) oz. odvisno od tekmovalnega koledarja (Sunderland, 2011).

Za doseganje pozitivnih učinkov višine športniki po navadi bivajo na višini 2000–2500 m oz. 2200–3200 m. Dnevno morajo biti hipoksiji izpostavljeni 14–24 h/dan oz. vsaj 22 ur/dan (Wilber, Stray-Gundersen in Levine, 2007).

Glede na višino ločimo področja:

- 2000–3500 m – srednja višina,
- 3500–5500 m – visoka višina,
- 5500 m in več – ekstremna višina (Sunderland, 2011).

Druga klasifikacija navaja nekoliko drugače:

- nizke nadmorske višine (do 1525 m),
- zmerne nadmorske višine (1525–2400 m),
- visoke nadmorske višine (2400–4200 m),
- zelo visoke nadmorske višine (4200–5500 m),
- ekstremne nadmorske višine (5500 m in več) (Perčič, 2007, iz Weingerl, 2008).

Za vsak kilometer višine med višinama 1000 in 6000 m vrednosti VO_2 max padejo za 7,7 % (Sunderland, 2011) oz. za 8–10 % (Shephard in Astrand, 2000).

1.3.2. Metode višinske vadbe

Spi visoko – vadi nizko (Live high – train low oz. s kratico LHTL) – športnik biva na visoki višini, vadi pa na nizki nadmorski višini. Ločimo dve različici metode LHTL:

- Spi na visoki nadmorski višini (nad 3500 m) in vadi na srednji nadmorski višini (2000–3500 m).
- Spi na višini, vadi ob morju (pod 1500 m).

Metodo sta v zgodnjih 90. letih opredelila Benjamin Levine in James Stray-Gundersen. V principu naj bi metoda športniku dopuščala koristi izpostavljenosti hipoksiji in običajne vadbe na nizki nadmorski višini. Te koristi naj bi se odražale v hematoloških, metaboličnih in živčno-mišičnih prilagoditvah (Wilber, 2007).

Raziskava Levina in Stray-Gundersena (Wilber, 2007) je pri preiskovancih, ki so bili vključeni v metodo LHTL (28 dni), pokazala povečanje volumna eritrocitov za 5 %, koncentracije hemoglobina za 9 % in povečanje VO_2 max za 4 % v primerjavi s skupino, ki je bivala in vadila na nizki višini.

Tekači, ki so bivali na višini 2500 m in vadili na višini od 1000 do 1250 m pri skoraj isti intenzivnosti kot na nizki nadmorski višini, so izboljšali VO_2 max in čas teka na 5000 m bolj

kot tekači, ki so bivali in vadili na višini 2500 m, ali tisti, ki so bivali in vadili na nizki nadmorski višini (Levine in Stray-Gunderson, 1997, in Wehrlin, Zuest, Hallén in Marti, 2006).

V pregledni študiji metode LHTL sta Bonetti in Hopkins (2011) objavila, da je skupina športnikov po vrnitvi z nadmorske višine 2300 m, na kateri je bivala in vadila 3 tedne, izboljšala tekmovalni nastop za 4 %. V 3 tednih na višini se je vsebnost hemoglobina povečala za 7,4 %. Po vrnitvi na nižino se je prenos kisika izboljšal za 17 % (Bonetti in Hopkins, 2011).

Raziskava Brugniaux, V. J., idr. (2006), v kateri je sodelovalo 11 vrhunskih tekačev na srednje proge, je proučevala metodo LHTL. Pri tem je 18-dnevna vadba potekala na srednjih nadmorskih višinah (1200 m). Eksperimentalna skupina, ki je bivala v hipoksiji, je 14 ur dnevno preživela na nadmorski višini od 2500 do 3000 m. Kontrolna skupina je bivala v normoksiji na 1200 m. Obe skupini sta vadili na srednji nadmorski višini. Po koncu bivanja in 15 dni po koncu študije je samo eksperimentalna skupina izboljšala fiziološke parametre (VO_2 max, največja aerobna moč, poraba kisika, ventilacija na ventilacijskem pragu). 15 dni po prihodu z višine je eksperimentalna skupina znižala FS pri 10-minutnem teku. Čeprav je prišlo do pospešene eritropoeze, takoj po prihodu z višine volumen rdečih krvnih celic ni signifikantno narastel.

Nekateri avtorji so prišli do drugačnih zaključkov. Robach, Siebenmann, Jacobs, Rasmussen, Nordsborg, Pesta idr. (2012) so proučevali učinke metode LHTL pri 16 dobro treniranih vzdržljivostnih športnikih. Po 4 tednih pri skupini, ki je bivala na 3000 m, ni prišlo do povišanja največje porabe kisika (VO_2 max).

Ashenden, Gore, Dobson in Hahn (1999) so proučevali učinke 23-dnevnega bivanja na višini na vzdržljivostne športnike. Prva skupina je bivala na višini 3000 m, kontrolna skupina pa na nižini. Obe skupini sta vadili na višini 600 m. Po prihodu z višine pri skupini, ki je bivala na višini, ni prišlo do povečanja produkcije rdečih krvnih celic.

Spi visoko – vadi visoko (Live high – train high oz. s kratico LHTH) – športnik biva in vadi v pogojih normoksične hipoksije.

Stellingwerff (2006) navaja, da se pri metodi LHTH spremembe zgodijo tako na periferiji, torej v skeletnih mišicah, kot na centralnem nivoju srčno-žilnega sistema. V skeletnih mišicah se povečata kapilarizacija in vazodilatacija, kar pomeni povišanje aerobne in anaerobne presnove. Kot negativno posledico metode LHTH avtor navaja drastično zmanjšanje intenzivnosti vadbe na višini (nižje hitrosti). Od višine 2500 m dalje absolutna intenzivnost vadbe pada, podaljša pa se čas regeneracije.

Opozarja, da je ta metoda primerna zgolj za vrhunske športnike, ki potrebujejo intenzivnejši dražljaj za prehod na višji nivo. Avtor poudarja pomen ustrezne regeneracije. Možni negativni učinki vadbe v hipoksiji:

- povečana možnost za pojav simptomov pretreniranosti,
- povišano izločanje kateholaminov ((nor)adrenalin) in s tem povezana povečana poraba glikogena v mišicah,
- povišan serumski kortizol,
- znižana koncentracija serumskega testosterona,

- oslabljen imunski sistem,
- povečana možnost za infekcije zgornjega dihalnega trakta in gastrointestinalnega trakta.

Spi visoko – v prekinitvah vadi nizko (Live high – intermittently train low) – športnik biva visoko in periodično vadi na nizki nadmorski višini

Občasna vadba v hipoksiji (Intermittent Hypoxic Training oz. s kratico IHT) – športnik biva na normalni višini, periodično vadi v hipoksiji

Wilber (2007) navaja, da so se pozitivni učinki te metode pokazali pri hitrostnih drsalcih, ki so bivali na visoki višini, vadili pri srednjih intenzivnostih na visoki višini in vadili pri visokih intenzivnostih na normalni višini. Zabeležili so povišanje eritropoetina, VO_2 max in izboljšanje tekmovalnega rezultata.

Spi nizko – vadi visoko (Live low – train high oz. s kratico LLTH) – športnik biva na nizki nadmorski višini, v krajših intervalih (5–180 min) pa je izpostavljen simulirani hipoksiji. Ločimo izpostavljenost hipoksiji v mirovanju (IHE – intermittent hypoxic exposure) ali med vadbo (IHT – intermittent hypoxic training). Pozitivni učinki se kažejo v povišanju izločanja eritropoetina, volumna eritrocitov in gostote mitohondrijev. Ta metoda je učinkovita pri športnikih, ki se odpravljajo na visoko višino, kot način aklimatizacije (Wilber, 2007).

Koncept spanja in bivanja na nizki nadmorski višini ter vadbe v zmerni hipoksiji (približno 2500 m) kaže na izboljšanje vzdržljivosti na nizki nadmorski višini (Dufour idr., 2006). V 6 tednov trajajoči študiji je bilo vključenih 15 visoko treniranih dolgoprogašev, ki so bili naključno razporejeni v dve skupini. Obe skupini sta bivali in vadili na nizki nadmorski višini. Poleg običajne vadbe sta bili na teden dodani dve vadbi v laboratoriju. Druga skupina je ti dve vadbi opravljala v hipoksiji, prva pa v normoksiji. Vadba v hipoksičnih pogojih prek naprave IHT je bila izvedena pri nižji hitrosti kot po navadi, vendar pri isti FS zaradi zmanjšanja aerobne moči kot posledice hipoksije. Rezultati študije so pokazali napredek v skupini, ki je vadila tudi v pogojih hipoksije, in sicer: višji VO_2 max, višje hitrosti teka na nizki in visoki nadmorski višini v primerjavi s prvo skupino. Skupina, ki je vadila v hipoksiji, je povečala produkcijo HIF- α ter encimov, ki so vključeni v proces metabolizma ogljikovih hidratov (Dufour idr., 2006).

V nasprotju z zgornjimi študijami McArdle, Katch in Katch (2010) navajajo podatke različnih študij, kjer do izboljšanja prej omenjenih parametrov ni prišlo. V raziskavi so primerjali enakovredni skupini dobro treniranih tekačev, od katerih je prva vadila na nižini pri 75 % VO_2 max, druga pa pri isti intenzivnosti na višini 2300 m. Po treh tednih sta skupini zamenjali lokacijo vadbe in z njo nadaljevali še 3 tedne. Čas teka se je med vadbo na višini pri obeh skupinah izboljšal za 2 %, nastopi po raziskavi pa so pri obeh skupinah ostali podobni kot pred raziskavo (Adams, Bernauer, Dill in Bomar, 1975).

Spi visoko – vadi nizko z dodanim kisikom – športnik biva v hipoksiji, nekaj/celotne vadbe pa opravlja v hiperoksičnih pogojih (zrak, v katerem je več kot 21 % kisika, po navadi 60–100 %) (Stellingwerff, 2006).

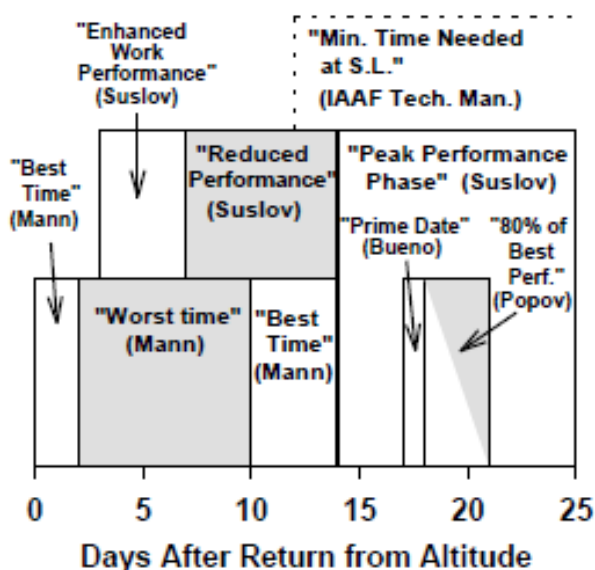
Po Stellingwerffu (2006) naj bi bila ta metoda idealna, saj se zaradi kronične izpostavljenosti hipoksiji dosegajo pozitivni učinki, hkrati pa vadbeni proces ostaja nemoten in v enakih (ali celo višjih) intenzivnostih in volumnu.

Stellingwerff še navaja, da pri vadbi z dodanim kisikom v primerjavi z vadbo v normoksiji športnik dosega večjo moč pri isti FS. Pri tem se laktat ne poviša bistveno, saj hiperoksija povzroči manjšo porabo glikogena v mišicah. Dodaja, da hiperoksija povzroči tudi znižanje izločanja adrenalina in FS (Stellingwerff, 2006).

1.3.3. Čas po prihodu z višine

Po priporočilih Mednarodne organizacije atletskih zvez (IAAF) za časa svetovnega prvenstva v Daeguju v Južni Koreji l. 2011 najprimernejši čas za tekmovalni dosežek po prihodu z višine ni določen. Čeprav je življenjska doba eritrocitov 120 dni, je glede na spoznanja ta čas po prihodu z višine krajši. Že po 21 dneh se pokaže upad v masi hemoglobina. Na podlagi tega priporočajo tekmovanje raje prej kot pozneje po prihodu z višine (Chapman in Wilber, 2011). Vadba na višini lahko povzroči biomehanske razlike v tehniki teka, ekonomičnosti in koordinaciji. Zaradi nižjih hitrosti kot običajno športnik potrebuje 3–4 tedne časa, da se mu povrnejo občutki izpred odhoda na višino (Chapman in Wilber, 2011).

Slika 4 prikazuje določena obdobja, ki so (ne)primerna za najboljši tekmovalni dosežek glede na izsledke študij različnih avtorjev.



Slika 1. Prikaz najbolj in najmanj primernih obdobj za nastop na tekmovanju po različnih avtorjih (Chapman in Wilber, 2011).

Nekateri avtorji so prišli do drugačnih zaključkov. Sunderland (2011) priporoča, da naj športnik po nekaj dneh reaklimatizacije 12 dni vzdrži vadbno visoke intenzivnosti, temu pa sledi od 8 do 10 dni specifične priprave na tekmovalje. Z vidika tekmovalnega dosežka naj športnik tekmuje od 21. do 28. dneva po prihodu z višine (Sunderland, 2011). Če je športnik vaje višinskih priprav in se le-teh poslužuje večkrat na leto, je tekmovalni dosežek možno doseči tudi znotraj prvih 7 dni po prihodu z višine. Najslabši čas, v katerem ne moremo pričakovati dobrega tekmovalnega rezultata, je po Sunderlandu (2011) od 7. do 21. dne po prihodu z višine (Sunderland, 2011).

1.3.4. Odzivni in neodzivni športniki

Glede na značilnosti posameznih vzdržljivostnih športnikov je potrebno upoštevati individualni odziv. To pomeni, da se nekateri posamezniki na dražljaj odzivajo bolj kot drugi. Stellingwerff (2006) navaja, da ni specifične karakteristike, ki bi določala, ali se bo športnik na hipoksijo odzval pozitivno ali ne. Merljiva spremenljivka je porast izločanja eritropoetina. Pri odzivnih športnikih so v 30 urah po prihodu na višino vrednosti eritropoetina višje in ostajajo visoke tudi po 14 dneh na višini v primerjavi z neodzivnimi športniki (Chapman, Stray-Gundersen in Levine, 1998). Takšen test ima slabo lastnost – je drag. Navaja tudi, da so možni vzroki, ali se športnik odziva na hipoksični dražljaj ali ne, tudi naslednji:

- genetski dejavniki,
- začetno stanje železa v krvi,
- stopnja treniranosti,
- začetna vrednost hematokrita,
- stopnja utrujenosti.

Randall, Stray-Gundersen in Levine (2007) navajajo, da igra genetika pri tem veliko vlogo. Za sproščanje eritropoetina naj bi bil ključen genetski faktor HIF-1 α (hypoxia-inducible factor). Pri odzivnih športnikih se nivo eritropoetina in volumna eritrocitov bistveno bolj poveča kot pri neodzivnih. Odzivni športniki so sposobni vaditi pri višjih intenzivnostih in imajo višjo porabo kisika kot neodzivni.

V splošnem so si avtorji enotni – do učinka hipoksije pri športniku ne bo prišlo, če:

- na višino pridejo utrujeni oz. pretrenirani,
- na višini pride do pretreniranosti,
- imajo začetno vrednost železa nizko (Stellingwerff, 2006).

1.3.5. Metode umetne vzpostavitve stanja hipoksije

Pogoji hipoksije so ustvarjeni bodisi z nižanjem delnega tlaka kisika v zraku s spremembo atmosferskega zračnega tlaka (hipobarična hipoksija) ali z nižanjem koncentracije kisika v zraku (normobarična hipoksija). Ali so učinki podobni, ni jasno, saj nekatere raziskave poročajo o razlikah (Melissa idr., 1997), druge pa ne (Sargent, 1974). Hipoksijo lahko dosežemo z različnimi pripomočki, tudi v nižini. Pogosto uporabljana sta:

Višinska soba/šotor: prostor, kjer je zračni tlak enak atmosferskemu zunaj sobe (normobarična hipoksija). V sobo dovajamo zrak, ki vsebuje znižan odstotek kisika. To dosežemo bodisi s filtracijo kisika iz zraka bodisi z dodajanjem plinov (dušik), ki so zastopani v zraku. Za to skrbi niz aparatur, ki so vezane na črpalko, slednja pa preko sistema cevi dodaja pline v sobo. Za vsako vsebnost kisika v zraku take sobe lahko izračunamo ekvivalentno nadmorsko višino, kjer bi dosegli enak parcialni tlak kisika v naravi (Žiberna, Gorjanc, 2002, iz Weingerl, 2008).

Intervalna hipoksična vadba (Intermittent hypoxic training - IHT): prenosni sistem, ki se pritrdi na prsni del, glavo in nos, se uporablja v času počitka. Športnik s pomočjo naprave s kratkimi vdihom sprejme zrak, ki vsebuje 5–10 % kisika. Na 3–5 min prejme normalen zrak (Sunderland, 2011).

1.3.6. Učinki višinske vadbe na zdravje

Na višini obstaja tveganje za pojav zdravstvenih problemov ali bolezni zaradi znižanja delnega tlaka kisika. Po navadi so simptomi blagi in izginejo po nekaj dneh bivanja na višini, odvisno od trajanja aklimatizacije in višine same. Izpostavljenost hipoksiji pa lahko povzroči tudi druge težave. Te lahko ogrozijo splošno zdravstveno stanje. Najpogostejše so:

- akutna/nenadna višinska bolezen (AVB): prizadene večino posameznikov, ki so izpostavljeni višini 2500 m in več, ter traja nekaj dni. V kolikšni meri se bo odražala, je odvisno od občutljivosti posameznika, trajanja aklimatizacije in predaklimatizacije. Ostali simptomi so še glavobol, slabost, vrtoglavica, utrujenost, nespečnost, prebavne motnje, izguba apetita, bruhanje, slabši občutek za žejo in periferni edem. Pojavijo se od 4 do 12 ur po prihodu na višino in izzvenijo v prvem tednu. V večji meri se pojavijo na višini 3000 m in več (McArdle, Katch in Katch, 2010).
- višinski pljučni edem (VPE): iz neznanih razlogov 2 % posameznikov utrpita to bolezen nad 3000 m višine. Od 12 do 96 ur po hitrem prihodu na višino se pojavijo glavoboli, utrujenost, pospešen srčni utrip in plitvo dihanje, kašelj, pomodrela koža. V možganih in pljučih se začne nabirati tekočina (McArdle, Katch in Katch, 2010).
- višinski možganski edem: pojavi se pri 1 % posameznikov na višini nad 2700 m. Simptomi so podobni kot pri akutni višinski bolezni in pljučnem edemu, v skrajnem primeru lahko nastopita nezavest in smrt (McArdle, Katch in Katch, 2010).

1.3.7. Višinska vadba in doping

Opisani postopki vadbe in bivanja v umetni in/ali naravni hipoksiji, ki spodbujajo organizem k proizvodnji večjega števila eritrocitov, so v športu dovoljeni, razen v času olimpijskih iger, v olimpijski vasi, kjer so nastanjeni športniki. V Italiji pa je Ministrstvo za zdravje leta 2005 prepovedalo uporabo naprav za simulacijo višine. Njihov zakon velja neodvisno od določil Svetovne antidopinške agencije (WADA) (Griffin, B., in Chiovitti, M., 2013).

V zadnjem času so se pojavila poročila o uporabi drugačnih metod hipoksije, kjer v zraku povečajo odstotek žlahtnih plinov – ksenona, argona, kriptonu. Po poročilih medijev naj bi

nekateri športniki ruske reprezentance tovrstne postopke uporabljali za časa zimske olimpijade v Sočiju leta 2014, poročajo pa še o zgodnejši uporabi na OI v Torinu (Wood). Pri tem naj bi športniki po metodi IHE vdihovali mešanico 50 % kisika in 50 % ksenona. Učinki, ki jih ima ta postopek, so podobni dolgotrajni izpostavljenosti hipoksiji, saj ti plini med drugim vplivajo na aktivacijo produkcije genetskega faktorja HIF-1 α (Lim, 2008). WADA je tovrstne postopke obsodila in dodala na seznam prepovedanih v času vadbe in tekmovanj.

Višinska vadba lahko povzroča povečano koncentracijo eritropoetina, kar pa je mogoče doseči tudi z uživanjem sintetičnega hormona eritropoetina (EPO). Ta postopek je na seznamu prepovedanih substanc Svetovne antidopinške agencije (Sunderland, 2011).

1.4. CILJI IN HIPOTEZE

Kot posledico bivanja in vadbe na višini izsledki študij navajajo izboljšanje nekaterih funkcionalnih sposobnosti. V diplomskem delu nas bo zanimalo, ali bo preiskovanka po končanem obdobju priprav izboljšala rezultate testiranja, ki jih je opravila pred odhodom. Zanimalo nas bo, ali lahko podamo oceno napredka pri rezultatu s primerjavo dveh pripravljalnih obdobj (na normalni višini in v hipoksiji). Glede na to, da bo preiskovanka vadila na podoben način kot v prvem obdobju, postavljamo hipotezo, da se bo napredek zgodil zaradi izpostavljenosti hipoksiji.

Cilj diplomskega dela je primerjati pripravljalno obdobje na nizki višini s pripravljalnim obdobjem, izvedenim v hipoksiji, in ugotoviti, kako bo vadba v dveh različnih pogojih vplivala na izbrane funkcionalne sposobnosti.

Postavili smo naslednjo hipotezo, ki jo želimo preveriti:

H: Zaradi izpostavljenosti hipoksiji bo preiskovanka s podobno količino in intenzivnostjo vadbe dosegla večji napredek v izbranih funkcionalnih lastnostih po bivanju in vadbi v hipoksiji kot bivanju in vadbi na normalni višini (laktatna krivulja, VO₂ max) ter izboljšala nekatere hematološke parametre.

2. METODE DELA

2.1. Preiskovanka

V raziskavi je sodelovala preiskovanka, stara 26 let, ki se s teki na daljše razdalje (> 10 km) ukvarja petnajst let. V gorskem teku tekmuje tretje leto in se udeležuje tekmovanj v gorskih tekih in maratonih na mednarodnem nivoju. V raziskavo je privolila prostovoljno in z zdravniškim potrdilom, da je brez kontraindikacij za ukvarjanje z vzdržljivostno vadbo.

2.2. Postopek

Pred odhodom na višino in po vrnitvi je v Laboratoriju za biodinamiko preiskovanka opravila stopenjski test zmogljivosti. Krvne preiskave so bile izvedene pred odhodom na višino, na polovici raziskave in takoj po prihodu z višine.

Raziskava je obsegala 3-tedenske priprave na Rogli, na višini 1500 m. Preiskovanka je bivala v višinski sobi, vadila pa je na zmerni nadmorski višini in v hipoksiji. Predvidenih je bilo 6 vadb na teden, od tega 1 trening tekma. Vadba je potekala od 1- do 2-krat dnevno. V hipoksiji je bilo predvidenih 8 vadb na višini 2400 m. Ostale aktivnosti, razen plavanja v bazenu in lažje aktivnosti v telovadnici, so bile odsvetovane. Preiskovanki je bilo naročeno, da večino časa preživi v višinski sobi. Odsvetovani so bili odhodi v nižino.

Prehrana je bila normalna. Preiskovanki je bilo na voljo 5 obrokov, enakomerno razporejenih čez dan.

Preiskovanki je bilo naročeno, da beleži podatke o vadbi, saturaciji kisika v krvi, frekvenci srca v mirovanju in telesni teži po bujenju, vodi prehranski dnevnik in beleži kvaliteto spanja, počutja ter število ur v višinski sobi ter koncentracijo kisika v sobi.

Preiskovanka je bivala in vadila v višinski sobi pod pogoji normobarične hipoksije. Simulacijo višinskih razmer je zagotavljal sistem z generatorjem dušika. Preiskovanki je bilo v času zajtrka naročeno zračenje sobe. V času bivanja v višinski sobi je bila svetovana uporaba ventilatorja in vlažilca zraka. Spremembe višine so bile predvidene na vsake 4–5 dni oz. glede na stanje preiskovancev z začetno višino 2400 m in z naraščanjem po 200 m.

2.2.1. Načrt eksperimenta

Pred raziskavo (7. 9. 2013) je preiskovanka opravila stopenjski test zmogljivosti v Laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport. Preiskovanka je preživela povprečno 10 h/dan 21 dni (od 8. 9. do 29. 9. 2013) na srednji nadmorski višini. Preostali del dneva je preživela na višini 1500 m. Prvih 5 dni je preiskovanka spala na višini 2400 m, naslednje 4 dni

na 2600 m, 3 dni na 2700 m in preostalih 8 dni na 2800 m. Predzadnji dan je spala na nizki nadmorski višini zaradi odhoda na trening tekmo naslednji dan.

Prvi in drugi teden je opravila 3 vadbe v hipoksiji, tretji teden pa 2. Vadba v hipoksiji je bila opravljena pri različnih hitrostih in frekvenci srca. Tipično je na tekoči preprogi opravila tek s ponovitvami na anaerobnem pragu, tempo tek in vadba na kolesu v območju dolgotrajne vzdržljivosti. Vadba v hipoksiji si si sledili v nezaporednih dnevih.

Prvi teden je vadila 9,6 ur, drugi teden 12 ur, tretji teden pa 10,2 ur. Predzadnji dan raziskave je preiskovanka opravila trening tekmo v gorskem teku, Storžič Vertikal Kilometer. 4. dan po prihodu z višine (2. 10. 2013) je preiskovanka ponovila stopenjski test zmogljivosti. 6. dan po prihodu z višine se je preiskovanka udeležila mednarodne tekme v gorskem teku, 34. teka na Šmarno goro.

V spodnji tabeli je prikazan primer mikrocikla.

Tabela 1. Primer mikrocikla (DV – dolgotrajna vzdržljivost, AnP – anaerobni prag).

	Dopoldan	Popoldan	Višina (m)
1	DV 45 min	Pon. 3 x 15 min klanec AnP + naklon 8 % 55 min	2400
2	Počitek	Fartlek 90 min + kolo reg. 25 min	1500
3	Počitek	Tempo tek FS 165–170 60 min	2400
4	Počitek	Počitek	
5	Int. VO ₂ max 5 x 3 min 3 min odmora	Počitek	1500
6	Počitek	DV tek 60 min + kolo DV 1 h 30 min	2400
7	Počitek	Počitek	

Preiskovanka je pred prihodom na višino začela uživati dodatek železa v obliki tablet Haematopan.

2.3. Pripomočki

2.3.1. Testiranja zmogljivosti

Po 6-minutnem ogrevanju je preiskovanka tekla na tekoči preprogi do izčrpanosti. Protokol testiranja je potekal pri 1 % naklona in hitrosti 8 km/h, ki je naraščala za 2 km/h vsake 4 minute. Po vsaki stopnji smo zabeležili preiskovankino frekvenco srca (FS) (Polar, Kempele, Finska). Na vsaki stopnji smo preiskovanki iz ušesne mečice odvzeli mikro vzorec krvi za analizo vsebnosti laktata s pomočjo laktatnega analizatorja (Dr. Lange, Nemčija). Iz vrednosti laktata smo z Excelovim makro programom Lactate-E (Newell idr., 2007) izračunali laktatni prag, določen z logaritemsko transformacijo laktatne krivulje, ter prag OBLA. Med testiranjem so se na vsaki stopnji samodejno povprečili podatki o porabi kisika (VO₂), ventilaciji (V_E) in respiratornem količniku (RQ) (Sensor Medics, ZDA).



Slika 2. Preiskovanka med stopenjskim obremenilnim testom (osebni arhiv).

2.3.2. Beleženje vadbe

Za beleženje vadbe smo uporabljali merilec srčnega utripa Polar RS800CX in Polar S725X (Polar, Kempele, Finska). Analizirali smo podatke o srčnem utripu, razdalji in višini. Podatke smo pregledovali s programom Polar Pro Trainer (Polar, Kempele, Finska). Beleženje in analizo podatkov smo vršili v programu Microsoft Excel (Microsoft, Washington, ZDA).

2.3.3. Podatki o telesni teži, FS zjutraj in zvečer, počutju, drugi podatki

Med procesom raziskave smo beležili še podatke o telesni teži (Tanita, ZDA), frekvenco srca v mirovanju (Polar, Kempele, Finska), število ur in kvaliteto spanja, splošno počutje na osnovi lestvice od 1 do 10, število ur/dan v hipoksiji in jedilnik. Dobljene vrednosti smo prikazali v tabeli in grafu s programom Microsoft Excel.

2.3.4. Hematološke preiskave

Analiza krvi se je izvedla na Kliničnem inštitutu za klinično kemijo in biokemijo za izbrane hematološke kazalce (hemoglobin (Hb), hematokrit (Ht), eritrociti ter železo (Fe) in feritin). 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, v Lavrenčič, 2014).

2.3.5. Podatki o saturaciji in koncentraciji kisika

Saturacijo kisika (SaO_2) v krvi smo merili na prstu s pulznim oksimetrom SPO PulseOx 5500™ (SPO Medical Systems, Kalifornija, ZDA). Vrednosti smo odčitavali zjutraj po bujenju in zvečer pred spanjem ter med vadbo na višini. Koncentracijo kisika v višinski sobi in sobi za vadbo smo merili z merilnikom ToxiRAE II (RAE Systems, Kalifornija, ZDA).



Slika 3. Pulzni oksimeter (osebni arhiv).

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

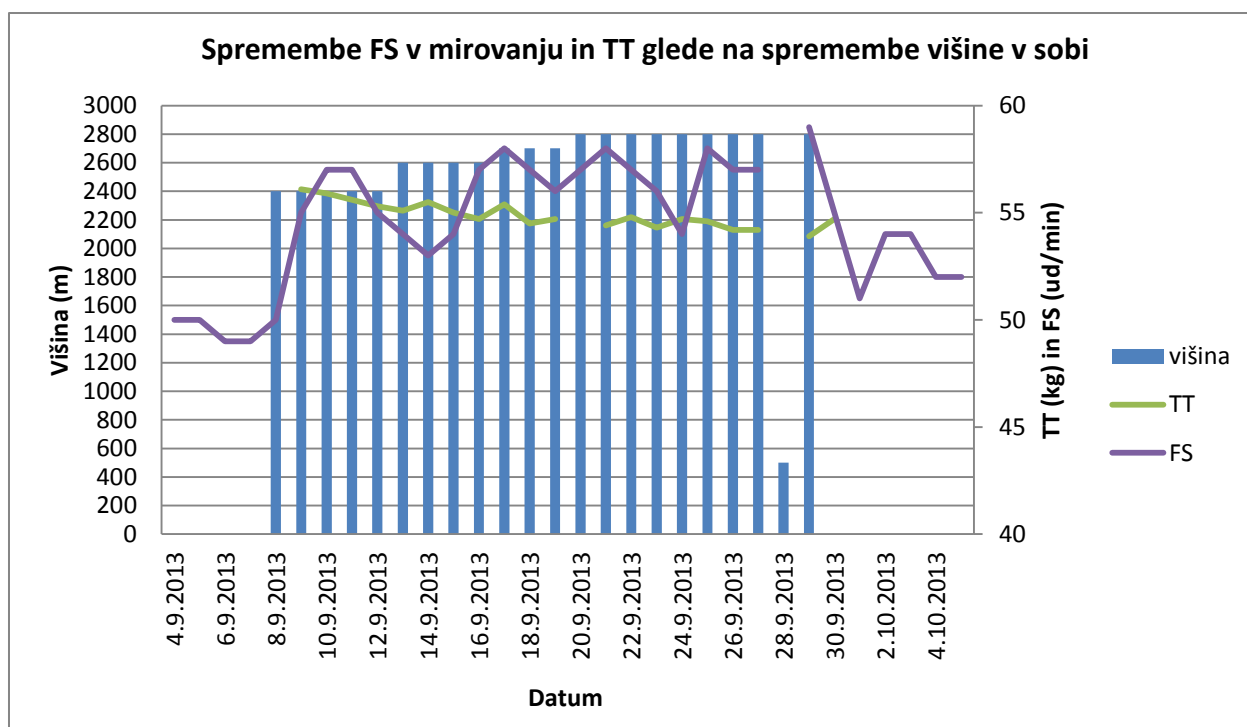
3.1. Podatki o telesni teži, FS zjutraj in zvečer, počutju, drugi podatki

3.1.1. Srčni utrip (FS)

Preiskovankin srčni utrip je pričakovano narasel ob prihodu na višino. Vrednosti so prikazane v tabeli 2. Po aklimatizaciji se je zgodila prilagoditev in utrip je tretji dan v hipoksiji začel padati. Povišanje utripa se je zgodilo ob vsakokratnem ponovnem dvigu višine.

3.1.2. Telesna teža (TT)

Telesna teža je v času na višini pričakovano padla s 56,1 kg na 54 kg. Na sliki 3 sta prikazana grafa srčnega utripa in telesne teže v odvisnosti od spremembe višine. Preiskovanka je tekom raziskave beležila jedilnik. Dnevno je zaužila 4–5 obrokov.



Slika 4. Prikaz FS in TT glede na spremembo višine.

3.1.3. Splošno fizično in psihično počutje

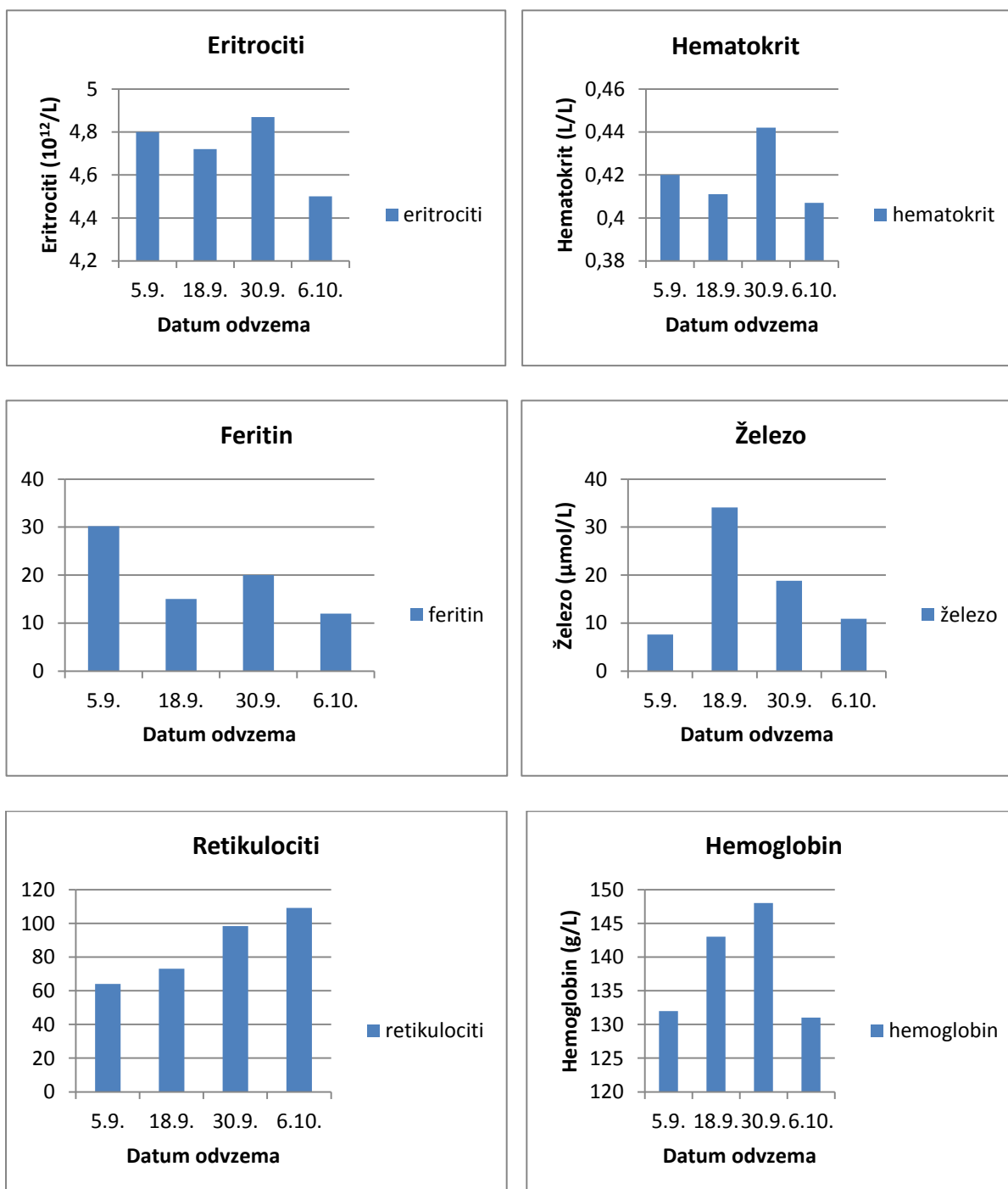
Preiskovanka je v povprečju spala 7,5 ur/dan. Na višini je preživela v povprečju 11,7 ur/dan. Preiskovanka je poročala, da se je izogibala določenim vrstam hrane zaradi povzročanja prebavnih težav v obliki kisline v želodcu in napihnjenosti. Prve dneve v hipoksiji je navajala blage do zmerne glavobole. Tretji teden v hipoksiji je preiskovanka poročala o močnejših menstrualnih bolečinah, zaradi katerih je posegla po protibolečinskih tabletah. Zaradi drugih obveznosti poleg vadbe je poročala o povečani utrujenosti, tako psihični kot fizični. Dan pred trening tekmo je poročala o utrujenosti in slabem spanju. Na trening tekmi se je telesno počutila zelo slabo in dosegla tudi slab rezultat. V večini je poročala o utrujenosti med intenzivnejšo vadbo.

3.2. Hematološke preiskave

Prvo krvno preiskavo (5. 9. 2013) je preiskovanka opravila v podjetju Adria Lab. Kasnejše preiskave so bile narejene pod vodstvom Laboratorija za biodinamiko na Fakulteti za šport (18. 9., 30. 9. in 6. 10. 2013). Upoštevali smo naslednje parametre:

- eritrociti,
- retikulociti,
- hematokrit,
- hemoglobin,
- feritin,
- železo.

Hemoglobin se je med bivanjem povečeval, takoj po prihodu z višine pa padel na vrednost pred odhodom. Vrednosti železa so bile pred odhodom na višino tik pod mejo referenčnih, kljub zadostnim zalogam (feritin). Preiskovanka je takoj začela jemati dodatek železa v obliki tablet Haematopan. Po drugi preiskavi se je vrednost dvignila. V drugi polovici raziskave preiskovanka ni več uživala železovih tablet. Vrednosti železa so začele padati, prav tako tudi vrednosti feritina. V tabeli 2 so prikazane vrednosti hematoloških parametrov. O povečanju volumna eritrocitov in hematokrita ne bi mogli govoriti, čeprav so se vrednosti retikulocitov (nezrelih rdečih krvnih celic) povečevale tudi po prihodu z višine.



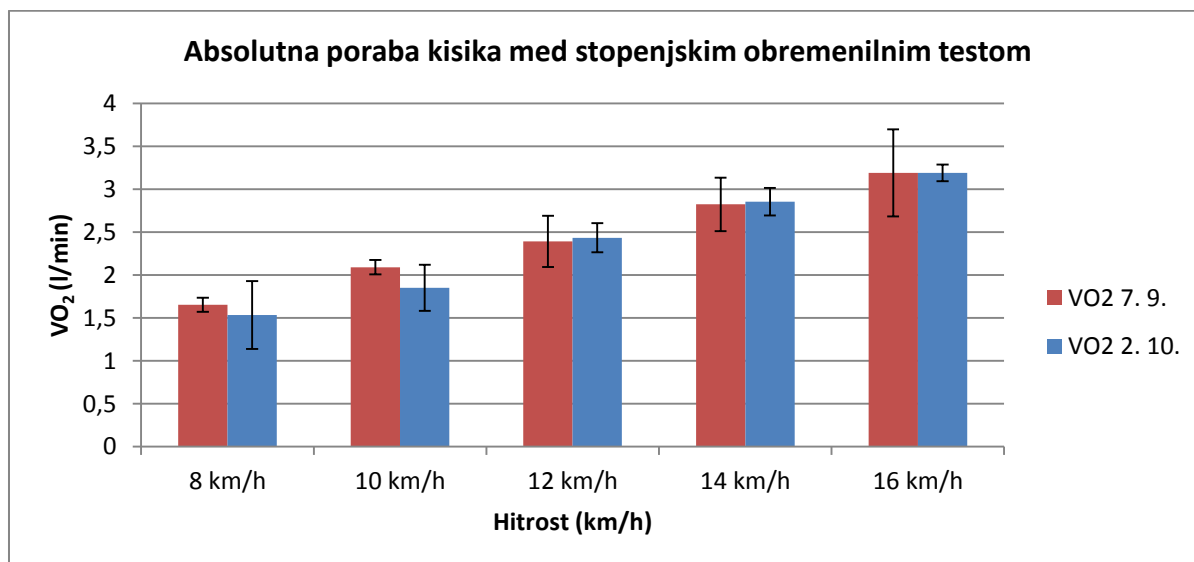
Slika 5. Grafični prikaz nihanja vrednosti hematoloških parametrov.

3.3. Rezultati testiranj

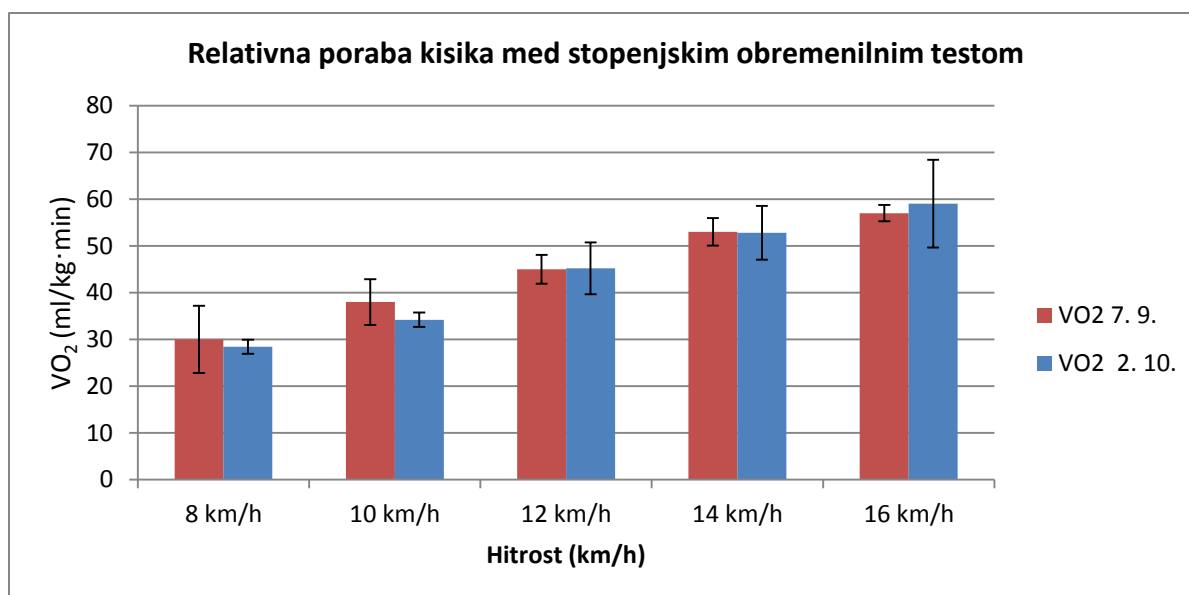
Testiranje smo izvedli pred (7. 9. 2013) in po odhodu na višino (2. 10. 2013). Testiranja so potekala v Laboratoriju za biodinamiko na Fakulteti za šport. Relativna vlažnost RH je variirala od 39 do 57 %, temperatura od 20 do 23 °C. Zračni pritisk se je gibal od 1002 do 1005 mb.

3.3.1. Poraba kisika (VO_2)

Na sliki 4 lahko vidimo, da so se spremembe zgodile pri nižjih hitrostih teka. Merjenka je imela pri hitrostih 8 in 10 km/h nižjo absolutno porabo kisika kot v prvem testu. Pri višjih hitrostih nismo zabeležili bistvenih razlik v porabi kisika. Preiskovanka je sicer izboljšala relativno porabo kisika, vendar na račun nižje telesne teže kot pred prvim testiranjem.



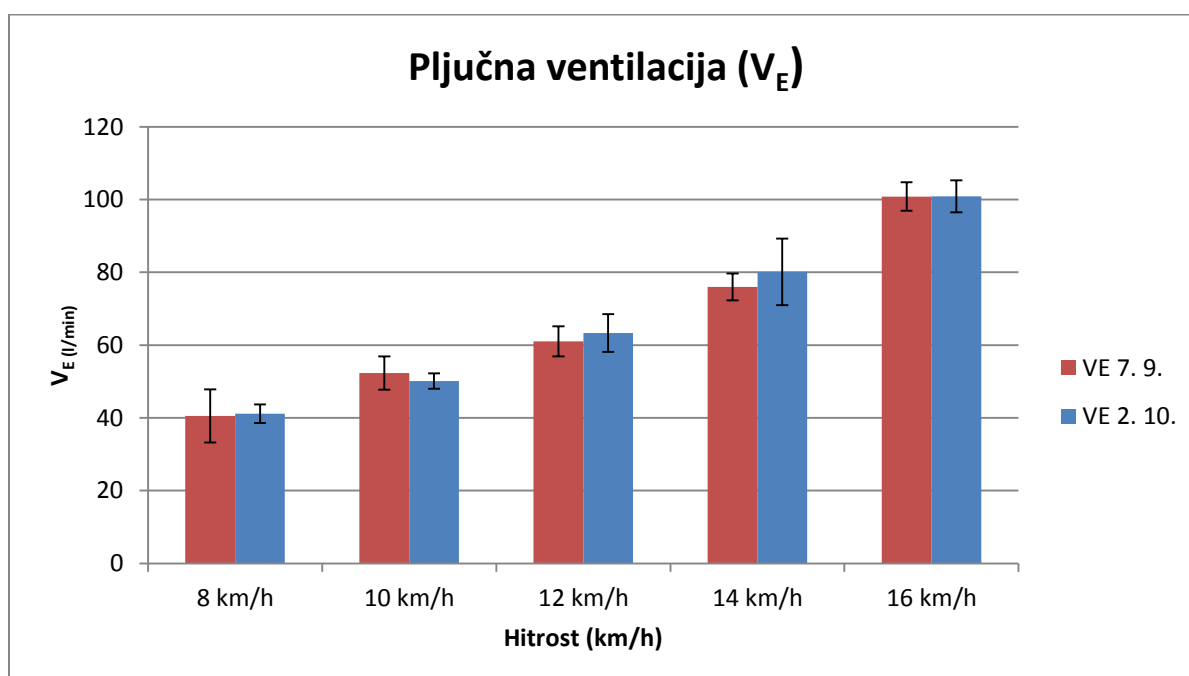
Slika 6. Primerjava vrednosti absolutne porabe kisika (VO_2) med obema testoma.



Slika 7. Primerjava vrednosti relativne porabe kisika (VO_2) med obema testoma.

3.3.2. Pljučna ventilacija (V_E)

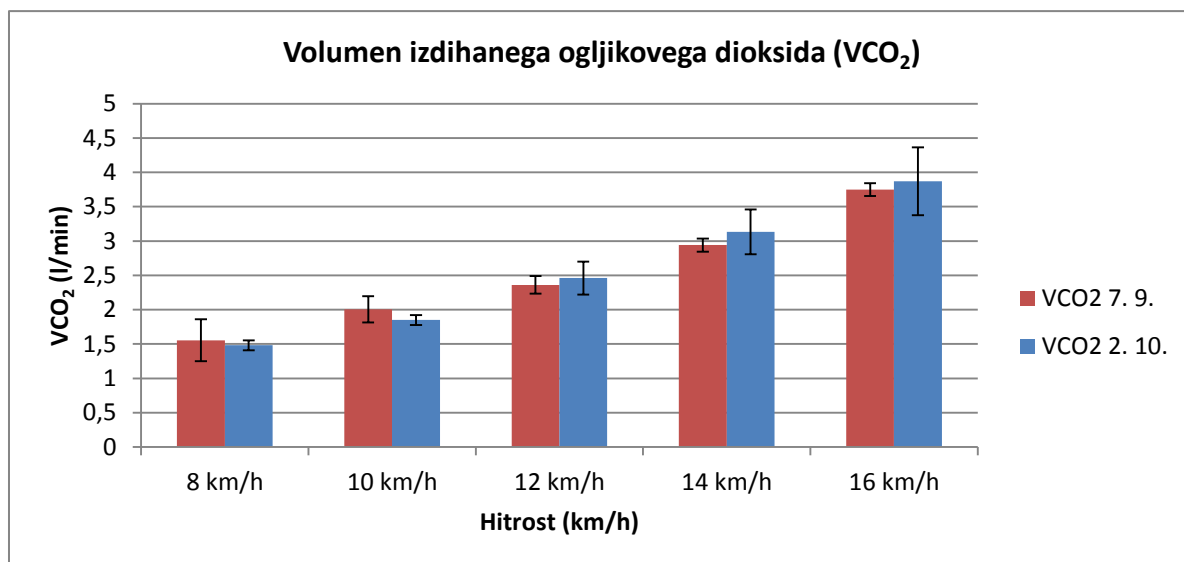
Razlike so se pojavile pri hitrostih 12 in 14 km/h. Ventilacija se je pri teh hitrostih povečala v primerjavi s testom pred odhodom na višino. Glede na izsledke študij je ta pojav pričakovan.



Slika 8. Primerjava vrednosti pljučne ventilacije (V_E) med obema testoma.

3.3.3. Volumen izdihanega ogljikovega dioksida (VCO_2)

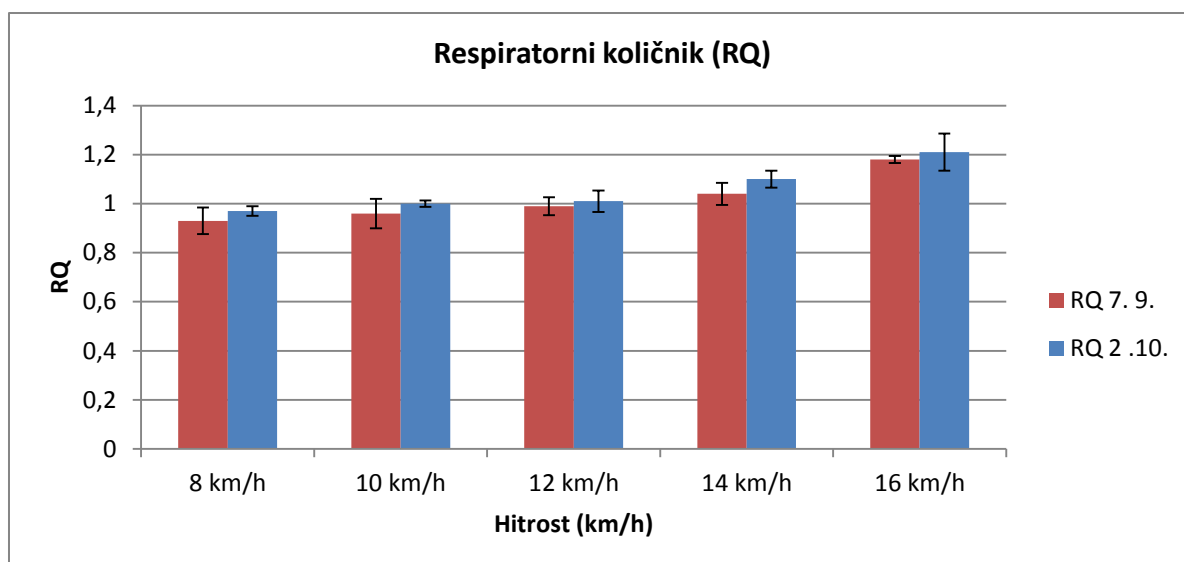
Vrednosti volumna izdihanega ogljikovega dioksida so bile med testiranjem po odhodu na višino v prvih dveh stopnjah nižje od vrednosti med testiranjem pred odhodom na višino. Pri višjih hitrostih je bilo obratno. Glede na povišanje ventilacije je to pričakovano.



Slika 9. Primerjava volumna izdihanega zraka med obema testoma.

3.3.4. Respiratorni količnik (RQ)

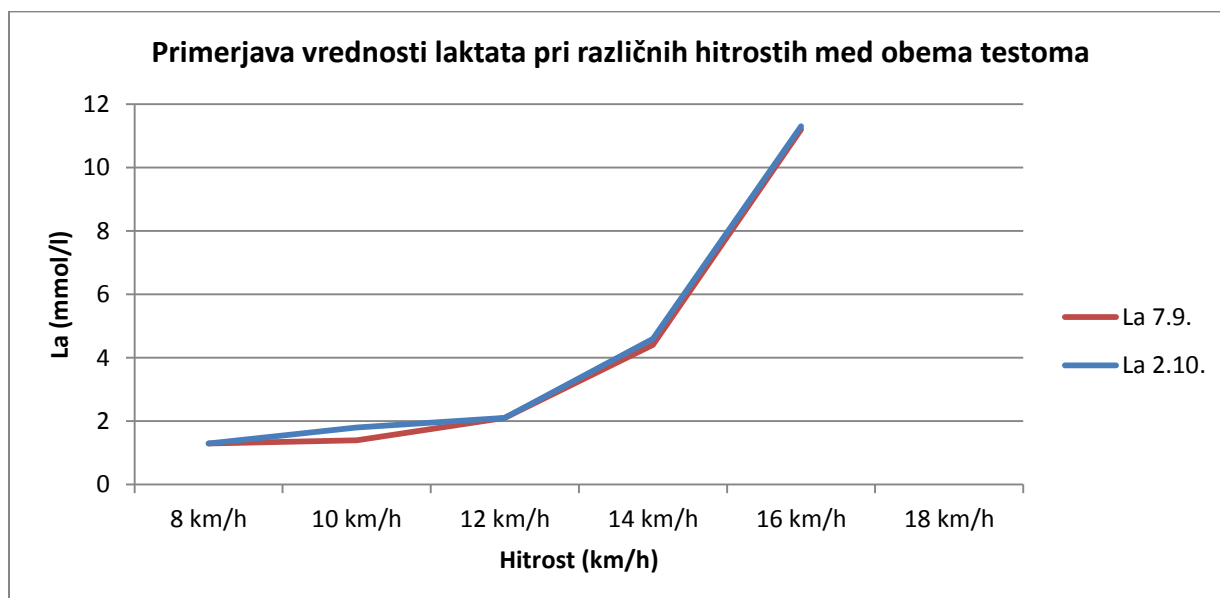
Podatki iz tabele 7 kažejo, da je respiratorni količnik (RQ) na testiranju po prihodu z višine že na drugi stopnji (10 km/h) presegel vrednost 1. Metabolizem ogljikovih hidratov se je povečal v primerjavi s testom pred odhodom na višino. Glede na izsledke študij je premik vrednosti v prid ogljikovim hidratom in varčevanju z maščobami pričakovan. Tega ne moremo z gotovostjo trditi, ker je bil test izveden takoj po prihodu z višine in se preiskovanka ni v celoti reaklimatizirala na pogoje nizke nadmorske višine.



Slika 10. Primerjava vrednosti respiratornega količnika (RQ) med obema testoma.

3.3.5. Laktatni prag in prag OBLA

Na podlagi rezultatov meritev laktata smo določili laktatni prag in prag OBLA. Laktatni prag določa intenzivnost, do katere med naporom potekajo pretežno aerobni procesi. Na laktatni krivulji je ta točka pri približno 2 mmol/l. Pri višjih intenzivnostih se vse bolj vključujejo anaerobni procesi. Kadar vsebnost laktata v krvi doseže 4 mmol/l, govorimo o pragu OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation), nad katerim vsebnost laktata strmo narašča. Z ustrezno vadbo visoke intenzivnosti ta območja športnik doseže pri višjih hitrostih oz. intenzivnostih. Laktatna krivulja se pomakne v desno.



Slika 11. Primerjava vrednosti laktata med obema testoma.

Tabela 2. Primerjava rezultatov laktatnega praga in praga OBLA med obema testoma.

	Testiranje 7. 9.	Testiranje 2. 10.
Hitrost (km/h) na laktatnem pragu	11,4	12,7
Hitrost (km/h) na pragu OBLA	13,7	13,7

V tabeli 2 so predstavljeni rezultati meritev laktata med stopenjskim obremenilnim testom pred in po odhodu na višino.

Ugotovili smo, da se je hitrost teka po prihodu z višine na laktatnem pragu povišala. Na pragu OBLA nismo ugotovili razlik med obema testoma.

Glede na število opravljene vadbe v območjih praga OBLE smo pričakovali napredek v tem območju. Do tega ni prišlo. Razlog je lahko neustrezna vadba, utrujenost po prihodu z višine in neustrezna regeneracija po treningu tekmi. Preiskovanka je napredovala pri nižjih hitrostih, kar je skladno tudi z rezultati porabe kisika.

Glede na hipoteze, ki smo jih postavili na začetku raziskave, smo predvideli dvig nekaterih fizioloških parametrov, predvsem povišanje VO_2 max in praga OBLA, ter, izboljšanje hematoloških parametrov. Spremembe so se zgodile v manjši meri od pričakovane. Vzrokov, zakaj raziskava ni pokazala pričakovanih rezultatov, je lahko več:

- Preiskovanka je imela pred odhodom na višino nizke vrednosti železa – predvsem vrednosti železa in feritina so bile nizke. Da bi dosegli optimalne učinke, bi morale biti preiskovankine vrednosti nad referenčnimi. Po navedbah študij bi preiskovanka morala opraviti krvne preiskave 2 tedna pred odhodom na višino in takoj začeti z jemanjem železovih dopolnil (Stellingwerff, 2006).
- Vadba, ki jo je preiskovanka izvajala v času raziskave, ni bila optimalna. Vadba v hipoksiji, na katerega preiskovanka ni bila navajena, je povzročil utrujenost in nezmožnost optimalne regeneracije.
- 3 tedni bivanja in vadbe na višini niso bili optimalni. Najkrajši priporočeni čas naj bi bil po študijah vsaj 3 oz. 4 tedne.
- Preiskovanka je bila hipoksiji dnevno izpostavljena manj od priporočenega časa, ki povzroči učinke. Po študijah naj bi bila dnevno hipoksiji izpostavljena vsaj 22 ur.
- Preiskovanka je šla na višino prvič – s tega vidika nismo mogli predvideti, ali se bo na višino sploh odzvala s spremembo fizioloških parametrov ter v kakšni meri. Z gotovostjo bi to potrdili, v kolikor bi preverjali vsebnost eritropoetina.
- Čas za odhod na višino ni bil optimalen – preiskovanka je bila v poznem predtekmovalnem obdobju, ko je bila že nekoliko utrujena od prve polovice sezone. Po izsledkih študij je za odhod na višino primeren čas pripravljalnega obdobja, sploh za športnike, ki se prvič poslužujejo višinskih vadbe.

Glede na omenjene raziskave bi bilo dodatno testiranje zmogljivosti smiselno izvesti še v obdobju od 21. do 28. dneva po prihodu z višine, saj naj bi takrat prišlo do nekaterih sprememb v VO_2 max. Preiskovanka je takoj po prihodu z višine še poročala o utrujenosti, kar je lahko razlog za slabše rezultate od pričakovanih. Glede na študije bi bilo smiselno v tednu

po prihodu z višine nadaljevati z intenzivnejšo vadbo, kasneje pa specifične priprave na tekmo.

Ali so bili učinki višine pozitivni ali ne, bi se bilo smiselno prepričati še s krvno preiskavo v tretjem tednu po prihodu z višine. Glede na rast retikulocitov med raziskavo bi bilo potrebno preveriti vrednosti eritrocitov v kasnejših tednih oz. mesecih po prihodu z višine.

4. SKLEP

Višinska vadba je od 90. let dalje priljubljen postopek za dvig funkcionalnih sposobnosti in izboljšanje tekmovalnega rezultata pri vzdržljivostnih športnikih. Poznanih je več metod bivanja in/ali vadbe na višini, med najbolj priljubljenimi pa je metoda spi visoko – vadi nizko. Hipoksija je stanje nezadostne preskrbe tkiv s kisikom, na kar se organizem prilagodi s povišanjem nekaterih hematoloških kazalcev, predvsem povišanjem volumna eritrocitov kot prenašalcev kisika do mišic. Posledično pride tudi do izboljšanja fizioloških kazalcev in povišanja aerobnih sposobnosti. Poleg tega ta metoda dopušča športniku, da nemoteno vadi na normalni višini in pri tem ohranja visoko intenzivnost vadbe.

V 3 tedne trajajoči raziskavi, ki je bila zasnovana po metodi spi visoko – vadi nizko in vadi visoko, smo želeli doseči povišanje nekaterih funkcionalnih in hematoloških parametrov ter izboljšanje zmogljivosti preiskovancev.

S primerjavo stopenjskih obremenilnih testov pred in po prihodu z višine ne moremo z gotovostjo trditi, da so se spremembe zgodile zgolj zaradi posledic višine. Pričakovali smo večji učinek na fiziološke parametre ter večji napredek v zmogljivosti preiskovancev. Ugotovili smo, da je po prihodu z višine preiskovanka napredovala na laktatnem pragu, ne pa na pragu OBLA. Preiskovanki se je največja poraba kisika povišala manj od pričakovanj. Vzrok je lahko neustrezno zasnovana vadba ali načrt raziskave. Iz rezultatov ostalih fizioloških kazalcev lahko rečemo, da je po prihodu z višine preiskovanka napredovala predvsem pri nižjih hitrostih teka.

Pri rezultatih hematoloških parametrov smo prav tako pričakovali povišanje vrednosti. Povečale so se vrednosti hemoglobina in hematokrita. Masa eritrocitov se ni bistveno povečala kljub konstantnem večanju mase retikulocitov. Vzroka sta lahko pomanjkljive zaloge železa pri preiskovanki pred odhodom na višino ali prekratka izpostavljenost hipoksiji.

Zakaj je prišlo do teh sprememb in zakaj (le) do te mere, ne moremo z gotovostjo trditi, saj bi bilo treba za boljšo predstavnost v raziskavo vključiti večji vzorec preiskovancev. Glede na zgoraj ugotovljeno lahko hipotezo delno potrdimo.

5. VIRI

- Adams, W. C., Bernauer, E. M., Dill, D. B., in Bomar, J. B. ml. (1975). Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO₂ max and running performance. *Journal of Applied Physiology*, 39 (2), 262–266.
- 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. *Journal of Applied Physiology*, 80 (5), 479–84.
- Basset, A. F., Joannis, R. D., Boivin, F., St-Onge, J., Billaout, F., Dore, J. idr. (2005). Effects of short-term normobaric hypoxia on haematology, muscle phenotypes and physical performance in highly trained athletes. *Experimental Physiology*, 91.2, 391–402.
- Bonetti, L. D., in Hopkins, G. W. (2009). Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia. *Sports Medicine*, 39 (2), 107–127.
- Božiček, F. (2013). *Nekateri vidiki vadbe»Živi visoko, treniraj nizko« na vadeče in njihove športne dosežke*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za šport.
- Breathe it in*. (8. 2. 2014). The Economist. Pridobljeno 15. 10. 2014 s <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21595890-obscure-gas-improves-athletes-performance-breathe-it>.
- Brugniaux, V. J., Schmitt, L., Robach, P., Nicolet, G., Fouillot, J. P., Moutereau, S., idr. (2006). Eighteen days of »living high, training low« stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *Journal of Applied Physiology*, 100, 203–211.
- Chapman, F. R., Stray-Gundersen, J., in Levine, D. B. (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology*, 85, 1448–1456.
- Chapman, R., in Wilber, R. (2011). *Altitude Training for Sea Level Performance: Best Practices and Timing for Championships*. IAAF Athletics Championships, Daegu, Južna Koreja.
- Dufour, P. S., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Wolf, L. E., Geny, B., idr. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1238–1248 .
- Gore, C. J., Clark, S. A., in Saunders, P. U. (2007). Nonhematological Mechanisms of Improved Sea-Level performance after Hypoxic Exposure. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39 (9), 1600–1609.
- Griffin, B., in Chiovitti, M. (2013). *Explaining the science of altitude training*. Pridobljeno 16. 10. 2014 s <http://cyclingtips.com.au/2013/03/explaining-the-science-of-altitude-training/>.

- Harding, J. *Training for mountain running*, Pridobljeno 15. 10. 2014 s
<http://www.mountainrunning.coolrunning.com.au/misc/training.shtml>.
- Lavrenčič, T. (2014). *Vpliv višinske vadbe na izbrane hematološke parametre in funkcionalne dejavnike v mirovanju in med naporom*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za šport.
- Levine, B. D., 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.
- Lim, T. (2008). *The role of hypoxia-inducible factor-1 α in xenon preconditioning versus hypoxic-ischaemic organ injury*. Pridobljeno 15. 10. 2014 s
<http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?did=1&uin=uk.bl.ethos.501287>.
- Lippi, G. Franchini, M., in Guidi, C. (2007). Prohibition of artificial hypoxic environments in sports: health risks rather than ethics. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32, 1206–1207.
- McArdle, D. W., Katch, I. F., in Katch, L.V. (2010). *Exercise Physiology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Newell, J., Higgins, D., Madden, N., Cruickshank, J., Einbeck, J., McMillan, K., idr. (2007).
- Noakes, T. (2001). *Lore of running*. Oxford University Press.
- Novak, B. (2003). *Nekatere značilnosti gorskega teka*. Pridobljeno 30. 5. 2012 s
<http://www.gorski-teki.info/zanimivosti/treniranje.htm#17>.
- Perdan, A. *O aklimatizaciji*. Pridobljeno 15. 10. 2014 s
<http://www.humar.com/?viewPage=29>.
- Robach, P., Siebenmann, C., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Nordsborg, N., Pesta, D., idr. (2012). The role of haemoglobin mass on VO(2)max following normobaric 'live high-train low' in endurance-trained athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (11), 822–827.
- Robertson, Y. E., Saunders, U. P., Pyne, B. D., Gore, J. C., in Anson, M. J. (2010). Effectiveness of intermittent training in hypoxia combined with live high/train low. *Journal of Applied Physiology*, 110 (2), 379–387.
- Shephard, R. J., in Astrand, P. O. (1992). *Endurance in sport*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Software for calculating blood lactate endurance markers. *Sports Sci.* 25 (12), 1403–9.
- Stellingwerff, T. (2006). *Altitude, hypoxic and hyperoxic training: research evidence vs. practical applications*. Pridobljeno 30.5.2013 s
<http://www.runhilarun.ca/Trent/GeneralInterestArticles/Stellingwerff-AltitudeTrainingArticle.pdf>.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, F. R., in Levine, D. B. (2001). »Living high-training low« altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology*, 91, 1113–1120 .

- Sunderland, D. (2011). *High performance Long-Distance Running*. Wiltshire: The Crowood Press Ltd.
- Ušaj, A. (2003). *Osnove športnega treniranja*. Ljubljana. Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Wehrlin, J. P., Zuest, P., Hallén J., in Marti, B. (2006). Live high–train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 100 (86), 1938–1945.
- Weingerl, M. (2008). *Frekvenca srca pri ljudeh na različnih nadmorskih višinah v naravnem okolju in v višinski sobi*. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za šport.
- Wilber, L. R. (2007). Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39 (9), 1610–24.
- Wilber, R. L. (2001). Current Trends in Altitude Training. *Sports Med.*, 31 (4), 249–65.
- Wilber, L. R., Stray-Gundersen, J., in Levine, D. B. (2007). Effect of Hypoxic »Dose« on Physiological Responses and Sea-Level Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39 (9), 1590–1599.
- Wood, T. *Xenon Wins Gold Medals - Is It The New Blood-Doping?* Pridobljeno 15. 10. 2014 s <http://breakingmuscle.com/health-medicine/xenon-wins-gold-medals-is-it-the-new-blood-doping>.