

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za šport

Iztok Cukjati

VPLIV BIVANJA IN GIBANJA NA VELIKI NADMORSKI VIŠINI NA  
IZBRANE KAZALCE VZDRŽLJIVOSTI

Magistrsko delo

Ljubljana 2011

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za šport

VPLIV BIVANJA IN GIBANJA NA VELIKI NADMORSKI VIŠINI NA  
IZBRANE KAZALCE VZDRŽLJIVOSTI

Magistrsko delo

Mentor: prof. dr. Anton Ušaj  
Recezent: doc. dr. Boro Štrumbelj  
Konzultant: prof. dr. Stojan Burnik

Avtor dela:  
Iztok Cukjati

Ljubljana 2011

Izjava o avtorstvu

Spodaj podpisani Iztok Cukjati izjavljam, da sem avtor te magistrske naloge.

Ljubljana,

Podpis: \_\_\_\_\_

## Zahvala

Posebna zahvala gre vsem udeležencem Alpinistično – raziskovalne odprave Pik Lenin 7134 m, ki so z veseljem in veliko doslednostjo opravili treninge in številna in naporna testiranja, pred, med, in po odpravi. Hvala Ana, Bojan, Christine, Irena, Jaka, Gorazd, Jernej, Marjana, Marko, Matjaž, Miha, Nejc, Nika, Snežka, Stojan, Tanja, Vlado in Zoran.

Iskrena hvala prof. dr. Antonu Ušaju za vse nasvete, popravke in vodenje meritev v laboratoriju.

Hvala dragi ženi Damjani za posluh, potrpljenje in vso podporo pri nastajanju tega dela.

## Iztok Cukjati

Naslov magistrskega dela:

### **VPLIV BIVANJA IN GIBANJA NA VELIKI NADMORSKI VIŠINI NA IZBRANE KAZALCE VZDRŽLJIVOSTI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, 2011

Strani 81, grafikonov 45, tabel 7, slik 6

**Ključne besede:** fiziologija, alpinizem, privzem kisika,  $VO_2max$ , hipoksija, trening, saturacija, ventilacija, frekvenca srca, telesna masa, mišična moč

### **POVZETEK**

Zmogljivost hoje navkreber, značilne za gornišstvo, se na veliki nadmorski višini zmanjša zaradi nižjega delnega tlaka kisika. Zmanjšanje zmogljivosti posameznika je odvisno med drugim od nadmorske višine, treniranosti (dolgotrajna vzdržljivost), in stopnje aklimatizacije.

Izmed mnogih kazalcev pripravljenosti je pri dolgotrajni vzdržljivosti največkrat uporabljen posameznikov maksimalen privzem kisika ( $VO_2max$ ), slednji naj bi bil vsaj deloma pomemben tudi za zmogljivost na veliki nadmorski višini, značilni za visokogorske alpinistične odprave. Stopnja aklimatizacije pozitivno vpliva na doseganje velikih nadmorskih višin. Za spremljanje se pogosto uporablja merjenje saturacije krvi s kisikom v mirovanju ( $SaO_2$ ).

Namen magistrskega dela je na primeru alpinistične odprave na 7134 m visoko goro Peak Lenin ugotoviti vpliv bivanja in gibanja na veliki nadmorski višini na izbrane kazalce vzdržljivosti. Želimo ugotoviti kako predhodno dosežen nivo vzdržljivosti učinkuje na zmogljivost na visoki nadmorski legi. Poleg tega želimo ugotoviti kako se skozi odpravo spreminja nivo aklimatiziranosti in ali morebitno izboljšanje učinkuje na zmogljivosti na visoki nadmorski legi. Zanima nas kako udeležba na odpravi učinkuje na dihalne parametre tako pri nespremenjeni submaksimalni intenzivnosti kot pri maksimalni obremenitvi.

Pred odhodom na alpinistično odpravo je testna skupina ( $N=5$ ) opravila tri-mesečni trening dolgotrajne vzdržljivosti. Pred in po alpinistični odpravi Peak Lenin (7134 m, Kirgistan) je nato vseh trinajst udeležencev ( $36 \pm 11$  let,  $68 \pm 10$  kg) opravilo večstopenjski obremenitveni test na tekoči preprogi (hoja z dodatnim bremenom 15 kg) za določitev  $VO_2max$  in submaksimalni test na cikloergometru v pogojih normobarične hipoksije za določitev ventilatornega odziva na hipoksijo. Na višini 4100 m so na odpravi opravili test hoje maksimalne intenzivnosti z višinsko razliko 70 m; zabeležili so tudi največjo doseženo višino na gori. Udeleženci odprave so

opravili test mišične moči na višini 4400 m. Ob različnih dnevih in na različnih višinah se je beležila saturacija krvi s kisikom v mirovanju ( $\text{SaO}_2$ ).

Trimesečni trening je izboljšal trajanje obremenitve pri testni skupini ( $P=0.006$ ),  $\text{VO}_2\text{max}$  in ostali kazalci vzdržljivostne pripravljenosti pa niso bili spremenjeni. Sodelovanje na visokogorski odpravi je povzročilo znižanje telesne mase za 3% ( $P<0.001$ ), v normoksiji se je skrajšal čas trajanja testa na tekoči preprogi ( $P=0.034$ ), pri tem pa se je ventilatorni prag pojavil pri nižjih obremenitvah ( $P=0.010$ ). Navkljub znižani maksimalni obremenitvi se je povečala maksimalna pljučna ventilacija ( $P=0.027$ ), ob tem je bilo zaznati trend zniževanja frekvence srca (ni stat. zn.). Pri enaki submaksimalni obremenitvi na tekoči preprogi in pri testu na cikloergometru (del testa v pogojih normoksije) je bilo po odpravi zaznati statistično pomembno povišanje RQ,  $V_e$  in  $V_{eq}$ .

Na koncu odprave smo v primerjavi z začetnim stanjem ugotovili nespremenjen čas trajanja testa vzdržljivosti v pogojih hipoksije (4100 m.n.v.) ob sočasnem znižanju povprečne frekvence srca med naporom za 8 % ( $P<0.001$ ). Zvišala se je saturacija krvi s kisikom v mirovanju, tako na višini 3600 m, kot tudi 4400 m ( $P<0.001$ ). Trajanje testa izometrične kontrakcije (izteg kolena) se ni spremenilo.

Korelacija med  $\text{VO}_2\text{max}$  doseženo na običajni nadmorski legi in hitrostjo vzpona pri testu hoje v hipoksiji je bila pozitivna ( $r=0,80$ ;  $P<0.01$ ), kot je bila tudi med hitrostjo vzpona na 4100 m in doseženo višino na odpravi ( $r=0,61$ ;  $P<0.05$ ). Ni bilo ugotovljene korelacije med nivojem vzdržljivostne pripravljenosti izmerjenim na običajni nadmorski legi ( $\text{VO}_2\text{max}$ , trajanje testa na tekoči preprogi) in največjo doseženo višino na odpravi.

Dobljeni podatki so deloma potrdili tezo, da predhodno dosežen nivo vzdržljivosti učinkuje na zmogljivost na visoki nadmorski legi (4100 m). Tekom odprave se je izboljševal nivo aklimatiziranosti, kar pa ni vodilo v izboljšanje zmogljivosti pri testu maksimalne intenzivnosti v hipoksiji. V prihodnje bo potrebno bolj natančno in celostno spremljati ostale dejavnike, ki pomembno vplivajo na doseganje zelo visokih vrhov in jih v naši raziskavi nismo zajeli, npr. individualna stopnja aklimatiziranosti, prehranjevanje, psihološki dejavniki, predhodne izkušnje z višino in morebiten pojav akutne višinske bolezni.

**Iztok Cukjati:**

## **THE INFLUENCE OF LIVING AND CLIMBING AT VERY HIGH ALTITUDE ON SELECTED INDICATORS OF ENDURANCE**

University of Ljubljana, Faculty of sport, Ljubljana, 2011

Pages 81, figures 45, tables 7, photos 6

**Keywords:** physiology, mountaineering, oxygen uptake, VO<sub>2</sub>max, hypoxia, training, saturation, ventilation, heart rate, body weight, muscle strength

### **ABSTRACT**

Uphill walking performance on high altitude is reduced because of lower partial oxygen pressure. Reduction depends primarily on altitude and fitness (endurance) of the walker and less on process of acclimatization.

Most commonly used indicator of athlete's fitness is the maximal oxygen uptake which also partly affects the fitness on high altitude mountain expeditions. The level of acclimatization affects the achieving of high altitudes. To monitor this the measuring of blood oxygen saturation is used.

The purpose of this thesis is to see how the living and activity on a high altitude affects selected indicators of endurance. This was done on the example of the expedition on Peak Lenin mountain and we wished to see how the level of endurance affected the high altitude performance. We also wanted to see how the level of acclimatization changes during the expedition and if the improving of the acclimatization also affects endurance. We were interested in how participating in the expedition affected respiratory parameters.

Before the expedition our test group (N=5) took part in a 3-month training of long term endurance. Before and after the expedition Peak Lenin (7134 m, Kyrgystan) thirteen ( $36 \pm 11$  years,  $68 \pm 10$  kg) members performed a multistage treadmill test (walking with 15 kg additional weight) to assess VO<sub>2</sub>max and submaximal test on cicloergometer in normobaric hypoxia to record ventilatory response. They performed in »all effort« uphill walking test with 70 m altitude difference at altitude of 4100 m; they also recorded their highest reached altitude on mountain. Expedition members performed in muscle power test at 4400 m. Oxygen saturation at rest (SaO<sub>2</sub>) was recorded on different days and altitudes.

The three-month endurance training has improved the duration of the treadmill test (P=0.006), however, the VO<sub>2</sub>max and other indicators of endurance performance have not changed. Participation in the high altitude expedition has decreased the body mass of participants by 3 % (P<0.001) and the time of the duration of the treadmill test in normoxia has also decreased. Ventilatory threshold appeared at lower performance levels (P=0.010). Despite the lower maximal performance the maximal pulmonary ventilation has increased (P=0.027), and at the same time the

heart rate has decreased. After the expedition the treadmill test and the test on cycle ergometer (part of the test in normoxia) were taken, where at the same submaximal load the  $RQ$ ,  $V_e$  and  $V_{eq}$  significantly increased.

At the end of the expedition the results have shown that the duration of the endurance test in hypoxia (4100 meters above sea level) has not changed. The average heart rate during the test has increased by 8 % ( $P < 0.001$ ). The  $SaO_2$  at rest has increased on the altitude of 3600 as well as 4400 meters above sea level ( $P < 0.001$ ). The duration of the test of isometric contraction (knee extension) has not changed.

Correlation between  $VO_2max$  reached at sea level and speed of ascent at uphill walking test at 4100 m was positive ( $R^2 = 0,64$ ;  $P < 0.01$ ), as it was also between speed of ascent at 4100 m and reached altitude ( $R^2 = 0,74$ ;  $P < 0.001$ ). But there was no correlation between sea level performance ( $VO_2max$ , duration of treadmill test) and highest reached altitude.

The results have partially proven the initial thesis which claimed that the achieved level of endurance affects the level of endurance performance at high altitude (4100 meters above sea level). As the expedition was in progress the level of acclimatization improved, however, at the same time the performance in test in hypoxia did not improve. In the future other indicators (such as the individual level of acclimatization, nutrition, psychological factors, previous high altitude experience, mountain sickness etc.) will have to be more clearly monitored, as they surely affect the achieving high mountains.



## KAZALO

1.	UVOD .....	1
1.1.	VZDRŽLJIVOST .....	2
1.1.1.	DEJAVNIKI VZDRŽLJIVOSTI.....	3
1.1.2.	TRENING VZDRŽLJIVOSTI .....	7
1.2.	POVEČANA NADMORSKA VIŠINA .....	12
1.2.1.	ZNAČILNOSTI OKOLJA VELIKE NADMORSKE VIŠINE .....	13
1.2.2.	VPLIV HIPOKSIJE NA FIZIOLOŠKE PROCESSE IN ZMOGLJIVOSTI .....	13
1.2.3.	AKLIMATIZACIJA .....	17
1.2.4.	AKUTNE PRILAGODITVE .....	17
1.2.5.	PRILAGODITVE V DALJŠEM ČASOVNEM OBDOBJU .....	19
1.2.6.	DRUGI DEJAVNIKI POMEMBNI ZA USPEŠNOST VZPONA .....	21
1.3.	VISOKOGORSKI ALPINIZEM.....	22
2.	PREDMET IN PROBLEM.....	25
2.1.	TRENING PRED ODPRAVO .....	27
2.2.	PREDAKLIMATIZACIJA IN AKLIMATIZACIJA.....	28
2.3.	VZPON NA VISOKO GORO .....	29
3.	CILJ.....	31
4.	HIPOTEZA .....	31
5.	METODA DELA .....	32
5.1.	PREISKOVANCI .....	32
5.2.	TRENING .....	33
5.3.	TESTI.....	34
5.4.	NAČRT EKSPERIMENTA .....	37
5.5.	IZBOR MERITEV .....	37
5.6.	IZBOR KAZALCEV .....	39
5.7.	METODE OBDELAVE PODATKOV .....	40
6.	REZULTATI .....	41
6.1.	VEČSTOPENJSKI TEST NA TEKOČI PREPROGI PRED IN PO TRENINGU .....	42
6.1.1.	PRIVZEM KISIKA - $VO_2$ IN TVORBA OGLJIKOVEGA DIOKSIDA – $VCO_2$ .....	43
6.1.2.	RESPIRATORNI KVOCIENT - RQ IN PLJUČNA VENTILACIJA - VE.....	44
6.1.3.	DIHALNI VOLUMEN – $V_T$ IN FREKVENCA DIHANJA - $V_f$ .....	45
6.1.4.	VENTILATORNI EKVALENT ZA $O_2$ – $VEQ$ IN FREKVENCA SRCA – FS .....	46
6.2.	TELESNA MASA IN FREKVENCA SRCA V MIROVANJU PRED IN PO ODPRAVI .....	47
6.3.	VEČSTOPENJSKI TEST NA TEKOČI PREPROGI PRED IN PO ODPRAVI.....	48
6.3.1.	PRIVZEM KISIKA - $VO_2$ IN TVORBA OGLJIKOVEGA DIOKSIDA – $VCO_2$ .....	50
6.3.2.	RESPIRATORNI KVOCIENT - RQ IN PLJUČNA VENTILACIJA - VE.....	51
6.3.3.	VENTILATORNI EKVALENT ZA $O_2$ – $VEQ$ IN VOLUMEN ENKRATNEGA VDIHA – $V_T$ .....	52
6.4.	TEST NA CIKLOERGOMETRU V NORMOBARIČNI HIPOKSIJI PRED IN PO ODPRAVI .....	53
6.4.1.	PRIVZEM KISIKA - $VO_2$ IN FREKVENCA SRCA - FS .....	53

6.4.2.	RESPIRATORNI KVOCIENT - RQ IN PLJUČNA VENTILACIJA - VE.....	54
6.4.3.	VENTILATORNI EKVALENT ZA O <sub>2</sub> – VEQ IN FREKVENCA DIHANJA - VF.....	55
6.4.4.	SATURACIJA KRVI S KISIKOM - SAO <sub>2</sub> .....	56
6.5.	MERITVE NA ODPRAVI .....	57
6.5.1.	TEST VZDRŽLJIVOSTI NA NADMORSKI VIŠINI 4100 M .....	57
6.5.2.	TEST VZDRŽLJIVOSTI V MOČI V POGOJIH HIPOKSIJE .....	58
6.5.3.	SATURACIJA V MIROVANJU .....	59
6.6.	PRIMERJAVA IN POVEZANOST SPREMENLJIVK.....	60
6.6.1.	KORELACIJA MED TRAJANJEM TESTA NA PREPROGI IN DOSEŽENO VIŠINO.....	60
6.6.2.	KORELACIJA MED TRAJANJEM TESTA NA PREPROGI IN TESTOM NA ODPRAVI .....	61
6.6.3.	KORELACIJA MED VO <sub>2</sub> MAX IN DOSEŽENO VIŠINO .....	61
6.6.4.	KORELACIJA MED VO <sub>2</sub> MAX IN TRAJANJEM TESTA NA ODPRAVI .....	62
6.6.5.	KORELACIJA MED TRAJANJEM TESTA NA ODPRAVI IN DOSEŽENO VIŠINO .....	62
7.	RAZPRAVA.....	63
7.1.	TRENING .....	63
7.2.	TESTIRANJA PRED IN PO ODPRAVI.....	64
7.2.1.	TELESNA MASA IN FREKVENCA SRCA V MIROVANJU .....	64
7.2.2.	TEST NA TEKOČI PREPROGI V NORMOKSIJI .....	65
7.2.3.	TEST NA CIKLOERGOMETRU V HIPOKSIJI .....	67
7.3.	MERITVE NA ODPRAVI .....	68
7.3.1.	SATURACIJA KRVI V MIROVANJU .....	68
7.3.2.	DOLGOTRAJNA VZDRŽLJIVOSTI .....	69
7.3.3.	VZDRŽLJIVOST V MOČI .....	71
7.3.4.	DOSEŽENA VIŠINA NA ODPRAVI.....	71
7.4.	POVEZANOST SPREMENLJIVK.....	72
7.5.	SKLEP .....	73
8.	ZAKLJUČEK.....	74
9.	LITERATURA.....	75

## SEZNAM GRAFIKONOV

Grafikon 1: Izbira goriva glede na intenzivnost in trajanje vadbe (Bean, 2010).....	5
Grafikon 2: Pomembnejši omejitveni dejavniki vzdržljivosti (Ušaj, 1996).....	7
Grafikon 3: Zmanjšanje VO <sub>2</sub> max glede na zračni tlak in vpliv aklimatizacije (Astrand et al., 2003) .....	15
Grafikon 4: Zračni tlak in tlak O <sub>2</sub> v sapniku (Astrand et al., 2003).....	16
Grafikon 5: Protokol večstopenjskega obremenilnega testa na tekoči preprogi .....	34
Grafikon 6: Protokol stacionarne obremenitve na cikloergometru v normobarični hipoksiji .....	35
Grafikon 7: Trajanje obremenitve do odpovedi (min) pred in po treningu .....	42
Grafikon 8: VO <sub>2</sub> max (ml*kg <sup>-1</sup> *min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu .....	42
Grafikon 9: Privzem kisika (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu – testna skupina.....	43
Grafikon 10: Volumen CO <sub>2</sub> (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu – testna skupina.....	43
Grafikon 11: Vrednost RQ pred in po treningu – testna skupina.....	44
Grafikon 12: Pljučna ventilacija (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu – testna skupina .....	44
Grafikon 13: Volumen enkratnega vdih (lit) pred in po treningu .....	45
Grafikon 14: Frekvenca dihanja (vdihov*min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu .....	45
Grafikon 15: Vrednost Veq (Ve/VO <sub>2</sub> ) pred in po treningu .....	46
Grafikon 16: Frekvenca srca (utrip*min <sup>-1</sup> ) pred in po treningu .....	46
Grafikon 17: Telesna masa (kg) pred in po odpravi.....	47
Grafikon 18: Frekvenca srca (utrip/min) pred in po odpravi .....	47
Grafikon 19: Trajanje obremenitve do odpovedi (min) pred in po odpravi.....	48
Grafikon 20: Čas do doseženega ventilatornega praga (min) pred in po odpravi .....	48
Grafikon 21: Najvišja dosežena pljučna ventilacija (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi.....	49
Grafikon 22: Največja frekvenca srca (utrip*min <sup>-1</sup> ) dosežena na tekoči preprogi .....	49
Grafikon 23: Relativen privzem kisika (ml*min <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi.....	50
Grafikon 24: Volumen CO <sub>2</sub> v izdihanem zraku (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi .....	50
Grafikon 25: Vrednost respiratornega kvocienta (RQ) pred in po odpravi.....	51
Grafikon 26: Pljučna ventilacija (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi .....	51
Grafikon 27: Vrednost Veq (Ve/VO <sub>2</sub> ) pred in po odpravi.....	52
Grafikon 28: Dihalni volumen (Vt) pred in po odpravi .....	52
Grafikon 29: Relativen privzem kisika (ml*min <sup>-1</sup> *kg <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi.....	53
Grafikon 30: Frekvenca srca (utrip*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi.....	53
Grafikon 31: Respiratorni kvocient (RQ) pred in po odpravi .....	54
Grafikon 32: Pljučna ventilacija (lit*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi .....	54
Grafikon 33: Vrednost ventilatornega ekvivalenta (Veq) pred in po odpravi .....	55
Grafikon 34: Frekvenca dihanja (vdih*min <sup>-1</sup> ) pred in po odpravi .....	55
Grafikon 35: Saturacija v normoksiji (N1) in hipoksiji (H) pred in po odpravi (N=6).....	56
Grafikon 36: Trajanje vzpona (sek) na začetku in na koncu odprave .....	57
Grafikon 37: Povprečna frekvenca srca (utripov*min <sup>-1</sup> ) pri vzponu na višini 4100 m pred in po odpravi.....	57
Grafikon 38: Trajanje izometrične kontrakcije na začetku in na koncu odprave.....	58
Grafikon 39: Trajanje izometrične kontrakcije na začetku in na koncu odprave - posamezno .....	58
Grafikon 40: SaO <sub>2</sub> na odpravi – v mirovanju (modra - 3600 m, rdeča - 4400 m). .....	59
Grafikon 41: Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in doseženo višino (ni korelacije) .....	60

Grafikon 42: Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in testom na odpravi ( $P < 0.05$ ) .....	61
Grafikon 43: Korelacija med $VO_2$ max in doseženo višino na odpravi (ni korelacije) .....	61
Grafikon 44: Korelacija med $VO_2$ max in trajanjem testa na odpravi ( $P < 0.01$ ) .....	62
Grafikon 45: Korelacija med trajanjem testa na odpravi in doseženo višino ( $P < 0.05$ ).....	62

## SEZNAM TABEL

Tabela 1: Nekateri vrednosti posameznih energijskih snovi (Astrand, 2003).....	6
Tabela 2: Največji privzem kisika (Astrand, 2003; Shephard & Astrand 1992; Wilmore, 1994) .....	12
Tabela 3: Spremembe zračnega tlaka, delnega tlaka kisika, temperature in $VO_2$ max (Wilmore, 1994) .....	14
Tabela 4: Najpomembnejše prilagoditve ob akutni izpostavljenosti veliki nadmorski višini 18	
Tabela 5: Najpomembnejše prilagoditve ob dlje časa trajajoči izpostavljenosti veliki nadmorski višini .....	20
Tabela 6: Načrt treninga za testno skupino .....	33
Tabela 7: Načrt eksperimenta .....	37

## SEZNAM SLIK

Slika 1: Po prvem vzponu na Mount Everest (8848 m).....	22
Slika 2: Bazni tabor pod goro Peak Lenin, Kirgistan (7134 m).....	22
Slika 3: Večstopenjski obremenilni test na tekoči preprogi .....	34
Slika 4: Test stacionarne obremenitve na cikloergometru v pogojih normobarične hipoksije .....	35
Slika 5: Test vzdržljivosti na nadmorski višini 4100 m .....	36
Slika 6: Test moči na nadmorski višini 4400 m.....	36

## 1. UVOD

Človekova želja po osvajanju neznanega, težko dostopnega sveta je že pred stoletji vodila prve raziskovalce v težko dostopna gorstva. Z razvojem opreme in želje po športnih dosežkih se je začelo sistematično načrtovanje vzponov na najvišje gore sveta. Tako so bili med leti 1953 in 1964 preplezani vsi osemtisočaki na svetu, večina med njimi s pomočjo dodatnega kisika. Leta 1980 je uspelo R. Messnerju preplezati na najvišji vrh sveta, 8848 m visoki Mount Everesta, brez pomoči dodatnega kisika, čeprav je v tistem obdobju veljalo prepričanje medicinske in športne stroke, da to ni mogoče.

V zadnjih desetletjih se je močno povečalo število ljudi, ki se odpravljajo v visoke gore. Najvišjih vrhovi sveta so zaradi boljšega in hitrejšega transporta ter dobre organiziranosti ponudnikov odprav dostopni širšemu krogu gornikov in alpinistov. Zaradi posledičnega velikega števila slabše pripravljenih in manj izkušenih obiskovalcev visokih gora se je močno povečalo število visokogorskih nesreč in žal tudi število smrtnih žrtev. Nepoznavanje nevarnosti visokogorskega okolja (okolje z nižjim delnim tlakom kisika, mraz, oddaljenost civilizacije in pomoči) lahko skupaj s slabšo telesno pripravljenostjo relativno hitro privede do življenjsko ogrožajočih situacij.

Danes je alpinizem športna panoga, razdeljena na več disciplin: ledno plezanje, skalno plezanje, kombinirano plezanje, visokogorski alpinizem in alpinistično smučanje, nemalokrat med posameznimi zvrstmi ni jasne ločnice. Različne discipline zahtevajo različno razvitost posameznih motoričnih sposobnosti. Za visokogorski alpinizem je bolj pomembna dobra vzdržljivostna pripravljenost, za plezanje v skali pa specialna moč rok in zapestja, koordinacija in gibljivost. Dobra dolgotrajna vzdržljivost omogoča alpinistu na visokogorski odpravi sprotno in zadostno obnovo porabljene energije pri nizko intenzivnih naporih, ki trajajo več dni oz. tednov.

Visokogorski alpinizem lahko uvrstimo med športne zvrsti (super)dolgotrajne vzdržljivosti, katerih osnova so aerobni energijski procesi. To zmogljivost omogoča kisik, ki pride v tkiva iz atmosferskega zraka in primerna goriva (glikogen, glukoza, proste maščobne kisline, glicerol, znotrajcelični lipidi in, izjemoma, aminokisline). Napor pri alpinizmu navadno zahteva relativno nizek delež največje vrednosti privzema kisika, saj so obremenitve dolgotrajne (več ur) in nizko intenzivne. V pogojih hipoksije se delež  $VO_2$ max pri nespremenjeni obremenitvi znatno poveča (Astrand et al., 2003). Vsebnost laktata v krvi je praviloma stacionarna, napor lahko traja več dni ali tednov zapored. Zaradi dolgotrajnosti obremenitve in objektivnih razlogov (slabe bivanjske razmere, pomanjkanje tekoče vode, nezadostna in neuravnotežena prehrana, mraz, suh zrak idr.) je pri alpinizmu lahko problematičen zadosten vnos tekočine, goriv (ogljikovi hidrati, maščobe, beljakovine), mineralov in vitaminov.

Ob zmanjšanem delnem tlaku kisika v atmosferi (povečani nadmorski višini) se pojavijo težave pri oskrbi telesa s kisikom, kar posledično povzroči zmanjšano moč aerobnih energijskih procesov, povečano ventilacijo in porabo energije za delo respiratorne miškulature ter izbiro glikogena namesto maščobe kot goriva (Astrand et al., 2004; McArdle, 1991; Wilmore et al., 1994).

Predvideva se, da je za doseg cilja pri visokogorskem alpinizmu pomembna predvsem dobro razvita dolgotrajna vzdržljivost, hitra in učinkovita aklimatizacija, sposobnost hitre regeneracije in dobra psihična pripravljenost. Pri tehnično težjih vzponih imajo pomembno vlogo tudi vzdržljivost v moči, koordinacija, gibljivost in specifična plezalna tehnika.

### 1.1. Vzdržljivost

Med mnogimi motoričnimi sposobnostmi je vzdržljivost zagotovo najbolj pomembna pri osvajanju tehnično manj zahtevnih visokih gora. Več je definicij vzdržljivosti, lahko je določena tudi kot sposobnost človeka, da opravlja določeno aktivnost dlje časa, ne da bi moral zaradi utrujenosti zniževati intenzivnost vadbe ali jo celo prekiniti.

Vzdržljivost je odvisna predvsem od zmogljivosti organizma učinkovito uravnati procese, kot so transport plinov, tekočin in goriv, ter presnovnih produktov, uravnavanje temperature, acido-baznega in elektrolitskega ravnovesja, aktivnost encimov pri razgradnji energijskih snovi idr. Aplikacija vzdržljivostne pripravljenosti v izbrani športni panogi je odvisna tudi od psihične pripravljenosti in ostalih motoričnih sposobnosti kot so koordinacija, gibljivost, vzdržljivost v moči idr.

Vzdržljivost lahko ločimo glede na količino aktivirane mišične mase (lokalna/splošna vzdržljivost), glede na intenzivnost vadbe (aerobna / anaerobna in vmesne variante), glede na kvaliteto giba (statično / dinamično).

Vzdržljivost<sup>1</sup> lahko glede na trajanje razdelimo v tri kategorije (Ušaj, 1996):

- hitrostna: značilna za premagovanje navora, ki traja do dve minuti;
- dolgotrajna: definira napore od treh minut do ene ure in
- superdolgotrajna: traja najmanj eno uro – pa tudi več dni.

Vzdržljivost in aerobna zmogljivost sta tesno povezani (Noakes, 1991). Aerobni energijski procesi so poglavitni vir energije v človeškem organizmu, ki ga je mogoče izrabljati dlje časa, toda le pri intenzivnosti submaksimalnih naporov. Temeljijo na izrabljanju zaloga maščob (glicerol, proste maščobne kisline) in ogljikovih hidratov (glukoza, glikogen), izjemoma in v manjši meri pa tudi nekaterih beljakovin (Astrand et al., 2003; Shephard, 1987). Goriva prihajajo v mišico s krvjo pred in med naporom (Fox & Mathews, 1981) Privzem kisika ( $VO_2$ ) v obremenjenih mišicah določa do kod bo premagovanje navora potekalo v poglavitni meri s pomočjo aerobnih, t. j. oksidativnih energijskih procesov.

<sup>1</sup> V nadaljevanju bo uporabljen enoten termin "vzdržljivost", ki predstavlja predvsem "superdolgotrajno vzdržljivost" (Ušaj, 1996), napore, ki so značilni za visokogorski alpinizem.

Mišice kemično energijo pretvarjajo v mehansko energijo, ki se nato uporablja pri premagovanju obremenitve. Z razgradnjo adenzin-trifosfata (ATP) se tvori potrebna energija za opravljeno mehansko delo mišic. Zaloge ATP v mišičnih celicah so zelo majhne in jih je potrebno stalno obnavljati, saj so lahko izčrpane že v nekaj sekundah (Astrand et al., 2003). Resintezo ATP omogočajo različni procesi, ki pa ne potekajo posamezno, temveč se medsebojno prepletajo.

- Aerobni procesi; najpočasnejša resinteza poteka z razgradnjo maščob (glicerol in proste maščobne kisline) in ogljikovih hidratov (glikogen in glukoza). Omogočajo obnovo ATP med dolgotrajno aktivnostjo, submaksimalne intenzivnosti. Predstavlja primarni in večinski energijski vir pri visokogorskem alpinizmu.
- Anaerobni laktatni procesi; počasnejša obnova ATP s pomočjo razgradnje mišičnega glikogena in glukoze v procesu glikolize (Baechle, 1994). Končni produkt je laktat (Astrand et al., 2003). Značilno za napore v trajanju od ene do nekaj minut.
- Anaerobni alaktatni procesi; najhitrejša obnova ATP s kreatinfosfatom (CrP), ki se razgradi na kreatin (Cr) in fosfat (P). Zaloge zadoščajo za obremenitev maksimalne intenzivnosti do 10 sekund (Astrand et al., 2003).

Mišice bolj vzdržljivih športnikov imajo navadno večji delež počasnih mišičnih vlaken, ki prevladujejo pri dolgotrajni in superdolgotrajni vzdržljivosti. Tovrstna vlakna imajo veliko oksidativno zmogljivost. Mišična vlakna lahko razdelimo glede na hitrost krčenja (čas do maksimalne sile skrčka), histokemične dejavnike in utrudljivost na (Astrand et al., 2003; Enoka, 1994):

- tip I – počasna oksidativna vzdržljiva vlakna z nizko glikolitično zmogljivostjo, pomembna predvsem pri dolgotrajni vzdržljivosti,
- tip II – hitra anaerobna vlakna z manjšo oksidativno in večjo glikolitično zmogljivostjo, pomembna predvsem pri manifestaciji moči:
  - tip IIa; hitra oksidativna, glikolitična in vzdržljiva m. v.,
  - tip IIb ali IIx; hitra glikolitična in utrudljiva m. v.,
  - tip IIc; vlakna vmesnega tipa I in II, o njih je manj znanega.

### 1.1.1. Dejavniki vzdržljivosti

Vzdržljivost posameznika je odvisna od večih dejavnikov: kapacitete in moči aerobnih energijskih procesov, količine in izbire goriva, ekonomičnosti gibanja, mehanskega izkoristka in termoregulacije. Najpomembnejši dejavniki se spreminjajo glede na trajanje in intenzivnost napora in so med drugim: (1) relativni privzem kisika, (2) sposobnost, da posameznik celoten čas napora zadrži na čim višjem deležu  $VO_2max$ , (3) količina glikogenskih rezerv v mišicah in jetrih, (4) sposobnost organizma, da porablja čim večji delež maščob pri enaki obremenitvi idr.

Med zelo pomembne dejavnike vzdržljivosti sodi delni tlak kisika v vdihanem zraku, saj se npr.  $VO_2max$  na nadmorski višini 6000 m zniža na manj kot 50 %

vrednosti dosežene na normalni nadmorski legi (Wilmore, 1994), ter tako odločilno vpliva na zmogljivosti v okolju hipoksije.

#### 1.1.1.1. Aerobni energijski procesi

Pri dolgotrajnem nizkointenzivnem naporu, ki je značilen za visokogorski alpinizem, poteka obnova zalog ATP pretežno po aerobni presnovni poti. V veliki meri določa dolgotrajno vzdržljivost največji privzem kisika ( $VO_2\max$ ), ki ga zmore posameznik. Predstavlja vrednost, ki jo posameznik doseže med obremenitvijo z velikimi mišičnimi skupinami na nadmorski višini 0 m (Astrand et al., 2003). Aerobna zmogljivost oz. aerobna moč predstavlja količino kisika, ki ga organizem privzame v eni minuti (Astrand et al., 2003) in je najvišja pri športnikih vzdržljivostnega tipa, ki pri svojem gibanju uporabljajo velik del mišične mase, npr. tekači na smučeh. Dejavniki, ki vplivajo na dolgotrajno vzdržljivost, se s treningom vzdržljivosti bolj ali manj spreminjajo.

Pri razgradnji goriv po aerobni energijski poti se iz enake količine goriv pridobi več energije za obnovo ATP kot pri anaerobni razgradnji, vendar pa je moč (hitrost) obnove počasnejša. V procesu aerobne razgradnje potekajo številne kemične reakcije v katerih za katere so potrebni različni encimi. Razgradnja se odvija znotraj celic v mitohondrijih. Acetil koencim A je začetna spojina, ki vstopa v Krebsov cikel (cikel limonske kisline), nastane iz piruvične, maščobnih ali amino kislin. V Krebsovem ciklu prihaja do kemijskih reakcij, ki so vezane na tvorbo ogljikovega dioksida in vode. Vodikovi ioni in elektroni vstopajo v dihalno verigo, v kateri poteka serija specifičnih reakcij, nastaja  $H_2O$  in  $CO_2$ , pri tem pa se sprošča energija za resintezo ATP.

Dejavniki, ki določajo dolgotrajno vzdržljivost in  $VO_2\max$  se lahko delijo na notranje in zunanje (Astrand et al., 2003; Prampero, 2003).

Notranji dejavniki:

- Sposobnost organskih sistemov, ki sodelujejo pri transportu  $O_2$ 
  - dihalni sistem: pljučna ventilacija (minutni volumen predihanega zraka;  $V_e = V_t \cdot \text{frekvenca dihanja}$ ), difuzija kisika v alveolah;
  - srčno-žilni sistem: minutni volumen srca (odvisen je od frekvence srca in utripnega volumna), volumen cirkulirajoče krvi, prerazporeditev cirkulacije;
  - kri: oksiforna kapaciteta krvi (vsebnost hemoglobina);
  - arterio-venska razlika za kisik.
- Sposobnost mišičnih celic, da porabijo razpoložljiv  $O_2$ :
  - število in velikost mitohondrijev;
  - količina mioglobina;
  - razvejanost kapilarne mreže (gostota kapilar);
  - vzorec in aktivnost encimov, dejavnih v oksidacijski fosforilaciji.



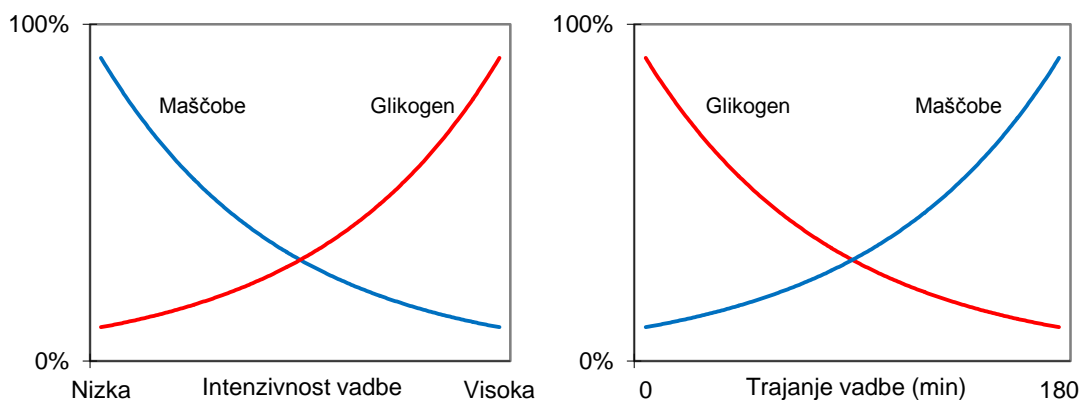
Zunanji dejavniki:

- Vrsta obremenitve (hoja, tek, kolesarjenje, plavanje, veslanje idr).
- Delni tlak kisika v atmosferi (z višjo nadmorsko višino se  $pO_2$  niža).
- Klimatski dejavniki (temperatura, vlažnost in gibanje zraka).

Posamezni dejavniki nimajo absolutne pomembnosti in se spreminjajo glede na treniranost posameznika in zunanje okolje (Prampero, 2003; Wagner, 2000). Tako ima na veliki nadmorski višini zelo pomembno vlogo znižan delni tlak kisika v atmosferi, manj pa ostali dejavniki.

#### 1.1.1.2. Gorivo

Mišične celice za svoje delo potrebujejo kemično energijo. Ta se sprosti pri razgradnji različnih snovi, ogljikovi hidrati in maščobe pri tem predstavljajo najpomembnejši delež goriv. Delež se spreminja glede na intenzivnost in trajanje vadbe, pa tudi treniranost posameznika.



**Grafikon 1:** Izbira goriva glede na intenzivnost in trajanje vadbe (Bean, 2010)

Izjemoma se lahko v okolju hipoksije in/ali dolgotrajne izčrpanosti zalog ogljikovih hidratov v metabolizmu vključijo tudi beljakovine. Med gorivi obstajajo razlike v količini potrebnega kisika za razgradnjo enega grama snovi oz. v količini kisika potrebnega za sprostitvev enake količine energije. Za en liter privzetega kisika ogljikovi hidrati sprostijo približno 10 % več energije kot maščobe (Shephard, 1987). Zaloge ogljikovih hidratov skladiščenih v obliki glikogena v mišicah in jetrih ter glukoza v krvi so zelo omejen vir energije, saj se lahko črpajo le do 90 minut pri naporu (sub)maksimalne intenzivnosti (Costill, 1983). Pri naporih, daljših od dveh ur, postanejo praviloma primarno gorivo maščobe, njihove zaloge so bistveno večje in v običajnih razmerah praktično neomejene. Trenirani posamezniki običajno pri enakem submaksimalnem naporu porabljajo večji delež maščob kot netrenirani.

Pri naporih blizu  $VO_2max$  ali v pogojih hipoksije, se kot primarno gorivo zaradi potrebe po čim večjem izkoristku kisika v vedno večji meri uporablja glikogen. Hitrejše izčrpavanje glikogena vodi posledično v hitrejši pojav utrujenosti, deloma

pa se to lahko nadomesti z hrano bogato z ogljikovimi hidrati (Fulco et al., 2005). Dodatno težavo predstavlja zmanjšanje apetita na povečani nadmorski višini. V pogojih hipoksije (visokogorske odprave) je priporočljivo uživati večji delež ogljikovih hidratov in beljakovin.

**Tabela 1:** Nekatere vrednosti posameznih energijskih snovi (Astrand, 2003)

Energijske snovi	O <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>		RQ	Ener.
	kcal/l	l/g	kcal/l	l/g	VCO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub>	kcal/g <sup>2</sup>
Ogljikovi hidrati	5,05	0,81	5,05	0,81	1,00	4
Beljakovine	4,46	0,94	5,57	0,75	0,80	4
Maščobe	4,74	1,96	6,67	1,39	0,71	9

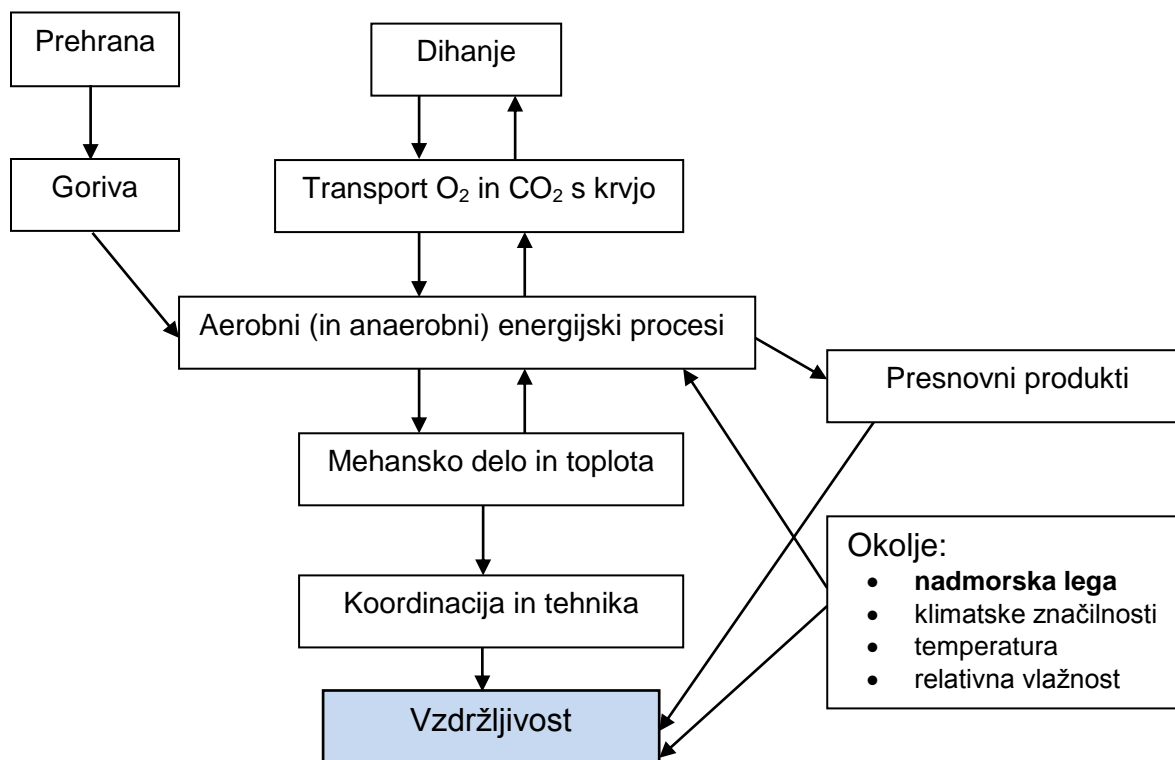
#### 1.1.1.3. Ekonomičnost gibanja

Gibanje pri vzponih na visoke vrhove praviloma poteka pri nižji intenzivnosti, ekonomičnost gibanja igra pri tem pomembno vlogo. Dobra tehnika gibanja omogoča manjšo porabo goriva ob nespremenjeni hitrosti. Težave s prehranjevanjem na visokogorski alpinistični odpravi vplivajo na še pomembnejšo vlogo ekonomičnosti pri vzponu. Ugotovljeno je bilo, da je tek uspešnih maratoncev za 5-10% učinkovitejši od teka tekačev na srednje proge (Kubukeli et al., 2002).

#### 1.1.1.4. Termoregulacija

Pri dolgotrajnih naporih je pomembna primerna termoregulacija, na kar vplivajo notranji dejavniki (nivo potenja, debelina maščobnega tkiva idr.) in zunanji dejavniki (temperatura in vlažnost zraka, hitrost vetra). Približno 75 % energije se pri dolžini in intenzivnosti maratonskega teka sprosti v obliki toplote, le 25 % pa v obliki mehanskega dela. V običajnih zunanjih pogojih je povišanje telesne temperature določeno predvsem z intenzivnostjo napora, manj pa z zunanjim okoljem. Pri temperaturah okolja nad 33<sup>0</sup> C in hkratni vsebnosti vlage nad 60 % se zmanjšujejo zmogljivosti pri testih dolgotrajne vzdržljivosti (Astrand et al., 2003). Hipotermija ali podhladitev lahko nastopi ob dlje časa trajajoči izpostavljenosti hladnemu okolju, stanje poslabšuje neprimerna zaščita, utrujenost, dehidracija in pomanjkanje ogljikovih hidratov. Telesna temperatura se lahko zniža pod 35<sup>0</sup>, pojavi se lahko tresenje, apatičnost in disorientacija, v skrajnih primerih tudi agresivnost, eforija in halucinacije (Astrand et al., 2003). Že manjše znižanje telesne temperature lahko znatno zniža temperaturo mišic, kar povzroči njihovo šibkost, zmanjšanje živčniomišičnih funkcij in posledično poslabšanje dolgotrajne vzdržljivosti.

<sup>2</sup> Energijske vrednosti so okvirne in variirajo med različnimi hranili.



**Grafikon 2:** Pomembnejši omejitveni dejavniki vzdržljivosti (Ušaj, 1996)

### 1.1.2. Trening vzdržljivosti

Omejitveni dejavniki vzdržljivosti se s primernim treningom spreminjajo in omogočajo daljše trajanje aktivnosti ob nespremenjeni obremenitvi, oz. enako dolgo aktivnost ob višji obremenitvi. Povečevanje vzdržljivosti je mogoče z večjim številom različnih vadbenih metod. Smiselna je uporaba treninga, ki je situacijsko podoben predvidenemu naporu, saj ni enoznačnega prenosa aerobnih zmogljivosti z enega na drug šport. Za razvoj dolgotrajne vzdržljivosti se v tekmovalnih športih uporablja več metod (Ušaj, 1996):

- *metoda neprekinjenega napora* je zelo pogosta metoda za razvoj dolgotrajne vzdržljivosti. Napor je nizke intenzivnosti in traja praviloma 30 do 90 minut, lahko pa tudi več. Frekvenca srca je nizka in navadno ne presega 80 % največje frekvence srca. Napor se povečuje s količino treninga in večjo frekvenco vadbe. Pogosta je pri vseh športnih panogah vzdržljivostnega tipa (tek, kolesarjenje, plavanje, gornišstvo, turno smučanje idr.);
- *metoda s ponavljanji* in *piramidna metoda* sta primerni predvsem za razvoj  $VO_2\text{max}$ . Napor traja v prekinjenih intervalih v trajanju 3 do 15 minut. Napor je mogoče povečevati z intenzivnostjo ali večjim številom ponovitev. Pri metodi s ponavljanji so intervali praviloma enako dolgi, pri intervalni metodi pa so ti različni;

- *intervalna metoda* je lahko intenzivna ali ekstenzivna. Značilnost ekstenzivne metode je večje število ponovitev in krajši vmesni odmori, pri intenzivni metodi pa je število ponovitev manjše, daljši pa so vmesni počitki. Intervali in odmori trajajo navadno med 30 in 90 sekund, število ponovitev pa je praviloma med 10 in 20;
- *kombinirana metoda in fartlek* uporabljata kombinacije daljših in krajših obremenitev različnih intenzivnosti. Pogosto se uporablja kombinacija metode s ponavljanji in intervalne metode. Značilnost fartleka je dodajanje vaj za razvoj moči, ter izvajanje v naravnem, razgibanem okolju, pogosto s sprostitvenim namenom.

Trening vzdržljivosti vpliva tako na srčno-žilni in dihalni sistem (centralne prilagoditve), kot tudi na izboljšanje lastnosti na nivoju mišic in mišičnih celic (periferne prilagoditve).

Centralne spremembe:

- ↑ se lahko prostornina srca in prostornina levega ventrikla, običajno se odebeli ventrikularna stena (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se lahko utripni volumen srca v mirovanju, pri submaksimalnem in tudi maksimalnem naporu (Astrand et al., 1986, Blomqvist & Saltin, 1983; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994) kot posledica povečanja ventrikularne votline, povečane sposobnosti krčenja miokarda in povečanega tonusom perifernih ven, s čimer se poveča centralni volumen krvi (Wilmore & Costill, 1994);
- ↓ se frekvenca srca (bradikardija) kot posledica povečanega parasimpatetičnega tonusa (vagotonija) in/ali zmanjšanja simpatetičnega vpliva ter povečanega utripnega volumna. Bradikardija se kaže tako pri submaksimalnem naporu kot mnogokrat, ne pa nujno, tudi v mirovanju. Trenirani enak napor opravljajo pri nižji frekvenci srca, kar kaže na večjo učinkovitost srca. Maksimalna frekvenca srca ostaja praviloma nespremenjena, včasih se pri nekaterih vzdržljivostnih športnikih malenkostno zniža (5-10 u/min), hitreje je vračanje srčne frekvence po naporu proti vrednostim v mirovanju (Astrand et al., 1986; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se minutni volumen srca (MVS) pri maksimalnih naporih, predvsem kot posledica povečanega utripnega volumna (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se prostornina krvi (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994) in količina hemoglobina kot posledica povečanja izločanja antidiuretičnega hormona (ADH), aldosterona in plazemskih beljakovin, še posebej albumina (Wilmore & Costill, 1994). Povečanje volumna krvi je bolj izraženo pri intenzivnejšem treningu (Wilmore & Costill, 1994) in se kaže že po 3 do 5 vadbenih enotah (McArdle, 1991). Količina

hemoglobina se poveča predvsem kot posledica povečanja količine krvi, njegova koncentracija (hematokrit) pa je nespremenjena ali celo znižana (Astrand et al., 2003; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). Povečana količina krvi skupaj s povečanim utripnim volumnom je pomemben dejavnik povečane aerobne moči, saj omogoča boljšo oskrbo tkiv s kisikom (Wilmore & Costill, 1994);

- ↑ se krvni pretok skozi mišice, kot posledica povečane gostote kapilar, večje pretočnosti v obstoječih kapilarah, bolj učinkovite prerazporeditve krvi in njenega večjega volumna (Astrand et al., 1986; McArdle, 1991; Wilmore & Costill, 1994);
- ↓ se lahko krvni tlak v mirovanju pri osebah s hipertenzijo (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994), včasih se pri maksimalnem naporu malenkostno poveča (Shephard, 1987);
- ↑ se maksimalna pljučna ventilacija ( $V_{e_{max}}$ ) in ↓ se pljučna ventilacija pri submaksimalnih naporih (McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se lahko vitalna kapaciteta (količina zraka, ki se lahko izdiha po maksimalnem vdihu) (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se lahko dihalni volumen pri maksimalno intenzivnem naporu (Astrand et al., 2003);
- ↓ se lahko frekvenca dihanja v mirovanju in pri submaksimalnem naporu (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se lahko frekvenca dihanja pri maksimalnih naporih (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↓ se velikost  $V_e$  za privzet liter  $O_2$  pri naporih večje intenzivnosti, t. j. zmanjša se respiratorni ekvivalent za kisik -  $V_{eq}$  ( $V_e/VO_2$ ) (Astrand et al., 2003), kar kaže na izboljšano ekonomičnost dihanja;
- ↑ se intenzivnost napora pri ventilacijskem pragu (nelinearno povečanje  $V_e$  glede na privzem kisika), ki predstavlja približen začetek intenzivnejšega vključevanja anaerobnih energijskih procesov v metabolizmu mišičnih (Shephard, 1987);
- ↑ se difuzija plinov v pljučnih alveolah, predvsem pri maksimalnih naporih. Povečanje je verjetno posledica povečane pljučne ventilacije, pretoka krvi skozi pljuča in s tem večje perfuzije (prekravljenosti) pljučne membrane (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se ekstrakcija  $O_2$  v aktivnih mišicah in izboljša se prerazporeditev krvi v telesu (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- ↓ se respiratorni kvocient ( $RQ = VCO_2/VO_2$ ) pri submaksimalnih naporih, kar kaže na večjo uporabo maščob kot goriva (Shephard, 1987), saj so maščobe večji porabnik kisika. Pri vrednosti RQ-ja 0,70 bi potekal metabolizem skoraj izključno maščob, pri vrednosti 1,00 pa skoraj izključno ogljikovih hidratov;

- ↑ se RQ (do 1,20) pri maksimalnih naporih kar kaže na povečano sproščanje CO<sub>2</sub> iz bikarbonatnih pufrov, ki nastane pri povečani metabolični acidozi. Trenirani so sposobni dlje časa vztrajati pri maksimalnem naporu. Zaradi varčevanja z glikogenom in kopičenja laktata pri večjih intenzivnostih lahko bolje trenirani tekmujejo pri višjem % VO<sub>2</sub>max brez povečanja [LA] v krvi (Shephard, 1987).

#### Periferne spremembe:

- ↑ se lahko delež počasnih mišičnih vlaken (m.v.) tipa I glede na delež hitrih m.v. tipa II (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Wilmore & Costill, 1994). Vlakna tipa IIb (IIx) lahko po dolgoletnem aerobnem treningu pridobijo nekatere značilnosti vlaken tipa IIa (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Wilmore & Costill, 1994), možnosti popolne spremembe tipa vlaken pa so praktično nedokazane (McArdle, 1991). Kaže se, da je odvisnost aerobne moči od velikosti m.v. zelo majhna. Večina študij je pokazala, da aerobni trening ne spremeni bistveno deleža posameznih tipov vlaken (Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se gostota kapilarne mreže v aktivnih mišicah in poveča se najvišji pretok krvi skozi mišico (Astrand et al., 2003). Že po nekaj tednih vadbe se poveča število kapilar na mišično vlakno in število kapilar na enak prečni presek mišice. Slednje izboljša pretok krvi skozi mišico, olajša izmenjavo plinov, substratov in presnovnih produktov. Obstaja tesna povezava med gostoto kapilar v skeletni mišici in mišično VO<sub>2</sub>max (Astrand et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se lokalna arterio – venska razlika za kisik pri submaksimalnih naporih (Astrand et al., 2003);
- ↑ se vsebnost mioglobina v treniranih mišicah od 75 do 80 %, kar omogoči boljši transport in večje zaloge kisika znotraj mišične celice (Astrand et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se število in velikost mitohondrijev v celici trenirane mišice ob sočasnem povečanju aktivnosti številnih encimov Krebsovega cikla in dihalne verige (npr. sukcinatna dehidrogenaza in citratsintaza) (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Wilmore & Costill, 1994). Vsebnost določenih encimov se lahko celo podvoji (McArdle, 1991). Te spremembe so verjetno pomembne pri sposobnosti delovanja posameznika na višjem % VO<sub>2</sub>max pri submaksimalnem naporu, brez znatnega povečanja vrednosti [LA] v krvi - zviša se laktatni prag IIa (McArdle, 1991; Wilmore & Costill, 1994);
- ↑ se zmogljivost mišice, da shrani (Astrand et al., 2003; Costill, 1983; McArdle, 1991; Shephard, 1987) in porabi glikogen (McArdle, 1991). Vsebnost glikogena se lahko pri treniranih ljudeh v aktivnih mišicah po dieti, bogati z ogljikovimi hidrati poveča celo na dvakratno vrednost netreniranih ljudi (Wilmore & Costill, 1994). Povečane zaloge glikogena neposredno podaljšajo trajanje visoko intenzivnih submaksimalnih obremenitev (Astrand et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994). S povečanjem vsebnosti glikogena se

- poveča tudi vsebnost vode (1 g glikogena veže 3 g vode) - s tem se delno zmanjša dehidracija med intenzivno vadbo (Shephard, 1987);
- ↑ se oksidacija prostih maščobnih kislin (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). Pri določeni submaksimalni intenzivnosti trenirani oksidirajo več prostih maščobnih kislin in manj ogljikovih hidratov, verjetno zaradi tega pride do varčevanja glikogena in glukoze, navkljub njihovi povečani vsebnosti. Povečana oksidacija maščob je posledica povečanja zaloga maščob v obremenjenih mišičnih celicah v obliki trigliceridov, povečanega sproščanja prostih maščobnih kislin iz adipoznega tkiva in povečanja aktivnosti mnogih encimov, odgovornih za aktivacijo, transport in razgradnjo maščobnih kislin v procesu beta oksidacije (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
  - ↓ se krvni pretok na kilogram obremenjene mišice pri enaki submaksimalni obremenitvi, kar obremenjene mišice treniranega nadomestijo z večjo ekstrakcijo kisika iz krvi (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991);
  - ↑ se največji pretok krvi skozi mišico (Astrand et al., 2003);
  - ↓ se vsebnost kateholaminov (andrenalina in noradrenalina) (Astrand et al., 2003);
  - ↑ se vsebnost beta-endorfinov (Astrand et al., 2003);
  - ↑ se tonus perifernih ven, kar vodi v povečan centralni volumen krvi in posledično povečan utripni volumen (Shephard, 1987);
  - telesna masa se lahko zmanjša, ostane nespremenjena ali pa se poveča. Ob morebitni izgubi maščob se lahko poveča količina mišičevja, zato je sprememba telesne mase neprimeren kazalec sprememb v sestavi telesa (Astrand et al., 2003; Shephard, 1987).

Vse te spremembe v mišici in zunaj nje vodijo v povečanje sposobnosti oksidativnega sistema (pri manj treniranih se praviloma poveča  $VO_2\max$ ) in izboljšanje vzdržljivosti. Obstajajo velike individualne razlike v velikosti prilagoditve na enak trenažni proces. Izboljša se lahko submaksimalna vzdržljivost,  $VO_2\max$  se lahko poveča celo za 100 % (Astrand et al., 2003), kar je odvisno tako od vrste in količine treninga, športne panoge, predhodne treniranosti, kot verjetno tudi individualnih genetskih izhodišč (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991, Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). K spremembam  $VO_2\max$  v največji meri vplivata povečan utripni volumen in višja arterijo-venska razlika za kisik (Astrand et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994).

**Tabela 2:** Največji privzem kisika (Astrand, 2003; Shephard & Astrand 1992; Wilmore, 1994)

športna zvrst	največji privzem kisika ( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ )		
	Astrand	Shep. & Ast.	Wilmore
tek na dolge proge	83	75-80	60-85
smučarski tek	85	75-78	65-94
cestno kolesarstvo	72	70-75	62-74
Drsanje	64	65-72	56-73
Plavanje	70	60-70	50-70
Veslanje	66	65-69	60-72
netrenirani	43	35-45	28-56

## 1.2. Povečana nadmorska višina

Bivanje in gibanje na večji nadmorski višini predstavlja s fiziološkega vidika stres na organizem. Navadno se stres z višino povečuje. Enaka obremenitev predstavlja na višji nadmorski višini povečan napor. Zniža se zmogljivost pri dolgotrajnih obremenitvah. Zaradi znižanega delnega tlaka kisika se poveča pljučna ventilacija ter frekvenca srca, pojavijo se ostali simptomi utrujenosti. Prilagoditev na nove pogoje (hipoksijo) zahteva določen čas (Astrand, 2003).

Nadmorsko višino lahko razdelimo na posamezna območja<sup>3</sup>:

- zmerna (1800 m – 2400 m),
- visoka (2400 m – 3700 m),
- zelo visoka (3700 m – 5500 m),
- ekstremno visoka (5500 m in več).

Če obstajajo posamezniki, ki se na visoko nadmorsko višino po tej razdelitvi še ne odzivajo zelo burno, pa v območju zelo visoke višine prihaja do znakov akutne višinske bolezni praktično pri vseh, predhodno neaklimatiziranih, ljudeh. Aerobna zmogljivost je znižana pri vseh omenjenih višinah.

Na visoko nadmorsko višino se je mogoče v zadostni meri in učinkovito aklimatizirati, tudi za obdobje celotnega življenja. Na zelo visoke višine je začasna aklimatizacija mogoča, več let trajajoče bivanje pa je praviloma mogoče le za osebe, ki so genetsko v zadostni meri prilagojene. Na ekstremnih višinah (nad 5500 m) dlje časa trajajoče bivanje brez resnih zdravstvenih posledic ni več mogoče niti za ljudi, ki so sicer genetsko prilagojeni (npr. Tibetanci, Indijanci v Južni Ameriki idr.).

<sup>3</sup> V nadaljevanju je z besedno zvezo *visoka* ali *velika nadmorska višina* označena predvsem »zelo visoka« in »ekstremno visoka« višina po tej razdelitvi.



### 1.2.1. Značilnosti okolja velike nadmorske višine

Na povečani nadmorski višini se pojavi več različnih sprememb zunanjega okolja, ki vplivajo na človekov organizem:

- a) z višino se zmanjšuje delni tlak kisika ( $PO_2$ ). Zaradi nižjega barometriškega tlaka v takem okolju se vdihne manj kisika pri enaki pljučni ventilaciji (Astrand et al., 2004; McArdle, 1991; Mintzer et al., 2003; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994);
- b) znižan upor zraka omogoči večjo ventilacijo ob nespremenjeni porabi kisika za delo dihalnih mišic;
- c) zmanjša se upor zraka pri enaki hitrosti gibanja;
- d) temperatura zraka se z višino niža linearno za 6,6 stopinj Celzija vsakih 1000 m do višine 11000 m (Astrand et al., 2004; Mintzer et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994). Hitreje se pojavita podhladitev in/ali ozeblina;
- e) zrak postaja z višino bolj suh, kar povzroči povečano izgubo vode preko respiratornega dela. Omenjeno lahko vodi v povečano dehidracijo, občutek bolečine in izsušenosti v grlu (Astrand et al., 2004; Mintzer et al., 2003; Wilmore & Costill, 1994);
- f) sevanje UV-žarkov je močnejše (Mintzer et al., 2003), kar lahko povzroči poškodbe oči (vnetje roženice, snežna slepota) in kože;
- g) znižana je sila gravitacije, kar ima lahko pozitiven vpliv na dolžino skokov in metov.

### 1.2.2. Vpliv hipoksije na fiziološke procese in zmogljivosti

Izpostavljenost hipobarični hipoksiji ima velik vpliv na človekove funkcionalne sposobnosti. Hipoksija, povzročena z povečano nadmorsko višino povzroči znižanje submaksimalnih in maksimalnih zmogljivosti, tako med akutno kot dolgotrajno izpostavljenostjo hipoksiji (Fulco et al., 1998, Lawler et al., 1988, Wagner et al., 1987). Veliko je faktorjev, ki vplivajo na znižanje zmogljivosti pri dolgotrajni vzdržljivosti na veliki nadmorski višini (Burtscher et al., 2006). To so nadmorska višina, dolžina izpostavljenosti hipoksiji (število ur/dni na veliki višini), intenzivnosti vadbe/vzpona in individualne razlike v hitrosti in intenzivnosti adaptivnih procesov na hipoksično okolje. Pokazalo se je, da lahko posameznike v grobem uvrstimo v dve večji skupini: (1) na hipoksijo odzivni (t.i. »responders«) in (2) na hipoksijo manj odzivni (t.i. »non-responders«) (Mazzeo, 2008).

**Tabela 3:** Spremembe zračnega tlaka, delnega tlaka kisika, temperature in  $VO_2\max$  (Wilmore, 1994)

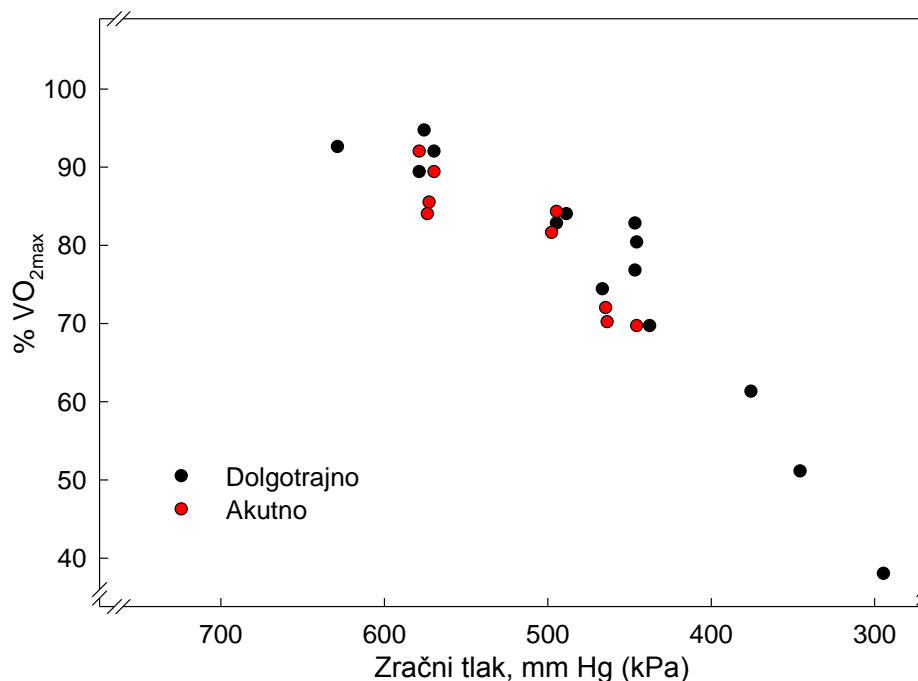
Višina (m)	$P_B$ (mmHg)	$PO_2$ (mmHg)	Temperatura	% $VO_2\max$
0 (morje)	760	159,2	15,0	100
1000	674	141,2	8,5	100
2000	596	124,9	2,0	95
3000	526	110,2	-4,5	85
4000	462	96,9	-10,9	73
5000	405	85,0	-17,4	61
6000	354	74,3	-23,9	47
7000	308	64,8	-30,4	35
8000	267	56,4	-36,9	29
9000	231	48,4	-43,4	24

Glavni omejitveni dejavnik telesnega napora na povečani nadmorski višini je znižana aerobna moč, ki jo povzroča znižan tlak kisika v vdihanem zraku ( $PO_2$ ). Zniža se oksigenacija arterijske krvi in zniža se minutni volumen srca. Pokazalo se je, da se maksimalen privzem kisika kot dober pokazatelj srčno-žilne, respiratorne in presnovne sposobnosti organizma zmanjša vse do 25 % vrednosti na nivoju morja (Hollman, 1994; Iliev, 1992). Na veliki nadmorski višini se z zmanjševanjem parcialnega tlaka v zraku  $VO_2\max$  zmanjšuje z eksponentno funkcijo (Wilmore & Costill, 1994) in tako močno vpliva na absolutne zmogljivosti športnika. Pri zelo velikih nadmorskih višinah (Mt. Everest) je gibanje brez dodatnega kisika zelo omejeno, saj posameznikova trenutna  $VO_2\max$  komajda presega (povečane) energijske potrebe bazalnega metabolizma (Wilmore & Costill, 1994). Pljučna ventilacija, ki navadno ni omejitveni dejavnik maksimalnega privzema kisika, lahko v pogojih izrazito znižanega  $PO_2$  predstavlja pomemben element znižanja zmogljivosti (Wilmore & Costill, 1994).

Organizem se na hipoksijo odzove s hitrim in znatnim povečanjem pljučne ventilacije. Posamezniki se medsebojno razlikujejo glede na burnost odziva. Nivo hipoksične ventilatorne odzivnosti (HVO) praviloma ni povezan s treniranostjo posameznika, kot tudi ne z največjo pljučno ventilacijo ali ventilatornim ekvivalentom za  $O_2$  (Sheel et al., 2006).

Prve dni na visoki nadmorski višini se lahko poveča koncentracija hemoglobina v krvi. Postopno povečanje vsebnosti eritropoetina dvigne hemoglobin na višji nivo, tako da je lahko vsebina kisika na liter krvi enaka pri aklimatiziranih na 4500 m tistim na normalni nadmorski legi. Višji nivo hormona eritropoetina stimulatивно deluje na proces eritropoeze s čimer se povečuje vsebnost eritrocitov v krvi. Hematokrit (delež rdečih krvničk v krvi) se lahko zviša z običajnih 48 % celo na 65-70%. Hemoglobin narašča približno s hitrostjo 3-4 % na teden (Wilmore&Costill, 1994). Zaradi povečanja količine hemoglobina se morda delno izboljšajo pufrske kapacitete, kar bi lahko pozitivno vplivalo na izboljšanje anaerobne kapacitete (Astrand, 2003). Po določenem obdobju aklimatizacije pride do povečanja kapilarizacije; povečanje števila kapilar zmanjša razdaljo med kapilaro in najbolj

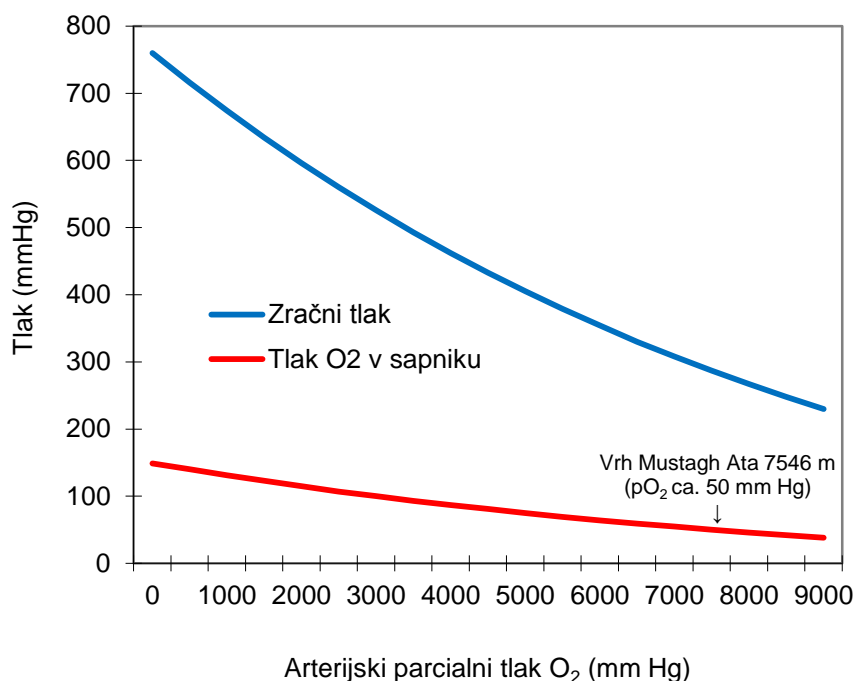
oddaljenimi celicami znotraj tkiva. Poveča se vsebina mioglobina v skeletnih mišicah, kar ima pozitiven učinek na prenos O<sub>2</sub> (Wilmore&Costill, 1994), poveča se lahko tudi delež ogljikovih hidratov pri enaki obremenitvi (Vogt et al., 2003).



**Grafikon 3:** Zmanjšanje VO<sub>2</sub>max glede na zračni tlak in vpliv aklimatizacije (Astrand et al., 2003)

Kisik se po telesu prenaša s krvjo. Funkcijo nosilca kisika opravljajo eritrociti ali rdeča krvna telesa. Nasičenost ali saturacija s kisikom (SaO<sub>2</sub>) predstavlja delež eritrocitov, ki v določenem trenutku prenašajo kisik od pljuč do celic. V pogojih normalne nadmorske lege in pri zdravih osebah dosegajo vrednosti SaO<sub>2</sub> med 98 % in 100 %, eritrociti so skoraj v celoti nasičeni s kisikom. Malenkostno nižje vrednosti se lahko dosežejo pri zelo intenzivnih naporih ali pljučnih bolnikih. V pogojih hipobarične hipoksije se zniža SaO<sub>2</sub> vse do 60-80 % (Huey & Xavier, 2001; Tannheimer et. al., 2002; Botella et al., 2008). Znižanje SaO<sub>2</sub> je izrazitejše med obremenitvijo, se pa izboljšuje s trajanjem bivanja na veliki nadmorski višini. Prehod kisika iz pljučnih alveol do eritrocitov tako predstavlja enega izmed zelo pomembnih omejitvenih dejavnikov vzdržljivosti na veliki nadmorski višini.

Med visokogorskimi alpinisti se je oblikoval pojem »območje smrti« (ang. »death zone«), kar označuje nadmorske višine nad 8000 m. Na te višine se človeško telo ne more prilagoditi v zadostni meri, dlje časa trajajoče bivanje brez dodatnega kisika pa povzroči poslabšanje življenjskih funkcij, ki končno vodijo v nezavest in smrt (Huey & Xavier, 2001; Grocott et al., 2009). Izrazito zmanjšan delni tlak kisika v zraku na zelo veliki nadmorski višini povzroči v mišičnih kapilarah pri neaklimatizirani osebi znižan delni tlak kisika, ki ne omogoča več zadostnega prehoda molekul kisika iz kapilar v mišično celico. Posledično življenje na tej višini ni (več) mogoče.



**Grafikon 4:** Zračni tlak in tlak O<sub>2</sub> v sapniku (Astrand et al., 2003)

Znižanje zmogljivosti na povečani nadmorski višini je med predhodno podobno vzdržljivostno pripravljenimi posamezniki zelo različno. Poslabšanje pri submaksimalni intenzivnosti je proporcionalno z višino in trajanjem obremenitve, izboljša se lahko zmogljivost pri submaksimalni intenzivnosti z daljšanjem aklimatizacijskega obdobja, vendar brez bistvenih sprememb VO<sub>2</sub>max (Subudhi et al., 2007). Dehidracija ob hkratni hipoksiji lahko še dodatno zniža aerobne zmogljivosti (Castellani et al., 2010).

Mišična sila in maksimalna mišična moč ter anaerobne zmogljivosti so praviloma nespremenjene dokler ni sprememb mišične mase (Fulco et al., 1998; Szubski et al., 2006), pri enaki submaksimalni sili (pod 30 % največje mišične sile) se poveča pretok krvi in pljučna ventilacija (Wilkins et al., 2006). Zaradi zmanjšane apetita (Westerterp, 1999), nezadostne prehrane in povečanega katabolizma na alpinističnih odpravah praviloma prihaja do znižanja telesne mase (Dinmore et al., 1994; Chen et al., 2008; Wiseman et al., 2006), navadno se znižata tako maščobna, kot mišična masa (Chen et al., 2008). Z znižanjem slednje se poslabšajo zmogljivosti v vzdržljivosti v moči (Wilmore, 1994; Terasawa et al., 1996; Fulco et al., 1994). Neizražene naj bi bilo spremembe tako ob akutni kot dalj časa trajajoči hipoksiji le pri neprekinjeni izometrični kontrakciji, ki presega 30 % največje mišične sile (Perrey & Rupp, 2009). Znižajo se lahko zmogljivosti pri kratkotrajnih aktivnostih (Chen et al., 2008). V pogojih hipoksije se lahko poslabša oskrba možganov s kisikom (Subudhi et al., 2010; Jansen et al., 2007; Subudhi et al., 2007), kar lahko vodi v celične poškodbe (Ainslie et al., 2007). Zniža se lahko imunska funkcija (Mazzeo, 2008), reakcijski čas (Ando et al., 2010), redkeje pa kognitivne sposobnosti (Harris et al., 2009). Zviša se lahko nivo plazemskih beljakovin in limfocitov, zniža pa nivo monocitov (Hannon et al., 1969).

### 1.2.3. Aklimatizacija

Prihod alpinistov, gornikov in pohodnikov na povečano nadmorsko višino povzroči adaptivne procese v organizmu. Višinska aklimatizacija je fiziološki proces do katerega pride, ko se posamezniki povzpnejo ali bivajo na veliki nadmorski višini. Adaptivni procesi so sestavljeni iz številnih odzivov, ki omilijo učinke zmanjšane delnega tlaka kisika. Posamezniki se zelo razlikujejo v hitrosti in stopnji aklimatizacije (Mazzeo, 2008). Učinek aklimatizacije na visoko nadmorsko višino je postopno izboljšanje telesnega nastopa v vzdržljivosti ali podaljšani obremenitvi pri nespremenjeni intenzivnosti. Večja razpoložljivost kisika aktivnim mišicam je pomembna za izboljšanje vzdržljivosti. Vsebina O<sub>2</sub> na liter krvi se postopno povečuje, frekvenca srca tako v mirovanju kot pri (sub)maksimalnih naporih pa se zmanjšuje. Za učinkovito aklimatizacijo je priporočljivo vsaj teden dni trajajoče bivanje (nekaj ur / dan) na nadmorski višini vsaj 4000 m (Muza, 2007, Muza et al, 2010).

Prilagoditve lahko delimo na tiste, ki se zgodijo takoj ali kmalu po prihodu na povečano nadmorsko višino in tiste, pri katerih je za njihovo optimalno učinkovitost potrebnih več dni ali tednov. Osrednji cilj prilagoditvenih procesov je zagotoviti zadostno preskrbo celic s kisikom, osrednja težava pri tem pa je znižan delni tlak kisika, ki povzroči nepopolno saturacijo krvi v pljučih in slabšo izmenjavo plinov na nivoju mišičnih celic.

### 1.2.4. Akutne prilagoditve

#### a) Srce in ožilje

Že v prvih dnevih bivanja in gibanja na veliki nadmorski višini se pojavi diureza (povečano izločanje telesnih tekočin) in zmanjšanje volumna krvne plazme, pojavi se hemokoncentracija. Z zmanjšanjem volumna krvne plazme se lahko zniža utripni volumen srca (Cerretelli, 1992), telo pa se na novo stanje prilagodi z višjo frekvenco srca v mirovanju in pri submaksimalnih naporih. Vrednosti največje frekvence srca ostanejo v prvih dneh nespremenjene ali pa se malenkostno znižajo (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). Na veliki nadmorski višini se hipoma zniža saturacija krvi, sprememba je izrazitejša med obremenitvijo.

#### b) Pljučna ventilacija

Na veliki nadmorski višini v akutnem stanju karotidna telesca (kemoreceptorji občutljivi na znižanje delnega tlaka kisika v krvi) zaznajo pomanjkanje kisika, kar povzroči povišanje pljučne ventilacije (V<sub>e</sub>), tako v mirovanju kot enakem absolutnem naporu. Z izrazitejšim dihanjem se pojavi respiratorna alkalozna, kar nekoliko izboljša zmanjšano saturacijo krvi s kisikom, saj se disociacijska krivulja hemoglobina premakne v levo (Wilmore & Costill, 1994). Nasprotno deluje nastala alkalozna, ki vpliva zaviralno na povečanje pljučne ventilacije. Zaradi zvišanega pH krvi ledvica izločajo več bikarbonata kar vpliva na zmanjšanje puferske kapacite krvi, posledično se zmanjša zmogljivost pri naporih krajšega trajanja. Pri privzemu

kisika 2 lit/min se na nadmorski višini 4000 m poveča ventilacija za 50 %, pri privzemu kisika 4 l/min pa celo za 75 %. Večja ventilacija je posledica predvsem večje frekvence dihanja, kar povzroči hitrejše pojavljanje utrujenosti dihalnih mišic. Poveča se privzem  $O_2$  za delo respiratorne miškulature. Zaradi manjšega upora zraka se poveča  $V_{e_{max}}$  (Shephard, 1987). Kemosenzitivnost na kisik pomembno vpliva na določitev nivoja hiperventilacije med vadbo v pogojih zmerne hipoksije (t.j. 2500 m.n.v.), večja kemosenzitivnost na  $O_2$  je povezana z manjšim upadom  $VO_{2max}$  in  $SaO_2$  v tovrstnih pogojih (Ogawa et al., 2007).

Ventilatorna aklimatizacija na hipoksijo (VAH) je sestavljena iz progresivnega povečanja ventilacije in znižanja  $PCO_2$ . Po nekaj dnevih aklimatizacije lahko pride do povečanja ventilatorne senzitivnosti (Leaf & Goldfarb, 2007) na hipoksijo in hiperkapnijo. Predhodno aklimatizirani posamezniki se bodo na enak padeč tlaka kisika odzvali z izrazitejšim povečanjem pljučne ventilacije kot neaklimatizirani (Donoghue et al., 2005), razlik med spoloma pa praviloma ni (Bhaumik et al., 2003).

Prenos kisika med kapilarami in mišičnimi celicami poteka zaradi medsebojnega difuzijskega gradienta, le ta pa se z nadmorsko višino zmanjšuje, na višini približno 2500 m znaša namesto običajnih 54 mmHg samo še 20 mmHg. Na nadmorski višini nad 8000 m je lahko pri slabo aklimatiziranem posamezniku prehod  $O_2$  zaradi ničnega difuzijskega gradienta med kapilarami in celicami povsem onemogočen. Zmanjšanje difuzijskega gradienta v veliki meri vpliva na znižanje  $VO_{2max}$  (Wilmore & Costill, 1994).

#### c) Presnova

Vsebnost laktata v krvi se pri submaksimalnem naporu zviša, pri maksimalnem naporu pa zniža (Astrand, 2003; Wilmore & Costill, 1994). Na veliki nadmorski višini je pH povišan, ledvice pa izločajo bikarbonat, kar vpliva na zmanjševanje puferske kapacitete krvi (Shephard, 1987).

**Tabela 4:** Najpomembnejše prilagoditve ob akutni izpostavljenosti veliki nadmorski višini

Reakcija	Posledica
↑ pljučne ventilacije (↓ $O_2$ zaznajo karotidna t.)	↑ $SaO_2$
↑ pljučne vazokonstrikcije	↑ perfuzija plinov v pljučih ↑ nevarnosti VPE
↑ FS v mirovanju in submaks. obr. (↑ nivo simpat. ž.s., ↓ volumna krvne plazme)	↑ MVS v mirovanju in pri submaks. obr.
↑ pretoka krvi v možganih	↑ oksigenacija možganskih celic
↑ izločanje $HCO_3^-$ v ledvicah	↑ pH iz alkalnega v normalno dovoljuje ↑ $V_e$
↑ koncentracije Hb (↑ diureza in ↓ volumna krvne plazme)	↑ oksiforne kapacitete krvi

V pogojih hipoksije se lahko zviša nivo plazemskih proteinov, predvsem pri osebah z izrazitejšo dehidracijo. Akutno se lahko vrednosti transferina, ki sodeluje pri prenosu nehemoglobinskih železovih ionov v krvi, zniža, po obdobju aklimatizacije pa celo zviša nad začetni nivo (Rennie et al., 1972). Večje izločanje seča v prvih urah po prihodu na veliko nadmorsko višino je praviloma povezano z manjšimi možnostmi pojava akutne višinske bolezni (Loeppky, 2005). Ob akutni izpostavljenosti hipoksičnemu okolju in hkrati obremenitvi se zniža oksigenacija možgan, kar lahko vpliva na znižanje zmogljivosti, pojav višinske bolezni in možganskega edema (Imray et al., 2005).

#### 1.2.5. Prilagoditve v daljšem časovnem obdobju

Za popolno aklimatizacijo je potrebno več dni ali celo tednov. Predvidoma je daljša aklimatizacija potrebna za vzpon na višje vrhove, tako je predlagano aklimatizacijsko obdobje za popolno adaptacijo dolgo približno 10 dni za vsakih 1000 metrov vertikalnega vzpona (Zubieta-Calleja, 2007), nad višino 5500 - 6000 m sicer dolgotrajno bivanje ni mogoče (West, 2002).

##### a) Srce in ožilje

Frekvenca srca (FS) se v mirovanju zniža proti vrednostim v normoksiji. Podobno se z aklimatizacijo znižuje FS pri enaki submaksimalni obremenitvi v primerjavi s FS ob akutni izpostavljenosti. Največja frekvenca srca (FS<sub>max</sub>) se lahko zniža. Znižan je lahko tudi volumen krvne plazme, poveča pa se lahko hematokrit (policitemija) in masa rdečih krvnih teles (eritrociti) (Wehrlin et al., 2006). Slednje je posledica povečanega delovanja hormona eritropoetina, ki deluje stimulatивно na proces eritropoeze – tvorjenje novih eritrocitov. Obstajajo zelo velike individualne razlike v intenzivnosti eritropoeze (Neya et al., 2007; Wehrlin et al., 2006). Po daljšem bivanju na povečani nadmorski višini je še vedno prisotna pljučna vazokonstrikcija, lahko se pojavi hipertrofija desnega ventrikla. Izboljša se saturacija krvi tako v mirovanju kot med obremenitvijo (Richalet et al., 1992).

##### b) Pljučna ventilacija

Zvišana pljučna ventilacija se po obdobju aklimatizacije znižuje proti vrednostim v normoksiji (Sharma & Brown, 2007). Respiratorna alkalozna se kompenzira s povečanim izločanjem bikarbonata v ledvicah, stanje dodatno izboljšuje acetazolamid. + (Bhaumik et al., 2003). Po dalj časa trajajočem bivanju na veliki nadmorski legi se lahko pojavi povečan ventilatorni odziv na hipoksijo (Leaf & Goldfarb, 2007; Steinacker et al., 1996), kar je verjetno posledica sprememb v občutljivosti kemoreceptorjev (Steinacker et al., 1996).

##### c) Presnova

Pri naporu enake submaksimalne intenzivnosti se po obdobju aklimatizacije proizvaja manj laktata. Velikost  $VO_2\text{max}$  ostaja na višini vseskozi znižana, se pa lahko zvišuje proti vrednosti  $VO_2\text{max}$  na nadmorski višini 0 m, vendar te vrednosti

praviloma nikoli ne doseže (Wilmore & Costill, 1994, ).  $VO_2$ max lahko ostane po daljšem bivanju v zmerni hipoksiji tudi nespremenjena (Neya et al., 2007). Izboljša se lahko zmogljivost pri dolgotrajni vzdržljivosti v primerjavi z akutno izpostavljenostjo.

Daljše bivanje (več tednov) na veliki nadmorski višini lahko zmanjša prečni presek tako hitrih, kot počasnih mišičnih vlaken, zniža se lahko koncentracija nekaterih encimov (sukcinska dehidrogenaza, citratsintetaza, fosforilaza in fosfofruktokinaza), kar kaže na zmanjšanje zmogljivosti (Wilmore & Costill, 1994). Po daljšem bivanju v pogojih hipoksije se v mišičnih vlaknih lahko poveča gostota kapilarne mreže. V mišičnih celicah se lahko poveča število mitohondrijev in koncentracija encimov dejavnih v aerobnih energijskih procesih (Wilmore & Costill, 1994).

#### d) Možgani

Kronična in dolgotrajna izpostavljenost lahko vodi v celične poškodbe ali disfunkcije (Ainslie et al., 2007; Paola et al., 2008). Znižana koncentracija kisika v možganskih tkivih lahko povzroči poškodbe možganskih celic in znižanje nevroloških in kognitivnih sposobnosti. Pri bivanju na ekstremni nadmorski višini se lahko pojavijo spremembe sivih in belih področij, ki prizadanejo predvsem regije aktivne v motoričnih aktivnosti (Paola et al., 2008). Na zmerni nadmorski višini se praviloma z aklimatizacijo zniža (povečan) pretok krvi skozi možgane (Leaf & Goldfarb, 2007).

**Tabela 5:** Najpomembnejše prilagoditve ob dlje časa trajajoči izpostavljenosti veliki nadmorski višini

Reakcija	Posledica
↑ pljučne ventilacije se deloma zniža	↑ $SaO_2$
↑ pljučne vazokonstrikcije se deloma zniža	↑ perfuzija plinov v pljučih ↑ nevarnosti VPE se deloma zniža
↑ FS v mirovanju in submaks. obr. se deloma zniža	↑ MVS v mirovanju in pri submaks. obr.
↓ FSmax	↓ poraba $O_2$ za srčno m.
↑ pretoka krvi v možganih se deloma zniža	↓ se verjetnost za AVB in VME
↑ t.i. ventilatorne aklimatizacije (↑ ob acetazolamidu)	↑ odzivnost na hipoksijo
↑ količine Hb (↑ eritropoetina → ↑ eritrocitov)	↑ oksiforna kapaciteta krvi
↑ aerobni encimi, število mitohondrijev	↑ aerobna zmogljivost v hipoksiji
↑ mioglobin	↑ zaloge ogljikovih hidratov v celici



Na zelo visokih nadmorskih višinah je popolna aklimatizacija praktično nemogoča, regeneracija telesa pa je nepopolna in nezadostna. Prilagoditveni procesi se po poteku določenega časa ne izboljšujejo več, nekatere funkcionalne zmogljivosti se lahko celo poslabšajo (Astrand, 2003). Hipobarična hipoksija lahko povzroči patološke pojave kot so višinska bolezen, pljučni in možganski edem. Z bivanjem v hipoksiji se pojavita telesna in psihična utrujenost, zato bivanje na visokogorski odpravi daljše od približno meseca dni ni priporočljivo.

#### 1.2.6. Drugi dejavniki pomembni za uspešnost vzpona

Na alpinističnih odpravah v visoke gore se lahko pojavijo različne, s hipoksijo povezane, bolezni: akutna višinska bolezen, višinski možganski edem ter višinski pljučni edem. Za različnimi oblikami višinske bolezni lahko zbolijo vsaki posameznik, se pa ljudje medsebojno zelo razlikujejo v občutljivosti. Na pojav različnih oblik višinske bolezni naj bi v največji meri vplivali hitrost vzpenjanja, absolutna sprememba višine in individualno pogojena prilagodljivost na hipoksijo (Palmer, 2010).

Na odpravah v zelo visoke gore so pogoste tudi druge zdravstvene težave alpinistov, predvsem kašelj, driska, prehlad in bruhanje (Wiseman et al., 2006). Alpinisti za lajšanje simptomov in bolezni pogosto uporabljajo farmakološka sredstva kot so acetazolamid, aspirin in različni antibiotiki (Wiseman et al., 2006). Omenjeni dejavniki lahko tudi vplivajo na uspešnost vzpona.

### 1.3. Visokogorski alpinizem

Visokogorski alpinizem se je razmahnil v 20. stoletju, pri tem so bili prvi vzponi na najvišje vrhove sveta prave mednacionalne tekme. Epske zgodbe o doživetjih na alpinističnih visokogorskih odpravah so vključevale anekdote o mrazu, viharjih, minimalni količini zaužite tekočine in hrane, izsušenih ustih, ter težkem dihanju in izredno počasnem premikanju. Alpinisti so po odpravah prišli domov izmučeni in močno shujšani (na sliki desno Edmund Hillary po prvenstvenem vzponu na Mount Everest 8848 m).



**Slika 1:** Po prvem vzponu na Mount Everest (8848 m)

Prepričanje v 70ih in 80ih letih prejšnjega stoletja je bilo, da se na najvišje vrhove sveta ni mogoče povzpeti brez uporabe dodatnega kisika. Stroko, ki se je v tistem času ukvarjala z višinsko fiziologijo je močno presenetil vzpon Reinholda Messnerja in Petra Habelerja na najvišji vrh sveta brez uporabe dodanega kisika, matematični izračuni so namreč ob takrat znanju napovedavali "mission impossible".

Proti koncu 20. stoletja se je pojavilo vedno več t.i. komercialnih odprav, predvsem na tehnično manj zahtevne, a visoke vrhove. Cilj alpinistov in gornikov na tovrstnih odpravah ni doseganje vrhunskih rezultatov v alpinistično-športnem smislu, temveč osvajanje vrhov po lažjih in varnejših smereh. Za težje vzpone navadno nimajo niti zadostnega znanja niti primernih izkušenj. Izhodišča za vzpone pod lažjimi vrhovi so postala prava naselja, z razvijajočo telekomunikacijsko in nastanitveno infrastrukturo, težave pogosto predstavlja velika količina odpadkov.



**Slika 2:** Bazni tabor pod goro Peak Lenin, Kirgistan (7134 m)

Najbolj obiskane visoke gore na posameznih kontinentih so praviloma tudi najvišje. V stotinah se štejejo odprave, katerih cilj je uspešen vzpon po najlažji smeri pristopa. Ob številnih poskusih je zanimivo, da je delež uspešnih vzponov relativno nizek. Na Elbrus (5642 m), najvišji vrh Evrope, se povzgne približno 80 % vseh, na Kilimanjaro (5895 m), najvišji vrh Afrike, približno 30 %, delež uspešnih vzponov na Aconcagua (6960 m), najvišji vrh Južne Amerike, pa približno 60 % tistih, ki poskušajo osvojiti vrh. Še nižji delež je uspešnih vzponov na *lažje*

sedemtisočake. Tako se npr. na vrh Peak Lenina (7134 m) in Mustagh Ata (7546 m) v Aziji povzpne manj kot 20 % tistih, ki se odpravijo proti vrhu.

#### Značilnosti visokogorskih odprav na tehnično lažje vrhove

##### a) Kratek čas odprave

- Zaradi širših družbenih razlogov se je skrajšal čas, ki ga lahko udeleženci preživijo na odpravi.
- Zmanjšal se je čas za aklimatizacijo.
- Posledično se na zaključni vzpon posamezniki odpravljajo slabše aklimatizirani.

##### b) Dobra opremljenost udeležencev

- Posameznikov finančni status je praviloma dober.
- Uporabljena oprema je v večini primerov zelo kakovostna, kar omogoča več udobja, tako v višinskih taborih, kot pri samem vzponu oziroma spustu.
- Dobra in kakovostna hrana in oprema za kuhanje omogočata večji vnos hranil in tekočine.
- Zmanjša se nevarnost poškodb, kot so ozeblina na rokah in nogah, bivanje je bolj prijetno.

##### c) Hiter in enostaven dostop do izhodišča

- Razvoj infrastrukture, predvsem boljše ceste in nove letalske povezave, omogočajo hitrejši dostop do baznih taborov.
- Dostop do izhodišča je hiter, gorniki imajo manj prebavnih težav zaradi privajanja na lokalno hrano ali slabih higienskih razmer.

##### d) Dobra opremljenost izhodišč za vzpon (t.i. baznih taborov)

- Relativno dovolj kakovostne bivanjske razmere v večini baznih taborov, ki zajemajo tako samo namestitve (šotori), kot ostale storitve (prehrana).
- Večinoma so že vsa izhodišča opremljena z baznimi postajami za mobilni signal, kar omogoča enostavno telefonsko in internetno povezavo z ostalimi, omogočena je dobra napoved vremenskih razmer.
- Bivanje je bolj prijetno, napake zaradi nepopolnih ali napačnih vremenskih napovedi so redkejše.

##### e) Pomanjkljiva tehnična pripravljenost

- Vzponi na visoke gore so postali zelo priljubljeni med gorniki in alpinisti.
- Velik delež ljudi se za odprave odloči na podlagi želja po doživetju visokogorske odprave, manjša je samokritičnost pri oceni lastnih izkušenj.
- Odprav se večinoma ne udeležujejo izkušeni alpinisti, temveč planinci, ki si želijo visokogorskih doživetij.
- Ob potrebi po zahtevnejšem tehničnem znanju (slabo vreme, višinska bolezen, reševanje iz ledeniške razpoke, reševanje osebe z poškodbami ali

možganskim ali pljučnim edemom), lahko pride do nevarnih situacij za zdravje ali življenje posameznika.

f) Pomanjkljiva vzdržljivostna pripravljenost

- Na odprave se ljudje odpravljajo po kratekem premisleku, kar navadno skrajša čas za fizično in psihično pripravo.
- Na tovrstne odprave se redko pripravlja dolgoročno in načrtno.
- Slabša vzdržljivostna pripravljenost vodi v počasnejše vzpenjanje in/ali večjo relativno obremenitev, zaradi slednjega se lahko hitreje pojavijo zapleti povezani s hipoksijo (višinska bolezen, možganski in pljučni edem). Zaradi počasnejše hoje se zmanjšajo možnosti za uspešen vzpon.
- Nezaupljiva psihična pripravljenost lahko vodi v pretirano neučakanost ali na drugi strain v pasivnost in apatijo. Izid je lahko življenjsko ogrožujoča napačna odločitev o vzponu / spustu na vrh.
- S pomočjo višinskih nosačev se zmanjša fizična obremenitev alpinistov in planincev, kar lahko omogoči enako hitrost vzpenjanja tistim, ki so slabše vzdržljivostno pripravljene.

## 2. PREDMET in PROBLEM

Kateri so ključni dejavniki za uspešen vzpon na zelo visoko goro ni natančno raziskano in ugotovljeno. Predvideva se, da igrajo pomembno vlogo naslednji dejavniki: nivo dolgotrajne vzdržljivosti in  $VO_2\max$  (McArdle, 1991, Wilmore & Costill, 1994), hitrost aklimatizacije, visokogorske izkušnje in psihična pripravljenost.

Na nivo dolgotrajne vzdržljivostne pripravljenosti lahko gorniki in alpinisti vplivajo predvsem v obdobju pred alpinistično odpravo, na proces aklimatizacije pa predvsem v dnevih neposredno pred odhodom na odpravo in v začetnem delu odprave. Predvideva se, da bodo bolj vzdržljivi bolj zmogljivi tudi v pogojih hipoksije, pri tem pa se pojavlja vprašanje katere oblike treninga so najbolj primerne. Podobno je aklimatizacija nujen, a ne edini, pogoj za uspešen vzpon na visoko goro. Primerna aklimatizacija predvidoma omogoča večjo zmogljivost na veliki nadmorski višini, manj je tudi težav povezanih s hipoksijo kot je npr. višinska bolezen. Uporabljeni načini aklimatizacije so med posamezniki zelo različni. Ni natančno znano katera metoda deluje najbolje na hitrost aklimatizacije in ali je mogoče določiti enoten protokol, ki bo imel optimalen vpliv za večino udeležencev visokogorskih odprav.

Uspešnost vzpona v zelo visokih gorah je v negativni korelaciji s predhodnimi izkušnjami višinske bolezni, prebavnimi težavami (Wiseman et al., 2006) in slabimi vremenskimi razmerami, pri tem pa je individualni vpliv na posamezne dejavnike zelo različen. Ventilatorni odziv na hipoksijo kaže tako pozitivno (Valli et al., 2008), kot negativno korelacijo (Bernardi et al., 2006) z uspešnostjo vzpona na zelo visoke gore, posamezniki z večjo ventilatorno rezervo naj bi bili bolj uspešni (Bernardi et al., 2006). Dodaten kisik je pri vzponu na najvišje vrhove v izraziti pozitivni korelaciji (Wiseman et al., 2006), njegova uporaba pa je problematična predvsem iz praktičnega (dodatna teža) in moralnega vidika.

Priprave alpinistov na uspešen vzpon na visokogorski odpravi lahko časovno in organizacijsko razdelimo na dva dela (1) pred odpravo, (2) med odpravo.

### Priporočila pred odpravo

- Trening vzdržljivosti nizke intenzivnosti in dolgega trajanja v razmerah, ki so podobne tistim na visokogorski odpravi s čimer bi se lahko doseglo (1) varčevanje z glikogenom - povečanje porabe maščob pri enaki submaksimalni obremenitvi, (2) večjo ekonomičnost gibanja – znižanje  $VO_2$  pri enaki obremenitvi, (3) večjo ekonomičnost dihanja – znižanje  $V_e$  pri enakem  $VO_2$ , (4) znižanje FS pri nespremenjeni obremenitvi.
- Trening vzdržljivosti z intervalno metodo in metodo ponavljanj s čimer se med drugim izboljša (1)  $VO_2\max$ , (2) utripni volumen, (3) pretok krvi skozi mišice.
- Trening moči, predvsem vzdržljivosti v moči spodnjih udov in hipertrofijo mišic. Večja količina mišic bo ob delni atrofiji na veliki nadmorski višini dlje časa omogočala nemoteno delovanje mišičnega aparata.

- Višinska aklimatizacija v obliki spanja in bivanja v višinski komori, sobi ali šotoru, še bolje v naravnem okolju. Najbolj priročna je zadnja možnost, saj omogoča neprestano bivanje in najbolj učinkovito aklimatizacijo. V simuliranih pogojih se priporoča bivanje čimveč ur dnevno (najmanj 12 ur, bolje več) za tri do štiri tedne (Millet, 2010).
- Izvedba testiranja v pogojih hipoksije na (simulirani) višini približno 4000 m in s pomočjo dobljenih rezultatov – zmogljivost in SaO<sub>2</sub> med naporom, opozoriti na posameznike, ki so najbolj dovzetni za pojav višinske bolezni (Tannheimer et al., 2009).
- Tehnična priprava in dobro osvojena znanja s področja gibanja in reševanja v visokih gorah so nujna za relativno varen vzpon na visoko goro.
- Psihološka priprava, ki obsega situacijski trening, avtogeni trening, vizualizacijo razmer na odpravi in predviden vzpon.

#### Priporočila med odpravo

- Višinska aklimatizacija s postopnim vzpenjanjem in vračanjem v izhodišče oz. aklimatizacijski vzponi na bližnje in manj visoke gore. Pri tem se priporoča postopno "žagasto" vzpenjanje, kjer je višina spanja nižja od dnevne dosežene višine. Praviloma naj bi bila nadmorska višina spanja vsak dan višja za približno 300 metrov.
- Aktivno preprečevanje in zdravljenje akutne višinske bolezni s primerno aklimatizacijo, hitrim spustom na nižje nadmorske višine v primeru znakov AVB in smiselno uporabo farmakoloških sredstev.
- Preprečevanje in zdravljenje prebavnih in vseh ostalih težav. Uživanje izključno čiste in kuhane hrane, uporaba ustekleničene vode ipd., lahko v veliki meri zmanjša možnosti pojava prebavnih težav in s tem poveča možnosti uspešnega vzpona (Wiseman et al., 2006).
- Uporaba dobre in preizkušene opreme, upoštevanje rezultatov pridobljenih z merilnimi napravami ali vprašalniki kot so saturacija krvi s kisikom, frekvenca srca v mirovanju in Lake Louise vprašalnik napovedovanja višinske bolezni.
- Sproščena in prijateljska socialna klima ugodno vplivata na počutje posameznika, kar ima lahko pozitivne posledice na motivacijo in posledično uspešnost vzpona.

## 2.1. Trening pred odpravo

Za uspešen vzpon na visoko goro je med drugim potrebna dovolj dobra vzdržljivostna pripravljenost posameznika. S primernim in sistematičnim treningom v predhodnem obdobju lahko alpinisti in gorniki izboljšajo svoje zmogljivosti dolgotrajne vzdržljivosti. Večji del obsega treninga naj bi zajemal nizkointenzivni trening v pogojih, ki so podobni tistim na visokogorski odpravi.

Priporočilo za trening:

- trening tri- do petkrat tedensko,
- trajanje ena do več ur in več dni zapored,
- večino treningov nizke intenzivnosti, občasno treningi visoke intenzivnosti, lahko tudi v obliki intervalov dolgih od tri do osem minut s podobno dolgimi aktivnimi odmori,
- trening v pogojih podobnim tistim na odpravi (sneg, primerljiva naklonina, obtežitev nahrbtnika), v tednih pred odpravo občasno tudi v hipoksiji,
- trening moči za hipertofijo in vzdržljivost v moči.

Trening v pogojih hipoksije lahko izboljša ekonomičnost gibanja (Neya et al., 2007), izboljšanje mase hemoglobina (Brugniaux et al., 2006), zmogljivosti pri dolgotrajni vzdržljivosti (Wehrlein et al., 2006) in  $VO_2$ max na povečani nadmorski višini (Roels et al., 2007; Robertson et al., 2010; Brugniaux et al., 2006). Vzdržljivostni trening lahko izboljša izmenjavo plinov v pljučih, in znižuje akutno hipertenzijo v hipoksiji (Favret et al., 2006), ter preprečuje vnetni odziv na hipoksijo (Orth et al., 2005) s čimer se verjetno zniža možnost pojava višinske bolezni. Pogosto uporabljena metoda pri vzdržljivostnih športnikih LHTL ("live high – train low" oz. "bivaj visoko – treniraj nizko") kaže spremenljive rezultate, tako pozitivne, kot negativne na zmogljivosti na nižji nadmorski višini, metoda pa je priporočljivejša za tekmovanja na povečani nadmorski višini. Prilagoditve posameznikov na trening in/ali bivanje v hipoksiji so izrazito individualne in bi bilo pred alpinistično odpravo potrebno ugotoviti ali so posamezniki bolj ali manj odzivni na hipoksijo.

## 2.2. Predaklimatizacija in aklimatizacija

Poglavitna težava gornikov in alpinistov, ki se odpravijo na visokogorsko odpravo je znižan delni tlak kisika v zraku in posledično znižane zmogljivosti ter ostalih (negativnih) posledic, ki jih bivanje in napor v takem okolju povzroči. Zadostna in pravočasna aklimatizacija lahko prepreči številne zaplete ob sicer (pre)hitrem vzponu na veliko nadmorsko višino in tako izboljša možnosti za uspešen vzpon na vrh gore.

Predaklimatizacija predstavlja obdobje bivanja na veliki nadmorski višini pred odhodom na alpinistino odpravo. Priporočljiva je tako naravna hipobarična hipoksija, kot tudi bivanje v normobarični hipoksiji, kjer se s pomočjo večjega deleža dušika v zraku simulirajo pogoji višine. Metoda prekinjene hipobarične hipoksije kaže različne rezultate (Gore et al., 2006; Leaf & Goldfarb, 2007) in zato ni tako zanesljiva. Z višinsko predaklimatizacijo se lahko dosežejo vsi pozitivni adaptivni procesi kot odgovor na bivanje v hipoksiji, vključno s preprečevanjem AVB (Muza et al., 2010). Ob dobri organiziranosti se istočasno izniči negativne vplive dolgotrajne aklimatizacije na odpravi (utrujenost, atrofija mišic, pomanjkanje motivacije, pojav različnih bolezni in prebavnih težav, objektivne nevarnosti na gori idr.), hkrati pa se ohrani vzdržljivostno pripravljenost na najvišjem nivoju. Ob predhodni aklimatizaciji se lahko pojavi ventilatorni odziv na hipoksijo (Muza et al., 2010; Burtscher et al., 2008; Leaf & Goldfarb, 2007), ki se lahko ohrani tudi več tednov in tako omogoča hitrejšo aklimatizacijo na sami odpravi. S pomočjo predaklimatizacije se lahko čas na odpravi zniža za enega do treh tednov (Richalet et al., 1992). Ob akutni izpostavljenosti hipoksiji je med drugim mogoče glede na delež  $\text{SaO}_2$  v arterijski krvi v grobem napovedati možnosti pojava AVB (Burtscher et al., 2008).

Priporočilo za aklimatizacijo pred odhodom na odpravo:

- vsaj 5 dni bivanja na vsaj 3000 m.n.v. oz. primerljivi normobarični hipoksiji (Muza, 2007; Muza et al., 2010), glede na končno višino gore je priporočljivo ustrezno trajanje in postopno povečevanje višine (Richalet et al., 1992),
- časovno čim bližje odpravi, ne več kot mesec dni,
- ustrezno prehranjevanje in počitek,
- simulirana višina s pomočjo t.i. višinskih komor ali šotorov nudi kontrolirano, sistematično in manj stresno (pred)aklimatizacijo.

Priporočilo za aklimatizacijo na odpravi:

- vzpenjanje 500 m/dan - do višine 4000 m, nato 300 m/dan,
- napor in obremenitev naj bosta pri aklimatizacijskih vzponih zelo nizka,
- aklimatizacija na drugih vrhovih v kolikor je to mogoče in je to smiselno,
- praviloma spanje nižje od dnevne dosežene višine,
- dnevi počitka v baznem taboru in ne višje.



### 2.3. Vzpon na visoko goro

Na visokogorskih alpinističnih odpravah, ki trajajo več tednov je primerna prehrana in zadostna rehidracija lahko odločilnega pomena za uspešen vzpon na vrh. Prehrana, bogata z ogljikovimi hidrati, beljakovinami, vitamin in minerali lahko ob ustreznem prehranjevalnem režimu podaljša trajanje enkratne ali večkrat ponovljene obremenitve (več dni zapored) (Shephard, 1987; Fulco et al., 2005). Ob vnosu OH se lahko bolje ohranja mentalna zmogljivost (Bourrilhon et al., 2010). Na odpravah je vnos hranil zaradi različnih objektivnih in subjektivnih dejavnikov otežen. Prihaja do zmanjšane apetita (Westerterp, 1999; Clanton, 2007), nezadostnega nadomeščanja, posledičnega zniževanja zmogljivosti in zmanjševanja mišične ter maščobne mase (Wiseman et al., 2006). Enaka obremenitev lahko po določenem obdobju bivanja na veliki višini predstavlja zaradi atrofije mišic za udeležena večji napor. Dehidracija, ki je posledica povečane ventilacije, suhega zraka in nezadostnega vnosa tekočin povečuje možnost pojava AVB (Loeppky JA, 2005, Nerín et al., 2006; Castellani et al., 2010) in zmanjšuje zmogljivosti v hipoksiji (Castellani et al., 2010).

Priporočilo za odpravo:

- povečan vnos vseh vrst hranil, predvsem ogljikovih hidratov in beljakovin,
- sprotno nadomeščanje energije v obliki energetskih in proteinskih ploščic, ki se hitro in učinkovito absorbirajo,
- sprotno in zadostno nadomeščanje tekočin v obliki čaja, juhe in energetskih napitkov, s čimer se preprečuje dehidracija,
- vnos vitamina E, ki zmanjšuje oksidativni stres v hipoksiji (Magalhães et al., 2005), železa, ki je potreben zaradi povečanja produkcije eritrocitov, in ostalih vitaminov in mineralov potrebnih za normalno delovanje organizma,
- vsa sveže pripravljena hrana naj bo prekuhana, s čimer se zmanjša možnosti prebavnih težav.

V naši raziskavi prehranjevanja in hidracije nismo spremljali.

Alpinisti pri vzponu na visoke gore občasno uporabljajo nekatera farmakološka sredstva: (1) Diamox (acetazolamid), ki lahko v pogojih hipoksije poveča ventilacijo (Leaf & Goldfarb, 2007), izboljša  $\text{SaO}_2$ , ter oksigenacijo možganov med aktivnostjo (Vuyk et al., 2006); (2) Aspirin (acetilsalicilna kislina) je pogosto uporabljen kot analgetik, znižuje tudi viskoznost krvi, zmanjša se pogostost akutne višinske bolezni (Burtscher, 1998); (3) Vitamin E lahko deluje preventivno zoper oksidativni stres mitohondrijev, ki jih povzroči hipoksija (Magalhães et al., 2005), lahko omili tudi višinsko povzročeno zmanjšanje  $\text{VO}_2\text{max}$  (Goldfarb, 1993); (4) dodaten kisik izboljšuje  $\text{SaO}_2$  (Peacock & Jones, 1997), ter je v pozitivni korelacijo z uspešnostjo vzpona (Wiseman et al., 2006); (5) Sildenafil, ki naj bi izboljševal zmogljivosti (Hsu et al., 2006) in druge.

V naši raziskavi farmakoloških sredstev, razen kratkotrajnega jemanja Aspirina v primeru glavobola nismo uporabljali.

Napovedovanje uspešnosti vzpona je zaradi številnih nenadzorovanih dejavnikov zelo težko. Vendarle lahko alpinisti in gorniki vplivajo na izboljšanja nekaterih dejavnikov, ki bi morda lahko povečali možnosti uspešnega vzpona: (1) v času pred odpravo lahko izboljšajo svojo vzdržljivostno pripravljenost, (2) s primerno aklimatizacijo lahko pozitivno vplivajo na hitrost vzpona v hipoksiji.

Ali je za doseganje vrha gore na zelo veliki nadmorski legi bolj pomembna predhodno dosežena vzdržljivostna pripravljenost ali hitrost/nivo aklimatizacije pa ostaja neodgovorjeno vprašanje.

### 3. CILJ

Število gorniških in alpinističnih odprav na zelo visoke gore se je v zadnjih desetletjih zelo povečalo. Ob tem kljub številnim raziskavam o zmogljivostih na veliki nadmorski višini in posledicah bivanja v območju hipoksije ni natančno znano kaj v največji meri vpliva na uspešnost vzpona na najvišje gore sveta.

Predvideva se, da so za tehnično nezahteven vzpon na zelo visoko goro najpomembnejši naslednji dejavniki: vzdržljivostna pripravljenost, hitrost aklimatizacijskih procesov oz. trajanje aklimatizacijskega obdobja, individualna odzivnost na hipoksijo.

Na primeru alpinistične odprave na 7134 m visoko goro Pik Lenin želimo ugotoviti kako predhodno dosežen nivo vzdržljivosti učinkuje na zmogljivost na visoki nadmorski legi.

Poleg tega želimo ugotoviti kako se skozi odpravo spreminja nivo aklimatiziranosti in ali morebitno izboljšanje učinkuje na zmogljivosti na visoki nadmorski legi.

### 4. HIPOTEZA

H1: Dosežena vzdržljivost na tekoči preprogi v pogojih normoksije, kot tudi največja aerobna moč ( $VO_2\max$ ), bosta v dokaj veliki meri določala zmogljivost na veliki nadmorski višini.

H2: Postopna aklimatizacija bo povečala zmogljivost samo na povečani nadmorski legi, medtem ko bo vzdržljivost na nadmorski legi 0 m neodvisna od dosežene aklimatizacije.

## 5. METODA DELA

### 5.1. Preiskovanci

V raziskavi je sodelovalo 19 oseb, udeležencev alpinistično smučarske odprave na 7134 metrov visoko goro Pik Lenin (Kirgistan). Zaradi različnih subjektivnih razlogov šest oseb ni opravile vseh laboratorijskih testiranj, njihovi podatki pa so bili izključeni iz nadaljnje statistične obdelave.

Preiskovanci so bili razdeljeni v dve skupini: (1) testna skupina in (2) kontrolna skupina. Razdelitev v skupini je bila izvedena glede na želje udeležencev.

Testna skupina (načrtovan trening):

- število: 5
- telesna masa: 68,0 ( $\pm$  13,8) kg

Kontrolna skupina:

- število: 8
- telesna masa: 67,9 ( $\pm$  10,1) kg

Pri analizi podatkov se je pokazalo, da je testna skupina v začetnem stanju slabše vzdržljivostno pripravljena v primerjavi s kontrolno skupino (trend krajšega trajanja obremenitve na tekoči preprogi). Po obdobju treninga se je testna skupina po omenjenem parametru in  $VO_2\max$  ni razlikovala od kontrolne skupine, ki je trening opravljala poljubno. Ker med omenjenima skupinama pred odpravo ni bilo večjih razlik v vzdržljivostni pripravljenosti smo skupini združili.

Nadaljnji rezultati (pred in po odpravi, med alpinistično odpravo) so narejeni in interpretirani na eni (združeni) skupini.

Enotna skupina:

- število: 13
- starost: 36,5 ( $\pm$  11,0) let
- telesna masa: 67,9 ( $\pm$  10,0) kg
- srčni utrip v mirovanju pred odpravo: 50 ( $\pm$  6) utripov/min

Za enotno skupino smo opravili tudi primerjavo rezultatov skupin ločenih po spolih. Tako smo testirali razlike med spoloma pri testih pred in po odpravi. V vzdržljivosti pripravljenosti (pred in po odpravi) razlik s pomočjo t-testa za neodvisne vzorce nismo zaznali pri testu na tekoči preprogi v pogojih normoksije ( $VO_2\max/kg$ , trajanje testa na tekoči preprogi,  $FS_{max}$ ,  $RQ_{max}$ ), pri testu vzdržljivosti na povišani nadmorski legi (čas,  $FS_{avg}$ ,  $FS_{max}$ ), pri testu vzdržljivosti v moči na povišani nadmorski legi (čas) in pri vrednostih v mirovanju (FS).

Pričakovano smo razlike zaznali le pri telesni masi pred odpravo ( $\bar{Z} = 59 \pm 4$  kg;  $M = 70 \pm 9$  kg;  $P < 0,05$ ). V izogib vplivu različne telesne mase na izbrane kazalce

vzdržljivostne pripravljenosti je bila obremenitev pri posameznih testih določena relativno (cikloergometer, test vzdržljivosti v moči), kar je opisano pri posameznem testnem protokolu.

V naši raziskavi nismo opravili ločene analize podatkov za moške in ženske o vplivu bivanja na veliki nadmorski višini. V nekaterih raziskavah v preteklosti so sicer ugotovili hitrejšo ventilatorno adaptacijo žensk v okolju hipobarične hipoksije (Aitken et al., 1986; White et al., 1983), vendar v drugih raziskavah tega niso potrdili (Bhaumik et al., 2003).

## 5.2. Trening

Testna skupina je opravljala trening po v naprej določenem načrtu (Tabela 6), medtem ko je kontrolna skupina izvajala individualno vadbo, ki ni smela vključevati treninga visoke intenzivnosti (intervalna metoda, piramida).

**Tabela 6:** Načrt treninga za testno skupino

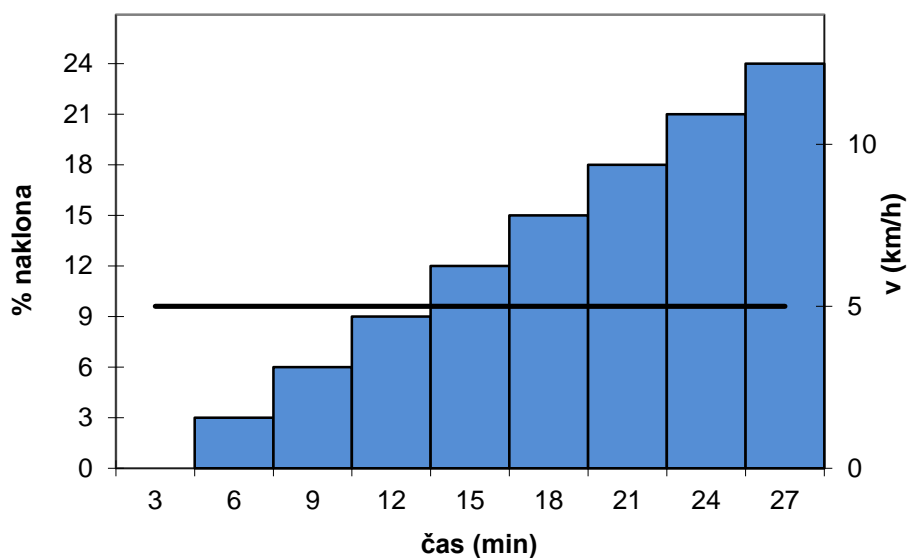
Dan1	Hoja v klanec z dodatnim bremenom 15 kg. Vadba s piramidno metodo: 3+5+7+5+3 minut. Vmesni odmor: 5 minut počitka.
Dan2	Počitek.
Dan3	Hoja v klanec brez dodatnega bremena v trajanju 1 ure in nizke intenzivnosti.
Dan4	Hoja v klanec z dodatnim bremenom 15 kg. Vadba z intervalno metodo: 5 x 5 minut. Vmesni odmor: 5 minut počitka.
Dan5	Počitek.
Dan6	Hoja v klanec v trajanju 3-5 ur in zelo nizke intenzivnosti. Vadbo se izvaja v naravnem okolju (npr. gorniška tura).
Dan7	Počitek.

Trening ni bil neposredno kontroliran, izvajali so ga na različnih terenih. Vsi so zapisovali osnovne podatke o treningu v osebni dnevnik.

### 5.3. Testi

#### a) Večstopenjski obremenilni test na tekoči preprogi

Testiranje se opravi z dodatnim bremenom 15 kg (voda v nahrbtniku) pri konstantni hitrosti 5 km/h. Vsake tri minute se z začetne horizontale naklonski kot poveča za 3 %. Test traja, dokler merjenec ne more več nadaljevati s hojo. (Slika 3)



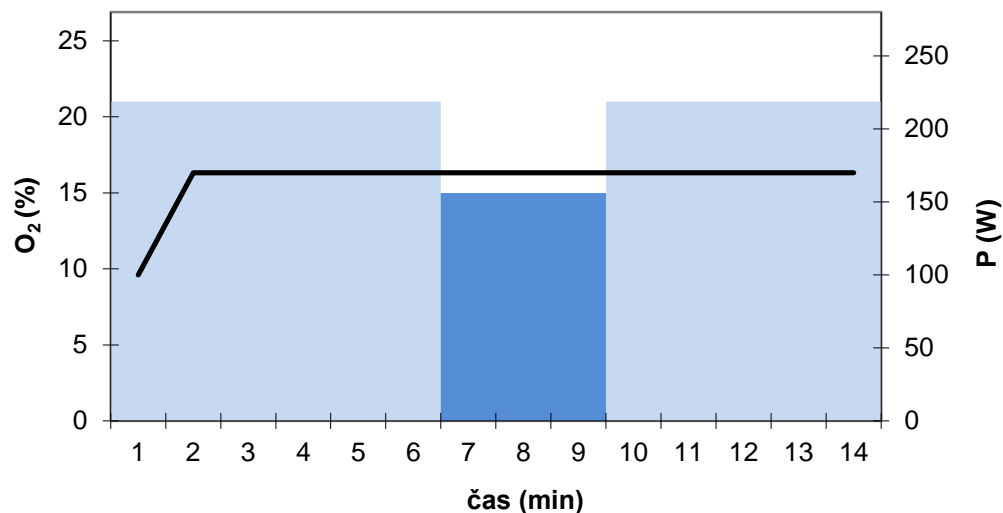
**Grafikon 5:** Protokol večstopenjskega obremenilnega testa na tekoči preprogi



**Slika 3:** Večstopenjski obremenilni test na tekoči preprogi

**b) Test stacionarne obremenitve na cikloergometru**

Test se opravlja na cikloergometru z začetnim ogrevanjem pri absolutni obremenitvi 100 W, ki traja eno minuto. Sledi 15 minut konstantne relativne obremenitve 2,5 W/kg. Po petih minutah začnejo testiranci za obdobje treh minut s pomočjo nepovratnega ventila vdihovati hipoksično mešanico zraka – normobarična hipoksija (15 % O<sub>2</sub>). Temu sledi zaključnih pet minut kolesarjenja pri nespremenjeni obremenitvi v normobarični normoksiji. (Slika 4)



**Grafikon 6:** Protokol stacionarne obremenitve na cikloergometru v normobarični hipoksiji



**Slika 4:** Test stacionarne obremenitve na cikloergometru v pogojih normobarične hipoksije

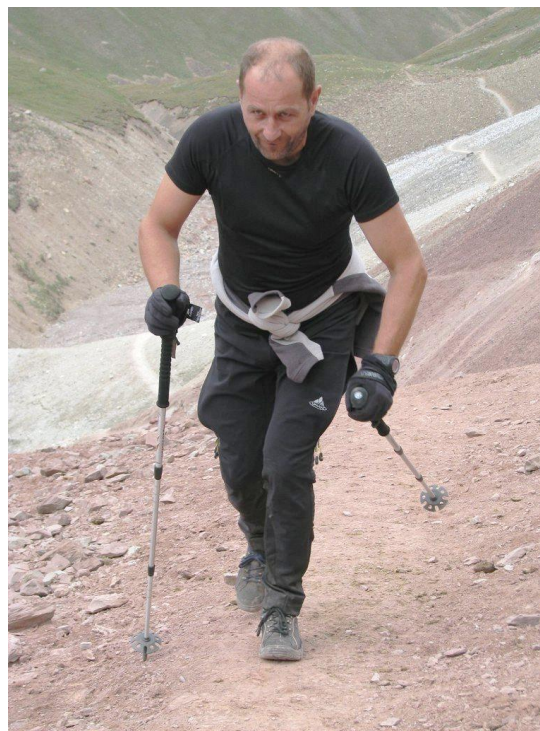


c) *Test vzdržljivosti v naravnih razmerah na veliki nadmorski višini*

Test poteka v kopnih razmerah, na začetku in koncu alpinistične odprave, po dobro utrjeni dostopni poti pod goro Peak Lenin v Kirgistanu. Štart testa je na 4100 m.n.v., cilj pa na 4170 m.n.v.

Testiranci morajo brez dodatnega bremena kar najhitreje premagati vzpon z višinsko razliko 70 m. Povprečni naklon vzpona znaša približno 20 %. Dostop do štarta traja približno 1h zelo počasne hoje, ki jo opravimo v skupini.

Tehnični pripomočki (dereze, cepin) za vzpon niso potrebni. Pri vzponu je dovoljena uporaba pohodnih palic. (Slika 5)



**Slika 5:** Test vzdržljivosti na nadmorski višini 4100 m

d) *Test moči na veliki nadmorski višini.*

Test vzdržljivosti v moči poteka na prostem na nadmorski višini 4400 m, v višinskem taboru 1 pod goro Peak Lenin v Kirgistanu. Merjenci v sedečem položaju in v izometrični kontrakciji ekstenzije kolena vztrajajo do odpovedi oz. zmanjševanja sile kljub maksimalnemu naprežanju. Sila, ki jo morajo vzdrževati predstavlja  $\frac{1}{2}$  telesne mase, kot v kolenu je približno 110 stopinj. Silo merimo s silomerom vpetim v stopalo. (Slika 6)



**Slika 6:** Test moči na nadmorski višini 4400 m



#### 5.4. Načrt eksperimenta

Študija vpliva bivanja in gibanja na veliki nadmorski višini je bila izvedena v letu 2008. Podrobnejši časovni potek meritev je v spodnji tabeli.

**Tabela 7:** Načrt eksperimenta

	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	Sept.
Test na tekoči preprogi	X	trening		X		X
Test na cikloergometru				X		X X
TM in FS v mirovanju				X		X
Test vzdržljivosti na odpravi					X X	
Test moči na odpravi					X X	

#### 5.5. Izbor meritev

V mirovanju pred in po alpinistični odpravi:

- TM (kg): telesna masa (kg) je merjena vsak dan po jutranjem prebujanju. Vrednosti v kilogramih so dobljene na domači tehtnici z natančnostjo 0,5 kg,
- FS (u/min): frekvenca srca je merjena vsako jutro takoj po prebujanju in pred vstajanjem iz postelje. Vrednosti so dobljene z ročnim štetjem na arteriji radialis. Merjenje traja 30 sekund.

Pri testu na tekoči preprogi:

- FS (u/min): frekvenca srca je izmerjena z napravo Polar RS800 (Polar, Finska),
- Ve: pljučna ventilacija (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- VO<sub>2</sub>: privzem kisika (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- VO<sub>2</sub>/kg: privzem kisika na kilogram telesne mase (ml/min\*kg<sup>-1</sup>),
- VCO<sub>2</sub>: minutni volumen izdihanega ogljikovega dioksida (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- RQ: respiratorni kvocient (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>),
- Vf: frekvenca dihanja (min<sup>-1</sup>) je bila izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA).
- Vt: dihalni volumen (lit/vdih) je bil izmerjen z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA)
- Naklon: v odstotkih (%),
- čas hoje: čas (minute, sekunde) je izmerjen z napravo Polar RS800 (Polar, Finska).

## Pri testu na cikloergometru:

- FS (u/min): frekvenca srca je izmerjena z napravo Polar RS800 (Polar, Finska),
- $V_e$ : pljučna ventilacija (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- $VO_2$ : privzem kisika (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- $VO_2/kg$ : privzem kisika na kilogram telesne mase (ml/min•kg<sup>-1</sup>),
- $VCO_2$ : minutni volumen izdihanega ogljikovega dioksida (l/min) je izmerjena z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- RQ: respiratorni kvocient ( $VCO_2/VO_2$ ),
- $V_f$ : frekvenca dihanja (min<sup>-1</sup>) je bila izmerjana z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- $V_t$ : dihalni volumen (lit/vdih) je bil izmerjen z VMAX29 (Sensor Medicis, ZDA),
- $SaO_2$ : saturacija krvi s kisikom (%) je bila izmerjena z Trusat 3500 (Ohmeda, ZDA).

## Na odpravi v mirovanju:

- $SaO_2$ : saturacija krvi s kisikom (%) je bila izmerjana z napravo Nonin Onyx 9500 (Nonin Medical Inc., ZDA).

## Na odpravi pri testu vzdržljivosti:

- T: trajanje vzpona (sek) je bila izmerjena z napravami RS800 (Polar, Finska) in T6 (Suunto, Finska),
- FS: povprečna frekvenca srca med hojo (u/min) je bila zmerjena z napravami RS800 (Polar, Finska) in T6 (Suunto, Finska), frekvenca zapisa 5 sekund (Polar) oz. 2 sekund (Suunto).

## Pri testu vzdržljivosti v moči:

- $P_t$ : trajanje izometrične kontrakcije pri konstantni obremenitvi (sek) z napravo RS800 (Polar, Finska),
- F: sila je bila merjena s silomerom HS-50 (Votcraft, Nemčija).

## 5.6. Izbor kazalcev

V mirovanju pred in po alpinistični odpravi:

- TM: telesna masa (kg),
- FS: jutranja frekvenca srca (u/min).

Večstopenjski test na tekoči preprogi:

- FS: frekvenca srca (u/min),
- FS<sub>max</sub>: maksimalna frekvenca srca (u/min),<sup>4</sup>
- VO<sub>2</sub>: privzem kisika (l/min),
- VO<sub>2</sub>/kg: relativni privzem kisika (ml/min·kg<sup>-1</sup>),
- VO<sub>2</sub>max/kg: največji relativni privzem kisika (ml/min·kg<sup>-1</sup>),<sup>5</sup>
- VCO<sub>2</sub>: minutni volumen izdihanega ogljikovega dioksida (l/min),
- RQ: respiratorni kvocient (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>),
- Ve: pljučna ventilacija (l/min),
- Ve<sub>q</sub>: ventilatorni ekvivalent za O<sub>2</sub> (Ve/VO<sub>2</sub>),
- Vt: volumen zraka v enem izdihu (lit),
- Vf: frekvenca dihanja (min<sup>-1</sup>),
- Ventilatorni prag: stopnja naklona, pri kateri se pojavi ventilacijski prag (naklon v %), določen vizualno kot točka povečanja ventilacije,
- čas: trajanje obremenitve do odpovedi (min, s),
- naklon: dosežena najvišja stopnja naklona (naklon v %).

Test na cikloergometru:

- FS: frekvence srca (u/min),
- VO<sub>2</sub>: privzem kisika (l/min),
- VO<sub>2</sub>/kg: relativni privzem kisika (ml/min·kg<sup>-1</sup>),
- VCO<sub>2</sub>: minutni volumen izdihanega ogljikovega dioksida (l/min),
- RQ: respiratorni kvocient (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>),
- Ve: pljučna ventilacija (l/min),
- Ve<sub>q</sub>: ventilatorni ekvivalent za O<sub>2</sub> (Ve/VO<sub>2</sub>),
- Vt: volumen zraka v enem izdihu (lit),
- Vf: frekvenca dihanja (min<sup>-1</sup>),
- SaO<sub>2</sub>: saturacija krvi s kisikom (%).

Na začetku in na koncu alpinistične odprave

V mirovanju:

- SaO<sub>2</sub>: saturacija krvi s kisikom (%).

Pri testu vzdržljivosti:

- T: trajanje vzpona (sek),
- FS: povprečna frekvenca srca med hojo (u/min),

<sup>4</sup> FS<sub>max</sub> je bil določena s povprečno vrednostjo FS v zadnji minuti obremenitve na tekoči preprogi.

<sup>5</sup> VO<sub>2</sub>max je bil določen s povprečno vrednostjo VO<sub>2</sub> v zadnji minuti obremenitve na tekoči preprogi.

- FSmax: maksimalna frekvenca srca (u/min) izmerjena med obremenitvijo.
- Pri testu vzdržljivosti v moči:
- P<sub>t</sub>: trajanje izometrične kontrakcije pri konstantni obremenitvi (sek).

### 5.7. Metode obdelave podatkov

Podatki so bili obdelani s računalniškimi programi SigmaPlot 9.0, SigmaStat 3.1 in Microsoft Office Excell 2007. Za vse merjene parametre smo vrednosti  $P < 0.05$  označili kot statistično pomembne (napaka  $\alpha = 5\%$ ). Pri grafičnih prikazih je bil uporabljen odklon ene standardne deviacije. Pri statistični obdelavi je bil uporabljen t-test, dvosmerna analiza variance, Pearsonov korelacijski koeficient in povprečenje.

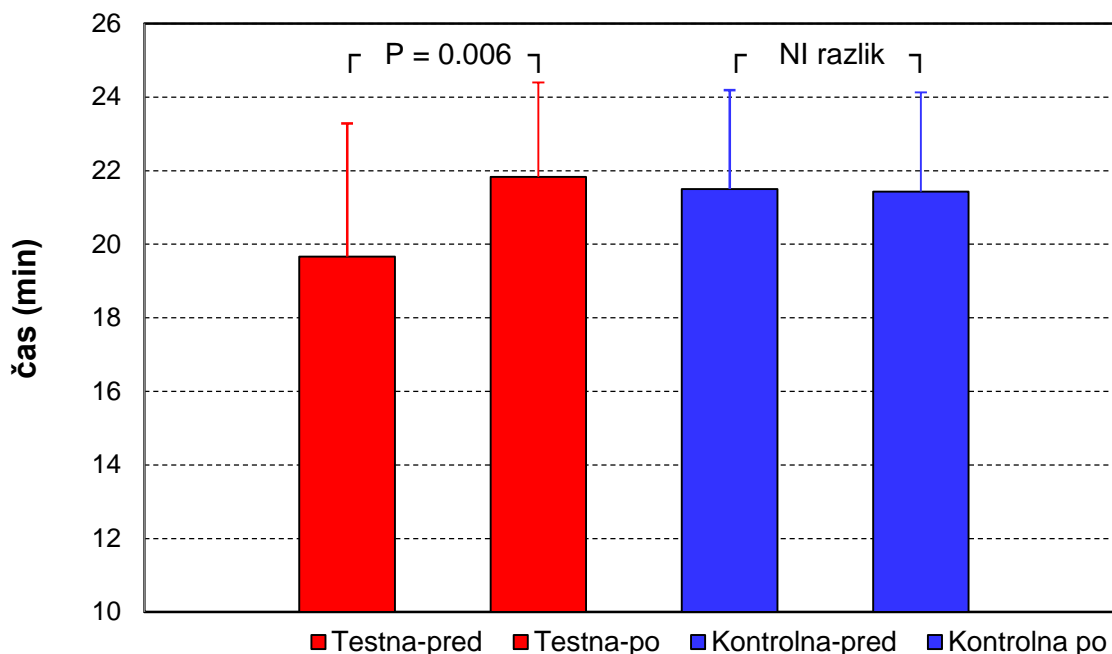
## 6. REZULTATI

V nadaljevanju so v prvem delu predstavljeni rezultati treninga na izbrane kazalce vzdržljivosti (6.1.). Prikazane so pomembnejše spremembe, ki smo jih zaznali pri testu na tekoči preprogi. Predstavljeni so podatki za testno skupino. Pri kontrolni skupini nismo pri nobeni opazovani spremenljivki ugotovili razlik.

V drugem delu smo (kot je že omenjeno v poglavju 4. Metode dela) skupini zaradi podobnih izhodiščnih vrednosti pred odpravo združili, tako so prikazani podatki za eno (združeno) skupino. Primerjave so narejene med rezultati doseženimi pred odpravo (oz. na začetku odprave) in po odpravi (oz. na koncu odprave).

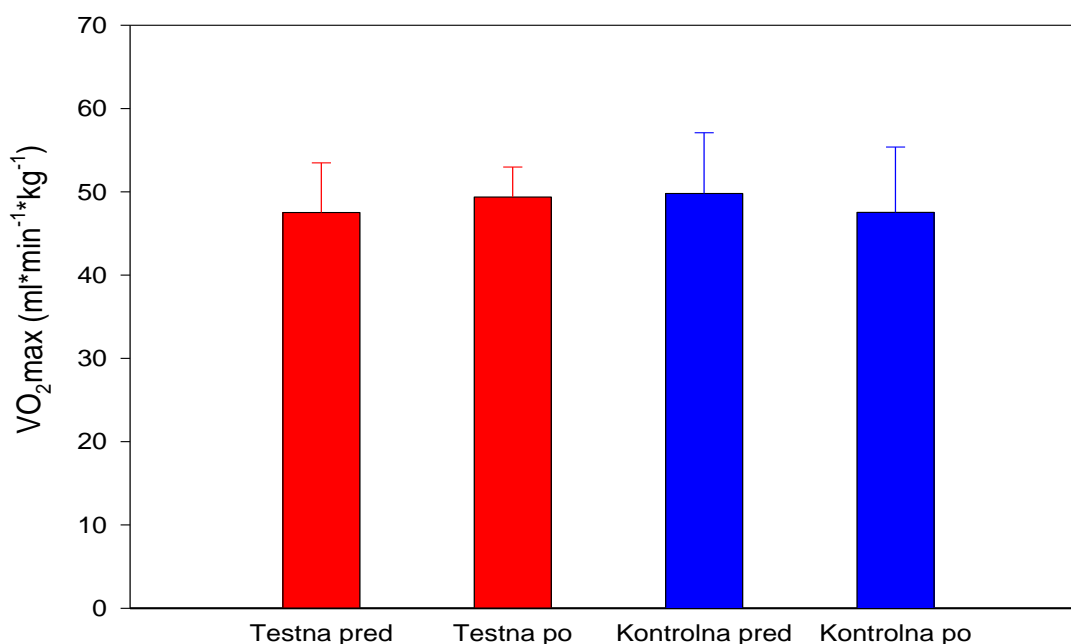
### 6.1. Večstopenjski test na tekoči preprogi pred in po treningu

Po treningu so trenirani dlje časa zmogli obremenitev na tekoči preprogi. Čas obremenitve se je pri testni skupini podaljšal z  $19,7 \pm 3,6$  min na  $21,8 \pm 2,6$  min ( $P=0.006$ ). Pri kontrolni skupini ni bilo sprememb.



**Grafikon 7:** Trajanje obremenitve do odpovedi (min) pred in po treningu

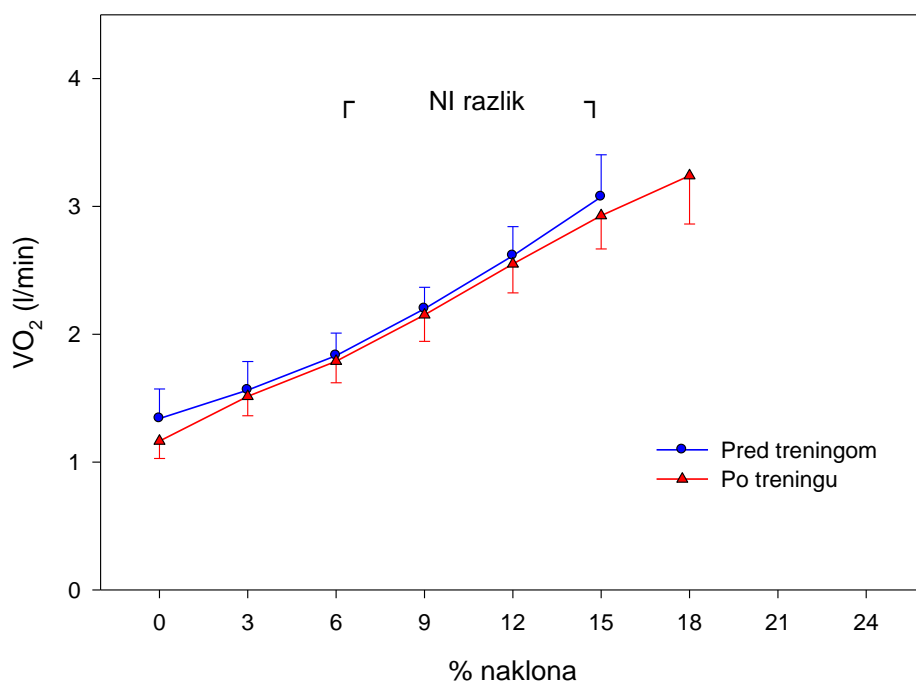
Največji privzem kisika ( $VO_2max$ ) izražen relativno ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) se v našem primeru ni spremenil. Sprememb nismo zaznali niti pri testni niti pri kontrolni skupini.



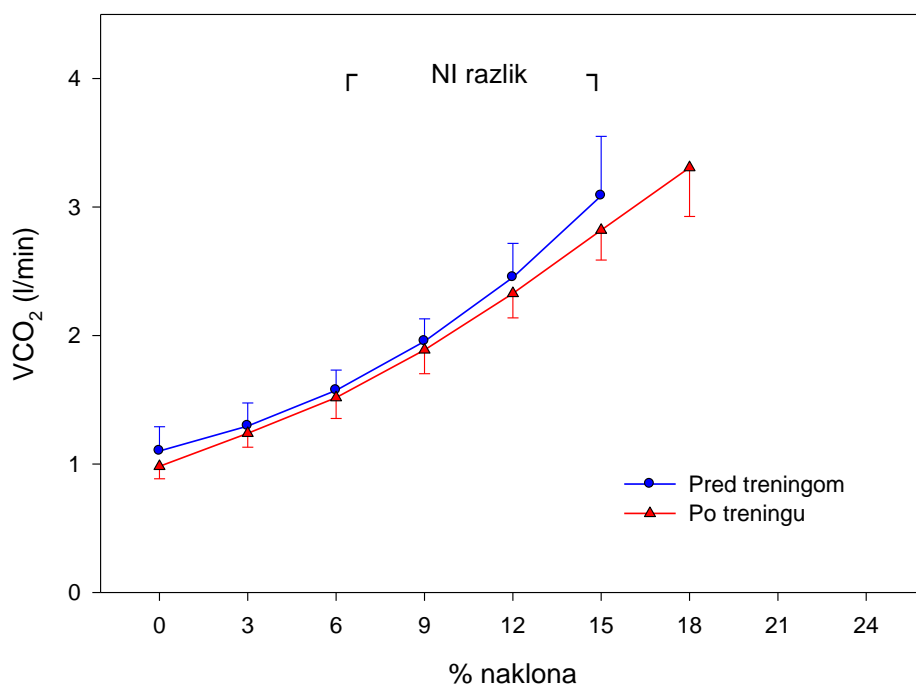
**Grafikon 8:**  $VO_2max$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) pred in po treningu

6.1.1. Privzem kisika -  $VO_2$  in tvorba ogljikovega dioksida –  $VCO_2$ 

Po treningu se  $VO_2$  ni spremenil, prav tako tudi ne  $VCO_2$ .



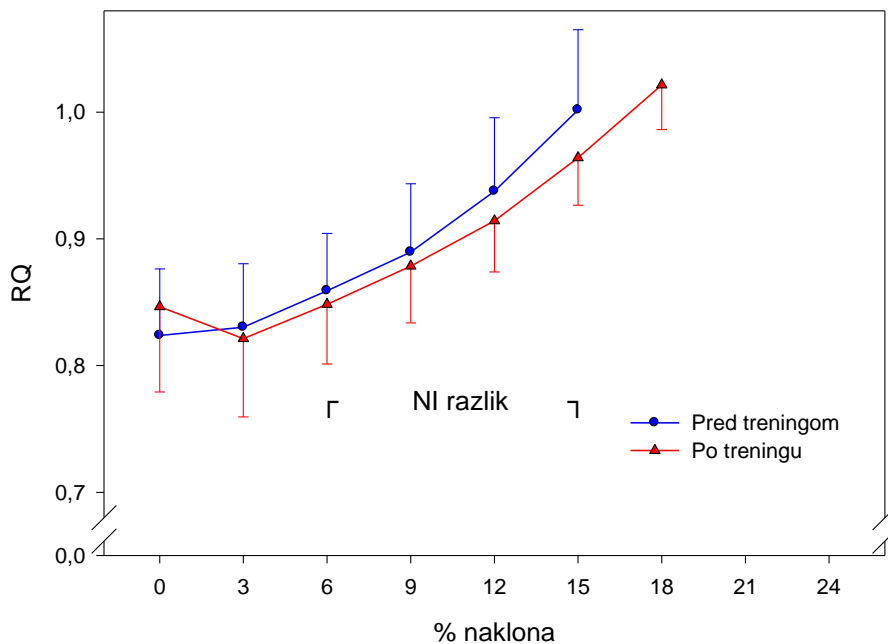
**Grafikon 9:** Privzem kisika ( $\text{lit} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po treningu – testna skupina



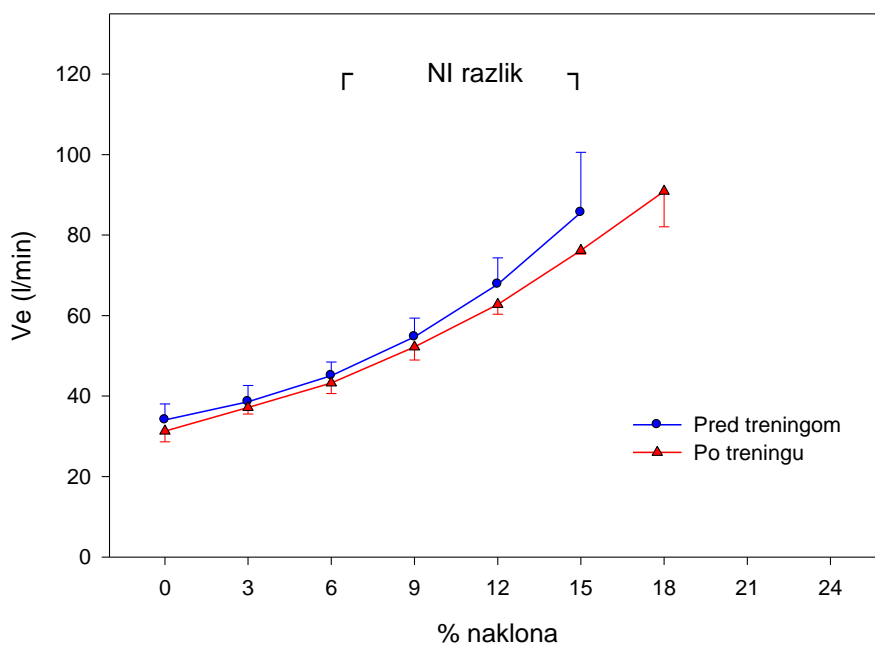
**Grafikon 10:** Volumen  $CO_2$  ( $\text{lit} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po treningu – testna skupina

### 6.1.2. Respiratorni kvocient - RQ in pljučna ventilacija - $V_e$

Vrednost RQ se po treningu na submaksimalnem nivoju ni spremenila ( $P=0.14$ ). Prav tako se ni spremenila pljučna ventilacija.



**Grafikon 11:** Vrednost RQ pred in po treningu – testna skupina

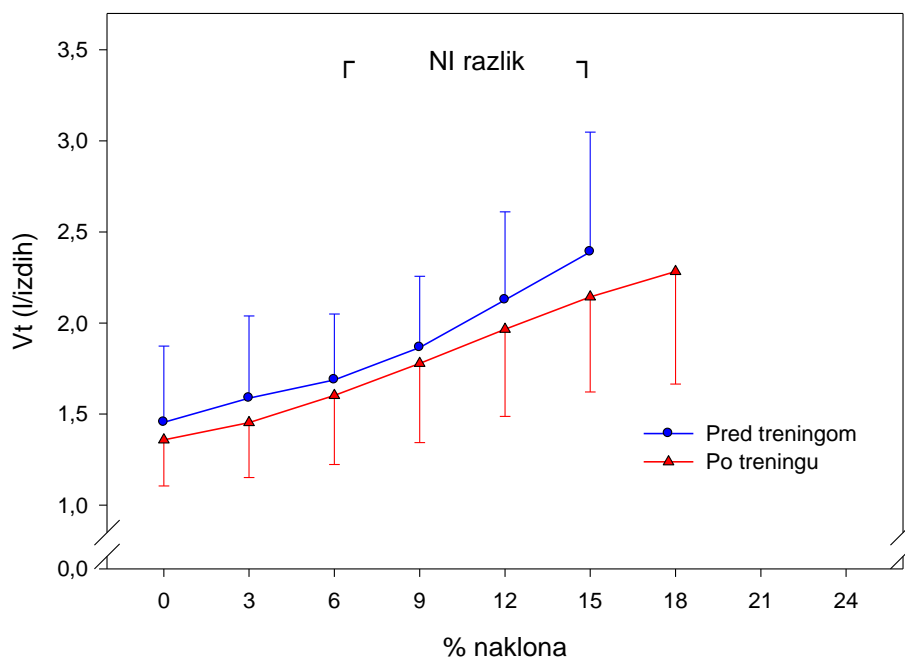


**Grafikon 12:** Pljučna ventilacija ( $lit \cdot min^{-1}$ ) pred in po treningu – testna skupina

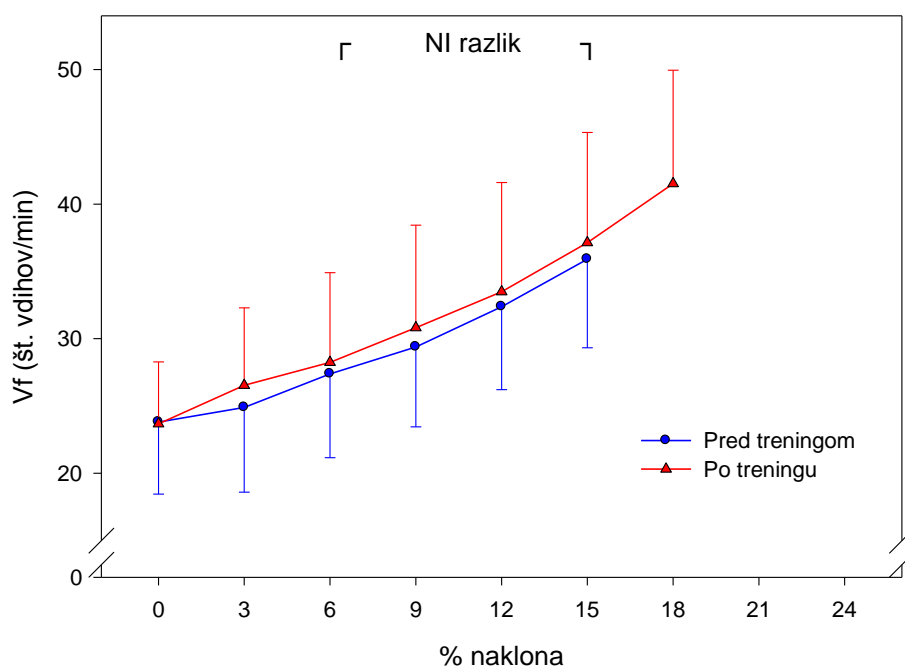


### 6.1.3. Dihalni volumen – $V_t$ in frekvenca dihanja - $V_f$

Dihalni volumen in frekvenca dihanja se nista spremenila.



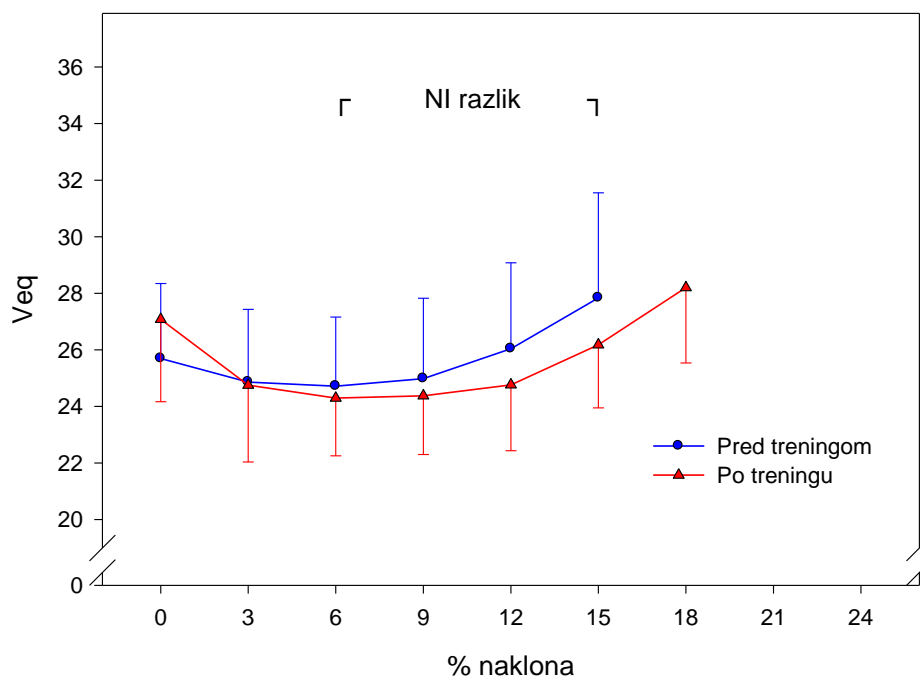
**Grafikon 13:** Volumen enkratnega vdiha (lit) pred in po treningu



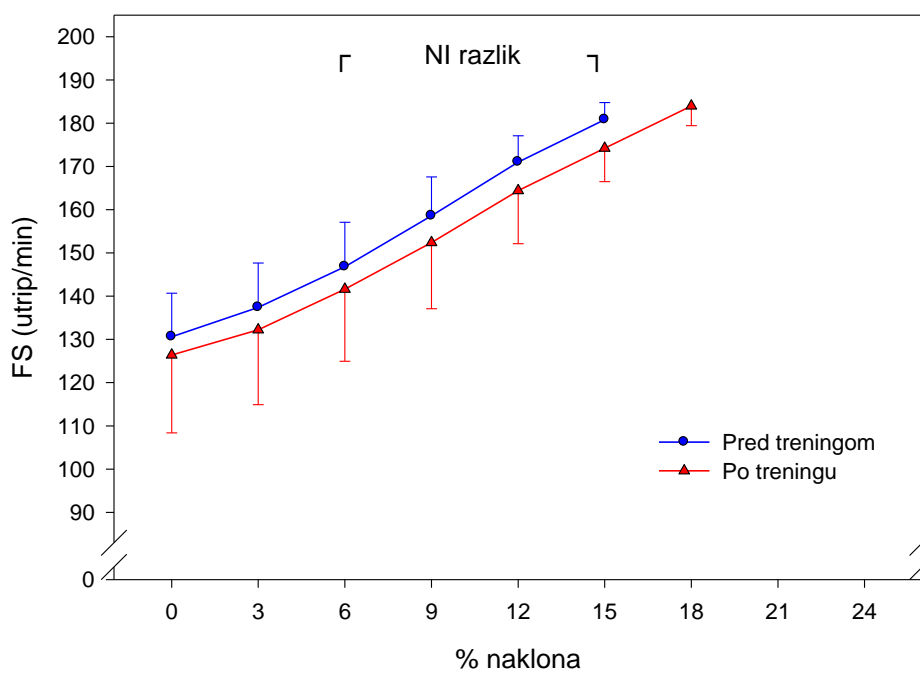
**Grafikon 14:** Frekvenca dihanja ( $\text{vdihov} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po treningu

6.1.4. Ventilatorni ekvivalent za  $O_2$  –  $V_{eq}$  in frekvenca srca – FS

Vrednosti  $V_{eq}$  se s treningom niso spremenile. Frekvenca srca se po treningu ni spremenila, je pa mogoče zaznati trend zniževanja ( $P=0.08$ ).



**Grafikon 15:** Vrednost  $V_{eq}$  ( $V_e/V_{O_2}$ ) pred in po treningu



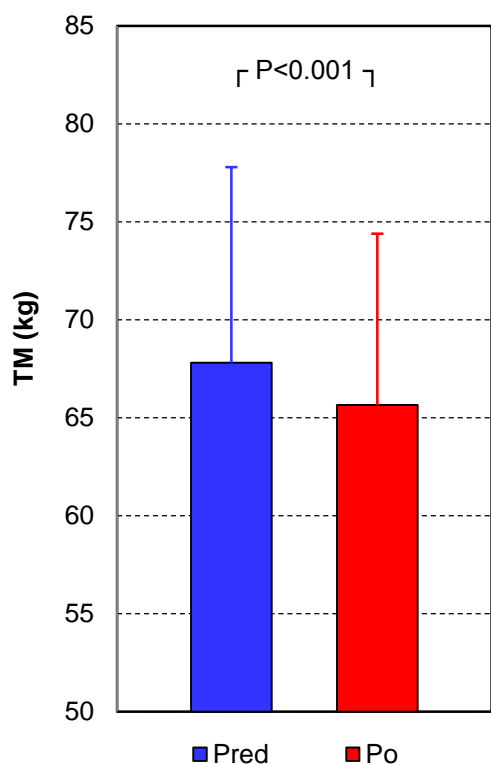
**Grafikon 16:** Frekvenca srca ( $utrip \cdot min^{-1}$ ) pred in po treningu

## 6.2. Telesna masa in frekvenca srca v mirovanju pred in po odpravi

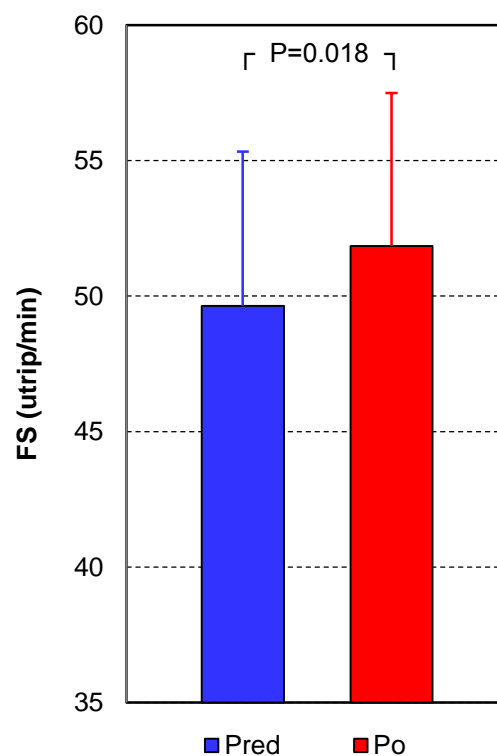
Med bivanjem na alpinistični odpravi se je udeleženi telesna masa znižala v povprečju za 3,4 %, z  $67,8 \pm 10,0$  kg na  $65,6 \pm 8,8$  kg ( $P < 0.001$ ).

Zanimivo, da se je povprečna frekvenca srca v mirovanju v povprečju povišala za 4 %, z  $49,6 \pm 5,7$  na  $51,8 \pm 5,7$  utripov/min ( $P = 0.018$ ).

Vrednosti srčne frekvenca in telesne mase so povprečje zadnjih petih dni pred odpravo in prvih petih dni po odpravi.



**Grafikon 17:** Telesna masa (kg) pred in po odpravi

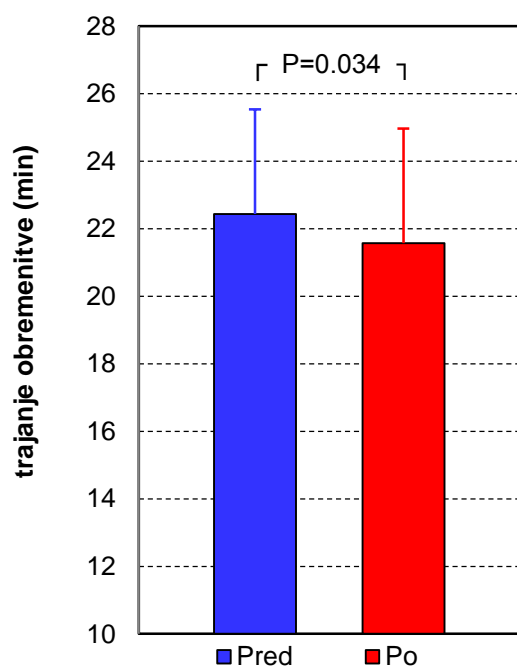


**Grafikon 18:** Frekvenca srca (utrip/min) pred in po odpravi

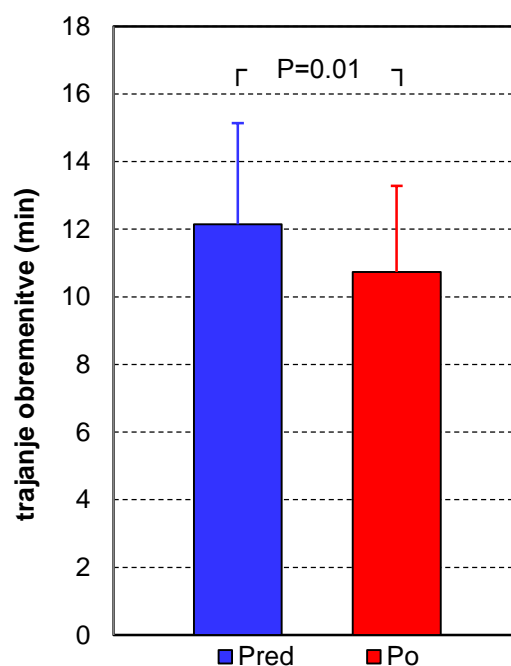
### 6.3. Večstopenjski test na tekoči preprogi pred in po odpravi

Pri večstopenjskem testu na tekoči preprogi se je skrajšal čas z  $22,4 \pm 3,1$  min pred odpravo na  $21,6 \pm 3,4$  po odpravi ( $P=0.034$ ).

Pri tem se je pred odpravo ventilatorni prag pojavil po  $12,1 \pm 3,0$  min, po odpravi pa po  $10,7 \pm 2,6$  min ( $P=0.010$ ).



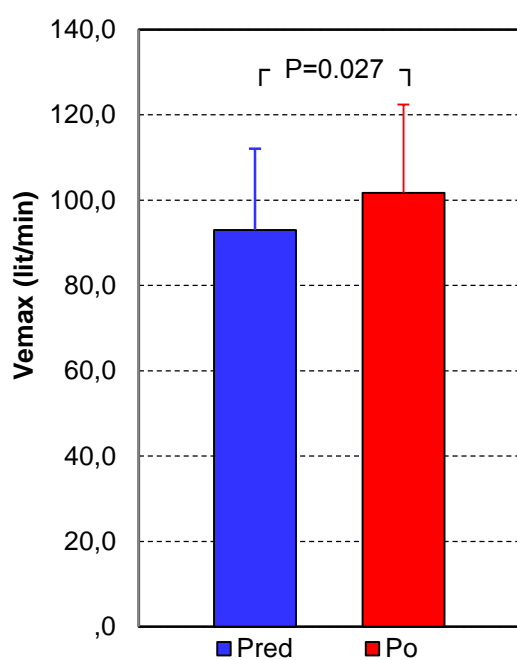
**Grafikon 19:** Trajanje obremenitve do odpovedi (min) pred in po odpravi



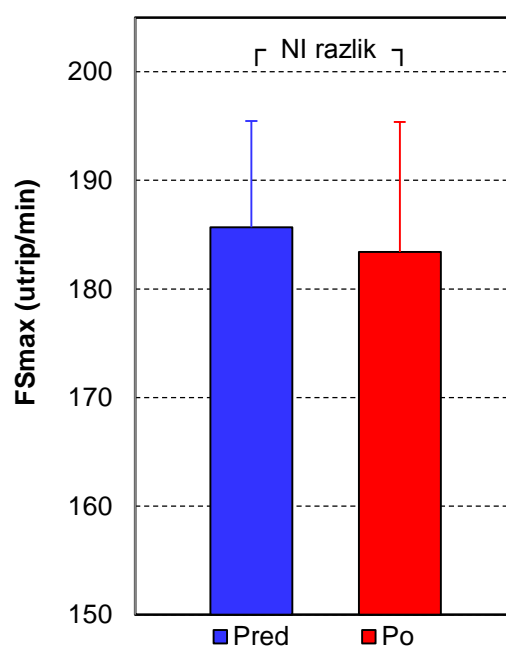
**Grafikon 20:** Čas do doseženega ventilatornega praga (min) pred in po odpravi

Pri testu na tekoči preprogi so bile po odpravi dosežene višje vrednosti pljučne ventilacije pri maksimalne intenzivnosti. Vemax se je z  $93 \pm 19$  lit/min povišal na  $102 \pm 21$  lit/min ( $P=0.027$ ).

Frekvenca srca pri maksimalni obremenitvi se po odpravi ni spremenila, smo pa zaznali tendenco zniževanja (pred odpravo  $186 \pm 10$  utripov/min, po odpravi  $183 \pm 12$  utripov/min).



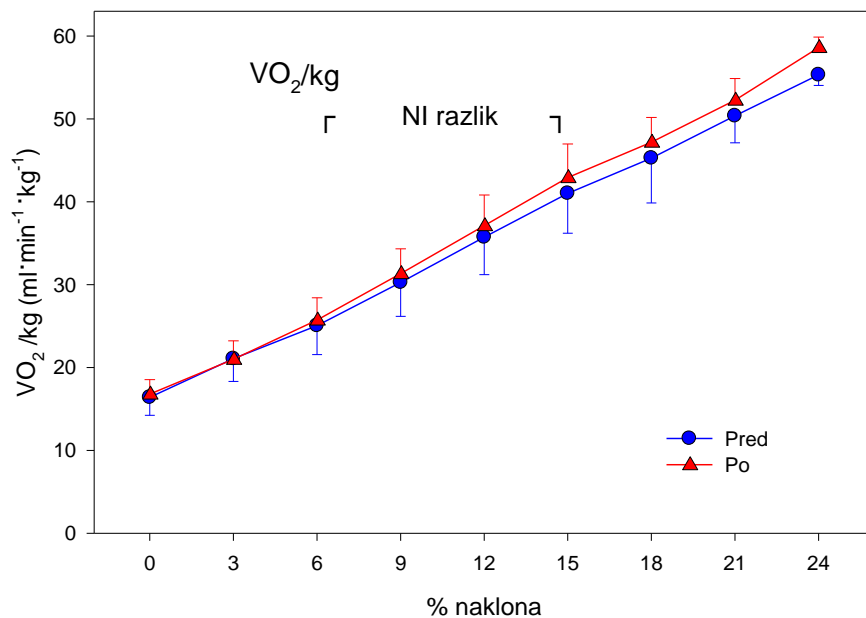
**Grafikon 21:** Najvišja dosežena pljučna ventilacija ( $\text{lit} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po odpravi



**Grafikon 22:** Največja frekvenca srca ( $\text{utrip} \cdot \text{min}^{-1}$ ) dosežena na tekoči preprogi

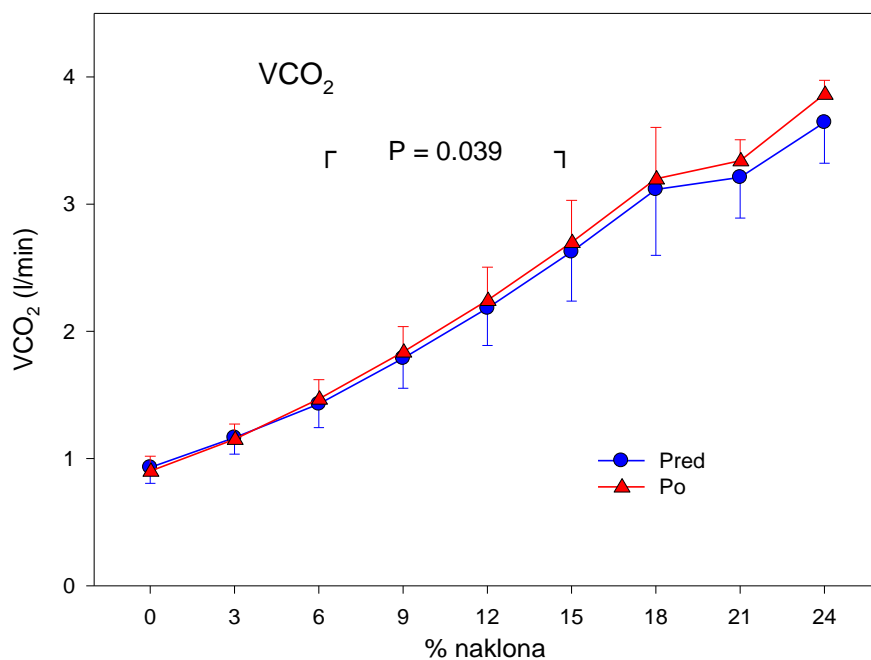
6.3.1. Privzem kisika -  $VO_2$  in tvorba ogljikovega dioksida –  $VCO_2$ .

Po odpravi v intervalu med 6 in 15 % v primerjavi z vrednostjo  $VO_2$  pred odpravo ni bilo sprememb, pokazal pa se je trend zniževanja ( $P=0.058$ ).



**Grafikon 23:** Relativen privzem kisika ( $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ) pred in po odpravi

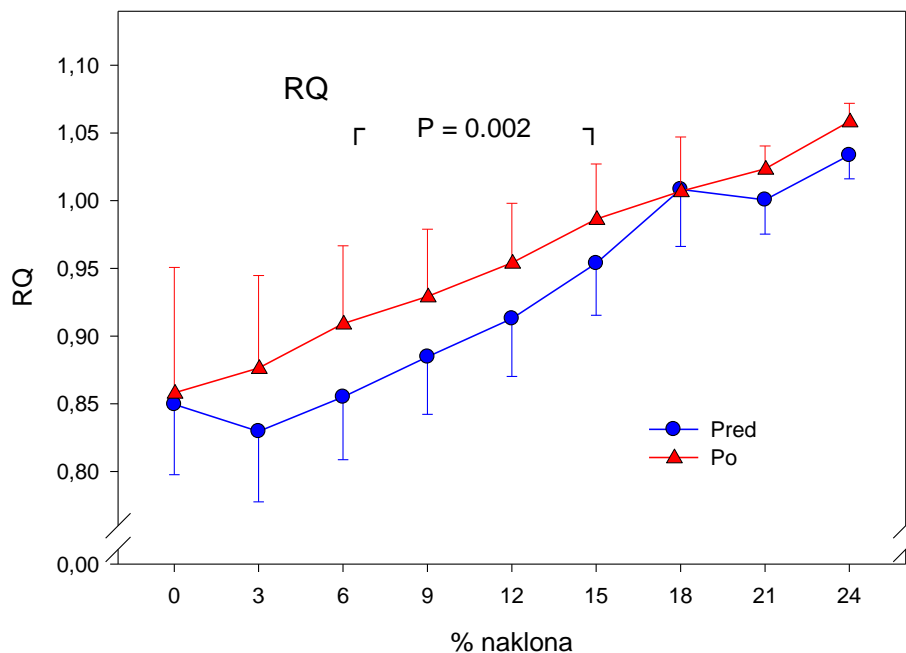
Volumen  $CO_2$  se je po odpravi statistično značilno ( $P=0.039$ ), a le malenkostno zvišal.



**Grafikon 24:** Volumen  $CO_2$  v izdihanem zraku ( $lit \cdot min^{-1}$ ) pred in po odpravi

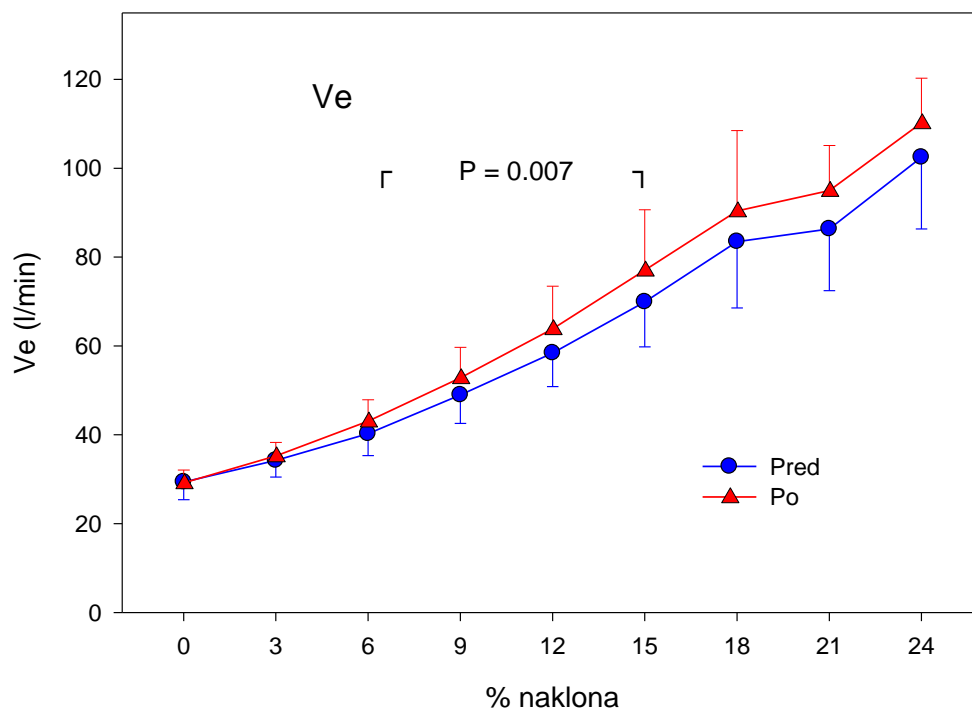
### 6.3.2. Respiratorni kvocient - RQ in pljučna ventilacija - $V_e$

Po odpravi se je izrazito in statistično pomembno zvišala vrednost RQ ( $VCO_2/VO_2$ ) med 6 in 15 % naklonom (ANOVA,  $P=0.002$ ).



**Grafikon 25:** Vrednost respiratornega kvocienta (RQ) pred in po odpravi

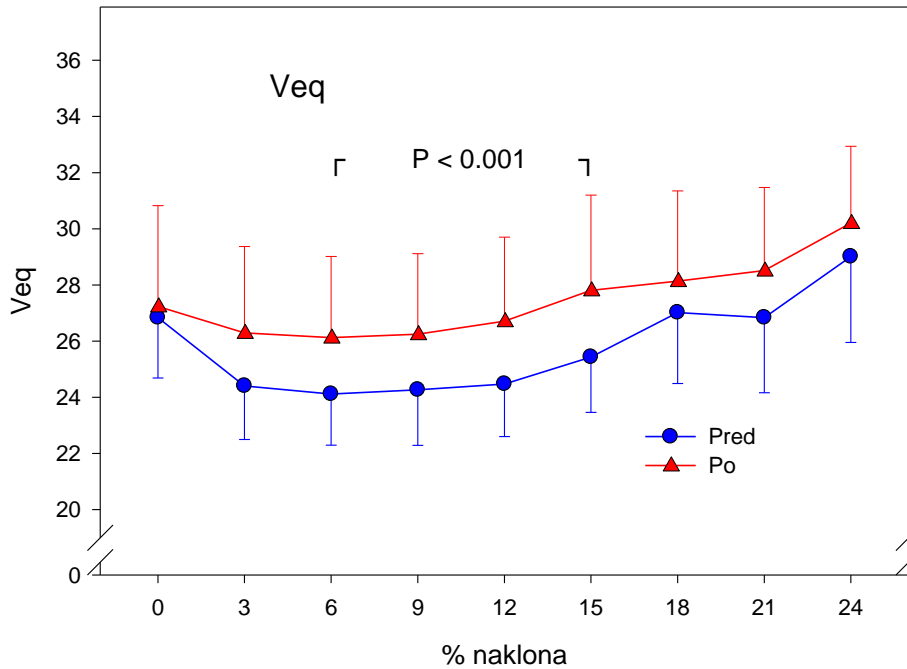
Pljučna ventilacija se je pri submaksimalnem naporu po odpravi zvišala ( $P=0.007$ ).



**Grafikon 26:** Pljučna ventilacija ( $lit \cdot min^{-1}$ ) pred in po odpravi

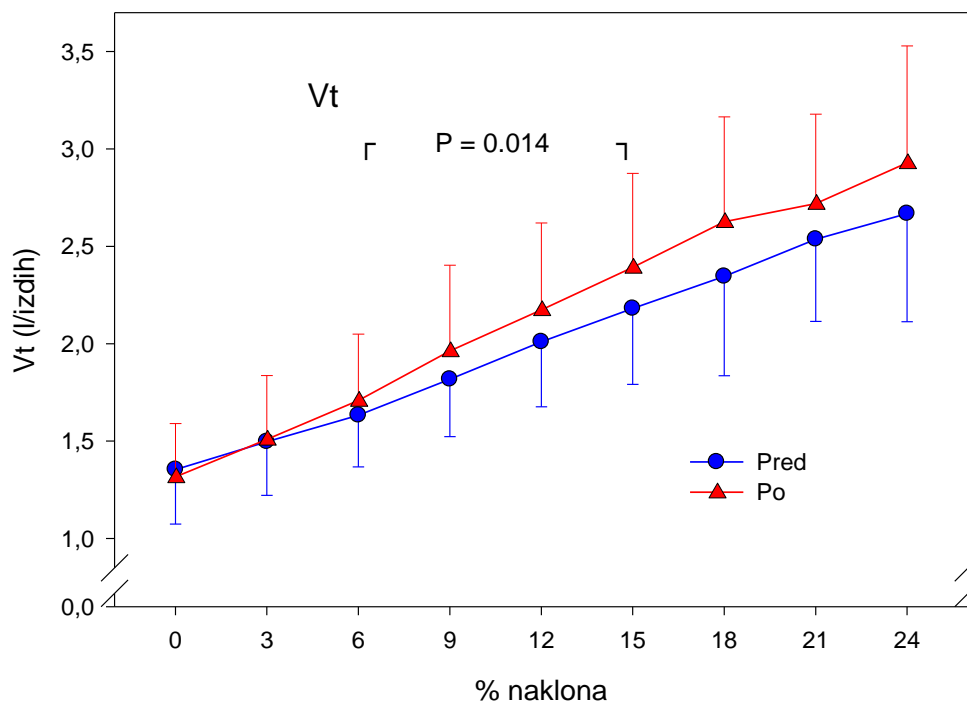
6.3.3. Ventilatorni ekvivalent za  $O_2$  –  $V_{eq}$  in volumen enkratnega vdih –  $V_t$ 

Vrednost  $V_{eq}$  se je v območju 6 do 15 % izrazito in statistično pomembno zvišala (ANOVA,  $P < 0.001$ ).



**Grafikon 27:** Vrednost  $V_{eq}$  ( $V_e/V_{O_2}$ ) pred in po odpravi

Dihalni volumen ( $V_t$ ) se je povečal ( $P = 0.014$ ), izraziteje pri večjih obremenitvah.



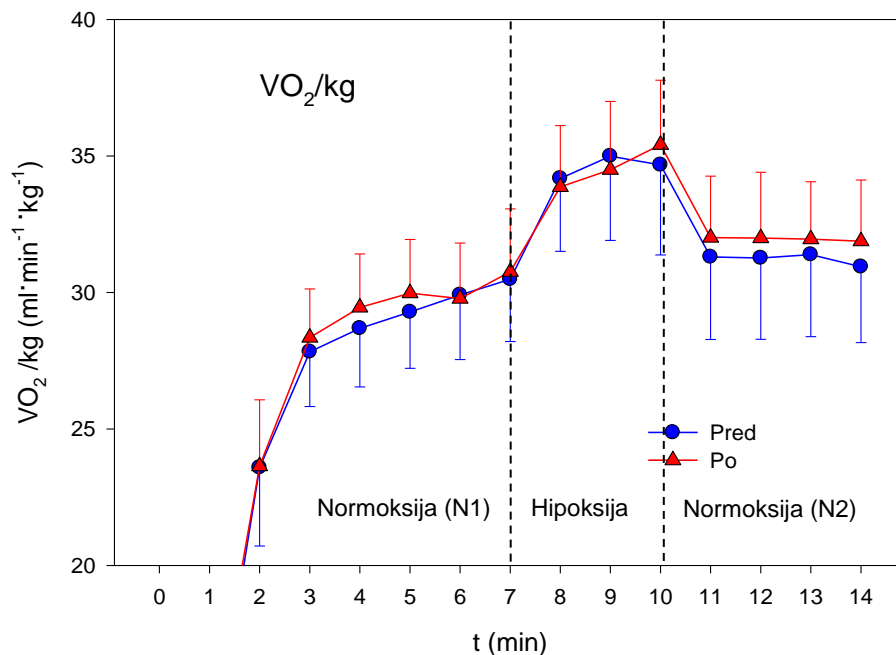
**Grafikon 28:** Dihalni volumen ( $V_t$ ) pred in po odpravi



## 6.4. Test na cikloergometru v normobarični hipoksiji pred in po odpravi

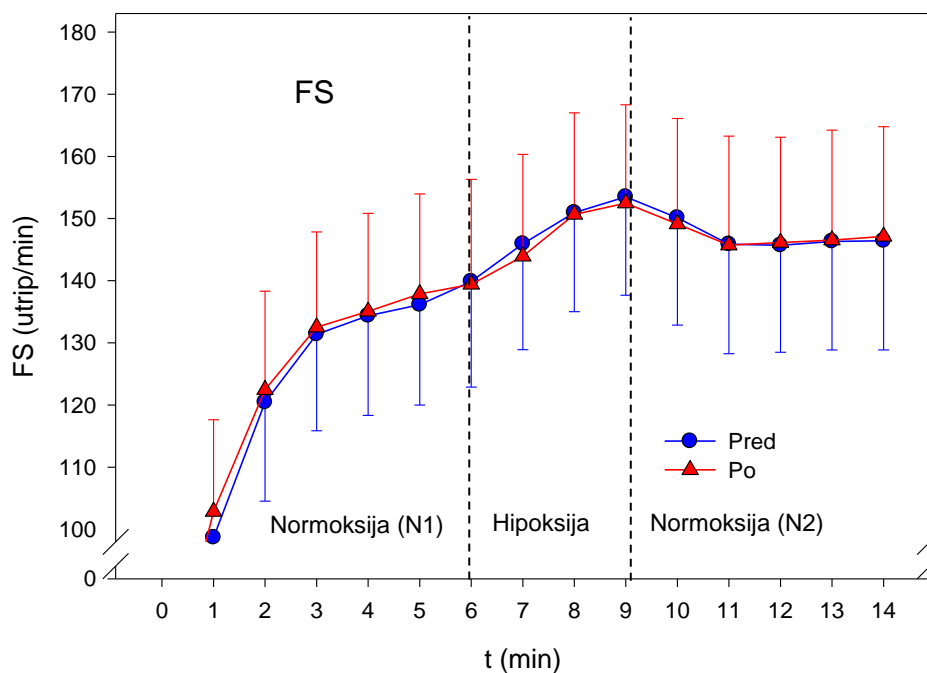
### 6.4.1. Privzem kisika - $VO_2$ in frekvenca srca - FS

Relativni privzem kisika se pri testu po odpravi ni bistveno spremenil. Zaznati je bilo malenkostno zvišanje v delu normoksije, predvsem v fazi N2.



**Grafikon 29:** Relativen privzem kisika ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) pred in po odpravi

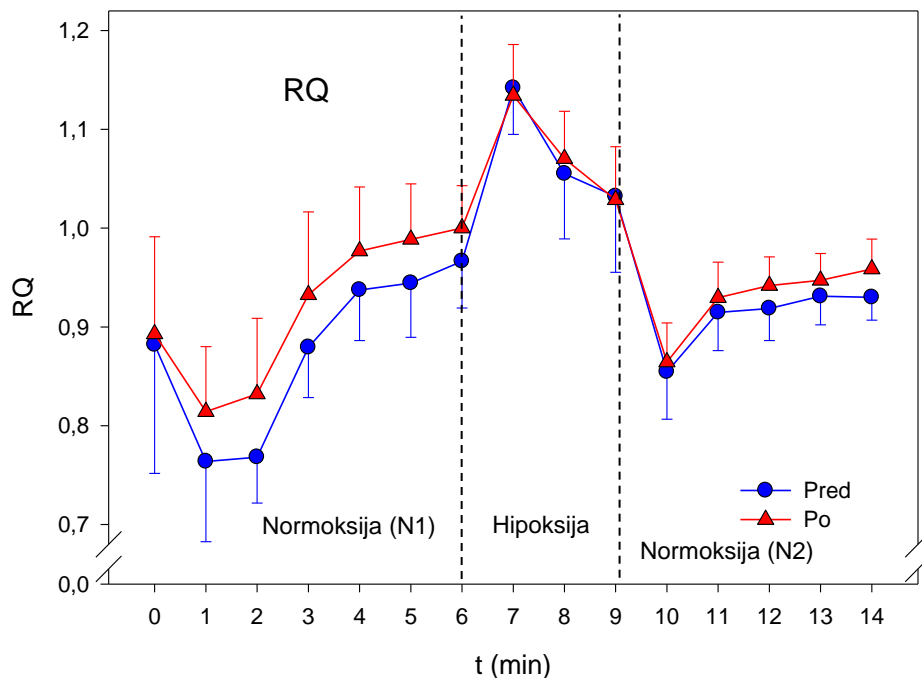
Frekvenca srca po odpravi pri enaki relativni obremenitvi ( $\text{W}/\text{kg}$ ) ni bila spremenjena.



**Grafikon 30:** Frekvenca srca ( $\text{utrip} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po odpravi

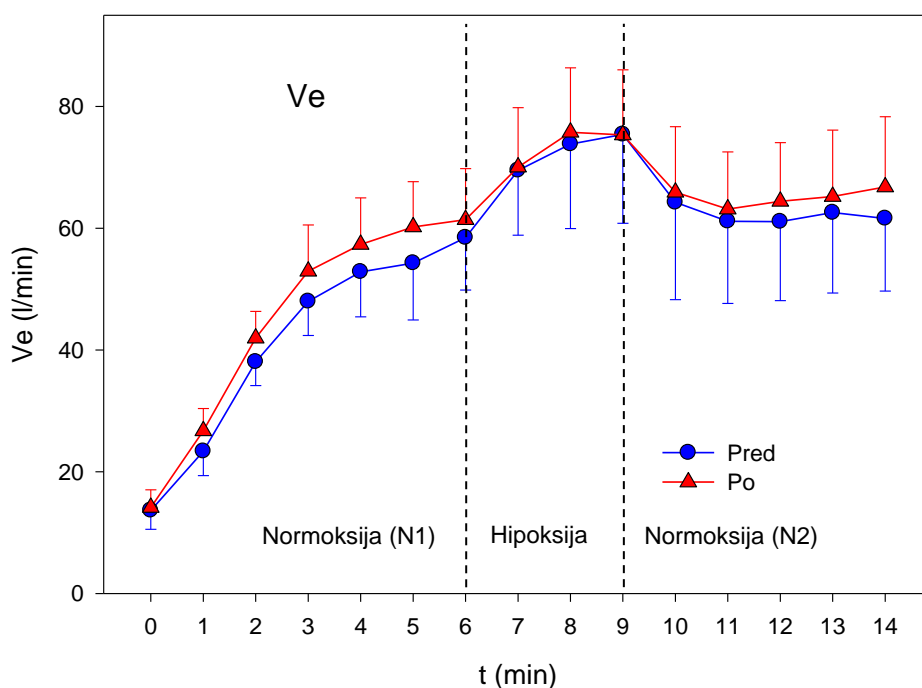
6.4.2. Respiratorni kvocient - RQ in pljučna ventilacija -  $V_e$ 

Vrednosti RQ so bile znižane v območju N1 ( $P < 0.001$ ) in N2 ( $P = 0.002$ ), ne pa tudi v hipoksiji.



**Grafikon 31:** Respiratorni kvocient (RQ) pred in po odpravi

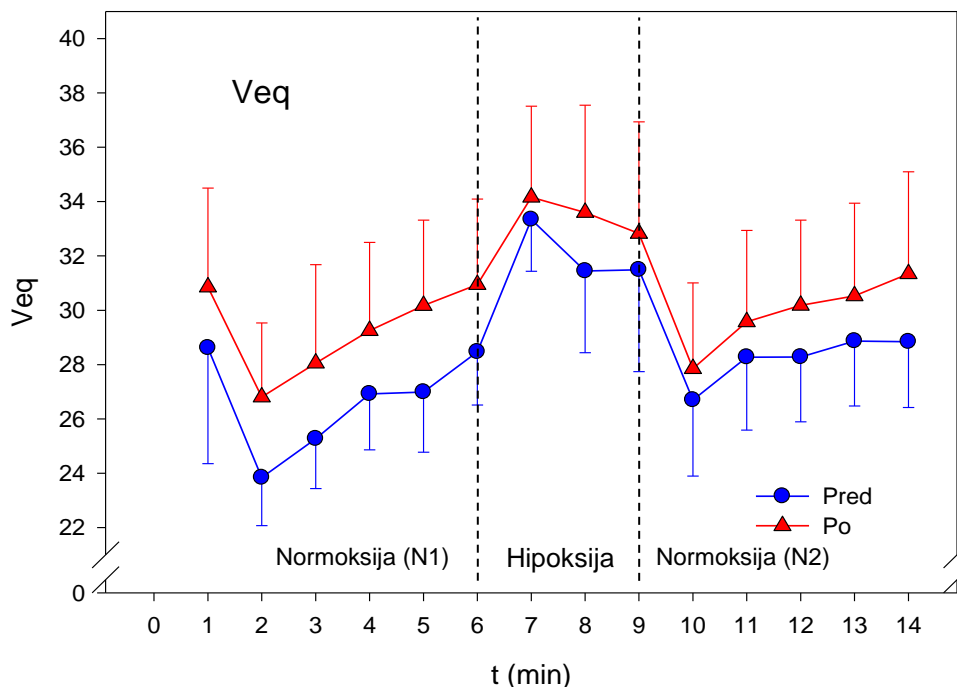
Povišanje pljučne ventilacije je bilo zaznati v prvem delu testa (N1), ne pa tudi v hipoksiji (H) in drugem delu normoksije (N2). Sprememba je bila stat. zn. ( $P = 0.011$ ).



**Grafikon 32:** Pljučna ventilacija ( $\text{lit} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po odpravi

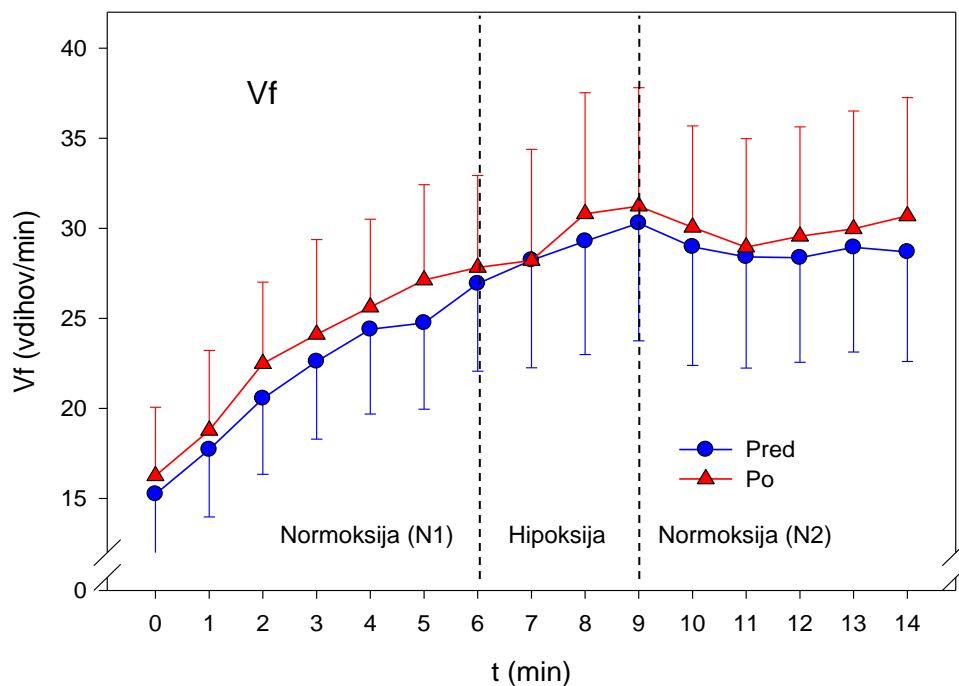
6.4.3. Ventilatorni ekvivalent za  $O_2$  –  $V_{eq}$  in frekvenca dihanja -  $V_f$ 

Opazno je bilo povišanje v vseh delih testa, tako v normoksiji, kot tudi hipoksiji. Sprememba je bila statistično pomembna ( $P < 0.001$ ;  $P = 0.003$ ;  $P = 0.01$ ).



**Grafikon 33:** Vrednost ventilatornega ekvivalenta ( $V_{eq}$ ) pred in po odpravi

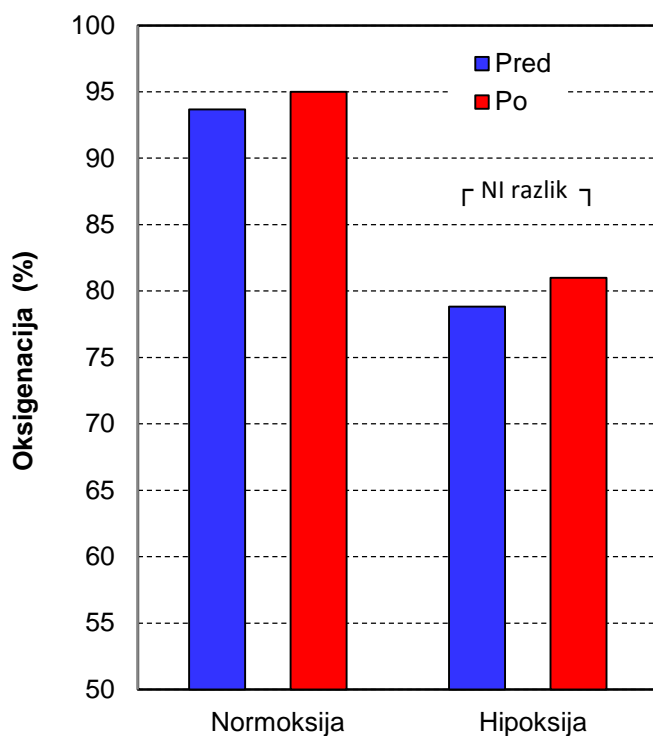
Zvišala se je frekvenca dihanja tekom celotnega testa.



**Grafikon 34:** Frekvenca dihanja ( $\text{vdih} \cdot \text{min}^{-1}$ ) pred in po odpravi

#### 6.4.4. Saturacija krvi s kisikom - SaO<sub>2</sub>

Vrednost saturacije v hipoksiji se po odpravi ni spremenila ( $P=0.054$ ), opaziti pa je trend naraščanja ( $79 \pm 7$  % na  $81 \pm 6$  %). Rezultati meritev saturacije so predstavljeni na skupini šestih ljudi ( $N=6$ ). Med izvajanjem testa je namreč prišlo do nepričakovane tehnične napake merilnega inštrumenta zaradi česar so bili ti podatki netočni in izločeni iz nadaljnje obdelave.



**Grafikon 35:** Saturacija v normoksiji (N1) in hipoksiji (H) pred in po odpravi (N=6).

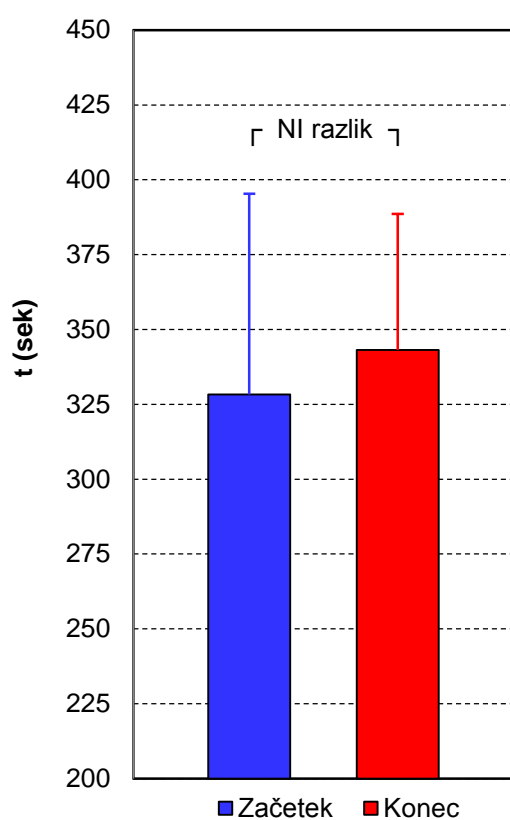
## 6.5. Meritve na odpravi

### 6.5.1. Test vzdržljivosti na nadmorski višini 4100 m

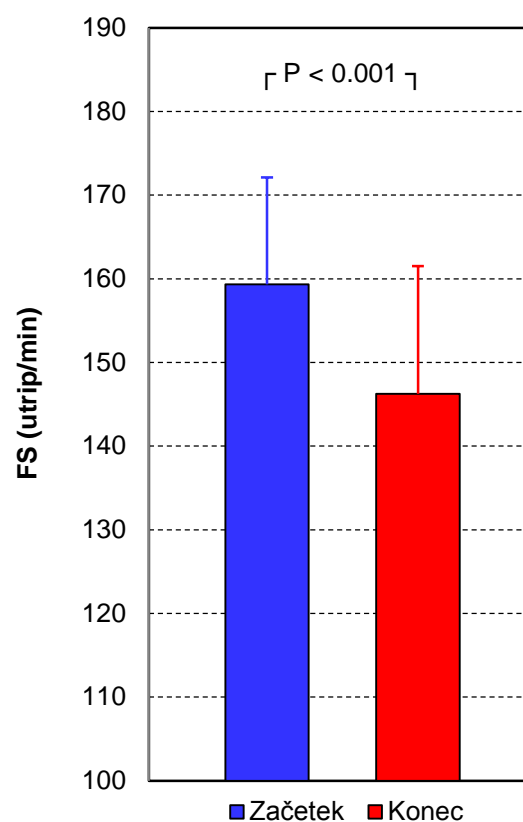
Pri testu na začetku in koncu odprave ni prišlo do sprememb časa. Povprečno trajanje testa je sicer znašalo  $328 \pm 67$  sek na začetku odprave in  $343 \pm 45$  sek na koncu odprave.

Povprečna frekvenca srca se je pri vzponu znižala za 8,2 % z  $159 \pm 13$  utrip/min na  $146 \pm 15$  utrip/min ( $P < 0.001$ ).

Največja frekvenca srca (FSmax) se je med obremenitvijo znižala z  $168 \pm 13$  utrip/min na  $158 \pm 15$  utrip/min ( $P < 0.001$ ).



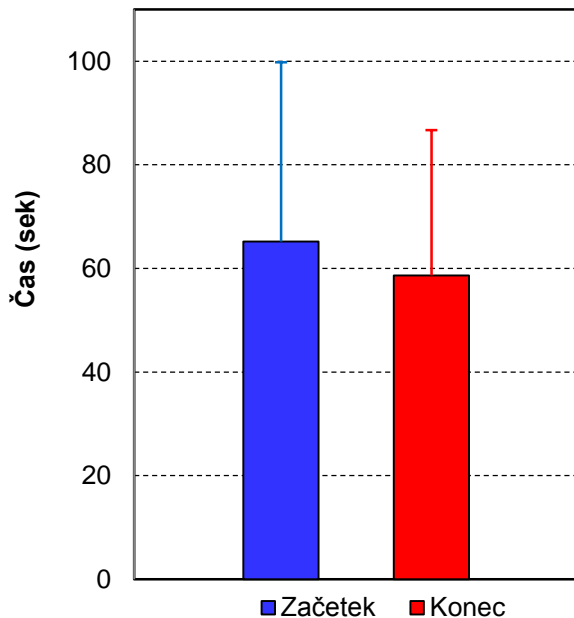
**Grafikon 36:** Trajanje vzpona (sek) na začetku in na koncu odprave



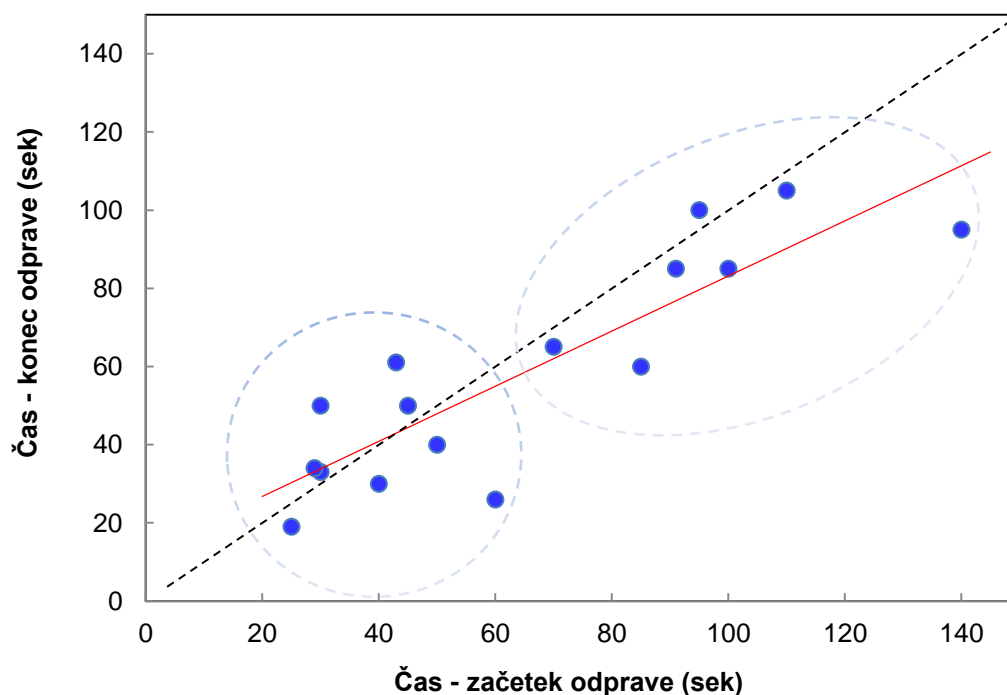
**Grafikon 37:** Povprečna frekvenca srca (utripov\*min<sup>-1</sup>) pri vzponu na višini 4100 m pred in po odpravi

### 6.5.2. Test vzdržljivosti v moči v pogojih hipoksije

Trajanje izometrične kontrakcije pri ekstenziji kolena pri obremenitvi  $\frac{1}{2}$  telesne mase se na koncu odprave v primerjavi z začetnimi vrednostmi ni spremenilo (na začetku  $65 \pm 35$  sek, na koncu  $59 \pm 28$  sek). Opaziti je mogoče trend, da so pri manj zmogljivih vrednosti na koncu odprave podobne ali boljše (daljše trajanje) v primerjavi s tistimi na začetku odprave (krog v Grafikon 31).



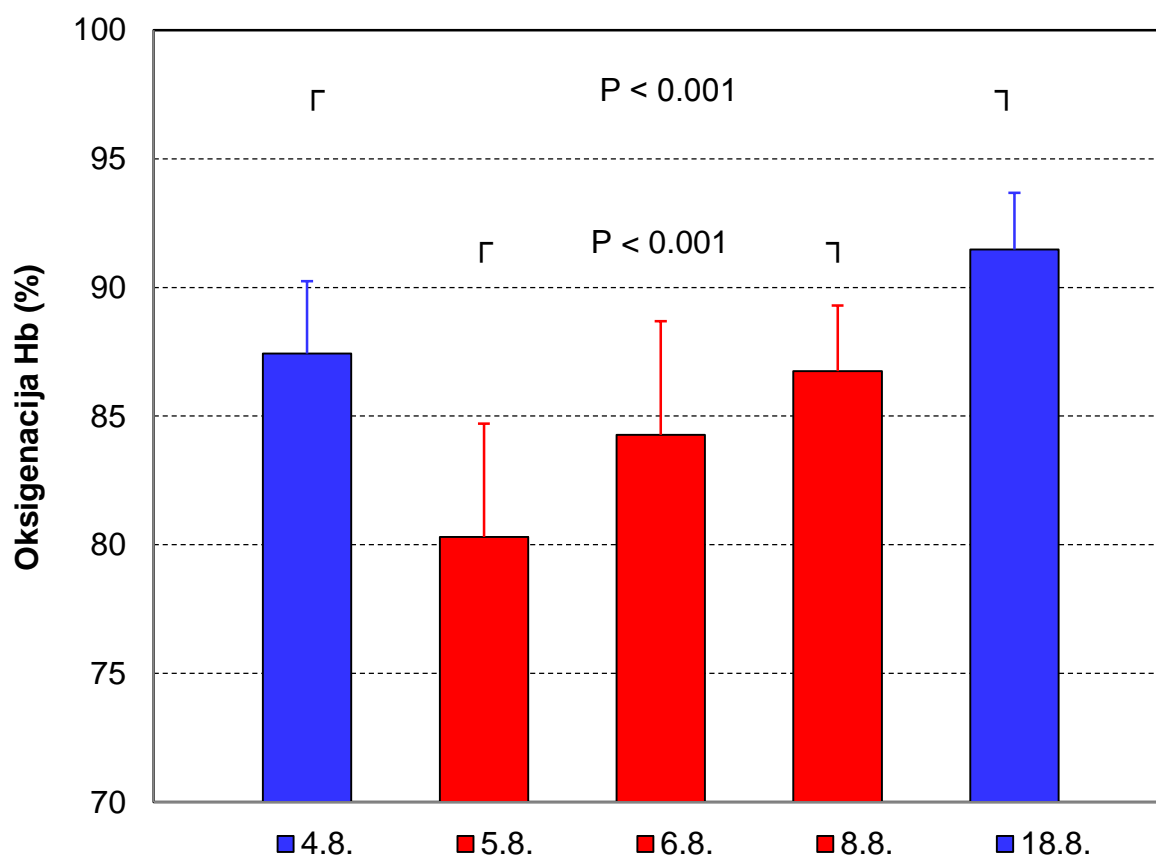
**Grafikon 38:** Trajanje izometrične kontrakcije na začetku in na koncu odprave



**Grafikon 39:** Trajanje izometrične kontrakcije na začetku in na koncu odprave - posamezno

### 6.5.3. Saturacija v mirovanju

Vrednost saturacije krvi s kisikom ( $\text{SaO}_2$ ) se je na odpravi po začetnem znižanju na različnih nadmorskih višinah vseskozi zviševala. Po prihodu na nadmorsko višino 4400 m je  $\text{SaO}_2$  znašala  $80 \pm 4 \%$ , po dnevu bivanja  $84 \pm 4 \%$ , po treh dnevih pa  $87 \pm 3 \%$ . Vse spremembe so bile statistično pomembne ( $P < 0.001$  oz.  $P = 0.047$ ). Saturacija krvi se je 14-dnevnem bivanju na koncu odprave na višini nadmorski višini 3600 m (t.i. bazni tabor) zvišala z začetnih  $87 \pm 3$  na  $91 \pm 2 \%$  ( $P < 0.001$ ).



**Grafikon 40:**  $\text{SaO}_2$  na odpravi – v mirovanju (modra - 3600 m, rdeča - 4400 m).

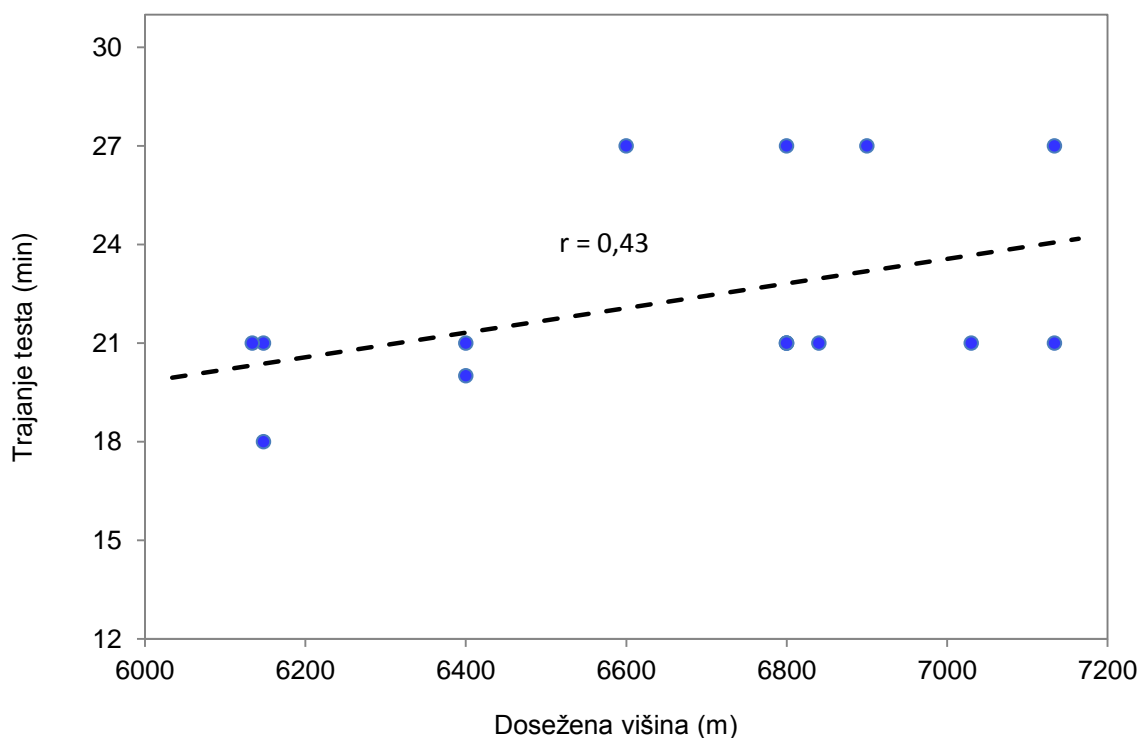
## 6.6. Primerjava in povezanost spremenljivk

Uspešnost vzpona v visokih gorah je odvisna od mnogih dejavnikov. Izmed njih so nekateri subjektivni – praviloma imamo nanje vpliv, drugi pa objektivni – nanje nimamo vpliva. Med pogosto opazovanimi dejavniki, ki naj bi bili v pozitivni korelacijo s hitrostjo vzpenjanja v pogojih hipoksije je nivo vzdržljivostne pripravljenosti v pogojih normoksije.

Izmed vseh dejavnikov smo v našem primeru za računanje korelacij izbrali VO<sub>2</sub>max dosežen pri večstopenjskem testu na tekoči preprogi v pogojih normoksije. Dodatno smo kot merilo vzdržljivostne pripravljenosti opazovali dosežen čas (trajanje) na tekoči preprogi. Kot merilo nivoja vzdržljivostne pripravljenosti v pogojih hipoksije smo izbrali čas trajanja vzpona na začetku odprave na nadmorski višini 4100 m in doseženo največjo nadrmsko višino, ki se običajno uporablja kot merilo uspešnosti na visokogorski alpinistični odpravi.

Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in testom na odpravi na nadmorski višini 4100 m je bila pozitivna ( $r = 0,66$ ;  $P < 0,05$ ). Podobno je bila v pozitivni korelaciji izmerjena vrednost VO<sub>2</sub>max s trajanjem testa na odpravi ( $r = 0,80$ ;  $P < 0,01$ ). Pokazala se je pozitivna korelacija med trajanjem testa v pogojih hipoksije in dosežno višino približno 10 dni kasneje ( $r = 0,61$ ;  $P < 0,05$ ). Ostale korelacije niso bile statistično značilne.

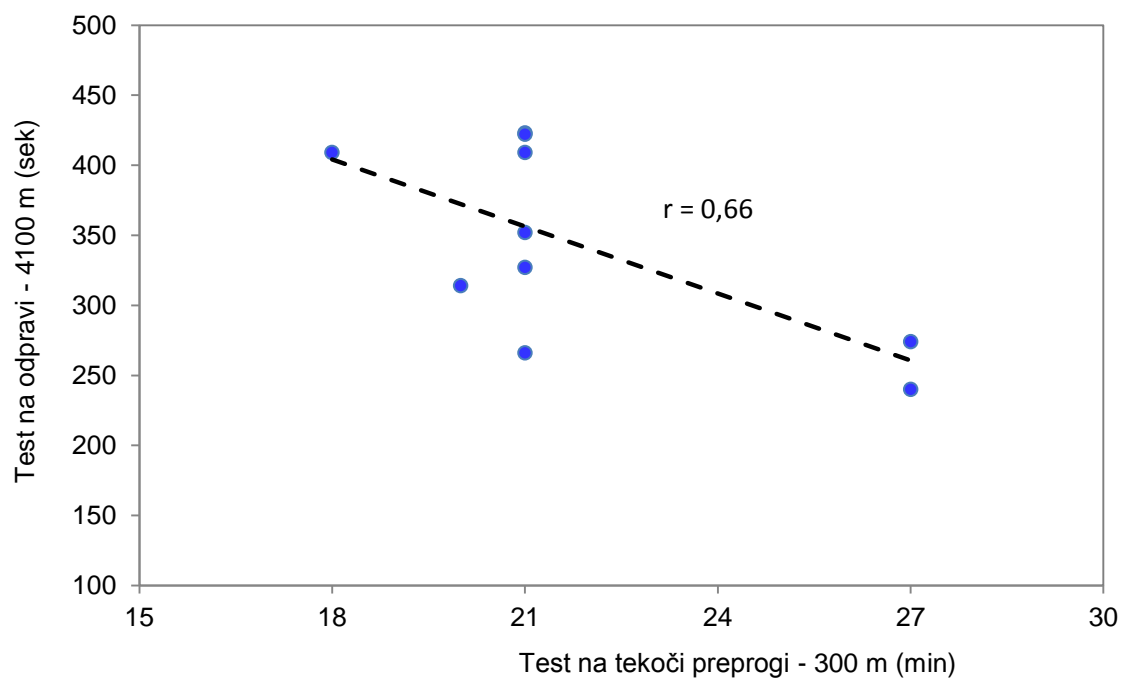
### 6.6.1. Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in doseženo višino



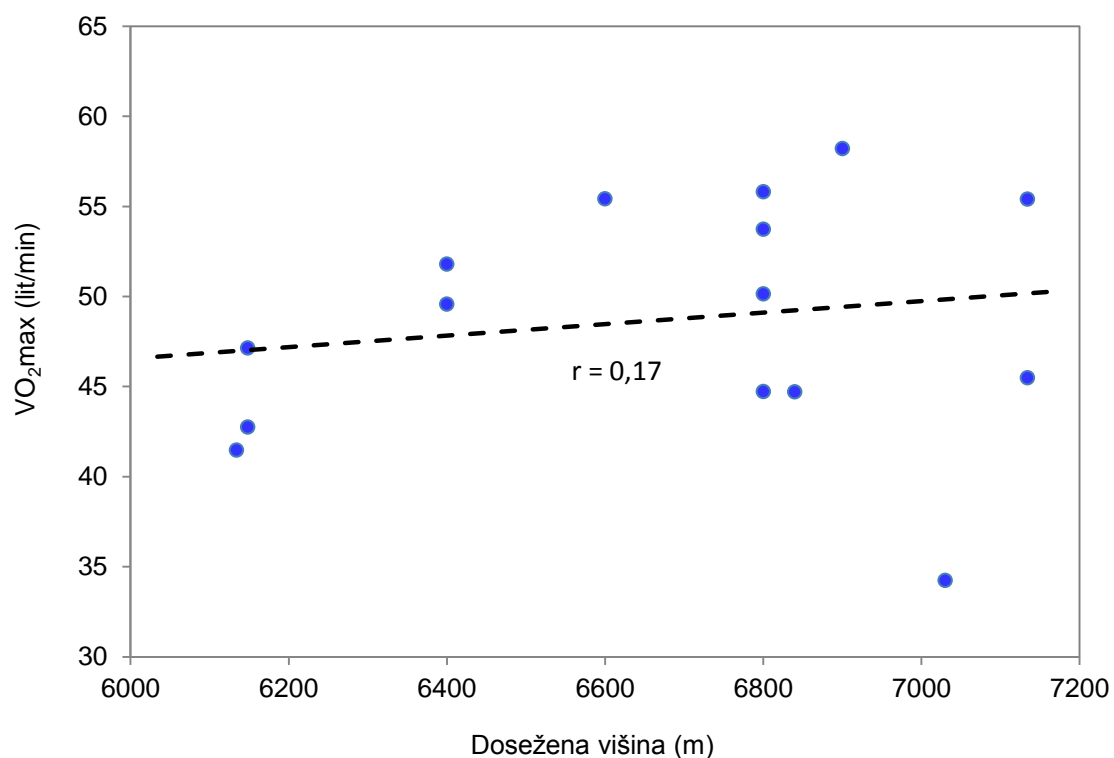
**Grafikon 41:** Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in doseženo višino (ni korelacije)



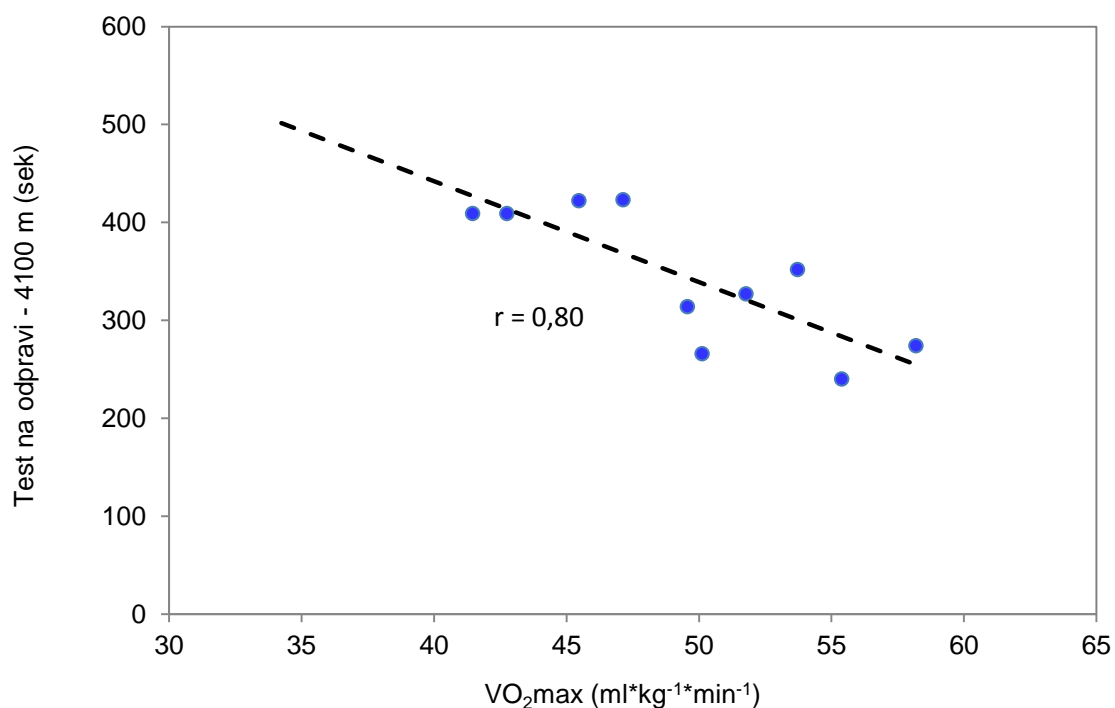
## 6.6.2. Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in testom na odpravi



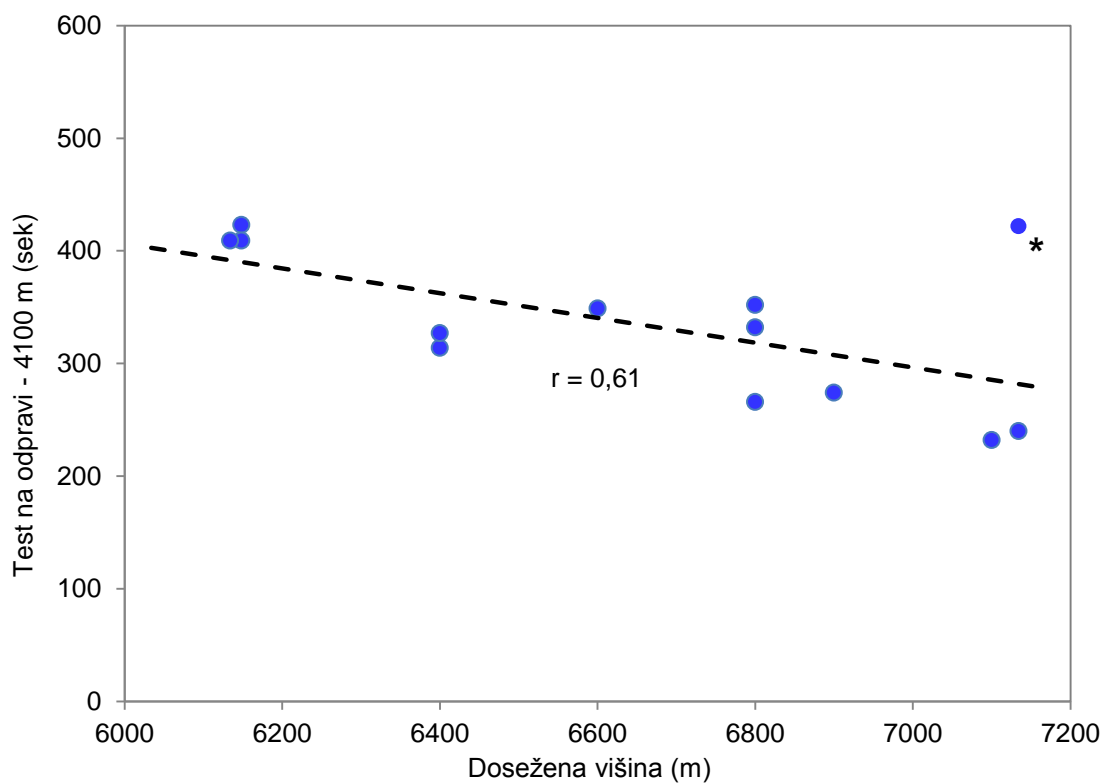
**Grafikon 42:** Korelacija med trajanjem testa na tekoči preprogi in testom na odpravi ( $P < 0,05$ )

6.6.3. Korelacija med  $VO_2\max$  in doseženo višino

**Grafikon 43:** Korelacija med  $VO_2\max$  in doseženo višino na odpravi (ni korelacije)

6.6.4. Korelacija med  $VO_2\max$  in trajanjem testa na odpravi**Grafikon 44:** Korelacija med  $VO_2\max$  in trajanjem testa na odpravi ( $P < 0.01$ )

## 6.6.5. Korelacija med trajanjem testa na odpravi in doseženo višino

**Grafikon 45:** Korelacija med trajanjem testa na odpravi in doseženo višino ( $P < 0.05$ )

## 7. RAZPRAVA

### 7.1. Trening

Priprava na visokogorsko alpinistično odpravo praviloma obsega tudi primeren vadbeni proces. Izmed dejavnikov na katere imajo udeleženci relativno velik vpliv in so pomembni za doseganje cilja (t.j. vzpona na vrh gore) pri odpravah v visoke gore je dolgotrajna vzdržljivost med najpomembnejšimi. Cilj tovrstnih odprav se nekoliko razlikuje od ciljev v večini ostalih športnih panog vzdržljivostnega tipa (dolgotrajni tek, kolesarjenje, plavanje), kjer je uspešen tisti, ki je najhitrejši. Hitrost vzpona na visoke gore ni primarnega pomena, imajo pa hitrejši zaradi objektivnih razlogov (manjša verjetnost pojava pljučnega ali možganskega edema, manjša verjetnost nehotenega bivakiranja ipd.) večje možnosti za uspeh.

Različne metode treninga vzdržljivosti različno vplivajo na posamezne dejavnike, ki izboljšujejo zmogljivosti pri dolgotrajnih naporih. Trening z metodo neprekinjene obremenitve submaksimalne intenzivnosti povzroči pozitivne spremembe tekmovalne zmogljivosti,  $VO_2\max$  in ostalih fizioloških kazalcev predvsem pri netreniranih posameznikih. Nadaljnje izboljšanje pri bolje pripravljenih je mogoče predvsem z metodo kratkotrajnih naporov visoke intenzivnosti (Laursen & Jenkins, 2002).

V naši raziskavi so testiranci v skupini, ki je opravljala trening po v naprej določenem program napredovala bolj kot tisti v skupini, ki si je trening (trajanje, intenzivnost, frekvenca vadbenih enot) sestavljala sama. Po treningu so trenirani v primerjavi z začetnim testiranjem dlje časa zmogli obremenitev na tekoči preprogi. Čas obremenitve se je podaljšal, pri tem pa se  $VO_2\max$  ni bistveno spremenil. Sprememb ni bilo niti pri drugih kazalcih, ne pri submaksimalni in tudi ne pri maksimalni obremenitvi ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ , RQ,  $V_e$ ,  $V_{eq}$ ,  $V_f$ ,  $V_t$ ). Frekvence srca se pri submaksimalni obremenitvi ni spremenila, vendar se kaže trend zniževanja.

V podobni raziskavi (Cukjati, 2006) je bilo po dveh mesecih intervalnega treninga (trening trikrat na teden) ugotovljeno daljše trajanje napora pri enakem testnem protokolu kot v našem primeru (19,5 min na 23,5 min). Vadečim se je v tem primeru povečala tudi  $VO_2\max$  z 49 na 54  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (Cukjati, 2006). Podobno so ugotovili tudi v številnih drugih raziskavah, kjer so uporabljali ali neprekinjeno ali intervalno metodo (Laursen & Jenkins, 2002; Billat, 2001; Warburton et al., 2004; Carter et al., 2000). Sprememba  $VO_2\max$  naj bi bila v pozitivni korelaciji s povečanjem volumna krvi (Warburton et al., 2004), ob tem pa velja, da spremembe  $VO_2\max$  niso edini kazalec vseh sprememb, ki nastopijo po treningu vzdržljivosti (Astrand, 2003).

V našem primeru smo uporabili vzdržljivostni trening v normoksiji. Delno izboljšanje zmogljivosti pri testu na tekoči preprogi lahko pripišemo drugim dejavnikom in ne spremembam  $VO_2\max$ . Razlogi, da spremembe v našem primeru niso bile tako izražene kot v nekaterih zgoraj omenjenih študijah, nam niso poznani. Morda je razlog v relativno kratkem obdobju treninga (trije meseci) oz. v manjši frekvenci visoko intenzivne vadbe (dvakrat na teden). Pri večini kazalcev je

mogoče zaznati trend zniževanja, a spremembe niso, verjetno tudi zaradi majhnega vzorca (N = 5), statistično pomembne.

## 7.2. Testiranja pred in po odpravi

### 7.2.1. Telesna masa in frekvenca srca v mirovanju

Bivanje in gibanje na visokogorski alpinistični odpravi vpliva na telesno sestavo. Zaradi nezadostnega vnosa tekočin in hranil ter izrazito povečane porabe energije prihaja do atrofije mišic in izgube maščobnega tkiva. Številne raziskave so ugotovile znižanje telesne mase (Dinmore et al., 1994; Wiseman et al., 2006), zanimivo tudi v simuliranih pogojih, ko so imeli testiranci neomejene možnosti vnosa hranil (Westerterp, 1999). Na zelo veliki nadmorski višini lahko prihaja do pomanjkanja apetita, inhibicije sinteze proteinov, povečanega ventilatornega dela (Levine & Stray-Gundersen, 2001), kar bi lahko ob dolgotrajnih naporih na alpinističnih odpravah vodilo v znižanje telesne mase.

V naši raziskavi se je telesna masa merjena pred in po odpravi v pogojih normoksije znižala v povprečju za 3,4 % oz. 2,2 kg. Dlje časa trajajoče odprave na najvišje vrhove so povzročile podobno, a še večje znižanje telesne mase, t.j. 5 do 8 % (Dinmore et al., 1994; Westerterp, 1999; Wiseman et al., 2006).

Zadosten vnos izbranih hranil, predvsem ogljikovih hidratov, ki izboljšujejo trajanje obremenitve v hipoksiji (Fulco et al., 2005), in beljakovin, ki preprečujejo atrofijo mišic bi alpinistom na odpravi v visoke gore verjetno omogočil daljše trajanje obremenitve in manjše izgube zmogljivosti. Morda bi bila manjša tudi atrofija mišičnih celic in bi se kasneje izpraznile zaloge glikogena.

Po prihodu na veliko nadmorsko višino se akutno zniža volumen krvne plazme in spremeni delovanje simpatičnega živčnega sistema, kar ima za posledico povečanje frekvenca srca v mirovanju in pri submaksimalnih naporih (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). S trajanjem aklimatizacije se FS znižuje proti vrednostim v normoksiji (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). Dlje časa trajajoče bivanje v pogojih hipobarične hipoksije povzroči povečano delovanje hormona eritropoetina, ki deluje stimulatивно na proces eritropoeze – tvorjenje novih eritrocitov (Millet et al., 2010; Wehrlin et al. 2006). Ugotovljeno je bilo, da se po bivanju na veliki nadmorski višini (hipobarična hipoksija) na normalni nadmorski legi poveča volumen plazme, frekvenca srca v mirovanju pa ostaja nespremenjena (Robach et al., 2000).

V naši raziskavi smo opazovali vrednosti frekvenca srca v mirovanju pred in po odpravi. Povprečna frekvenca srca v mirovanju se je v našem primeru po odpravi zvišala za 4,4 %. Podobne rezultate so ugotovili v študiji leta 2000 (Robach et al., 2000), kjer sicer niso dokazali povečanja frekvenca srca v mirovanju v obdobju po izpostavljenosti hipoksiji, so pa zaznali trend povečevanja (68 -> 74 utr/min). Vpliv aklimatizacije se očitno kaže v zniževanju frekvenca srca v mirovanju v pogojih hipoksije, ne pa tudi v pogojih normoksije. Morebiti je povečanje frekvenca srca v

mirovanju po vrnitvi z odprave v našem primeru posledica utrujenosti, vendar tega ne moremo natančno ugotoviti.

### 7.2.2. Test na tekoči preprogi v normoksiji

Pri testu na tekoči preprogi smo opazovali zmogljivosti posameznikov pred in po odpravi. Večstopenjski obremenilni test so testiranci izvajali do odpovedi. Opazovali smo spremembe pri submaksimalni obremenitvi (naklonski kot od 6% do 15%) ter pri maksimalni obremenitvi (individualno dosežena).

#### MAKSIMALNA OBREMENITEV

*Čas trajanja* pri večstopenjskem obremenilnem testu se je po odpravi skrajšal (za 4 %), ob tem pa so ostale vrednosti  $VO_2\text{max}$  nespremenjene.

V nekaterih drugih raziskavah so ugotovili znižanje  $VO_2\text{max}$  pri večstopenjskem obremenilnem testu na cikloergometru po dlje časa trajajoči izpostavljenosti hipoksiji (Robach, 2000). V našem primeru je prišlo do zmanjševanja največje zmogljivosti, s to spremembo pa ni sovpadalo znižanje  $VO_2\text{max}$ . Razlogi za nižjo zmogljivost nam niso natančno znani. Morda je znižanje največje zmogljivosti v pogojih normoksije posledica počasne hoje nizke intenzivnosti na odpravi. Intenzivnost gibanja (absolutno) je bila na odpravi nizka, kar se kaže tudi z relativno nizko vrednostjo  $FS\text{max}$ , ki so jo testiranci dosegli v pogojih hipobarične hipoksije (višina 4100 m) na začetku in na koncu odprave (168 oz. 158 utrip/min). Intenzivnost pri hoji med posameznimi višinskimi tabori je bila še bistveno nižja, kar je verjetno prispevalo k slabši vzdržljivostni pripravljenosti po odpravi.

*Ventilacija* pri maksimalni intenzivnosti ( $V_{\text{max}}$ ) je bila pri testu na tekoči preprogi višja po odpravi v primerjavi z vrednostjo pred njo.  $V_{\text{max}}$  se je povišal za 10 %, čeprav se je maksimalna zmogljivost znižala. Ker je pljučna ventilacija lahko v pogojih hipoksije omejitveni dejavnik (Wilmore & Costill, 1994), bi povečana maksimalna pljučna ventilacija morda lahko pozitivno vplivala na zmogljivosti v pogojih hipoksije. V raziskavi (Robas et al., 2000) tovrstnega povečanja pljučne ventilacije niso ugotovili, so pa opazili trend naraščanja. Aklimatizacijski procesi so v naši raziskavi očitno vplivali na povečanje pljučne ventilacije pri maksimalni obremenitvi v normoksiji.

*Frekvenca srca* pri maksimalni obremenitvi ( $FS\text{max}$ ) se po odpravi ni znižala. Podobno so ugotovili tudi v neki drugi raziskavi ko po dlje časa trajajoči izpostavljenosti hipobarični hipoksiji niso zaznali sprememb  $FS\text{max}$  med največjo obremenitvijo v normoksiji (Robach et al., 2000). Aklimatizacijski procesi so v našem primeru očitno vplivali le na  $FS\text{max}$  v pogojih hipoksije (več v poglavju 7.3.2.) ne pa tudi normoksije.

## SUBMAKSIMALNA OBREMENITEV

*Ventilatorni prag* se je v našem primeru po odpravi pojavil prej kot pred odpravo. Ventilatorni prag (Vep) je definiran kot nivo obremenitve, pri katerem postane naraščanje ventilacije nesorazmerno s povečanjem obremenitve (moč, hitrost gibanja) med večstopenjskim obremenilnim testom (Svedahl & MacIntosh, 2003). V našem primeru smo točko določili vizualno, podobno kot v nekaterih drugih študijah (Posner et al., 1987).

V raziskavi vpliva intervalnega treninga na zmogljivosti (Cukjati, 2006) je bilo ugotovljeno izboljšanje Vep po obdobju treninga pri enakem testnem protokolu. Podobno so ugotovili še v mnogih drugih raziskavah (Carter et al., 2000; Carter et al., 1999). Sklepamo lahko, da je odprava vplivala v tem primeru nasprotno kot trening, saj se je Vep po odpravi pojavil hitreje kot pred njo. Verjetno je znižanje posledica nizko intenzivne obremenitve na odpravi in posledično slabše vzdržljivostne pripravljenosti po odpravi, kar se kaže tudi v krajšem času trajanja obremenitve na tekokoči preprogi.

*Tvorba ogljikovega dioksida ( $VCO_2$ )* se je po odpravi povečala, *privzem kisika ( $VO_2$ )* pa se ni spremenil. Razlog za povečanje je morda lahko v večji porabi ogljikovih hidratov zaradi bivanja na veliki nadmorski višini, kar se kaže v povečani vrednosti respiratornega kvocienta.

*Respiratorni kvocient (RQ)*, ki predstavlja razmerje med vrednostjo  $VCO_2$  in  $VO_2$ , se je pri testu na tekoči preprogi po odpravi povečal.

Povečanje vrednosti respiratornega kvocienta pri večjih intenzivnostih kaže predvsem na hitrejše vključevanje anaerobnih energijskih procesov, pri nizkih intenzivnostih pa kaže vrednost RQ predvsem na razmerje porabe ogljikovih hidratov v primerjavi z porabo maščob. Kadar je v energijske aerobne procese vključen večji delež maščob so vrednosti nižje (bližje 0,70), kadar so vrednosti višje (bližje 1,00) pa je v presnovo vključen večji delež ogljikovih hidratov. Ugotovljeno je bilo, da se po bivanju na veliki nadmorski višini poveča presnova ogljikovih hidratov in zniža poraba maščob pri nespremenjeni submaksimalni obremenitvi (Astrand & Rodahl, 2003). Slednje je verjetno posledica prilagoditvenih procesov bivanja v pogojih hipoksije tudi v našem primeru, saj potrebujejo ogljikovi hidrati za enako količino sproščene energije manjšo količino kisika kot maščobe.

*Pljučna ventilacija ( $V_e$ )* v normalnih pogojih navadno pri športnikih ne predstavlja omejitvenega dejavnika, kar pa ne velja za napore na zelo veliki nadmorski višini, ko se bistveno zniža preskrba telesa s kisikom.

Pljučna ventilacija se je v našem primeru po odpravi pri submaksimalni intenzivnosti zvišala. Sprememba pljučne ventilacije je bila predvsem posledica večjega *dihalnega volumna* (ang. "tidal volume"), povišanje pa je bilo izrazitejše pri višjih obremenitvah. Predvidevamo, da je povečana pljučna ventilacija posledica večjega ventilatornega odziva na dejavnike, ki so posledica submaksimalne in maksimalne obremenitve (vsebnost [La], znižan pH krvi).

V raziskavi vpliva protokola "Bivaj visoko, treniraj nizko" (ang. Live High – Train Low, skrajšano LH TL) so ugotovili povečano kemosenzitivnost na hipoksične pogoje,

hkrati pa se je povečala tudi pljučna ventilacija v pogojih normoksije (Townsend et al., 2005). Pri tem se je pokazala pozitivna korelacija med velikostjo spremembe ventilacije v hipoksiji in povečanjem ventilacije v normoksiji.

*Ventilatorni ekvivalent za O<sub>2</sub> (Veq)* predstavlja razmerje med pljučno ventilacijo in porabo kisika.

V naši raziskavi se je pri submaksimalni obremenitvi po odpravi izrazito in statistično pomembno zvišal. Udeleženci odprave so po bivanju in gibanju na veliki nadmorski višini pri enakem submaksimalnem naporu dosegali večje vrednosti ventilatornega ekvivalenta. Gibanje je tako postalo z vidika pljučne ventilacije manj ekonomično. Očitno je po visokogorski alpinistični odpravi ventilatorni odziv povečan tudi pri submaksimalnih obremenitvah v pogojih normoksije.

### 7.2.3. Test na cikloergometru v hipoksiji

*Frekvenca srca (FS)* in *privzem kisika (VO<sub>2</sub>\*kg<sup>-1</sup>)* se pri testu na cikloergometru (normobarična hipoksija) pri enaki obremenitvi nista spremenila. Delno zmanjšanje porabe kisika po visokogorski odpravi so pri stacionarni obremenitvi zaznali v drugi raziskavi, vendar so primerjali absolutne in ne relativne vrednosti (MacDonald et al., 2001); znižanje je bilo tako lahko posledica nižje telesne mase. Zaradi procesov aklimatizacije pri bivanju na veliki višini (med njimi naj bi bila tudi povečana oksiforna kapaciteta krvi) bi pri relativno nespremenjeni submaksimalni obremenitvi pričakovali delno znižanje frekvence srca, vendar se to v našem primeru pri testu na cikloergometru ni zgodilo. Frekvenca srca je bila v našem primeru nespremenjena.

*Respiratorni kvocient (RQ)* se je podobno kot pri testu na tekoči preprogi statistično pomembno povišal v delu normoksije, ne pa tudi hipoksije. V obeh delih normoksije smo zaznali razliko. Višje vrednosti RQ po odpravi in pri enaki submaksimalni obremenitvi lahko kažejo na večjo porabo ogljikovih hidratov (OH). Povečanje porabe OH je verjetno posledica dejstva, da je za enako količino sproščene energije pri razgradnji maščob potrebno več kisika kot pri razgradnji OH, kar se dogaja v pogojih hipoksije. Morda je posledica aklimatizacijskih procesov na visokogorski alpinistični odpravi lahko tudi spremenjena presnova.

*Pljučna ventilacija (Ve)* je bila povečana v pogojih normoksije, podobno kot pri testu na tekoči preprogi. Razlik *Ve* nismo zaznali v pogojih hipoksije. Pljučna ventilacija se je v normoksiji povečala predvsem na račun večje *frekvence dihanja (Vf)*, manj na račun dihalnega volumna (*Vt*). Razlogov, zakaj v naši raziskavi nismo zaznali sprememb pljučne ventilacije v pogojih hipoksije, ne poznamo. Morda je bil nekoliko prekratek čas trajanja obremenitve in spremembe niso bile dovolj izražene.

*Saturacija krvi s kisikom<sup>6</sup>* se v normobarični hipoksiji po odpravi ni spremenila, čeprav se kažejo trendi zvišanja ( $P=0.054$ ). V naši raziskavi nismo ugotavljali morebitnega povečanega ventilatornega odziva na hipoksijo – v mirovanju (HVR), ki so ga sicer ugotovili v nekaterih drugih raziskavah (Collier et al., 2008; Steinacker et al., 1996).

<sup>6</sup> Meritve SaO<sub>2</sub> so bile opravljene na šestih osebah (N=6).

Ventilatorna aklimatizacija na hipoksijo je sestavljena iz progresivnega povečanja ventilacije in znižanja  $PCO_2$  na koncu izdiha. Po nekaj dnevih aklimatizacije lahko pride do povečanja ventilatorne senzitivnosti na hipoksijo. Predhodno aklimatizirani posamezniki se bodo v mirovanju na enak padec  $pO_2$  odzvali z izrazitejšim povečanjem pljučne ventilacije kot neaklimatizirani. Po petih dnevih zmerne hipoksije so v raziskavi (Donoghue et al., 2005) ugotovili akutno ventilatorno senzitivnost na hipoksijo.

V raziskavi leta 1996 je bilo na primeru odprave v Himalajo (30 dni nad višino 4900 m) ugotovljeno, da je povečan HVR po odpravi verjetno posledica sprememb v občutljivosti perifernih kemoreceptorjev (Steinacker et al., 1996). Pokazalo se je, da je večji ventilatorni odziv na hipoksijo, verjetno mehanizem, ki deloma varuje pred višinsko boleznijo (Valli et al., 2008). Pokazalo se je tudi, da visok ventilatorni odziv na hipoksijo deluje pozitivno na vzdržljivost na visoki nadmorski legi (West, 2000). Nekoliko drugače so ugotovili v raziskavi leta 2006 ko so pri vrhunskih alpinistih (Everest, K2) ugotovili, da so bolj uspešni (vrh so osvojili brez dodatnega kisika) tisti, ki imajo po obdobju aklimatizacije (15 dni) manj občutljivo odzivnost na hipoksijo, nižjo minutno ventilacijo v mirovanju, nižjo frekvenco dihanja v mirovanju in višjo respiratorno rezervo ter ventilatorno učinkovitost (Bernardi et al., 2006).

Ventilatorni ekvivalent za  $O_2$  ( $V_{eq}$ ) je bil po odpravi povečan, tako v pogojih normoksije, kot tudi hipoksije. Ekonomičnost dihanja je bila po odpravi nižja kot pred njo. Testiranci so ob nespremenjeni relativni obremenitvi sicer porabljali podobno količino kisika, vendar se jim je ob tem povečala pljučna ventilacija. Dolgotrajno bivanje in gibanje na odpravi je v našem primeru negativno vplivalo na ekonomičnost dihanja pri naporih v normoksiji.

### 7.3. Meritve na odpravi

Visokogorska alpinistična odprava na Pik Lenin (7134 m) je potekala 23 dni, od tega so udeleženci 18 dni preživeli na višini nad 3600 m in 14 dni nad višino 4400 m.

Na odpravi smo izvedli več testiranj in opazovali nekatere druge dejavnike: (1) saturacijo krvi in frekvenco srca v mirovanju, (2) zmogljivosti pri testu vzdržljivosti na višini 4100 m, (3) zmogljivosti pri testu vzdržljivosti v moči na višini 4400 m (4), ter največjo doseženo višino.

#### 7.3.1. Saturacija krvi v mirovanju

Izmed vseh zaznanih sprememb v pogojih hipoksije predstavlja saturacija krvi ( $SaO_2$ ) enega izmed najlažje merljivih, a hkrati pomembnih parametrov. Med drugim je mogoče iz vrednosti  $SaO_2$  predvideti pojavnost AVB (Burtscher et al., 2004; Burtscher et al., 2008), najbolj natančno z izmerjeno vrednostjo med spanjem (Tannheimer et al., 2002). V hipoksiji se  $SaO_2$  zniža (Prampero, 2003; Wagner, 2000; Wilmore & Costill, 1994), znižanje pa je praviloma v korelaciji z ventilatornim odzivom na hipoksijo (Compte et al., 2002) in znižanjem  $VO_{2max}$  (Benoit et al., 2003; Calbet et al., 2005; Calbet, Boushel et al., 2005; Robergs et al., 1998, Tannheimer et al.,



2002). Znižanje je na veliki nadmorski višini izrazito, na višini 7100 m znaša  $\text{SaO}_2$  le še približno 63 %; najmanjše vrednosti so dosežene med obremenitvijo, večje med spanjem in največje v mirovanju (Tannheimer et al., 2002). Z aklimatizacijo se  $\text{SaO}_2$  izboljša, tako v mirovanju, kot med naporom (Compte et al., 2002; Richalet et al., 1992).

Vrednost saturacije krvi s kisikom se je na odpravi po začetnem znižanju na različnih nadmorskih višinah vseskozi zviševala. Na vrednost  $\text{SaO}_2$  v mirovanju je vplivala tako nadmorska višina, kot aklimatiziranost. Vendarle je bila  $\text{SaO}_2$  dan po prihodu na nadmorsko višino 3600 m ( $87 \pm 3$  %) višja kot po obdobju aklimatizacije (štirinajst dni) na nadmorski višini 4400 m ( $84 \pm 4$  %). Ugotovimo lahko, da se je  $\text{SaO}_2$  z trajanjem bivanja na odpravi pri vseh udeležencih izboljševala, kar verjetno kaže na uspešen proces aklimatizacije.  $\text{SaO}_2$  se je približevala vrednostim v normoksiji, vendar slednje tudi po obdobju aklimatizacije niso bile dosežene.

Podobne vrednosti so ugotovili v nekaterih drugih raziskavah. Tako so leta 2002 na visokogorski odpravi v baznem taboru na višini 4850 m med počitkom zaznali povprečno vrednost 86 %, nižja (81 %) pa je bila vrednost med spanjem (Tannheimer et al., 2002). Na podobni nadmorski višini (4250 m) so izmerili povprečno vrednost 85 % (Botella et al., 2008).

Na izboljšanje  $\text{SaO}_2$  na velikih nadmorskih višinah poleg aklimatizacije vpliva tudi uporaba dodatnega kisika, vendar ostaja  $\text{SaO}_2$  na višini 8000 m tudi v tem primeru nižja od 90 % (Peacock & Jones, 1997). V našem primeru dodatnega kisika pri vzponu nismo uporabili.

### 7.3.2. Dolgotrajna vzdržljivosti

Znižan delni tlak kisika je poglobitna sprememba okolja na veliki nadmorski višini, ki povzroči zmanjšanje dolgotrajne vzdržljivosti (Astrand et al., 2003; McArdle, 1991; Mintzer et al., 2003; Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994). Pri naporih vzdržljivostnega tipa, ki so značilni za visokogorski alpinizem, se na zelo veliki nadmorski višini izrazito poveča pljučna ventilacija, ki lahko postane eden izmed poglobitnih zaviralcev aerobne zmogljivosti (Prampetro, 2003; Wagner, 2000; Wilmore & Costill, 1994). Zmanjševanje zmogljivosti je med drugim odvisno od nadmorske višine in nivoja aklimatizacije (Astrand et al., 2003). V akutnem stanju se zniža frekvenca srca pri maksimalnih naporih (Shephard, 1987; Wilmore & Costill, 1994).

Test vzdržljivosti v naravnih razmerah je v naši raziskavi potekal na nadmorski višini 4100 m. Pot je bila dobro uhojena, dovoljena je bila uporaba pohodnih palic, testiranci niso imeli dodatnega bremena. Za vzpon z višinsko razliko 70 metrov so udeleženci na koncu potrebovali podobno veliko časa kot na začetku odprave. Pri tem se je znižala povprečna frekvenca med obremenitvijo za 8,2 % in je tako kljub maksimalnemu naprezanju v povprečju znašala le 146 utripov na minuto.

Med testom v pogojih hipoksije so bile vrednosti  $\text{FS}_{\text{max}}$  nižje od vrednosti v normoksiji. Vrednosti  $\text{FS}_{\text{max}}$  na koncu odprave so bile v primerjavi z začetkom še dodatno znižane za 6 %. Na koncu odprave je bila povprečna vrednost  $\text{FS}_{\text{max}}$  dosežena v pogojih hipoksije (4100 m) za 25 utripov na minuto nižja od vrednosti

dosežene po odpravi v pogojih normoksije (večstopenjski obremenilni test na tekoči preprogi).

Znižana zmogljivost pri dolgotrajni obremenitvi v pogojih hipoksije je že dolgo poznana. Pokazalo se je, da dehidracija dodatno znižuje aerobne zmogljivosti (Castellani et al., 2010). Znižanje največje frekvence srca za 12 utripov na minuto so zaznali na nadmorski višini 6000 m (Benoit et al., 2003). Mnogo raziskav je na različnih višinah ugotovilo znižanje  $VO_2\max$  (Calbet et al., 2005; Robergs et al., 1998), navadno je bilo znižanje, tako absolutno kot relativno, večje pri tistih z višjo aerobno močjo (Benoit et al., 2003; Billat et al., 2003; Young et al., 1985). Pri 28 testirancih so ugotovili padec  $VO_2\max$  že na nadmorski višini 920 m, nižanje pa se je nadaljevalo v povprečju za 8,1 % na 1000 m vzpona (Robergs et al., 1998). V raziskavi (Burtscher et al., 2006) so ugotovili akutno poslabšanje tako pri 5-minutnem testu (12 %), kot tudi pri 50-minutnem (11 %). Po dveh dnevih aklimatizacije je bilo poslabšanje pri daljšem testu nespremenjeno, se je pa izboljšal čas pri krajšem, 5-minutnem testu.

Pri kolesarjih izpostavljenih akutni hipoksiji (5300 m) so zaznali znižano saturacijo krvi (- 35 %),  $VO_2\max$  (- 47 %), MVSmax (- 17 %) in znižan največji pretok krvi skozi mišice na nogi (- 22 %). Zmanjšanje pretoka krvi z nižjo saturacijo je bilo v korelaciji z znižano  $VO_2\max$  (Calbet et al., 2005). Praviloma se z zmanjšano sposobnostjo doseganja najvišjih vrednosti privzema kisika pojavi tudi znižana saturacija krvi (Benoit et al., 2003; Calbet et al., 2005; Calbet, Boushel et al., 2005; Robergs et al., 1998) in znižana FSmax (Benoit et al., 2003; Calbet et al., 2005). Ugotovili so, da na znižanje  $VO_2\max$  vpliva znižan delni tlak kisika, nezadostna izmenjava plinov v pljučih in v mišicah, znižanje MVS in zmanjšanje največjega pretoka krvi skozi mišice (Calbet et al., 2005; Prampero, 2003; Robergs et al., 1998; Wagner, 2000). Ugotovljeno je bilo, da se  $VO_2\max$  izraziteje zniža pri posameznikih z visokim  $VO_2\max$ , nizkim laktatnim pragom, velikim znižanjem saturacije krvi na višini, veliko mišično maso, in so moškega spola. Med vsemi dejavniki naj bi na padec  $VO_2\max$  vplivale predvsem spremembe na celičnem nivoju (Robergs et al., 1998).

Raziskava iz leta 2002 (N = 7) je pokazala znižanje MVS in pretoka krvi skozi mišice tako ob akutnem stanju kot po 10-tedenski aklimatizaciji (5260 m). Saturacija krvi se je akutno znižala (- 31 %), po aklimatizaciji pa se je ponovno zvišala na začetne vrednosti. Izboljšanje saturacije krvi (hiperventilacija in policitemija) ni povzročilo povečanega  $VO_2\max$ , saj se je istočasno še bolj zmanjšal pretok krvi skozi mišice, MVS pa je ostal nespremenjen (Calbet, Boushel et al., 2005).

Pokazalo se je, da ima lahko zmanjšanje možganske oksigenacije, ki se pojavi v hipoksiji, pomembno vlogo pri omejevanju zmogljivosti (Subudhi et al., 2007; Imray et al., 2005), vendar bi bilo potrebno na tem področju opraviti še več raziskav.

V našem primeru smo pri testu v naravnih razmerah (hipobarična hipoksija) po obdobju aklimatizacije ugotovili znižanje FSmax in povprečne frekvence srca med naporom. Na koncu odprave nismo zaznali izboljšanja testa, kar je podobno rezultatom ostalih raziskav (Burtscher et al., 2006). Kaže se, da bivanje na odpravi ni vplivalo na maksimalne zmogljivosti pri krajšem testu vzdržljivosti v pogojih hipoksije, se je pa znižala povprečna frekvenca srca kljub nespremenjeni hitrosti gibanja.

### 7.3.3. Vzdržljivost v moči

V raziskavah vpliva bivanja na veliki nadmorski višini so ugotovili znižanje prečnega preseka tako hitrih kot počasnih mišičnih vlaken (Wilmore & Costill, 1994). V drugi raziskavi (Chen et al., 2008) je bilo po obdobju odprave ugotovljeno znižanje anaerobne zmogljivosti. Pri tem so zaznali znižan nivo adrenalina in zvišan nivo noradrenalina. V nekaterih raziskavah niso ugotovili znižanja vzdržljivosti v moči ali največje sile tako ob akutni, kot kronični izpostavljenosti (Terasawa et al., 1996; Fulco et al., 1994; Szubski et al., 2006). Ob nespremenjenem deležu maksimalne sile so zaznali povečano pljučno ventilacijo in pretok krvi (Wilkins et al., 2006).

V naši raziskavi smo opazovali trajanje izometrične kontrakcije pri ekstenziji kolena pri obremenitvi 50 % posameznikove telesne mase. Testiranje je potekalo v hipobarični hipoksiji, ob prvem in zadnjem dnevu na višini 4400 m. Med obema meritvama so udeleženci opravljali vzpon proti vrhu gore. V naši raziskavi nismo zaznali spremembe v trajanju izometrične kontrakcije povprečje celotne skupine.

Adaptacije na dlje časa trajajočo izpostavljenost hipoksiji se kažejo v izboljšanju začetnega znižanja mišične moči, ki se lahko pojavi ob akutni hipoksiji za nekatere izolirane vaje mišične moči (Perrey & Rupp, 2009), česar pa v našem primeru nismo ugotovili. Ob tem je pomembno dejstvo, da verjetno na zelo veliki višini aklimatizacija vodi v pomanjkanje apetita (Westerterp, 1999), inhibicijo sinteze proteinov, stradanje mišic, povečano ventilatorno delo in metabolično kompenzacijo (Levine & Stray-Gundersen, 2001).

V primeru našega testa se po odpravi niso pokazale spremembe trajanja obremenitve. Čeprav je bila teža merjencev po odpravi nižja ne vemo ali je v našem primeru prišlo do atrofije mišičnih celic. Morda je bila potencialna izguba mišic (in posledično mišične moči) pri udeležencih odprave kompenzirana z izboljšanjem mišične moči po obdobju aklimatizacije, kot so ugotovili drugi (Perrey & Rupp, 2009).

### 7.3.4. Dosežena višina na odpravi

Poglavitni cilj udeležencev visokogorskih alpinističnih odprav je vzpon na vrh. Uspeh (vzpon na vrh) je odvisen od mnogih objektivnih in subjektivnih dejavnikov. Čeprav je število doseženih vzponov na vrh pogosto uporabljeno merilo uspešnosti alpinističnih odprav smo v našem primeru spremljali tudi doseženo najvišjo nadmorsko višino posameznika.

Na naši alpinistični odpravi je izmed devetnajstih oseb uspelo le dvema priti povsem na vrh 7134 m visokega Pik Lenina. Povprečna dosežena nadmorska višina je bila na naši odpravi  $6720 \pm 340$  m. Večina udeležencev se je povzpela na višino med 6400 in 6900 m. Pogoji za zaključni vzpon so bili sicer zelo podobni za vse udeležence. Velika večina (16) se jih je proti vrhu odpravila v razmiku dveh dni, zato je bil tudi njihov čas aklimatizacije, ob dejstvu, da so istočasno prispeli v bazni tabor, praktično enak.

#### 7.4. Povezanost spremenljivk

Na uspešnost vzpona na alpinističnih visokogorskih odpravah vpliva mnogo, med seboj bolj ali manj povezanih, dejavnikov. V naši raziskavi smo opazovali korelacijo med izmerjenimi parametri v normoksiji pred odhodom na alpinistično odpravo in različnimi dejavniki izmerjenimi v pogojih hipobarične hipoksije (na odpravi).

Nivo vzdržljivostne pripravljenosti lahko merimo z različnimi metodami. V našem primeru smo uporabili večstopenjski obremenitveni test na tekoči preprogi (hoja v klanec z dodatnim bremenom). Med različnimi dejavniki smo spremljali tudi največjo doseženo aerobno moč (privzem kisika oz.  $VO_2max$ ) in trajanje testa. Predvidevamo, da so bili bolje vzdržljivostno pripravljeni tisti, ki so dlje časa opravljali test oz. so imeli višji izmerjeni  $VO_2max$ .

V primeru naše odprave smo ugotovili pozitivno korelacijo med trajanjem testa na tekoči preprogi in testom na odpravi na nadmorski višini 4100 m, ne pa tudi med trajanjem testa na tekoči preprogi in doseženo največjo višino, ki predstavlja merilo uspešnosti alpinistov na visokogorskih (tehnično manj zahtevnih) alpinističnih odpravah.

Podobno je bila v pozitivni korelaciji izmerjena vrednost  $VO_2max$  z trajanjem testa na odpravi na višini 4100 m. Test je potekal po načelu »kdo bo hitrejši«, torej je bil maksimalne intenzivnosti v danih pogojih. Ni bilo ugotovljene korelacije med doseženo  $VO_2max$  v normoksiji in največjo doseženo višino na odpravi.

Pokazala se je pozitivna korelacija med trajanjem testa v pogojih hipoksije (4100 m) na začetku odprave in doseženo največjo višino na odpravi (približno deset dni kasneje).

V preteklosti so raziskovali tudi korelacije med posameznimi spremenljivkami vzdržljivosti in simptomatiko akutne višinske bolezni. S pomočjo enostavnega testa na večji nadmorski višini (3371 m), kjer so udeleženci opravili tek navkreber, je bila ugotovljena pozitivna korelacija tako med najnižjo saturacijo kisika ( $SaO_2$ ) doseženo med testom, kot tudi s časom testa, ter višinsko simptomatiko na višini 4808 m (Tannheimer et al., 2009).

V raziskavi leta 2006 so pri vrhunskih alpinistih, ki so se vzpenjali na najvišje vrhove (Mount Everest, K2) ugotovili, da so bili bolj uspešni tisti, ki imajo manj občutljivo odzivnost na hipoksijo (po poteku aklimatizacije), nižjo minutno ventilacijo v mirovanju, nižjo frekvenco dihanja v mirovanju in višjo respiratorno rezervo ter ventilatorno učinkovitost v hipoksiji (Bernardi et al., 2006). V drugi raziskavi so leta 2003 (N=113) med alpinisti, ki so želeli osvojiti Mount Everest, ugotovili, da je v največji povezavi z uspehom na vrh uporaba dodatnega kisika in prebavne motnje. Z neuspehom je bila v veliki korelaciji predhodna izkušnja višinske bolezni (Wiseman et al., 2006).

Vrednost  $VO_2max$  je bila v našem primeru v večji korelaciji z trajanjem napora maksimalne intenzivnosti in krajšega trajanja (približno 5 minut) na visoki nadmorski legi (4100 m), kot z doseženo največjo višino na odpravi (napor pri tem je bil submaksimalen in individualno prilagojen). Očitno je  $VO_2max$  (izmerjen v normoksiji) v pogojih hipobarične hipoksije pomemben dejavnik pri krajših naporih visoke

intenzivnosti ne pa tudi pri doseganju največjih nadmorskih višin, kjer je obremenitev individualno prilagojena.

V naši raziskavi smo tako ugotovili nekatere pozitivne korelacije med posameznimi testi vzdržljivosti na različnih nadmorskih legah. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je za uspešnost vzpona na zelo visoke gore vzdržljivostna pripravljenost alpinistov vsaj deloma pomembna.

## 7.5. Sklep

1. Trening visoke intenzivnosti je v našem primeru pozitivno vplival na nekatere kazalce vzdržljivosti oz. na zmogljivost pri testu na tekoči preprogi v pogojih normoksije toda le pri manj vzdržljivih.
2. Aklimatizacija na odpravi je potekala po pričakovanju, saturacija se je pri vseh merjenicah postopoma zviševala tako na višini 3600 m, kot tudi na 4400 m.
3. Predhodno dosežena vzdržljivostna pripravljenost ni vplivala na doseganje vrha, aklimatizacija pa ni vplivala na hitrost vzpenjanja na višini 4100 m.
4. Vzdržljivostna pripravljenost v pogojih normoksije je bila po odpravi nižja kot pred njo. Pri submaksimalni obremenitvi so se zvišale vrednosti  $V_e$ ,  $V_{eq}$  in  $RQ$ . Pri maksimalni obremenitvi na tekoči preprogi se je povečala  $V_e$ . V pogojih normobarične hipoksije se je povišal  $V_{eq}$ .
5. Povečana  $V_e$  pri submaksimalnih naporih morda kaže na povečano občutljivost kemoreceptorjev česar pa ni bilo ugotovljenega v pogojih normobarične hipoksije.
6. Povečana  $RQ$  pri submaksimalnih naporih je verjetno posledica povečane porabe ogljikovih hidratov pri enaki obremenitvi.
7. Vzdržljivost in  $VO_2\max$  sta bili v korelaciji s hitrostjo vzpenjanja na višini 4100 m ne pa tudi z največjo doseženo višino na odpravi. Očitno so za doseganje najvišjih vrhov zelo pomembni tudi nekateri drugi dejavniki.

## 8. ZAKLJUČEK

Hoja pri vzponih na zelo visoke gore poteka v okolju hipobarične hipoksije, zaradi zmanjšanega delnega tlaka kisika se alpinistom znižajo zmogljivosti. Znižanje je odvisno predvsem od nadmorske višine, aklimatizacije in zmogljivosti posameznika.

Mnogo je kazalcev vzdržljivostne pripravljenosti, izmed katerih smo v našem primeru med drugim spremljali tudi sicer pogosto uporabljen največji privzem kisika ( $VO_2\max$ ) ter trajanje obremenitve pri večstopenjskem testu na tekoči preprogi.

Želeli smo ugotoviti kako predhodno dosežen nivo vzdržljivosti učinkuje na zmogljivost na visoki nadmorski legi ter ali izboljšana aklimatiziranost pozitivno učinkuje na zmogljivosti v pogojih hipoksije. Zanimalo nas je tudi kako udeležba na odpravi učinkuje na kazalce vzdržljivosti v normosiji.

V našem primeru smo po treningu visoke intenzivnosti (pred odpravo) pri testni skupini ugotovili izboljšanje trajanja testa na tekoči preprogi, ne pa tudi ostalih kazalcev.

Aklimatizacija na odpravi je bila izražena in pričakovana, vendar se z boljšo aklimatizacijo ni izboljšal niti čas pri testu vzdržljivosti niti čas pri testu vzdržljivosti v moči v pogojih hipoksije.

Testiranci so bili po odpravi v pogojih normoksije manj zmogljivi, z izraženim povečanjem ventilacije pri enaki submaksimalni in maksimalni obremenitvi. Ugotovljeno je bilo zvišanje tudi nekaterih drugih parametrov, kar verjetno kaže na spremembe fizioloških procesov po dlje časa trajajoči izpostavljenosti hipoksiji. Po odpravi je bila višja frekvenca srca v mirovanju, znižala pa se je telesna masa.

Pokazalo se je, da je dosežena zmogljivost v normoksiji v pozitivni korelaciji s hitrostjo vzpona na višini 4100 m, le deloma pa tudi z najvišjo doseženo višino na odpravi.

## 9. LITERATURA

1. Ainslie, P. N., Ogoh, S., Burgess, K., Celi, L., McGrattan, K., Peebles, K., Murrell, C., Subedi, P., Burgess, K.R. (2008). Differential effects of acute hypoxia and high altitude on cerebral blood flow velocity and dynamic cerebral autoregulation: alterations with hyperoxia. *J Appl Physiol* 104: 490-498.
2. Ainslie, P. N., Barach, A., Cummings, K. J., Murrell, C., Hamlin, M., Hellems, J. (2007). Cardiorespiratory and cerebrovascular responses to acute poikilocapnic hypoxia following intermittent and continuous exposure to hypoxia in humans. *J Appl Physiol*. 102(5):1953-61.
3. Aitken, M. L., Franklin, J. L., Pierson, D. J., Schoene, R. B. (1986). Influence of body size and gender on control of ventilation. *J Appl Physiol*. 60:1894–1899.
4. Ando, S., Yamada, Y., Kokubu, M. (2010). Reaction time to peripheral visual stimuli during exercise under hypoxia. *J Appl Physiol*. 108(5):1210-6.
5. Astrand, P. O., Rodahl, K. (2003). *Textbook of Work Physiology. Physiological basis of exercise.* Champaign (IL): Human Kinetics.
6. Baechle, T. R. (1994). *Essentials of strength training and conditioning.* Omaha: Creighton University.
7. Bean, A. (2010). *The complete guide to sports nutrition.* London: A&C Black Publishers LTD.
8. Bernardi, L., Schneider, A., Pomidori, L., Paolucci, E., Cogo, A. (2006). Hypoxic ventilatory response in successful extreme altitude climbers. *Eur Respir J*. 27(1):165-71.
9. Bhaumik, G., Sharma, R. P., Dass, D., Lama, H., Chauhan, S. K, Verma, S. S., Selvamurthy, W., Banerjee, P. K. (2003). Hypoxic ventilatory response changes of men and women 6 to 7 days after climbing from 2100 m to 4350 m altitude and after descent. *High Alt Med Biol*. 4(3):341-8.
10. Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Medicine*, 31(1), 13-31.
11. Botella de Maglia, J., Real Soriano, R., Compte Torrero, L. (2008). Arterial oxygen saturation during ascent of a mountain higher than 8,000 meters. *Med Intensiva*. 32(6):277-81.
12. Bourrilhon, C., Lepers, R., Philippe, M., Beers, P. V., Chennaoui, M., Drogou, C., Beauvieux, M. C., Burnat, P., Guezennec, C. Y., Gomez-Merino, D. (2010). Influence of protein- versus carbohydrate-enriched feedings on physiological responses during an ultraendurance climbing race. *Horm Metab Res*. 42(1):31-7.
13. Brooks, G. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and direction for future research. *Med. Sci. Sport Exerc*. 17:31–35.
14. Brugniaux, J. V., Schmitt, L., Robach, P., Nicolet, G., Fouillot, J. P., Moutereau, S., Lasne, F., Pialoux, V., Saas, P., Chorvot, M. C., Cornolo, J., Olsen, N. V., Richalet, J. P. (2006). Eighteen days of "living high, training low" stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *J Appl Physiol*. 100(1):203-11.

15. Burtscher, M., Faulhaber, M., Flatz, M., Likar, R., Nachbauer, W. (2006). Effects of Short-Term Acclimatization to Altitude (3200 m) on Aerobic and Anaerobic Exercise Performance. *Int J Sports Med* 2006; 27(8): 629-635.
16. Burtscher, M., Flatz, M., Faulhaber, M. (2004). Prediction of susceptibility to acute mountain sickness by SaO<sub>2</sub> values during short-term exposure to hypoxia. *High Alt Med Biol.* 5(3):335-40.
17. Burtscher, M., Likar, R., Nachbauer, W., Philadelphia, M. (1998). Aspirin for prophylaxis against headache at high altitudes: randomised, double blind, placebo controlled trial. *BMJ.* 4;316(7137):1057-8.
18. Burtscher, M., Szubski, C., Faulhaber, M. (2008). Prediction of the susceptibility to AMS in simulated altitude. *Sleep Breath.* 12(2):103-8.
19. Calbet, J. A. et al. (2003). Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *American Journal of Physiology*, 284(2), 291-303.
20. Calbet, J. A. et al (2003). Why is VO<sub>2</sub>max after altitude acclimatization still reduced despite normalization of arterial O<sub>2</sub> content? *American Journal of Physiology*, 284(2), 304-316.
21. Carter, H., Jones, A. M., Barstow, T. J., Burnley, M., Williams, C., Doust, J. H. (2000). Effects of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1744-1752.
22. Carter, H., Jones, A. M., Doust, J. H. (1999). Effects of 6 weeks of endurance training on the lactat minimum speed. *Journal of Sports Sciences*, 17(12), 957-967.
23. Castellani, J. W., Muza, S. R., Chevront, S. N., Sils, I. V., Fulco, C. S., Kenefick, R. W., Beidleman, B. A., Sawka, M. N. (2010). Effect of Hypohydration and Altitude Exposure on Aerobic Exercise Performance and Acute Mountain Sickness. *J Appl Physiol.* 109(6):1792-800.
24. Cerretelli, P. (1992). Energy sources for muscular exercise. *Int J Sports Med* 13, Suppl 1: S106–S110.
25. Chen, K. T., Chen, Y. Y., Wu, H. J., Chang, C. K., Lee, W. T., Lu, Y. Y., Liu, C. C., Yang, R. S., Lin, J. C. (2008). Decreased anaerobic performance and hormone adaptation after expedition to Peak Lenin. *Chin Med J (Engl).* 20;121(22):2229-33.
26. Clanton, T. L. (2007). Hypoxia-induced reactive oxygen species formation in skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 102(6):2379-88.
27. Collier, D. J., Nickol, A. H., Milledge, J. S., van Ruiten, H. J., Collier, C. J., Swenson, E. R., Datta, A., Wolff, C. B. (2008). Alveolar PCO<sub>2</sub> oscillations and ventilation at sea level and at high altitude. *J Appl Physiol.* 104(2):404-15.
28. Compte Torrero L, Real Soriano R. M., Botella De Maglia J., de Diego Damiá A., Macián Gisbert V., Perpiñá Tordera M. (2002). [Respiratory changes during ascension to 8,000 meters mountain]. *Med Clin (Barc).* 26;118(2):47-52.
29. Cukjati, I. (2006). Vpliv intervalnega treninga na vzdržljivost na različnih nadmorskih legah. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.



30. Costill, D. L., Fink, W. J., Getchell, L. H., Ivy, J. L., Witzmann, F. A. (1979). Lipid metabolism in muscle of endurance-trained males and females. *Journal of Applied Physiology*, 47(4), 787-791.
31. Dinmore, A. J., Edwards, J. S., Menzies, I. S., Travis, S. P. (1994). Intestinal carbohydrate absorption and permeability at high altitude (5,730 m). *J Appl Physiol*. 76:1903-1907
32. Donoghue, S., Fatemian, M., Balanos, G. M., Crosby, A., Liu, C., O'Connor, D., Talbot, N. P., Robbins, P. A. (2005). Ventilatory acclimatization in response to very small changes in PO<sub>2</sub> in humans. *J Appl Physiol*. 98(5):1587-91.
33. Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign (IL): Human Kinetics.
34. Favret, F., Henderson, K. K., Allen, J., Richalet, J. P., Gonzalez, N. C. (2006). Exercise training improves lung gas exchange and attenuates acute hypoxic pulmonary hypertension but does not prevent pulmonary hypertension of prolonged hypoxia. *J Appl Physiol*. 100(1):20-5.
35. Fulco, C. S., Kambis, K. W., Friedlander, A. L., Rock, P. B., Muza, S. R., Cymerman, A. (2005). Carbohydrate supplementation improves time-trial cycle performance during energy deficit at 4,300-m altitude. *J Appl Physiol*. 99:867-876.
36. Fulco, C. S., Rock, P. B., Cymerman, A. (1998). Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med* 69: 793–801.
37. Fulco, C. S., Cymerman, A., Muza, S. R., Rock, P. B., Pandolf, K. B., Lewis, S. F. (1994). Adductor pollicis muscle fatigue during acute and chronic altitude exposure and return to sea level. *J Appl Physiol*. 77(1):179-83.
38. Gore, C. J., Rodríguez, F. A., Truijens, M. J., Townsend, N. E., Stray-Gundersen J., Levine, B. D. (2006). Increased serum erythropoietin but not red cell production after 4 wk of intermittent hypobaric hypoxia (4,000-5,500 m). *J Appl Physiol*. 101(5):1386-93.
39. Grocott, M. P., Martin, D. S., Levett, D. Z., McMorrow, R., Windsor, J., Montgomery, H. E. (2009). Arterial Blood Gases and Oxygen Content in Climbers on Mount Everest. *N Engl J Med* 360 (2): 140–149.
40. Hannon, J. P., Shields, J. L., Harris, C. W. (1969). Effects of altitude acclimatization on blood composition of women. *J Appl Physiol*. 26(5):540-7.
41. Harris, G. A., Cleland, J., Collie, A., McCrory, P. (2009). Cognitive assessment of a trekking expedition to 5100 m: a comparison of computerized and written testing methods. *Wilderness Environ Med*. 20(3):261-8.
42. Hsu, A. R., Barnholt, K. E., Grundmann, N. K., Lin, J. H., McCallum, S. W., Friedlander, A. L. (2006). Sildenafil improves cardiac output and exercise performance during acute hypoxia, but not normoxia. *J Appl Physiol*. 100(6):2031-40.
43. Huey, R. B., Eguskitza, X. (2001). Limits to human performance: elevated risks on high mountains. *J. Experimental Biology* 204 (18): 3115–3119.
44. Imray, C. H., Myers, S. D., Pattinson, K. T., Bradwell, A. R., Chan, C. W., Harris, S., Collins, P., Wright, A. D. (2005). Effect of exercise on cerebral perfusion in humans at high altitude. *J Appl Physiol*. 99(2):699-706.

45. Jansen, F. A. G., Krins, A., Basnyat, B., Odoom, J. A., Ince, C. (2007). Role of the altitude level on cerebral autoregulation in residents at high altitude. *J Appl Physiol* 103: 518-523.
46. Laursen, P. B., Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
47. Lawler, J., Powers, S. K., Thompson, D. (1988). Linear relationship between  $\dot{V}O_2$  max and  $\dot{V}O_2$  max decrement during exposure to acute hypoxia. *J Appl Physiol* 64: 1486–1492.
48. Leaf, D. E., Goldfarb, D. S. (2007). Mechanisms of action of acetazolamide in the prophylaxis and treatment of acute mountain sickness. *J. Appl. Physiol.* 102 (4): 1313–22.
49. Lemon, P. W. (1995). Do athletes need more dietary protein and amino acids? *Int J Sport Nutr.* 5 Suppl: S39–61.
50. Levine, B. D., Stray-Gundersen, J. (2001). The effects of altitude training are mediated primarily by acclimatization, rather than by hypoxic exercise. *Adv Exp Med Biol.* 502:75-88.
51. Loeppky, J. A., Icenogle, M. V., Maes, D., Riboni, K., Hinghofer-Szalkay, H., Roach, R. C. (2005). Early fluid retention and severe acute mountain sickness. *J Appl Physiol.* 98(2):591-7.
52. MacDonald, M. J., Green, H. J., Naylor, H. L., Otto, C., Hughson, R. L.. (2001). Reduced oxygen uptake during steady state exercise after 21-day mountain climbing expedition to 6,194 m. *Can J Appl Physiol.* 26(2):143-56.
53. Magalhães, J., Ascensão, A., Soares, J. M., Ferreira, R., Neuparth, M. J., Marques, F., Duarte, J. A. (2005). Acute and severe hypobaric hypoxia increases oxidative stress and impairs mitochondrial function in mouse skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 99(4):1247-53.
54. Mazzeo RS. (2005). Altitude, exercise and immune function. *Exerc Immunol Rev.* 11:6-16.
55. Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude: an update. *Sports Med.* 38(1):1-8.
56. McArdle, W. D. (1991). *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance.* Baltimore: Williams & Wilkins.
57. Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med.* 1;40(1):1-25.
58. Muza, S. R. (2007). Military applications of hypoxic training for high-altitude operations. *Med Sci Sports Exerc.* 39(9):1625-31.
59. Muza, S. R., Beidleman, B. A., Fulco, C. S. (2010). Altitude preexposure recommendations for inducing acclimatization. *High Alt Med Biol.* 11(2):87-92.
60. Neya, M., Enoki, T., Kumai, Y., Sugoh, T., Kawahara, T. (2007). The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. *J Appl Physiol* 103: 828-834.

61. Nerín, M. A., Palop, J., Montaña, J. A., Morandeira, J. R., Vázquez, M. (2006). Acute mountain sickness: influence of fluid intake. *Wilderness Environ Med.* 17(4):215-20.
62. Ogawa, T., Hayashi, K., Ichinose, M., Nishiyasu, T. (2007). Relationship between resting ventilatory chemosensitivity and maximal oxygen uptake in moderate hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol* 103: 1221-1226.
63. Orth, T. A., Allen, J. A., Wood, J. G., Gonzalez, N. C. (2005). Exercise training prevents the inflammatory response to hypoxia in cremaster venules. *J Appl Physiol.* 98(6):2113-8.
64. Palmer, B. F. (2010). Physiology and pathophysiology with ascent to altitude. *Am J Med Sci.* 340(1):69-77.
65. Paola, M. D., Bozzali, M., Fadda, L., Musicco, M., Sabatini, U., Caltagirone, C. (2008). Reduced oxygen due to high-altitude exposure relates to atrophy in motor-function brain areas. *European Journal of Neurology.* 15:1050–1057.
66. Peacock, A. J., Jones, P. L. (1997). Gas exchange at extreme altitude: results from the British 40th Anniversary Everest Expedition. *Eur Respir J.* 10(7):1439-44.
67. Perrey, S., Rupp, T. (2009) Altitude-induced changes in muscle contractile properties. *High Alt Med Biol.* (2):175-82.
68. Posner, J. D., Gorman, K. M., Klein, H. S., Cline, C. J. (1987). Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *J Appl Physiol.* 63(4):1519-25.
69. Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology.* 90(3-4), 420-429.
70. Rennie, D., Frayster, R., Gray, G., Houston, C. (1972). Urine and plasma proteins in men at 5,400 m. *J Appl Physiol.* 32:369-37.
71. Richalet, J. P., Bittel, J., Herry, J. P., Savourey, G., Le Trong, J. L., Auvert, J. F., Janin, C. (1992). Use of a hypobaric chamber for pre-acclimatization before climbing Mount Everest. *Int J Sports Med.* 13 Suppl 1:S216-20.
72. Robach, P., Déchaux, M., Jarrot, S., Vaysse, J., Schneider, J. C., Mason, N. P., Herry, J. P., Gardette, B., Richalet, J. P. (2000). Operation Everest III: role of plasma volume expansion on  $\dot{V}O_2(\max)$  during prolonged high-altitude exposure. *J Appl Physiol.* 89(1):29-37.
73. Robertson, E. Y., Saunders, P. U., Pyne, D. B., Aughey, R. J., Anson, J. M., Gore, C. J. (2010). Reproducibility of performance changes to simulated live high/train low altitude. *Med Sci Sports Exerc.* 42(2):394-401.
74. Roels, B., Thomas, C., Bentley, D. J., Mercier, J., Hayot, M., Millet, G. (2007). Effects of intermittent hypoxic training on amino and fatty acid oxidative combustion in human permeabilized muscle fibers. *J Appl Physiol.* 102(1):79-86.
75. Savourey, G., Guinet, A., Besnard, Y., Garcia, N., Hanniquet, A. M., Bittel, J. (1995). Evaluation of the Lake Louise acute mountain sickness scoring system in a hypobaric chamber. *Aviat Space Environ Med.* 66(10):963-7.
76. Sharma, S., Brown, B. (2007). Spirometry and respiratory muscle function during ascent to higher altitudes. *Lung.* 185(2):113-21.

77. Sheel, A. W., Koehle, M. S., Guenette, J. A., Foster, G. E., Sporer, B. C., Diep T. T., McKenzie, D. C. (2006). Human ventilatory responsiveness to hypoxia is unrelated to maximal aerobic capacity. *J Appl Physiol.* 100(4):1204-9.
78. Shephard, R. J., Astrand, P. O. (1992). *Endurance in sport.* Oxford: Blackwell.
79. Shephard, R. J. (1987). *Exercise physiology.* Toronto: B.C. Decker.
80. Steinacker, J. M., Halder, A., Liu, Y., Thomas, A., Stauch, M. (1996). Hypoxic ventilatory response during rest and exercise after a Himalayan expedition. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 73(3-4):202-9.
81. Subudhi, A. W., Dimmen, A. C., Roach, R. C. (2007). Effects of acute hypoxia on cerebral and muscle oxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol.* 103(1):177-83.
82. Subudhi, A. W., Panerai, R. B., Roach, R. C. (2010). Effects of hypobaric hypoxia on cerebral autoregulation. *Stroke.* 41(4):641-6.
83. Sutton, J. R., Coates, G., Houston, C. S. (1991). *Hypoxia and Mountain Medicine, Proceedings of the 7th International Hypoxia Symposium Held at Lake Louise, Canada, February, Hardcover. Published by Pergamon Press (1992)*
84. Svedahl, K., MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol.* 28(2):299-323.
85. Szubski, C., Burtcher, M., Löscher, W. N. (2006). The effects of short-term hypoxia on motor cortex excitability and neuromuscular activation. *J Appl Physiol.* 101(6):1673-7.
86. Tannheimer, M., Albertini, N., Ulmer, H. V., Thomas, A., Engelhardt, M., Schmidt, R. (2009). Testing individual risk of acute mountain sickness at greater altitudes. *Mil Med.* 174(4):363-9.
87. Tannheimer, M., Thomas, A., Gerngross, H. (2002). Oxygen saturation course and altitude symptomatology during an expedition to Broad Peak (8047 m). *Int J Sports Med.* 23(5):329-35.
88. Terasawa, K., Fujiwara, T., Sakai, A., Yanagidaira, N., Asano, K., Yanagisawa, K., Kashimura, N., Ueda, G., Wu, T., Zhang, Y. (1996). Comparison of muscle force, muscle endurance, and electromyogram activity during an expedition at high altitude. *Int J Biometeorol.* 39(3):111-5.
89. Townsend, N.E., Gore, C.J., Hahn, A.G., Aughey, R.J., Clark, S.A., Kinsman, T.A., McKenna, M.J., Hawley, J.A., Chow, C.M. (2005). Hypoxic ventilatory response is correlated with increased submaximal exercise ventilation after live high, train low. *Eur J Appl Physiol.* 94(1-2):207-15.
90. Ušaj, A. (1996). *Kratek pregled osnov športnega treniranja.* Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
91. Valli, G., Bonardi, D., Campigotto, F., Fasano, V., Gennari, A., Pomidori, L., Cogo, A., Palange, P. (2008). Relationship between individual ventilatory response and acute renal water excretion at high altitude. *Respir Physiol Neurobiol.* 31;162(2):103-8.
92. Van Roo, J. D., Lazio, M. P., Pesce, C., Malik, S., Courtney, D. M. (2011). Visual analog scale (VAS) for assessment of acute mountain sickness (AMS) on Aconcagua. *Wilderness Environ Med.* 22(1):7-14.

93. Vuyk, J., Van Den Bos, J., Terhell, K., De Bos, R., Vletter, A., Valk, P., Van Beuzekom, M., Van Kleef, J., Dahan, A. (2006). Acetazolamide improves cerebral oxygenation during exercise at high altitude. *High Alt Med Biol.* 7(4):290-301.
94. Wagner, P. D., Sutton, J. R., Reeves, J. T., Cymerman, A., Groves, B. M., Malconian, M. K. (1987). Operation Everest II: pulmonary gas exchange during a simulated ascent of Mt. Everest. *J Appl Physiol.* 63: 2348–2359.
95. Wagner, P. D. (2000). New ideas on limitations to VO<sub>2</sub>max. *Exercise and Sport Sciences Reviews.* 28(1), 10-14.
96. Warburton, D.E., Haykowsky, M.J., Quinney, H.A., Blackmore, D., Teo, K.K., Taylor, D.A., McGavock, J., Humen, D.P. (2004). Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 36(6), 991-1000.
97. Wehrlin, J. P., Zuest, P., Hallén, J., Marti, B. (2006). Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol.* 100(6):1938-45.
98. West, J. B. (2000). Human limits for hypoxia. The physiological challenge of climbing Mt. Everest. *Ann N Y Acad Sci.* 899: 15–27.
99. West, J. B. (2002). Highest permanent human habitation. *High Altitude Medical Biology* 3 (4): 401–407
100. Westerterp, P. M. S., Westerterp, K. R., Rubbens, M., Verwegen, C. R. T., Richelet, J. P., Gardette, B. (1999). Appetite at “high altitude” [Operation Everest III (Comex-’97)]: a simulated ascent of Mount Everest. *J Appl Physiol.* 87:391-399.
101. White, D. P., Douglas, N. J., Pickett, C. K., Weil, J. V., and Zwillich, C. W. (1983). Sexual influence on the control of breathing. *J Appl Physiol.* 54:874–879.
102. Wilkins, B. W., Schrage, W. G., Liu, Z., Hancock, K. C., Joyner, M. J. (2006). Systemic hypoxia and vasoconstrictor responsiveness in exercising human muscle. *J Appl Physiol.* 101(5):1343-50.
103. Wilmore, J. H., Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise.* Champaign (IL): Human Kinetics.
104. Wiseman, C., Freer, L., Hung, E. (2006). Physical and medical characteristics of successful and unsuccessful summiteers of Mount Everest in 2003. *Wilderness Environ Med.* 17(2):103-8.
105. Zubieta-Calleja, G., Paulev, P-E, Zubieta-Calleja, L. Zubieta-Castillo, G. (2007). Altitude adaptation through hematocrit change. *J Physiol Pharmacol. Suppl* 5(Pt 2):811-8.