



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ŠPORT

Specialna športna vzgoja  
Gorništvo z dejavnostmi v naravi

**FREKVENCA SRCA PRI LJUDEH NA RAZLIČNIH  
NADMORSKIH VIŠINAH V NARAVNEM OKOLJU IN V  
VIŠINSKI SOBI**

Diplomsko delo

Mentor: Doc. Dr. Blaž Jereb  
Recenzent: Izr. Prof. Dr. Stojan Burnik  
Konzultant: Prof. športne vzgoje Tadej Debevec

Avtorica dela: Monika Weingerl

Ljubljana, 2008

## ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju doc.dr.Blažu Jerebu za pomoč, vodenje in izdelavo diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi Inštitutu »Jožef Stefan«, ki nam je omogočil, da smo del raziskave opravili v njihovi višinski sobi. Iskrena hvala tudi vsem merjencem, ki so sodelovali v raziskavi. Posebna zahvala gre mojim najbližjim za podpro tekom študija ter pri izdelavi diplomskega dela.

**Ključne besede:** frekvenca srca, gornišтво, višinska soba, aklimatizacija, visoka nadmorska višina

Frekvenca srca pri ljudeh na različnih nadmorskih višinah v naravnem okolju in v višinski sobi

Monika Weingerl

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2008

Specialna športna vzgoja, Gornišтво z dejavnostmi v naravi

51 strani, 1 preglednica, 15 grafov, 42 virov in literature, 1 priloga

## **IZVLEČEK**

**Izhodišče:** Za športnike, ki se ukvarjajo s športom na večjih nadmorski višinah, je dobra aklimatizacija bistvenega pomena. Ta lahko poteka v naravnem in/ali umetnem okolju (višinska soba). V nalogi nas je zanimalo kako se frekvenca srca (FS) odziva v obeh okoljih.

**Metode:** FS je bila merjena v mirovanju in med aktivnostjo. V Ljubljani so meritve potekale na nadmorski višini 300 m na Fakulteti za šport in na simuliranih nadmorskih višinah 2100 m in 3800 m na Inštitutu Jožef Štefan. Meritve so bile opravljene pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po njen. V naravnem okolju (Elbrus) so meritve potekale trikrat, in sicer 1, 10. in 18. dan aklimatizacije, na nadmorski višini 2100 m in 3800 m. Step test je potekal, tako da je merjenec pred triminutnim stopanjem na 41,3 cm visoko klopco (aktivnost) 30 minut sedel pri miru. Zadnjih 10 minut sedenja (mirovanje) in med stopanjem na klopco je bila spremljana FS z merilci Suunto. Na klopco je merjenec začel stopati najprej z desno nogo. Po 1.30 sekunde pa še z levo nogo 1.30 sekunde. Za moške je bila frekvenca stopanja 96, za ženske pa 88 udarcev/min. Podatki so bili obdelani s statističnima metodama analizo variance in t-testom za odvisne vzorce statističnega paketa SPSS (15.00).

**Rezultati:** Razvidno je, da se FS povečuje z večanjem nadmorske višine. FS, izmerjena v naravnem okolju, je podobna, FS izmerjeni v umetnem okolju (višinska soba). Do razlik v FS med okoljema je prišlo le v mirovanju po odpravi. FS se s podaljševanjem časa bivanja na povečani nadmorski višini zmanjšuje. S prenehanjem bivanja na povečani nadmorski višini se začne FS vračati nazaj na vrednosti pred aklimatizacijo.

**Zaključek:** Namen naloge je bil preučevati FS v naravnem in umetnem okolju na različnih nadmorskih višinah pred, med in po 18 - dnevnem bivanju na povečani nadmorski višini. Ugotovili smo, da se je FS, izmerjena na isti nadmorski višini, z daljšanjem aklimatizacije zniževala. Rezultati, izmerjeni v naravnem okolju in v višinski sobi, so med seboj primerljivi, a kljub temu so bile spremembe FS v naravnem okolju nekoliko večje kot v umetnem okolju. Morda je razlog za to iskati v kratkem bivanju v višinski sobi, saj so bili merjenci pred izvajanjem meritev le 30 minut v njen. V nadaljnjih raziskavah bi bilo ta čas smiselno podaljšati.

Key-words: heart rate mountaineering, altitude chamber, altitude

Heart rate among people on different altitudes in a natural environment and at altitude chamber

Monika Weingerl

University of Ljubljana, Faculty of Sport, 2008

Special physical education, Mountaineering with activities in nature

51 pages, 1 table, 15 graphs, 42 sources, 1 annex

## ABSTRACT

**Starting-point:** Good acclimatization is fundamental for sportsmen who deal with sports at high altitudes and can be reached in a natural and/or artificial environment (altitude chamber). In this degree we were interested in how the heart rate (HR) would respond in both environments.

**Methods:** The HR was measured in a standstill and during activity. The measurements in Ljubljana were taken at an altitude of 300 m at the Faculty of Sports and at simulated altitude of 2100 m and 3800 m at Jožef Stefan Institute. The measurements had been done before the expedition, right after and a month after the expedition. In the natural environment (Elbrus) the measurements were taken three times: on the 1st, 10th and 18th day of the acclimatization at an altitude of 2100 m and 3800 m. A step test was performed in such a manner that the person being tested had sat still 30 minutes before stepping on 41.3 cm high bench for three minutes (activity). For the last 10 minutes of sitting (standstill) and during stepping on the bench the HR was observed with the Suunto t6 measurers. The person being tested started stepping on the bench with his right leg. After 1,30 seconds he continued with his left leg for 1,30 seconds. The stepping frequency of men was 96 and of women 88 beats/min. The data were processed with statistical methods of variance analysis and t-test for dependant samples with the SPSS statistical package.

**Results:** It is evident that the HR increases with higher altitude. The HR measured in the natural environment is similar to the HR measured in the artificial environment (altitude chamber). The differences between the HRs only occurred in a standstill after the expedition. By extending the time of living at a higher altitude the HR decreases and by stopping the living at a higher altitude the HR begins to return to the value before acclimatization.

**Conclusion:** The aim of this degree was to examine the HR in the natural and artificial environments at different altitudes before, during and after an 18-days long living at a higher altitude. We have found out that by extending the time of acclimatization at the same altitude the HR had decreased. The results measured in the natural and artificial environments are comparable although the changes of the HR in the natural environment were somewhat bigger. Maybe the reason for such result could be found in a short living at altitude chamber, as people, who were tested, stayed in it for only 30 minutes. It would be wise to prolong this time in further researches.

## KAZALO

ZAHVALA .....	3
IZVLEČEK .....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
ABSTRACT .....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
KAZALO .....	6
1. UVOD .....	7
1.1 Delovanje srca .....	8
1.2 Hipoksija .....	10
1.3 Aklimatizacija .....	11
1.4 Hipoksična soba (višinska soba) .....	12
2. PREDMET, PROBLEM IN NAMEN DELA .....	14
2. 1 Vpliv nadmorske višine na organizem .....	15
2.1.1 Okoljske razmere na višini .....	15
2.1.2 Potek sprememb v človeškem organizmu na višini .....	15
2.1.3 Načini aklimatizacije organizma .....	17
2.2 Dosedanje raziskave aklimatizacije in njenega vpliva na srčno mišico .....	18
3. CILJI RAZISKAVE .....	22
4. HIPOTEZE .....	23
5. METODE DE LA .....	24
5.1 Vzorec merjencev .....	24
5.2 Vzorec spremenljivk .....	24
5.3 Opis eksperimenta .....	24
5.4 Metode obdelave podatkov .....	25
6. REZULTATI Z RAZLAGO .....	26
6.1 Vpliv nadmorske višine na FS .....	26
6.1.1 V Ljubljani .....	26
6.1.2 Na Elbrusu .....	29
6.2 Učinki aklimatizacije .....	31
6.2.1 V Ljubljani .....	31
6.2.2 Na Elbrusu .....	35
6.3 FS, izmerjena v naravnem okolju in višinski sobi .....	37
6.3.1 Pred odpravo .....	37
6.3.2 Po odpravi .....	40
7. SKLEP .....	43
8. LITERATURA .....	45
Priloga 1. Seznam slik, preglednic, grafov in enačb .....	49

## 1. UVOD

Človeški organizem je zgrajen, tako da se v večini primerov brez večjih težav prilagaja na mnoge spremembe, kot so na primer vročina, mraz, globine morja ter visoke nadmorske višine. Povečana nadmorska višina in njen vpliv na človeški organizem sta dandanes pogosta tema raziskav. Njihov cilj je predvsem odkrivati kakšne spremembe sproži visoka nadmorska višina v človeškem organizmu. Raziskovalci tako največkrat preučujejo vrhunske športnike, ki uporabljajo visoke nadmorske višine za priprave na velika tekmovanja. V svoje raziskave vključujejo tudi alpiniste, ki obiskujejo gore z ekstremnimi nadmorskimi višinami. Večje nadmorske višine lahko ob neustreznem procesu aklimatizacije v organizmu sprožijo določene bolezenske znake. Proces aklimatizacije mora biti skrbno načrtovan in ne sme povzročiti pretirane izčrpanosti telesa, temveč mora organizmu omogočiti, da bo le – ta čim bolj prilagojen na pogoje, ki vladajo v visokih gorah (nizke temperature, mraz). Posameznik bo tako lahko dosegel svoje cilje.

Človeški organizem se na povečano nadmorsko višino odzove z naslednjimi spremembami:

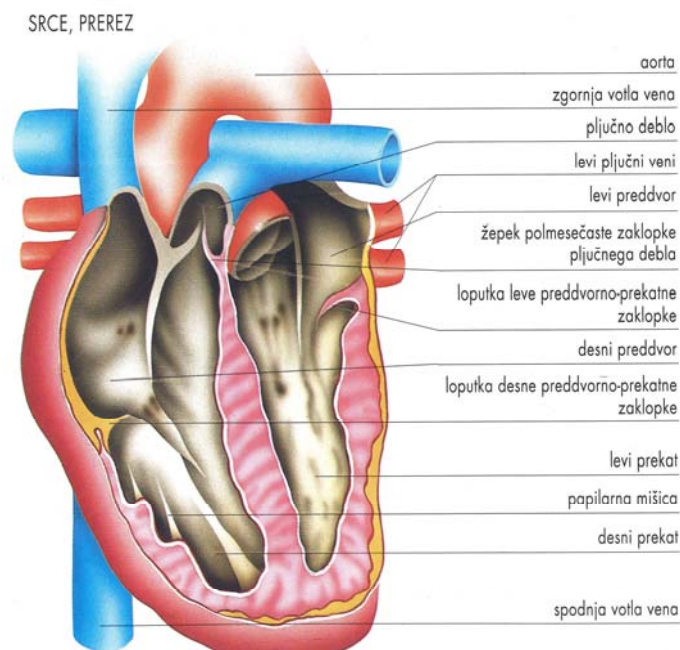
- 1.) Pospešeno dihanje: pospešena frekvenca in globina dihanja, ki sta posledica znižanega delnega tlaka kisika v krvi, povzročita večje dovajanje zraka in s tem kisika v pljučne alveole, vendar to povzroči večje izplavljanje ogljikovega dioksida, zaradi česar pa postane kri bolj alkalna. Kot odgovor na to stanje pričneta ledvici izločati več bikarbonata, da bi se ponovno vzpostavilo acidobazno ravnotežje. Neritmično in pospešeno dihanje je pogosta težava na višinah nad 3000 m (Burnik, 2003).
- 2.) Pospešeno bitje srca: ker tkiva porabljajo konstantno, to je nespremenjeno količino kisika, se posledično zaradi manjše koncentracije kisika v zraku, pospeši obtok krvi, kar povzroča pospešeno bitje srca. Razen v ekstremnih višinah se frekvenca srca po aklimatizaciji normalizira na običajno vrednost (Burnik, 2003).
- 3.) Premik telesnih tekočin: pretok krvi skozi možgane se poveča zaradi zahteve po normalni preskrbi s kisikom. V pljučih se stisnejo pljučne kapilare in povečajo upor krvi skozi pljuča, posledično naraste tlak v pljučnem krvnem obtoku (Burnik, 2003).

4.) Pospešeno nastajanje rdečih krvnih celic – eritrocitov: novo nastali eritrociti so prisotni v krvi že pet dni po nastopu aklimatizacijskih procesov (Burnik, 2003).

5.) Povečano število kapilar: v hipoksičnih pogojih se v tkivih pojavi pospešena rast kapilar. To poveča možnost difuzije in skrajša razdaljo med kapilaro in celico (Burnik, 2003).

## 1.1 Delovanje srca

Srce je organ, ki leži v prsnem košu med desnim in levim pljučnim krilom na zgornji površini prepone (Arnau, 2004), ovija pa ga osrčnik. Srčno votlino omejujejo od znotraj navzven: endokard (štiri srčne votline), miokard (mišični del), epikard in perikard (omogoča največjo možno razširitev srca) (Arnau, 2004 & Lasan, 2002). Celice srčne mišice omogočajo hiter prenos dražljajev, kar zagotovi, da se srce na posamezen dražljaj skrči kot celota (Lasan, 2002). Človeško srce je sestavljeno iz dveh prostorsko razmejenih polovic, samostojnih črpalk: vsaka polovica je sestavljena iz preddvora (atrija) in prekata (ventrikla). Delovanje srca je sestavljeno iz ritmičnega krčenja (kontraksije) in sproščanja (relaksacije) srčne mišice. Krčenje srca imenujemo sistola (iztis krvi iz srca), sprostitvev pa diastola (pritekanje krvi v srce). Obe fazi skupaj imenujemo srčni cikel (Plut, 2002 & Lasan, 2002).



Slika 1: Zgradba srca (Vir: Arnau, 2004).



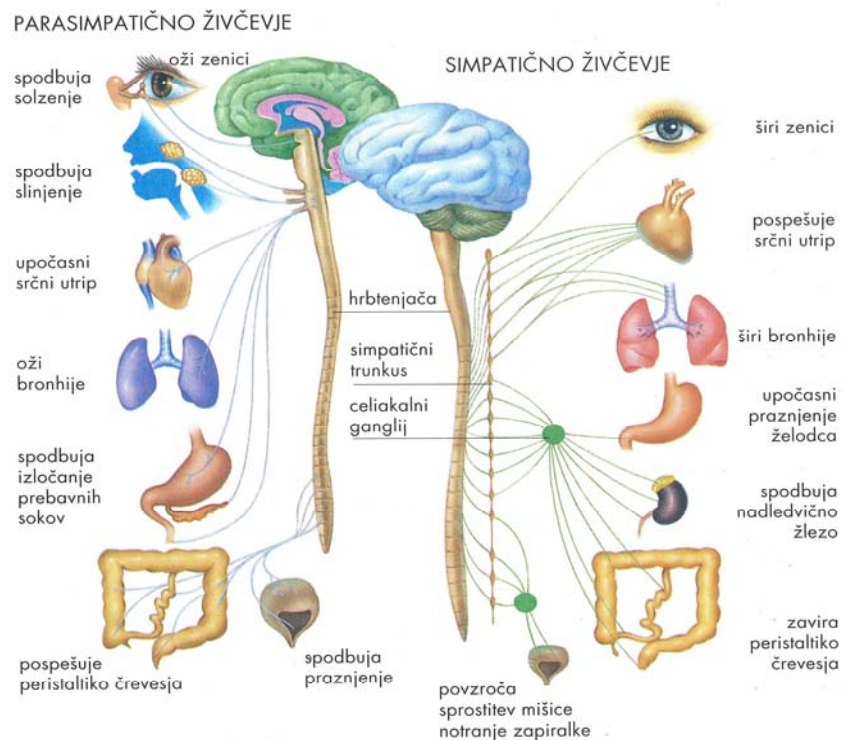
Srce s krčenjem iztiska kri v sistemski in pljučni krvni obtok (Plut, 2002). Delo srca se kaže prek minutnega volumna srca in pomeni količino krvi, ki steče po srcežilju v eni minuti (Lasan, 2002).

**MVS** (5000 ml/min) = utripni volumen (70 ml/utrip) x frekvenca utripov (60-80 utripov/min)

Frekvenca srčnih utripov (pulz) je v stanju mirovanja posledica ravnotežja med vzdraženostjo simpatika in parasimpatika. S treningom dolgotrajne vzdržljivosti se pulz v mirovanju znižuje zaradi naraščanja vzdraženja parasimpatika (živec vagus) (Lasan, 2002). Parasimpatično živčevje upočasni bitje srca in mu omogoča več časa za počitek. Na srčno aktivnost vplivajo tudi različni hormoni, elektrolitsko neravnovesje, različni ioni in tudi različni fizični dejavniki, kot so starost, spol, fizično delo, temperatura (Plut, 2002).

Vegetativno ali avtonomno živčevje nadzira delovanje notranjih organov, denimo srca, dihal, prebavil. Deluje praviloma neodvisno od naše volje. Vegetativno nitje, ki izvira iz možganskega debla in križnih segmentov hrbtenjače, imenujemo parasimpatično živčevje. Vegetativno nitje, ki izvira iz prsnih ledvenih segmentov hrbtenjače, imenujemo simpatično živčevje. Simpatično živčevje deluje spodbujevalno, parasimpatično pa praviloma zaviralno in varčuje z energijo (Arnau, 2004).

Na delovanje srca vplivajo tudi določeni hormoni, med katerimi sta hormon adrenalin in norandrenalin, ki zvišujeta količino glukoze v krvi in zagotavljata potrebno energijo mišicam ob trenutno velikem telesnem naporu (Arnau, 2004). Hormon adrenalin močneje učinkuje na srce – poveča minutni volumen srca, pri telesnem naporu pa njegova koncentracija v krvi naraste 2–6 krat. Norandrenalin je močnejši vazokonstriktor (močnejši vpliv na periferni upor krvnožilnega sistema), razširi zenici in inhibira aktivnost mišic prebavne poti (Lasan, 2002).



Slika 2: Vegetativno živčevje (Vir: Arnau, 2004).

## 1.2 Hipoksija

Hipoksija je pojav, pri katerem sta dostava kisika ( $\text{mlO}_2/\text{min}$ ) do tkiv in njegova uporaba v tkivih zmanjšana (Martin, 1999). Hipoksiji je lahko podvrženo celotno telo ali pa le del tega in nastane kot posledica patološkega stanja ali okoljskih razmer.

Vzrokov za nastanek hipoksije je več, lahko pa jih razdelimo v tri širše sklope. Manjša dostava kisika do tkiv je lahko vzrok (a) zmanjšana količine kisika v arterijski krvi, kar imenujemo hipoksemija, (b) zmanjšana pretoka krvi skozi tkivo, lahko pa so vzrok (c) tudi zastropitve, ki okvarijo celično dihanje (Martin, 1999).

Hipoksija lahko povzroči glavobol, utrujenost, včasih tudi slabost in evforijo. Vse to pa lahko vodi do omedlevice, bolezni, kome ali celo smrti ([http://en.wikipedia.org/wiki/Hypoxia\\_\(medical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Hypoxia_(medical))).

V primeru, da hipoksija ne preneha in vztraja več tednov, se razvijejo prilagoditveni mehanizmi. Organizem se na kronično pomanjkanje kisika odzove s povečano tvorbo

rdečih krvnih teles, s čimer zagotovi večje število prenašalcev kisika. Alkalnost telesnih tekočin, ki nastane zaradi zmanjšane količine ogljikovega dioksida, skuša organizem vrniti na nevtralno stanje. To spremembo uravnavajo ledvice, ki pospešeno izločajo hidrogenkarbonatne ione. V mišicah se poveča število kapilar, ki omogočajo kisiku krajšo pot pri prehodu iz kapilare v tkivo. To pa, skupaj s povečanimi vrednostmi mioglobina, omogoča optimalno preskrbo tkiv s kisikom (povzeto po: Kocjan, 2003).

### **1.3 Aklimatizacija**

Proces adaptacije na višino se začne takoj po nastopu novih zunanjih pogojev in traja več tednov. Sposobnost prilagajanja je zelo različna in se spreminja od človeka do človeka. Nekateri ljudje se prilagodijo hitro in brez posebnih neprijetnosti, drugi nikoli ne dosežejo primarne stopnje aklimatiziranosti. Razlogi za to ostajajo še vedno nepojasneni in se še raziskujejo; verjetno igra pri tem veliko vlogo igra dednost (Burnik, 2003).

Nadmorske višine delimo na:

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

Že v preteklosti so se ljudje srečevali z vplivi nadmorske višine in z njo povezanimi težavami. Na začetku se je večina težav, povezanih z višino, nanašala predvsem na nižje temperature. Na današnje razumevanje vplivov nadmorske višine na človeka so morda najbolj vplivala naslednja spoznanja:

- izum barometra, ki omogoča natančno merjenje pritiska atmosferskih plinov
- zmanjšanje zračnega pritiska na večjih nadmorskih višinah
- opis atmosfere (kisik in drugi plini, ki prispevajo k celotnemu zračnemu pritisku)

- ugotovitev, da težave na povečani nadmorski višini človeku povzročajo zmanjšan delni tlak kisika ( $PO_2$ ) zaradi zmanjšane zračne tlaka (povzeto po: Perčič, 2007).

V zvezi z aklimatizacijo pa srečamo dva pojma:

- deterioracija: je stanje, ki nastopi po določenem času, preživetem na ekstremni nadmorski višini. Povzroči ga nekajtedensko bivanje nad 5500 m ali nekaj dni nad 8000 m. Zanj je značilna izguba apetita, izguba telesne teže, izčrpanost, počasnost mišljenja in slaba presoja (Breščak, 2005)
- adaptacija: je izraz, ki opisuje spremembe, do katerih pride skozi generacije z naravno selekcijo. Adaptacija omogoča ljudem in živalim boljše funkcioniranje na visoki nadmorski višini (Breščak, 2005)

Po približno desetih dneh bivanja na določeni višini smo 80% prilagojeni na drugačno okolje, 95% prilagoditev pa naj bi dosegli po šestih tednih bivanja (Burnik, 2003).

S počasnim vzpenjanjem je aklimatizacija lahko uspešna, če se dvigamo prehitro in previsoko, se obrambni mehanizem prilagaja prepočasi, da bi do celic prišla potrebna količina kisika; zelo verjetno bomo zboleli za višinsko boleznijo (Houston, 1999). Za večino ljudi bi zadostovale 2-3 noči na 2500-3000 m, po tem pa vzpenjanje s hitrostjo 200-300 m na noč, pri čemer je vsak tretji dan priporočljiv počitek. Lahko se dvigamo tudi hitreje, vendar pa sta za vsakih 1000 m vzpona potrebni dve noči aklimatizacije ([http://www.revija-vita.com/Vita\\_51/Poznate\\_visinsko\\_bolezen\\_/poznate\\_visinsko\\_bolezen\\_.html](http://www.revija-vita.com/Vita_51/Poznate_visinsko_bolezen_/poznate_visinsko_bolezen_.html)).

#### **1.4 Hipoksična soba (višinska soba)**

Za uspešno in učinkovito prilagajanje na višinske razmere je telo potrebno za določen čas redno izpostavljati hipoksičnemu okolju. V visokogorju se hipoksija veča z nadmorsko višino zaradi padca delnega tlaka kisika. Višinsko hipoksijo lahko umetno vzpostavimo v višinski sobi, v kateri lahko tlak znižamo oziroma ustvarimo

podtlak. Barokomore so zelo drage, potrebujejo veliko prostora in vključujejo veliko dodatne opreme (Vrhovec, Gorjanc, Mekljavić; 2002).

Fiziološke raziskave so pokazale, da so tudi učinki aklimatizacije enaki, če višino simuliramo s podtlakom v barokomori ali pa zmanjšamo delež kisika oziroma povečamo delež dušika v atmosferi pri normalnem zračnem tlaku. Tako mešanico zraka lahko pripravimo iz utekočinjenega plina (kisika in dušika), vendar so, glede na izgube, potrebne velike količine utekočinjenega plina (Vrhovec, Gorjanc, Mekljavić, 2002).

Višinska soba je prostor, kjer je zračni tlak enak atmosferskemu zunaj sobe (normobarična hipoksija). V sobo umetno uvedemo zrak, ki vsebuje znižan odstotek kisika. To dosežemo bodisi z odtegotvanjem kisika iz sobe bodisi z dodajanjem plinov (dušik), ki so zastopani v zraku, z izjemo kisika. Za to skrbi niz aparatov, ki so vezane na črpalko, slednja pa preko sistema cevi dodaja pline v sobo. Vsaki znižani vsebnosti kisika v zraku take sobe lahko izračunamo ekvivalentno nadmorsko višino, kjer bi bila vsebnost kisika enaka (Žiberna, Gorjanc, 2002).

Pri določeni vsebnosti kisika lahko pričakovane dnevne in sezonske spremembe barometričnega tlaka povzročijo manjše spremembe v simulirani višini (Vrhovec, Gorjanc, Mekljavić, 2002).

## 2. PREDMET, PROBLEM IN NAMEN DELA

Poznavanje procesa aklimatizacije na hipoksično okolje, značilno za veliko nadmorsko višino, nam omogoča, da ugotovimo, kateri dejavniki so najpomembnejši za optimalno učinkovitost alpinista pri vzponih v omenjenih razmerah (Breščak, 2005).

Izpostavljenost višini povzroči nastanek fizioloških sprememb, katerih cilj je adaptacija organizma na zmanjšan parcialni pritisk kisika v zraku. Te kompenzacijske spremembe se dogajajo v procesu, ki mu pravimo aklimatizacija (Breščak, 2005).

Pri obiskovanju visokih gora se lahko pojavijo tudi neprijetnosti, kot sta naprimer glavobol ali slabost. Lahko pa pride tudi do nekaterih oblik višinske bolezni, kot je akutna višinska bolezen, ki lahko napreduje do višinskega pljučnega edema ali višinskega možganskega edema (Bärtsch & Saltin, 2008).

Akutna višinska bolezen se pojavi v obliki znakov, kot so pojav oteklina – periferni edemi, glavobol, slabo počutje, izguba teka in ravnotežja, slabost, bruhanje, motnje spanja, cianoza (pomodrelost) in zmanjšano izločanje urina. Našteti znaki se običajno pojavijo po 6. do 72. urah bivanja na večji nadmorski višini in po 2. do 6. dneh izginejo (Burnik, 2003).

Višinski možganski edem nastane zaradi otekanja možganskega tkiva, kar je posledica premajhne nasičenosti s kisikom. Možganski edem se razvije po daljšem bivanju na velikih višinah (nad 5000 m). Znaki so enaki kot pri akutni višinski bolezni, le da je klinična slika še bolj jasna. Potreben je takojšen sestop, in sicer v 24. urah (Burnik, 2003).

Višinski pljučni edem je v sklopu višinske bolezni nevarno stanje. Je posledica povečanega prehoda tekočine iz krvnega obtoka v medcelični prostor med pljučnimi alveolami. Padec kisika v telesnih tkivih vodi do nastanka cianoze, zmanjšane možganske funkcije in smrti. Nastane lahko zelo hitro, zato je potreben takojšen sestop (Burnik, 2003).

## **2. 1 Vpliv nadmorske višine na organizem**

### **2.1.1 Okoljske razmere na višini**

Zakon narave je pač tak: brez kisika človek umre. Na veliki nadmorski višini je kisika, gledano v odstotkih, enaka količina kot na nižjih nadmorskih višinah, le delni tlak kisika je različen, zaradi česar je za vsakega plezalca izziv že pošteno vdihniti (Houston, 1999).

Zrak je sestavljen iz 78,08 % dušika, 20,95 % kisika, 0,0035 % ogljikovega dioksida, od 0 % do 4 % vodne pare, drugih plinov in prašnih delcev (Lazarini & Brenčič, 1992). Z naraščanjem nadmorske višine se njegova sestava ne spreminja, spreminja pa se zračni tlak (Pb; mmHg); višje kot se povzpemo, manj je atmosfere nad nami, ki bi s svojo maso pritiskala na spodaj ležeče plasti. Večja kot je nadmorska višina, nižji je zračni tlak (Ward & sod. 2000). Nad morjem znaša zračni tlak suhega zraka 760 mmHg, delni tlak kisika pa 20,95 % te vrednosti, torej približno 160 mmHg (povzeto po: Kocjan, 2003).

Veliko ljudi živi v Andih ali Himalaji na nadmorski višini 4000 m, ljudstvo v Perujskih Andih celo na višini 5000 m. Rojeni na teh nadmorskih višinah se prilagajajo na takšne okoljske razmere že od rojstva dalje. Poveča se jim prsna votlina in imajo nekoliko zmanjšano velikost telesa, kar izboljša razmerje med ventilacijsko kapaciteto in telesno maso. Velikost srca je zaradi dodatnega prečrpavanja krvi oziroma povečanega minutnega volumna srca že od rojstva naprej povečana (Guyton, 2006).

### **2.1.2 Potek sprememb v človeškem organizmu na višini**

Srce se takoj po prihodu na povečano višino odzove s povečanjem frekvence srčnega utripa tako v mirovanju kot med submaksimalnim naporom (Astrand, 1986), medtem ko se maksimalna frekvenca srca in minutni volumen srca ne spremenita (Iliev, 1992).

Štrumbelj (2002) navaja, da se funkcija srca po treh do štirih tednih bivanja na zmerni višini ojača v dimenzijah (odebeli se zadnja stena levega ventrikla in interventikularna septalna debelina), v moči sistole (zadnja stena levega ventrikla) in v sposobnosti črpanja levega ventrikla (minutni volumen srca in % utripnega volumna se izboljšata), kar kaže na to, da so subjekti sposobni prenašati večje obremenitve na podlagi izboljšanja srčne zmogljivosti (povzeto po: Breščak, 2005).

Štrumbelj (2002) ugotavlja takojšnje in dolgoročne spremembe v delovanju srca med bivanjem in vadbo na zmerni višini, kar prikazuje naslednja preglednica:

Preglednica 1: Takojšnje in dolgoročne spremembe v delovanju srca med bivanjem in vadbo na zmerni višini (Vir: Štrumbelj, 2002).

<b>Takojšne</b>	<b>Dolgoročne</b>
Submaksimalna FS se poveča	Submaksimalna FS ostane povišana
Submaksimalni MVS je povečan	Submaksimalni MVS pade na ali pod vrednosti na gladini morja
UV srca je enak ali se rahlo zmanjša	UV je zmanjšan
Max MVS ostane enak ali se rahlo zmanjša	Max MVS je zmanjšan

Medtem ko prihaja kisik skozi različne stopnje svojega potovanja od pljuč do celic (kisikova kaskada), le-ta postopoma izgublja delni tlak. Človekove celice za svoje delovanje kisik, zato lahko, če je pritisk prenizek, pride do motenj v nenehni izmenjavi vode in elektrolitov med celico in krvjo, katera poteka na celični membrani – pri tem pa so motene tudi osnovne celične funkcije (Houston, 1999).

Odziv na hipoksijo v organizmu sproži vrsto reakcij. Najpomembnejša in najbolj opazna med njimi je sprememba vzorca dihanja. Zaradi težnje po nespremenjeni vrednosti delnega tlaka kisika v krvi se volumen vdihanega zraka poveča, istočasno pa tudi hitrost dihanja. Ker organizem s pospešenim dihanjem izgublja vodo, prihaja do njenega prestopanja iz žilja v medcelični prostor. Vsebnost vode v krvi se zato zmanjša. Srce odgovori s pospešenim bitjem, vendar utripni volumen ostaja nespremenjen. Posledično se v eni minuti v krvni obtok iztisne več krvi kot običajno,



vendar le na račun povečane frekvence srca. Kri kroži z večjo hitrostjo in je predvsem usmerjena v življenjsko pomembne organe (Kocjan, 2003).

Zaradi znižanega delnega tlaka kisika v krvi, se iz ledvic začne sproščati encim eritropoetin (EPO), ki spodbudi nastajanje novih rdečih krvničk v kostnem mozgu (eritropoezo) in poveča njihovo število v krvnem obtoku, s tem pa poveča tudi zmožnost krvi za prenašanje kisika (oksiforna kapaciteta krvi). Voda iz tkiv pronica nazaj v kri. Telo skuša izravnati tudi alkalizacijo, tako da skozi urin izloča bikarbonate in počasi vzpostavlja običajno kislost krvi. Medtem možgani sporočijo žlezi ščitnici, naj upočasni presnovo, s čimer telo ohrani več kisika, vendar pa obenem zmanjša količino energije za ohranjanje normalne telesne toplote in normalno delovanje. Večina telesnih funkcij se tako upočasni, kar pa je za preživetje nujno (Houston, 1999).

### **2.1.3 Načini aklimatizacije organizma**

Časovni potek aklimatizacijskih procesov je Dill (deVries, 1986) razdelil v štiri glavne faze: akutna, druga, tretja in četrta faza. V prvi ali akutni fazi, ki naj bi bila omejena na prvo uro bivanja na višini, se predvsem povečata ventilacija in FS. Pojavijo se akutne spremembe, ki kompenzirajo spremenjeno okolje. Proti četrti fazi, ki predstavlja bivanje na višini daljše od pol leta, pa se ventilacija in FS zmanjšujeta proti vrednostim v nižini. V zadnjih treh fazah spremembe iz akutne faze aklimatizacije nadomestijo metabolne in strukturne spremembe v posameznikovem organizmu. Fiziološke odzive na povečano nadmorsko višino lahko v grobem razdelimo na tri glavna področja. To so prilagoditev respiratornega, srčnožilnega in metabolnega sistema. Odziv navedenih sistemov se začne pri vseh, takoj ob vzponu na povečano nadmorsko višino, hitrost sprememb pa je različna.

Za dobro aklimatizacijo je zlasti pomembno sprotno nadomeščanje izgubljenih tekočin (pitje vsakih 20 min, 3 l dnevno), sprotno nadomeščanje energetskih rezerv (hrana), postopno in počasno pridobivanje višine (Burnik, 2003).

## 2.2 Dosedanje raziskave aklimatizacije in njenega vpliva na srčno mišico

Področje aklimatizacije na povečano nadmorsko višino je v zadnjem času predmet številnih raziskav. Nekatere med njimi so raziskovale, kako se spreminja srčna akcija in delovanje srčnožilnega sistema s povečano nadmorsko višino. Večinoma so se raziskovalci ukvarjali s spremembo frekvence srca in srčnega dela na velikih višinah ter s problemi in mehanizmi uravnavanja srčne akcije. Za uravnavanje frekvence srca je bistvenega pomena ravnovesje med parasimpatičnimi in simpatičnimi živčnimi impulzi in njihova povezava s sinusnim vozlom (Yamoto, Hashikawa & Mijashita, 1994).

Reeves in ostali (1987) ugotavljajo, da je glavni razlog za znižanje sposobnosti premagovanja napora na povečani nadmorski višini prav hipoksija, ki upočasni frekvenco srca in tudi moč srčne mišice. Vsekakor je eden od glavnih dejavnikov, ki vpliva na zmanjšanje sposobnosti premagovanja napora tudi radikalno znižanje  $VO_{2max}$  (Bogaard in ost., 2002). Zanimivo je, da se  $VO_{2max}$  ne spremeni tudi po dveh tednih aklimatizacije, za razliko od srčnega dela, ki se po dveh tednih na višini zmanjša, pri enakem relativnem delu.

Mezseo in ostali (1995) so ugotovili, da se ob hitrem dvigu na nadmorsko višino vsebnost adrenalina bistveno poveča tako v mirovanju kot ob naporu. Njegova vsebnost se po treh tednih bivanja na višini postopno zmanjšuje. Vendar si avtorji še niso enotni, kako je s koncentracijami teh hormonov ob vzponu na povečano nadmorsko višino. Drugačen je potek odziva noradrenalina, ki takoj po prihodu na višino bistveno ne spremeni svoje vsebnosti, nato pa njegova koncentracija pomembno naraste tekom aklimatizacije. Bistven vpliv noradrenalina med aklimatizacijo je povečanje krvnega pritiska (Balado in ost., 1996).

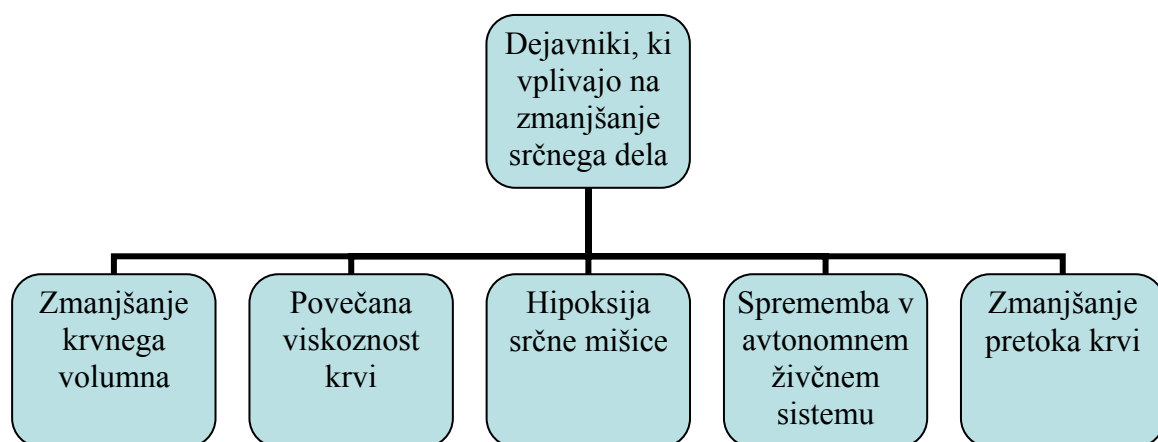
Jereb in Burnik (2005) sta v raziskavi frekvence srca med aklimatizacijo ugotavljala razlike frekvence srca med različno dolgimi aklimatizacijami in med spoloma. Vzorec je bil sestavljen iz šestih žensk in štirih moških. Aklimatizacija je potekala na višini med 3200 m in 6000 m v obdobju trinajstih dni. Frekvenca srca je bila spremljana na višini 3200 m med izvajanjem step testa (stopanje na 20 cm visoko stopnico) in v mirovanju pred, med in po testu 9. in 13. dan aklimatizacije. Pri vseh merjenih

parametrah so bile dokazane statistično pomembne razlike tako med spoloma kot med prvim merjenjem (9. dan in drugim merjenjem (13. dan). Trinajsti dan aklimatizacije sta izmerila večje povprečne frekvence srca kot deveti dan tako v mirovanju kot tudi med aktivnostjo. Rezultati niso pričakovani in ne v skladu s procesom aklimatizacije. Vzrok za večjo vrednost frekvence srca, izmerjene po daljšem času aklimatizacije sta razložila z morebitno preutrujenostjo, ki naj bi se pojavila, zaradi daljše aktivnosti na povečani nadmorski višini in zmanjšani količini vnosa energije v organizem.

Na povečani nadmorski višini pride do zvišanja FS v mirovanju, kar potrjujejo mnoge raziskave (Cornolo, Mollard, Brugniaux, Robach, & Richalet, 2004; Antezana, 1994; Revees in ost., 1987). Maksimalna FS pa pri prihodu na povečano nadmorsko višino ostane enaka ali se zmanjša (Boogard in ost., 2002). Ko posameznik preživi več kot dva tedna na povečani višini oziroma v pogojih kronične hipoksije, se maksimalna FS zmanjša (Hartley, Vogel, & Cruz, 1974).

V drugih raziskavah pa so raziskovalci prišli do drugačnih odkritij, in sicer naj bi se maksimalna FS pri naporu in delu srčne mišice pri submaksimalnih obremenitvah v kronični hipoksiji zmanjšala (Boushel in ost., 2001).

Možni dejavniki, ki vplivajo na zmanjšanje srčnega dela (Boogard in ost., 2002):



Živčevje se po funkciji deli na somatsko in vegetativno. Somatsko uravnava in usmerja delovanje skeletnih mišic – gibanje, vegetativno pa aktivnost gladkih mišic, žleznih celic in srčne mišice – delovanje notranjih organov (Lasan, 2002). Vegetativno (avtonomno) živčevje tako uravnava krvni tlak, srčni utrip, dihanje, vsebnost vode v organizmu in telesno temperaturo. Nadrejeno središče tega sistema pa predstavlja hipotalamus. Anatomsko avtonomno živčevje lahko razdelimo na simpatični in parasimpatični del. Najpomembnejši parasimpatični živec je vagalni živec, ki med drugim oživčuje tudi srce (povzeto po: Kocjan, 2003). Ravno zato, je za številne raziskovalce avtonomni živčni sistem zanimiv za raziskovanje.

Coronolo in sodelavci (2004) so raziskovali odziv avtonomnega živčnega sistema ob vzponu na višino in ugotovili, da povzroči akutna hipoksija najprej zmanjšanje parasimpatičnega in zvečanje simpatičnega tonusa, medtem ko postopna aklimatizacija vpliva na postopno povečanje parasimpatičnega tonusa. Prišli so do zaključka, da se najhitreje poveča simpatična aktivnost, ki povečuje srčno akcijo, šele po obdobju aklimatizacije pa se poveča parasimpatična aktivnost. Daljše kot je trajanje aklimatizacije, večji je vpliv parasimpatikusa na FS (Boushel in ost., 2001).

Raziskovalci so različnih raziskavah raziskovali kakšen je vpliv hormonov adrenalina in noradrenalina na FS. Prišli so do ugotovitev, da se ob vzponu na povečano nadmorsko višino vsebnost adrenalina bistveno poveča v mirovanju in ob naporu. Po treh tednih bivanja na višini pa se njegova vrednost približa tisti na nižini (Mezseo, 1995). Učinek noradrenalina pa je ravno obraten, saj njegova vrednost tokom aklimatizacije narašča, takoj ob prihodu na višino pa njegova vrednost ostane skoraj enaka (Mezseo, 1995; Balado, 1996). Koncentracija noradrenalina doseže največjo vrednost po šestih dneh, nato se ne spreminja več. Po prekinitvi hipoksije se vrednosti noradrenalina v urinu vrnejo na normalno raven v enem tednu (povzeto po: Kocjan, 2003). Mezseo in sodelavci (1998) so našli statistično pomembno korelacijo med vsebnostjo noradrenalina in FS, obe vrednosti sta namreč dosegli najvišje vrednosti ob istem času. Povezava med FS in adrenalinom pa je bila drugačna, in sicer so se vrednosti adrenalina zmanjševale v času, ko je FS že dosegla najvišje vrednosti.

Predmet naše naloge je bil spremljanje frekvence srca na različnih nadmorskih višinah. Problem pa primerjava FS pred, med in po aklimatizaciji in s tem možnost ugotavljanja kvalitete aklimatizacije ter primerjave FS, izmerjene v naravnem in umetnem okolju, in s tem ugotavljanje podobnosti med okolji. V primeru, da bi bila FS v obeh okoljih podobna, bi lahko višinsko sobo v bodoče načrtno uporabljali v namene aklimatizacije med procesom priprave na hojo in plezanje na visokih nadmorskih višinah.

### 3. CILJI RAZISKAVE

1. Ugotoviti kako se FS spreminja z nadmorsko višino.

FS je zanimiva za mnoge raziskovalce, zato smo se tudi mi odločili, da jo bomo spremljali pa tudi njene spremembe, ki se dogajajo z vzponom na večjo nadmorsko višino.

2. Ugotoviti, ali so razlike v FS, izmerjeni na enaki nadmorski višini v naravnem okolju in v pogojih simulirane nadmorske višine (normobarična hipoksija - višinska soba).

V naši raziskavi bomo podatke pridobivali iz naravnega okolja ter iz višinske sobe. Zanima nas, ali sta si okolji v svojih značilnostih enaki in ali prihaja do sprememb. Predvsem nas zanima, kakšen vpliv ima določeno okolje na frekvenco srca.

3. Ugotoviti, ali se frekvenca srca z aklimatizacijo spreminja.

Pri posameznikih bomo na podlagi frekvence srca ugotavljali, ali se le ta s časom, ki ga preživimo na povečani nadmorski višini, spreminja.

#### **4. HIPOTEZE**

**H0<sub>1</sub>**: FS se s povečevanjem nadmorske višine povečuje.

**H0<sub>2</sub>**: FS, izmerjena v naravnem okolju, je enaka FS, izmerjeni v pogojih enake simulirane višine v višinski sobi.

**H0<sub>3</sub>**: FS se po določenem obdobju aklimatizacije zniža.

**H0<sub>4</sub>**: S prenehanjem bivanja na višji nadmorski višini se FS postopoma vrne na FS, izmerjeno pred aklimatizacijo.

## **5. METODE DE LA**

### **5.1 Vzorec merjencev**

Raziskava, ki smo jo izvedli, je potekala v okviru Fakultete za šport pri predmetu Gornišstvo z dejavnostmi v naravi. Meritve smo opravljali v višinski sobi (okoljski komori) na Inštitutu »Jožef Stefan«, ter na odpravi v območju Kavkaza, Elbrus 2007. V raziskavi je sodelovalo šest študentov Fakultete za šport v Ljubljani, od tega sta bili dve ženski (telesna višina  $166 \pm 9.8$ , telesna teža  $62.5 \pm 2.1$ , starost  $25 \pm 1.4$ ) in štirje moški (telesna višina  $179.5 \pm 8.38$ , telesna teža  $76 \pm 6.6$ , starost  $25.5 \pm 3.6$ ). Za sodelovanje so se odločili prostovoljno.

### **5.2 Vzorec spremenljivk**

Osredotočili smo se na merjenje FS, saj je njena meritev na terenu enostavna in merjenec niti ne ve, da je merjen. Za merjenje smo uporabili merilce Suunto t6 .

### **5.3 Opis eksperimenta**

Meritve za eksperiment smo izvedli trikrat v Ljubljani, in sicer pred odpravo (22. in 23. marca 2007), takoj po odpravi (25. in 26. aprila 2007) ter mesec dni po odpravi (23. in 24. maj 2007). Prvi datum nakazuje meritve, ki so bili izvedene na višini 300 m, drugi datum pa meritve, ki so bile izvedene v višinski sobi na Inštitutu Jožef Stefan, na višini 2100 m v dopoldanskem času ter na višini 3800 m v popoldanskem času. Drugi del meritev pa je bil izveden v Rusiji, pod vznožjem Elbrusa na nadmorskih višinah 2100 m in 3800 m, kjer smo meritve na omenjenih nadmorskih višinah opravili trikrat, in sicer prvi dan aklimatizacije (01.april 2007), deseti dan aklimatizacije (11.april 2007) in osemnajsti dan aklimatizacije (19.april 2007).

Eksperiment smo izvajali ves čas s step testom, to je test, kjer je merjenec v določenem taktu stopal na 41,3 cm visoko klopco. Step test je potekal, tako da je



merjenec 30 minut sedel v mirovanju, nakar je po 20 minutah vklopil merilec frekvence srca Suunto. Tako smo zajeli podatke FS v mirovanju pred aktivnostjo. Po 30 minutah mirovanja je merjenec opravil step test, pri čemer je stopal na 41,3 cm visoko klopco, in sicer najprej z desno nogo 1.30 sekunde, nato še z levo nogo 1.30 sekunde, kar nam je dalo podatke FS v času aktivnosti. Merjenci so test izvajali v taktu metronoma (za moške 96 udarcev/min, za ženske 88 udarcev/min). Po končanem step testu je merjenec še 10 minut sedel, s čimer smo zajeli podatke v mirovanju po aktivnosti.

#### **5.4 Metode obdelave podatkov**

Merilci srčne frekvence srca so beležili podatke vsaki dve sekundi. Te podatke smo iz ure nato prenesli na računalnik in jih tako pripravili za nadaljnjo uporabo. Celotna meritev je trajala 23 minut, vendar so merjenci pred tem že 20 minut sedeli v popolnem mirovanju. Da bi resnično zajeli mirovanje in aktivnost merjencev, smo iz podatkov odrezali prvo minuto, deseto minuto, štirinajsto minuto in triindvajseto minuto meritve. Tako mirovanje predstavlja meritev od druge do devete minute, aktivnost (step test) pa od enajste do trinajste minute. Obdelane podatke smo nato primerjali, in sicer smo med seboj primerjali prvo (pred odpravo), drugo (takoj po odpravi) in tretjo (mesec dni po odpravi) meritev v Ljubljani, kot tudi na Elbrusu. Naredili smo tudi primerjavo podatkov na različnih ter na enakih višinah. Posebej pa smo med seboj primerjali podatke v Ljubljani in na Elbrusu.

Statistična obdelava podatkov je bila narejena s statističnim paketom SPSS (15.00), kjer sta bili uporabljeni statistični metodi analiza variance in t-test za odvisne vzorce.

## 6. REZULTATI Z RAZLAGO

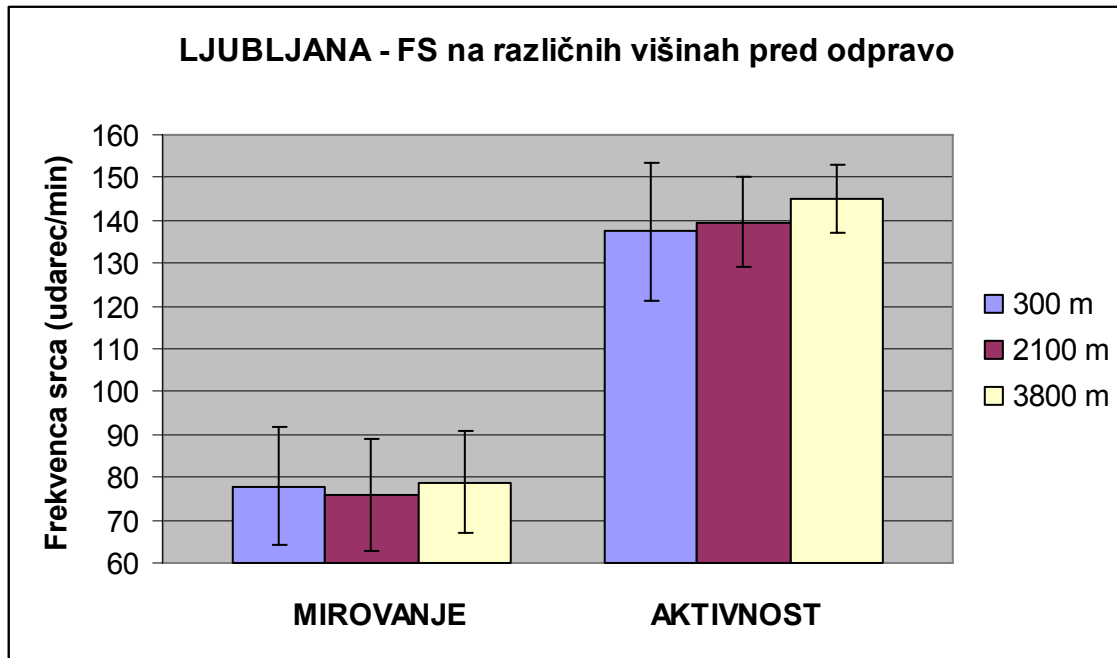
### 6.1 Vpliv nadmorske višine na FS

#### 6.1.1 V Ljubljani

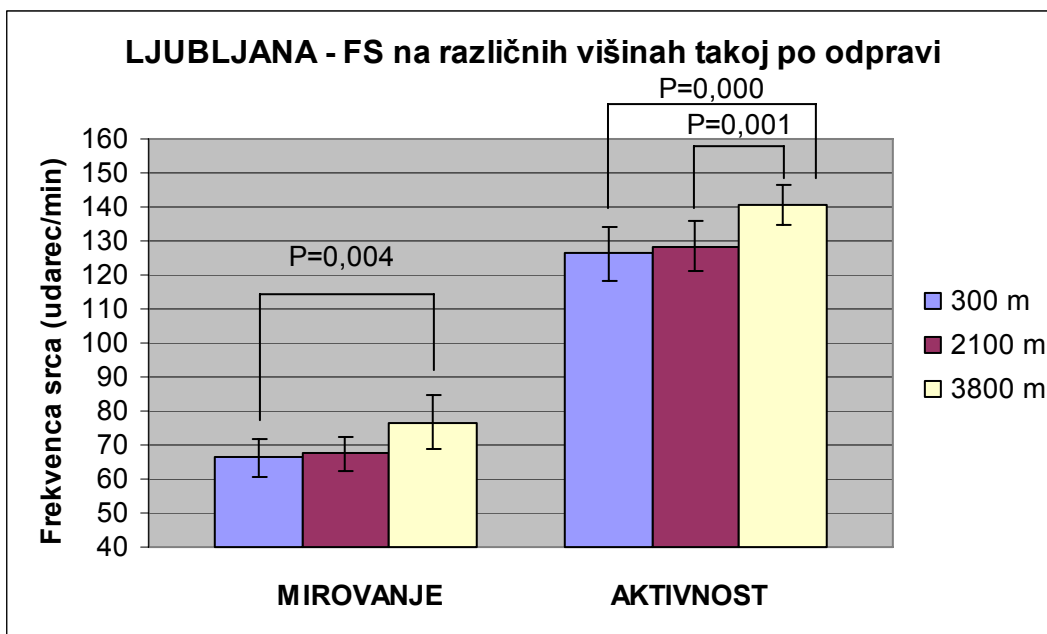
Pred odpravo je bila v času mirovanja povprečna FS vseh merjencev na nadmorski višini 300 m 77 udarcev/min, na nadmorski višini 2100 m 75 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m pa je bila FS 78 udarcev/min (slika 3). Pri tej meritvi nismo pri primerjavi odkrili statističnih razlik. Pri meritvah takoj po odpravi (slika 4) je bila v času mirovanja povprečna FS na nadmorski višini 300 m 66 udarcev/min, na nadmorski višini 2100 m 67 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m pa 76 udarcev/min. Ugotovili smo, da med 300 m in 2100 m nadmorske višine ni statistično pomembnih razlik. Le-te se pojavijo pri primerjavi nadmorske višine 300 m in 3800 m ( $P = 0,004$ ), primerjava nadmorske višine 2100 m in 3800 m pa kaže na približevanje statistično pomembnim razlikam ( $P = 0,081$ ). Mesec dni po odpravi (slika 5) je bila FS v času mirovanja na nadmorski višini 300 m povprečno 70 udarcev/min, na nadmorski višini 2100 m je bila FS 71 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m pa FS 75 udarcev/min. Slika 5 nam kaže, da primerjava teh nadmorskih višin ni pokazala statistično pomembnih razlik. Iz slike 3, slike 4 in slike 5 je razvidno, da se FS z višino zvišuje. FS takoj po odpravi v času mirovanja je nižja v primerjavi z meritvijo pred odpravo, opazno pa je da se FS postopoma vrača na vrednosti, ki so bile izmerjene pred odpravo.

Pri meritvi pred odpravo je bila na nadmorski višini 300 m FS v času aktivnosti 134 udarcev/min, na nadmorski višini 2100 m je FS merila 139 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m pa je FS dosegla 144 udarcev/min (slika 3). Pri meritvi takoj po odpravi (slika 4) v času aktivnosti je bila FS na nadmorski višini 300 m 126 udarcev/min, na nadmorski višini 2100 m je bila 128 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m pa je bila FS 140 udarcev/min. Pri meritvi mesec dni po odpravi (slika 5) v času aktivnosti je bila FS na nadmorski višini 300 m 131 udarcev/min, na višini 2100 m je bila FS 138 udarcev/min, na nadmorski višini 3800 m je bila FS 144 udarcev/min. Najnižja FS je bila pri vseh meritvah izmerjena na 300 m nadmorske višine in najvišja na simulirani nadmorski višini

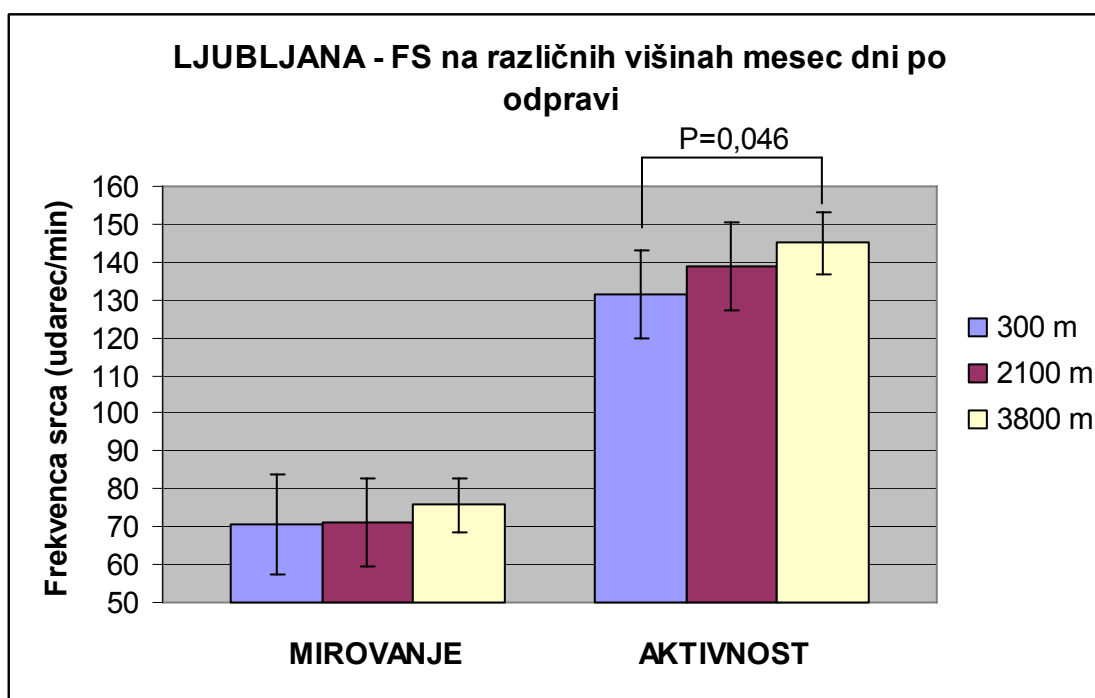
3800 m. Omenjeni trend povečevanja FS s povečevanjem nadmorske višine je mogoče zaslediti pri vseh meritvah. FS se na enaki višini med posameznimi meritvami razlikuje, vendar razlike niso statistično značilne.



Slika 3: Povprečne vrednosti in standardne deviacije razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah pred odpravo (Ljubljana).



Slika 4: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah takoj po odpravi (Ljubljana).



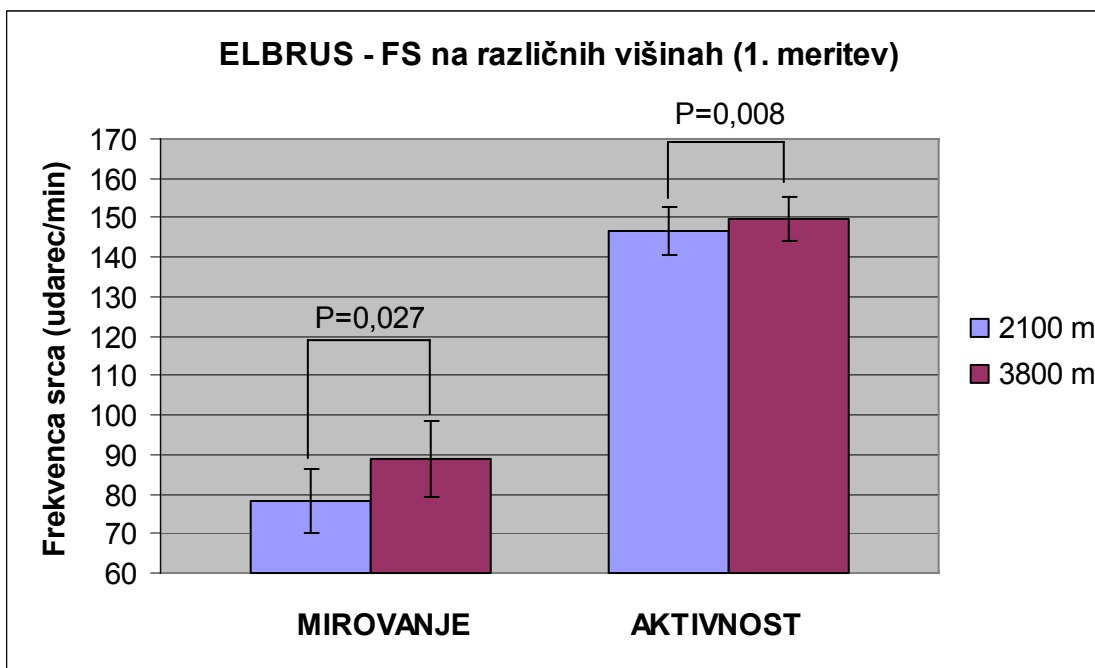
Slika 5: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah mesec dni po odpravi (Ljubljana).

### 6.1.2 Na Elbrusu

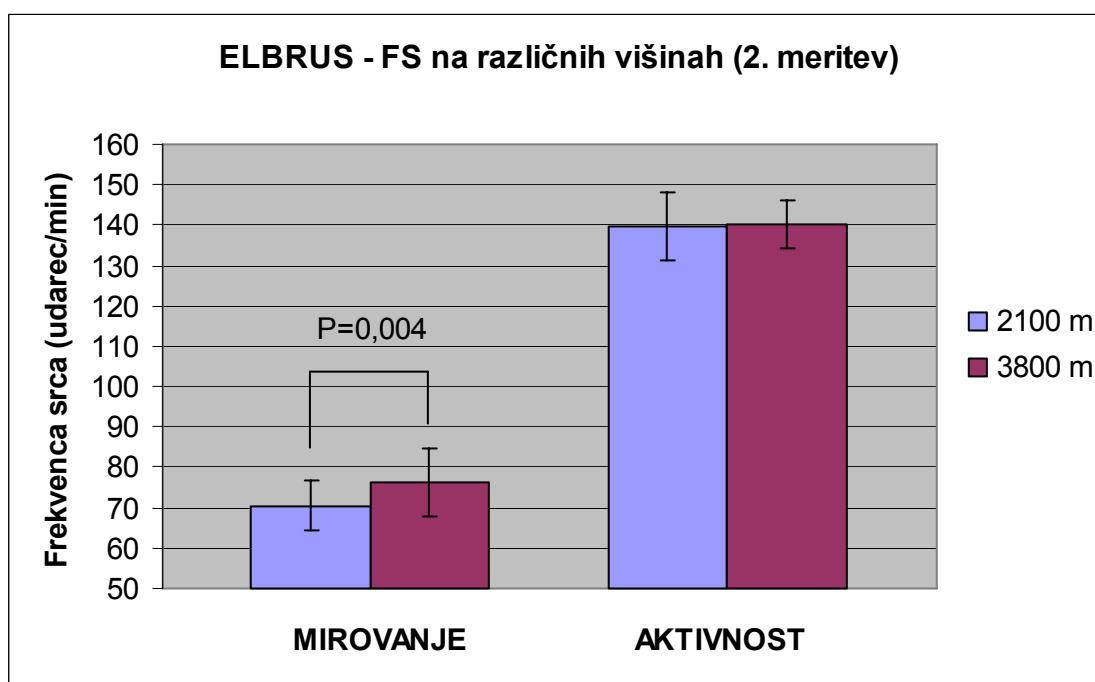
V času mirovanja je bila na Elbrusu na nadmorski višini 2100 m FS pri prvi meritvi 78 udarcev/min, pri drugi meritvi 70 udarcev/min, pri tretji meritvi pa 63 udarcev/min. Na nadmorski višini 3800 m je bila FS pri prvi meritvi 88 udarcev/min, pri drugi meritvi 76 udarcev/min in pri tretji meritvi 72 udarcev/min.

Meritve, narejene v območju Elbrusa na nadmorski višini 2100 m nam za FS v času aktivnosti prikazujejo, da je le-ta bila pri prvi meritvi 146 udarcev/min, pri drugi meritvi 139 udarcev/min, pri tretji meritvi 132 udarcev/min. Na nadmorski višini 3800 m pa je pri prvi meritvi bila FS 149 udarcev/min, pri drugi meritvi je bila FS 140 udarcev/min, pri tretji meritvi je bila FS 139 udarcev/min.

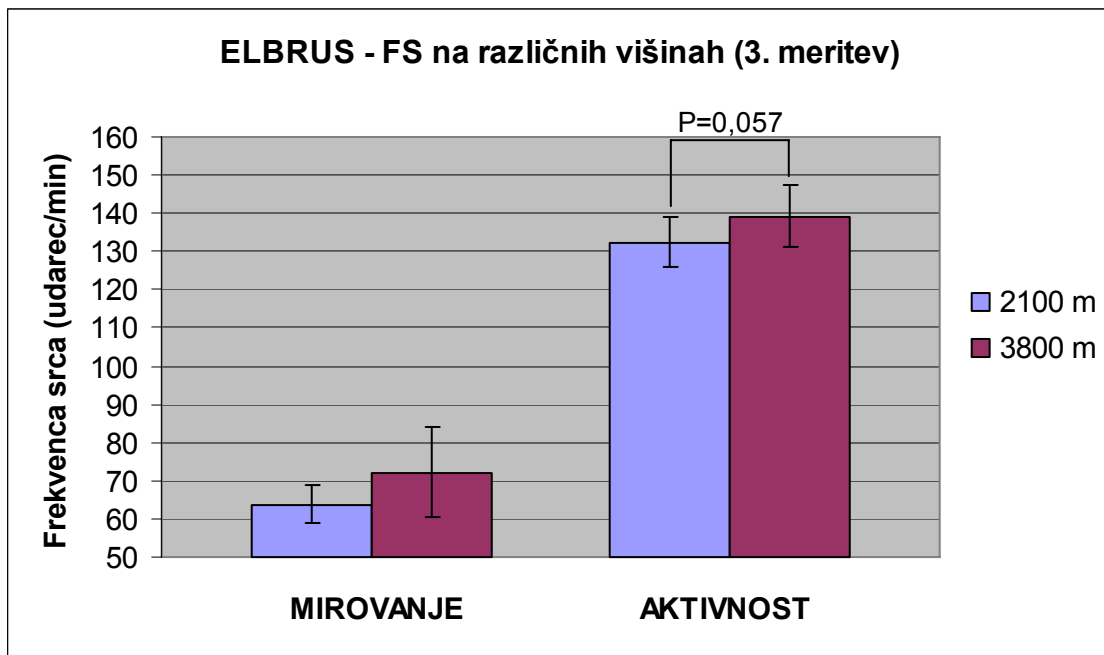
Pri primerjavi nadmorskih višin 2100 m in 3800 m še vedno opazimo, da FS z višanjem nadmorske višine narašča. Statistična obdelava podatkov nam je pokazala statistično pomembne razlike pri prvi meritvi (slika 6), in sicer so le-te nastale v času mirovanja ( $P = 0,027$ ) in v času aktivnosti ( $P = 0,008$ ). Slika 7 nam prikazuje statistično pomembne razlike pri drugi meritvi v času mirovanja ( $P = 0,004$ ), v času aktivnosti pa le teh nismo odkrili. Menimo, da je na takšen rezultat lahko vplival napor. Tretja meritev (slika 8) nam v času mirovanja in aktivnosti ni pokazal nobenih statistično pomembnih razlik. Opazili pa smo, da se v času aktivnosti vrednosti zelo približujejo statistično pomembnim razlikam.



Slika 6: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (1. meritev - 01.april 2007)



Slika 7: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (2. meritev -11.april 2007).



Slika 8: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (3. meritev -19.april 2007).

Rezultati dobljeni v raziskavi, prikazujejo, da se FS s povečevanjem nadmorske višine poveča. To so odkrili tudi že nekateri drugi raziskovalci (Mazzeo, 2008, Coronola, 2004, Hughson, 1994)). Astrand (1986) ugotavlja, da se srce takoj po prihodu na povečano višino odzove s povečanjem frekvence srčnega utripa tako v mirovanju kot med submaksimalnim naporom.

Tudi druge raziskave ugotavljajo, da se FS ob vzponu na povečano nadmorsko višino sprva poveča in nato ustali na neki določeni ravni (Antezana, 1994, Reeves, 1987, Cornolo, 2004).

## 6.2 Učinki aklimatizacije

### 6.2.1 V Ljubljani

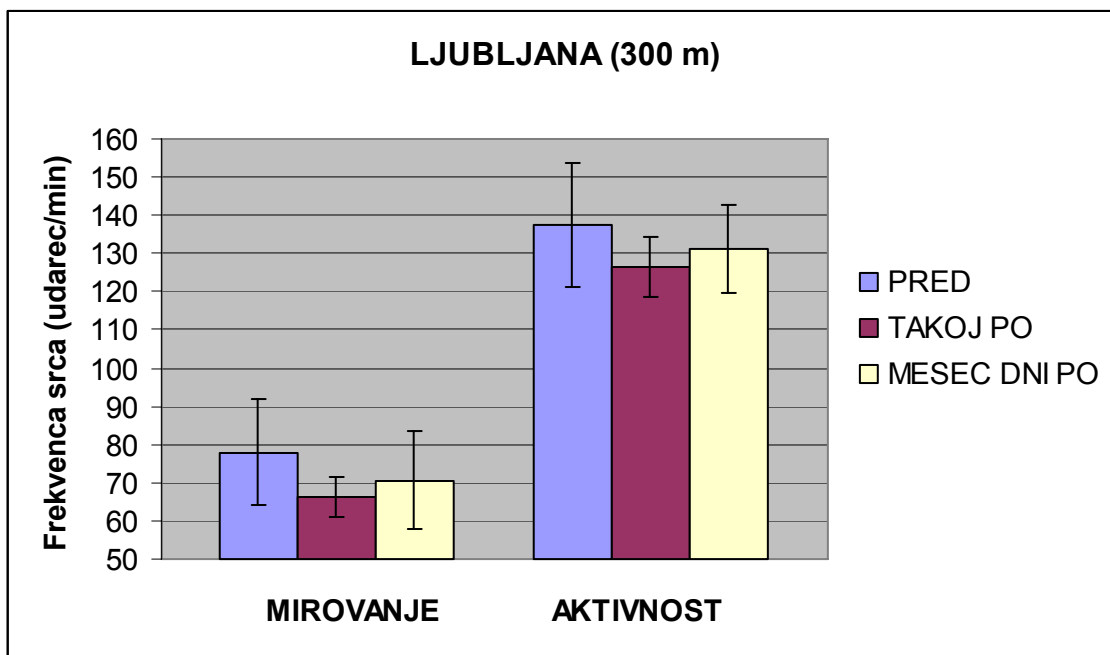
Domnevali smo, da se FS po določenem obdobju, ki ga preživimo na povečani nadmorski višini, zniža. S primerjanjem podatkov med seboj smo za izhodišče

meritev vedno vzeli prvo meritev tako v Ljubljani kot na Elbrusu in jo primerjali z vsemi ostalimi.

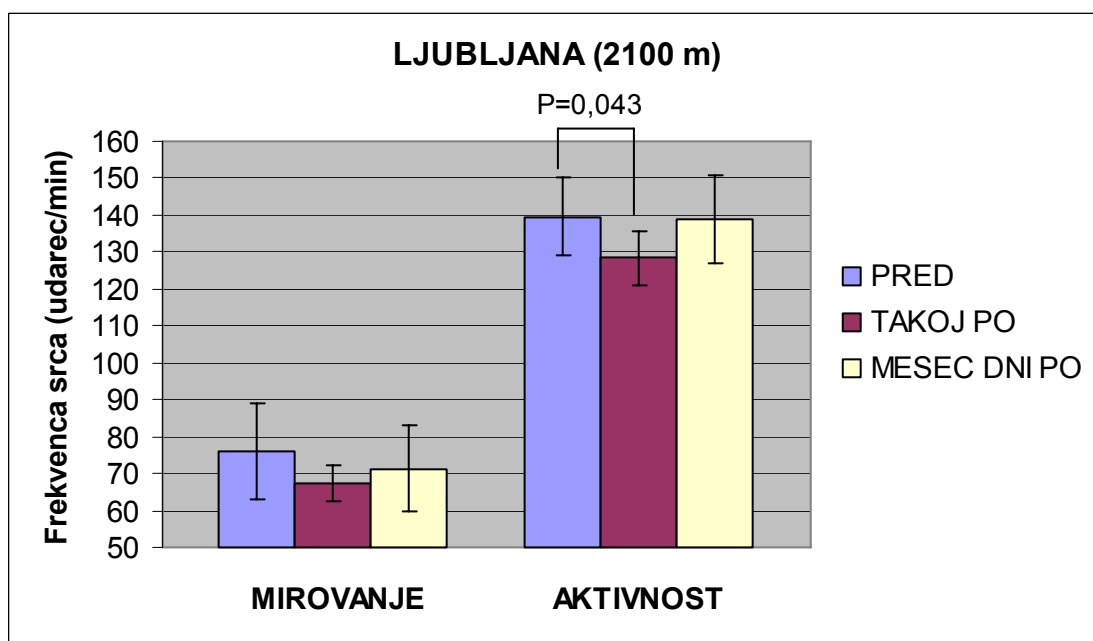
Primerjave podatkov so nam pokazale, da se je pri drugi meritvi (takoj po odpravi) v Ljubljani na nadmorski višini 2100 m FS v mirovanju v povprečju znižala za 8 udarcev/min, v aktivnosti pa za 11 udarcev/min. Slika 10 prikazuje statistično pomembne razlike na nadmorski višini 2100 m, in sicer v času aktivnosti med prvo meritvijo (pred odpravo) in drugo meritvijo (takoj po odpravi) ( $P = 0,043$ ). Na nadmorski višini 3800 m se je FS v mirovanju znižala za 2 udarce/min, v času aktivnosti za 4 udarce/min. Pri tretji meritvi pa se opazi vračanje FS nazaj na vrednosti pred odpravo. Na nadmorskih višinah 300 m (slika 9) in 3800 m (slika 11) v času mirovanja in aktivnosti nismo ugotovili nikakršnih statistično pomembnih razlik.

Pri meritvah v Ljubljani se na nadmorskih višinah 300 m (slika 9), 2100 m (slika 10) in 3800 m (slika 11) opazi, da se FS zniža pri meritvi takoj po odpravi, mesec dni po odpravi pa se vrednosti FS vrnejo nazaj na vrednosti izmerjene pred odpravo. Menimo, da je temu, tako ker so takoj po odpravi v organizmu še prisotni učinki aklimatizacije, mesec dni po odpravi pa se le ti že izničijo. Rezultati nam tako kažejo, da se FS po prihodu z višine postopoma začne vračati nazaj na svoje normalne vrednosti.

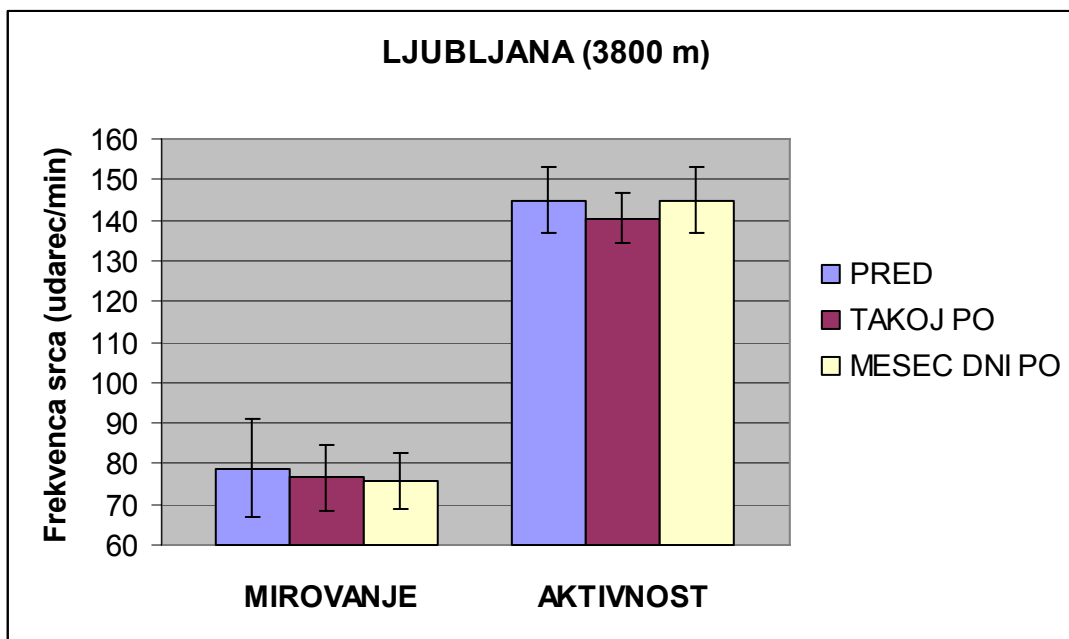




Slika 9: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 300 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).



Slika 10: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 2100 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).



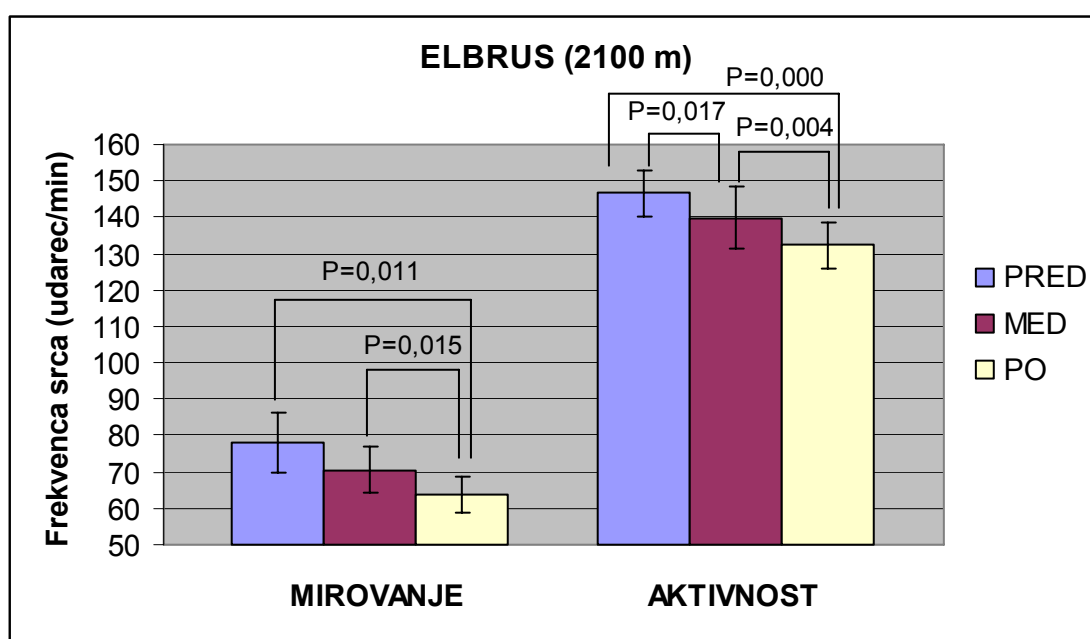
Slika 11: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 300 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).

Rezultati, pridobljeni v višinski sobi, nam na višinah 300 m, 2100 m in 3800 m ne kažejo statistično pomembnih razlik.

Kot je vidno, v umetnem okolju statistično pomembnih razlik ni. Domnevamo, da je temu, tako ker čas, ki ga preživimo v višinski sobi (30 min), ni dovolj dolg, da bi statistično pomembne razlike bile opazne. Menimo, da organizem v tako kratkem času nima dovolj časa, da bi se prilagodil spremembam, zaradi česar tudi nismo odkrili statistično pomembnih razlik. Razlike pa so opazne pri primerjavi nadmorskih višin med seboj. Statistično pomembne razlike so najbolj opazne pri drugi meritvi. Menimo, da je temu, tako ker je to meritev, ki je bila narejena takoj po odpravi in so merjenci bili že zelo dobro aklimatizirani, zato vstopa v višinsko sobo organizem več ni doživil kot stres. Vzrok, da je do razlik prišlo med nadmorskima višinama 300 m in 3800 m, pa menimo, da je v velikem razponu med obema višinama.

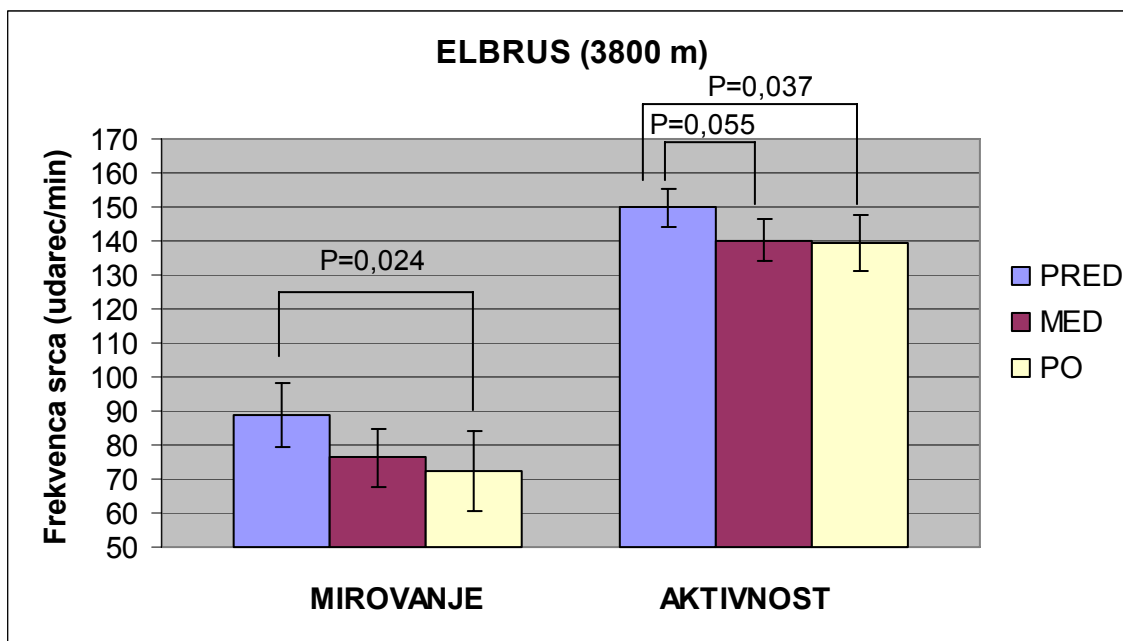
## 6.2.2 Na Elbrusu

FS v mirovanju na Elbrusu na nadmorski višini 2100 m se je pri drugi meritvi (11.april 2007) znižal za 7 udarcev/min, v času aktivnosti pa za 6 udarcev/min. Tu je prišlo tudi do statistično pomembnih razlik (slika 12), in sicer v času mirovanja med drugo in tretjo meritvijo ( $P = 0,015$ ), med prvo in tretjo meritvijo ( $P = 0,011$ ), med prvo in drugo meritvijo pa teh razlik nismo ugotovili. V času aktivnosti je do statistično pomembnih razlik prišlo med prvo in drugo meritvijo ( $P = 0,017$ ), med drugo in tretjo meritvijo ( $P = 0,004$ ), ter med prvo in tretjo meritvijo ( $P = 0,000$ ).



Slika 12: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 2100 m pred, med in po aklimatizaciji (Elbrus).

Na nadmorski višini 3800 m se je FS v mirovanju znižala za 12 udarcev/min, v času aktivnosti za 9 udarcev/min. Slika 13 nam prikazuje statistično pomembne razlike na nadmorski višini 3800 m, kjer med prvo in drugo meritvijo ter med drugo in tretjo meritvijo ni prišlo do nikakršnih razlik ne v času mirovanja ne v času aktivnosti. Ugotovili pa smo statistično pomembne razlike med prvo in tretjo meritvijo v času mirovanja ( $P = 0,024$ ) in v času aktivnosti ( $P = 0,037$ ).



Slika 13: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 3800 m pred, med in po aklimatizaciji (Elbrus).

Rezultati, pridobljeni pri meritvah v območju Elbrusa (slika 12 in slika 13), nam prikazujejo postopno prilagajanje organizma na povečano nadmorsko višino. Vidno je, da se je FS na nadmorskih višinah 2100 m in 3800 m z vsako nadaljnjo meritvijo znižala, kar pripisujemo aklimatizaciji.

Da se FS po določenem obdobju aklimatizacije zniža, pa nam je potrdila še tretja meritev (19.april 2007) na Elbrusu, kjer se je FS v mirovanju in v času aktivnosti na nadmorski višini 2100 m znižala za 14 udarcev/min. Na nadmorski višini 3800 m se je FS v mirovanju znižala za 16 udarcev/min, v času aktivnosti za 10 udarcev/min.

Pri primerjavi nadmorskih višini 2100 m in 3800 m v naravnem okolju so statistično pomembne razlike pri prvi meritvi v mirovanju ( $P = 0,027$ ) in v času aktivnosti ( $P = 0,008$ ). Pri drugi meritvi so statistično pomembne razlike le v mirovanju ( $P = 0,004$ ). Pri tretji meritvi statistično pomembnih razlik nismo ugotovili v nobeni fazi step testa, opazili pa smo, da se vrednosti v času aktivnosti zelo približujejo statističnim vrednostim ( $P = 0,057$ ). Menimo, da je temu, tako ker

so merjenci že prilagojenim novim življenjskim razmeram, torej povečani nadmorski višini.

O zniževanju frekvence srca po daljšem bivanju na povečani nadmorski višini poročajo tudi drugi raziskovalci. Tako Christensen in Forbes (1937), Cartelli in Margaria (1961) ter Pugh in Cartelli (1976) govorijo o upadanju frekvence srca po daljši izpostavljenosti na nadmorski višini 3000 m (Astrand in Rodhal, 1986). Do podobnih rezultatov je v svoji raziskavi prišel tudi Debevec (2006), ki je ugotovil, da se FS merjencem znižala v povprečju za kar 28 udarcev/min.

V literaturi je narejeno malo raziskav, kjer bi se preučevalo FS kot kazalca stopnje aklimatiziranosti (Debevec, 2006). Raziskovalci večinoma preučujejo eritopoezo, koncentracijo hemoglobina in maksimalno porabo kisika. Posameznik, ki se odziva na višinski trening, lahko izboljša svojo maksimalno porabo kisika, doseže zvišanje eritopoeze (Wilber, Stray-Gundersen, & Levine, 2007) in koncentracije hemoglobina (Astrand & Rodhal, 1986).

Glede na to, da nihče od merjencev ni imel težav s povečano nadmorsko višino, nihče namreč ni kazal znakov višinskih bolezni, poleg tega pa se je FS pri vseh merjencih z vsako nadaljnjo meritvijo na Elbrusu znižala, sklepamo, da so merjenci bili dobro prilagojeni na povečano nadmorsko višino.

### **6.3 FS, izmerjena v naravnem okolju in višinski sobi**

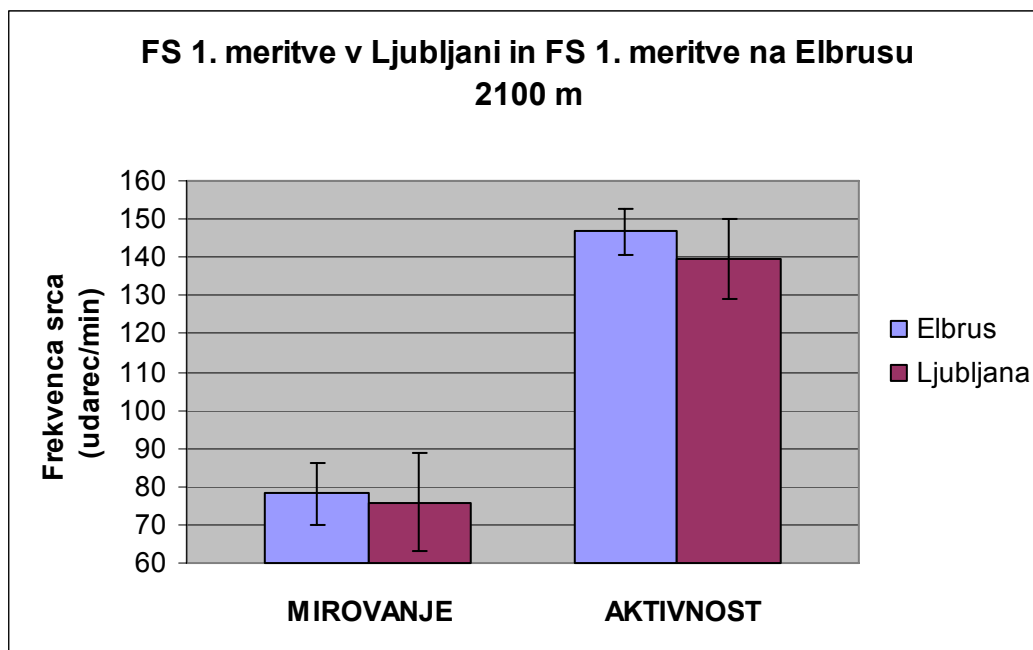
V raziskavi smo poskušali ugotoviti, ali sta si naravno in umetno okolje v svojih značilnostih enaka. Zanimalo nas je, če bodo rezultati pridobljeni v obeh okoljih v enakih pogojih med seboj enaki ali vsaj podobni.

#### **6.3.1 Pred odpravo**

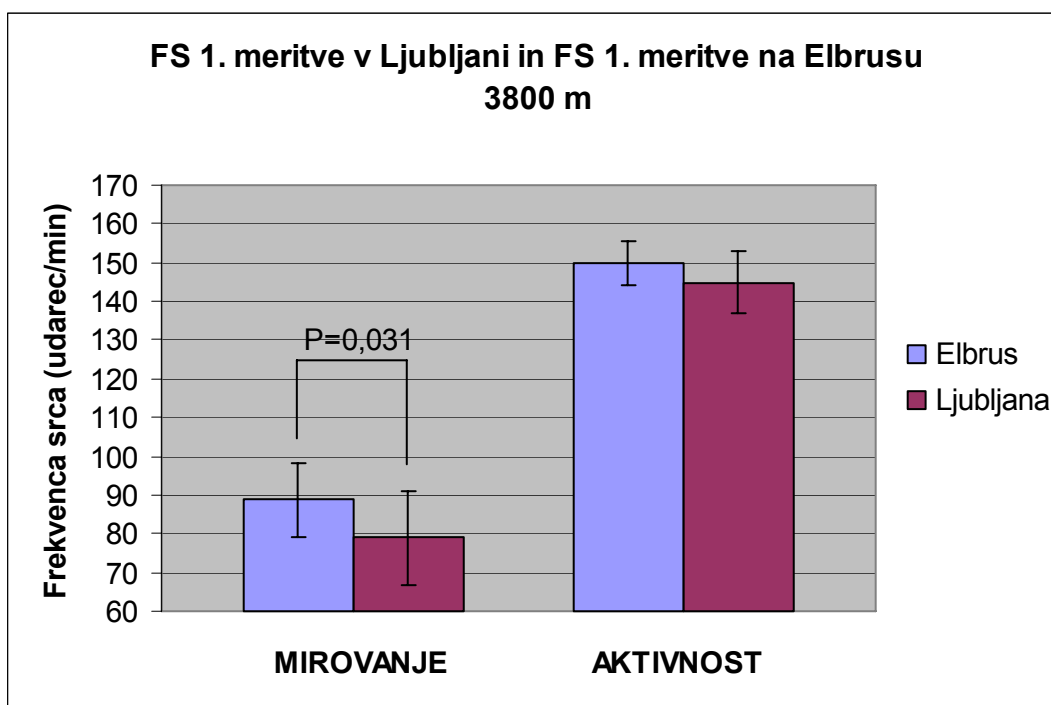
Za primerjavo naravnega in umetnega okolja med seboj smo primerjali podatke prve meritve narejene v Ljubljani in na Elbrusu (slika 14). FS je bila na nadmorski

višini 2100 m v času mirovanja v Ljubljani 74 udarcev/min, na Elbrusu pa 75 udarcev/min. V času aktivnosti je bila FS izmerjena v Ljubljani, 140 udarcev/min, na Elbrusu pa 147 udarcev/min. Na nadmorski višini 3800 m (slika 15) v Ljubljani je bila FS v mirovanju 79 udarcev/min, na Elbrusu 86 udarcev/min. Pri aktivnosti se je FS v Ljubljani zvišala do 146 udarcev/min, na Elbrusu pa do 150 udarcev/min. Kot je razvidno, je FS v mirovanju izmerjena v obeh okoljih na nadmorski višini 2100 m skoraj enaka. Opazili smo, da je FS v naravnem okolju nekoliko višja, vendar menimo, da sta si naravno in umetno okolje v svojih značilnostih podobna, kar se vidi tudi s statistične obdelave podatkov, saj razlike v FS niso statistično pomembne.

Statistično pomembne razlike smo ugotovili pri primerjavi prve meritve iz Ljubljane in prve meritve iz Elbrusa na nadmorski višini 3800 m v mirovanju (slika 15). Domnevamo, da je temu, tako ker so merjenci večino časa preživel na nadmorski višini 2100 m. Proces prilagajanja na povečano nadmorsko višino so merjenci namreč večino časa opravljali na omenjeni nadmorski višini in so na višje nadmorske višine odhajali le enodnevno. Zato menimo, da njihov organizem ni bil v dovoljšnji meri prilagojen na takšno nadmorsko višino (3800 m).



Slika 14: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 1. meritve v Ljubljani in 1. meritve na Elbrusu (2100 m).



Slika 15: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo 1. meritve v Ljubljani in 1. meritve na Elbrusu (3800 m).

Višinsko aklimatizacijo kot metodo dodatnega višinskega treninga uporablja vedno več športnikov. Raziskave na tem področju so pokazale, da je učinkovita aklimatizacija na naravni nadmorski višini od 2000 m do 2500 m in traja minimalno štiri tedne po 22 ur na dan. Pri uporabi simulirane višine pa je izpostavljenost hipoksiji lahko manjša, od 12 do 16 ur na dan, vendar mora biti nadmorska višina višja (2500 m-3000 m) (Wilber, 2007).

Pred kratkim so ugotovili, da uporaba hipoksije med počitkom pripomore k izboljšani fizični pripravljenosti. Ta način dovoljuje uporabo močnejših sredstev hipoksije, ki se enačijo z nadmorsko višino med 5000 m in 6000 m, kar v splošnem po nekaj minutni izpostavljenosti zdravi posamezniki dobro prenašajo. Obstajata dva načina, in sicer nenehna izpostavljenost hipoksiji med počitkom na nadmorsko višino 5000 m ter izpostavljenost hipoksiji v presledkih (Bärtsch & Saltin, 2008).

Zadnje raziskave so ugotovile, da ima trening v hipoksiji enake učinke kot v normoksiji, vendar je pri tem pomembno, da treniramo pri enakem obsegu (Bärtsch & Saltin, 2008).

Raziskovalci si glede enakosti naravnega in umetnega okolja niso enotni. Nekateri so namreč opazili zvišanje eritropotina (Rusko, Leppavuori, Makela, & Leppaluoto, 1995), drugi pa o takšnih rezultatih niso poročali (Martin, Hahn, Lee, Roberts, Victor, & Gore, 2002). Kljub temu, večina teh raziskovalcev poroča o pomembnih izboljšavah, po tem ko so športniki večkrat obiskali višinsko sobo in v njej opravili višinski trening »živi visoko – treniraj nizko« (Wilber, 2007).

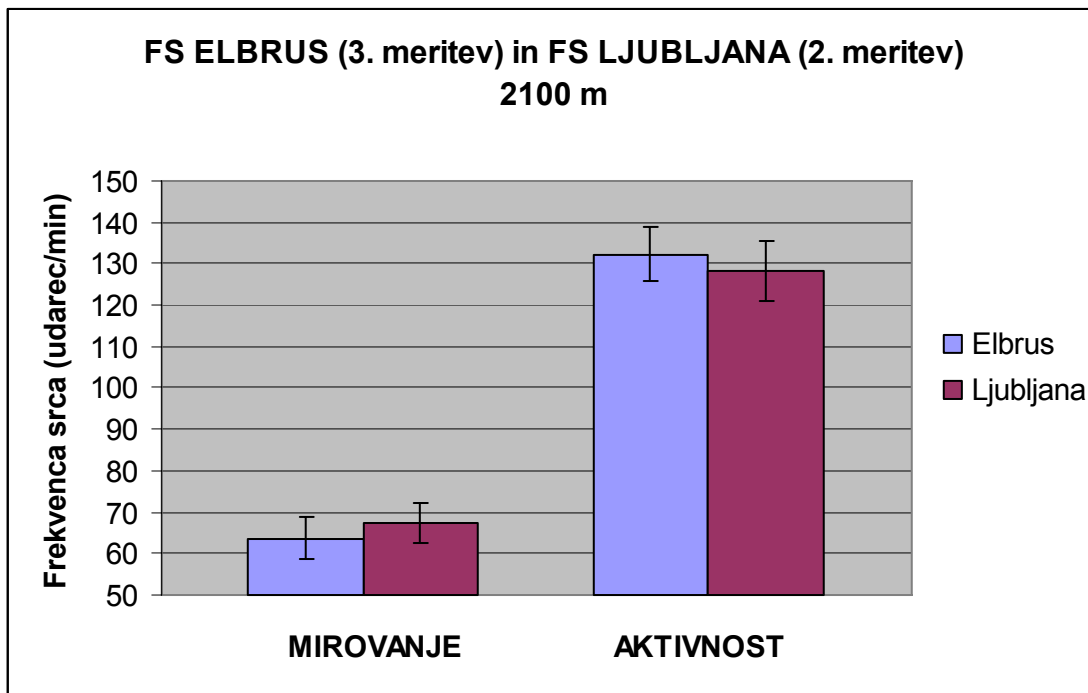
Rezultati kažejo, da je FS, izmerjena v naravnem okolju in v višinski sobi, podobna. Menimo, da se je za bivanje na povečani nadmorski višini mogoče prilagajati (aklimatizirati) tudi v višinski sobi in ne samo v naravnem okolju.

### **6.3.2 Po odpravi**

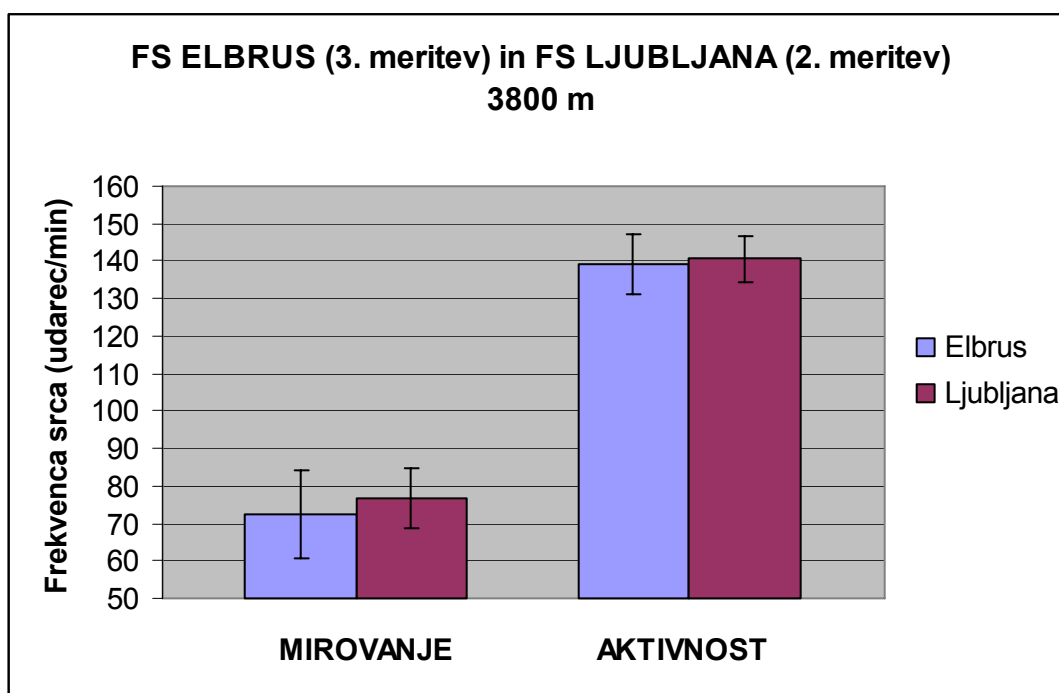
Za primerjavo FS, izmerjene v naravnem okolju in v umetnem okolju, smo uporabili rezultate zadnje meritve na Elbrusu in druge meritve v Ljubljani (takoj po odpravi). Slika 16 nam prikazuje, da je na nadmorski višini 2100 m FS v mirovanju na Elbrusu 63 udarcev/min, v Ljubljani pa 67 udarcev/min, v času aktivnosti je FS na Elbrusu 132 udarcev/min, v Ljubljani 128 udarcev/min. Na nadmorski višini 3800 m (slika 17) je FS na Elbrusu v času mirovanja 72 udarcev/min, v Ljubljani pa 76 udarcev/min. V času aktivnosti je FS na Elbrusu 139 udarcev/min, v Ljubljani pa 140 udarcev/min.

Na nadmorski višini 2100 m ni prišlo do statistično značilnih razlik med obema okoljema, statistično značilnih razlik pa nismo odkrili niti pri primerjavi naravnega in umetnega okolja na nadmorski višini 3800 m. Iz rezultatov tudi sklepamo, da sta si naravno in umetno okolje podobna in da se FS, izmerjena v mirovanju in med aktivnostjo, v različnih okoljih ne razlikuje.





Slika 16: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 2. meritve v Ljubljani in 3. meritve na Elbrusu (2100 m).



Slika 17: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 2. meritve v Ljubljani in 3. meritve na Elbrusu (3800 m).

Opaziti je, da se FS pri primerjavi naravnega in umetnega okolja med seboj razlikuje le v nekaj udarcih. Razlike so tako majhne, da pri statistični analizi nismo odkrili nikakršnih razlik. Po 18 dnevih aklimatizacije se FS več bistveno ne spreminja, ampak ostajajo njene vrednosti skoraj nespremenjene. Podobne zaključke so ugotovili tudi Antezana (1994), Reeves (1987) in Cornolo (2004), saj menijo, da se FS ob vzponu na povečano nadmorsko višino poveča in nato ustali na določeni ravni.

## 7. SKLEP

V diplomskem delu smo preučevali FS med odpravo Fakultete za šport na Elbrus (naravno okolje), v Ljubljani na Fakulteti za šport in v višinski sobi na Inštitutu Jožef Stefan (umetno okolje). V raziskavi smo ugotavljali (1.) kako se spreminja FS z nadmorsko višino, (2.) ali so razlike v FS, izmerjene na enaki nadmorski višini v naravnem okolju in v pogojih simulirane nadmorske višine (normobarična hipoksija – višinska soba) in (3.) ali se FS z aklimatizacijo spreminja. Zanimalo nas je ali se bo FS v obeh okoljih enako odzivala. Prva sprememba, ki jo opazimo pri naših meritvah je, da se FS z vzpenjanjem na vedno višjo nadmorsko višino viša, in sicer smo to ugotovili tako v naravnem kot v umetnem okolju.

Na človeški napor in na njegov odziv na zunanje okolje lahko vpliva tudi temperatura okolja. V ta namen smo pri vsaki meritvi merili temperaturo zraka in relativno vlažnost zraka. Ta dva dejavnika sta ves čas meritev ostajala nespremenjena, zato lahko trdimo, da nista vplivala na rezultate naše raziskave.

Človeški organizem potrebuje za prilagoditev na povečano nadmorsko višino potrebuje določen čas. Primerjava prve in druge meritve v Ljubljani kaže, da se je pri drugi meritvi FS znižala, kar smo pripisali učinkom aklimatizacije. Merjenci so na povečani nadmorski višini namreč preživeli dvajset dni, kar je bilo dovolj, da se je njihov organizem prilagodil novim življenjskim pogojem. Pri meritvah na Elbrusu tudi opazimo zniževanje FS z vsako nadaljnjo meritvijo, kar kaže na to, da so merjenci pri vsaki meritvi vedno boljše aklimatizirani.

Ugotovili smo, da so aklimatizacijski učinki v organizmu prisotni vsaj še en teden po vrnitvi iz povečane nadmorske višine, kar nam prikazuje druga meritev v Ljubljani. Pri tretji meritvi v Ljubljani, pa je opaziti, da se FS postopoma vrača nazaj na vrednosti, ki so bile izmerjene pred odpravo.

Pri primerjavi različnih nadmorskih višin med seboj smo opazili, da so te razlike najmanj vidne na nadmorski višini 3800 m. Menimo, da je temu tako, ker človeški

organizem na to nadmorsko višino ni bil dovolj prilagojen, saj v tem okolju vlada zmanjšani zračni tlak, zaradi česar mora srčna mišica bolj aktivno delovati.

Pri primerjavi naravnega in umetnega okolja (višinska soba) opazimo da je FS v obeh okoljih skoraj enaka, kar nam prikaže primerjava prve meritve v Ljubljani in prve meritve na Elbrusu ter tretje meritve na Elbrusu in druge meritve v Ljubljani. Ti rezultati odpirajo možnost uporabe višinske sobe za aklimatizacijo kot nadomestila za aklimatizacijo v naravnem okolju. Ugotovljeno je bilo, da so bile spremembe FS v naravnem okolju večje kot v umetnem okolju. Morda je razlog za to iskati v kratkem bivanju v višinski sobi, saj so bili merjenci pred izvajanjem meritev le 30 minut v višinski sobi. V nadaljnjih raziskavah bi bilo ta čas smiselno podaljšati.

## 8. LITERATURA

1. Antezana, A. M., Kacim, R., Le Trong J. L., Marchal, M., Abousahl, I., Dubray, C., & Richalet, J. P.(1994). Adrenergic status of humans during prolonged exposure to the altitude of 6,542 m. *Journal of applied physiology* 76 (3), 1055-1059.
2. Arnau, E. (2004). *Anatomski atlas in človeško telo*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
3. Astrand, P.O., & Rodhal, K. (1986). *Textbook of work physiology*. Singapore: McGraw Hill international editions.
4. Balado, D. (1996). *Exercise physiology; energy, nutrition and human performance*. Baltimore: Williams & Wilkins.
5. Bärtsch, P., & Saltin, B. (2008). General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18 (1), 1-10.
6. Bogaard, H. J., Hopkins, S. R., Yamaya, Y., Niizeki, K., Ziegler, M. G., & Wagner, P. D.(2002). Role of autonomic nervous system in the reduced maximal cardiac output at altitude. *Journal of applied physiology*, 93 (1), 271-279.
7. Boushel, R., Calbet, J. A., Radegran, G., Sondergaard, H., Wagner, P. D., & Saltin, B.(2001). Parasympathetic Neural Activity Accounts for lowering of Exercise Heart rate at High Altitude. *Circulation* 104 (15), 1785-1791.
8. Burnik, S. (2003). *Turno smučanje, plezanje v snegu in ledu*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
9. Coronolo, J., Mollard, P., Brugniaux, J. V., Robach, P., & Richalet, J. P. (2004). Autonomic control of the cardiovascular system during acclimatization to high altitude: effects of sildenafil. *Journal of applied physiology* 97 (3), 935-940.
10. deVries, H. A. (1986). *Physiology of exercise for physical education and athletics*. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers.
11. Guyton, A. H. & Hall, J. E. (2006). *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: Pennsylvania.

12. Hartley, L. H., Vogel, J. A., & Cruz, J. C. (1974). Reduction of maximal exercise heart rate at altitude and its reversal with atropine. *Journal of applied physiology* 36 (3), 362-365.
13. Houston, C. S. (1999). *Everest – gora brez milosti*. Tržič: Učila, d.o.o.
14. Hughson, R. L., Yamamoto, Y., McCullough, R. E., Sutton, J. R., & Reeves, J. T. (1994). Sympathetic and parasympathetic indicators of heart rate control at altitude studied by spectral analysis. *Journal of applied physiology* 77 (6), 2537-2542.
15. Iliev, I. (1992). *Training at altitude*. Basel: Karger.
16. Jereb, B. & Burnik, S. (2005). Monitoring heart rate during acclimatization. V: Jiri Balaš, Ondraj Pohanka, Ladislav Vomačko. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> international mountain and outdoor sports conference. Hrubá skala. Czech Republic. 96-101.*
17. Lasan, M. (2004). *Fiziologija športa – harmonija med delovanjem in mirovanjem*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
18. Lenfant, C., & Sullivan, K. (1971). Adaptation to high altitude. *N Engl J Med* 284 (23), 1298-1308.
19. Lazarini, F. & Brenčič, J. 1997. *Splošna in anorganska kemija (druga izdaja)*. Ljubljana: Državna založba Slovenija.
20. Martin, L. (1999). *All you really need to know to interpret arterial blood gases (2<sup>nd</sup> edition)*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
21. Mazzeo, R. S., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Podolin, D. A., Wolfel, E. E., & Reeves, J. T. (1995). Acclimatization to high altitude increases muscle sympathetic activity both at rest and during exercise. *American journal of physiology* 269 (1), 201-207.
22. Mazzeo, R. S., Child, A., Butterfield, G. E., Mawson, J. T., Zamudio, S., & Moore, L. G. (1998). *Journal of applied physiology* 84 (4), 1151-1157.
23. Mazzeo, R. S., (2008). Physiological responses to exercise. *Sports Medicine* 38 (1), 1-8
24. Plut, Š. (2002). *Anatomija in fiziologija človeka*. Ljubljana: DZS.
25. Reeves, J. T., Groves, B. M., Sutton, J. R., Wagner, P. D., Cymerman, A., Malconian, M. K., Rock, P. B., Young, P. M., & Houston, C. S. (1987). Operation Everest II: Preservation of cardiac function at extreme altitude. *Journal of Applied Physiology*, 63 (2), 531-539.

26. Saito, S., Shimada, H., Imai, T., Futamata, Y., & Yamamori, K. (1995). Estimation of the degree of acclimatization to high altitude by a rapid and simple physiological examination. *International archives of occupational and environmental health*, 67 (5), 347-352.
27. Soles, C. (2002). *Climbing: Training for peak performance*. Seattle: The Mountaineers Books.
28. Štrumbelj, B. (2002). Višinski trening. Ljubljana: Plavalna zveza Slovenije
29. Vrhovec, B., Gorjanc, J. & Mekljavić, B. I. (2002). Hipoksična soba v Ratečah. *Medicinski razgledi*, 41 (2-3), 177-182
30. Zupančič, A., Topolovec, J., Merc, K., Vindiš, K., Zdravkovič, M. & Tiselj, M. (2007). *Potapljanje in višinska bolezen*. Seminar, Maribor: Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta.
31. Žiberna, M., Gorjanc, J. (2002). Hipoksična soba: Rateče, prvi slovenski kraj s spremenljivo nadmorsko višino. *Atletika*, 27, 9-12.
32. Ward, M. P., Milledge, J. P. & West, J. B. (2000). High altitude medicine and physiology (3<sup>rd</sup> edition). London: Arnold publishing company.
33. Wilber, R. L., Stray-Gundersen, J. & Levine, B. L. (2007). Effect of hypoxic »dose« on Physiological responses and sea-level performance. *Medicine&Science in sport&Exercise* 39 (9), 1590–1599.
34. Wilber, R. L. (2007). Application of altitude / hypoxic training by elite athletes. *Medicine&Science in sport&Exercise* 39 (9), 1610 –1624
35. Willmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign Illinois. Human Kinetics.
36. Yamamoto, Y., Hoshikawa, Y., & Miyashita, M. (1994). Effects of acute exposure to simulated altitude on heart rate variability during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81 (3), 1223-1229.

#### **VIRI:**

1. Breščak, J. (2005). *Adaptacija nekaterih funkcionalnih, biokemičnih in antropometričnih lastnosti na enomesečne aktivnosti na alpinistični odpravi »Shisha Pangama 2003«*. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.

2. Debevec, T., (2006). *Frekvenca srca kot kazalec aklimatiziranosti na povečano nadmorsko višino*. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
3. Kocjan, N. (2003). Vpliv hipoksije na spremenljivost frekvence srčnega utripa. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Visoka šola za zdravstvo
4. Perčič, H. (2007). *Analiza himalajskih odprav Andreja Štremflja z vidika aklimatizacije na povečano nadmorsko višino*. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
5. Revija Vita. (2005). Ljubljana: Parmova 45. Pridobljeno 02. 12. 2007 s svetovnega spleta: [http://www.revija-vita.com/Vita\\_51/Poznate\\_visinsko\\_bolezen\\_/poznate\\_visinsko\\_bolezen](http://www.revija-vita.com/Vita_51/Poznate_visinsko_bolezen_/poznate_visinsko_bolezen)
6. Wikipedia. U.S.:Wikimedia Foundation, Inc. Pridobljeno 02. 12. 2007 s svetovnega spleta: [http://www.en.wikipedia.org/wiki/Hypoxia\\_\(medical\)](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Hypoxia_(medical)).



## **PRILOGE**

### **Priloga 1. Seznam slik, preglednic, grafov in enačb**

#### **Slike**

Slika 1. Zgradba srca

Slika 2. Vegetativno živčevje

#### **Preglednice**

Preglednica 1. Takojšnje in dolgoročne spremembe v delovanju srca med bivanjem in vadbo na zmerni višini

#### **Grafi**

Graf 1: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah pred odpravo (Ljubljana).

Graf 2: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah takoj po odpravi (Ljubljana).

Graf 3: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah mesec dni po odpravi (Ljubljana).

Graf 4: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS, v mirovanju in med aktivnostjo, na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (1. meritev - 01.april 2007).

Graf 5: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (2. meritev -11.april 2007).

Graf 6: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na različnih nadmorskih višinah na Elbrusu (3. meritev -19.april 2007).

Graf 7: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 300 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).

Graf 8: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 2100 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).

Graf 9: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 3800 m pred odpravo, takoj po odpravi in mesec dni po odpravi (Ljubljana).

Graf 10: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS, v mirovanju in med aktivnostjo, na nadmorski višini 2100 m pred, med in po aklimatizaciji (Elbrus).

Graf 11: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo na nadmorski višini 3800 m pred, med in po aklimatizaciji (Elbrus).

Graf 12: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 1. meritve v Ljubljani in 1. meritve na Elbrusu (2100 m).

Graf 13: Povprečne vrednosti, standardne deviacije in statistična pomembnost razlik FS v mirovanju in med aktivnostjo 1. meritve v Ljubljani in 1. meritve na Elbrusu (3800 m).

Graf 14: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 2. meritve v Ljubljani in 3. meritve na Elbrusu (2100 m).

Graf 15: Povprečne vrednosti in standardne deviacije FS v mirovanju in med aktivnostjo 2. meritve v Ljubljani in 3. meritve na Elbrusu (3800 m).

## **Enačbe**

Enačba 1: Minutni volumen srca (MVS)

