

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKO DELO

FRANC BOŽI EK

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

**NEKATERI VIDIKI VADBE
»ŽIVI VISOKO, TRENIRAJ NIZKO«
NA VADE E IN NJIHOVE ŠPORTNE DOSEŽKE**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR

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

SOMENTOR

asist. Vedran Hadži , dr. med.

RECENZENT

doc. dr. Jernej Kapus, prof. šp. vzg

AVTOR

Franc Božiček

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojim staršem in sestri, ki me ves čas pozitivno vzpodbujajo na življenjski poti in mi stojijo ob strani.

Posebna zahvala gre mentorju, doc. dr. Boru Štrumbliju, prof. šp. vzg. za pomoč pri izbiri naslova in pisanju te diplomske naloge.

Ključne besede: vadba »živi visoko, treniraj nizko«, višja naravna nadmorska višina, prilagoditev, hipoksija, normoksija, simulirana višina

NEKATERI VIDIKI VADBE »ŽIVI VISOKO, TRENIRAJ NIZKO« NA VADE E IN NJIHOVE ŠPORTNE DOSEŽKE

Franc Božiček

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2013.

Število strani 67, število slik 35, število virov 29 .

IZVLEČEK

V ospredju svoje diplomske naloge sem se trudil postaviti nekatere uinke vadbe po principu »živi visoko, treniraj nizko« na vade e in njihove športne dosežke.

V uvodnem delu je predstavljena vadba »živi visoko, treniraj nizko« kot ena izmed mnogih metod, ki se danes uporablja z namenom, da bi športniki izboljšali rezultate. Pri vadbi »živi visoko, treniraj nizko« vade i vadijo na višini do 1300 m, po ivajo pa na višji nadmorski višini. Predstavljeno je tudi, katere višine so najprimernejše za vadbo in kako dolgo naj bi vadba trajala. Razložene so fiziološke spremembe, ki nastanejo kot posledica izpostavljenosti višjim nadmorskim višinam. Prav tako pa je razloženo, kako in s kakšnimi pripomo ki se lahko ustvarijo pogoji višje nadmorske višine v nižini.

Diplomsko delo je monografskega tipa, kar pomeni, da temelji na metodi zbiranja podatkov iz doma e in tuje strokovne literature. Pri nastajanju diplomske naloge so bili uporabljeni tuji viri, ki so razpoložljivi na svetovnem spletu (elektronska izdaja znanstveno raziskovalnih revij) oziroma so objavljeni v znanstveno raziskovalnih revijah. Najprej smo poiskali literaturo, primerno naslovu, nato pa smo jo dobro pregledali in vklju ili izsledke, kateri so pomembni in zna ilni za študijo. Pri vklju evanju primerne literature pa

smo se omejili na določene kazalce in iskali tisto literaturo, v kateri so ugotavljali spremembo hemoglobina, eritropoetina, rdečih krvnih teles, prostih radikalov in kemičnih pufrov.

V osrednjem delu diplomskega dela so predstavljeni izsledki raziskav, ki so raziskovale učinkovitost metode vadbe »živi visoko, treniraj nizko« na športnike. Povečanje koncentracije eritropoetina, povečanje števila rdečih krvnih teles in povečanje skupne mase hemoglobina je zasledila večina raziskav na višini med 2500 m in 3000 m. Višje višine povzročajo več negativnih učinkov. Vadba »živi visoko, treniraj nizko« se priporoča predvsem za vzdržljivostne športe, kot so: smučanje, tek na smučeh, tek na dolge in srednje proge, triatlon, plavanje, kolesarjenje. Vadba naj bi trajala približno od 3 do 4 tedne, ker se mora telo ob prihodu na višino aklimatizirati, kar traja približno 2 tedna. Učinki vadbe »živi visoko, treniraj nizko« pa trajajo približno 10 dni po prihodu športnikov v nižino.

Raziskave so nas pripeljale do ugotovitev, da so rezultati raziskav o vplivih na športnike in športne dosežke po principu »živi visoko treniraj nizko« precej nasprotujoči. Nekatere raziskave nakazujejo pozitivne učinke na športnike, medtem ko jih druge raziskave sploh ne zaznajo.

ABSTRACT

Purpose of this study is to present some of the effects of exercise on the principle of "live high train low" on athletes and their sporting achievements.

In the introduction we present that "live high train low" exercise is one of the many methods that are used today in order to improve athlete performance. It is also explained what heights are the most suitable for exercise and how long the exercise should take. In the "live high train low" exercise athletes practice in the lowlands to 1300m, while they rest and sleep at higher altitudes. The introduction explains physiological changes that occur as a result of exposure to higher altitudes. It also explains how and with what accessories we can create conditions of higher altitudes in the lowlands.

The study is a monographic type, which means that is based on the data collection method in domestic and foreign literature. In part of this thesis foreign sources were used, which are available on the World Wide Web (electronic format of scientific research journals) or that are published in scientific research journals. First of all, we found literature appropriate for title of this thesis, reviewed it and include findings that are important and significant for the study. Regarding the inclusion of the appropriate literature, we limited ourself to certain parameters and looked at literature studying changes in haemoglobin, erythropoietin, red blood cells, free radicals and muscle buffer capacity.

In the central part of the study the results of research examining the effects of "live high train low" method to athletes are presented. Increased secretion of erythropoietin, increased red blood cell count and increased total hemoglobin mass traced most of the research at a heights between 2500 m and 3000 m. Higher heights cause more negative effects. "Live high train low" exercise is recommended primarily for endurance sports such as skiing, cross country skiing, running long and middle distance, triathlon, swimming, cycling. Exercise should take around 3 to 4 weeks in order for the body to acclimate to

heights at arrival, which takes approximately 2 weeks. Effects of "live high train low" exercise will last for about 10 days after the arrival of athletes to the lowlands.

Research has led me to conclude that the results of research on the effects on athletes and sporting achievements on the principle of "live high train low" are quite contradictory. Some studies suggest positive effects on athletes, while other studies did not detect any positive effect.

KAZALO

1. UVOD.....	10
1.1 DEFINIRANJE VIŠINE IN FIZIOLOŠKE SPREMEMBE V ORGANIZMU	13
1.2 REAKLIMATIZACIJA	16
1.3 LIVE HIGH TRAIN LOW – LHTL – ŽIVI VISOKO TRENIRAJ NIZKO ...	17
1.4 SIMULIRANA VIŠINA	21
CILINDRI NA HIPOBARI NA KOMORA	21
HIPOKSI NI ŠOTOR	22
NORMOBARI NA KOMORA.....	23
2. PREDMET IN PROBLEM.....	24
2.1 CILJI.....	24
3. METODE DE LA	25
4. RAZPRAVA.....	26
4.1 LHTL IN HEMOGLOBIN.....	26
4.2 LHTL Z UPORABO NORMOBARI NE HIPOKSIJE	35
4.3 OKSIDATIVNI IN ANTIOKSIDATIVNI STRES	44
4.4 RAZLI NE PRILAGODITVE IN VADBA NA VIŠJI NADMORSKI VIŠINI	49
4.5 RAZLI NE FIZIOLOŠKE SPREMEMBE	53
4.6 ŠPORTNI DOSEŽKI	60
5. SKLEP	62
6. LITERATURA	64

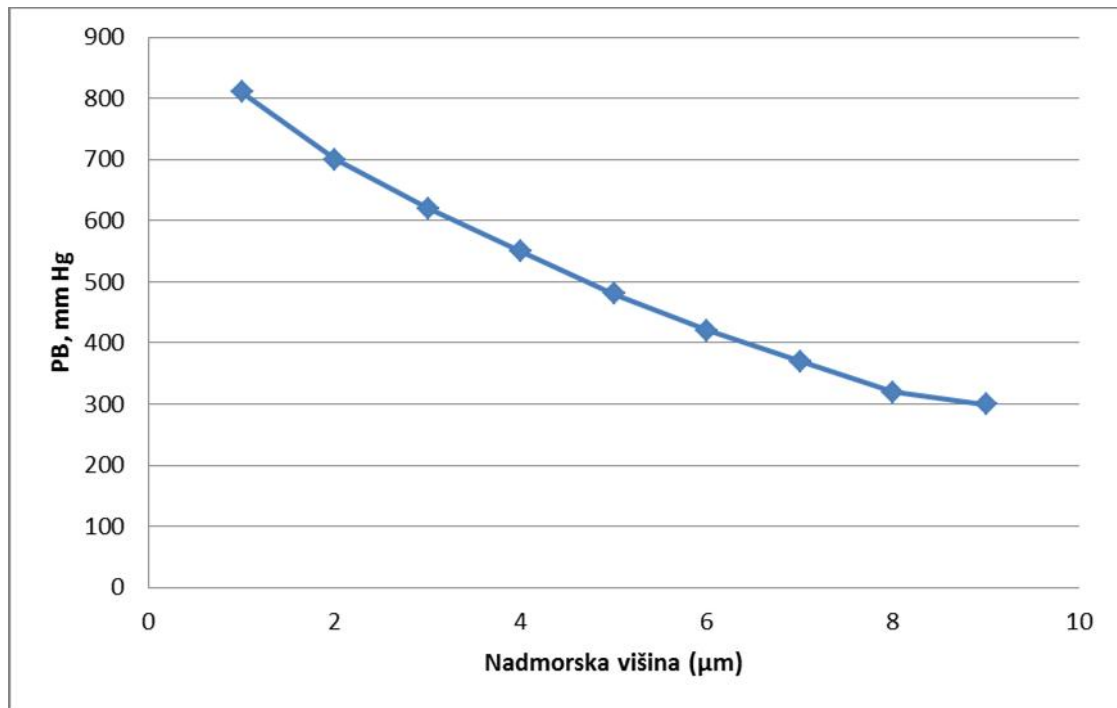
1. UVOD

V metodiki vadbe vrhunskih športnikov je veliko različnih pristopov. Danes poznamo tudi inke različne oblike vadbe na športnike, vendar pa se ves čas pojavljajo nove oblike oziroma pristopi k vadbi. Eden takih pristopov je vadba na višini. Tako kot se pojavljajo različni pristopi v metodiki vadbe, tako se pojavljajo različne vrste vadbe na višini. Višinsko vadbo lahko izvajamo v tako imenovanih višinskih centrih, današnja tehnologija pa nam omogoča tudi, da v nižini simuliramo višino. Višino lahko simuliramo z normoksično hipobarično komoro ali hipoksično komoro. V prvi metodi je zmanjšan tlak kisika v prostoru, v katerem se nahajamo, v drugi metodi pa je zmanjšana vsebnost kisika. Tako poznamo različne vadbe po principu: Živi visoko - treniraj visoko, živi visoko - treniraj nizko in živi nizko - treniraj visoko.

Metoda višinskega vadbe se uporablja že nekaj časa in je postala skorajda sestavni del vadbenih programov mnogih športnikov. Trenerji se odločajo za vadbo na višini, predvsem zaradi povečanja športnikovih aerobnih sposobnosti, povečanja hitrosti in koordinacije, izboljšanje regeneracijskega časa med dvema tekmovanjema in izboljšanja nastopa na višini. (Richardson, 1995).

Medtem ko je splošno sprejeto, da vadba na višini ugodno vpliva na dosežke na višini in se je potrebno pred tekmovanji na višino nad približno 1500 m aklimatizirati, vpliv višinskega vadbe v nižini pa še ni isto pojasnjen. Pomanjkljivo pojasnjevanje je povezano z majhnim številom znanstvenih informacij. Kljub številnim zgodbam, ki opisujejo kako dobro so športniki nastopali po vadbi na višini, na tekmovanjih v nižini, obstaja malo fizioloških obrazložitev, zakaj je prišlo do izboljšanja rezultata, do katerega ne bi moglo priti samo z vadbo v nižini (Štrumbelj, 2002).

Na pove ani nadmorski višini skuša loveško telo ohranjati homeostazo v kar najbolj neugodnih razmerah. Porušeno ravnovesje v telesu na višini pa je posledica znižanega delnega tlaka kisika kot posledica nižjega barometri nega tlaka. Spremembe v organizmu na višini pa so razli ne glede na nadmorsko višino, na in in trajanje bivanja (Richardson, 1995).



Slika 1: Graf barometri nega tlaka kot funkcija višine (Iliev, 1992).

1.1 DEFINIRANJE VIŠINE IN FIZIOLOŠKE SPREMEMBE V ORGANIZMU

Znano je da so že na višini približno 1200 m otežene zmožnosti za premagovanje napora, ki lahko trajajo 2 minuti ali več (Astrand, 1986), nad 1500 m pa se zmožnosti za premagovanja napora bistveno nižajo (Fox, Bowers, Foss, 1988).

Višine lahko definiramo kot:

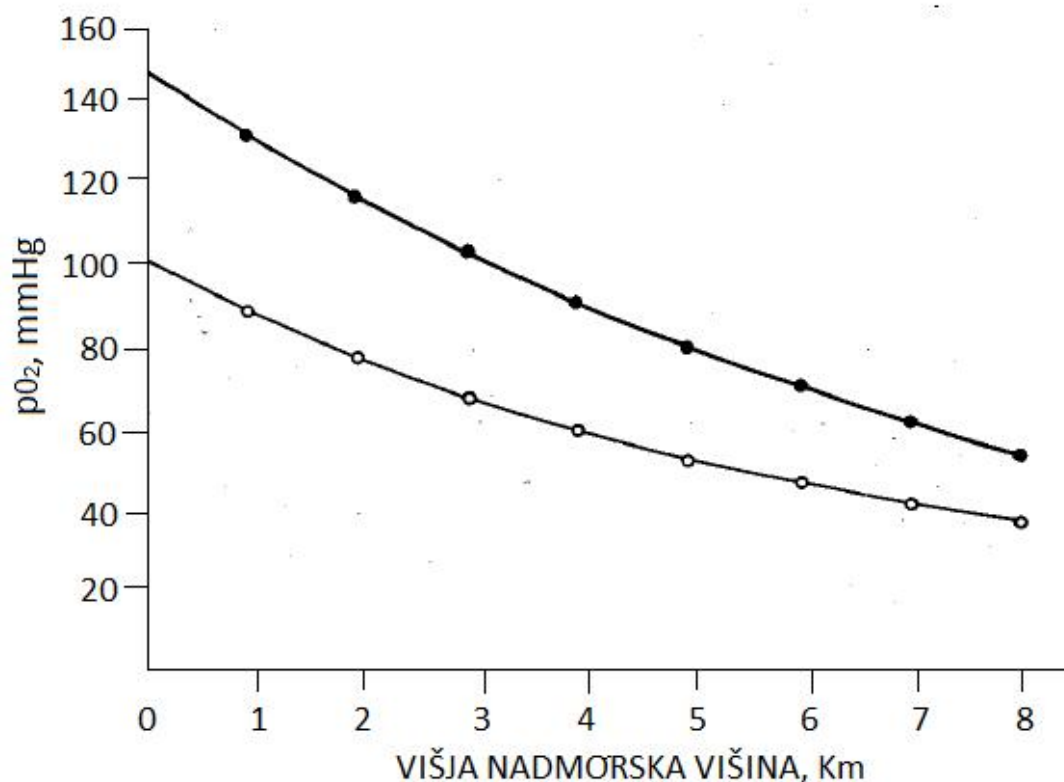
- nizke do 1200 m,
- srednje od 1300 m do 2500 m,
- visoke nad 2500 m (Suslov, 1994).

Velikokrat se pojavlja vprašanje, katera je tista višina, ki naj bi izboljšala športne rezultate, katera naj bi bila optimalna višina in katere višine se odsvetujejo.

Višina za izboljšanje športnih rezultatov naj bi bila vsaj med 1200 m in 1500 m (Fox, Bowers in Foss, 1988), optimalna višina naj bi bila nekje med 1800 m in 2600 m (Arcelli, Lenzi, 1996) in le redko so priporočene višine (Baumann, Bonov, Daniels in Lange, 1994). Te raziskave potrjuje tudi praksa, saj je od tridesetih športnih višinskih centrov na svetu kar sedemindvajset centrov zgrajenih na višinah med 1560 m in 2500 m nadmorske višine.

Zmanjšana gostota zraka na višini vpliva na mehanizem dihanja. Del respiratornega dela je porabljen za gibanje zraka proti uporju ozračja. Maksimalna sposobnost respiratornega dela je znatno višja na višini kot v nižini. Sposobnost respiratornih mišic za doseganje alveolarnega pritiska je zmanjšana pri nizkem barometričnem pritisku, vendar pa pride zaradi zmanjšane uporbe gibanja zraka pri nizkem barometričnem pritisku do zmanjšane ventilatorne dela pri enaki ventilaciji (Astrand, Hollman, 1994).

Kisikov pritisk v alveolarnem zraku in s tem kisikov pritisk v arterialni krvi je povezan z jakostjo plju ne ventilacije v povezavi z zgradbo in pritiskom vdihanega zraka (Illiev, 1992).



Slika 2: Delni tlak kisika v trahealnem zraku (zgornja krivulja) in alveolarnem zraku (spodnja krivulja) kot funkcija višine (Illiev, 1992).

Bivanje in gibanje na ve ji nadmorski višini predstavljata s fiziološkega vidika stres na organizem zato, ker enaka obremenitev na višji nadmorski višini predstavlja za organizem ve ji napor kot enaka obremenitev na obi ajni višini. Telesna zmogljivost se pri dolgotrajnih obremenitvah zniža. Zaradi znižanega delnega tlaka kisika se pove ata plju na ventilacija ter frekvenca srca, s imer se poskuša zagotoviti dovolj kisika (Astrand, 2004; Mccradle, 1991, Mintzer, 2003; Shephard; Wilmore in Costill, 1994). Prilagoditev na hipoksijo zahteva dolo en as. Izpostavljenost hipobari ni hipoksiji ima velik vpliv na lovekove funkcionalne zmogljivosti. Hipoksija, povzro ena s pove ano nadmorsko višino, povzro i znižanje submaksimalnih in maksimalnih zmogljivosti tako med akutno kot dolgotrajno izpostavljenostjo v hipoksiji (Fulco, 1998, Lawler,

1988, Wagner, 1987). Glavni omejitveni dejavnik na povišani nadmorski višini je znižana aerobna moč, ki jo povzročajo znižan tlak kisika v vdihanem zraku. Zniža se oksigenacija arterijske krvi in zniža se minutni volumen srca. Pokazalo se je, da se $\dot{V}O_2\text{max}$ (maksimalna poraba kisika) kot dober pokazatelj srčno-žilne, respiratorne in presnovne sposobnosti organizma zmanjša vse do 25 % vrednosti na običajni višini (Hollman 1994; Iliev, 1992).

Raziskave Troupa (1990) govorijo, da poraba kisika po prihodu v nižino precej niha vendar pa je po približno 7-12 dneh nižja kot pred vadbo na višini. Glede na raziskave Troupa (1990) je povečanje $\dot{V}O_2\text{max}$ opazen, vendar pa se poraja vprašanje, ali je do povečanja $\dot{V}O_2\text{max}$ prišlo kot posledica vadbe na splošno ali kot posledica vadbe na višini. Zanimivo pa je tudi, da so pri raziskavi Troupa (1990) prav tako ugotovili, da po prihodu z višine ni bilo obutnejšega izboljšanja $\dot{V}O_2\text{max}$. Na spremembe po prihodu z višine so v raziskavi Troupa (1990) ugotovili, da je pomemben tudi čas bivanja na višini. Optimalen čas bivanja na višini naj bi bil okoli 3 tedne (Troup, 1990).

Najpomembnejša prilagoditev pri vadbi na višini je povečanje števila rdečih krvnih celic, ki se tvorijo kot odziv na več sproščanje hormona eritropoetina v ledvicah kot posledica povečane pljučne ventilacije. S povečanim številom rdečih krvnih celic in mase hemoglobina v povezavi s tvorbo novih kapilar se je pokazalo, da se v športnikovem telesu poveča oksiforna kapaciteta krvi (Gonzalez M. in Fuentes D., 2011).

Prve dni se na povišani nadmorski višini lahko poveča koncentracija hemoglobina v krvi. Postopno povečanje eritropoetina dvigne hemoglobin na višji nivo, tako da je lahko količina kisika na liter krvi enaka pri aklimatiziranih na 4500 m in tistim na običajni višini. Ko organizem zazna hipoksijo, se postopno odzove s povečanim sproščanjem hormona eritropoetina. Eritropoetin je glikoproteinski hormon in je najpomembnejši hematopoetski rastni dejavnik. Višji nivo eritropoetina stimulatивно deluje na proces eritropoeze, s čimer se povečuje vsebnost eritrocitov v krvi. Funkcijo nosilca kisika opravljajo eritrociti ali rdeča krvna telesa. Delež rdečih krvnih telesc se lahko poviša iz 48 % na 65 %. Hemoglobin lahko narašča s hitrostjo 3–4 % na

teden, je pa res da obstaja izrazito individualen odziv na višino (Wilmore in Costill, 1994). Zaradi pove anja hemoglobina se morda izboljšajo puferske kapacitete, kar bi lahko pozitivno vplivalo na izboljšanje anaerobne kapacitete (Astrand, 2003). Po dolo enem obdobju aklimatizacije pride do pove anja kapilarizacije. Pove ano število kapilar zmanjša razdaljo med kapilaro in najbolj oddaljenimi celicami znotraj tkiv. Pove a se vsebnost mioglobina v skeletnih mišicah, kar ima pozitivni u inek na prenos kisika (Wilmore in Costill, 1994), pri enaki obremenitvi pa se pove a tudi delež ogljikovih hidratov (Vogt, 2003).

1.2 REAKLIMATIZACIJA

Vadba na višini se uporablja predvsem iz dveh razlogov. Prvi je ta, da bi športniki izboljšali rezultate v nižini, drugi pa je priprava na nastop na višini, kjer je za pripravo zlasti pri vzdržljivostnih nastopih nujno potrebna aklimatizacija. Organizem se za ne ob prihodu v nižino zelo hitro prilagajati pogojem v nižini. Spremembe so zelo različne in kažejo na individualen potek sprememb v organizmu. Pri ujo ih raziskav o povratku v nižino pa je zaradi narave procesa vadbe bolj malo, poleg tega pa so si rezultati nasprotujo i (Suslov, 1994).

e bi bile prednosti bivanja na višini odvisne samo od znižanja koli ine plazme, bi se kazalci rde ih krvni k vrnili na normalne vrednosti dan ali dva po prihodu z višine. V raziskavi Troupa, 1992 je bilo pokazano, da se je koli ina rde ih krvnih celic vrnila na normalno vrednost med 4. in 11. dnevom po povratku v nižino. Koncentracija eritropoetina se je vrnila na osnovne vrednosti dan ali dva po povratku, število retikulocitov pa med 4. in 11. dnevom po povratku z višine. Koncentracija 2,3DPG (difosfoglicerat) se prvih 14 dni po prihodu z višine rahlo pove uje glede na zadnji dan na višini, nato pa je po 14. dnevu zna ilno padanje koncentracije (Troup, 1992). O pove anju koncentracije hemoglobina se kaže tudi pri teka ih, saj je bilo po 3 - tedenski vadbi na višini 3350 m ve ja za 24%, po šestih tednih pa je bila še vedno za 8% višja kot pred višinsko vadbo (Škof, 1995).

1.3 LIVE HIGH TRAIN LOW - LHTL - ŽIVI VISOKO TRENIRAJ NIZKO

Nove metode in naprave za simulacijo višine so leta 1990 razvili v Skandinaviji in v ZDA. Trenutno obstaja veliko različnih oblik tako imenovane hipoksične vadbe, vendar pa imajo vse isti cilj in sicer izboljšati aerobne sposobnosti in pripraviti športnike na konkurenco na višini in nižini pri različnih športih (tek, plavanje, kolesarjenje....) (Millet G., Roels B., Schmitt L., Woorons X. in Richalet P., 2010).

.

V zadnjih desetih letih je v razvoju metoda LHTL, ki se je pokazala kot učinkovita metoda predvsem pri izboljšanju mišične zmogljivosti, hipoksičnega ventilacijskega odgovora in učinkovitosti pospešenosti eritropoze. Pri metodi LHTL športniki izvajajo vadbo na običajni nadmorski višini, faza poteka pa na določeni višini, minimalno 1500 m. Privajanje hipoksični izpostavljenosti se začne šele po 16. urah bivanja na višini (Millet G., Roels B., Schmitt L., Woorons X. in Richalet P., 2010).

Vzdrževanje ravnovesja notranjega okolja je pogoj za nemoteno delovanje vsake in vseh celic organizma. Težnja po enakih sestavi in temperaturi notranjega okolja se vzdržuje z obojestransko povezanostjo organizma z zunanjim okoljem preko pljuč, prebavne cevi, ledvic in kože. V sklopu organov vključeni v sistem za vzdrževanje enakega stanja notranjega okolja, sodeluje koža s krvnim obtokom, pri ohranjanju toplotnega ravnovesja anorganske sestave in volumna telesnih tekočin; prebavna cev z jetri, skupaj s krvnim obtokom (Lasan, 1996).

Kljub nejasnim ugotovitvam, o koristi višinske vadbe pa nekatere teorije narekujejo, da je najboljši pristop za vadbo preživeti nekaj tednov na višini 2500 m in vaditi na običajni višini (Allan, Christopher, David idr. 2001). Ta teorija na primer povzema raziskave, kjer je bila uporabljena simulirana višina, da bi se preučil vpliv zmerne hipoksije na intenzivnost vadbe in fiziološke prilagoditve na spanje v zmerni hipoksiji. Raziskava Allana, Christopherja, Davida idr. (2001) je to ugotavljala na smučarskih, kajakaških, triatloncih in tekačih na dolge proge. Raziskava je pokazala, da ko je bila vadba na

običajni višini intenzivnejša kot 55 % $\dot{V}O_2\text{max}$, se je na simulirani višini 1800 m bistveno povečal srčni utrip in vsebnost laktata, predvsem pri smučarjih tekačih. Pokazalo se je tudi, da se je eritropoetin povečal za 80% v zgodnjih fazah hipoksične izpostavljenosti, količina retikulocitov pa ni bistveno presegala nadzorovane meje (Allan, Christopher, David idr. 2001). Zanimivo pa je da povečane mase hemoglobina ni bilo, $\dot{V}O_2\text{max}$ pa se je nagibal k zmanjšanju. Spanje v zmernih hipoksijah na višini med 2650 m in 3000 m za največ 23 dni ponudi praktične koristi za vrhunske športnike (kajakarje, smučarje tekače, triatlonce in tekače na dolge proge), uinkov zaradi povečane mase hemoglobina pa najverjetneje ne bo (Allan, Christopher, David idr. 2001)

Intenzivnost vadbe LHTL je pogojena z zmerno hipoksijo (Levine in Stray-Grundensen, 1997). To so ugotavljali na primeru kolesarjev, ki so si sami izbirali nižje obremenitve za visoko intenzivne intervalne vadbe. Pokazalo se je, da se je ventilacija zmanjšala na simulirani višini 2100 m. Glede na to, da je bila vsebnost laktata med intervalno vadbo podobna normoksičnim in hipoksičnim pogojem, se zdi da je na izbiro obremenitev močno vplivala fiziološka povratna informacija (vsebina arterijskega kisika), ki pa je očitno zelo pomemben element (Rice, 1999). Zanimivi so podatki testov smučarjev tekačev, ki kažejo, da zmerna hipoksija zmanjša obremenitev v povezavi z fiziološkimi odgovori, samo takrat kadar intenzivnost vadbe presega določen prag fizioloških odgovorov. Pomembna ugotovitev je bila, da verjetno vadba LHTL ne bo imela nobenega uinka na simulirani višini 1800 m, če bo srčni utrip pod 140 udarcev na minuto in če bo vsebnost laktata v krvi manj kot 1.5 mmol (Allan, idr. 2001).

Enakovredna nasičenost s kisikom se kaže pri športnikih, ki so spali v hišah, kjer je bila višina simulirana in pri športnikih, ki so spali na naravnih višinah (Fulco in Cymerman, 1988). Postopno povečanje nasičenosti kisika v prvih 4 nočeh povzroča določeno stopnjo aklimatizacije kjer so športniki spali na simulirani višini, lezli pa so bili izpostavljeni normoksiji. To zagotovo vključuje hiperventilacijo, saj so krvni vzorci teh športnikov zjutraj pokazali zmanjšanje ogljikovega dioksida in povečanje pH vrednosti. Večanje pH

vrednosti je bilo relativno kratko najverjetneje zaradi tega ker je znano, da ledvice s povečanim delovanjem zaradi respiratornih alkaloz na višji nadmorski višini izločajo bikarbonat (Heath in Williams, 1995).

Spanje v razmerah zmerne hipoksije izzove pomembno povečanje koncentracije eritropetina. To se je pokazalo pri tekačih na srednje proge, ki so imeli z vadbo LHTL po 30 urah bivanja na 2500 m povečano količino eritropetina za 57 %. Za etno 83 % povečanje eritropetina pa se je pokazalo na smučarjih tekačih, ki so bivali na simulirani višini 2500 m in vadili na običajni višini. Zvečanjem količine eritropetina pa niso potrdili, da bi se s tem povečalo tudi število eritrocitov v času od 11 do 23 noči spanja na višini med 2650 m in 3000 m (Chapman idr., 1998; Rusko idr., 1999). Pomembna ugotovitev je bila predvsem ta, da odziv različnih skupin, ki so delovale po principu LHTL in kontrolnih skupin ni bil posebej različen za hematološke kazalce razen seruma eritropetina (Ashenden idr., 1999). Neuspehi za spodbujanje povečanja količine eritrocitov so se pokazali na športnikih, ki so bili izpostavljeni hipoksičnim pogojem od 8 do 11 ur v povezavi s tistimi, ki so bili izpostavljeni hipoksičnim pogojem od 12 do 16 ur (Rusko idr., 1999). Zanimivo je to, da so nekatere raziskave pokazale, da je eritropetinski odgovor enak 8, 12 in 16-urni hipoksični izpostavljenosti na višini 2440 m (Stray-Gundersen idr., 2000). Razlogov za toliko različnih ugotovitev je veliko, zato so nekateri avtorji uporabili tako imenovano »evans blue dye« metodo zato, da bi lažje določili stanje rdečih krvnih teles (Levine in Stray-Gundersen, 1997). Evans blue dye je barvilo, ki se neposredno vbrizga v kri in določa volumen plazme tako, da se količina rdečih krvnih teles izračuna na osnovi hematokrita (Burge in Skinner, 1995). Predpostavlja se, da celotno injicirano barvilo ostane v obtoku in se veže na albumin. Dokazali pa so, da lahko hipoksija poveča žilno prepustnost za albumin (Ogawa, 1992). Ugotovili so tudi, da lahko pride do povečane izgube tega barvila v obtoku v času, ko so ga injicirali in potem, ko so jemali vzorce po višinski izpostavljenosti. Posledično to lahko pomeni neto izgubo podatkov (Allan, idr. 2001).

Glede koli ine hemoglobina so ugotovili, da se ni povišal pri kolesarjih, ki so živeli 31 dni na nadmorski višini 2690 m (Gore idr., 1998) in kateri so imeli stalno spodbudo za sproš anje eritropoetina (Remes, 1979). Veliko znanstvenikov ugotavlja, da je pri športnikih z dolgo zgodovino vzdržljivostne vadbe zelo mala verjetnost za naravno pove anje celotne mase hemoglobina (Remes, 1979). Zanimivo je, da so nedavni pregledi potrdili, da se pri ljudeh, ki niso športniki in so tri tedne preživeli na višini 4000 m ne kaže pove anje mase hemoglobina (Sawka idr., 2000), prav tako pa niso zabeležili nikakršnega pove anja pri V_{O_2max} (Jensen idr., 1993). Izpostavljenost kroni nim višinam nad 5000 m lahko privede do izgube miši nih mitohondrijev (Hoppeler idr., 1990) in zmanjšanju aktivnosti mitohondrijskih encimov (Boutellier idr., 1983). Mitohondrijska degradacija lahko nastopi že na višinah med 2650 m in 3000 m. Zmanjšanje V_{O_2max} po zmerni hipoksi ni izpostavljenosti lahko odraža izboljšano u inkovitost oksidativne fosforilacije z donosom ATP – ja (adenozin trifosfat) z manjšo vsebnostjo kisika. Zna ilno je, da športniki, ki spijo v pogojih zmerne hipoksije, lahko na liter porabljenega kisika ustvarijo ve dela. Raziskovalci zato menijo, da je skoraj vsaka zmogljivost posledica pove ane anaerobne kapacitete oziroma anaerobnega metabolizma (Hochachka, 1991).

O u inkih LHTL vadbe pa je še zelo veliko nasprotujo ih si raziskav. Nekatere raziskave podpirajo posamezen na in vadbe, medtem ko druge niso našle nobenih pozitivnih u inkov vadbe na športnikov organizem in na športne dosežke. Tako je na tem podro ju še veliko nedore enih stvari, in sicer za katere športe oziroma športnike je vadba LHTL koristna, za katere se vadba odsvetuje in kakšni na ini vadbe so najprimernejši.

1.4 SIMULIRANA VIŠINA

Višinsko vadbo lahko izvajamo v tako imenovanih višinskih centrih, z možnostjo sodobne tehnologije pa lahko v nižini simuliramo višino. Višino lahko simuliramo z normoksi no hipobari no komoro ali hipoksi no komoro. V prvi metodi je zmanjšan tlak kisika v prostoru, v katerem se nahajamo, v drugi metodi pa je zmanjšana koncentracija kisika.

CILINDRI NA HIPOBARI NA KOMORA

Simulacija višine v fazi po itka s pomo jo cilindri ne hipobari ne komore. Višino simulira s pomo jo naprave, ki zmanjša tlak kisika v prostoru v katerem se nahajamo glede na višino, katero želimo simulirati.



Slika 3: Primer cilindri ne hipobari ne komore, ki lahko simulira višino najve do 4575m (Gonzalez M. in Fuentes D., 2011).

HIPOKSI NI ŠOTOR

Simulacija višine v fazi po itka s pomo jo cilindri nega hipobari nega šotorja. Višino simulira s pomo jo naprave, ki zmanjša koncentracijo kisika v prostoru, v katerem se nahajamo glede na višino, katero želimo simulirati.



Slika 4: Primer hipoksi nega šotorja, ki lahko simulira višino najve do 4270 m (Gonzalez M. in Fuentes D., 2011).

NORMOBARI NA KOMORA

Simulacija višine s pomojo normobari ne komore, kjer je zra ni tlak enak atmosferskemu tlaku v nižini, vendar se v sobo umetno uvede zrak z zmanjšanim deležem kisika.



Slika 5: Primer vadbe na cikloergometru v normobari ni komori (Gonzalez M. in Fuentes D., 2011).

V Sloveniji imamo trenutno dva centra, kjer lahko v tako imenovanih višinskih sobah simuliramo višino in sicer v Planici in na Rogli.

2. PREDMET IN PROBLEM

Vadba LHTL pomeni, da športniki vadijo v običajnih pogojih in lahko maksimalno obremenijo organizem. Prilagoditev na dražljaje vadbe pa poteka v pogojih hipoksije. Ta metoda vadbe se danes uporablja v svetu vrhunškega športa. Športniki vadijo zato, da bi dosegli, kar se da dobre rezultate. To lahko dosežejo na veliko različnih načinov. Eden izmed načinov pa je metoda vadbe LHTL. Pri vsaki vadbi se v človeškem organizmu dogajajo tako fiziološke kot tudi psihološke spremembe. Pri vadbi LHTL je potrebno povedati, da se vadba izvaja v nižini, po človek pa se na višini, kar pomeni, da je faza regeneracije telesa otežena. Regeneracija je otežena zato, ker je na višji nadmorski višini manjša vsebnost kisika v zraku kar pomeni, da človeško telo dobi manj kisika in je s tem oskrba tkiv s kisikom manjša. Ali je takšna vadba učinkovita, je še danes veliko vprašanje. Nekateri zagovarjajo vadbo LHTL kot pozitivno za športnikov organizem in športne rezultate, medtem ko drugi niso odkrili nikakršnih pozitivnih učinkov.

2.1 CILJI

Cilj tega diplomskega dela je:

S pomočjo analize rezultatov raziskav ugotoviti nekatere učinke vadbe LHTL na organizem in športne dosežke.

3. METODE DE LA

Diplomsko delo je monografskega tipa, kar pomeni da temelji na metodi zbiranja podatkov iz doma e in tuje strokovne literature. Medtem ko smo zbirali podatke, smo uporabili tudi tuje vire, ki so bili razpoložljivi na svetovnem spletu (elektronska oblika znanstveno raziskovalnih revij) oziroma, ki so bili objavljeni v znanstveno raziskovalnih revijah. Najprej smo poiskali literaturo primerno naslovu. Literaturo smo nato dobro pregledali in vklju ili tiste izsledke, kateri so pomembni in zna ilni za študijo.

Pri izdelavi diplomskega dela smo uporabili naslednje korake:

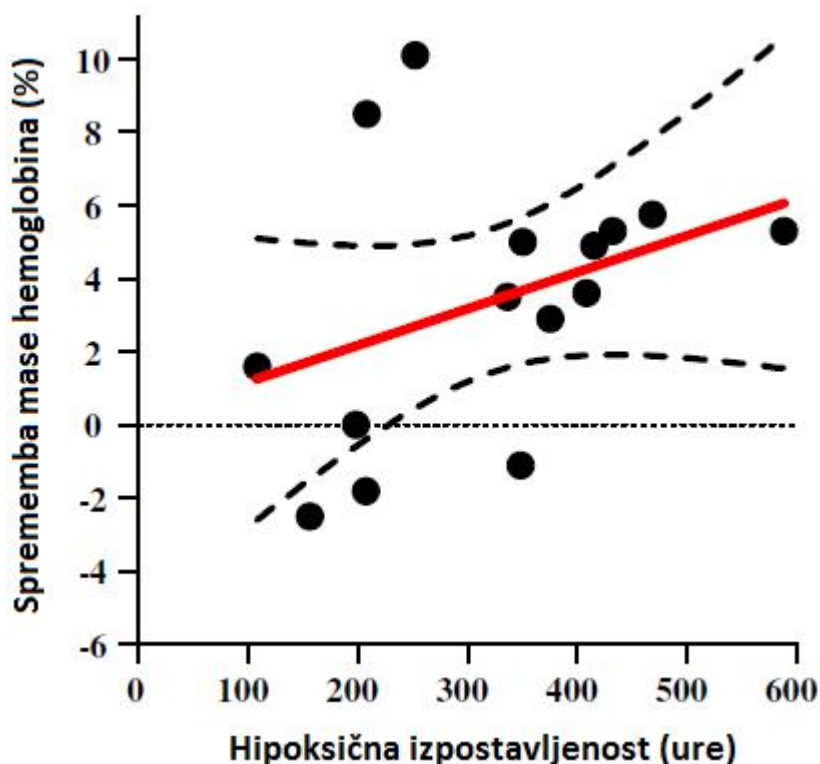
- zbiranje gradiva,
- pregledovanje gradiva,
- povzemanje gradiva,
- prevajanje gradiva,
- citiranje gradiva.

Pri pregledu literature smo se omejili na podatke, ki so spremljali spremembe pri hemoglobinu, eritropoetinu, rde ih krvnih telesc, $VO_2\text{max}$ in prostih radikalih.

4. RAZPRAVA

4.1 LHTL IN HEMOGLOBIN

Raziskava Clarka idr. (2008) je skušala ugotoviti po kolikšnem času in za koliko se poveča masa hemoglobina. V raziskavi je sodelovalo 12 dobro treniranih vzdržljivostnih kolesarjev. Kolesarji so 3 tedne vsak dan zapored po 14 ur na simulirani višini 3000 m in vadili na višini 600 m. Ugotovitev te raziskave je bila, da se je masa hemoglobina povečala za 3 % po 3 tednih bivanja na simulirani višini 3000 m. Zaznana je bila tudi povečana količina rdečih krvnih telesč vendar je natančnost zadnje meritve vprašljiva, ker je bila uporabljena metoda Evans blue dye dilution (barvilo, ki se vbrizga neposredno v kri) za določanje količine rdečih krvnih telesč. Pokazalo se je tudi povečanje seruma eritropoetina za kar 31 %. Za bolj natančne ugotovitve je raziskava vsak teden natančno pregledovala stopnjo naraščanja mase hemoglobina. To so počeli vse tri tedne. Pri pregledovanju so za vsak vzorec vzeli maksimalno 0.6 ml krvi. V povprečju so tako dobili v 3 tednih (98 ur izpostavljenosti hipoksiji) 1,1 % več mase hemoglobina. Tu se je pokazalo manjše odstopanje meritve, saj naj bi se masa hemoglobina povečala za 1 % po 100 urah hipoksije. Po teh in ostalih raziskavah pa ni znan optimalen čas bivanja na višji nadmorski višini, saj višanje mase hemoglobina ne more trajati nedolgo časa preden doseže vrhunec. Povečanje mase hemoglobina za 3.3 % po 3 tednih pa je bilo seveda povezano s spremembo $\dot{V}O_2\text{max}$. Pokazalo se je da, ko se poveča masa hemoglobina za 1 % se poveča $\dot{V}O_2\text{max}$ za 0.8 %. Raziskave poročajo, da povečanje $\dot{V}O_2\text{max}$ pomeni približno za tretjino do ene polovice povečanja količine rdečih krvnih telesč ali mase hemoglobina (Clark, idr. 2008).



Slika 6: Pove anje mase hemoglobina kot linearna funkcija celotnega asa izpostavljenosti v hipoksiji (sredinska neprekinjena rta med krogci) (Clark, idr. 2008).

Raziskava Garvicana idr. (2011) je ugotavljala, kakšen je prispevek celotne mase hemoglobina na pove anje aerobne vzdržljivosti pri kolesarjih, ki jih povzro a LHTL. Glavna ugotovitev te raziskave je bila, da se masa hemoglobina pove a pri kolesarjih, ki kolesarijo z maksimalno intenzivnostjo 4 min. po 26 no eh simulirane hipoksi ne izpostavljenosti. Pokazalo se je, da pove anje mase hemoglobina pove a tudi zmogljivost V_{O_2max} , na podlagi pove anega transporta kisika. Ugotovili so, da pove anje mase hemoglobina za 1g, pove a tudi zmogljivost V_{O_2max} za 4 ml/min. Prav zaradi tega pa so potem sklepali, da je pove anje mase hemoglobina v povezavi s pove anjem V_{O_2max} po hipoksiji odgovorno za izboljšave športnih dosežkov v nižini. Predvideva se tudi, da se prilagoditve na hipoksijo pojavljajo neodvisno od sprememb mase hemoglobina. V raziskavi so skušali izlo iti vlogo

hemoglobina. To so poskušali tako, da so ve krat odstranili hipoksijo, ki naj bi povzroča povečanje mase hemoglobina. Z uporabo te metode so ugotovili kateri športniki se odzivajo na hipoksijo in kakšen je hemoglobinski odgovor brez preprečitve kakršnihkoli drugih prilagoditvenih procesov. Podatki kažejo, da se je masa hemoglobina po LHTL povečala za 5 %. Raziskovalci so potem tudi opazili, da ni povsem gotovo, da se s povečanjem mase hemoglobina posledično poveča tudi zmogljivost $\dot{V}O_2\text{max}$ po LHTL. Raziskava je po eni strani ugotovila, da povečanje mase hemoglobina posledično izboljša aerobno vzdržljivost pri kolesarjih, ki jo povzročata LHTL, po drugi strani pa je ugotovila, da je povečanje mase hemoglobina za 5% predpogoj za povečanje aerobne vzdržljivosti pri kolesarjih. Ugotovili so tudi, da pospešena eritropoeza ni edini mehanizem s katerim LHTL izboljšuje anaerobne vzdržljivosti pri kolesarjih (Garvican, idr. 2011).

Raziskava Saundersa, Telforda, Pyne, Hahna in Gora (2009) je skušala ugotoviti ali povečanje mase hemoglobina, izboljša tekaške zmogljivosti (hitrost) pri tekačih, ki so izpostavljeni zmerni višini. Glavna ugotovitev te raziskave je bila, da je povečanje na zmerni simulirani višini 2860 m, v obdobju treh mesecev (415 ur) in vadbe v nižini bilo dovolj za povečanje mase hemoglobina. Masa hemoglobina naj bi se povečala za malo manj kot 1.2 %. Raziskava je prav tako ugotovila da je za povečanje mase hemoglobina in za pospešeno eritropoezo dovolj, če 3 tedne, 12 ur dnevno vadimo v nižini, bivamo pa na višini med 2100 m in 2500 m. Čeprav so ugotovili povečanje mase hemoglobina, povečanja $\dot{V}O_2\text{max}$ ni bilo. Glede na to, da se je povečala oskrba s kisikom, $\dot{V}O_2\text{max}$ pa se ni povečal je verjetno, da je prišlo do zmanjšane minutnega volumna. Raziskava je na koncu prišla do zaključka in ugotovila, da se tekaške zmogljivosti (hitrost) bistveno izboljšajo, če poivamo na višini 2860 m, vadimo pa v nižini, v obdobju med 20 do 60 dni (415 ur). Zmogljivosti naj bi se povečale predvsem zaradi povečane mase hemoglobina, ki omogoča večjo vsebnost kisika. (Saunders, Telford, Pyne, Hahn in Gore, 2009).

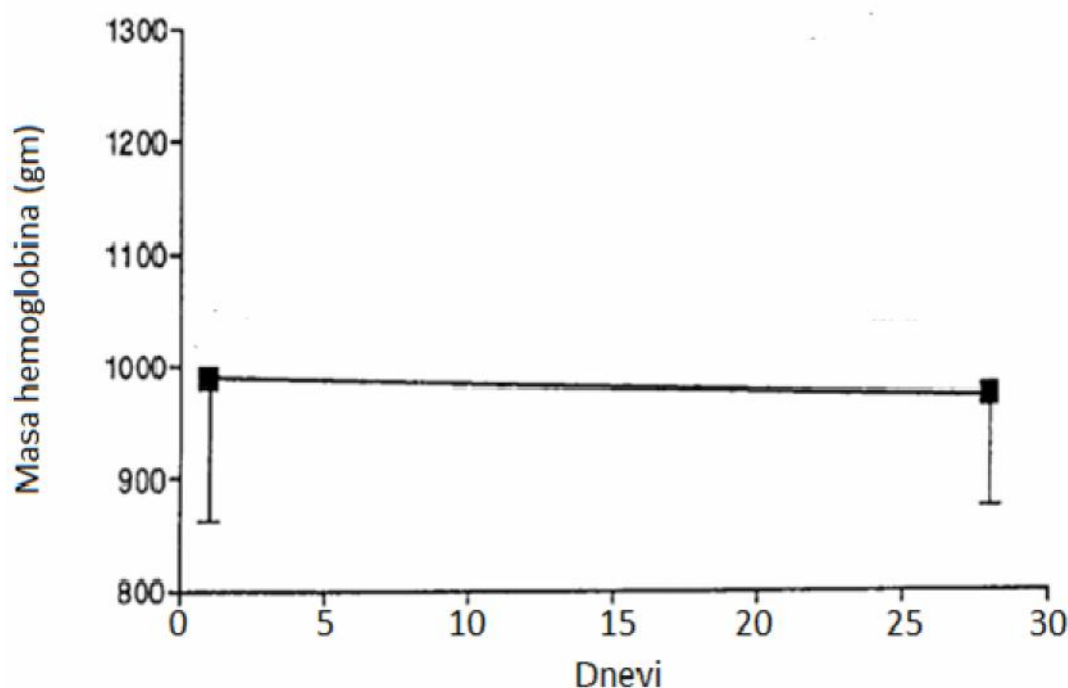
Raziskava Ashendena, Gora, Dobsona in Hahna (1999) je skušala ugotoviti kakšen je vpliv vadbe LHTL na vzdržljivostne športnike po 23 dneh. Ugotovili so, da se skupna masa hemoglobina ni spremenila po 23 dneh vadbe LHTL na višini 3000 m. V raziskavo so bili vključeni kolesarji, triatlonci in tekači na smučeh. Ugotovili so tudi, da ni bilo nikakršnih sprememb glede količine retikulocitov, ki so občutljivi na eritropoetske dražljaje. V raziskavi je bilo raziskano, da kljub uvedbi višje simulirane nadmorske višine ni spodbudilo proizvodnje rdečih krvnih teles. Raziskava je ugotovila naslednje (Ashenden, Gore, Dobson in Hahn, 1999):

-število rdečih krvnih teles se poveča za 5.3 %, če se počiva na višini 2500 m in vadi na višini 1250 m,

-število rdečih krvnih teles se poveča za 10.5 %, če se počiva in vadi na višini 2500 m,

Zanimivo je, da se je število rdečih krvnih teles po prenehanju vadbe znižalo za 6.1 % med vadbo pri športnikih, ki so bili vključeni v raziskavo. Raziskovalci zato pri tej raziskavi navajajo, da je vadba in počitek v nižini lahko prav tako dobra za povečanje števila rdečih krvnih teles. Zelo zanimiva pa je ugotovitev, da so raziskovalci med prebiranjem obstoječe literature ugotovili, da je skoraj vsaka raziskava, ki je navajala porast rdečih krvnih teles uporabljala Evans blue dye metodo. Mase rdečih krvnih teles se naj ne bi dalo izmeriti neposredno, lahko pa se jih izmeri posredno z tehniko redčenja, ki se zanaša na znano količino sledilne snovi, ki se veže na rdeča krvna telesa ali pa na plazmo. (Ashenden, Gore, Dobson in Hahn, 1999) .

Vsekakor pa naj bi obstajali dokazi, da Evans blue dye metoda ni primerna za merjenje mase rdečih krvnih teles po hipoksični izpostavljenosti. Raziskava predlaga, da je za merjenje rdečih krvnih teles, bolj primerno uporabiti instrumente, ki kažejo večjo resolucijo retikulocitov zato, ker bi z njimi odkrili že zelo majhne spremembe pri eritropoetskih dražljajih.

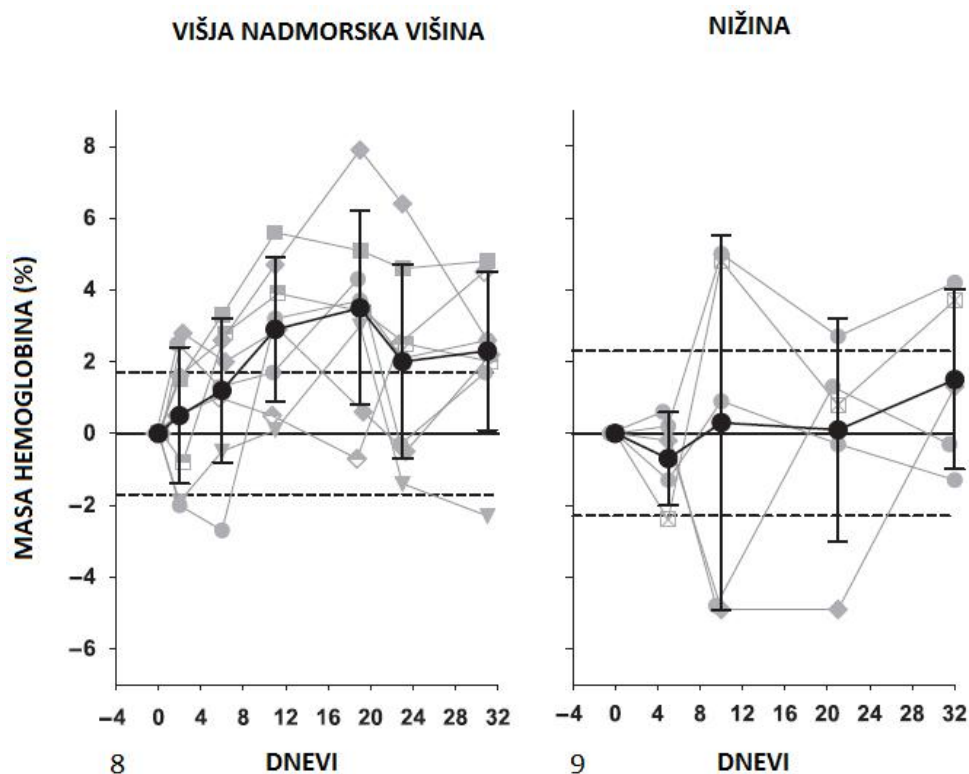


Slika 7: Skupna masa hemoglobina (Ashenden, Gore, Dobson in Hahn, 1999).

Na sliki 7 vidimo, da se skupna masa hemoglobina ni povečala po 23 dneh LHTL vadbe. Ashenden, Gore, Dobson in Hahn (1999) so mnenja, da se ni zaznalo povečanja anega hemoglobina zaradi uporabe tehnike Evans blue dye metode, ki pa se je že večkrat pokazala kot neuinkovita in netočna metoda.

Raziskava Garvicana, idr. (2010) je ugotavljala kakšni so časovni odzivi mase hemoglobina, eritropoetina in rdečih krvnih teles na višji nadmorski višini in v nižini. Pri raziskavi je sodelovalo 13 vrhunskih kolesarjev in je trajala 3 tedne. Kolesarji so bili razdeljeni v dve skupini in sicer v prvi skupini je bilo 8 kolesarjev, v drugi pa 5 kolesarjev. Prva skupina je poživela na višini 2760 m in vadila od 2 do 6 ur dnevno na višini 1000 m, medtem ko je druga skupina uporabljala višino največ do 1000 m tako za počitek kot tudi za vadbo. Opazili so skoraj 2.9 % povečanje mase hemoglobina pri kolesarjih, ki so poživeli na višini 2760 m, vadili pa na višini 1000. Ta ugotovitev potrjuje priporočila prejšnjih raziskav in sicer, da je za pospešeno eritropoezo potrebno biti

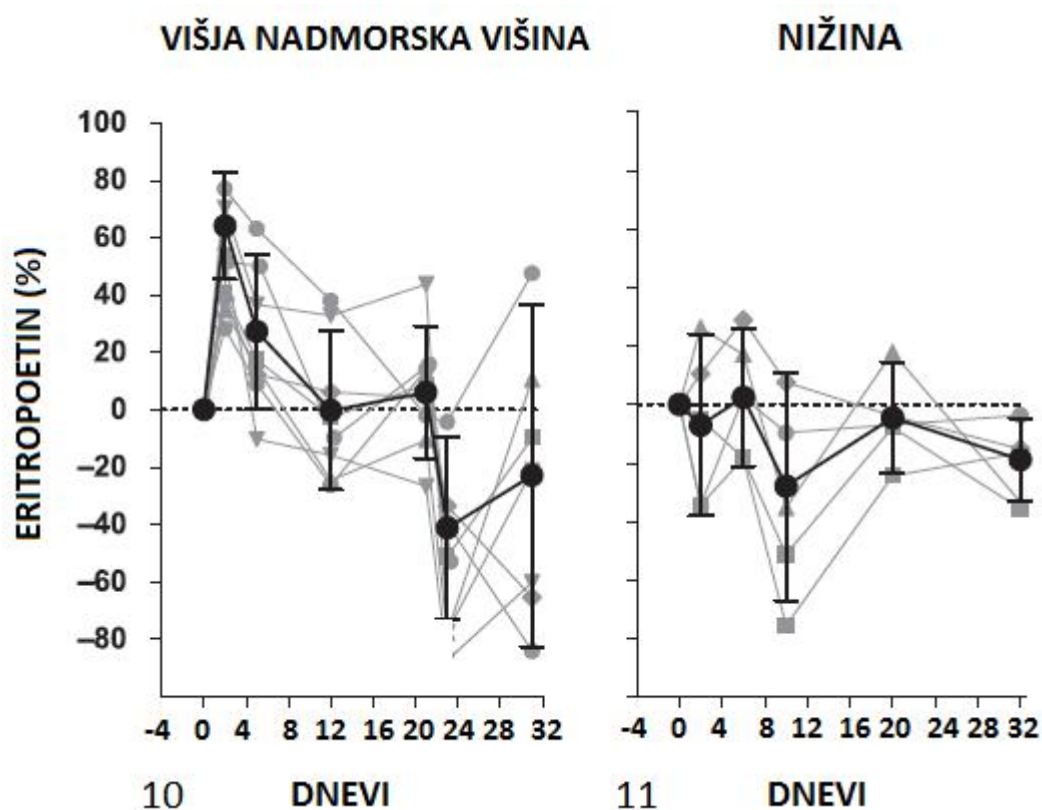
izpostavljen na višji nadmorski višini minimalno 3 tedne. Pri vadbi v nižini pa niso zasledili nikakršnega povečanja mase hemoglobina. Upad mase hemoglobina za 1.5 % se je pokazal po treh dneh, ko so se kolesarji spuščali iz višje nadmorske višine v nižino. Prav tako pa se je pokazal padec količine eritropoetina pri vseh 8 kolesarjih, ko so se vrnil v nižino. Zmanjšanje obsega rdečih krvnih teles so zasledili po 7 dnevni potitki, kar kaže, da takšne nenadne spremembe lahko zelo vplivajo na volumen krvi. V kolikor bi potem prišlo tudi do majhne izgube mase hemoglobina, po premoru in se potem spet dvignila masa hemoglobina, ko bi bili izpostavljeni višji nadmorski višini bi lahko bil to znak vrnitve eritropoetske homeostaze. Ugotovili so, da je osnovni odziv mase hemoglobina močno povezan s časom izpostavljenosti na višji nadmorski višini, pri čemer se povečanje mase hemoglobina lahko prikaže pri daljši izpostavljenosti. V raziskavi so prišli do ugotovitve, da vrnitev v nižino in s tem zmanjšanje količine eritropoetina ni povezano z zmanjšanjem mase hemoglobina (Garvican, idr. 2010).



LEGENDA: črni krogi kažejo povprečje skupine in standardni odklon, svetli kvadrati kažejo posamezne vrednosti.

Slika 8 in 9: Stanje mase hemoglobina med LHTL skupino in skupino v nižini (Garvican, idr. 2010)

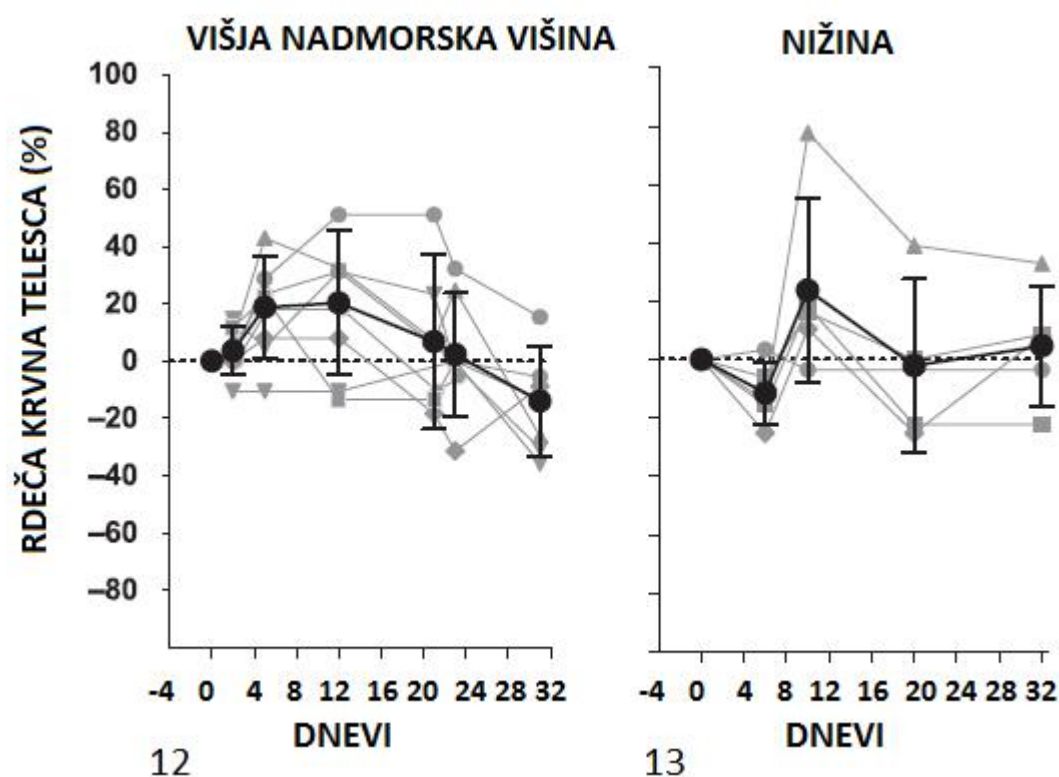
Na sliki 8 in 9 je prikazano stanje mase hemoglobina med skupino, ki je vadila na višini do 1000 m, po ivala pa na višini 2760 (slika 8) in skupino, ki je vadila in po ivala v nižini (slika 9). Slika 8 prikazuje 2.9 % pove anje skupne mase hemoglobina pri skupini, ki je vadila po principu LHTL, slika 9 prikazuje 1.9 % pove ane skupne mase hemoglobina pri skupini, ki je vadila in po ivala v nižini.



LEGENDA: rni krogci kažejo povpre je skupine in standardni odklon, svetli kvadrтки kažejo posamezne vrednosti.

Slika 10 in 11: Stanje eritropoetina med LHTL skupino in skupino v nižini (Garvican, idr. 2010)

Na sliki 10 in 11 je prikazano stanje eritropoetina med skupino, ki je vadila na višini do 1000 m, po ivala pa na višini 2760 (slika 10) in skupino, ki je vadila in po ivala v nižini (slika 11). Slika 10 prikazuje višjo eritropoezo skozi celotno obdobje vadbe pri skupini, ki je vadila po principu LHTL, slika 11 kaže, da ni prišlo do znatnega povišanja koli ine eritropoetina pri skupini, ki je vadila in po ivala v nižini. (Garvican, idr. 2010).



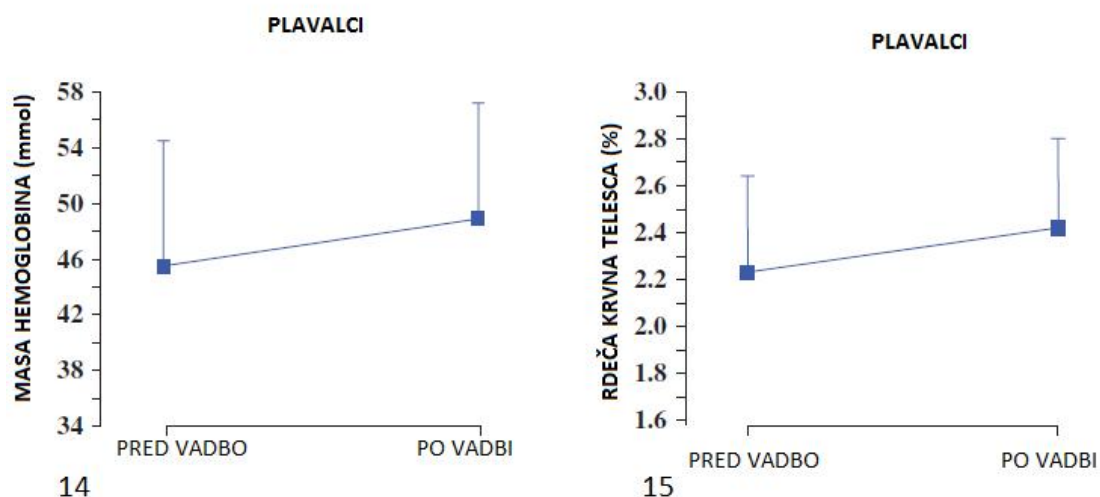
Slika 12 in 13: Stanje rde ih krvnih telesc med LHTL skupino in skupino v nižini (Garvican, idr. 2010)

LEGENDA: rni krogci kažejo povpre je skupine in standardni odklon, svetli kvadratki kažejo posamezne vrednosti.

Na sliki 12 in 13 je prikazano stanje rde ih krvnih telesc med skupino, ki je vadila na višini do 1000 m, po ivala pa na višini 2760 (slika 12) in skupino, ki je vadila in po ivala v nižini (slika 13). Na sliki 12 je vidno postopno ve anje koli ine rde ih krvnih telesc, nato pa njihov upad po vadbi kot posledica upada koli ine eritropoetina, slika 13 kaže nenadno pove anje koli ine rde ih krvnih telesc med vadbo nato pa postopni upad kot posledica upada koli ine eritropoetina po vadbi. (Garvican, idr. 2010).

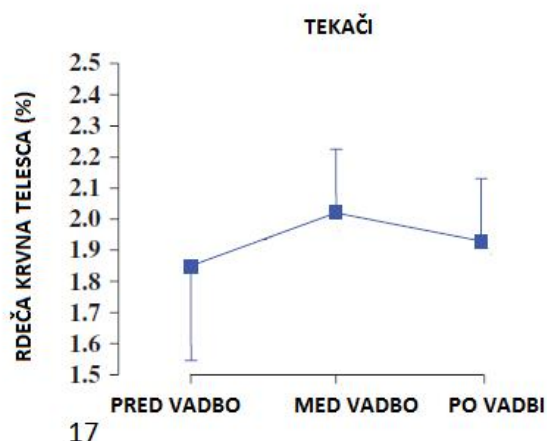
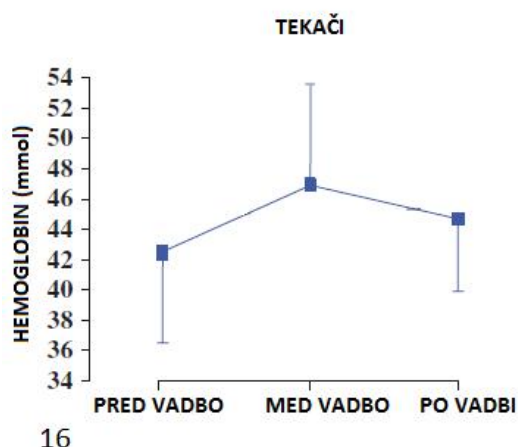
4.2 LHTL Z UPORABO NORMOBARI NE HIPOKSIJE

Raziskava Richaleta in Gora (2008) je ugotavljala kakšen je koncept vadbe LHTL z uporabo normobari ne hipoksije pri plavalcih in teka ih. Ugotovili so, da se maksimalne aerobne zmogljivosti pove ajo, e so izpostavljeni hipoksiji minimalno 18 dni. U inki so se pokazali, da e višina vadbe ali po itka ne presega 3000 m in e vadba traja 18 dni z minimalno 12 urno izpostavljenostjo v hipoksiji. Ugotovili so, da so športniki razvijali ventilacijsko aklimatizacijo. To pa se je pokazalo pri ventilaciji v pogojih hipoksije, ki pa je po 15 dneh po vadbi izginila. Prav tako so rezultati pokazali pove ano koli ino eritropoetina po 6 dneh na višini 3000 m. Zanimivo pri rezultatih je bilo, da se je pri plavalcih pove ala masa hemoglobina in koli ina rde ih krvnih telesc, po 13 dneh z 16 urno dnevno izpostavljenostjo hipoksiji. Prav tako se je pri teka ih pove ala masa hemoglobina in koli ina rde ih krvnih telesc, po 18 dneh z 14 urno izpostavljenostjo hipoksiji. Pove an $\dot{V}O_{2max}$ se je pokazal pri plavalcih po 13 dneh vadbe, pri teka ih pa po 18 dneh vadbe. Rezultati so pokazali, da izboljšane oksiforne kapacitete krvi za nejo postopno upadati po 15 dneh vadbe (Richalet in Gore, 2008).



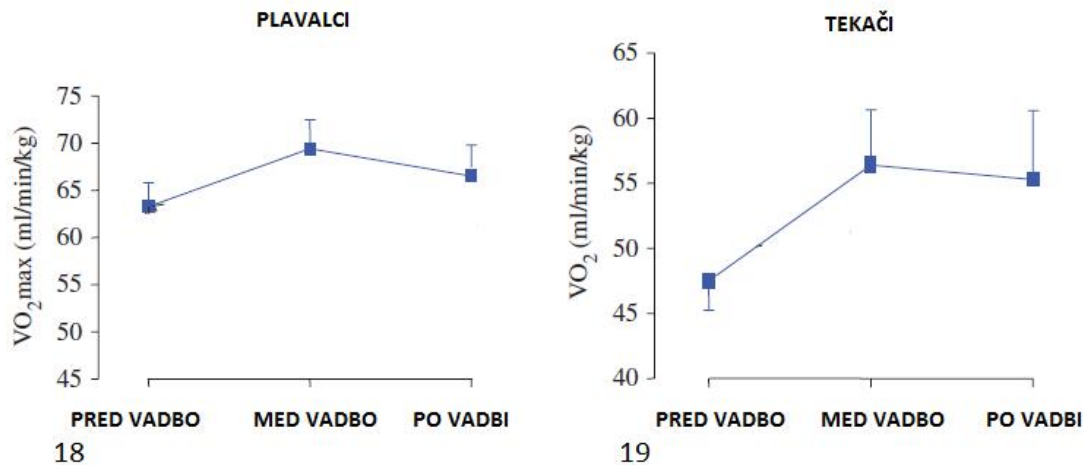
Slika 14 in 15: Masa hemoglobina in odstotek rde ih krvnih telesc pri plavalcih pred in po vadbi LHTL (Richalet in Gore, 2008).

Na sliki 14 in 15 je prikazana sprememba stanja mase hemoglobina in deleža rde ih krvnih telesc pri plavalcih pred in po vadbi LHTL. Vsebnost hemoglobina so imeli pred vadbo približno 46 mmol/l (slika 14), po vadbi pa je vsebnost narasla na 48 mmol/l (slika 14). Vsebnost rde ih krvnih telesc so imeli pred vadbo 2.2 % (slika 15), po vadbi pa je vsebnost narasla za 2.4 % (slika 15).



Slika 16 in 17: Masa hemoglobina in odstotek rde ih krvnih telesc pri teka ih pred, med in po vadbi (Richalet in Gore, 2008).

Na sliki 16 in 17 je prikazana sprememba stanja mase hemoglobina in deleža rde ih krvnih telesc pri teka ih pred, med in po vadbi. Na za etku vadbe so imeli teka i vsebnost hemoglobina 42 mmol/l (slika 16), vsebnost rde ih krvnih telesc pa so imeli 1.85 % (slika 17). Najve je vsebnosti so imeli teka i med vadbo in sicer vsebnost hemoglobina je narasla na 46 mmol/l (slika 16), vsebnost rde ih krvnih telesc pa na 2 % (slika 17). Po vadbi pa so vrednosti padle vendar so bile višje v primerjavi s stanjem pred vadbo. Vsebnost hemoglobina je padla na 43 mmol/l (slika 16), vsebnost rde ih krvnih telesc pa na 1.95 % (slika 17)



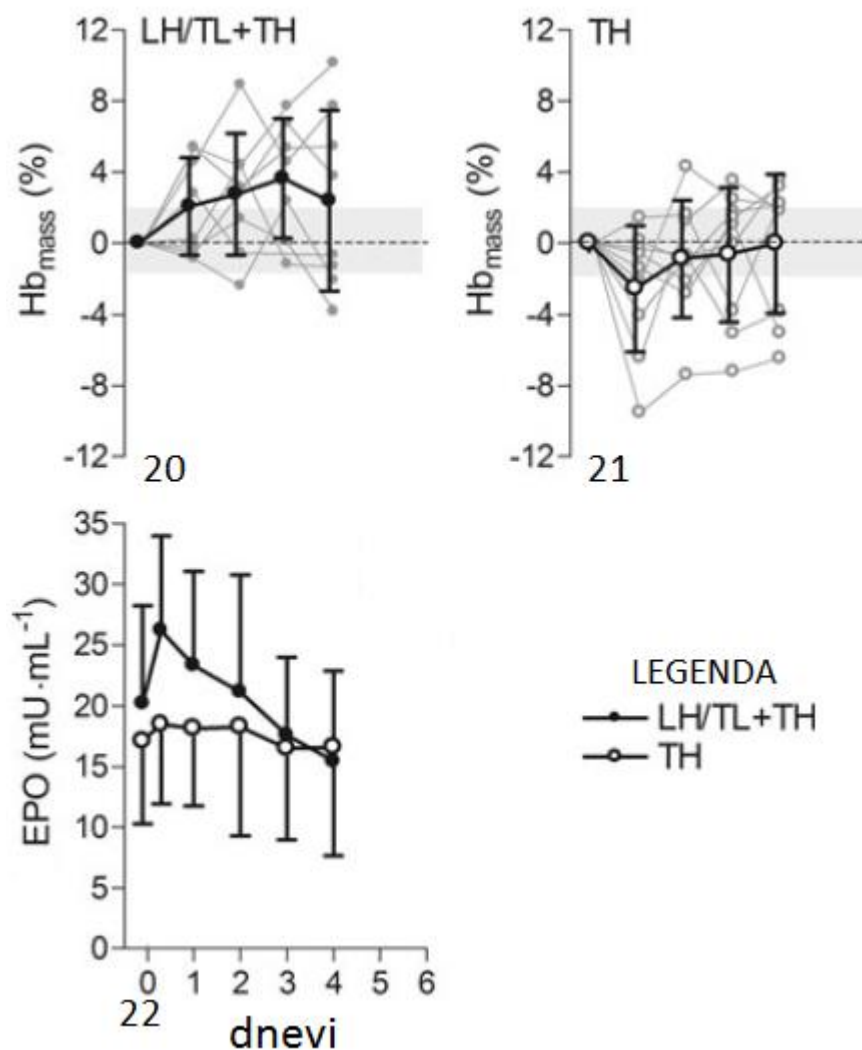
Slika 18 in 19: Stanje $VO_2\text{max}$ pri plavalcih in tekačih pred, med in po vadbi (Richalet in Gore, 2008).

Na sliki 18 in 19 je prikazana sprememba stanja $VO_2\text{max}$ pri plavalcih in tekačih pred, med in po vadbi. Pred vadbo so plavalci imeli $VO_2\text{max}$ 63 ml/min/kg (slika 18), med vadbo je ta vrednost narasla na 68 ml/min/kg (slika 18), po vadbi pa je ta vrednost padla na 65 ml/min/kg kar je več v primerjavi z etnim stanjem (slika 18). Pred vadbo so tekači imeli $VO_2\text{max}$ 47 ml/min/kg (slika 19), med vadbo je ta vrednost narasla na 56 ml/min/kg (slika 19), po vadbi pa je ta vrednost padla na 54 ml/min/kg kar je več v primerjavi z etnim stanjem (slika 19).

Raziskava Piehla, Svedenhaga, Wida, Berglunda in Saltina (1998) je ugotavljala, kakšni so krvni kazalci pri normobari ni hipoksi ni izpostavljenosti. V raziskavi je sodelovalo 15 različnih dobro pripravljenih vzdržljivostnih tekačev. Izpostavljeni so bili normobari ni hipoksiji, ki je ustrezala višini med 2000 m in 2700 m. Vadili so po principu LHTL in sicer tako, da so bili izpostavljeni hipoksiji 10 dni zaporedno, po 12 ur na dan. Ugotovili so, da sta se krvni tlak in nasičenost s kisikom, precej znižala. Po 2 dneh hipoksije se je precej znižala masa hemoglobina in hematokrit. Pokazalo pa se je, da se je po 5 dneh izpostavljenosti hipoksiji povečala količina eritropoetina, po 7 dneh izpostavljenosti pa se je precej povečalo število retikulocitov. Količina eritropoetina se je povečala za več kot 80 %. Pokazalo se je, da hipoksija s prekinitvami povzroča večji dražljaj za eritropoetin kot pa ponavljajoča hipoksija. Ugotovili so, da se je količina eritropoetina povečala za 50% po 240 minutni ponavljajoči hipoksi ni izpostavljenosti, po 240 minutni hipoksi ni izpostavljenosti s prekinitvami pa se je povečala za 52 %. Raziskava je zaključila, da izpostavljenost normobari ni hipoksiji 12 ur dnevno v obdobju 10 dni povzroči stimulacijo za povečanje eritropoetina. Ugotovili pa so tudi, da je izpostavljenost v normobari ni hipoksiji s prekinitvami lahko koristna, ker naj bi podaljšala predhodne učinkovitosti usposabljanja na višji nadmorski višini (Piehl, Svedenhag, Wide, Berglund in Saltin, 1998).

Raziskava Robertsona Saundersa, Pyna, Gora in Ansona (2010) je skušala ugotoviti kakšne so razlike med kombinirano vadbo (LHTL+TH »live high train low + train high«) »živi visoko treniraj nizko + treniraj visoko« in vadbo (TH »train high«) »treniraj visoko«. V raziskavi je sodelovalo 17 dobro pripravljenih tekačev na srednje proge in je trajala 3 tedne. Tekači so bili razdeljeni v dve skupini in sicer ena skupina je vadila po principu kombinirane vadbe LHTL+TH, druga skupina pa je vadila po principu TH. Skupina, ki je vadila po principu TH je bila izpostavljena normobari ni hipoksiji in so vadili na višini 2200 m, po ivali pa so na višini 600 m. Skupina, ki pa je vadila po principu LHTL+TH pa je vadila pod pogoji normobari ne hipoksije na višini 2200m in

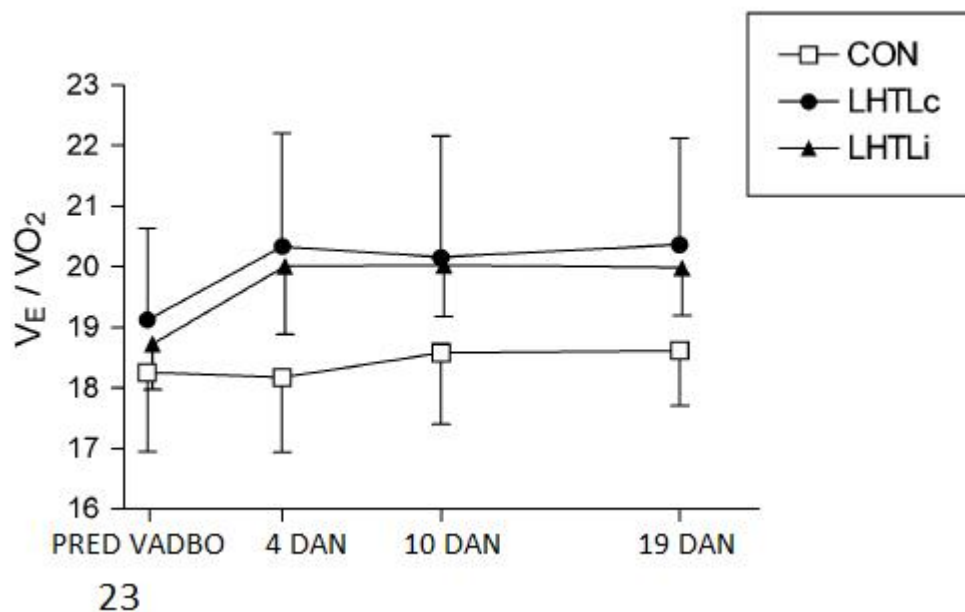
poivala na višini 3000 m. Tekalci so bili dnevno izpostavljeni normobai in hipoksiji 14 ur in so 3 – krat na teden tekli na 3 km razdalje na tekoči preprogi. Vadba je bila sestavljena iz ene dolge razdalje, ene srednje dolge razdalje in dveh intervalnih vadb visoke intenzivnosti. Ugotovili so da se je skupini z vadbo LHTL+TH bistveno povečala masa hemoglobina, medtem ko se skupini z vadbo TH masa hemoglobina ni povečala. Prav tako se je pri skupini z vadbo LHTL+TH povečala količina seruma eritropoetina po dveh dneh in ostal povišan vse do 4. dne nato pa je začel poasi padati na osnovni nivo. Pri skupini z vadbo TH niso zasledili nikakršnega povečanja za eritropoetin. Pokazalo se je tudi, da sta obe skupini izboljšali $\dot{V}O_{2max}$, vendar je skupina LHTL+TH bistveno izboljšala $\dot{V}O_{2max}$ v primerjavi s skupino TH. Raziskava je ugotovila, da je kombinirana vadba LHTL+TH bolj učinkovita metoda za vadbo kot vadba TH (Robertson, Saunders, Pyne, Gore in Anson, 2010).



Slika 20, 21 in 22 : Stanje mase hemoglobina in eritropoetina med TH skupino in LH/TL+TH skupino (Robertson, Saunders, Pyne, Gore in Anson, 2010).

Na slikah 20, 21 in 22 je prikazano stanje pove ane mase hemoglobina po 3 dneh vadbe za 3.9 %, nato pa postopni upad pri skupini LH/TL+TH (slika 20). Stanje upada mase hemoglobina pod osnovno raven po dveh dneh vadbe, nato pa postopno dviganje na osnovno raven pri skupini TH (slika 21). Stanje povišane koli ine eritropoetina pri skupini LH/TL+TH prvi dan nato pa postopno padanje do 3. dneva, kjer je vrednost eritropoetina padla na isti nivo kakršnega je imela skupina TH, 4. dan pa je skupina LH/TL+TH imela nižji nivo eritropoetina v primerjavi s skupino TH (slika 22).

Raziskava Gora idr. (2004) je želela ugotoviti ali se z vadbo LHTL poveča ventilacija med submaksimalnim naporom v normoksiji in če je to povečanje povezano z okrepljeno ventilacijo v hipoksiji. V raziskavi je sodelovalo 33 moških od tega 24 kolesarjev in 9 triatloncev, ki so bili razdeljeni v tri skupine in ki so se ujemali po začetnem $\dot{V}O_2\text{max}$. Skupine so bile deljene v skupino LHTL s prekinitvami, skupino LHTL z zaporednimi ponovitvami in kontrolno skupino. Skupina LHTL s ponovitvami je 20 dni zaporedoma poživala, od 8 do 10 ur dnevno na simulirani višini 2650 m pod pogoji, 16.3 % kisika v ozračju in 710 mmHg barometrične pritiska. Skupina LHTL s prekinitvami je delovala pod istimi pogoji, vendar se je po vsakih petih urah prestavila na višino 600 m in tam poživala dve uri v normoksiji. Kontrolna skupina pa je delovala pod pogoji na višini 580 m. Ugotovili so, da se je pri skupini LHTL s ponovitvami in pri skupini LHTL s prekinitvami bistveno povečala ventilacija pri submaksimalnem naporu medtem, ko se pri kontrolni skupini to ni zgodilo. V raziskavi so ugotovili, da izpostavljenost hipoksiji pri simulirani višini 2650 m poveča ventilacijo med submaksimalnim naporom za 9 %. Te spremembe so zasledili že po 4. urah bivanja in je bila povečana do konca vadbe. Zaznana je bila tudi povečana ventilacija zaradi hipoksije. Glavna ugotovitev te raziskave je bila, da je povečana ventilacija med submaksimalnim naporom v normoksiji posledica povečane ventilacije v hipoksiji in aklimatizacije v hipoksiji (Gore, idr., 2004).



LEGENDA:

CON – KONTROLNA SKUPINA

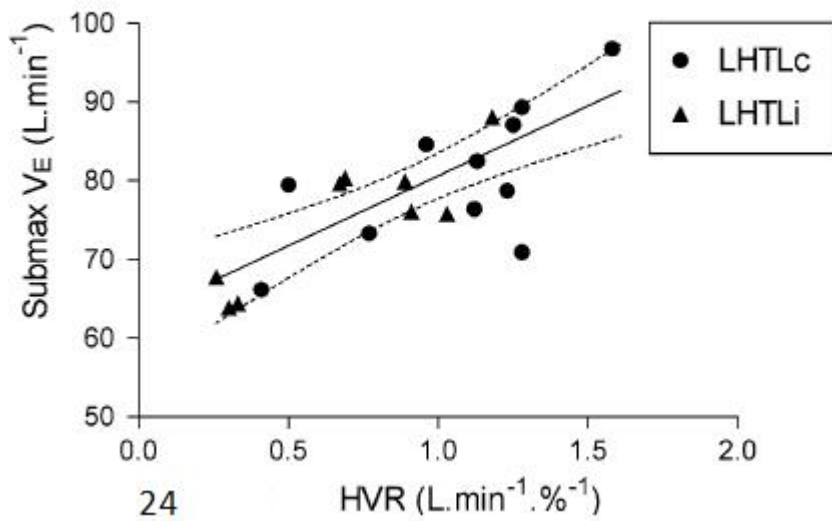
LHTLc – SKUPINA S PONOVI TVAMI

LHTLi – SKUPINA S PREKINITVAMI

VE/VO₂ – VENTILACIJA

Slika 23: Ventilacija med submaksimalnim naporom v normoksiji (Gore idr., 2004).

Na sliki 23 je prikazana povešana ventilacija med submaksimalnim naporom v normoksiji kot posledica povešane ventilacije v hipoksiji in aklimatizacije v hipoksiji pri skupini LHTLc in skupini LHTLi. Pri kontrolni skupini se ventilacija bistveno ni povešala (Gore idr., 2004).



LEGENDA:

LHTLc – SKUPINA S PONOVI TVAMI

LHTLi – SKUPINA S PREKINITVAMI

HVR – SPREMEMBA VENTILACIJE V HIPOKSIJI (%)

SUBMAX – VENTILACIJA MED SUBMAKSIMALNIM NAPOROM

Slika 24: Ventilacija med submaksimalnim naporom in ventilacija v hipoksiji (Gore idr., 2004).

Na sliki 24 je prikazana povezava med ventilacijo med submaksimalnim naporom in ventilacijo v hipoksiji med skupino LHTLc in LHTLi. Prikazano je da se z večanjem ventilacije v hipoksiji linearno povečuje ventilacija med submaksimalnim naporom v normoksiji (Gore idr., 2004).

4.3 OKSIDATIVNI IN ANTIOKSIDATIVNI STRES

Izpostavljenost visoki nadmorski višini, ki je povezana z zmanjšanim tlakom kisika lahko povzroči oksidativni stres in s tem povezane oksidativne poškodbe lipidov, proteinov in DNA-ja (deoksiribonukleinska kislina). Resnost oksidativnega stresa je povezana s stopnjo nadmorske višine. Izpostavljenost višji nadmorski višini povzroči aktivacijo snovi, ki so reaktivne na kisik (prosti radikali), vključno s transportom mitohondrijskih elektronov in sinteze dušikovega dioksida. Visoka nadmorska višina naj bi oslabil encimske in neencimske antioksidativne sisteme, vendar hrana, ki je obogatena z antioksidativnimi vitamini lahko zmanjša povzročene oksidativne poškodbe. Prilagoditve na oksidativne strese trajajo daljše časovno obdobje. Z redno telesno vadbo na višji nadmorski višini pa se povečuje odpornost na oksidativni stres. Oblikovanje prostih radikalov in sinteze dušika je posledica aerobne presnove (Dosek, Ohno, Acs, Taylor in Radak, 2007).

Raziskava Chunga, Leeja, Kima idr. (2005) je skušala ugotoviti, kakšen je vpliv normobarne hipoksije na oksidativni stres pri vzdržljivostnih športnikih. V raziskavi je sodelovalo 12 tekev na dolge proge, ki so bili razdeljeni v dve skupini. Prva skupina je poivala dnevno 8 ur v hipoksiji na višini 3000 m, vadili pa so v normoksiji na višini manj kot 1000 m. Druga skupina pa je poivala in vadila v normoksiji na višini manj kot 1000 m. Raziskovalci so zbirali krvne vzorce pred vadbo in 10 minut po maksimalni aerobni vadbi. Te vzorce so zbirali 4 tedne in analizirali malondialdehid (produkt lipidne peroksidacije), siperoksid – dismutazo (encim prisoten v vseh aerobnih celicah in zunajceli nih tekočinah) in glutation peroksidaza (encim, ki katalizira redukcijo vodikovega peroksida v dve molekuli vode). Raziskava je z analizo krvnih vzorcev prišla do naslednjih ugotovitev:

- kljub temu, da je bila vsebnost malondialdehida povečana pri obeh skupinah, je pri skupini, ki je delovala v hipoksiji, bila vsebnost malondialdehida skozi celotno raziskavo višja v primerjavi s skupino, ki je delovala v normoksiji (Chung, Lee, Kim idr., 2005).

- Vsebnost siperoksid – dioksida je bila povečana pri obeh skupinah. Krvni vzorci pa so pri skupini, ki je delovala v hipoksiji po štirih tednih vadbe, pokazali manjšo vsebnost siperoksid – dioksida v primerjavi s skupino, ki je delovala v normoksiji (Chung, Lee, Kim idr., 2005).

- Krvni vzorci so pri obeh skupinah pokazali enako povišano vsebnost glutation – peroksidaze po štirih tednih vadbe (Chung, Lee, Kim idr., 2005).

Raziskava Askewa (2002) je ugotovila, da pride pri maksimalni vadbi pri tekačih na dolge proge tako v hipoksiji kot tudi v normoksiji do oksidativnega stresa. Povečano število prostih radikalov pa hkrati izzove povečanje antioksidativnih encimov, ki lahko preprečijo škodljive učinke kot so poškodbe lipidov in proteinov (Chung, Lee, Kim idr., 2005). Do poškodbe lipidov, proteinov in DNA – ja lahko pride, če število prostih radikalov preseže število antioksidativnih encimov. To se lahko zgodi med visoko intenzivno vadbo ali pa vadbo do izčrpanosti (Toshinai idr., 1988; Moller idr., 2001; Ashton idr., 1998). Veliko raziskav poročajo, da visoko intenzivne vadbe in izpostavljenost višjim nadmorskim višinam lahko povzročijo še močnejši oksidativni stres (Chao idr., 1999; Pfeiffer idr., 1999; Bailey idr., 2001; Schmidt idr., 2002; Wing idr., 2002). Ugotovljeno je bilo, da je oksidativni stres eden izmed razlogov, zakaj vadba, kjer se kombinira z izpostavljenostjo hipoksiji, ni pokazala kot najbolj učinkovita za izboljšanje telesnih zmogljivosti pri športnikih za nastop v nižini (Askew, 2002).

Raziskava Pialouxa idr. (2009) je ugotavljala ali vadba LHTL vpliva na oksidativna - prooksidativna ravnovesja pri vrhunskih športnikih. V raziskavi je sodelovalo 12 dobro pripravljenih tekačev na srednje proge. Tekači so bili razdeljeni v dve skupini. Prva skupina je vadila po principu LHTL, druga skupina pa je vadila po principu (LLTL »live low – train low«) »živo nizko treniraj nizko«. Skupina, ki je vadila po principu LHTL je bila določena za vadbo izpostavljena hipoksiji medtem, ko je skupina, ki je vadila po principu LLTL bila ves čas izpostavljena normoksiji. Tekači so vadili tako, da so na dan izvajali 1 uro aerobnega teka nato pa so počivali 14 ur. Vadbo sta obe skupini ponavljali 18 dni zaporedoma pod naslednjimi pogoji. LHTL skupina je izvajala tek na višini 1200 m nadmorske višine nato pa so 6 dni počivali na simulirani nadmorski višini 2500 m, ostalih 12 dni pa so počivali na simulirani višini 3000 m. LLTL skupina pa je vadbo in počitek izvajala na višini 1200 m. V raziskavi so glede na krvne vzorce merili znake oksidativnega stresa (malondialdehid), znake antioksidativnega stresa (alfa – tokoferol, karoten, likopen), krvne lipide (triglicerol, holesterol). Raziskovalci so krvne vzorce zbirali vsako jutro in po vsaki vadbi. Meritve in obdelava podatkov pa so pokazali naslednje rezultate:

- oksidativni stres pri obeh skupinah pred vadbo in po njej: prišlo je do povečane koncentracije malondialdehidov, pri skupini LHTL je bila večja povečana koncentracija lipidov oksidirane plazme v primerjavi z LLTL skupino.

- Antioksidativni stres pred vadbo in po njej: Pri obeh skupinah se je znižala koncentracija alfa – tokoferola, karotena in likopena vendar se je pri skupini LHTL ta koncentracija bistveno bolj znižala kot pri skupini LLTL, kar pomeni, da vadba LLTL povzroča manjši oksidativni stres.

- Krvni lipidi (trigliceridi, holesterol) pred vadbo in po njej: Pri LHTL skupini so se krvni lipidi znatno znižali medtem, ko pri LLTL skupini ni bilo sprememb, kar kaže da je bil pri vadbi LHTL oksidativni stres večji.

Raziskava je na podlagi meritev ugotovila, da akutna izpostavljenost hipoksiji (3 ure dnevno na višini 3000 m) poveča oksidativni stres. Prav tako pa so na podlagi rezultatov ugotovili, da vadba LHTL močno ne zmanjša prooksidativno – oksidativno ravnovesje, saj so se po 18-dnevni vadbi LHTL močno znižali prooksidativni znaki (alfa – tokoferol, likopen, karoten) (Pialoux, Mounier, Rock idr., 2009).

Raziskava Mouniera idr. (2009) je hotela ugotoviti kakšno je prooksidativno in oksidativno ravnovesje pri vzdržljivostnih plavalcih po 13 dneh vadbe LHTL. V raziskavi je sodelovalo 18 vzdržljivostnih plavalcev, ki so bili razdeljeni v dve skupini. Prva skupina LHTL je vadila na višini 1200 m, po ivala pa je na simulirani višini med 2500 m in 3000 m. Druga skupina pa je vadila in po ivala na višini 1200 m. Skupina LHTL je vsak dan vadila 4 ure, 13 dni zaporedoma. Prvih 5 dni so po ivali na simulirani višini 2500 m vadili pa na višini 1200 m. Ostalih 8 dni pa so po ivali na simulirani višini 3000 m. Druga skupina pa je prav tako vadila 4 ure dnevno, 13 dni zaporedoma, vendar je po ivala in vadila na višini 1200 m. Raziskovalci so glede na krvne vzorce merili znake oksidativnega stresa (malondialdehide, oksidativni proteinski produkti), znake antioksidativnega stresa (alfa – tokoferol, karoteni, likopeni). Raziskovalci so krvne vzorce zbirali vsako jutro pred vadbo in po njej. Glede na obdelavo podatkov pa so rezultati pokazali naslednje:

- Pri obeh skupinah ni bilo povečanja malondialdehida pred vadbo in po njej (Pialoux, Mounier, Brugniaux idr., 2009).

- Zaznana je bila povečana koncentracija oksidativnih proteinskih produktov po vadbi pri LHTL skupini (Pialoux, Mounier, Brugniaux idr., 2009) .

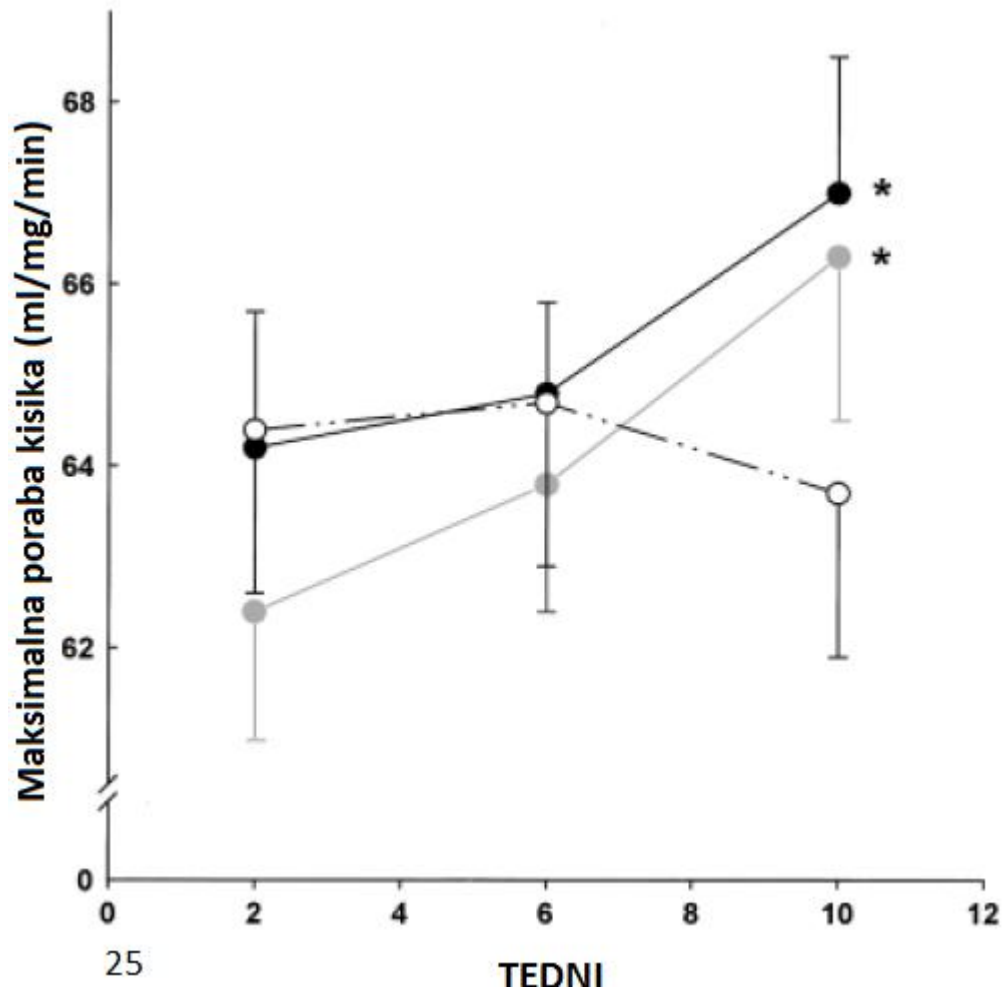
- Znakov antioksidativnega stresa ni bilo saj se alfa – tokoferoli, karoteni in likopeni niso spremenili pred vadbo in po njej pri obeh skupinah (Pialoux, Mounier, Brugniaux idr., 2009).

Raziskava je na podlagi meritev in obdelave podatkov ugotovila, da 13-dnevna vadba LHTL ne vpliva na prooksidativno in oksidativno ravnovesje pri elitnih vzdržljivostnih plavalcih. (Pialoux, Mounier, Brugniaux idr., 2009).

Raziskava Mazura idr. (2010) je ugotavljala, kakšen je antioksidativni status pri tekačih na smučeh po 2 tednih vadbe. V raziskavi je sodelovalo 11 elitnih tekačev na smučeh in so bili razdeljeni v dve skupini. Prva skupina je štela 6 tekačev in je vadila po metodi LHTL, druga skupina je štela 5 tekačev. Skupina, ki je vadila po principu LHTL je vadila 2 uri dnevno na višini 1200 m, 11 ur dnevno pa so poivali. Prvih 6 dni so poivali na simulirani višini 2500 m, drugih 6 dni so poivali na simulirani višini 3000 m in ostalih 6 dni so poivali na simulirani višini 3500 m. Druga skupina pa je vadila in poivala na višini 1200m. Vadba je za obe skupini potekala 18 dni. Raziskovalci so glede na krvne vzorce in na podlagi obdelanih podatkov ugotovili, da vadba LHTL spremeni antioksidativni status pri vrhunskih smučarjih tekačih, po 18 dneh vadbe. Podatki pa so prav tako pokazali spremenjen antioksidativni status pri drugi skupini. Analiza podatkov krvnih vzorcev je pri obeh skupinah pokazala znižanje železa v krvi, znižanje alfa – tokoferola, beta – karotena in likopena. Rezultati raziskave pa so pokazali tudi, da se pri skupini, ki je vadila po metodi LHTL antioksidativni status ni vrnil na osnovno raven, 14 dni po 18-dnevni vadbi, medtem ko se je pri skupini ki je vadila in poivala na višini 1200 m antioksidativni status vrnil na osnovno raven, 14 dni po 18-dnevni vadbi (Pialoux, Mazur, Rock idr., 2010).

4.4 RAZLI NE PRILAGODITVE IN VADBA NA VIŠJI NADMORSKI VIŠINI

Raziskava Grundersena in Levina (2008) je ugotavljala, ali vadba po metodi LHTL izboljša vzdržljivostne sposobnosti pri športnikih potem ko se vrnejo v nižino. Zanimalo pa jih je tudi, katera višina je najbolj primerna za vadbo. Raziskavo so delali na vzdržljivostnih teka ih tako, da so naredili tri skupine in jih primerjali med seboj. Prva skupina je vadila po principu LHTL, druga skupina je vadila po principu LLTL in tretja skupina je vadila po principu (LHTH »live high – train high«) »živi visoko, treniraj visoko«. LHTL skupina je vadila na višini 1250 m, po ivala pa na višini 2500, LLTL skupina je vadila in po ivala na višini 1500 m in skupina LHTH je vadila in po ivala na višini med 2000 m in 3000 m. Vadba je trajala 3 tedne. Pri skupini LHTL in skupini LHTH se je mo no pove al $\dot{V}O_2\text{max}$, medtem ko skupina LLTL ni pokazala nikakršnih pomembnih izboljšav. Raziskovalci glede na rezultate priporo ajo višinsko vadbo po principu LHTL in LHTH za vzdržljivostne teka e na višinah med 2000 m in 3000 m v obdobju najmanj treh tednov (Grundersen in Levine, 2008).



LEGENDA

- LOW-LOW živi nizko - treniraj nizko
- HIGH-LOW živi visoko - treniraj nizko
- HIGH-HIGH živi visoko - treniraj visoko

Slika 25: Maksimalna poraba kisika v 10 tednih (Grundersen in Levine, 2008).

Na sliki 25 je prikazano izboljšanje maksimalne porabe kisika v 10. tednih pri skupinah LHTL in LHTH, medtem ko LLTL skupina ni pokazala nikakršne izboljšave.

Raziskava Schulerja, Thomsena, Gassmanna in Lundbya (2007) je hotela ugotoviti, ali se z aklimatizacijo na višino 2340 m povečata $\dot{V}O_2\text{max}$ in aerobne sposobnosti. V raziskavi je sodelovalo 8 vrhunskih kolesarjev. Vadba je potekala tako, da so bili kolesarji en dan izpostavljeni višini 2340 m, kjer so poivali od 16 ur do 24 ur, nato pa so se spustili pod višino 1100 m in vadili 6 dni. Ta proces so ponavljali 23 dni. Vadba je potekala na sobnem kolesu s 15-minutnim ogrevanjem, nato pa so vsako minuto povečevali intenzivnost vadbe, dokler vadeči niso bili popolnoma izrpani. Pri vadečih se je pokazalo, da so imeli povečan serum eritropoetin prvi dan po višinski izpostavljenosti, nato pa je začel poasi upadati. Prav tako je masa hemoglobina in število rdečih krvnih teles naraslo po prvem dnevu izpostavljenosti na višini 2340 m, po koncu višinske izpostavljenosti pa je masa hemoglobina padla za 15.1 %, število rdečih krvnih teles pa za 13.4 %. Vsebnost kisika v arterijah so imeli vadeči prvi dan znižan za 8.7 %, po 21. dneh pa so imeli povišanega za 15.6 %. Po 3. tednih vadbe so imeli vadeči povečan $\dot{V}O_2\text{max}$ za 8.9 %. Raziskava je ugotovila, da aklimatizacija na višini 2340 m povečata $\dot{V}O_2\text{max}$ in aerobne sposobnosti (Schuler, Thomsen, Gassmann in Lundby, 2007)

Raziskava Saundersa idr. (2003) je delala primerjavo med skupino, ki je vadila po principu LHTL in skupino, ki je vadila po principu LLTL. V raziskavi je sodelovalo 22 vrhunskih tekačev na srednje proge. Skupina LHTL je poivala v normobaricni hipoksiji od 9 do 12 ur dnevno na višini med 2100 m in 3000 m, vadila pa na višini 600 m. Skupina LLTL pa je vse štiri tedne poivala in vadila na višini 600 m. Tekači so vadbo izvajali tako, da so tekli na tekoči preprogi z 80% intenzivnostjo $\dot{V}O_2\text{max}$. Po vsaki minuti pa se je naklon tekoče preproge dvignil za 1 %. Rezultati so pokazali, da 20 dni vadbe LHTL privede do zmanjšanja $\dot{V}O_2\text{max}$, medtem ko se pri skupini LLTL niso pokazale nikakršne spremembe. Zanimiv podatek je, da se je pri skupini LHTL $\dot{V}O_2\text{max}$ manjšal vsaki, ko se je naklon tekoče preproge dvignil. Podatki pa so pokazali, da ni bilo sprememb v minutni ventilaciji, srčnem utripu in masi hemoglobina pri obeh skupinah pred vadbo, med vadbo in po njej. Pri skupini LHTL se je pokazalo zmanjšanje vsebnosti laktata po višinski izpostavljenosti, medtem ko se pri skupini LLTL vsebnost laktata bistveno ni spremenila. Raziskovalci so prišli do spoznanja, da 20 dni izpostavljenosti na zmerni

simulirani višini med 2100 m in 3000 m zmanjša $\dot{V}O_2\text{max}$ (Saunders idr., 2003).

V raziskavi Chapmana, Gundersena in Levina (1998) je sodelovalo 39 teka ev na dolge proge, od tega je bilo 27 moških in 12 žensk, ki so bili razdeljeni v dve skupini. Prva skupina je vadila po principu LHTL. Vadili so na višini 1250 m, po ivali pa na višini 2500 m, druga skupina LLTL pa je vadila in po ivala na višini 1250 m. Celotna vadba je trajala 28 dni. Pri raziskavi so teka i pred vadbo tekli na 5000 m dolgo razdaljo v nižini, nato pa so ta tek po 28 dnevni vadbi ponovili. Raziskovalce je zanimalo ali bodo vade i izboljšali as na razdalji 5000 m in kakšne spremembe se pojavijo pri posamezni vadbi. Rezultati so po analizi podatkov pokazali, da se je pri vseh vade ih pove al $\dot{V}O_2\text{max}$. Po 30 urah so pri LHTL skupini zabeležili mo no pove anje seruma eritropoetina in je ostal povišan še 14 dni po vadbi, pri skupini LLTL pa niso zasledili nikakršnega pove anja. Prav tako se je pokazalo pove ano število rde ih krvnih telesc pri LHTL skupini, skupina LLTL pa ni pokazala nikakršnega pove anja. Med vadbo so uporabljali intervalno vadbo in so ugotovili, da je LHTL izboljšala hitrost v posameznih intervalih, skupina LLTL pa ni pokazala nikakršnih sprememb. Na koncu pa so zabeležili pri LHTL skupini izboljššan rezultat na teku na 5000 m, pri LLTL skupini pa ne. Glavna ugotovitev te raziskave je bila, da vadba LHTL povzro i pove an serum eritropoetin, pove ano število rde ih krvnih telesc in pove an $\dot{V}O_2\text{max}$. Raziskovalci so po teh rezultatih menili, da je izboljššan as na 5000 m pri LHTL skupini posledica pove ane koli ine seruma eritropoetina in pove anega števila rde ih krvnih telesc (Chapman, Gundersen in Levine, 1998).

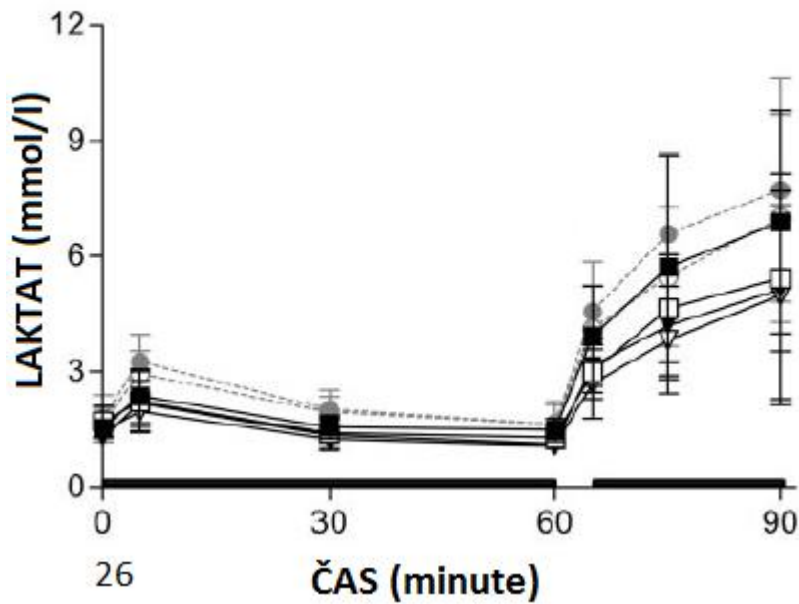
4.5 RAZLI NE FIZIOLOŠKE SPREMEMBE

V raziskavi Clarka idr. (2006) so ugotavljali, kako hipoksija in vadba spreminjata miši no $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$. Zanimalo jih je, kakšni so efekti na miši no $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ po 20 dneh vadbe LHTL, vadbe LHTL v kombinaciji in vadbe v normoksiji. V raziskavi je sodelovalo 33 moških vzdržljivostnih športnikov, od tega 24 kolesarjev in 9 triatloncev. Razdeljeni so bili v tri skupine: kontrolna skupina, LHTL skupina in skupina LHTL v kombinaciji. LHTL skupina je 20 dni zaporedoma poivala na simulirani višini 2650 m, vadila pa na višini 600 m. LHTL skupina v kombinaciji pa je delovala pod enakimi pogoji, le da je vsako peto no spala v normobari ni normoksiji. Kontrolna skupina pa je vseh 20 dni delovala v normobari ni normoksiji na višini 600 m. Vade i so izvajali šprintersko vadbo. Izvajali so jo tako dolgo, dokler sami niso presodili, kdaj so izrpani. Efekte na miši no $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ so ugotavljali s pomočjo biopsije na sprednji stegenski mišici (kvadriceps) pred vadbo in po njej. Analiza je pokazala, da je pri skupini LHTL v kombinaciji aktivnost miši ne $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ upadla po 5 dneh vadbe za 2%. Pri skupini LHTL je aktivnost miši ne $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ upadla po dvajsetih dneh vadbe. Pri kontrolni skupini pa niso opazili sprememb. Plazemske vsebnosti K^+ se niso spremenile pri nobeni skupini. Zaključna ugotovitev te raziskave je bila, da niti šprinterska vadba po principu LHTL, niti šprinterska vadba po principu LHTL v kombinaciji, niti šprinterska vadba pod pogoji normobari ni normoksije ne vplivajo na možno zmanjšanje miši ne $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ ali plazemske vsebnosti K^+ (Clark idr., 2006).

Raziskava Garnhama idr. (2004) je hotela ugotoviti, kakšen je učinek na miši no $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPazo}$ pri različnih športnikih. V raziskavi je sodelovalo 9 triatloncev, 2 smučarja tekača in 2 kolesarja. Razdeljeni so bili v dve skupini. Prva skupina je vadila po principu LHTL in poivala v hiši, kjer je bila simulirana višina 3000 m, vadili pa so na višini 600 m. Na dan so 9 ur preživeli na simulirani višini 3000 m 23 dni zapored. LHTL skupina pa je vadila in poivala na višini 600 m. Vade i so vadili po skupinah po svojem urniku in po metodah, ki jih običajno uporabljajo pri vadbi. Učinek na miši no

Na⁺/K⁺/ATPazo pa so ugotavljali s pomočjo biopsije pred vadbo in po njej. Na podlagi rezultatov so ugotovili, da vadba na višini 600 m in poitek na višini 3000 m, 23 dni zaporedoma povzročijo zelo majhno mišino Na⁺/K⁺/ATPazo. Ugotovili so, da se je ta povečala le za 3 % (Garnham idr., 2004).

Raziskava Hawleya idr. (2003) je ugotavljala, kakšen je učinek metode LHTL na laktatno presnovo na 33 dobro pripravljenih športnikih. V raziskavi so sodelovali atleti in triatlonci, ki so bili razdeljeni v tri skupine. Prva skupina je bila kontrolna skupina, druga skupina je bila LHTL skupina in tretja skupina je bila LHTL v kombinaciji. Skupine so vadile 23 dni. Kontrolna skupina je vadila v normoksiji na višini 600 m. Skupina LHTL je vadila na višini 600 m, poivki pa so v hiši kjer je bila simulirana višina 2650 m. Skupina v kombinaciji pa je delovala pod istimi pogoji kot LHTL skupina vendar je po petih dneh, za dva dni prestavila vadbo in poitek na višino 600 m. Vadeiki so vsak dan 90 minut kolesarili na sobnem kolesu. Po vsakih 15 minutah so merili vsebnost laktata. Po 23 dneh pa so vadeiki opravili laktatni test in test V_O₂max. Na koncu je test pokazal, da so vadeiki dosegli OBLO (onset of blood lactat accumulation). Test V_O₂max pa je bil sestavljen tako, da so vadeiki kolesarili 90 minut na sobnem kolesu. Za eliki so z intenziteto 65 % V_O₂max in so tako kolesarili 60 minut, zadnjih 30 minut pa se je ta intenzivnost povečala na 85 % V_O₂max. Na koncu so dobili rezultate in ugotovili, da so vse tri skupine dosegle toliko OBLA skoraj istočasno. Rezultati pa so pokazali, da se je pri vseh vadeikih povečal V_O₂max vendar bistvenih razlik med skupinami ni bilo (Hawley idr., 2003).



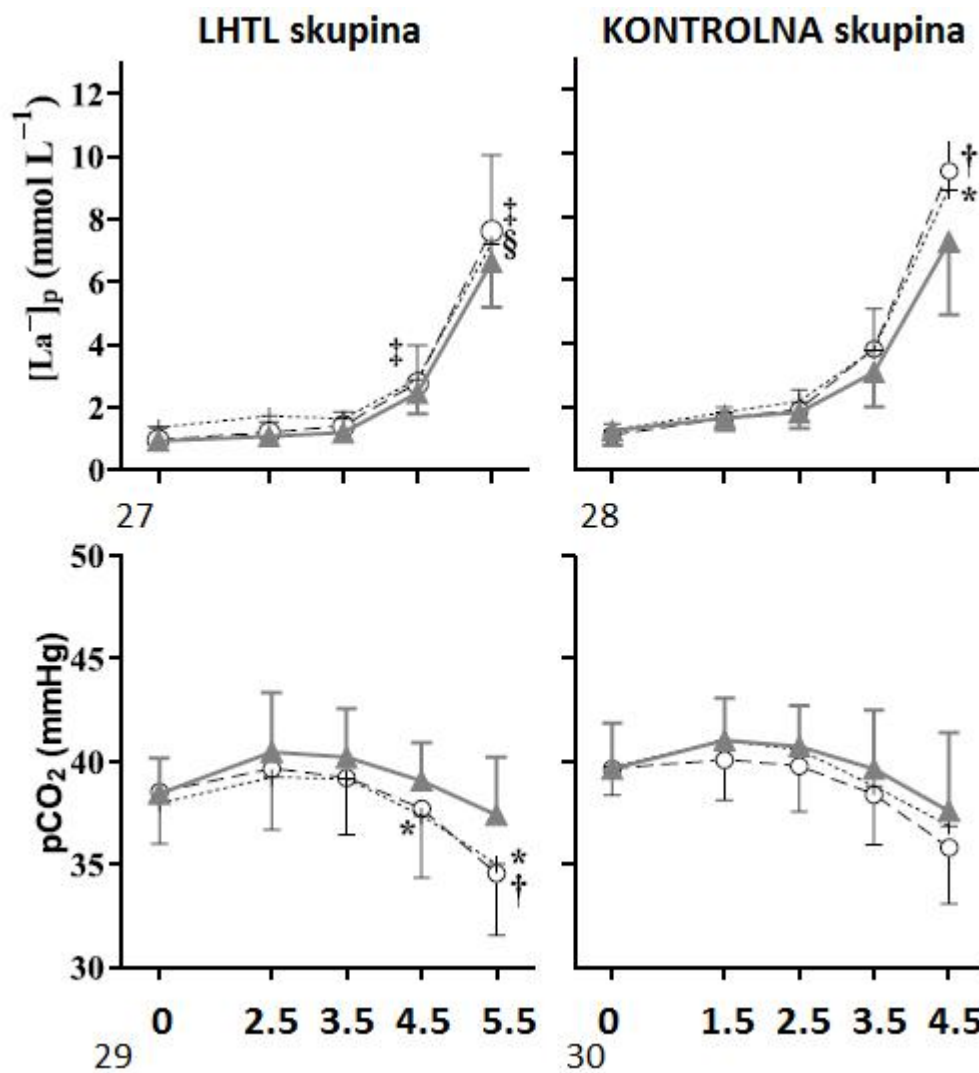
LEGENDA

- skupina LHTL
- ▼ skupina LHTL v kombinaciji
- kontrolna skupina

Slika 26: Vsebnost laktat pri 90-minutnem kolesarjenju (Hawley idr., 2003).

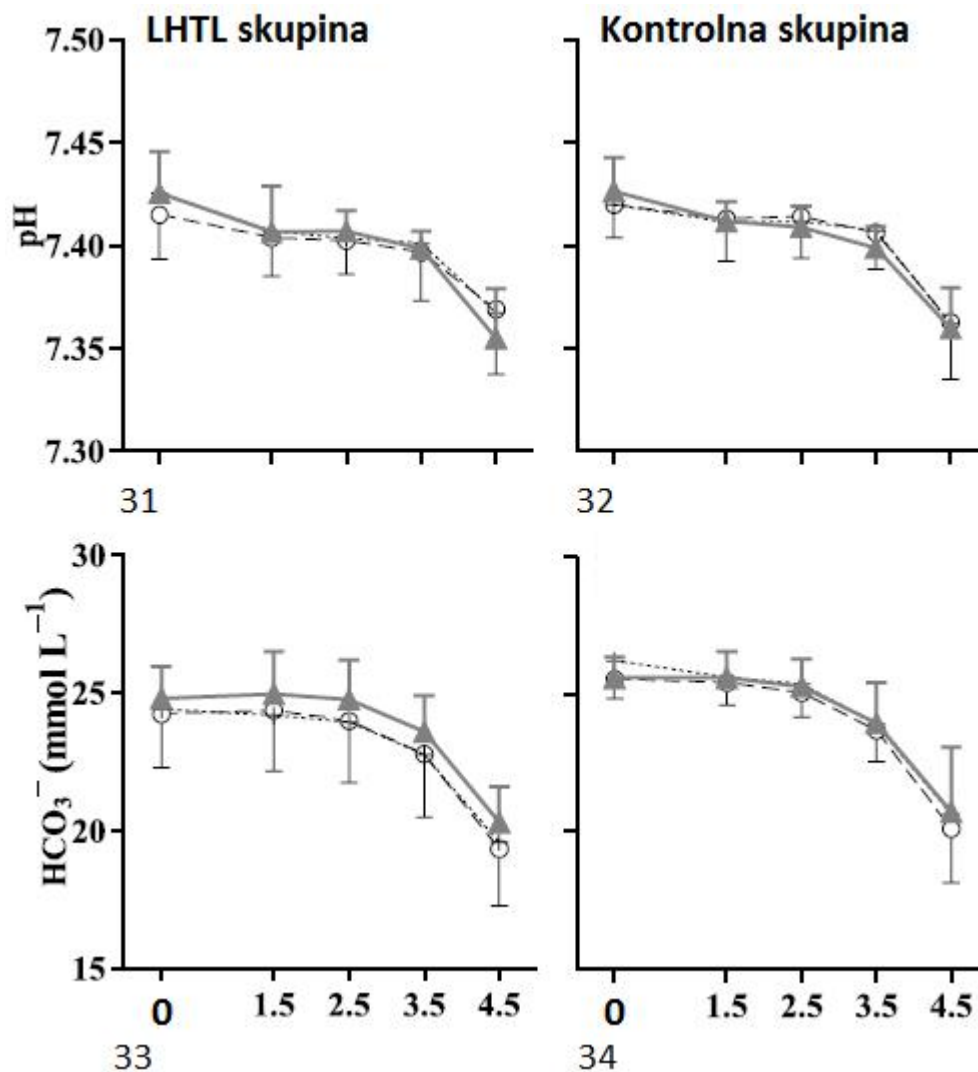
Na sliki 26 je prikazana vsebnost laktata pri 90-minutnem kolesarjenju. Razvidno je, da so vse tri skupine skoraj isto asno dosegle podobno raven vsebnosti laktata v krvi. Po približno 65. minutah kolesarjenja je prva dosegla to ko OBLA kontrolna skupina, skupina LHTL je druga dosegla to ko OBLA po približno 70. minutah kolesarjenja in skupina LHTL v kombinaciji je zadnja dosegla to ko OBLA po približno 75. minutah kolesarjenja. Vsebnost laktata se je pove eval posledni no zaradi pove ane intenzivnosti iz 65 % na 85 %.

Raziskava Gora idr. (2001) je ugotavljala, kakšen je vpliv vadbe LHTL na miši no pufersko kapaciteto. V raziskavi je sodelovalo 13 športnikov od tega je bilo 9 triatloncev, 2 kolesarja in 2 teka a na smu eh. Razdeljeni so bili v dve skupini, in sicer v kontrolno skupino, ki je štela 7 športnikov in skupino LHTL, ki je štela 6 športnikov. Kontrolna skupina je 23 dni zaporedoma po ivala in vadila na višini 600 m, medtem ko je LHTL skupina 23 dni zaporedoma po ivala 9 ur v sobi, kjer je bila simulirana višina 3000 m in vadila na višini 600 m. Vade i so vadili tako, da so kolesarili na sobnem kolesu 4x4 minute s submaksimalno intenzivnostjo, nato so imeli 4 minute odmora. Po odmoru so spet kolesarili 4x4 minute s submaksimalno intenzivnostjo in po 4-minutnem odmoru so imeli še 2-minutno kolesarjenje z maksimalno intenzivnostjo. Raziskovalci so 5. dan, nato 11. dan in še zadnji dan delali biopsijo na sprednji stegenski mišici, prav tako pa so vsako jutro vade im vzeli vzorec krvi. Pri analizi krvnih vzorcev so spremljali, kakšna je vsebnost laktata in bikarbonata. Po 23. dneh analize vseh vzorcev krvi in biopsije so rezultati pokazali naslednje (Gore idr., 2001).



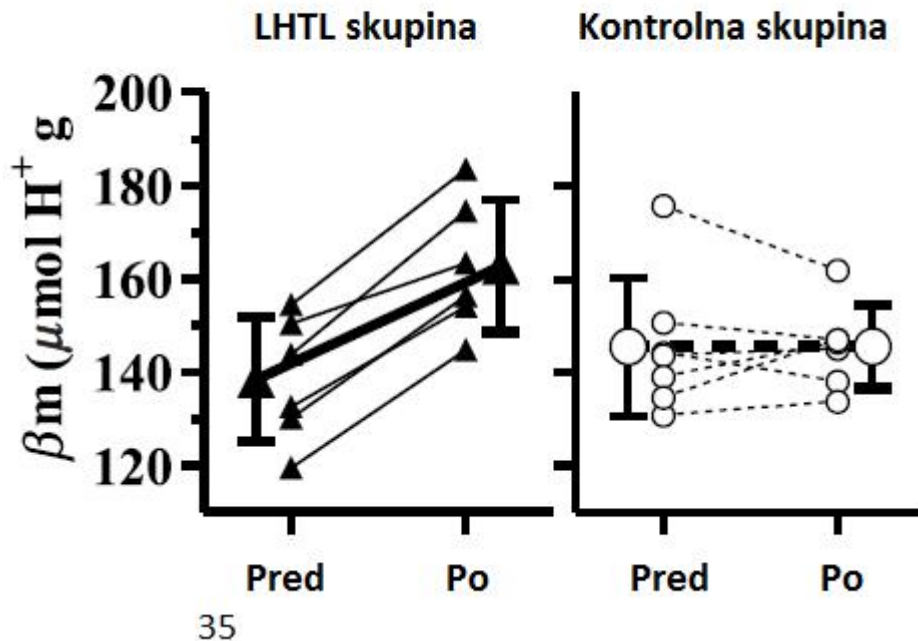
Slika 27, 28, 29 in 30: vsebnost laktata in delni tlak ogljikovega dioksida skozi celotno vadbo pri LHTL skupini v primerjavi s kontrolno skupino (Gore idr., 2001).

Na sliki 27 in 28 je prikazano, da ima skupina LHTL skozi vso vadbo manjšo vsebnost laktata v primerjavi s kontrolno skupino, prav tako pa je na sliki 29 in 30 prikazano, da ima skupina LHTL manjši delni tlak ogljikovega dioksida skozi vso vadbo v primerjavi s kontrolno skupino.



Slika 31, 32, 33 in 34: pH krvi in vsebnost bikarbonatnih ionov skozi vso vadbo pri LHTL skupini v primerjavi s kontrolno skupino (Gore, idr., 2001).

Na sliki 31 in 32 je pokazano, da ima skupina LHTL skozi vso vadbo nižji pH krvi v primerjavi s kontrolno skupino, prav tako pa je pokazano na sliki 33 in 34, da ima skupina LHTL manjšo vsebnost bikarbonatnih ionov skozi vso vadbo v primerjavi s kontrolno skupino.



35

LEGENDA

m – miši na puferska kapaciteta

Slika 35: Miši na puferska kapaciteta (Gore, idr., 2001).

Na sliki 35 je prikaza miši na puferska kapaciteta pred vadbo in povišana miši na puferska kapaciteta po vadbi pri LHTL v primerjavi s kontrolno skupino.

Raziskava je glede na rezultate ugotovila, da je skupina LHTL imela skozi vso vadbo večjo ventilacijo, manjšo vsebnost laktata v krvi in s tem posledično manjši pH krvi v primerjavi s kontrolno skupino. Skupina LHTL je najverjetneje imela zato tudi manjšo vsebnost bikarbonatnih ionov, saj se bikarbonatni ioni vežejo z vodikom, ki disociirajo iz laktata zato, da zmanjšajo kislost v tkivih. Ta raziskava meni, da je za izboljšanje miši na puferske kapacitete ključnega pomena vadba, kjer so vadeči v fazi poitke in spanja izpostavljeni hipoksiji (Gore idr., 2001).

4.6 ŠPORTNI DOSEŽKI

O izboljšanju rezultatov po vadbi na višini so ugotovile številne raziskave na atletih in plavalcih (Bachevanov, Boyadijev 1994; Baumann, Bonov, 1994; Popov, 1994; Škof, 1994; Weng, Chen, Wang, 1994). To kažejo tudi tekmovalne statistike, ki govorijo, da imajo atleti, ki vadijo in živijo na višini 2000 m prednosti pred ostalimi (Popov, 1994). Zanimiva je bila raziskava, ki je preu evala spremembe v rezultatih pri dveh skupinah, ki so izvajale enako vadbo, ena na višini, druga pa v nižini. Pokazalo se je, da vzdržljivostna vadba na višini ne povzro a prednosti pred vadbo na nižini, medtem ko je lahko prednost pri vadbi šprinta. Na podlagi raziskave avtorji ugotavljajo, da je za izboljšanje rezultata v vzdržljivostnem nastopu v nižini najbrž potrebno daljše bivanje na višini, približno 6 tednov (Troup, 1992). Pri tem pa je potrebno upoštevati, da se posamezni športniki razli no odzovejo na višino, da imajo razli en as adaptacije tako na višino kot tudi po prihodu z višine v nižino in da se pri nekaterih pojavijo psihološke težave v zvezi z vadbo.

V zadnjih 20-30 letih se je $VO_2\max$ športnikov pove al, s tem pa so se izboljšali svetovni rekordi. Eden od dejavnikov, ki vpliva na pove anje $VO_2\max$ in s tem izboljšanje rekordov je vadba na višini. Raziskave kažejo, da je veliko športnikov, ki so živeli v gorah in okolici, zmagalo na mnogih olimpijadah in svetovnih prvenstvih v zadnjih desetletjih (Heikki, Heikki in Juha, 2004). Vendar pa znanstvena literatura meni, da je z vidika doseganja boljših rezultatov vadba na višini in potem nastop v nižini dvoumen. V zadnjih 10 letih se je število tehnik in metod, namenjenih za simulacijo višine in s tem višinske vadbe izrazito pove ala. Višinski šotori, nadmorske hiše, specialni dihalni aparati so bili razviti za hipoksijo v mirovanju in med vadbo. S tem pa se je razvil izraz vadba s hipoksi nimi prekinitvami z ob asno uporabo normobarne in hipobarne hipoksije. Na splošno lahko to metodo delimo na dve razli ni strategiji: zagotavljanje hipoksije v mirovanju z osnovnim ciljem aklimatizirati se na višino in zagotavljanje hipoksije med vadbo z glavnim ciljem krepiti telesne dražljaje na vadbo (Levine, 2002). V tem pogledu se spet porajajo vprašanja v zvezi z nadmorsko višino, hipoksijo, vzdržljivostjo v

odnosu do tekmovalnih rezultatov. Ta vprašanja skušajo ugotoviti pozitivne ali negativne učinke vadbe na višji nadmorski višini in potem na nastop v nižini in ali je to vzrok za doseganje športnih dosežkov, kot so medalje na evropskih in svetovnih prvenstvih. (Heikki, Heikki in Juha, 2004).

5. SKLEP

Namen diplomske naloge je bil predstaviti uinke vadbe po metodi »živi visoko, treniraj nizko« ali druga eno LHTL vadbe. Koncept vadbe LHTL pomeni, da se vadi na običajni nadmorski višini (nekje do 1300 m), poiv pa se na višjih nadmorskih višinah (ve kot 1300 m). Dejstvo je, da je na višji nadmorski višini znižan delni tlak kisika v zraku in je tako otežena regeneracija telesa med poitkom. Višjo nadmorsko višino se lahko simulira z raznimi šotori, komorami ali hišami, kjer so ustvarjeni pogoji, kot so pogoji na višini, katero želimo simulirati.

Veina športnikov in trenerjev uporablja to vrsto metode predvsem zato, ker bi radi izboljšali rezultate v nižini. Seveda pa tako trenerji kot tudi raziskovalci na športnem področju niso prišli do končnih zaključkov, ali vadba na višini res pripomore k izboljšanju rezultatov v nižini.

Med prebiranjem literature in pisanjem tega diplomskega dela smo ugotovili, da je veina raziskav, ki je raziskovala kako uinkuje vadba po principu LHTL, uporabljala višine med 2500 m in 3000 m za izpostavljenost hipoksiji. Razloženo je bilo, da se z višanjem nadmorske višine posledično niža delni tlak kisika. Za doseganje dobrih ali pa vrhunskih rezultatov pri športnikih ima pomembno vlogo regeneracija. Splošno znano je, da je kisik eden izmed zelo pomembnih dejavnikov za razgradnjo hranljivih snovi v telesu, ki potem služijo kot vir energije še posebej pri športnikih. Privajanje na dražljaje na višjih nadmorskih višinah pripelje do tega, da se telo odzove z večjo ventilacijo zaradi potrebe po večji količini kisika. Pri metodi LHTL so vadei tako med regeneracijo izpostavljeni hipoksiji kar še dodatno poveča ventilacijo. Odziv telesa na dražljaje, kot je pomanjkanje kisika, pa sproži v telesu pospešeno izločanje seruma eritropoetina zato, da se lahko ustvari večje število rdečih krvnih teles, in sicer da bi nadomestile izgubo kisika. Pomembno vlogo pri tem pa ima hemoglobin, ki se nahaja v rdečih krvnih telesih, ki je prenašalec kisika od pljuč do celic.

Optimalna višina za vadbo je nekje med 2500 m in 3000 m. To potrjuje več in raziskav saj je prav na teh višinah zasledila povečano izločanje eritropoetina, povečano število rdečih krvnih teles in povečano skupno maso hemoglobina. Višje višine povzročajo več negativnih učinkov. Eden izmed teh negativnih učinkov je porušeno oksidativno – antioksidativno ravnovesje kjer pride do okvare lipidov, proteinov in DNA-ja, pri višinah do 3000 m pa se to ravnovesje še lahko uravnava tako z hrano kakor tudi z vadbo. Vadba LHTL se priporoča predvsem za vzdržljivostne športe, kot so: smučanje, tek na smučeh, tek na dolge in srednje proge, triatlon, plavanje, kolesarjenje. Vadba naj bi trajala približno od 3 do 4 tedne, ker se mora telo ob prihodu na višino aklimatizirati približno 2 tedna. Učinki vadbe LHTL pa trajajo približno deset dni po prihodu športnikov v nižino. Vadba LHTL se je pokazala kot pozitivna, ker se povečala $VO_2\text{max}$ zaradi povečane ventilacije, povečala se izločanje seruma eritropoetina, prav tako pa se povečala število rdečih krvnih teles in skupna masa hemoglobina. Ali učinki vadbe LHTL po prihodu v nižino potem pripomorejo k izboljšanju rezultata na tekmovanjih, pa še ni isto pojasnjeno.

Veliko raziskav prikaže, da so športniki po vadbi na višini dosegli boljše rezultate na tekmovanjih in da se je povečalo število medalj na svetovnih prvenstvih prav pri tistih, ki so kombinirali vadbo tako, da so bili izpostavljeni hipoksiji. Ali je bila to vadba LHTL, ali je bila to vadba LHTH ali pa je bila to vadba LLTH pa še ni isto pojasnjeno. Na vsako vadbo se vsak lovek odzove različno zato, ker ima vsak svoj čas prilagajanja. Nekateri po vadbi, kjer kombinirajo izpostavljenost hipoksiji, pokažejo velik napredek, nekateri ga sploh ne pokažejo, nekateri pa celo nazadujejo.

Pri vsaki vadbi je zelo pomemben, če ne celo najbolj pomemben, psihološki dejavnik vsakega posameznika, pa naj bo to vadba v kombinaciji s hipoksijo ali brez nje. Brez maksimalne psihične pripravljenosti ne dosežemo dobrih ali pa vrhunskih rezultatov, tudi če smo telesno maksimalno pripravljene.

6. LITERATURA

Ashenden J. M., Gore J. C., Dobson P. G. in Hahn A. G. (1999). »Live high train low« does not change total hemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at simulated altitude of 3000 m for 23 nights. *European journal of applied physiology*, 80, 479 – 484.

Allan G. H., Christopher J. G., David T. M., Michael M. A., Alan D. R., in Peter A. L. (2001). *Comparative biochemistry and physiology part A : Molecular integrative physiology*, 128, 777 – 789.

Bravni ar – Lasan M. (1996). *Fiziologija športa – harmonija med delovanjem in mirovanjem*. Ljubljana: Fakulteta za šport, inštitut za šport.

Clark S. A., Aughey J. R., Gore J. C., Hahn A. G., Townsend N. E., Kinsman T. A., Chow C. M., Mckenna J. M. in Hawley J. A. (2003). Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans. *Journal of applied physiology publishes*, 96, 517 – 525.

Clark S. A., Aughey J. R., Gore J. C., Hahn A. G., Mckenna J. M., Granham A.P., Petersen A. C. in Roberst A. D. (2005). Chronic intermittent and incremental cycling exercise independently depress muscle in vitro maximal Na^+ - K^+ - ATPase activity in well trained athletes. *Journal of applied physiology publishes*, 98, 186 – 192.

Clark S. A., Aughey J. R., Gore J. C., Hahn A. G., Townsend N. E., Kinsman T. A., Chow C. M., Mckenna J. M. in Hawley J. A., Martin D. T. in Goodman C. (2006). Interspered normoxia during live high train low interventions reverses an early reduction in muscle Na^+ - K^+ - ATPase activity in well - trained athletes. *European journal of applied physiology*, 98, 299 – 309.

Clark S. A., Quod M. J., Clark M. A., Martin D. T., Saunders P. U. in Gore C. J. (2009). Time course of hemoglobin mass during 21 days live high : train low simulated altitude. *European journal of applied physiology*, 106, 399 – 406.

Chung D. S., Lee K. J., Kim Y. S., Park H. D., Sung J. B., Cho H. N. in Oh I. S. (2005). Effect of intermittent normobaric hypoxia on oxidative stress during a period of endurance training. *International journal of applied sports sciences*, 17, 59 – 71.

Chapman F. R., Stray – Greundsen J. in Levine D. B. (1997). Individual variation in response to altitude training. *Journal of applied physiology*, 85, 1448 – 1456.

Dosek A., Ohno H., Acs Z., Taylor W. A. in Radak Z. (2007). High altitude and oxidative stress. *Respiratory physiology & neurobiology*, 158, 128 – 131.

Gore C. J., Hahn A. G., Aughey R. J., Martin D. T., Ashenden M. J., Clark S. A., Garnham A. P., Roberst A. D., Slater G. J. in Mckenna M. J. (2001). Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Scandinavian physiological society*, 173, 275 – 286.

Garvican L., Martin D., Quod M., Stephens B., Sassi A. in Gore C. (2010). Time course of haemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclist. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22, 95 – 103.

Garvican L. A., Pottgiesser T., Martin T. D., Schumacher O. Y., Barras M. in Gore J. C. (2011). The contribution of haemoglobin mass to increases in cycling performance induced by simulated LHTL. *European journal of applied physiology*, 111, 1089 – 1101.

Gregoire P.M., Roels B., Schmitt L., Woorons X., in Richalet J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports medicine*, volume 40, 1 – 25.

Green H. J. (2000). Altitude acclimatization, training and performance. *Journal of science and medicine in sport*, 3, 299 – 312.

Heikki K. R., Heikki O. T., in Juha E. P. (2004). *Journal of sports sciences*, volume 22, 928 – 945.

Pialoux P., Brugniaux V. J., Rock E., Mazur A., Schmitt L., Richalet J. P., Robach P., Clottes E., Couder J., Fellmann N. in Mounier R. (2010). Antioxidant status of elite athletes remain impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp. *European journal of nutrition*, 49, 285 – 292.

Pialoux V., Mounier R., Brugniaux V. J., Rock E., Mazur A., Richalet J. P., Robach P., Coudert J. in Fellmann N. (2009). Thirteen days of »live high train low« dose not affect prooxidant/antioxidant balance in elite swimmers. *European journal of applied physiology*, 106, 517 – 524.

Pialoux V., Mounier R., Brugniaux V. J., Rock E., Mazur A., Richalet J. P., Robach P., Coudert J., Fellmann N. in Schmitt L. (2009). Effect of the live high train low on prooxidant/antioxidant balance on elite athletes. *European journal of clinical nutrition*, 63, 756 – 762.

Piehl A. K., Svedenhag J., Wide L., Berglund B. in Saltin B. (1998). Short – term intermittent normobaric hypoxia – haematological, physiological and mental effects. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 8, 132 – 137.

Robertson Y. E., Saunders U. P., Pyne D. B., Gore J. C., Anson J. M. (2010). Effectiveness of intermittent training in hypoxia combined with live high train low. *European journal of applied physiology*, 110, 379 – 387.

Richalet J. P in Gore J. C. (2008). Live and/or sleep high:train low, using normobaric hypoxia. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18, 29 – 37.

Saunders P. U., Telford R. D., Pyne D. B., Hahn A. G. in Gore C. J. (2009). Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *Journal of science and medicine in sport*, 12, 67 – 72.

Schuler B., Thomsen J. J., Gassmann M. in Lundby C. (2007). Timing the arrival at 2340 m for aerobic performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17, 588 – 594.

Stray – Greundsén J. in Levine D. B. (2008). Live high, train low at natural altitude. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18, 21 – 28

Saunders P. U., Telford R. D., Pyne D. B., Cunningham R. B., Gore C. J. Hahn A. G. in Hawley J. A. (2003). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate – altitude exposure. *Journal of applied physiology*, 96, 931 – 937.

Štrumbelj B. (2002). Višinski trening. Ljubljana: Fakulteta za šport, inštitut za šport.

Townsend E. N., Gore J. C., Hahn A. G., Aughey J. R., Clarc A. S., Kinsman A. T., Mckenna J. M., Hawley A. J. in Chow M. C. (2005). Hypoxic ventilatory response is correlated with increased submaximal exercise ventilation after live high train low. *European journal of applied physiology*, 94, 207 – 215.

Ušaj A. (1997). Kratek pregled osnov športnega treniranja. Ljubljana: Fakulteta za šport, inštitut za šport.

