

Fiziologija visinskih priprema

Filipović Grčić, Rikard

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:720147>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Rikard Filipović Grčić

Fiziologija visinskih priprema

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2021.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Klinici za unutarnje bolesti, Kliničke bolnice Dubrava, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Ozrena Jakšića i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2020./2021.

POPIS KRATICA

AMS – Akutna planinska bolest (eng. *Acute Mountain Sickness*)

ATP – Adenozin trifosfat (eng. *Adenosine Triphosphate*)

BFR – Restrikcija protoka krvi (eng. *Blood Flow Restriction*)

CAT – *Colorado Altitude Training*

CHT – Kontinuirani trening u hipoksiji (eng. *Continuous Hypoxic Training*)

GLUT-4 – Transporter glukoze tip 4 (eng. *Glucose Transporter type 4*)

HACE – Moždani edem velikih visina (eng. *High-Altitude Cerebral Oedema*)

HAPE – Plućni edem velikih visina (eng. *High-Altitude Pulmonary Oedema*)

HIF-1 – hipoksija-inducibilni faktor 1 (eng. *Hypoxia-Inducible Factor 1*)

HVR – hipoksično ventilacijski odgovor (eng. *Hypoxic Ventilatory Response*)

IHE – Isprekidano izlaganje hipoksiji u mirovanju (eng. *Intermittent Hypoxic Exposure at rest*)

IHT – Intervalni trening u hipoksiji (eng. *Interval Hypoxic Training*)

INF- γ – Gama interferon

IPC – ishemijsko prekondicioniranje (eng. *Ischaemic Preconditioning*)

LH-TH – *Live High-Train High*

LH-TL – *Live High-Train Low*

LL-TH – *Live Low-Train High*

mRNA – Glasnička ribonukleinska kiselina (eng. *Messenger Ribonucleic Acid*)

PGC-1 α – Koaktivator peroksisomalnog proliferatorom aktiviranog gama receptora (eng. *Peroxisome proliferator-activated receptor-Gamma Coactivator 1-alpha*)

RSH – Ponavljani sprintevi u hipoksiji (eng. *Repeated-Sprint training in Hypoxia*)

RTH – Trening otpora u hipoksiji (eng. *Resistance Training in Hypoxia*)

SaO₂ – Saturacija arterijske krvi kisikom

SIH – Sprint intervalni trening u hipoksiji (eng. *Sprint Interval training in Hypoxia*)

VEGF – Faktor vaskularnog endotelnog rasta (eng. *Vascular Endothelial Growth Factor*)

VO₂max – maksimalni primitak kisika

Sadržaj:

Sažetak.....	
Summary.....	
1. Uvod.....	1
2. Fiziološki odgovor na visine.....	2
2.1. Dišni sustav.....	3
2.2. Kardiovaskularni sustav.....	4
2.3. Hematološki sustav.....	6
2.4. Skeletni mišići.....	7
2.5. Metabolizam laktata.....	9
3. Modeli visinskih priprema.....	12
3.1. Klasične visinske pripreme.....	12
3.2. Live high - train low.....	13
3.3. Isprekidano izlaganje hipoksiji.....	15
4. Simulacija visinskih priprema.....	24
4.1. Kuća dušika.....	25
4.2. Filtracija kisika.....	26
4.3. Dopunski kisik.....	26
4.4. Uređaji za spavanje u hipoksiji.....	27
5. Moguće štetne posljedice visinskih priprema.....	28
5.1. Akutna planinska bolest.....	29
5.2. Moždani edem velikih visina.....	30
5.3. Plućni edem velikih visina.....	31
5.4. Imunosupresija.....	32
5.5. Poremećaj sna.....	33
6. Zaključak.....	34

Zahvala.....	36
Literatura.....	36
Životopis.....	39

Sažetak

Fiziologija visinskih priprema

Rikard Filipović Grčić

Na velikim nadmorskim visinama ljudsko tijelo podvrgnuto je dodatnom fiziološkom stresu. Visinske pripreme ili trening u hipoksiji postupak je u kojem se trenira ili živi na zraku sa smanjenom količinom kisika u svrhu poticanja fizičkih prilagodbi koje mogu poboljšati sportske izvedbe. Postoje dva značajna razloga zašto bi netko htio iskoristiti prednosti treninga na visinama. Prvi je kako bi se poboljšale izvedbe na visinama, a drugi je razlog da bi se poboljšale izvedbe na razini mora. Prilikom treninga na visinama tijelo se osim na stres samog treninga mora prilagoditi i na stanje hipoksije. Fiziološke prilagodbe koje se odvijaju na velikim nadmorskim visinama imaju za cilj optimizirati prijenos kisika iz zraka do mitohondrija kako bi se moglo odvijati stanično disanje. Hipoksija je ključan stimulans koji potiče adaptaciju ventilacije, kardiovaskularnog i hematološkog sustava te skeletnih mišića. Postoje brojni modeli koji kombiniraju prirodan ili umjetan hipoksičan okoliš, povremena ili kontinuirana izlaganja, kao i različite nadmorske visine. Prilikom klasičnih visinskih priprema sportaši žive i treniraju na velikim visinama. S druge strane, moguće je živjeti na velikim visinama, a trenirati na manjim ili se povremeno izlagati hipoksiji. Ovi modeli imaju za cilj smanjiti štetne posljedice boravka u hipoksiji uz zadržavanje koristi. Bolest velikih visina je zajednički naziv za sindrome koji mogu zahvatiti neaklimatizirane putnike nedugo nakon uspona na visine. Različiti modeli visinskih priprema mogu se kombinirati kako bi se maksimizirale izvedbe. Također, treba poduzeti određene mjere za sprječavanje štetnih posljedica odlaska na visine, kako bi korist visinskih priprema bila što je moguće veća.

Ključne riječi: Visina; Trening; Hipoksija; Sportaši

Summary

Physiology of altitude training

Rikard Filipović Grčić

At great altitudes, human body undergoes additional physiological stress. Altitude training, or training in hypoxia, is a procedure in which you train or live in an environment with lower oxygen to stimulate physiologic adaptations that can lead to enhanced athletic performances. There are two main reasons why someone would want to use the advantages of training at altitude. First one is to enhance performances at altitude, and second reason is to enhance performances at sea level. During training at altitude body has to adapt to a state of hypoxia as well as to stress of training itself. Physiological adaptations that take place at great altitudes have a goal of optimizing transfer of oxygen from air to mitochondria, in order to maintain cellular respiration. Hypoxia is a key stimulant that leads to adaptation of ventilation, cardiovascular and haematologic system, and skeletal muscles. There are many models of altitude training that combine natural or artificial hypoxic environment, intermittent or continuous exposure, as well as different altitudes. During classical altitude training athletes live and train at great heights. On the other hand, living high and training low as well as intermittent hypoxic exposure are also available. These models aim to reduce negative effects of staying at altitude while maintaining positives. High-altitude illness is a common name for syndromes that can overwhelm travellers shortly after ascent. Different models of altitude training can be combined in order to maximise performances. Also, measures should be taken in order to prevent negative consequences of high altitude, so that altitude training would be as beneficial as possible.

Keywords: Altitude; Training; Hypoxia; Athletes

1. Uvod

Treniranje na velikim visinama ima brojne pozitivne posljedice na zdravlje i kondiciju zbog čega ga sportaši uvelike koriste kako bi poboljšali svoje izvedbe. Korist visinskih priprema za tijelo dolazi kroz prirodne procese i mehanizme i stoga se smatra „legalnim dopingom“.

Visinske pripreme ili trening u hipoksiji postupak je u kojem se trenira ili živi na zraku sa smanjenom količinom kisika u svrhu poticanja fizičkih prilagodbi koje mogu poboljšati sportske izvedbe. Sportaši moraju izložiti svoje tijelo dovoljno velikim visinama, i dovoljno dugo, kako bi došlo do adekvatnog hipoksičnog stimulusa koji će potaknuti fizičke prilagodbe. Od 0 do 700 metara smatra se visinom blizu razine mora, a od 700 do 1500 metara kao niska nadmorska visina. Umjerenom nadmorskom visinom smatra se visina od 1500 do 2500 metara, a zona visoke nadmorske visine je od 2500 do 5500 metara. Iznad toga je ekstremna visina.

Trening na visinama je prvi put privukao pozornost trenera i znanstvenika na olimpijskim igrama 1968. godine koje su se održale u Ciudad de México, u Meksiku na visini od 2240 metara. To je bio prvi veliki sportski događaj na tako velikoj nadmorskoj visini. U svim sportovima izdržljivosti postignuti su značajno slabiji rezultati u odnosu na rekorde postignute u gradovima na razini mora. Iako su svi sportaši doživjeli značajno opadanje izvedbi, sportaši rođeni na većim visinama dominirali su u svim disciplinama izdržljivosti.

Na velikim visinama je smanjen atmosferski tlak, a samim time i parcijalni tlak kisika, zbog čega se javlja osjećaj nedostatka kisika i otežanog disanja. Posljedica toga je smanjena oksigenacija krvi, manje kisika se transportira i koristi u mišićima te se tijelo brže umara.

Postoje dva značajna razloga zašto bi netko htio iskoristiti prednosti treninga na visinama. Prvi je da bi se poboljšale izvedbe na visinama, a drugi razlog je da bi se poboljšale izvedbe na razini mora. Očito je da aklimatizacija na visinu dovodi do boljih performansi prilikom natjecanja izdržljivosti na visinama (1). Ipak, budući da je vrlo malo natjecanja koja se odvijaju na velikim visinama, sportaši su više zainteresirani za fiziologiju i potencijal visinskih priprema kao metodu poboljšanja izvedbi na morskoj razini.

2. Fiziološki odgovor na visine

Prilikom treninga na visinama tijelo se osim na stres samog treninga mora prilagoditi i na stanje hipoksije. Parcijalni tlak kisika u arterijskoj krvi se snižava s povećanjem nadmorske visine. Na velikim nadmorskim visinama alveolarni parcijalni tlak kisika je snižen, što uzrokuje smanjenu saturaciju hemoglobina kisikom i smanjenu ukupnu količinu kisika u krvi.

Fiziološke prilagodbe koje se odvijaju na velikim nadmorskim visinama imaju za cilj optimizirati prijenos kisika iz zraka do mitohondrija kako bi se moglo odvijati stanično disanje. Stoga ih sportaši, kojima je važna izdržljivost, već godinama koriste kako bi poboljšali svoje izvedbe. Za njih je hipoksija ključan stimulans koji potiče adaptaciju

ventilacije, kardiovaskularnog i hematološkog sustava te skeletnih mišića. Ove prilagodbe čine fiziološku podlogu visinskih priprema.

2.1. Dišni sustav

Ventilacija raste proporcionalno s porastom nadmorske visine. S porastom nadmorske visine dolazi do pada atmosferskog tlaka te zrak sadrži manje kisika. Posljedično tomu treba izmijeniti sve veću količinu zraka u plućima kako bi se osigurala adekvatna količina kisika za izmjenu plinova na alveo-kapilarnoj membrani. Ovaj fenomen stavlja sve veće zahtjeve na mehanizam ventilacije. Da bi se zadovoljile povećane potrebe u izmijenjenim uvjetima, dolazi do adaptacije ventilacije (2).

Važnost povećanja ventilacije u osiguravanju adekvatne količine kisika tijekom treninga na visinama djelomično je umanjena povećanom količinom energije potrebne za samo disanje. Povećanjem alveolarne ventilacije dolazi do pada alveolarnog parcijalnog tlaka ugljikovog dioksida i porasta alveolarnog parcijalnog tlaka kisika, što u konačnici dovodi do povećanja alveo-kapilarnog gradijenta za kisik i njegovu adekvatnu difuziju. Protok krvi kroz plućne kapilare je ograničavajući faktor za unos kisika tijekom stanja povećanih potreba tijela. Tijekom treninga vrijeme za difuziju preko alveo-kapilarne membrane je, zbog povećanog minutnog volumena, skraćeno.

Važan faktor koji pospješuje oksidaciju krvi u plućima jest afinitet hemoglobina za kisik, kojeg određuje disocijacijska krivulja hemoglobina. Respiracijska alkalozna, koja se javlja

zbog pojačane ventilacije na visinama, dovodi do pomaka disocijacijske krivulje hemoglobina ulijevo, što povećava njegov afinitet za kisik.

Karotidno tijelo je senzor hipoksemije. Ono detektira sniženi parcijalni tlak kisika u arterijskoj krvi i šalje signal u moždano deblo, odakle se prenosi na dišnu muskulaturu. Povećanje ventilacije dovodi do pada parcijalnog tlaka ugljikovog dioksida, povišenja alveolarnog parcijalnog tlaka kisika te posljedično povećane količine kisika u arterijskoj krvi. Iako je akutni odgovor ventilacije na hipoksiju ograničen zbog posljedične respiratorne alkaloze, karotidno tijelo se s vremenom prilagođava i dovodi do porasta ventilacije. Ovaj se odgovor može mjeriti i zove se hipoksični ventilacijski odgovor (eng. hypoxic ventilatory response, HVR). On se povećava tijekom boravka na visinama. Osobe koje imaju veći hipoksično ventilacijski odgovor imaju veću ventilaciju i saturaciju kisika u arterijskoj krvi u mirovanju i tijekom treninga (2).

2.2. Kardiovaskularni sustav

Kronična hipoksija na velikim visinama dovodi do promjena na brojnim hemostatskim mehanizmima u tijelu. Kardiovaskularni učinci nisu ništa manje važni od učinaka dišnog sustava. Hipoksija uzrokuje direktne i refleksne posljedice. U plućima uzrokuje vazokonstrikciju i plućnu hipertenziju. Simpatički živčani sustav je pobuđen kroz centralni utjecaj hipoksije i djelomično refleksno, stimulacijom kemoreceptora, plućnih arterijskih baroreceptora te promjenom funkcije sistemskih baroreceptora (3).

U mirovanju, odmah nakon izlaganja hipoksiji dolazi do povećanja srčanog minutnog volumena. To je u cijelosti posljedica povišenja frekvencije rada srca. Udarni volumen ostaje nepromijenjen. Povećanje srčanog minutnog volumena je taman toliko da nadoknadi smanjenu količinu kisika u arterijskoj krvi kako bi doprema kisika u periferna tkiva ostala nepromijenjena. Ovaj odgovor kardiovaskularnog sustava je kratkotrajan jer se srčani minutni volumen vrati u normalno stanje koje je bilo u normoksiji (4). Ipak, to se događa na malo drugačiji način, srčana frekvencija ostaje povišena, a udarni volumen opada.

Održavanje hemostaze kisika je ključno za funkcioniranje stanica, a time i samog organizma. Tijekom treninga povećani su sistemni zahtjevi za kisikom zbog pojačanog metabolizma aktivnih skeletnih mišića, respiratorne muskulature i srca. Ovi povećani zahtjevi za kisikom podmireni su većom dostavom i ekstrakcijom kisika. Sistemna dostava kisika ovisi o količini kisika u arterijskoj krvi i o srčanom minutnom volumenu. Ovisno o metabolizmu srčani minutni volumen se povećava s padom koncentracije kisika u arterijskoj krvi. Suprotno tome, srčani minutni volumen pada s porastom koncentracije kisika, bilo povišenjem koncentracije hemoglobina ili hiperoksijom. S obzirom na to da se saturacija hemoglobina održava pri svom maksimumu, čak i tijekom maksimalne tjelovježbe, maksimalni srčani minutni volumen je ključni faktor koji određuje maksimalnu dostavu kisika, a samim time i kapacitet za tjelovježbu na morskoj razini. Tijekom tjelovježbe na visinama saturacija kisika pada s povišenjem intenziteta treniranja, što čini srčani minutni volumen još kritičnijim za adekvatnu dostavu kisika. Prilagodбом na visine koncentracija hemoglobina raste dovoljno da nadoknadi pad arterijske saturacije kisikom zbog sniženog parcijalnog tlaka kisika u zraku (5). Time se vraća arterijska koncentracija kisika u normalu.

2.3. Hematološki sustav

Glavni cilj višetjednih visinskih priprema jest povećati ukupni volumen crvenih krvnih stanica i samim time sposobnost arterijske krvi da prenosi kisik. Na visinama, snižen parcijalni tlak kisika potiče stvaranje eritropoetina u bubrezima, što u konačnici stimulira stvaranje crvenih krvnih stanica u koštanoj srži (6).

Stanovnici velikih nadmorskih visina posjeduju veću ukupnu masu hemoglobina, za razliku od stanovnika razine mora. U slučaju da je ukupna masa hemoglobina odlučujući faktor izvedbi, moglo bi se pretpostaviti da ta populacija ima prednosti prilikom natjecanja na visinama (7).

Regulacija ukupne mase hemoglobina je pod kontrolom hormona eritropoetina, kojeg stvaraju peritubularne stanice u bubrezima. Serumsku koncentraciju eritropoetina regulira sustav HIF-1, koji je medijator signala o sniženom parcijalnom tlaku kisika u bubrezima. Prilikom adaptacije na visine eritropoetin je inicijalno povišen, ovisno o padu saturacije hemoglobina kisikom, što ovisi o nadmorskoj visini. Nakon boravka na određenoj visini eritropoetin padne na novu konstantnu razinu, blago iznad normale. Prilikom silaska s velikih visina dolazi do selektivne destrukcije mladih eritrocita, što se zove neocitoliza, koju potakne jaka redukcija plazmatskog eritropoetina (7).

Osim izlaganja visinama, sama utreniranost ima utjecaj na ukupnu količinu hemoglobina i masu crvenih krvnih stanica. Vrhunski sportaši u sportovima izdržljivosti imaju veći volumen krvi i veću ukupnu količinu hemoglobina u odnosu na anaerobne discipline i neuvježbane individualce (8).

Izdržljivost sportaša izražava se maksimalnim primitkom kisika (VO_{2max}). On ovisi o mišićnoj potrošnji kisika kao i o sposobnosti krvi za prijenos kisika. U elitnih sportaša mišići su dobro prilagođeni dok je transport kisika ograničavajući faktor. Promjene u ukupnoj masi hemoglobina i masi crvenih krvnih stanica imaju najveći utjecaj na maksimalni primitak kisika. Visokorangirani sportaši u kategorijama izdržljivosti imaju 35% više vrijednosti ukupne mase hemoglobina dok sportaši nativni velikim visinama imaju još 14% više. Ipak, povećani kapacitet za prijenos kisika potaknut visinama ne dovodi do promjene maksimalnog primitka kisika na razini mora niti na visinama kod neutreniranih pojedinaca (7).

Treniranje na razini mora ima mali direktni utjecaj na krvotvorni sustav. Genetske predispozicije su važnije za veću ukupnu masu hemoglobina i bolje izvedbe izdržljivosti. Visinske pripreme mogu dovesti do povećanja ukupne mase hemoglobina ako se provode na dovoljno velikoj nadmorskoj visini uz dovoljno dugo izlaganje hipoksiji. Ipak, vrijednosti ukupne mase hemoglobina koje se javljaju kod sportaša nativnih velikim visinama ne mogu se postići visinskim pripremama (9).

2.4. Skeletni mišići

Pad intramuskularnog kisika prilikom treninga izdržljivosti uzrok je pojačane ekspresije angiogenih i mitohondrijskih proteina. Trening na visinama pojačava ovaj odgovor. Zbog smanjene količine kisika u mišićima tijekom boravka i treninga na visinama, mogu se vidjeti promjene u transkripciji gena, metabolizmu mišića i sposobnosti

puferiranja. Velike nadmorske visine dovode do prilagodbi proteina u mišićima, koje odražavaju kompromis između suprotstavljenih metaboličkih strategija, optimizacije stvaranja ATP-a i potrošnje energije. Ponavljani mišićni rad na visinama, praćen oporavkom u dobro oksigeniranoj atmosferi, povećava aerobni kapacitet pojačavajući ekspresiju mitohondrijskih proteina. Suprotno tomu, trajna hipoksija mišića uzrokuje gubitak mitohondrija, koji je kompenziran poboljšanom kapilarnom perfuzijom zbog gubitka kontraktilnih elemenata. Autofagija mitohondrija, atrofija vlakana i energetska ograničenja translacije proteina sprječavaju akumulaciju mitohondrijskih proteina nakon treninga kada se oporavak događa iznad aklimatizirane nadmorske visine. Suprotno tome, proteini uključeni u metabolizam glukoze i laktata isključeni su iz atrofije mišića, što objašnjava prelazak mišića s aerobnog na anaerobni metabolizam na visinama (10). Mjerenja transkripcijskih enzima koji sudjeluju u različitim metaboličkim, homeostatskim i regulatornim putevima sugeriraju da dodatni stres hipoksije tijekom treninga, uz mehaničke i kontraktilne stimulanse, igra veliku ulogu u adaptaciji mišića. Javljaju se povećane razine mRNA faktora uključenih u regulaciju sinteze mitohondrija, enzima uključenih u metabolizam mitohondrija i ugljikohidrata, obrane od oksidativnog stresa te regulacije pH. Uz to postoji značajna povezanost između razine GLUT-4 mRNA u mišićima i izdržljivosti. Transport glukoze je ograničavajući korak za unos glukoze u mišiće. Stoga je važan kontrakcijom induciran transport glukoze kako bi se održala razina ATP-a u mišićima. Kapacitet za kontrakcijom induciran unos glukoze, kao i količina GLUT-4 transportera, su veći u sportaša nego netreniranih osoba. Sukladno tomu, fizički trening povisuje količinu GLUT-4. Izloženost hipoksiji povećava ovisnost o glukozi iz krvi i potiče unos glukoze istim mehanizmom kao i kontrakcije. Uz to se povećava razina GLUT-4 mRNA, što značajno korelira s izdržljivošću sportaša koji treniraju u hipoksiji (11).

U stanjima nedostatne opskrbe tijela kisikom aktiviraju se mehanizmi koji obnavljaju oksigenaciju te se brzo prilagođavaju uvjetima hipoksije povećanjem respiracije i protoka krvi. Glavni mehanizam osjetljiv na kisik jest faktor indukcije hipoksije (eng. Hypoxia inducible factor, HIF). HIF-1 je transkripcijski faktor ljudskog gena koji kodira eritropoetin i glavni je regulator genskog odgovora na hipoksiju. HIF-1 sastoji se od dvije podjedinice: podjedinice koju regulira kisik (HIF-1 α) i konstitutivno izražene podjedinice (HIF-1 β). Smanjena dostupnost kisika u hipoksiji zahtijeva od stanica da prilagode svoje metaboličke reakcije koje ovise o dostupnosti ATP-a stvorenog mitohondrijskom oksidativnom fosforilacijom. Signalni put HIF-1 α smanjuje ovisnost stanica o kisiku disregulacijom oksidativne fosforilacije. Aktivirani HIF-1 α ima važnu ulogu u tranziciji metabolizma tijekom hipoksije. Ciljni geni HIF-1 α su uključeni u transport kisika, glikolizu i transport glukoze. Hipoksija i trening mogu povećati nakupljanje HIF-1 α . Trening u hipoksiji povećava ekspresiju HIF-1 α proteina otprilike 2,5 puta. Kada je opskrba kisikom nedostatna, Ciljni geni HIF-1 α poboljšavaju transport kisika preko eritropoetina i mehanizmima angiogeneze preko VEGF-a. Uz to dovode do prilagodbi skeletnih mišića na treninge izdržljivosti optimizacijom transporta glukoze i aktivnosti glikolitičkih enzima. Konačno, trening u hipoksiji povećava ekspresiju PGC-1 α mRNA, koja inducira mitohondrijsku biogenezu (12).

2.5. Metabolizam laktata

Koncentracija laktata u krvi jedan je od najčešće mjerenih parametara tijekom testiranja izvedbi sportaša. Povišena koncentracija laktata u krvi je normalan fiziološki

odgovor tijela na napor. Kao odgovor na pojačavajući trening, koncentracija laktata u krvi u početku raste postepeno, a onda sve brže kako se intenzitet treninga povećava. Stupanj mišićnog rada nakon kojeg koncentracija laktata u krvi raste eksponencijalno zove se „prag laktata”. Laktatni prag je bolji prediktor izvedbi od maksimalnog primitka kisika i bolji indikator intenziteta treninga od frekvencije rada srca (13).

Postoji fenomen poznat kao „paradoks laktata”. Kao što je i očekivano, porast laktata u krvi za određenu veličinu rada veći je prilikom inicijalnog izlaganja visinama nego prilikom istog rada na razini mora. To je posljedica promjene u relativnom intenzitetu treninga uzrokovane hipoksijom. Međutim, nakon aklimatizacije na visine, porast laktata u krvi za istu količinu rada, kao i za maksimalni trening, paradoksalno je smanjen kada se usporedi s porastom pri kratkotrajnom izlaganju visinama. Ova promjena se smatra paradoksalnom zato što se smanjenje laktata događa unatoč tome što se unos kisika u cijelom tijelu kao i radnim mišićima ne razlikuje između kratkotrajnog i dugotrajnog izlaganja visinama. Posljedično tomu, snižene razine laktata u krvi se ne mogu objasniti poboljšanom dostavom i iskorištavanjem kisika u radnim mišićima (14).

Paradoks laktata je fenomen koji ostaje nerazjašnjen te i dalje začuđuje znanstvenike. Tijekom godina provedene su brojne studije, ali i dalje ima mjesta za buduća istraživanja (15).

Tablica 1: Učinci visinskih priprema na pojedine sustave i njihove prilagodbe

	Učinci na sustav	Prilagodbe
Ventilacija/respiracija	Porast ventilacije – treba izmijeniti veću količinu zraka u plućima kako bi se osigurala adekvatna količina kisika za izmjenu plinova	Respiracijska alkalozna – dovodi do pomaka disocijacijske krivulje hemoglobina ulijevo, što povećava njegov afinitet za kisik Hipoksični ventilacijski odgovor – prilagodba karotidnog tijela na respiracijsku alkalozu, što omogućuje daljni porast ventilacije
Kardiovaskularni sustav	Neadekvatan srčani minutni volumen – posljedica smanjene količine kisika u arterijskoj krvi, nedovoljnoj za adekvatnu oksigenaciju tkiva	Porast srčanog minutnog volumena – u cijelosti posljedica povišenja frekvencije rada srca
Hematološki sustav	Pad saturacije hemoglobina kisikom – posljedica smanjene količine kisika u plućima te smanjene difuzije na alveo-kapilarnoj membrani	Porast ukupne mase crvenih krvnih stanica i hemoglobina – povećanje kapaciteta krvi za prijenos kisika; povećanje sadržaja kisika u arterijskoj krvi
Skeletni mišići	Pad intramuskularnog kisika – posljedica smanjene količine kisika u arterijskoj krvi	Pojačana ekspresija gena – uključenih u sintezu mitohondrija, metabolizam ugljikohidrata, obranu od oksidativnog stresa i regulaciju pH

3. Modeli visinskih priprema

Sportaši već godinama koriste visinske pripreme kako bi stekli fiziološke prilagodbe za koje se vjeruje da će im omogućiti poboljšane izvedbi. Možda čak i minimalan napredak u izvedbama dovodi do uspjeha u natjecanjima. Brojni modeli kombiniraju prirodan ili umjetan hipoksičan okoliš, povremena ili kontinuirana izlaganja, kao i različite nadmorske visine.

3.1. Klasične visinske pripreme

Klasične visinske pripreme su poznate i kao „live high – train high” (LH -TH), gdje sportaši žive i treniraju na umjerenim visinama s ciljem da poboljšaju izvedbe na razini mora. Pruža dva mehanizma poboljšanja performansi. Prvi je posljedica aklimatizacije i adaptacije različitih sustava što poboljšava transport i iskorištavanje kisika. Drugi je hipoksija tijekom treninga koja djeluje kao dodatni stimulans. Povećanje ukupne mase hemoglobina i ukupne mase crvenih krvnih stanica, kao posljedica pojačane eritropoeze potaknute hipoksijom, se smatra ključnom komponentom za poboljšanje aerobnih izvedbi nakon visinskih priprema. Uz to može doći do poboljšanja mehaničkih performansi mišića, kao i povećanja metabolizma glukoze i aerobnog kapaciteta, nakon aklimatizacije ili visinskih priprema (1). Zbog oslabljenog aerobnog kapaciteta uzrokovanog hipoksijom, intenzitet treninga na umjerenim visinama treba biti smanjen kako bi se postigao intenzitet sličan treningu na razini mora. Stoga, trening na visinama se može iskoristiti za povećanje

intenziteta treninga koje je teže postići tijekom treninga na razini mora. Klasične visinske pripreme kroz 3-4 tjedna na visini većoj od 2000 metara mogu dovesti do poboljšanja kapaciteta za prijenos kisika, kao posljedica povećanja ukupne mase hemoglobina i crvenih krvnih stanica potaknuto hipoksijom. Ipak, postoje značajne varijacije u odgovoru na život i trening na visinama (1). Stoga je teško dizajnirati prikladne programe treninga, a postoji i opasnost od pretreniranosti kao i treniranje s nedovoljnim intenzitetom što dovede do gubitka performansi.

3.2. Live high - train low

Za razliku od klasičnih visinskih priprema, model „live high – train low” (LH - TL) kombinira življenje na većim nadmorskim visinama s povremenim boravcima na nižim nadmorskim visinama za vrijeme treninga. Ovaj model je osmišljen kako bi se izbjeglo pad snage i intenziteta treninga, koji su povezani s treniranjem na velikim nadmorskim visinama. Živeći na visini sportaši imaju korist od svih posljedica aklimatizacije, a treniranjem na manjim visinama mogu nastaviti s normalnim intenzitetom treninga te se sprječavaju štetni učinci hipoksije, kao što su gubitak mišićne mase, umor ili smanjene aerobne izvedbe.

Da bi visinske pripreme dovele do bolje izvedbe, mora doći do aklimatizacije sportaša na visine, koja poboljšava dostavu kisika u mišiće (primarno kroz povećanje u ukupnoj masi crvenih krvnih stanica) ili poboljšava iskoristivost kisika kroz trening u hipoksiji. Dok je povećanje ukupne mase crvenih krvnih stanica s kroničnim izlaganjem visinama postalo

općeprihvaćeno (uz određene preuvjete, kao što su prikladne zalihe željeza ili odsustvo bolesti), utjecaj treninga u hipoksiji na maksimalni primitak kisika ostaje upitan(1). Smanjen prijenos kisika od kapilara do mitohondrija tijekom dugotrajnog treninga u hipoksiji može smanjiti adaptivni stimulans za bolju ekstrakciju kisika u skeletnim mišićima. Stoga je osmišljen novi pristup visinskim pripremama. Kao i kod klasičnih visinskih priprema, izlaganje adekvatnim visinama kroz dovoljan period vremena djeluje kao poticaj za eritropoezu. Ipak, razliku čine dnevni boravci na manjim visinama u svrhu provođenja treninga. Trenirajući na manjim visinama sportaši mogu održati intenzitet približno sličan onima na morskoj razini. Uz to, možda još i važnije, unos kisika u skeletne mišiće tijekom treninga na manjim visinama je također povećan, za razliku od velikih visina. Istraživanja su pokazala da sportaši koji žive na visini od 2500 metara kroz 4 tjedna imaju povećanu masu crvenih krvnih stanica i povećan maksimalni primitak kisika. Ipak, od svih onih sportaša koji su živjeli na visinama, samo oni koji su trenirali na manjoj visini od 1250 metara pokazali su održan transport kisika tijekom treninga, povećan unos kisika na ventilacijskom pragu i poboljšanje izvedbi u sportovima izdržljivosti (1). Čini se da boravak na visini između 2000 i 2500 metara ima najbolji odgovor eritropoeze uz najmanje negativnih odgovora aklimatizacije koji mogu pogoršati izvedbu. Dnevno su potrebna minimalna izlaganja 12 do 16 sati, ali su duža izlaganja bolja. Preporuča se minimalno 4 tjedna izlaganja visinama. Treninzi visokog intenziteta bi se trebali odvijati na što manjoj nadmorskoj visini. Tako se maksimizira povećanje maksimalnog primitka kisika i unosa kisika pri pragu ventilacije.

3.3. Isprekidano izlaganje hipoksiji

Drugi način izvlačenja koristi iz hipoksičnog stimulusa, bez štetnog utjecaja produljenog boravka u hipoksiji, jest izlaganje hipoksičnim uvjetima uz boravak na morskoj razini ostatak vremena. Ovaj model može djelovati iznenađujuće budući da vrijeme provedeno u hipoksiji može biti nedovoljno da izazove adekvatan odgovor i povećanje broja crvenih krvnih stanica, a samim time i sposobnosti za prijenos kisika (16).

Isprekidano izlaganje hipoksiji (eng. intermittent hypoxic exposure) ili „live low – train high” (LL-TH) je model u kojem sportaši žive u normalnim uvjetima na nižim nadmorskim visinama uz povremena izlaganja hipoksiji, bilo u mirovanju ili tijekom treninga. Izlaganje hipoksiji u trajanju od sekundi do sati ponavlja se kroz nekoliko dana do nekoliko tjedana. U studijama s kontrolnim grupama, isprekidano izlaganje hipoksiji u mirovanju ne pokazuje značajnije promjene u hematološkim parametrima niti izvedbama izdržljivosti. S druge strane, pokazalo se da trening u isprekidanoj hipoksiji dovodi do prilagodbi u mišićima koje se ili ne događaju u normalnim okolnostima ili se događaju u manjoj mjeri. Ove promjene u mišićima možda imaju ishod na molekularnoj razini, aktivacijom transkripcijskih faktora, prvenstveno HIF-1. Kao što je i očekivano, u pogledu vremena potrebnog za indukciju eritropoeze, većina studija nije prijavila hematološke promjene nakon treninga u isprekidanoj hipoksiji. Međutim, ovaj model bi mogao biti puno efikasniji u poboljšanju hematoloških parametara ako se kombinira s isprekidanim izlaganjem hipoksiji u mirovanju. Trening u isprekidanoj hipoksiji može imati pozitivan utjecaj na aerobne izvedbe, a hoće li ili ne, ovisi o kombinaciji trajanja i intenziteta treninga kao i o razini hipoksije tijekom treninga (16).

Nakon treninga u isprekidanoj hipoksiji uočene su molekularne prilagodbe u mišićima. Ove prilagodbe, povezane s aktivacijom HIF-1, uključuju povećanu gustoću mitohondrija, povećan omjer kapilare – vlakna, kao i povećanu površinu presjeka vlakana. Promjene u hif-1 mRNA ukazuju na to da trening u uvjetima hipoksije, neovisno o intenzitetu, uzrokuje specifične posljedice na molekularnoj razini u skeletnim mišićima, za razliku od sličnog treninga u uvjetima normoksije. Najznačajnije prilagodbe se događaju nakon treninga visokog intenziteta pod uvjetima hipoksije. Trening visokog intenziteta u hipoksiji uzrokuje molekularne i strukturalne prilagodbe koje idu u korist transportu i iskoristivosti kisika u skeletnim mišićima u stanjima hipoksije (17).

Štetni aspekti metode LL-TH ogledaju se u tome što se svi treninzi odvijaju u hipoksiji. Zbog toga intenzitet treninga treba biti snižen na račun smanjene aerobne snage inducirane hipoksijom. Ovaj deficit može umanjiti prednosti u izvedbama stečene treningom na visinama. Kako bi se iskombiniralo izlaganje hipoksiji tijekom treninga, s održavanjem intenziteta treninga treba uključiti kontrolirane treninge visokog intenziteta u hipoksiji u normalne trening programe koji se provode u normoksiji (11).

Popularnost metode LL-TH visinskih priprema leži u činjenici da uzrokuje minimalne smetnje u svakodnevnom životu sportaša. Uz to, minimalni troškovi i potrebe za putovanjima čine je poželjnom metodom treninga. Postoji veliki broj LL-TH modela visinskih priprema koje koriste kombinacije hipoksičnih metoda za ciljanje različitih svojstava. To uključuje primjenu sistemskih i lokalnih hipoksičnih stimulansa ili kombinacija za poboljšanje izvedbi (18).

Pasivni modaliteti

Utjecaj hipoksije pri pasivnim uvjetima uključuje povremeno izlaganje pojedinaca sistemskoj hipoksiji u mirovanju (isprekidano izlaganje hipoksiji) ili lokalnoj hipoksiji u mirovanju (ishemijsko prekondicioniranje).

Isprekidano izlaganje hipoksiji

Isprekidano izlaganje hipoksiji (eng. intermittent hypoxic exposure at rest, IHE) uključuje kratke periode, u trajanju od 3 do 6 minuta, relativno teške hipoksije, s udjelom kisika od 0.15 do 0.9 (što približno odgovara nadmorskoj visini od 2800 do 5500 metara), koji se izmjenjuju s epizodama normoksije sličnog trajanja.

Kratka izlaganja hipoksiji dovode do jakog poticaja ventilacije koji uzrokuje blagu respiratornu alkalozu i pomak disocijacijske krivulje hemoglobina ulijevo. Zbog toga se količina kisika u arterijskoj krvi može održati u visokim granicama. Stoga ovaj tip izlaganja hipoksiji možda ne uzrokuje dovoljno smanjenje oksigenacije tkiva. Studije su pokazale da ovaj oblik izlaganja hipoksiji nema utjecaj na aerobne ili anaerobne izvedbe i ne poboljšava izvedbe na razini mora (19).

Ishemijsko prekondicioniranje

Ishemijsko prekondicioniranje (eng. ischemic preconditioning, IPC) označava postupak kojim se uzrokuje tkivna ishemija kružnom kompresijom udova, što je praćeno reperfuzijom u ponavljajućem, kružnom slijedu. Uobičajen protokol uključuje tri ili četiri kruga kružne okluzije i reperfuzije u trajanju od pet minuta, koja se obično završe 30 do 45 minuta prije treninga.

Ishemijsko prekondicioniranje ima male koristi za izvedbe sportaša. Uglavnom se to odnosi na vježbe s velikim metaboličkim zahtjevima. Uz to, da bi se postigla optimalna efikasnost potrebno je dostatno vrijeme između ishemijskog prekondicioniranja i treninga (20).

Aktivni modaliteti

Mogući napredak u tjelesnim kapacitetima kao posljedica modela LL-TH ovisi o tipu i intenzitetu treninga. To uključuje korištenje lokalne (vježbe restrikcije protoka krvi) ili sistemske hipoksije (kontinuirani trening niskog intenziteta u hipoksiji, intervalni trening u hipoksiji, ponavljani sprintevi u hipoksiji, sprint intervalni trening u hipoksiji i trening otpora u hipoksiji).

Restrikcija protoka krvi

Trening sa restrikcijom protoka krvi (eng. blood flow restriction, BFR) zahtijeva kontinuiranu ili cikličku primjenu manžete ili elastičnog omota oko uda. Ograničeni dotok krvi kao i njeno vraćanje iz kontrahirajućeg mišića stvara lokalni hipoksijski stres.

Vježbe otpora s malim opterećenjem uz restrikciju protoka krvi mogu poboljšati hipertrofiju i snagu mišića u dobro utreniranih sportaša koji inače nemaju korist od malog opterećenja. Uz to, provođenje treninga otpora uz malo opterećenje i restrikciju protoka krvi u kombinaciji s normalnim treningom velikog opterećenja može pružiti dodatni stimulus za mišićni razvoj (21).

Kontinuirani trening u hipoksiji

Kontinuirani trening u hipoksiji (eng. continuous hypoxic training, CHT) je trening niskog intenziteta, u svrhu poboljšanja izvedbi izdržljivosti.

Većina studija nije pokazala korist ovog oblika treniranja u hipoksiji, što se može objasniti smanjenom kardiovaskularnom funkcijom zbog smanjenog intenziteta treninga u danim uvjetima. Stoga je uz kontinuirani trening u hipoksiji potrebno uključiti i trening u normoksiji kako bi se proizvelo dostatno kardiovaskularno preopterećenje (22).

Intervalni trening u hipoksiji

Intervalni trening u hipoksiji (eng. interval hypoxic training, IHT) koristi izlaganje umjerenj hipoksiji (uglavnom između 2500 i 3500 metara nadmorske visine) za vrijeme treninga visokog intenziteta (više od 70% maksimalne frekvencije otkucaja srca) s oporavkom sličnog ili kraćeg trajanja.

Iako su uočene brojne pozitivne molekularne adaptacije nakon različitih oblika intervalnog treninga u hipoksiji, njihova funkcionalnost u smislu poboljšanja izvedbi cijelog tijela su minimalne. Uz to intervalni trening u hipoksiji dovodi do značajno slabije koristi za poboljšanje izvedbi na razini mora u odnosu na slične treninge provedene u normoksiji (23).

Trening otpora u hipoksiji

Trening otpora u hipoksiji (eng. resistance training in hypoxia, RTH) se provodi u svrhu podizanja mišićne snage i stvaranja energije.

Iako se pokazalo da trening otpora u hipoksiji dovodi do značajnog povećanja mišićne snage i veličine, ovaj odgovor možda nije veći nego nakon treninga otpora u normoksiji. Ova metoda je možda prikladnija za individualce koji treniraju u svrhu mišićne hipertrofije, gdje je cilj izazvati značajni metabolički stimulus, za razliku od onih koji žele maksimizirati snagu i silu (24).

Ponavljani sprintevi u hipoksiji

Ponavljani sprintevi u hipoksiji (eng. repeated-sprint training in hypoxia, RSH) označava kratke (kraće od 30 sekundi) sprinteve maksimalnog intenziteta („all-out“) s nepotpunim oporavkom (kraće od 60 sekundi) u hipoksiji.

U usporedbi s ponavljanim sprintevima u normoksiji, ponavljani sprintevi u hipoksiji dovode do većeg poboljšanja izvedbi u sprinterskim disciplinama na razini mora. Ovo je efikasna trening strategija za poboljšanje izvedbi sportaša u specifičnim sportovima i ostvaruje veće dobitke od treninga u normoksiji. Dovodi od malih do umjerenih poboljšanja srednjih i najboljih izvedbi dok je povećanje maksimalnog primitka kisika (VO₂max) zanemarivo (25).

Sprint intervalni trening u hipoksiji

Sprint intervalni trening uključuje 20 do 30 sekundi sprinta maksimalnog intenziteta praćenih s 3 do 5 minuta pasivnog ili aktivnog oporavka niskog intenziteta. Ova je metoda treninga često predstavljena kao vremenski efikasna strategija za povećanje srčanog minutnog volumena, maksimalnog unosa kisika i mitohondrijskog sadržaja u skeletnim mišićima u sličnom ili većem opsegu nego tradicionalni treninzi izdržljivosti. Smanjena dostava kisika u mišiće tijekom izlaganja hipoksiji povećava stres i dovodi do jače ekspresije elemenata uključenih u unos glukoze u stanicu. SIH (eng. sprint interval training

in hypoxia) je korisna metoda za maksimiziranje izvedbi na razini mora kao i na visinama (18).

Voljna hipoventilacija pri niskom volumenu pluća

Svjesnim smanjenjem frekvencije disanja može se postići hipoksija ako se provodi pri niskom plućnom volumenu i u stojećem položaju. To se ostvaruje produženim ekspirijem. Sportaši trebaju kontinuirano, progresivno i potpuno izdahnuti kroz 4 sekunde, sve do rezidualnog volumena, i onda jako kratko udahnuti, kraće od 1 sekunde. Ovaj postupak može dovesti do teške hipoksemije ($\text{SaO}_2 < 88\%$) koja je praćena značajnom hiperkapnijom kao posljedica hipoventilacije (26).

Ova metoda u kombinaciji s ponavljanim sprintevima u hipoksiji (RSH) može biti učinkovita strategija za poboljšanje sposobnosti ponavljanih sprinteva kod igrača timskih sportova. S praktične strane, može se lako primijeniti i integrirati u kondicijske programe (27).

Unatoč brojnim dokazima sigurnosti i efikasnosti metode LL-TH, ostaju neke neizvjesnosti. Ne postoji oblik LL-TH koji je efikasniji od drugih u poboljšanju fizičkih izvedbi. Odabir prikladne hipoksične doze (težina hipoksije, trajanje pojedinačnog izlaganja i ukupno vrijeme izlaganja) kao i efikasno upravljanje opterećenjem tijekom treninga, imaju utjecaj na doseg vrhunca fizičkih izvedbi. Hipoksija je stresor koji može uzrokovati više štete nego koristi ako je preintenzivan. Posljedično, ako ukupno opterećenje treninga (omjer vježbanja i odmora te trajanje odmora) nije adekvatno prilagođeno, može doći do pretreniranosti (18).

Tablica 2: Sličnosti i razlike pojedinih metoda visinskih priprema

	Ključna obilježja
Klasične visinske pripreme	<ul style="list-style-type: none"> • Sportaši žive i treniraju na velikim nadmorskim visinama • Proces aklimatizacije poboljšava transport i iskoristivost kisika • Hipoksija služi kao dodatan stimulans tijekom treninga • Potencijalno štetni učinci produljenog boravka u hipoksiji • Dolazi do pada snage i intenziteta treninga uzrokovanog visinom • Postoji rizik za pretreniranost, ali i treniranje s nedovoljnim intenzitetom
Live high – train low	<ul style="list-style-type: none"> • Sportaši žive na velikim nadmorskim visinama • Proces aklimatizacije poboljšava transport i iskoristivost kisika • Povremeno borave na manjim visinama za vrijeme treninga • Očuvana snaga i intenzitet treninga • Nema štetnih učinaka produljenog boravka u hipoksiji
Povremeno izlaganje hipoksiji	<ul style="list-style-type: none"> • Sportaši žive na razini mora • Nema procesa aklimatizacije na visine • Nema štetnih učinaka produljenog boravka u hipoksiji • Povremeno izlaganje hipoksičnim uvjetima za vrijeme treninga ili u mirovanju • Javljanje se prilagodbe u skeletnim mišićima koje idu u korist transportu i iskoristivosti kisika

4. Simulacija visinskih priprema

Kod sportaša koji žele ići na visinske pripreme često su logističke brige važnije od fizioloških. Za mnoge od njih napuštanje obitelji, posla i poznatog okoliša može biti problematično. Dodatno, cijena putovanja i boravka na visinama sprječava mnoge sportaše od odlaska na trening kampove, unatoč jakim potencijalnim poboljšanjima koje nose.

U svrhu smanjenja ovih logističkih briga i da se možda pristup visinama omogući većem broju sportaša, pokušano je korištenje različitih metoda koje simuliraju odlazak na velike visine.

U novije vrijeme sportaši koriste različite uređaje i modele kako bi ostvarili „živjeti visoko – trenirati nisko” pristup visinskim pripremama. To uključuje normobaričnu hipoksiju kroz razrjeđenje dušikom (hipoksični apartmani), dopunski kisik, te uređaji za spavanje u hipoksiji. Sportaši koji koriste hipoksične apartmane uglavnom žive i spavaju u uvjetima normobarične hipoksije od 8 do 18 sati dnevno, a treniraju u normalnim uvjetima razine mora. Dodatak kisika se koristi kako bi se simulirali normoksični (razine mora), ili čak hiperoksični uvjeti tijekom treninga visokog intenziteta koji se odvija na visinama. Korištenje dopunskog kisika na ovaj način je modifikacija modela LH-TL tako da sportaši žive na prirodnim nadmorskim visinama, a treniraju na umjetnoj razini mora uz pomoć dopunskog kisika. Neki sportaši koriste uređaje za spavanje u hipoksiji, koji omogućuju umjetno spavanje na visinama i treniranje na morskoj razini.

Dok ovaj pristup smanjuje logističke probleme povezane s putovanjem na visine, potencijalni eritropoetski odgovor ovisi o dnevnoj duljini izlaganja hipoksiji. Dok su umjetne

visine prikladnije za sportaše, pravi boravak na visinama pruža bolji eritropoetski odgovor (1).

4.1. Kuća dušika

Apartman u normobaričnoj hipoksiji je originalno osmislio finski znanstvenik u devedesetim godinama u svrhu simulacije okoliša velikih visina. U finskoj su „kuće dušika” dobro opremljene hotelske sobe koje pružaju visoku razinu udobnosti i privatnosti. Elitni sportaši drugih država imaju hipoksične apartmane unutar vlastitih domova. Hipoksični apartman pruža okoliš za život u normobaričnoj hipoksiji koji simulira elevaciju od približno 2000 do 3000 metara. Barometarski tlak unutar hipoksičnog apartmana je jednak onome na morskoj razini, ali je udio kisika u udahnutom zraku unutar hipoksičnog apartmana manji nego na morskoj razini ili izvan apartmana. Plin koji se sastoji od 100% dušika ubacuje se u ventilacijski sustav što rezultira unutarnjim zrakom koji se sastoji od oko 15% kisika i 85% dušika.

Elitni sportaši iz različitih država koriste normobarične hipoksične apartmane u svrhu simulacije velikih visina za življenje. Uglavnom žive i spavaju na visinama, u hipoksičnim apartmanima, od 8 do 18 sati dnevno, a treniraju na razini mora ili u približno sličnim uvjetima. Nekoliko studija sugerira da korištenje hipoksičnih apartmana na ovaj način može proizvesti korisne promjene u serumskoj razini eritropoetina, broju retikulocita i masi crvenih krvnih stanica, koje onda dovode do poboljšanja izvedbi izdržljivosti. Međutim, druge studije nisu uspjele pokazati značajne promjene u eritropoetskim indikatorima kao

rezultat izlaganja normobaričnoj hipoksiji. Ova odstupanja mogu biti uzrokovana različitim metodologijama te razinama hipoksije kojima su sudionici izloženi ili stupnjem utreniranosti sudionika (28).

4.2. Filtracija kisika

Slično kao i razrjeđenjem dušikom, normobarično hipoksična okolina se može simulirati filtracijom kisika. Ova metoda se također koristi kao oblik „live high train low” treninga pri kojoj sportaši žive u kući, apartmanu ili šatoru na kojem je primijenjena filtracija kisika. Membrane koje filtriraju kisik smanjuju molekularnu koncentraciju kisika u zraku koji se pumpa izvana u apartman ili šator. To rezultira normobarično hipoksičnim okolišom za boravak i spavanje. Iako sportaši koriste ove metode da bi poboljšali svoje izvedbe, nedostaju jasni dokazi o njenoj efikasnosti. Postoje neke potencijalno negativne posljedice korištenja filtracije kisika poput kompromitacije imunološkog statusa u smislu značajno smanjenog broja leukocita ili trošenja sekretornih imunoglobulina A (29).

4.3. Dopunski kisik

Dopunski kisik koristi se u svrhu simuliranja normoksičnih (razine mora) ili hiperoksičnih uvjeta tijekom treninga visokog intenziteta koji se odvijaju na visinama. Korištenje dopunskog kisika na taj način je u suštini modifikacija „živi visoko treniraj nisko”

modela visinskih priprema. Sportaši žive u prirodnom okolišu velikih visina, a treniraju na morskoj razini simuliranoj uz pomoć dopunskog kisika. Udisanjem medicinskog plina koji sadrži 26,5% kisika, sportaši mogu trenirati visokim intenzitetom u uvjetima razine mora. Iako ograničene, znanstvene spoznaje o efikasnosti treninga u hiperoksiji ukazuju na to da korištenje dopunskog kisika može poboljšati trening visokog intenziteta na umjerenim visinama kao i izvedbe izdržljivosti (28).

Trening s dopunskim kisikom dovodi do značajnog povećanja saturacije hemoglobina kisikom u arterijskoj krvi i većeg otpuštanja kisika na razini kapilara u radnim mišićima, što dovodi do značajnog povećanja snage i izvedbi, bez induciranja dodatnog staničnog oksidativnog stresa. S praktične strane, ova trening-metoda omogućava sportašima živjeti i trenirati na visini te trenirati na manjim nadmorskim visinama uz minimalna putovanja i neugodnosti (29).

4.4. Uređaji za spavanje u hipoksiji

Uređaji za spavanje u hipoksiji uključuju „Colorado Altitude Training (CAT) Hatch” (hipobarična komora) i „Hypoxico Tent System” (normobarični hipokosični sustav), koji su dizajnirani da omoguće sportašima spavanje pri uvjetima visina i treniranje u uvjetima nižih nadmorskih visina. Cilindrična hipobarična komora, CAT Hatch, u kojoj može ležati jedna osoba, simulira visine do približno 4500 metara. Temelji se na istoj tehnologiji kao i Gamow vreća, portabilna hiperbarična komora koja se koristila kao hitna terapija za planinare oboljele od akutne planinske bolesti, cerebralnog edema velikih visina ili plućnog

edema velikih visina (28). Razlika je što Gamow vreća simulira hiperbarični okoliš dok CAT Hatch simulira velike visine ili hipobarični okoliš. S druge strane Hypoxico Tent System može se instalirati preko kreveta i simulira visine do približno 4200 metara. Ovaj sistem koristi membrane koje smanjuju koncentraciju kisika iz vanjskog zraka koji se onda pumpa u šator, što rezultira normobaričnim hipoksičnim okolišom.

5. Moguće štetne posljedice visinskih priprema

Bolest velikih visina (eng. High-altitude illness) zajednički je naziv za sindrome koji mogu zahvatiti neaklimatizirane putnike nedugo nakon uspona na visine. Ovaj naziv poglavito obuhvaća moždane sindrome: „akutnu planinsku bolest” (eng. Acute mountain sickness, AMS) i „moždani edem velikih visina” (eng. High-altitude cerebral oedema, HACE), te plućne sindrome „plućni edem velikih visina” (eng. High-altitude pulmonary oedema, HAPE). Moždani i plućni edemi velikih visina mnogo se rjeđe javljaju nego akutna planinska bolest, ali su potencijalno fatalni.

Najvažniji rizični čimbenik za razvoj bolesti velikih visina su brzina uspona, dosegnuta visina (posebice visina na kojoj se spava) te individualna osjetljivost (30).

5.1. Akutna planinska bolest

Akutnu planinsku bolest karakteriziraju nespecifični simptomi i manjak fizičkih nalaza. Osnovni simptomi su glavobolja, mučnina, povraćanje, anoreksija, umor, vrtoglavica i poremećaj spavanja, ali ne trebaju svi biti prisutni. Glavobolja se smatra glavnim simptomom, ali nema osobite karakteristike. Simptomi akutne planinske bolesti se uglavnom javljaju 6 do 12 sati nakon uspona na veliku visinu. Dijagnostički znakovi su odsutni, a prisutnost abnormalnih neuroloških i pulmoloških znakova može upućivati na progresiju u plućnoi ili cerebralni edem velikih visina. Nespecifični simptomi i znakovi akutne planinske bolesti mogu dovesti do dijagnostičke zabune s drugim poremećajima, poput iscrpljenosti, dehidracije, hipotermije, mamurluka i migrene (30).

Princip liječenja akutne planinske bolesti je izbjegavanje daljnjeg uspona dok simptomi ne prestanu, spuštanje na manju visinu ako nema poboljšanja ili ako se simptomi pogoršaju, te hitno spuštanje na prvi znak edema. Za blage oblike akutne planinske bolesti često je dovoljan odmor uz analgetike i antiemetike za olakšanje simptoma. Spuštanje i dopunski kisik su terapija izbora za umjerene i teške oblike akutne planinske bolesti. Dodatna farmakološka terapija može se koristiti uz već spomenutu, a posebice ako spuštanje nije moguće i ako kisik nije dostupan (30).

Farmakološka profilaksa može biti opravdana. U slučaju brzog uspona na jako velike visine i ako su sportaši podložni akutnoj planinskoj bolesti. Acetazolamid je lijek izbora (31).

5.2. Moždani edem velikih visina

Moždani edem velikih visina općenito se smatra krajnjim stadijem akutne planinske bolesti i normalno mu prethode simptomi akutne planinske bolesti. Moždani edem velikih visina karakteriziraju ataksija i stanje izmijenjene svijesti, koji mogu progredirati u komu i smrt zbog hernijacije mozga. Ljudi s popratnim edemom pluća mogu jako brzo progredirati iz akutne planinske bolesti u edem mozga velikih visina. Klinički pregled može otkriti papiledem, mrežnično krvarenje i ,povremeno, fokalni neurološki deficit (30) .

Točan mehanizam uzroka ovih dvaju sindroma nije poznat, iako dokazi upućuju na procese u središnjem živčanom sustavu. Teorija je da hipoksija na visinama uzrokuje neuro-hormonalne i hemodinamske odgovore koji dovode do cerebralne vazodilatacije i pretjeranog punjenja mikrovaskulature. To za posljedicu ima intrakranijalnu hipertenziju s povišenim kapilarnim tlakom i kapilarnim curenjem. Poremećaj krvno-moždane barijere ovim stresorima dovodi do cerebralnog edema (32).

Liječenje moždanog edema jest hitno spuštanje od barem 1000 metara ili dok se simptomi ne smanje. Ako spuštanje nije moguće, mogu se koristiti prijenosne hiperbarične komore ili dopunski kisik kako bi se usporilo napredovanje bolesti, ali to nikad ne bi smjelo odgoditi ili usporiti silazak. Ako je dostupan, može se dati deksametazon (30,32).

Najbolja strategija za prevenciju visinskih bolesti je postepeni uspon koji dopušta vrijeme za aklimatizaciju.

5.3. Plućni edem velikih visina

Plućni edem velikih visina uglavnom se javlja u prva 2 do 4 dana nakon uspona na visine veće od 2500 metara, i ne prethodi mu nužno akutna planinska bolest. Prvi simptomi plućnog edema velikih visina obično su zaduha u naporu i smanjenje tolerancije treninga u većem opsegu nego što je očekivano za tu nadmorsku visinu. Kašalj je ispočetka suh i dosadan, a kasnije postaje produktivan, s krvi u sputumu. Simptomi u početku mogu biti teže zamjetni. Kako bolest napreduje, tahikardija i tahipneja su prisutni u mirovanju, a povišena temperatura je uobičajena. Krepitacije su jasne prilikom auskultacije. Ovi simptomi su često praćeni i simptomima edema mozga.

Plućni edem velikih visina je nekardiogeni plućni edem kojeg karakterizira prekomjerna plućna hipertenzija koja dovodi do vaskularnog curenja (30). Točan mehanizam koji uzrokuje naglašenu plućnu vazokonstrikciju nije poznat.

Kao i kod akutne planinske bolesti i moždanog edema, najbolji način za prevenciju plućnog edema velikih visina jest postupni uspon kako bi se dobilo dovoljno vremena za aklimatizaciju. Rano prepoznavanje je prvi ključni korak u liječenju. Nakon toga su spuštanje i dopunski kisik najučinkovitija terapija. Napor bi trebao biti sveden na minimum. Ventilacija s kontinuiranim pozitivnim tlakom također može biti korisna (30).

5.4. Imunosupresija

Trening na velikim visinama, za razliku od treninga na razini mora, povezan je s brojnim odgovorima koji mogu uzrokovati depresiju imunskog odgovora. To uključuje povećanje koncentracije cirkulirajućeg hormona stresa, povećanje ovisnosti o glikogenu i aminokiselinama kao energiji za tjelevoježbu te tkivnu hipoksiju. Iako izlaganje velikim visinama ima ograničen utjecaj na humoralnu imunost, nekoliko studija je pokazalo supresiju stanične imunosti na velikim visinama (33).

Hipoksija i tjelevoježba su dva neovisna stresora koji mogu utjecati na funkcioniranje imunskog sustava. Početno izlaganje hipoksiji može potaknuti neuroendokrini odgovor koji dovodi do izmjene funkcija imunskog sustava. Iako mogu biti zahvaćene mnoge komponente imunskog sustava, izmjene u T staničnoj imunosti najkonzistentnije su i najsnažnije. S druge strane, tjelevoježba na visinama može pogoršati supresiju imunskog sustava, najvjerojatnije kroz simpatoadrenalno posredovane putove (34).

Stoga su sportaši podložniji infekcijama na velikim visinama. Izlaganje velikim visinama i posljedična hipoksija dovode do izmjena u nekim staničnim i funkcionalnim imunološkim parametara. Tijekom akutnog izlaganja hipoksiji dolazi do značajnog pada broja limfocita. Fenotipska karakterizacija limfocita pokazuje značajan pad T stanica tijekom akutnog i kroničnog izlaganja hipoksiji. Pad T limfocita se u potpunosti pripisuje CD4 podgrupi. T stanice su tijekom akutnog i kroničnog izlaganja visinama obilježene značajnim padom u ekspresiji IFN- γ . Promjena u ekspresiji je održana prilikom povratka na razinu mora. Također, proliferativna aktivnost mononukleara periferne krvi značajno je smanjena tijekom akutnog izlaganja hipoksiji (35).

Povećani rizik za infekcije vjerojatniji je tijekom početnog izlaganja velikim visinama. Zbog toga bi sportašima bilo preporučljivo da provedu tjedan dana aklimatizacije prije početka intenzivnih treninga. S aklimatizacijom je stres hipoksije manji i lučenje norepinefrina iz nadbubrežne žlijezde vraća se u normalu. Posljedično se funkcija T stanica vraća u normalu i rizik za infekcije nestaje (34).

5.5. Poremećaj sna

Novopridošlice na visine često loše spavaju. San je rascjepkan zbog učestalog kratkotrajnog buđenja, koje je povezano s periodičnim disanjem. Periodično disanje na visinama je odraz izmjeničnih stimulacija respiracije hipoksijom i naknadne inhibicije hipokapnijom uzrokovane hiperventilacijom. Pojačan odgovor ventilacije na hipoksiju i gubitak regulacije disanja tijekom spavanja pridonose javljanju periodičnosti. Nakon akutnog uspona na velike visine zabilježena je smanjena kvaliteta sna. Tijekom budnosti doživljava se somnolencija. To može biti posljedica hipoksije, ali i hipokapnija možda igra određenu ulogu. Spavanje na velikim visinama doživljava se kao nekvalitetno, s osjećajem povremenog buđenja i gušenja koje umiruje par dubokih udaha i nastavak spavanja(36). Nakon buđenja ostaje dojam skraćenog i nemirnog sna.

Periodično disanje su u 19. stoljeću opisali Chayne i Stokes kod srčanih pacijenata, a zabilježeno je i kod zdravih pojedinaca koji su spavali na visinama. Uzorak je karakteriziran mehanički točnom periodičnom izmjenom hiperpneje i apneje. Periodično disanje na visinama najvjerojatnije odražava stimulaciju disanja hipoksijom, koje vodi do

hipokapnije i smanjenja hipoksije, što tijekom sna potakne apneju. Apneja, potom, obnavlja stimulaciju ventilacije podizanjem parcijalnog tlaka ugljikovog dioksida i povećanjem hipoksije, stvarajući tako periodički respiratorni ciklus (36).

Izmjene uzorka spavanja mogu modulirati raspoloženje i kognitivne funkcije. Dolazi do pogoršanja raspoloženja s pojačanom depresijom, ljutnjom i umorom. Također, izlaganje hipoksiji pogoršava pažnju, vizualnu i radnu memoriju, koncentraciju, kontrolu inhibicija te brzinu mentalne obrade (37).

Prilikom brzog uspona, kvaliteta sna je u početku smanjena, ali se poboljša s aklimatizacijom. Aklimatizacija dovodi do poboljšanja saturacije kisikom, ali periodično disanje perzistira. Stoga se čini da je poremećaj sna na visinama dominantno posljedica hipoksije, a ne periodičnog disanja (38).

6. Zaključak

Na velikim nadmorskim visinama ljudsko tijelo je podvrgnuto dodatnom fiziološkom stresu. Hipoksija te snižen alveolarni parcijalni tlak kisika dovode do brojnih prilagodbi kako bi se poboljšao prijenos kisika u krvi i njegova iskoristivost u tkivima. Ovim su prilagodbama zahvaćeni brojni organi i organski sustavi. Stoga se visinske pripreme i aklimatizacija na visine koriste kao dodatni poticaj za poboljšanje izvedbi na razini mora.

Provedena su brojna istraživanja kako bi se objasnili mehanizmi i potencijalne koristi visinskih priprema, ali dokazi su neuvjerljivi. Čini se da je aktivacija HIF-1 važan faktor u

transkripciji različitih gena odgovornih za povećanje eritropoetskog odgovora, unosa glukoze, metabolizma, puferskog kapaciteta mišića te regulacije pH i laktata. Dolazi do povećanja serumskih razina eritropoetina, mase crvenih krvnih stanica, broja retikulocita te mase hemoglobina. U tkivu skeletnih mišića javljaju se promjene u strukturi, funkciji te na molekularnoj razini.

Krajnji cilj visinskih priprema i aklimatizacije na visine jest poboljšanje izvedbi. U svrhu poboljšanja aerobnih i anaerobnih kapaciteta razvijeni su brojni modeli visinskih priprema, poput klasičnih visinskih priprema (Live high – train high), „live high – train low”, „live low – train high” te isprekidana izlaganja hipoksiji, bilo da se odvijaju u prirodnom okolišu ili umjetnim metodama. Tu treba posebno istaknuti „live high – train low” model koji kombinira prednosti života na visinama s održanim intenzitetom treninga na razini mora. Njegova učinkovitost u poboljšanju izvedbi na razini mora podržana je nekim istraživanjima.

Različiti modeli visinskih priprema mogu se kombinirati kako bi se maksimizirale izvedbe. Također, treba poduzeti određene mjere za sprječavanje štetnih posljedica odlaska na visine, kako bi korist visinskih priprema bila što je moguće veća.

Jasne rezultate visinskih priprema i aklimatizacije na visine teško je jasno definirati zbog razlika u modelima, visinama na kojima se odvijaju, trajanju izlaganja, intenzitetu i utreniranosti sportaša.

Zahvala

Zahvaljujem svom mentoru, izv. prof. dr. sc. Ozrenu Jakšiću, na pomoći i usmjeravanju prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala mojim roditeljima, Dijani i Željku, te sestri Mariji, kao i ostalim članovima obitelji, na podršci i strpljenju tijekom cijelog školovanja.

Hvala prijateljima što su me učinili boljim.

Posebno hvala dragoj teti Željki koja mi je pružila dom kada sam bio daleko od svog.

Literatura

1. Chapman R, Levine BD. Altitude training for the marathon. *Sports Med.* 2007.;37(4–5):392–5.
2. Schoene RB. Limits of Respiration at High Altitude. *Clinics in Chest Medicine.* rujanj 2005.;26(3):405–14.
3. Hainsworth R, Drinkhill MJ. Cardiovascular adjustments for life at high altitude. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* rujanj 2007.;158(2–3):204–11.
4. Naeije R. Physiological Adaptation of the Cardiovascular System to High Altitude. *Progress in Cardiovascular Diseases.* svibanj 2010.;52(6):456–66.
5. Calbet JAL, Robach P, Lundby C. The exercising heart at altitude. *Cell Mol Life Sci.* studeni 2009.;66(22):3601–13.
6. Saunders PU, Pyne DB, Gore CJ. Endurance Training at Altitude. *High Altitude Medicine & Biology.* lipanj 2009.;10(2):135–48.
7. Schmidt W, Prommer N. Effects of various training modalities on blood volume: Total hemoglobin mass and altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports.* 08. srpanj 2008.;18:57–69.
8. Zelenkova I, Zotkin S, Korneev P, Koprov S, Grushin A. Comprehensive overview of hemoglobin mass and blood volume in elite athletes across a wide range of different sporting disciplines. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. siječanj 2019. [citirano 26. kolovoz 2021.];59(2). Dostupno na: <https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R40Y2019N02A0179>
9. Wehrlin JP, Marti B, Hallén J. Hemoglobin Mass and Aerobic Performance at Moderate Altitude in Elite Athletes. U: Roach RC, Hackett PH, Wagner PD, urednici. *Hypoxia* [Internet]. Boston, MA: Springer US; 2016 [citirano 26. kolovoz 2021.]. str. 357–74. (Advances in Experimental Medicine and Biology; sv. 903). Dostupno na: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4899-7678-9_24
10. Flueck M. Plasticity of the muscle proteome to exercise at altitude. *High Alt Med Biol.* 2009.;10(2):183–93.
11. Zoll J, Ponsot E, Dufour S, Doutreleau S, Ventura-Clapier R, Vogt M, i ostali. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *Journal of Applied Physiology.* travanj 2006.;100(4):1258–66.
12. Li J, Li Y, Atakan MM, Kuang J, Hu Y, Bishop DJ, i ostali. The Molecular Adaptive Responses of Skeletal Muscle to High-Intensity Exercise/Training and Hypoxia. *Antioxidants (Basel).* 24. srpanj 2020.;9(8):656.

13. Goodwin ML, Harris JE, Hernández A, Gladden LB. Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise: A Guide for Clinicians. *J Diabetes Sci Technol.* srpanj 2007.;1(4):558–69.
14. Mazzeo RS. Physiological Responses to Exercise at Altitude: An Update. *Sports Medicine.* 2008.;38(1):1–8.
15. Bartlett MF, Lehnhard RA. The lactate paradox: a review. *Comp Exerc Physiol.* veljača 2010.;7(01):1–13.
16. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance: *Sports Medicine.* siječanj 2010.;40(1):1–25.
17. Vogt M, Puntchart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *Journal of Applied Physiology.* 01. srpanj 2001.;91(1):173–82.
18. Girard O, Brocherie F, Goods PSR, Millet GP. An Updated Panorama of “Living Low-Training High” Altitude/Hypoxic Methods. *Front Sports Act Living.* 31. ožujak 2020.;2:26.
19. Lundby C, Millet GP, Calbet JA, Bärtzsch P, Subudhi AW. Does ‘altitude training’ increase exercise performance in elite athletes? *Br J Sports Med.* rujanj 2012.;46(11):792–5.
20. Salvador AF, De Aguiar RA, Lisbôa FD, Pereira KL, Cruz RS de O, Caputo F. Ischemic Preconditioning and Exercise Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance.* siječanj 2016.;11(1):4–14.
21. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *J Sci Med Sport.* svibanj 2016.;19(5):360–7.
22. McLean BD, Gore CJ, Kemp J. Application of ‘Live Low-Train High’ for Enhancing Normoxic Exercise Performance in Team Sport Athletes. *Sports Med.* rujanj 2014.;44(9):1275–87.
23. Faiss R, Girard O, Millet GP. Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia: Table 1. *Br J Sports Med.* prosinac 2013.;47(Suppl 1):i45–50.
24. Ramos-Campo DJ, Scott BR, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. The efficacy of resistance training in hypoxia to enhance strength and muscle growth: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science.* 02. siječanj 2018.;18(1):92–103.
25. Brocherie F, Girard O, Faiss R, Millet GP. Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Sea-Level Performance: A Meta-Analysis. *Sports Med.* kolovoz 2017.;47(8):1651–60.

26. Woorons X, Mollard P, Pichon A, Duvallet A, Richalet J-P, Lamberto C. Prolonged expiration down to residual volume leads to severe arterial hypoxemia in athletes during submaximal exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. kolovoz 2007.;158(1):75–82.
27. Fornasier-Santos C, Millet GP, Woorons X. Repeated-sprint training in hypoxia induced by voluntary hypoventilation improves running repeated-sprint ability in rugby players. *European Journal of Sport Science*. 21. travanj 2018.;18(4):504–12.
28. Wilber RL. Current Trends in Altitude Training: Sports Medicine. 2001.;31(4):249–65.
29. Wilber RL. Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. rujan 2007.;39(9):1610–24.
30. Basnyat B, Murdoch DR. High-altitude illness. *The Lancet*. lipanj 2003.;361(9373):1967–74.
31. Ritchie ND, Baggott AV, Andrew Todd WT. Acetazolamide for the prevention of acute mountain sickness--a systematic review and meta-analysis. *J Travel Med*. listopad 2012.;19(5):298–307.
32. Jensen JD, Vincent AL. High Altitude Cerebral Edema. U: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [citirano 28. srpanj 2021.]. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430916/>
33. Walsh NP, Whitham M. Exercising in Environmental Extremes: A Greater Threat to Immune Function? *Sports Medicine*. 2006.;36(11):941–76.
34. Altitude, exercise and immune function - PubMed [Internet]. [citirano 28. srpanj 2021.]. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16385840/>
35. Facco M, Zilli C, Siviero M, Ermolao A, Travain G, Baesso I, i ostali. Modulation of immune response by the acute and chronic exposure to high altitude. *Med Sci Sports Exerc*. svibanj 2005.;37(5):768–74.
36. Weil JV. Sleep at High Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*. svibanj 2004.;5(2):180–9.
37. Aquino Lemos V, Antunes HKM, Santos RVT, Lira FS, Tufik S, Mello MT. High altitude exposure impairs sleep patterns, mood, and cognitive functions: Effects of altitude on sleep, mood, and cognition. *Psychophysiol*. rujan 2012.;49(9):1298–306.
38. Nussbaumer-Ochsner Y, Ursprung J, Siebenmann C, Maggiorini M, Bloch KE. Effect of Short-Term Acclimatization to High Altitude on Sleep and Nocturnal Breathing. *Sleep*. 01. ožujak 2012.;35(3):419–23.

Životopis

Rođen sam 13. kolovoza 1993. u Splitu. Odrastao sam u Sinju, gdje sam završio Osnovnu školu Ivana Lovrića i maturirao u Gimnaziji Dinka Šimunovića s odličnim uspjehom. Tijekom školovanja više sam puta sudjelovao na natjecanjima iz matematike.

Trenirao sam košarku od 2000. do 2011. godine u KK "Alkar".

Godine 2012. upisao sam Medicinski fakultet u Zagrebu.

Za vrijeme studija radio sam kao animator u Eko parku Kraš.

Volonter sam udruge Srma u Sinju.