

# UČINCI VISINSKOG TRENINGA NA IZDRŽLJIVOST PLIVAČA: PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

---

**Prpić, Katarina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:206529>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**Katarina Prpić**

**UČINCI VISINSKOG TRENINGA NA  
IZDRŽLJIVOST PLIVAČA: PREGLED  
DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

diplomski rad

Zagreb, ožujak, 2023

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**  
(sve CALIBRI 10)

DIPLOMSKI RAD

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Kineziološki fakultet Zagreb**  
Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

**Naziv studija: Kineziologija; smjer: Kineziologija u edukaciji i skijanje**

**Vrsta studija: sveučilišni**

**Razina kvalifikacije: integrirani prijediplomski i diplomski studij**

**Studij za stjecanje akademskog naziva: Sveučilišna magistra kineziologije u edukaciji i skijanju**

**Znanstveno područje:** Društvene znanosti

**Znanstveno polje:** Kineziologija

**Vrsta rada:** Znanstveno-istraživački: pregledni

**Tema rada** je prihvaćena od strane Povjerenstva za diplomske radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2021./2022. dana 09. svibnja 2022.

**Mentor:** doc. dr. sc. Dajana Zoretić

**Pomoć pri izradi:**

**Učinci visinskog treninga na izdržljivost plivača**  
*Katarina Prpić, 0034077132*

**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| 1. doc. dr. sc. Dajana Zoretić       | Predsjednik - mentor |
| 2. doc. dr. sc. Klara Šiljeg         | član                 |
| 3. izv. prof. dr. sc. Marija Rakovac | član                 |
| 4. prof. dr. sc. Goran Leko          | zamjena člana        |

**Broj etičkog odobrenja:**

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Kineziološkog fakulteta, Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

**BASIC DOCUMENTATION CARD**  
**(all CALIBRI 10)**

**GRADUATE THESIS**

**University of Zagreb**  
**Faculty of Kinesiology Zagreb**  
Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

**Title of study program: Kinesiology; course Kinesiology in Education and Skiing**

**Type of program: University**

**Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate**

**Acquired title: University Master of Kinesiology in Education and Skiing**

**Scientific area: Social science**

**Scientific field: Kinesiology**

**Type of thesis:** Scientific-research: review

**Thesis subject** has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year 2021/2022 on May, 9 2022.

**Mentor:** doc.dr.sc. Dajana Zoretić

**Technical support:**

**Effects of altitude training on the endurance of swimmers**  
*Katarina Prpić, 0034077132*

**Thesis defence committee:**

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. Dajana Karaula, PhD, assistant professor    | chairperson-supervisor |
| 2. Klara Šiljeg, PhD, assistant professor      | member                 |
| 3. Marija Rakovac, PhD, associate professor    | member                 |
| 4. Goran Leko, PhD, full professor with tenure | substitute member      |

**Ethics approval number:**

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited** in Library of the Faculty of Kinesiology,  
Horvacanski zavoj 15, Zagreb

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

---

upisati titulu, ime i prezime

Student:

---

upisati ime i prezime

Sve mala slova, 12, desno  
poravnavanje

## UČINCI VISINSKOG TRENINGA NA IZDRŽLJIVOST PLIVAČA

### Sažetak

Osnovni cilj rada je bio, pregledom kompetentne literature, sumirati sva bitna znanja vezana za utjecaj visinskog treninga na izdržljivost plivača. Pretragom dviju elektroničkih baza podataka u razdoblju između srpnja i listopada 2022. godine, pronađeno je dvjestotinjak istraživanja. Nakon pregleda naslova i sažetka, u rad je uvršteno 8 istraživanja. Istraživanja su provjeravala kvalitetu metodološke izrade nakon čega su, čitanjem teksta istraživanja, izdvojene važne informacije o ispitanicima, testovima koji su se provodili, i rezultatima mjerenja. U analiziranim radovima sudjelovalo je ukupno 235 ispitanika plivača oba spola, a različite starosne dobi. Analiziranjem svih izabranih radova, vidljivo je da visinski trening ima pozitivne učinke na maksimalan primitak kisika (VO<sub>2</sub>max), promjenu u masi hemoglobina te izvedbu.

**Ključne riječi:** hipoksija, masa hemoglobina, vrhunski sportaši, primitak kisika, kapacitet krvi za prijenos kisika, hematološke varijable

# **EFFECTS OF ALTITUDE TRAINING ON THE ENDURANCE OF SWIMMERS**

## **SYSTEMATIC REVIEW:**

### **Abstract**

The main goal of this research was, by reviewing the competent literature, to summarize all important knowledge related to the influence of altitude training on the endurance of swimmers. By searching two electronic databases in the period between July and October 2022, about 200 studies were found. After reviewing the title and abstract, 8 studies were included in the paper. The research checked the quality of the methodological design, after which, by reading the research text, important information about the subjects, the tests that were carried out, and the results of the measurements was extracted. A total of 235 swimmers of both sexes and different ages participated in the analyzed papers. Analyzing all the selected works, it is evident that altitude training had positive effects on maximum oxygen intake (VO<sub>2</sub>max), change in hemoglobin mass, and performance.

**Key words:** hypoxia, swimming, hemoglobin mass, elite athletes, oxygen uptake, blood oxygen capacity, hematological variables

# Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODE RADA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Strategija pretraživanja literature .....	6
2.2. Kriterij odabira radova .....	6
2.3. Izbor radova .....	7
2.4. Procjena kvalitete radova .....	7
<b>3. REZULTATI .....</b>	<b>12</b>
3.1. Randomizirane kontrolirane studije .....	17
3.2. Studije s jednom skupinom ispitanika.....	18
<b>4. RASPRAVA.....</b>	<b>20</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>23</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>



## 1. UVOD

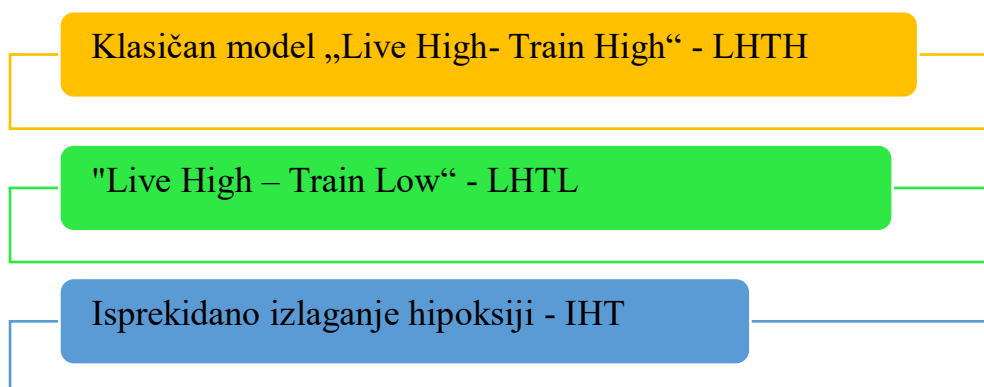
Najveći interes prema visinskom treningu i njegovom utjecaju na sportsku izvedbu pojavio se 1968. godine na ljetnim Olimpijskim igrama u Mexico City-u na nadmorskoj visini od 2300 m (7 544 ft). Veliki broj trenera, sportaša i sportskih znanstvenika prije tih Olimpijskih igara predviđali su da će uvjeti Mexico City-a pozitivno doprinijeti sprintevima i skokovima u atletici, ali da će imati negativan utjecaj na aerobnoj bazi što se tiče dugih dionica što se pokazalo istinitim (Wilber, 2004).

Najzapamćenija izvedba bila je izvedba američkog atletičara Boba Beamon-a, koji je postigao rezultat u skoku u dalj 8.90 m (29 ft 2.5in.) te je time srušio svjetski rekord za 0,56 m (22.0 in.). Godinama nakon, znanstvenici iz područja biomehanike izračunali su da je 15 cm (5.9 in.) od 0,56 m (22.0 in.) margina kojom je Beamon srušio svjetski rekord u skoku u dalj za što je bila zaslužna nadmorska visina te njezin povoljan učinak na brzinu i smanjenje aerodinamičnog otpora tijekom faze leta (Wilber, 2004). Nasuprot tome, nijedan svjetski rekord nije srušen na srednjim i dugim dionicama osim Australca Ralph-a Doubell-a, koji je izjednačio svjetski rekord na 800 m i osvojio zlatnu medalju na 1500 m, 3000 m s preprekama, 5000 m, i 10 000 m. Negativni učinci nadmorske visine Mexico City-a pokazali su se kod sportaša koji žive u gradovima na razini mora. Australac Ron Clark završio je peti na utrci od 5000m te je trčao 1 minutu sporije od svog svjetskog rekorda. Nekoliko dana kasnije završio je šesti na utrci od 10 000 m trčeći 2 minute sporije od svog svjetskog rekorda (Wilber, 2004).

Također su postignuti svjetski rekordi u troskoku i disciplini 400 m s preponama. Od ukupno 14 sprinteva, skokova i u dizanju utega srušeno je 8 svjetskih rekorda. Još jedan zanimljiv događaj na ovim Olimpijskim ljetnim igrama je taj da je nekoliko osvajača medalje na srednjim i dugim dionicama došlo iz zemalja visoke nadmorske visine, a to su Kenya (1700m) i Ethiopia (1330m).

Igre u Mexico City-u dokazale su, kako bi se uspješno natjecalo u sportovima izdržljivosti, da je poželjno da su sportaši iz zemalja na višoj nadmorskoj visini ili da sportaši prethodno odrade opsežan visinski trening (Wilber, 2004).

Prema Milletu i suradnicima (2010), visinski trening se dijeli na vrste:



Iako sve prethodno navedene metode imaju svoje karakteristike one još uvijek imaju zajedničku bazu: (1) idealna nadmorska visina na kojoj se provodi trening postavljena je između 2200 metara i 2500 metara, (2) izloženost bi trebala trajati četiri tjedna po dvanaest sati dnevno, i (3) rezultati bi se mogli primjećivati osamnaest dana nakon izlaganja. (Millet i suradnici, 2010).

Klasične visinske pripreme su poznate i kao „live high – train high” (LH -TH) smatraju se jednom od najstarijih i najpoznatijih oblika visinskog treninga. LH-TH se smatra da je učinkovit kada se provodi kroz četiri faze. Prva faza je faza aklimatizacija i adaptacije koja traje između sedam i deset dana, ovisno o predmetu. Tijekom ove faze sportaš je izložen velikoj nadmorskoj visini bez početka intenzivnog treninga. Druga faza traje između dva i tri tjedna i tijekom ove faze sportaš počinje postupno povećavati intenzitet svog treninga. Prije nego što postigne točku u kojoj je intenzitet maksimalan, sportaš postupno smanjuje intenzitet, dosežući treću fazu, fazu oporavka, koja traje između dva do pet dana. Četvrta i posljednja faza je faza povratka na razinu mora i, s vremenom, ponovno se prilagođavaju promjenama nadmorske visine. Klasični model visinskog treninga - LHTH je namijenjen povećanju volumena crvenih krvnih stanica (RCV) kod sportaša, što povećava kapacitet transporta kisika, poboljšavajući izvedbu sportaša.

Za razliku od klasičnog visinskog treninga, model „Live High – Train Low“ – LHTL je učestaliji među sportašima, jer se od sportaša ne zahtjeva promjena režima ili intenziteta treninga. „Live High – Train Low“ – LHTL je kombinacija življenja na većim nadmorskim visinama s povremenim boravcima odnosno treniranjem na nižim nadmorskim visinama.

Trening sportaša na nižim nadmorskim visinama ostaje nepromijenjen i predstavlja učinkovitu metodu za vrhunske sportaše (Levine i Stray-Gundersen 1997). Istraživanje je obuhvatilo sportaše koji su boravili dvadeset sedam dana na 2500 metara i trenirali na 1250 metara. Rezultati su otkrili povećanje aerobne izvedbe kao i kapacitet prijenosa kisika. Otkako je objavljen taj rad, bilježi se porast popularnosti te vrste visinskog treninga (Levine i Stray-Gundersen 1997).

Isprekidano izlaganje hipoksiji (IHT) također je poznat kao boravak na razini mora uz povremena izlaganja hipoksiji („live-low, train-high“) i popularna je suprotnost LHTL-u. Postoji varijacija ovog modela, nazvana voljna hipoventilacija. Sportaši simuliraju hipoksiju zadržavajući dah. Smanjena učestalost disanja učinkovita je u jačanju aerobnih performansi (Woorons i suradnici, 2017). Isprekidano izlaganje hipoksiji ima razne prednosti. U usporedbi sa stvarnim treningom na velikim visinama, IHT ne prisiljava sportaša da promijeni svoje okruženje za treniranje niti stil života. Isprekidano izlaganje hipoksiji poboljšalo je izvedbe plivača, biciklista i trkača u usporedbi s rezultatima grupe koja je trenirala na razini mora. Na temelju toga može se zaključiti da IHT povećava izvedbu u usporedbi s treniranjem u uobičajenim uvjetima na razini mora (Faiss, Girard i Millet, 2013).

Potencijalne fiziološke dobrobiti visinskog treninga:

- Hematološki odgovori se definiraju kao sposobnost iskorištavanja kisika za proizvodnju energije kao važan fiziološki faktor za uspjeh u sportovima izdržljivosti. Ova sposobnost je poznatija pod nazivom potrošnja kisika. Potrošnja kisika izražena je kao  $VO_2$ , što se definira kao volumen kisika iskorišten u minuti i koristi se za proizvodnju aerobne energije. Termin  $VO_2$  može se izraziti kao apsolutni (litre kisika \*  $min^{-1}$  ( $L \cdot min^{-1}$ )) ili kao relativna jedinica (mililitri kisika \* kilogram tjelesne mase $^{-1}$  \*  $min^{-1}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )). Tijekom iscrpljujuće maksimalne aerobne aktivnosti, potrošnja kisika se definira kao  $VO_{2max}$  i može rasti od 65 do 75  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  i 75 do 85  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  u dobro aerobno treniranih sportaša i sportašica. Za usporedbu tipične vrijednosti za netrenirane žene i muškarce granica je od 35 do 40  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  i od 45 do 50  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ . Važno je razumjeti da sportašev  $VO_2$  određuju i središnji i periferni fiziološki faktori. Središnji faktori utječu na brzinu isporuke kisika od srca do mišića koji su u radu, kroz krv. Dok periferni faktori kontroliraju brzinu odnošenja kisika iz krvi na mjesto mišića koji je u radu (Wilber, 2004).
- Minutni volumen srca („Cardiac output“-Q) je volumen krvi izbačen iz lijeve klijetke srca u minuti. Minutni volumen srca je funkcija frekvencije srca („heart rate“-HR) i

udarni volumen („stroke volume“-SV). Frekvencija srca je broj otkucaja srca u minuti, dok je udarni volumen volumen krvi izbačen iz lijeve klijetke srca u jednoj sistoli. Značajan dio krvi čine crvene krvne stanice („red blood cells“- RBC) ili eritrociti. Eritrocitni dio krvi označava se kao hematokrit („hematocrit“- Hct), koji je izražen u postotcima broja eritrocita u odnosu na ukupni volumen krvi. Hematokriti zdravog pojedinca na niskoj nadmorskoj visini iznose od 35% do 45% za žene i 40% do 50% za muškarce. Pojedinčev ukupni volumen krvi sadrži trilijune eritrocita. Zauzvrat, jedan eritrocit sadrži oko 250 milijuna molekula hemoglobina („hemoglobin“-Hb). Razina hemoglobina kod zdrave osobe na niskoj nadmorskoj visini iznosi od 12 do 16 grama hemoglobina po decilitru krvi ( $\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$ ) za žene, a 13 do 18  $\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$  za muškarce. Primarna fiziološka funkcija hemoglobina je prijenos kisika iz pluća do organa i tkiva. Tako, jedna molekula hemoglobina ima kapacitet spajanja i transportiranja 4 molekule kisika, a jedna crvena krvna stanica ima sposobnost prenošenja otprilike 1 bilijun molekula kisika (Wilber, 2004).

Znanstveno obrazloženje za korištenje visinskog treninga je zbog poboljšavanja aerobnih izvedbi koje se temelje na odgovoru tijela na promjene u parcijalnom tlaku udahnutog kisika i kisika na alveolarnoj razini pluća. Parcijalni tlak udahnutog kisika određuje se barometarskim tlakom okoline i koncentracijom kisika u udahnutom zraku. Na razini mora koncentracija kisika iznosi 20.93% a barometrijski tlak iznosi 760 mm Hg, gdje 760 mm Hg definira barometrijski tlak na razini mora, a 47 mm Hg predstavlja vodenu paru u plućima, a 0,2093 je koncentracija kisika na razini mora izražena kao dio udahnutog zraka („fraction of inspired oxygen“). Tako parcijalni tlak kisika na alveolarnoj razini iznosi 105 mm Hg. Krv koja ulazi u pluća putem plućne arterije sadrži eritrocite čija je koncentracija kisika relativno niska (Wilber, 2004).

Drugim riječima parcijalni tlak kisika na alveolarnoj razini pluća ulazeći u pluća iznosi otprilike 40 mm Hg. Ova razlika tlaka pogoduje difuziji molekula kisika iz alveola pluća u plućnu krv gdje se kisik veže na dostupna mjesta na molekule hemoglobina, proces koji traje oko 0,75 sekundi. Kao rezultat, krv obogaćena kisikom izlazi iz pluća sa parcijalnim tlakom kisika na alveolarnoj razini pluća u vrijednosti od 100 mm Hg i transportira se plućnim venama do lijeve pretklijetke, pa lijeve klijetke, iz koje se tada cirkulira kroz tijelo. Kada arterijska krv obogaćena kisikom dođe do kapilarne mreže skeletnog mišića, gradijent tlaka pogoduje otpuštanju kisika iz hemoglobina ( $\text{PaO}_2$  je približno 100 mm Hg) do mišića ( $\text{PaO}_2$  je približno 30 mm Hg), gdje će biti iskorišten za proizvodnju aerobne energije. Krv napušta kapilarnu

mrežu mišića u stanju obogaćena kisikom (PvO<sub>2</sub> je približno 40 mm Hg) i vraća se u desnu klijetku kako bi ponovila proces oksigenacije u plućima (Wilber, 2004).

Krv ulazeći u pluća putem plućne arterije i sadrži eritrocite čija je koncentracija kisika niska. Promjene koje se događaju u parcijalnom tlaku kisika kada se čovjek uspinje od razine mora do vrha Mount Everesta (8852m/ 29 035 ft). Parcijalni tlak udahnutog kisika je približno 50 mm Hg, samo oko 30% parcijalnog tlaka udahnutoga kisika na razini mora. Parcijalni tlak udahnutog kisika na razini mora jednak je 149 mm Hg. Parcijalni tlak udahnutog kisika u Mexico City-u ( 2300 m/7544 ft) pada na približno 123 mm Hg (Wilber, 2004).

U pogledu na nadmorsku visinu, uočene su razlike u hematološkim, mišićnim, plućnim, kardiovaskularnim i hormonskim dobrobitima između domorodaca na velikim nadmorskim visinama (Tibetanaca i Nepalaca s Himalaje; Peruanaca sa Anda) i stanovnika nizinskih krajeva sugeriraju da genetika ima važnu ulogu (Moore i suradnici 2002; Ramirez i suradnici 1999).

Danas je sve više prihvaćen kompleks faktora 1 $\alpha$  (HIF-1 $\alpha$ ) faktor inducibilan hipoksijom služi kao genetski regulator za proizvodnju i otpuštanje eritropoetin (EPO) iz bubrega (Caro 2001; Prabhakar 2001; Samaja 2001). Kompleks HIF-1 $\alpha$  nalazi se na ljudskom kromosomu 14 i pripada klasi genetskih čimbenika koji reguliraju transkripciju deoksiribonukleinske kiseline (DNK) u prijenosu ribonukleinske kiseline (mRNA) (Samaja 2001). Na nadmorskoj visini se povećava razina HIF-1 $\alpha$ , a to zauzvrat pojačava transkripciju DNA u mRNA na EPO genu (Vogt i suradnici 2001). Rezultat je povećana proizvodnja i otpuštanje EPO putem bubrega. Osim regulacije EPO, kompleks HIF-1 $\alpha$  modulira druge fiziološke reakcije na nadmorskoj visini uključujući transport glukoze, aktivnost glikolitičkih enzima, upalne reakcije i metabolizam kostiju (Clerici i Matthey 2000; Gross i suradnici 2001; Samaja 2001).

Preliminirani podatci sugeriraju da određeni dio EPO gena se može razlikovati između umjerenog i značajnog povećanja EPO među sportašima na nadmorskoj visini. Sportaši za koje je identificirano da imaju specifični alel EPO gena imali su 135% povećanje serumskog EPO nakon 24 sata simulirane nadmorske visine na 2800m (9186 ft). Usporedbe radi, sportaši koji nisu imali specifičan alel EPO gena imali su značajno niži porast od 78% u EPO serumu nakon 24 sata simulirane nadmorske visine (Witkowski i suradnici 2002).

Genetska istraživanja koja se odnose na visinski trening područje su proučavanja koje se brzo širi i nastaviti će nam pružati intrigantna, ali potencijalno kontroverzna otkrića (Wilber, 2004).

## **2. METODE RADA**

Pregled literature za potrebe diplomskog rada obavljen je na temelju *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA-P 2015) smjernicama (Moher i suradnici, 2015).

### **2.1. Strategija pretraživanja literature**

Strategija pretraživanja literature ostvarena je pretraživanjem PubMed baze podataka u razdoblju između srpnja i listopada 2022. godine. Baze podataka pretraživane su na isti način istim pojmovima, a koji su uključivali: „*hypoxia*“ AND „*swimming*“ AND „*hemoglobin mass*“ AND „*elite athletes*“ AND „*oxygen uptake*“ AND „*blood oxygen capacity*“. U bazi podataka PubMed polja koja su se koristila za pretragu odnosila su se na sva polja (engl. „all fields“), na naslov/ključne riječi/sažetak (engl. „title/key words/abstract“), a s ciljem što učinkovitijeg odabira relevantnih istraživanja i jednostavnijeg pregleda pronađenih radova. Nakon pronalaska relevantnih istraživanja te iščitavanja, provedena je ručna pretraga radova koja se odnosila na čitanje radova spomenutih u sustavnim pregledima literature koje se proučavale isto ili slično područje rada.

### **2.2. Kriterij odabira radova**

Da bi radovi bili uključeni u pregled literature morali su ispunjavati nekoliko kriterija, a koji su bili određeni u dogovoru s mentorom. Kroz komunikaciju s mentoricom određeni su kriteriji koje su radovi morali zadovoljavati da bi mogli biti uključeni u pregled literature. To su radovi objavljeni u vremenskom periodu od 2006. do 2022. godine. Prema uputi radovi su se odnosili na skupine randomiziranih kontroliranih studija ili studija s jednom grupom ispitanika (engl. „*Before-After (Pre-Post Studies With No Control Group)*“), a uzorak ispitanika su sačinjavali plivači. Radovi koji su objavljeni u prethodno navedenom periodu trebali su biti na hrvatskom ili engleskom jeziku, inače su bili isključeni iz pregleda.

### **2.3. Izbor radova**

Izbor radova proveo je autor uz konzultacije s mentoricom. Pretraživanjem baza podataka pronađeno je mnoštvo radova na temu treninga na visini, no velika većina radova se nije podudarala s postavljenim kriterijima. Većina radova nakon pregleda je isključena. U konačnu obradu podataka uvršteno je 8 radova, a cjelokupni postupak prikazan je i opisan u skladu s PRISMA dijagramom (Moher i suradnici, 2009).

### **2.4. Procjena kvalitete radova**

Temeljem popisa kriterija navedenih u *Study quality assesment tools (Study Quality Assessment Tools/ NHLBI, NIH, n.d.)* izvršena je procjena kvalitete metodološke izrade radova.

Kriteriji su izrađeni za procjenu kvalitete metodološke izrade randomiziranih kontroliranih studija i studija s jednom grupom ispitanika (engl. „*Before-After (Pre-Post) Studies With No Control Group*“). Popisi kriterija za obje vrste istraživačkog nacrta nalaze se u Tablici 1. i Tablici 2. te obuhvaćaju podatke o ispitanicima u istraživanjima, opis analiziranih varijabli, pitanja o ostvarivanju samih intervencija, pitanja o zasljepljivanju procjenitelja te informacije o stopama odustajanja ispitanika kroz samu provedbu istraživanja za randomizirane kontrolirane studije ili pitanja i informacije vezane uz cilj rada, opis značajki ispitanika i njihovo uključivanje u istraživanje, opis metoda rada i obrade podataka, opis korištenih testova i njihova pouzdanost i valjanost.

Za potrebnu ocjenu metodološke kvalitete izrade uvrštena su sva pitanja te je autor, u komunikaciji s mentoricom, proveo procjenu za sustavan pregled literature. Bodovanje se provodilo na sljedeći način: ukoliko je odgovor na kriterij bio pozitivan (DA) bilježen je 1 bod. U slučaju negativnog odgovora (NE) na kriterij, ili u radu nije bilo odgovora na taj kriterij; „NP-nije primjenjivo“, „NI-nije izvješteno“ ili „NO-nemoguće odrediti“ kriterij je bilježen s 0.

„Tablica 1. Lista kriterija za ocjenu kvalitete metodološke izrade kod randomiziranih kontroliranih studija (prevedeno na hrvatski s engleskog jezika, vlastiti prijevod)“

Kriteriji	Da	Ne	Ostalo (NU, NI, NP)
1. „Je li studija opisana kao randomizirana, randomizirana studija, randomizirana klinička studija ili randomizirana kontrolirana studija (RCT)?“			
2. „Je li metoda randomizacije ispitanika bila adekvatna (odnosno, je li bilo prisutno randomizirano smještanje ispitanika u grupe)?“			
3. „Je li smještaj u pojedinu grupu bio prikriven (kako se pripisivanje učinaka pripadnosti pojedinoj grupi ne bi mogli predvidjeti)?“			
4. „Jesu li ispitanici i provoditelji intervencija bili zaslijepljeni za podjelu ispitanika u pojedinu grupu (eksperimentalna i kontrolna)?“			
5. „Jesu li osobe koje procjenjuju, odnosno mjere rezultate bili zaslijepljeni za pripadnost ispitanika pojedinoj grupi?“			
6. „Jesu li grupe bile slične u početnim vrijednostima važnih karakteristika koje mogu utjecati na dobivene rezultate u promatranim varijablama (primjer: demografski podaci, rizični faktori, komorbiditeti)?“			
7. „Je li ukupna stopa odustajanja iz studije u krajnjoj točki bila 20% ili niža od ukupnog broja ispitanika smještenih u eksperimentalnu skupinu?“			
8. „Je li razlika u stopi odustajanja iz studije (između grupa) u krajnjoj točki bila 15% ili niža?“			
9. „Je li bila prisutna dovoljno velika razina pridržavanja u provođenju intervencije u svim grupama?“			
10. „Jesu li druge intervencije izbjegnute ili bile slične u grupama (primjer: slične intervencije provedene u pozadini istraživanja)?“			
11. „Jesu li rezultati u promatranim varijablama procijenjeni koristeći valjane i pouzdane mjerne instrumente, koje se dosljedno primjenjuju na svim ispitanicima u studiji?“			
12. „Jesu li autori studija izvijestili da je veličina uzorka ispitanika bila dovoljno velika da bi se mogla otkriti razlika u glavnom promatranom ishodu između grupa s barem 80% snage zaključivanja?“			
13. „Jesu li ishodi intervencija izvješteni ili su podgrupe analizirane unaprijed (odnosno jesu li identificirane prije provođenja analiza)?“			
14. „Jesu li svi randomizirani ispitanici analizirani unutar grupe kojoj su prvotno dodijeljeni, odnosno je li korištena analiza namjere za liječenje (engl. intention-to-treat analysis)?“			

„NU=nemoguće utvrditi; NI= nije izvješteno; NP= nije primjenjivo“



„Tablica 2. Lista kriterija za ocjenu kvalitete metodološke izrade kod studija s jednom grupom ispitanika (prevedeno s engleskog na hrvatski od strane autora)“

Kriteriji	Da	Ne	Ostalo (NU, NI, NP)
1. „Je li istraživačko pitanje ili cilj rada bilo jasno definirano?“			
2. „Jesu li kriteriji za odabir populacije u studiji prethodno određeni i jasno opisani?“			
3. „Jesu li sudionici istraživanja bili dobri reprezentativni uzorak za sudjelovanje u testiranjima, uslugama ili intervenciji u općoj ili kliničkoj populaciji od interesa?“			
4. „Jesu li kvalificirani sudionici koji su zadovoljili prethodno opisane kriterije odabrani i uključeni u program?“			
5. „Je li uzorak bio dovoljno velik kako bi pružio čvrsta/sigurna saznanja?“			
6. „Je li protokol testiranja/intervencije jasno opisan i dosljedno proveden u ispitivanoj populaciji?“			
7. „Jesu li mjere ishoda prethodno određene, jasno definirane, valjane i pouzdane te procijenjene dosljedno kod svih sudionika studije?“			
8. „Jesu li osobe koje procjenjuju ishode studije bile zaslijepljene za izlaganje ispitanika intervenciji?“			
9. „Je li otpadanje ispitanika nakon inicijalnog testiranja bila 20% ili manja? Jesu li osobe otpale iz programa uzete u obzir prilikom analize podataka?“			
10. „Jesu li statističke metode proučavale mjerama ishoda prije i poslije intervencije? Jesu li provedeni statistički testovi pružili p vrijednosti za dobivene promjene ( prije i poslije)?“			
11. „Jesu li mjerenja varijabli od značaja bila ponavljana više puta prilikom prvog mjerenja i finalnog mjerenja?“			
12. „Ako je intervencija bila provedena na razini grupe (primjer: razina bolnice, zajednice itd.) je su li u statističkim analizama uzeti u obzir individualni podatci kako bi se ocijenio učinak na razini cijele grupe?“			

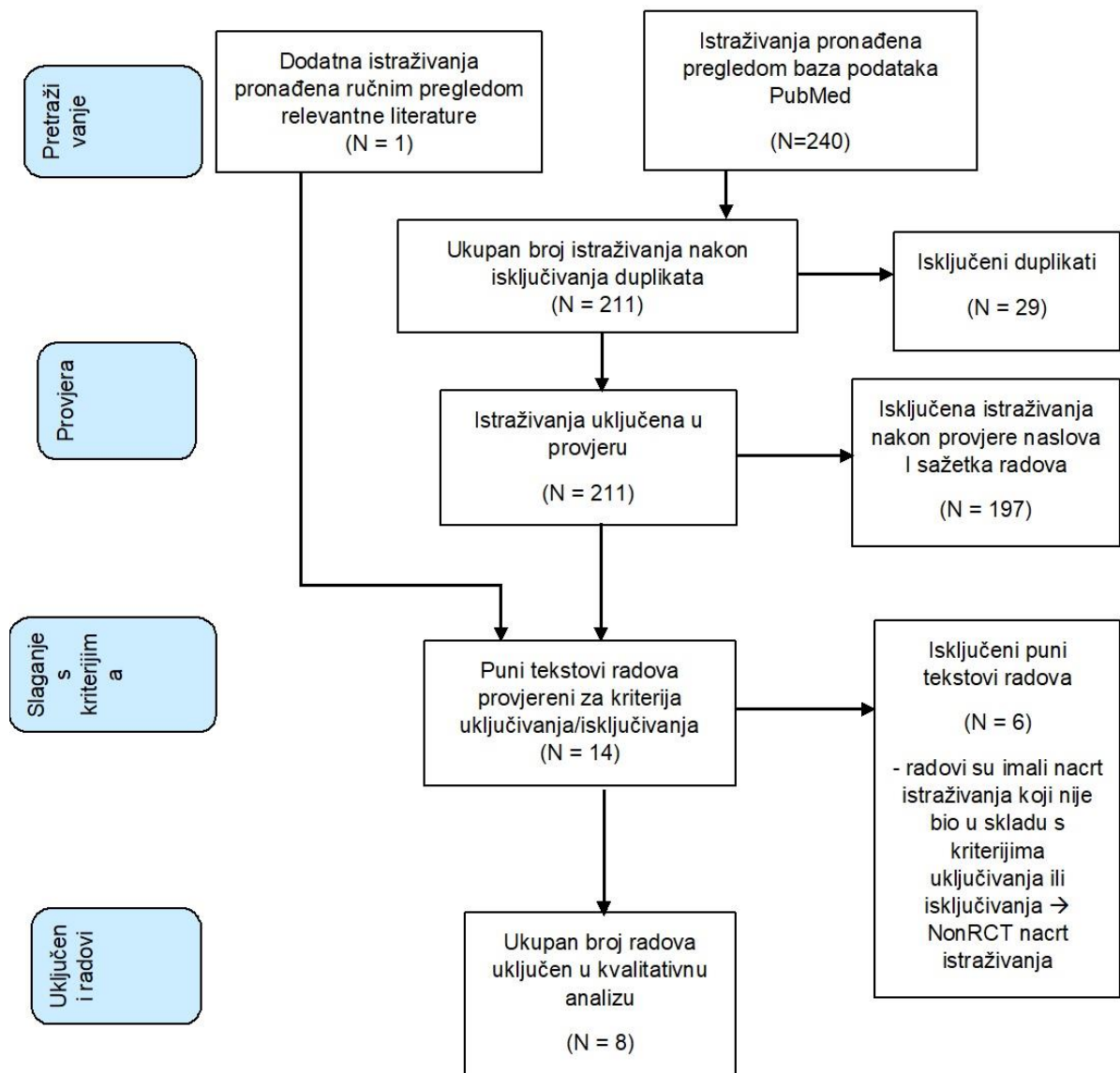
„NU=nemoguće utvrditi; NI= nije izvješteno; NP= nije primjenjivo“

Tablica 3. „Procjena kvalitete metodološke izrade nakon čitanja punog teksta rada“

„Reference“	„Pitanja-RCT“														„Ukupni %“
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	
(Roels, Hellard, Schmitt, Robach, Millet 2006)	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ni	Ne	Ne	Da	Nu	Da	Ni	Ni	Da	43%
(M.J. Truijens, F. A. Rodriguez 2011)	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ni	Ne	Ne	Da	Nu	Da	Ni	Ni	Da	43%
(Saunders, Garwican-Lewis, Schmidt, Gore 2013)	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ni	Da	Ne	Da	Nu	Da	Ni	Ni	Ni	43%
(Bonne i sur. 2014)	Da	Da	Ne	Da	Ne	Ni	Ne	Ne	Da	Nu	Da	Ni	Da	Da	43%
(Czuba i sur. 2017)	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ni	Ne	Ne	Da	Nu	Da	Ni	Da	Da	43%

Tablica 4. „Procjena kvalitete metodološke izrade nakon čitanja punog teksta rada“

„Reference“	„Pitanja“												„Ukupni %“
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
(Gough i sur. 2012)	Da	Da	Da	Da	Nu	Da	Da	Ne	Ne	Ni	Ne	Ne	50%
(Garcia i sur. 2020)	Da	Ni	Da	Da	Nu	Da	Da	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	50%
(Vitale, Leno, Baldassare, Bonifazi 2022)	Da	Da	Da	Da	Nu	Da	Da	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	58%



Slika 1: PRISMA dijagram detaljnog postupka sustavnog pregleda literature (Moher i suradnici, 2009)

### 3. REZULTATI

Pretragom digitalnih baza podataka PubMed pronađeno je 240 radova te poslije pretraživanja, uključivanja i isključivanja te provjere cjelovitih tekstova istraživanja, interpretirano je 8 radova što je vidljivo iz prikaza na *slici 1*.

Heterogenost u radovima vidljiva je u različitim ishodima i intervencijama, a izvori heterogenosti su u različitom vremenskom periodu trajanja intervencija. Također utjecaj navedene heterogenosti se očituje i u korištenju raznim testovima procjene i mjerenju varijabli. Jedan od većih utjecaja na heterogenost je broj sudionika istraživanja te starosna dob sudionika unutar istraživanja. Broj ispitanika po istraživanju u okviru randomiziranih kontroliranih istraživanja je u rasponu od 9 do 145 ispitanika. Broj svih ispitanika iznosi 222. U skupinama sa samo jednom skupinom ispitanika, uključeni ispitanici u studiju, izraženi su brojem 13, od 5 do 8 ispitanika po studiji. Broj ispitanika u 8 analiziranih studija je 235. Značajni podatci uvršteni iz uključenih radova te njihova prezentacija, prikazani su tablično (Tablica 5. - odnosi se na randomizirane kontrolirane studije; Tablica 6. – odnosi se na studija s jednom kontrolnom grupom). Redosljed radova prikazan je kronologijom, od najstarijeg prema najnovijem radu.

Tablica 5. „Prikaz izdvojenih podataka iz randomiziranih kontroliranih studija“

AUTORI (GODINA)	NASLOV	VRSTA RADA	CILJ RADA	TRAJANJE	UZORAK ISPITANIKA	TESTOVI	REZULTAT
<b>Roels, Hellard, Schmitt, Robach, Millet (2006)</b>	Je li više učinkovitije za visoko trenirane sportaše da borave i treniraju na 1200m nadmorske visine ili na 1800m u uvjetima izvedbe i hematološke koristi	RCT	Utvrđiti je li učinkovitije za visoko trenirane sportaše da žive i treniraju 1200m nV ili na 1800m nV u uvjetima izvedbe i hematološke koristi	13 dana	9 međunarodnih plivača	SWIM (5 x 200m)	Nije bilo promjene u VO <sub>2</sub> max nakon treninga, izvedba na 200m se poboljšala tijekom treninga na 1200m nV. Prosječni volumen eritrocita se povećao kod treninga na 1850m
<b>Truijens and Rodriquez (2011)</b>	Visinski i hipoksični trening u plivanju	RCT	Utvrđiti učinak visinskog i hipoksičnog treninga na izvedbu plivača na nV od 1780m, 2086m, 2454m i 2800m	5 tjedana	16 muških ispitanika	SWIM (100 i 400m slobodan stil)	Nema dokaza da nadmorska visina poboljšava izvedbu u plivanju više nego trening na razini mora.

**Legenda:** SWIM-plivački test, RCT- randomizirane kontrolirane skupine, VO<sub>2</sub>max – maksimalan primitak kisika u jedinici vremena, Hbmass - masa hemoglobina, nV- nadmorska visina, ITH- intermitentni hipoksični trening

AUTORI (GODINA)	NASLOV	VRSTA RADA	CILJ RADA	TRAJANJE	UZORAK ISPITANIKA	TESTOVI	REZULTAT
<b>Saunders, Garwican-Lewis, Schmidt, Gore (2013)</b>	Odnos između promjena u Hbmass i maksimalnog primitka kisika nakon izlaganja hipoksiji	RCT	Utvrđiti odnos između promjena u Hbmass i VO <sub>2</sub> max nakon izlaganja hipoksiji	6 godina	145 (94 muškarca, 51 žena)	„ Hypoxic breathing devices“- uređaji za mjerenje disanja	Korelacija između postotne promjene u Hbmass i promjene u VO <sub>2</sub> max je bila značajna (p<0.0001, r <sup>2</sup> =0.15)
<b>Bonne, Lundby, Jogernsen, Mrgan, Bech, Sander, Papoti, Nordsborg (2014)</b>	„Live high-train low“ unapređuje Hbmass kod plivača olimpijaca	RCT	Utvrđiti učinak visinskog treninga „Live high-train low“ na masu hemoglobina kod plivača olimpijaca na 2130m-3094m nV	3 tjedna	10 Plivača (5 žena i 5 muškaraca), 10 plivača na razini mora	SWIM (4 x 50m, 200m i 3000m)	3-4 tjedna klasičnog LHTH je dovoljno za povećanje Hbmass, ali ne utječe na VO <sub>2</sub> specifičan za plivanje. LHTH može poboljšati izvedbu više od treninga na razini mora.

**Legenda:** SWIM-plivački test, RCT- randomizirane kontrolirane skupine, VO<sub>2</sub>max – maksimalan primitak kisika u jedinici vremena, Hbmass - masa hemoglobina, nV- nadmorska visina, ITH- intermitentni hipoksični trening

„AUTORI (GODINA)“	„NASLOV“	„VRSTA RADA“	„CILJ RADA“	„TRAJANJE“	„UZORAK ISPITANIKA“	„TESTOVI“	„REZULTAT“
<b>Czuba, Wilk, Karpinski, Chalimoniuli, Zajec, Laugfort (2017)</b>	Povremeni hipoksični trening poboljšava anaerobnu izvedbu u natjecateljskih plivača kada se implementira u mezociklus izravnog natjecanja	RCT	Procijeniti učinkovitost isprekidanog hipoksičnog treninga na aerobni kapacitet i izvedbu plivanja kod dobro treniranih plivača na 2500m nV	4 tjedna	16 muških ispitanika	SWIM(100m i 200m slobodan stil)	Poboljšanje anernog kapaciteta i izvedbe plivanja nakon IHT-a. Nije imalo učinka na apsolutne vrijednosti VO <sub>2</sub> max i hematološke varijable

**Legenda:** SWIM-plivački test, RCT- randomizirane kontrolirane skupine, VO<sub>2</sub>max – maksimalan primitak kisika u jedinici vremena, Hbmass - masa hemoglobina, nV- nadmorska visina, ITH- intermitentni hipoksični trening

Tablica 6. „Prikaz izdvojenih podataka iz studija s jednom grupom ispitanika“

„AUTORI (GODINA)“	„NASLOV“	„VRSTA RADA“	„CILJ RADA“	„TRAJANJE“	„UZORAK ISPITANIKA“	„TESTOVI“	„REZULTATI“
<b>Gough, Saunders, Fowlie, Savage, Pyne, Anson, Waschmu, Prommer, Gore (2012)</b>	Utjecaj modela visinskog treninga na izvedbu i masu hemoglobina kod vrhunskih plivača	Studija s jednom skupinom ispitanika	Utvrđiti utjecaj visinskog treninga na sportašev u izvedbu i na masu hemoglobina na 2000m do 3000m nV	3 tjedna	26 vrhunskih sportaša podjeljenih u 2 skupine	SWIM (100m-200m)	Obje grupe su imale podjednako povećanje Hbmass
<b>Garcia, Drobnic, Galera, Pons, Viscor (2020)</b>	Plućna difuzija u četnaestodnevnom plivačkom visinskom treningu na 1850 metara nadmorske visine	Studija s jednom grupom ispitanika	Utvrđiti promjene u plivačevom tijelu za vrijeme 14odnevno og kampa	14 dana	8 plivača (5 žena i 3 muškarca) 17-24god	SWIM (200 ili 400m i 800m ili 1500m)	Značajno smanjenje u VA i TLC i značajno poboljšanje KCO
<b>Vitale, Leno, Baldassar, Bonifazi (2022)</b>	Utjecaj 14odnevnog visinskog treninga na olimpijski-level-otvorenih-voda na san	Studija s jednom skupinom ispitanika	Utvrđiti utjecaj 14odnevnog visinskog treninga na olimpijski-level-otvorenih-voda na san	14 dana	5 plivača (3 žene i 2 muškarca)	SWIM (80km tjedno), MJERENJE SNA (PRE, T1, T2, T3), Shapiro-Wilk test	FS pokazuje značajnu razliku u Z1 između PRE i T3 (p=0.046) i T2 i T3 (p=0.034) i u Z2 između tri razdoblja

**Legenda:** SWIM-plivački test, RCT- randomizirane kontrolirane skupine, VO<sub>2</sub>max – maksimalan primitak kisika u jedinici vremena, Hbmass - masa hemoglobina, FS- frekvencija srca, TLC – ukupni kapacitet pluća; ukupni volumen zraka u plućima nakon maksimalnog udisaja, VA- alveolarni volumen, KCO- koeficijent za ugljični monoksid



### 3.1. Randomizirane kontrolirane studije

Pet radova od 8 su randomizirane kontrolirane studije.

Rad Roels-a i suradnika (2006) je usmjeren s ciljem utvrđivanja je li učinkovitije za visoko trenirane sportaše da žive i treniraju na 1200m ili 1800m u uvjetima izvedbe i hematološke koristi. Istraživanje je trajalo 13 dana i u istraživanju je sudjelovalo 9 međunarodnih plivača. Testirani su na 5x200m te nije zabilježena promjena u  $VO_{2max}$  nakon treninga. Izvedba na 200m se poboljšala tijekom treninga na 1200m nV, prosječni volumen eritrocita se povećao kod treninga na 1850m.

Truijens i Rodriguez (2011) proveli su istraživanje na temelju visinskog treninga. Šesnaest plivača je podijeljeno u hipoksičnu skupinu i normoksičnu skupinu. Istraživanje je trajalo pet tjedana u kojima su ispitanici trenirali tri puta tjedno. Obje grupe su unaprijedile izvedbu (100 i 400 m slobodan stil) i  $VO_{2max}$ , razlike između grupa su prisutne. Štoviše, plivačka ekonomičnost niti anaerobni kapacitet nisu poboljšani ovim treninzima. Naime, ostaje pitanje pripisuje li se napredak efektu dodanog hipoksičnog stimulansa ili je napredak efekt samog treninga.

Saunders, Garvican-Lewis, Schmidt, Gore (2013) su proveli istraživanje o odnosu između promjene u masi hemoglobina i primitka kisika nakon izlaganja hipoksiji. 145 vrhunskih sportaša je sudjelovalo u istraživanju. Ispitanicima je izmjerena masa hemoglobina i  $VO_{2max}$  prije i poslije istraživanja. Korelacija između postotka promjene u masi hemoglobina i postotka promjene u  $VO_{2max}$  je bila značajna ( $p < 0.0001$ ,  $r^2 = 0.15$ ) s nagibom (95% CI) od 0.48 (0.30 do 0.67). Kada su razdvojene korelacije su također značajne za visinsku grupu i kontrolnu grupu, sa jačom korelacijom kod visinske grupe (nagib od 0.57 do 0.72). Zaključno, visinski trening sportaša izdržljivosti rezultirati će porastom  $VO_{2max}$  za više od polovice magnitude povećanja mase hemoglobina, što podržava upotrebu visinskog treninga sportaša. Izvedbe na utrkama nisu povezane s relativnim  $VO_{2max}$ , i drugim ne hematološkim čimbenicima promijenjenim zbog visinskog treninga, kao što su ekonomičnost rada i laktatni prag.

U radu Bonne i suradnici (2014) mjerilo se povećanje mase hemoglobina kod skupine koja je boravila i provodila treninge na visini (LHTH) između 2 130 - 3 094 m i kontrolnom skupinom koja je pratila iste treninge na nultoj točki nadmorske visine (SL). Masa hemoglobina ( $n=10$ ) se povećala ( $P < 0.05$ ) nakon visinskog treninga za  $6.2 \pm 3.9$  %. Plivački  $VO_2$  je bio

vrlo sličan prije i poslije treninga u obje grupe. (LHTH: n= 10, SL: n= 10). Nikakve promjene u masi hemoglobina nisu uočene kod kontrolne grupe koja je trenirala na razini mora. Izvedba na 4 x 50m tj. tempo utrke je poboljšana do sličnog stupnja u obje grupe (LHTH: n = 7, SL: n = 6). Najveća brzina postignuta plivačkim testom ( $P = 0.051$ ) i vrijeme potrebno za završiti 3000m ( $P = 0,09$ ) će se više povećati nakon LHTH (n = 10).

Zaključno, 3-4 tjedna klasičnog LHTH treninga je dovoljno za povećanje mase hemoglobina, ali ne utječe na  $VO_2$  specifičan za plivanje. LHTH trening može poboljšati izvedbu više od SL treninga.

Czuba, Wilk, Karpinski, Chalimoniuli, Zajec, Laugfort (2017) napisali su rad u kojem je cilj bio procijeniti učinkovitost isprekidanog hipoksičnog treninga na aerobni kapacitet i izvedbu plivanja kod dobro treniranih plivača. Deset plivača je sačinjavalo grupu koja je trenirala na visini (LHTH) i deset plivača je treniralo na razini mora (SL). Volumen treninga je bio vrlo sličan u obje grupe, otprilike 600 km je odrađeno od strane svakog plivača tijekom 8 tjedana treninga. Najvažnije otkriće ove studije uključuje značajno poboljšanje anaerobnog kapaciteta te poboljšanje izvedbe plivanja nakon IHT-a visokog intenziteta. Međutim, ovaj protokol vježbanja nije imao učinka na apsolutne vrijednosti  $VO_{2max}$  i hematološke varijable. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na to da intenzitet intermitentnog hipoksičnog treninga (IHT) predstavlja učinkovito sredstvo treninga za poboljšanje anaerobnog kapaciteta i plivačeve izvedbe.

### **3.2. Studije s jednom skupinom ispitanika**

Gough i suradnici, (2013) u svome radu su za cilj imali odrediti utjecaj klasičnog visinskog treninga na masu hemoglobina kod plivača. Masa hemoglobina 45 vrhunskih plivača mjerena je 6 puta tijekom 2 godine korištenjem CO-metoda disanja. Dvadeset i pet sportaša treniralo je između jednom do tri puta tjedno po 3-4 tjedna u visinskim kampovima na 2320 m i 1360 m. Masa hemoglobina bez hipoksičnog utjecaja bila je 3,0 % (m) i 2,7 % (f). Na nadmorskoj visini masa hemoglobina se povećala za  $7,2 \pm 3,3$  % ( $p/ 0,001$ ; 2320m) i za  $3,8 \pm 3,4$  % ( $p/0,05$ ; 1350 m). Povećanje mase hemoglobina zabilježeno je 13-ti dan te je mirovala do 24 dana nakon povratka kada se povećala ( $4,0 \pm 2,7$  %,  $p/ 0,05$ ). Zaključno nadmorska visina (2320 m) ima utjecaja na masu hemoglobina 3 tjedna nakon povratka, presudno ovisi o zdravstvenom stanju, ali nije pod utjecajem spola.

Garcia i suradnici (2020) su proveli istraživanje kojem je svrha procijeniti postoje li promjene u kapacitetu difuzije ugljikovog monoksida tijekom četrnaestodnevnog trening kampa (1850 m) kod vrhunskih plivača i akutni efekti kombiniranog treninga plivanja u umjerenoj hipoksiji i četrdeset četiri minute vožnje bicikla sa volumenom od osamdeset kilometara po tjednu. Nisu primijećene nikakve promjene nakon četrnaestodnevnog visinskog treninga, ali je primijećeno smanjenje u alveolarnom volumenu ( VA;  $7.13 \pm 1.61$  vs.  $6.50 \pm 1.59$  L;  $p=0.005$ ;  $d= 0.396$ ) i povećanje koeficijenta prijenosa ugljičnog monoksida u plućima ( KCO;  $6.23 \pm 1.03$  vs.  $6.83 \pm 1.31$  mL\*min<sup>-1</sup>\*mmHg<sup>-1</sup>\*L<sup>-1</sup>;  $p= 0.509$ ) nakon visinskog kampa. Nakon akutnog hipoksičnog treninga nije bilo promjena u kapacitetu difuzije ugljikovog monoksida nakon plivačkog treninga na 1850 m, no povećanje primjećujemo nakon vožnje bicikla na visini od 3000m (  $40.6 \pm 10.8$  vs.  $36.8 \pm 11.2$  mL\*min<sup>-1</sup>\*mmHg<sup>-1</sup>;  $P=0,044$ ;  $D= 0.341$ ). Trening kampa na srednjoj visini nije promijenio kapacitet plućne difuzije kod vrhunskih plivača, iako je vožnja bicikla na većoj nadmorskoj visini uzrokovala određeni stupanj alveolarno-kapilarne izmjene plinova. Daljnja istraživanja bi trebala posjedovati veće uzorke ispitanika s drugačijim razinama fitnesa i iskustva u visinskom treningu da bi se potvrdili ovi rezultati.

Vitale, Leno, Baldassarre, Bonifazi (2022) su u svome radu istražili utjecaj četrnaestodnevnog visinskog treninga na olimpijski-level-otvorenih-voda na san. Svrha studije je bila procijeniti moguće promjene aktigrafskih i subjektivnih parametara spavanja u skupini vrhunskih plivača na otvorenim vodama. Kamp je trajao četrnaest dana na 1500 m nadmorske visine. Pet olimpijskih plivača je sudjelovalo u istraživanju. Svi ispitanici su nosili monitor aktivnosti na zapešću i ispunjavali su dnevnik spavanja 18 uzastopnih noći, 4 noći prije i 14 noći tijekom kampa. Podatci su zatim analizirani u četiri različite vremenske točke; prije izlaganja nadmorskoj visini, prva dva dana, nakon jednog tjedna i nakon dva tjedna. Nema značajnih razlika u rezultatima kvalitete sna, dok se vrijeme početka sna (  $p=0.018$ ;  $n2p= 0,83$ ) i vrijeme pomaka spavanja (  $p < 0,001$ ;  $n2p= 0,95$ ) značajno razlikuje između svakog mjerenja. Visinski trening kampa nije negativno utjecao na kvalitetu sna unatoč povećanom percipiranom naporu tijekom treninga. Usprkos tome, za prve dvije noći primijećeno je vrijeme ranog početka i prekida spavanja: vrhunski sportaši počeli su spavati i buditi se 1 h ranije u usporedbi s osnovnim noćima.

#### 4. RASPRAVA

Cilj rada bio je istražiti utjecaj visinskog treninga na izdržljivost plivača uz sustavni pregled literature. Od ukupno 241 pronađenih radova, svega 8 radova zadovoljilo je kriterije uključivanja. Izdvojeni podaci mogu se pronaći u Tablicama 5. i 6., to su: „vrsta rada, cilj rada, trajanje intervencija, uzorak ispitanika, korišteni testovi i mjerenja“, i na kraju „rezultat“ dobiven provedenim istraživanjem. Prevladavajući utjecaj na raznolikost radova bile su kategorije dobi, broj ispitanika i vremenski period samih programa. U ovom preglednom radu bilo je uključeno ukupno 235 ispitanika, 222 ispitanika unutar randomiziranih kontroliranih istraživanja i 13 u okviru istraživanja s jednom skupinom ispitanika. Unutar RCT skupine istraživanja bilo je ukupno 166 muških te 56 ženska ispitanika. Neki radovi nisu sadržavali podatke o spolu. U drugoj skupini radova, sveukupno je bilo 5 muških ispitanika i 8 ženskih ispitanika.

Nadmorska visina različito utječe na aspekte ljudske fiziologije. Općenito, različiti sustavi ljudskog tijela - dišni, kardiovaskularni, endokrini, skeletni mišići- reagiraju i prilagođavaju se u nastojanju da osiguraju dovoljno kisika za preživljavanje u hipoksičnom okruženju velike nadmorske visine. Neki od ovih fizioloških odgovora koji održavaju život također mogu utjecati na sportsku izvedbu, osobito u sportovima izdržljivosti (Wilber, 2004).

Roels, Hellard, Schmitt, Robach i Millet (2006) rezultatima prikazuju da nije bilo promjene u  $VO_{2max}$ ; Truijens i Rodriguez (2011) u istraživanju bilježe poboljšanje  $VO_{2max}$  u obje grupe, ali eksperimentalna grupa pokazuje značajno veće povećanje  $VO_{2max}$ . Bonne i suradnici (2014) prikazuju veće povećanje Hbmass na nadmorskoj visini nego na razini mora te smatraju da je 3-4 tjedna klasičnog „LHTH“ dovoljno za povećanje mase hemoglobina, ali nema utjecaja na  $VO_2$ . Saunders, Garwican-Lewis, Schmidt i Gore (2013) dobivaju rezultate u kojima je u skupini koja je provodila vrijeme na nadmorskoj visini izmjereno veće povećanje Hbmass i  $Vo_{2max}$  nego u kontrolnoj skupini. Gough i suradnici (2012) pokazuju prolongirane učinke na povećanje mase hemoglobina treći tjedan nakon povrtaka s visinskog treninga (2320 m). Rad autora Czuba i suradnici (2017) govori o rezultatima u kojima nije bilo utjecaja na apsolutne vrijednosti  $VO_{2max}$  i hematološke vrijednosti.

Roels i suradnici (2006) istraživali su je li učinkovitije za visoko trenirane sportaše boravak i trening na 1200 m ili 1800 m? Dobiveni rezultati prikazuju poboljšanje u izvedbi nakon treninga na 1200 m te povećanje srednjeg volumena stanice kod treninga na 1850m, 1200m i 1800m. Truijens i Rodriguez (2011) u rezultatima svog istraživanja o visinskom treningu u

plivanju iznose da su obje grupe poboljšale izvedbu na 100 m i 400 m te prikazuju da bi visinski trening zahtijevao najmanje 3 do 4 tjedna boravka iznad 2100 m pa sve do 2500 m. Takav boravak izaziva snažan odgovor na aklimatizaciju (prvenstveno povećanje mase crvenih stanica) kod većine sportaša.

Bonne i suradnici (2014) rezultatima govore o povećanju brzine izvedbe nakon „LHTH“, te iznose da „LHTH“ može poboljšati izvedbu više nego „SL“ trening. Czuba i suradnici (2017) u rezultatima svog istraživanja iznose značajno poboljšanje anaerobnog kapaciteta i plivačke izvedbe nakon „IHT-a“. Garcia i suradnici (2020) rezultatima prikazuju smanjenje alveolarnog volumena i povećanje koeficijenta prijenosa ugljičnog monoksida u plućima nakon visinskog kampa na 1850 m.

Vitale i suradnici (2022) promatrali su utjecaj visinskog treninga na san vrhunskih sportaša. Rezultatima prikazuju da nema značajnih razlika u kvaliteti sna, ali pokazuju pomak u vremenu početka sna i pomaka spavanja; vrhunski sportaši počeli su spavati i buditi se jedan sat ranije.

Primaran razlog zašto sportaši izdržljivosti treniraju na nadmorskoj visini je da povećaju masu crvenih krvnih stanica i koncentraciju hemoglobina. Dodatno, tu postoji sekundarna fiziološka dobrobit koja se dobije kao rezultat visinskog treninga (Matheiu-Costello 2001).

Na primjer, visinski trening je pokazao da se povećava kapilarnost skeletnih mišića (Mizuno i suradnici 1990; Desplanches i suradnici 1993). U teoriji ova fiziološka prilagodba poboljšava sposobnost radnog mišića kako bi preuzeo kisik iz krvi. Također je utvrđeno da se niz povoljnih fizioloških promjena događa unutar mikrostrukture skeletnih mišića kao rezultat visinskog treninga.

Ove promjene uključuju povećanje koncentraciju mioglobina (Terrados i suradnici 1990), povećanje aktivnosti mitohondrijskih oksidativnih enzima (Terrados i suradnici 1990), i veći broj mitohondrije (Desplanches i suradnici 1993), sve prethodno navedeno služi za povećanje stope iskorištavanja kisika i proizvodnje aerobne energije. Treba se navesti da znanstveni podatci koji podupiru prilagodbe skeletnih mišića na nadmorsku visinu, osobito kod dobro treniranih sportaša su minimalne. Samo jedno od prethodno citiranih istraživanja provedeno je na vrhunskim sportašima (Mizuno i suradnici 1990), dok su ostale studije ispitivale učinak visinskog treninga na karakteristike skeletnih mišića netreniranih pojedinaca (Desplanches i suradnici 1993; Terrados i suradnici 1990). Dodatne studije sa dobro treniranim sportašima nisu uspjele prikazati značajne promjene u mikrostrukтури skeletnih mišića kao rezultat visinskog treninga (Saltin i suradnici 1995; Terrados i suradnici 1988). Nadalje, jedna od

prethodno navedenih studija (Desplanches i suradnici 1993) provedena je na simuliranim visinama (4 100 - 5 700 m / 13 450-18 695 ft) koje nisu praktične i nalaze se previsoko da bi sportaši trenirali. (Wilber, 2004).

Važna fiziološka prilagodba koja se može dogoditi kao rezultat izlaganja umjerenoj nadmorskoj visini, je poboljšanje sposobnosti skeletnih mišića i krvi da atenuiraju koncentraciju vodikovih iona ( $H^+$ ). Tijekom vježbanja, visoke koncentracije  $H^+$  pridonose umoru skeletnih mišića oštećujući aktin-miozina, smanjenjem osjetljivosti troponina na kalcij ( $Ca^{2+}$ ) i inhibicijom enzima fosfofruktokinaze (PFK), čime se smanjuje anaerobna proizvodnja energije putem glikolize (McComas i suradnici 1996). Stoga, poboljšani kapacitet puferiranja  $H^+$  može imati povoljan učinak na sportsku izvedbu (Wilber, 2004).

U prilogu tome, Mizuno i suradnici (1990) izvjestili su o značajnom povećanju puferskog kapaciteta gastrocnemius mišića od 6% kod vrhunskih muških sportaša koji su se bavili skijaškim trčanjem boraveći na 2100 m (6890 ft) i 14 dana trenirali na 2700m (8860 ft). Značajna poboljšanja u maksimalnom deficitu  $O_2$  (29%) i vremenu trčanja na traci do iscrpljenosti (17%) primjećena su nakon što su se sportaši vratili na razinu mora. Osim toga, dokazana je pozitivna korelacija ( $r=0,91$  ,  $P<0,05$ ) između relativnog povećanja puferskog kapaciteta gastrocnemius mišića i vremena trčanja na traci do iscrpljenosti (Wilber, 2004).

Gore i suradnici (2001) nedavno su izvjestili da se puferski kapacitet skeletnih mišića povećao za 18% ( $p<0,05$ ) kod muškaraca u triatlonaca, biciklista i sportaša koji se bave skijaškim trčanjem nakon 23 dana boravka na 3000 m (9840 ft) i treniranja na 6000 m (1970 ft). Nadalje, istraživači su otkrili da je mehanička učinkovitost značajno poboljšana tijekom testa submaksimalnog ciklusa od 4x4 minute nakon 23-dnevnog „LHTL“ razdoblja (Wilber, 2004).

## 5. ZAKLJUČAK

Svrha samog rada bila je, kroz sustavan pregled, prikupiti i prikazati sva dostupna saznanja i teorije o utjecaju visinskog treninga na izdržljivost plivača. Pregledom odabranih radova, može se utvrditi da se promjene razlikuju od plivača do plivača tj. da utjecaj visinskog treninga različito utječe na plivače. U nekoliko istraživanja primjećuje se pozitivan utjecaj visinskog treninga na maksimalan primitak kisika ( $V_{O_{2max}}$ ), povećanje mase hemoglobina ( $Hb_{mass}$ ) te poboljšanje izvedbe povratkom na razinu mora nakon boravljenja ili treniranja na nadmorskoj visini. Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da visinski trening pozitivno utječe na izdržljivost plivača u slučaju kada plivači borave ili treniraju na višoj nadmorskoj visini.

Visinski trening različito utječe na plivače i na temelju sustavnog pregleda dosadašnjih istraživanja potrebno je provesti još istraživanja na ovu temu kako bi se došlo do više saznanja o promjenama u plivačevom tijelu nakon provedenog trenažnog procesa na nadmorskoj visini.

## LITERATURA

Bonne T. C., Lundby C., Jorgensen S., Johansen L., Mrgan M., Bech S. R., Sander M., Papoti M., Nordsborg N. B. (2014). „Live High- Train High“ increases hemoglobin mass in Olympic swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 114(7), 1439-1449.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-014-2863-4>

Caro, J. (2001). Hypoxia regulation of gene transcription. *High Altitude Medicine and Biology*, 2, 145–154.  
<https://doi.org/10.1089/152702901750265251>

Clerici, C., Matthay.M.A. (2000). Hypoxia regulates gene expression of alveolar epithelial transport proteins. *Journal of Applied Physiology*, 88, 1890–1896.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.5.1890>

Czuba M., Wilk R., Karpinski J., Chalimoniuk M., Zajec A., Langfort J. (2017). Intermittent hypoxic training improves anaerobic performance in competitive swimmers when implemented into a direct competition mesocycle. *Journal Pone* 12(8).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180380>

Desplanches, D., H. Hoppeler, M. T. Linoissier, C. Denis, H Claasen, D. Dormois, J. R. Lacour, A. Geysant (1993). Effects of training in normoxia and normobaric hypoxia on human muscle ultrastructure. *Pfugers Archiv*, 425, 263-267.  
<https://doi.org/10.1007/BF00374176>

Faiss, R., Girard, O., & Millet, G. P. (2013). Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British Journal of Sports Medicine*, 47(Suppl 1), i45–i50.  
<http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-092741>

Garcia I., Drobic F., Galera T., Pons V., Viscor G. . (2020). Lung diffusion in a 14-day swimming altitude training camp at 1850 meters, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 3501.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17103501>



Gore, C. J., A. G. Hahn, R.J. Aughey, D.T. Martin, M. J. Ashenden, S. A. Clark, A. P. Garnham, A.D. Roberts, G. J. Slater, M. J. McKenna (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica* 173, 275–286.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x>

Gough C. E., Saunders P. U., Fowlie J., Savage B., Pyne D. B., Anson M. J., Wachsmuth N., Prommer N., Gore C. J. (2013). Influence of altitude training modality on performance and total haemoglobin mass in elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 112(9), 3275-85.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-011-2291-7>

Gross, T.S., N. Akeno, T.L. Clemens, S Komarova, S. Srinivasan, D.A. Weimer, S. Mayorov (2001). Osteocytes upregulate HIF-1 alpha in response to acute disuse and oxygen deprivation. *Journal of Applied Physiology*, 90, 2514–2519.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.6.2514>

Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). “Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1),102–112.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.102>

McComas, A. J. (1996). Skeletal muscle form and function. *Champaign, IL: Human Kinetics*

Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1–25.  
<https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>

Mizuno, M., C. Juel, T. Bro-Rasmussen, E. Mygind, B. Schibye, B. Rasmussen, B. Saltin. (1990). Limb skeletal muscle adaptations in athletes after training at altitude. *Journal of Applied Physiology*, 68, 496–502.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.2.496>

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement *BMJ* (Clinical Research E.), 399, b2535.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>

Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis

protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1.  
<https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>

Moore, L. G., S. Zamudio, J. Zhuang, T. Droma, R. V. Shohet. 2002. Analysis of myoglobin gene in Tibetans living at high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 3, 39–47.  
<https://doi.org/10.1089/152702902753639531>

Olfert, M., Breen, C. E., Matheiu-Costello, O., Wagner, D. P. (2001). Skeletal muscle capillarity and angiogenic mRNA levels after exercise training in normoxia and chronic hypoxia, *J Appl Physiol*, 91, 1175-1184.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1176>

Prabhakar, N. R. (2001). Oxygen sensing during intermittent hypoxia: Cellular and molecular mechanisms. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1986–1994.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.5.1986>

Ramirez, G., P. A. Bittle, R. Rosen, H. Rabb, D. Pineda (1999). High altitude living: Genetic and environmental adaptations. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 70, 73–81.

Roels B., Hellard P., Schmitt L., Robach P., Richalet J., Millet G. (2006). Is it more effective for highly trained swimmers to live and train at 1200m than at 1850m in terms of performance and haematological benefits? *Medicine British journal of sports medicine*, 40, 2.  
<http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2004.017103>

Saltin, B., C.K. Kim, N. Terrados, H. Larsen, J. Svedenhag, C. J. Rolf (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 222–230.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00038.x>

Samaja, M. (2001). Hypoxia-dependent protein expression: Erythropoietin. *High Altitude Medicine and Biology*, 2, 155–163.  
<https://doi.org/10.1089/152702901750265260>

Saunders P. U., Garvican- Lewis L., Schmidt W. F., Gore C. J. (2013). Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *British Journal of Sports Medicine* 47, i26-i30.  
<http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-092841>

Terrados N., Janssan E., Sylven C., Kaijser L. (1990). In hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *Applied Physiology*, 68, 2369.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.6.2369>

Terrados N., J. Melichna, C Sylven, E. Jansson, L. Kaijser (1988). Effects of training at stimulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 203–209.

<https://doi.org/10.1007/BF00640664>

Truijens J., Rodriguez A. (2011). Altitude and hypoxic training in swimming. L. Seifert, D. Chollet I. Mujika, World Book of Swimmin: from science to performance (poglavlje 20). Nova Science Publishers, Inc.

Vitale J. A., Ieno C., Baldassarre R., Bonifazi M., Vitali F., La Torre A., Piacentini M. F. (2022). The impact of a 14-day altitude training camp on Olympic-level open-water swimmers sleep. *International journal of environmental research and public health*, 19, 4253.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph19074253>

Vogt, M., A. Puntschart, J. Geiser, C. Zuleger, R. Billeter, H. Hoppeler (2001). Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *Journal of Applied Physiology*, 91, 173–182.

<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.1.173>

Wachsmuth A., Volzke C., Prommer N., Schmidt-Trucksass., Frese F., Spahl O., Eastwood A., Stray-Gundersen J., Schmidt W. (2012). *The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. European journal of Applied Physiology*, 113, 1199-1211.

<https://doi.org/10.1007/s00421-012-2536-0>

Wilber Randall, (2004). *Altitude training and athletic performance*. Unites States of America: Human Kinetics Publishers, Inc.

Witkowski, S., H. Chen, J Stray–Gundersen, R. L. Ge, C. Alfrey, J. T. Prchal, i B. D. Levine. (2002). Genetic marker for the erythropoietic response to altitude. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34 Suppl. 5, S246.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200205001-01375>

Woorons, X., Mucci, P., Aucouturier, J., Anthierens, A., & Millet, G. P. (2017). Acute effects of repeated cycling sprints in hypoxia induced by voluntary hypoventilation. *European journal of applied physiology*, *117*(12), 2433-2443.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-017-3729-3>