

# Fiziološke značajke kardiorespiratornog sustava pri vježbanju u različitim okolišnim uvjetima

---

**Budimski, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:690946>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Josip Budimski

**Fiziološke značajke kardiorespiratornog  
sustava pri vježbanju u različitim okolišnim  
uvjetima**

Završni rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Josip Budimski

**Physiological characteristics of  
cardiorespiratory system during training in  
different environmental conditions**

Bachelor thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Znanosti o okolišu na Zavodu za animalnu fiziologiju Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom v. pred. dr. sc. Julije Erhardt.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Završni rad

## Fiziološke značajke kardiorespiratornog sustava pri vježbanju u različitim okolišnim uvjetima

Josip Budimski

Rooseveltove trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Razumijevanje metaboličkih procesa i fizioloških karakteristika organskih sustava ključne su polazne točke za uspješnu provedbu trenažnog procesa i poboljšanje natjecateljske izvedbe. Kardiovaskularni sustav je odgovoran za cirkulaciju i dovod kisika aktivnim mišićnim tkivima, a prilagođava se kroz regulaciju veličine srca, udarnog volumena, frekvencije rada srca, protoka krvi i srčanog minutnog volumena. Respiratorni sustav, u čijem se središtu nalaze pluća, prolazi kroz promjene u difuzijskom kapacitetu u organizmu, stimulaciji disanja te u maksimalnom primitku kisika tokom mišićnog rada. Metabolički procesi prilikom vježbanja su kompleksni, te na svaki pojedino možemo djelovati kroz trenažni proces. Razlikujemo tri osnovna metabolička puta kojima se organizam opskrbljuje ATP-om, a to su sustav fosfokreatin-kreatin, sustav glikogen-mliječna kiselina te aerobni sustav. Termoregulacija organizma se odvija preko hipotalamusa koji služi kao termostat organizma, a tijelo oslobađa toplinu procesima radijacije, konvekcije, kondukcije i evaporacije. U svrhu poboljšanja natjecateljskih rezultata, u sportu se počeo prakticirati trening u raznim okolišnim uvjetima kao što su trening na toplom i hladnom, na visini, te na velikim dubinama. Prilikom promjene okolišnih uvjeta, tijelo prolazi kroz mnoštvo fizioloških procesa koji dovode do prilagodbe na iste.

Ključne riječi: Kardiovaskularni sustav, Respiratorni sustav, Fiziološki procesi, Okolišni uvjeti  
(17 stranica, 2 slike, 2 tablice, 47 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)  
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: v. pred. dr. sc. Julija Erhardt

---

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Bachelor thesis

# Physiological characteristics of cardiorespiratory system during training in different environmental conditions

Josip Budimski

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Understanding the metabolic processes and physiological characteristics of organic systems are the key starting points for the successful implementation of the training process and the improvement of competitive performance. The cardiovascular system is responsible for circulation and oxygen supply to active muscle tissues, and it adapts through the regulation of heart size, stroke volume, heart frequency, blood flow and heart minute volume. The respiratory system has lungs in its center, and it goes through changes in the diffusion capacity in the organism, breathing stimulation and in the maximum receipt of oxygen during the muscular work. Metabolic processes during training are complex, and we can act on each one through the training process. Three basic metabolic routes for supplying the organism with ATP can be outlined, namely the phosphocreatine-creatine system, the glycogen-lactic acid system and the aerobic system. The thermoregulation of an organism is conducted through hypothalamus, which serves as organism's thermostat, while the body releases heat through the processes of radiation, convection, conduction and evaporation. In order to improve competitive results, training in different environmental conditions was introduced, such as training in the warm and cold, at altitude and at great depths. During the change of environmental conditions, the body goes through numerous physiological processes, which leads to adaptation.

Keywords: Cardiovascular system, Respiratory system, Physiological process, Environmental conditions

(17 pages, 2 figures, 2 tables, 47 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: v. pred. dr. sc. Julija Erhardt



# Sadržaj

Sadržaj.....	v
1. Uvod.....	1
2. Kardiorespiratorni sustav .....	2
2.1. Kardiovaskularna adaptacija na vježbanje .....	2
2.2. Respiratorna adaptacija na vježbanje .....	3
3. Fiziologija sporta i vježbanja .....	5
3.1. Metabolički sustavi i bioenergetika .....	5
3.1.1. Sustav fosfokreatin-kreatin .....	5
3.1.2. Sustav glikogen-mliječna kiselina .....	6
3.1.3. Aerobni sustav .....	6
3.2. Mehanizmi regulacije temperature tijela .....	8
4. Fiziološki odgovor tijela na vježbanje u raznim okolišnim uvjetima .....	10
4.1. Prilagodbe na ekstremne temperature .....	10
4.1.1. Trening pri niskim temperaturama .....	11
4.1.2. Trening pri visokim temperaturama .....	12
4.2. Prilagodbe na promjene tlaka.....	12
4.2.1. Trening pri hiperbaričnim uvjetima.....	13
4.2.2. Trening pri hipobaričnim uvjetima.....	14
5. Zaključak.....	16
6. Literatura .....	17

# 1. Uvod

Planeta Zemlja područje je mnogih okolišnih sustava različitih klimatskih uvjeta. Kako se krećemo po geografskim širinama, tako prolazimo od umjerenih okolišnih uvjeta do onih ekstremnih. Zanimljivo je kako je svaki okoliš pronašao svog stanovnika, organizam koji se evolucijom i fiziološkim prilagodbama smjestio na određeno stanište i učinio ga svojim domom. U životinjskome svijetu pratimo zapanjujuće primjere prilagodbe kao što su: funkcija glukoze u krvi šumske žabe kao antifrz molekule za preživljavanje niskih temperatura, spremišta masti kod deva pomoću kojih provode i do tjedan dana na ekstremnim vrućinama bez direktnog unosa vode u organizam, prilagodbe morskih sisavaca na duboko ronjenje i mnoge druge.

Jasno je vidljivo kako ljudi iz različitih geografskih širina funkcioniraju drugačije, drugačije su potrebe za nutrijentima pa se tako razlikuju po prehrani, različite su radne navike i mogućnosti uzrokovane životima na drugačijim nadmorskim visinama te, na poslijetku, se razlike očituju i na boji kože uzrokovane različitoj izloženosti Sunčevom zračenju.

Kako je tekao razvoj znanosti i tehnologije, tako su fiziološki fenomeni postali razumljiviji ljudskoj populaciji. Vodeći se svojom znatiželjom, nova saznanja o mehanizmima prilagodbe su se počela primijenjivati i na područje najveće kompeticije među ljudima, na sport. Adaptacija organizma na njemu strane okolišne uvjete pokazala se kao korisna komponenta vježbanja u vrhunskom sportu. No, nisu vrhunski sportaši jedini koji su pronašli korisnost na ovom području. Ekstremni sport pronalazi mjesto u turizmu, medicini i rekreaciji.

Proučit ćemo osnovne mehanizme adaptacije kardiorespiratornog sustava na trening, metaboličke i termoregulatorne procese te fiziološke karakteristike organizma u novim, tijelu nepoznatim okolišnim uvjetima.

## **2. Kardiorespiratorni sustav**

Kardiorespiratorni sustav ljudskog organizma se sastoji od dvije stavke: kardiovaskularnog i respiratornog sustava. Njegov razvitak odgovoran je za poboljšanje fizioloških parametara poput maksimalnog primitka kisika ( $VO_{2max}$ ) i ventilacijskog praga (VT). Prema Kido i sur. (2017), respiratorni sustav pomaže razvitku spomenutih parametara uz kardiovaskularni i mišićni sustav organizma. Sportovi poput plivanja, trčanja i vožnje bicikla dovode do poboljšanih rezultata pri mjerenju  $VO_{2max}$  i VT, no ponekad je respiratorna zapremla limitirajući faktor prilikom poboljšavanja spomenutih fizioloških parametara, iako uspješno treningom djelujemo na kardiovaskularnu i mišićnu funkciju. Stoga je potrebno uz aerobni trening kombinirati i trening mišića prsnog koša kako bismo povećali vjerojatnost poboljšanja rezultata na spomenutim područjima (Kido i sur. 2017). Promatrajući respiratorni, kardiovaskularni i mišićni sustav, uočavamo kako razvitak jednog dovodi do razvitka drugog i trećeg. Pojedinci koji imaju bolje genetske predispozicije u jednom sustavu će lakše djelovati i na druga dva, no vrhunski sport teži razvitku metoda kojima se nedostaci mogu nadomjestiti kroz kvalitetan trening i naprednu tehnologiju.

### **2.1. Kardiovaskularna adaptacija na vježbanje**

Vježbanje stvara povećanu potražnju tijela za dovodom kisika u mišićne stanice kako bi se povećala proizvodnja adenozin trifosfata (ATP) u svrhu održavanja konstantnih mišićnih kontrakcija (Smith i Fernhall 2011). To rezultira u promjenama veličine srca, udarnog volumena, frekvencije rada srca, protoku krvi i srčanog minutnog volumena.

Najveće promjene u veličini srca su povezane s rastom lijeve klijetke, izložene najvećim tlakovima. Dugo se vjerovalo kako na zadebljanje srčanih stijenki utječe tip treninga pa se tako veći srčani volumen povezivao sa sportašima treninga snage. Prema toj teoriji, srce je moralo povećati svoju kontraktilnost povećanjem stijenki kako bi savladalo visoki krvni tlak prilikom treninga s velikim opterećenjem. Daljnjim istraživanjima i novim tehnologijama je dokazano kako pojedinci koji se sustavno bave treningom izdržljivosti imaju znatno veći relativni mišićni volumen, što veličinu lijeve klijetke dovodi u vezu s aerobnom snagom pojedinca.

Tijekom mišićnog rada znatno se povećava protok krvi kroz mišiće. Tijekom maksimalnog mišićnog rada protok krvi se može povećati najviše oko 25 puta (Guyton

i Hall 2017). Nasuprot tome, sama mišićna kontrakcija smanjuje protok kroz skeletne mišiće jer se oni kontrahiraju. To rezultira brzim zamorom organizma pošto ono nije u stanju dovesti dovoljnu količinu kisika u mišićne stanice.

Udarni volumen i frekvencija rada srca izravno utječu na srčani minutni volumen. Dok se prilikom vježbanja udarni volumen poveća za 50%, broj otkucaja se kod vrhunskih sportaša može povećati za više od 250%, sa 50 na 200 otkucaja u minuti. Zaključujemo, frekvencija rada srca će imati veći učinak na povećanje srčanog minutnog volumena. U tablici 1 su prikazani udarni volumeni neutrenirane i utrenirane osobe u mirovanju i pri maksimalnom fizičkom radu.

Tablica 1. Udarni volumeni tokom mirovanja i rada u različitim stupnjevima utreniranosti (Izvor: <https://slideplayer.com/slide/12446783/>)

Subjects	SV <sub>rest</sub> (ml/beat)	SV <sub>max</sub> (ml/beat)
Untrained	50-70	80-110
Trained	70-90	110-150
Highly trained	90-110	150-220+

Prema istraživanjima Guyton i Hall (2017), tijekom mišićnog rada dobro utrenirane osobe dolazi do povećanja minutnog volumena do čak 6 puta (30 L/min), što je u prosječnih osoba uglavnom do 4 puta (22 L/min).

## 2.2. Respiratorna adaptacija na vježbanje

Potrošnja kisika prilikom vježbanja se znatno povećava. Tijelo u mirovanju troši oko 250 mL po minuti, a kod sportaša u sportovima izdržljivosti prilikom aktivnosti dolazi do potrošnje od čak 5 L/min (Guyton i Hall 2017).

Potreba za većom dopremom kisika dovodi i do povećanja difuzijskog kapaciteta za kisik, što je mjera za veličinu difuzije kisika iz plućnih alveola u krv. Kisik difundira zbog razlike u parcijalnim tlakovima između alveole i kisika. Na ovoj stavci također uočavamo višestruko povećanje u vrijednostima gdje se difuzija između tijela u mirovanju i tijela u maksimalnom radu povećava za gotovo 3 puta. To se može objasniti povećanjem površine za difuziju, pošto krv prolazi kroz kapilare kroz koje krv u mirovanju gotovo pa ni ne protječe (Guyton i Hall 2017).

Zanimljivo je promatrati kako parcijalni tlak kisika u arterijskoj krvi i parcijalni tlak ugljikovog dioksida u venskoj krvi ostaju gotov nepromijenjeni tijekom vježbanja. To nam potvrđuje kako je disanje prilikom tjelovježbe stimulirano živčanim putem. Taj mehanizam povećava plućnu ventilaciju onoliko koliko je dovoljno da se spomenuti parcijalni tlakovi održe u normali.

Također, bitna je stavka koliko tijelo može potrošiti kisika za vrijeme maksimalnog aerobnog metabolizma. Najveću sposobnost za primitak kisika nalazimo kod veslača, plivača, maratonaca, biciklista i triatlonaca, odnosno u sportovima izdržljivosti. Na razvoj ove trenažne komponente je važan specijaliziran, sustavan i dugotrajan trening. Također, anatomske komponente mogu pridonijeti razvitku veće potrošnje kisika pri maksimalnom aerobnom metabolizmu, a to su relativna veličina prsnog koša te snaga respiracijskih mišića (Guyton i Hall 2017). Danas postoje razvijene tehnike i metode kojima se može djelovati na veću aktivaciju respiratornih mišića čime se direktno djeluje na kardiorespiratorna izdržljivost organizma, što dugotrajno dovodi do poboljšanja rezultata pojedinca (Kido i sur. 2017).

### **3. Fiziologija sporta i vježbanja**

Kroz cijelu povijest pratimo kompetitivnu prirodu čovjeka i težnju za pomicanjem ranije postavljenih granica u svim područjima ljudskog djelovanja. „Brže, više, bolje“ oduvijek je moto koji je pokretao nadmetanje između civilizacija u gradnji hramova, ratnim taktikama i pripremama, te kasnije i u sportskim aktivnostima.

Mišićni napor je najveći napor za ljudsko tijelo te se kroz godine razvila potreba za jasnijim razumijevanjem procesa koji se odvijaju u tijelu kako bi došlo do poboljšanja performansa bez ugrožavanja života pojedinca. Energetski procesi, procesi regulacije fizioloških odgovora na napor, te procesi oporavka, neke su od stavki čije je razumijevanje dovelo ljudsko tijelo do nezamislivih razina, a još nismo ni blizu cjelokupnih saznanja o funkcioniranju organizma pod naporom. Svako tijelo je sustav za sebe, pa je tako vrlo bitan i individualni pristup prilikom planiranja i provođenja trenažnog procesa. Razumijevanje osnovnih metaboličkih sustava te fizioloških odgovora organizma na ovu vrstu stresa temelj je napretka pojedinca kroz proces vježbanja.

#### **3.1. Metabolički sustavi i bioenergetika**

Za mišićnu kontrakciju se kao izravan izvor energije tijelo koristi adenzin trifosfat (ATP). To je molekula koja se sastoji od adenzina i tri anorganske fosfatne skupine. Kada na nju djeluje enzim ATPaza, zadnja fosfatna skupina se odvaja što rezultira oslobađanjem velike količine energije (Wilmore i Costil 1994).

Postoje tri načina na koje stanice dodaju fosfatnu skupinu na niskoenergetski spoj adenzin difosfat (ADP) kako bi stvorile ATP, a to su:

- Sustav fosfokreatin-kreatin
- Sustav glikogen-mliječna kiselina
- Aerobni sustav

##### **3.1.1. Sustav fosfokreatin-kreatin**

Fosfokreatin ili kreatin-fosfat je spoj s fosfatnom vezom bogate energije. Razgrađuje se na kreatin i fosfatni ion prilikom čega se oslobađa velika količina energije, veća od energije fosfatne veze ATPa. Ovaj prijenos energije se odvija u vrlo kratkom vremenu pa se zbog toga gotovo u cjelosti koristi za kontrakciju mišića. Ukupna količina energija pohranjena u staničnom kreatin-fosfatu i staničnom ATPu se naziva fosfagenski

energijski sustav. Energija iz ovog sustava je dostupna za otprilike 10 sekundi maksimalnog mišićnog rada (Guyton i Hall 2017). Iz tog razloga je održavanje razine ATPa u mišićima uz pomoć energije iz fosfokreatina limitiran proces. Kao idealan primjer iz svijeta sporta za potrošnju energije iz ovog sustava možemo upotrijebiti utrku na 100 metara u atletici ili sprint na 25 metara u plivanju, gdje je za obje utrke vrhunskim sportašima potrebno 9-10 sekundi za izvedbu.

Također, za rad ovog sustava nije potreban kisik pa ga svrstavamo u anaerobni metabolizam. Dolaskom do točke iscrpljenosti, tijelo se mora osloniti na druge procese kojima će opskrbiti tijelo energijom za obavljanje željenog mišićnog rada (Wilmore i Costil 1994).

### **3.1.2. Sustav glikogen-mliječna kiselina**

Glikogen se skladišti u našim mišićima kroz proces glikogeneze, a to je sinteza molekula glukoze u spoj koji je prisutan u našoj jetri i mišićima (Wilmore i Costil 1994). Glikogen, kao spremište energije u našim mišićima, možemo razgraditi na glukozu, što je proces koji se odvija u više koraka. Glikoliza, početni dio procesa razgradnje glikogena, se odvija bez prisutstva kisika i dio je anaerobnog metabolizma. Prilikom njega se svaka molekula glukoze razgrađuje u dvije molekule pirogroždane kiseline, a prisutstvo kisika određuje sudbinu tih dviju molekula. Ukoliko se u stanici nalazi dovoljna količina kisika, u mitohondrijima se odvija oksidacijska faza glikolize. Ako kisika nema, pirogroždana kiselina prelazi u mliječnu kiselinu koja dalje odlazi u međustanični prostor i krv (Guyton i Hall 2017). Ovim procesom dolazi do zakiseljavanja mišićnih vlakana što onemogućuje daljnju razgradnju glikogena zbog deaktivacije funkcije glikolitičkih enzima. Također, kiselo okruženje smanjuje kapacitet mišićnih vlakana za vezanje kalcijevih iona što dovodi do tzv. grčenja mišića (Wilmore i Costil 1994).

U idealnim uvjetima, energiju na ovaj način možemo koristiti maksimalno do minutu i pol (Guyton i Hall 2017). Ako povučemo paralelu u svijetu sporta, primjer za potrošnju energije kroz ovaj sustav bila bi atletska utrka na 400 metara ili plivačka utrka na 100 metara, za koje je vrhunskim sportašima potrebno 44-48 sekundi.

### **3.1.3. Aerobni sustav**

O aerobnom sustavu govorimo kada pratimo oksidaciju molekula hranjivih tvari u mitohondrijima što rezultira opskrbom energije. Dakle, molekule glukoze, masnih

kiselina i aminokiselina se udružuju s kisikom prilikom čega nastaje energija dovoljna za pretvorbu ADPa u ATP (Guyton i Hall 2017). Ovim putem se ATP stvara puno sporije nego u prethodno navedenim sustavima, izdržljivost organizma je neograničena, te on stvara energiju sve dok raspolaže s dovoljnom količinom molekula iz hranjivih tvari.

Tipičan primjer za rad u aerobnom sustavu je trčanje maratona ili plivanje 10 kilometara u otvorenim vodama. Obje utrke kod vrhunskih sportaša traju oko 2 sata.

Pošto se prilikom obavljanja mišićnog rada jedan sustav ne možemo odvojiti od drugog, kroz neke sportske discipline pratimo povezanost dva energetska sustava. Primjerice, u atletskoj disciplini od 200 metara pratimo izmjenu fosfagenskog sustava i sustava glikogen-mliječna kiselina. Povežemo li atletsku disciplinu 800 metara i plivačku disciplinu 200 metara koje vremenski jednako traju, možemo zaključiti kako su prekratke za apsolutno aerobni rad, a opet preduge za opskrbu kroz sustav glikogen-mliječna kiselina. Kod njih se ova dva spomenuta sustava preklapaju kako bismo dobili idealnu izvedbu. U tablici 2. su prikazani udjeli potrošnje energetske sustava kod određenih sportova i sportskih disciplina.

Tablica 2. Udio energetske sustava prilikom izvedbe u pojedinim sportovima (Izvor:

<https://metrifit.com/blog/understanding-energy-system-training/>)

Sport	ATP-PC	Anaerobic Glycolytic	Oxidative /Aerobic
Basketball	60	20	20
Fencing	90	10	0
Field events (e.g. discus, javelin)	90	10	0
Golf swing	95	5	0
Gymnastics	80	15	5
Hockey	50	20	30
Rowing	20	30	50
Running (distance)	10	20	70
Running (sprints)	90	10	0
Skiing	33	33	33
Soccer	50	20	30
Swimming (50m freestyle)	40	55	5
Swimming (1.5km)	10	20	70
Tennis	70	20	10
Volleyball	80	5	15



### 3.2. Mehanizmi regulacije temperature tijela

Kompletna energija proizvedena metabolizmom hranjivih tvari u organizmu se pretvara u tjelesnu toplinu. Tjelesna temperatura je mjera zagrijanosti organizma. Kada govorimo o tjelesnoj temperaturi, govorimo o unutarnjoj temperaturi, a uz nju razlikujemo još i površinsku i srednju tjelesnu temperaturu (Milošević 2016). Prema Wilmore i Costill (1994), tijelo dobiva toplinu kroz metaboličku i okolišnu toplinu, a gubi je procesima radijacije, kondukcije, konvekcije te evaporacije.

Kondukcija je prijenos topline s jednog tijela na drugo čije se sastavne molekule međusobno dodiruju. Primjerice, kada sjedimo na klupi koja je hladnija od naše kože, toplina se prenosi s nas na klupu sve dok se ne postigne ista temperature oba tijela.

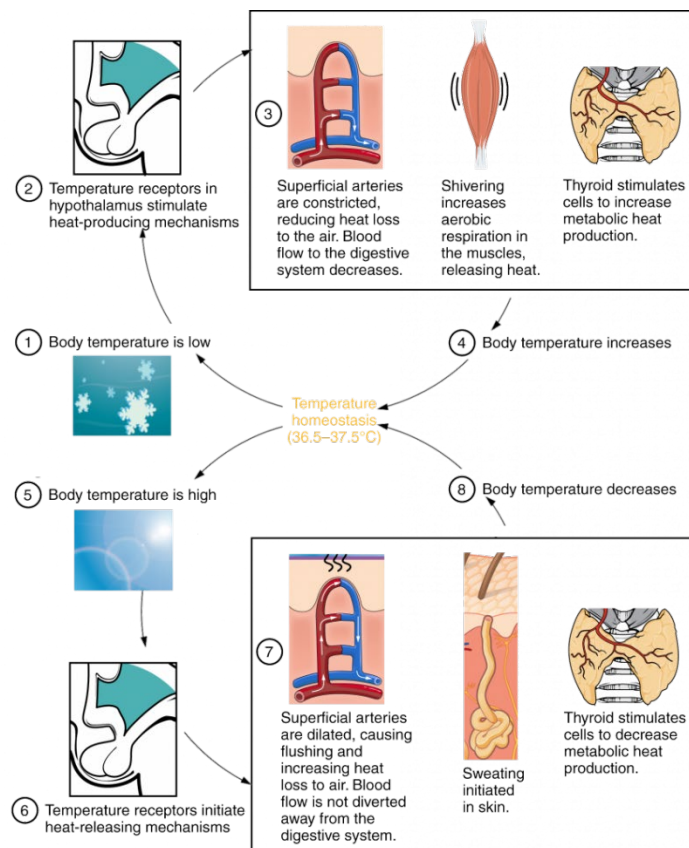
Konvekcija je prijenos topline s jednog mjesta na drugo zbog strujanja plina ili tekućine preko zagrijane površine. Gibanje zagrijanog zraka se naziva konvekcijsko gibanje te takvo gibanje uvijek postoji oko tijela zbog njegova emitiranja topline. "Kada se tijelo izloži vjetru, sloj zraka koji izravno prijanja uz kožu, zamjenjuje se novim zrakom znatno brže nego u normalnim uvjetima, stoga se gubitak topline putem konvekcije povećava. Kada vjetar ohladi kožu do temperature zraka, toplina se ne gubi u većoj mjeri, bez obzira na brzinu vjetra. Voda ima nekoliko tisuća puta veći toplinski kapacitet od zraka tako da svaki jedinični dio vode koji prijanja uz kožu može apsorbirati mnogo veću količinu topline nego zrak. Kondukcija (provođenje) topline kroz vodu je mnogo veće od kondukcije topline kroz zrak." (Milošević 2016).

Kada smo fizički aktivni, većinu topline gubimo evaporacijom, što nije slučaj kada mirujemo (Wilmore i Costill 1994). Voda neprimjetno evaporira kroz kožu i pluća te dnevno gubimo oko 600 ml vode na ovaj način (Milošević 2016). Kako se temperature tijela podiže, tako se sve više proizvodi znoj u žlijezdama. Kada znoj dođe na površinu kože, prelazi iz tekuće u plinovitu fazu zbog temperature kože (Wilmore i Costill 1994).

Prilikom ljetnih vrućina, evaporacija je svedena na minimum zbog zasićenosti okolnog zraka vlagom. Iz tog razloga, izlučeni znoj ostaje u tekućem stanju (Milošević 2016).

Prilikom mirovanja, tijelo gubi toplinu procesom radijacije. Tijelo prenosi toplinu na tijela koja se nalaze u prostoriji oko nas i na nama, a emitira se u obliku infracrvenog zračenja. Također, tijelo može primati toplinu radijacije tijela s višom temperaturom koje se nalaze oko nas, a najviše topline ovim putem primamo od Sunca (Wilmore i Costill 1994).

Homeostaza temperature tijela održana je preko termoreceptora koji obavještavaju hipotalamus o promjeni temperature unutar našeg tijela. Tada hipotalamus djeluje na mehanizme u našem tijelu kojima se tijelo grijeje ili hladi. Prema Wilmore i Costill (1994), u tijelu postoje dvije vrste receptora preko kojih dobivamo informaciju o promjeni tjelesne temperature, centralni i periferni receptori. Centralni su smješteni u hipotalamusu i prate promjene u cirkulaciji krvi, a periferni se nalaze na našoj koži i prate promjene temperature oko nas. Na Slici 1. su prikazani mehanizmi koje kontrolira hipotalamus, a preko kojih se naše tijelo grijeje ili hladi u slučaju promjene temperature unutar ili izvan organizma.



Slika 1. Homeostaza temperature tijela (Izvor:

<https://iastate.pressbooks.pub/curehumanphysiology/chapter/body-temperature-homeostasis/>)

## **4. Fiziološki odgovor tijela na vježbanje u raznim okolišnim uvjetima**

Kao što je ranije spomenuto, ideja vrhunskog sporta je pomicanje tjelesnih mogućnosti pojedinca do njegovih samih granica s ciljem postizanja idealne izvedbe u datom trenutku. To ne bi bilo moguće bez izlaganja stresu u okolišu koji je tijelu nepoznat. Vježbanje u ekstremnim uvjetima potiče naše tijelo na adaptaciju u stranom okolišu što rezultira kvalitetnijim performansom tokom sportskog natjecanja. Pošto nije riječ o uobičajenim uvjetima, tijelo je pod konstantim opterećenjem te izvedba treninga pri novim uvjetima mora biti provedena pod kontrolom i nadzorom stručnjaka. Kako pri ekstremnim uvjetima ne možemo izolirano pratiti razvoj samo onog tjelesnog sustava na kojeg želimo utjecati treningom, važno je proučiti i poznavati fiziološke učinke specifičnog okoliša na druge organske sustave u tijelu (Cheung 2010). Specifični okolišni uvjeti se također koriste kao sredstvo oporavka pri trenažnom procesu.

Prema Willmer i sur. (2005), fenomen adaptacije tijela na nove okolišne uvjete vezan je uz proteine. Proteini čine strukturne komponente procesa, kataliziraju i kontroliraju ga, prisutni su kao enzimi koji smanjuju energiju aktivacije procesa, te ga tako čine ekonomičnijim za tijelo. Struktura im može biti ugrožena kemijskim i fizičkim čimbenicima (Willmer i sur. 2015).

Razvojem sporta i razumijevanja funkcioniranja tijela u ekstremnim okolišima, ova vrsta treninga postala je sve bliža javnosti pa se danas njime bave ljudi iz rekreativnih, ali i medicinskih razloga. Razvojem tehnologije, postalo je lakše postići željene uvjete kroz specijalizirane prostorije pa se danas barokomore, krio saune i/ili prostori niske gravitacije koriste za trening i oporavak tijela.

Konačno, za optimalan prijenos okolišnog stresa na poboljšanje izvedbe u pravome životu, potreban je tim znanstvenika i radnika iz sfere medicinskih, prirodnih te tehnoloških znanosti, što govori o multidisciplinarnosti ovog područja (Cheung 2010).

### **4.1. Prilagodbe na ekstremne temperature**

Već smo ranije spominjali mehanizme regulacije temperature tijela i njegovu prilagodbu na vanjske i unutarnje promjene temperature. Razlika između najviše i najniže izmjerene temperature na Zemlji je gotovo 170 stupnjeva Celzijusa. Najniža temperatura izmjerena iznosi -89,2 stupnja, dok najviša temperatura doseže i do 80

stupnjeva u velikim pustinjama (Willmer i sur. 2005). Bez obzira na toliku temperaturnu razliku, životinjske organizme (npr. ptice) nalazimo na oba kraja temperaturnih ekstrema. Dakle, živi svijet je tokom svoje evolucije došao do raznih mehanizama regulacije fizioloških procesa. To se uglavnom odnosi na metabolizam proteina, pogotovo enzima, koji su svoju funkciju prilagodili. Promatrajući organizme poput ptica i njihovu rasprostranjenost, stručnjaci dolaze do zaključka o velikoj sposobnosti adaptacije organizma na promjenu okoliša, te je primjena nove vrste treninga rezultirala i poboljšanim izvedbama tokom treninga i natjecanja.

#### **4.1.1. Trening pri niskim temperaturama**

Većina ljudske populacije živi u prostorima gdje se izmjenjuju godišnja doba pa su tako i godišnje temperaturne razlike vrlo velike. To je posebno utjecalo na planiranje i programiranje u sportovima čiji je trening na otvorenom neizostavna komponenta. Tokom zime, vanjska temperatura je niža od temperature tijela pa je tijelo moralo razviti mehanizme očuvanja temperature tijela. U tijelu se tijekom vježbanja na hladnoći događa nekoliko procesa. Simpatički živčani sustav počinje lučiti i distribuirati noradrenalin po cijelom tijelu. Noradrenalin uzrokuje vazokonstrikciju, ubrzava rad srca te povećava srčanu kontraktilnost. Srce mora pumpati jače kako bi potisnulo krv kroz stisnute žile. Smanjene radijacija i kondukcija topline u okoliš su mehanizmi direktno povezani s opisanim promjenama kardiovaskularnog sustava. Vazokonstrikcija povećava trenje prilikom protoka krvi, što povećava krvni tlak. U arterijama ekstremiteta uočava se oslabljena amplituda srčanog pulsa (Haen Whitmer 2021). Što se tiče prilagodbe respiracijskog sustava, njegova uloga se najviše očituje u zagrijavanju hladnog zraka prilikom ulaska u dišni sustav. U njegovih prvih 5 centimetara, zrak se uspije zagrijati s -25 stupnjeva Celzijevih na 15 stupnjeva, što nam govori kako nije moguće oštećenje respiratornog trakta prilikom ubranog i dubokog disanja (Wilmore i Costill 1994). Hipotermija je posljedica ohlađivanja tijela zbog nemogućnosti da hipotalamus regulira njegovu temperature. To se događa kada temperature tijela padne ispod 34 stupnja Celzijevih. Blagi simptomi se rješavanju toplim napitcima i toplom i suhom odjećom, dok teži slučajevi hipotermije zahtijevaju hospitalizaciju i liječničku skrb.

#### **4.1.2. Trening pri visokim temperaturama**

Temperatura tijela se prirodno podiže dok kontinuiramo vježbamo u nekoj jedinici vremena. To se događa jer se 20% energije dobivene kontrakcijom mišića koristi za kontrakciju mišića, dok se ostalih 80% emitira u obliku tjelesne topline (Takeda i Okazaki 2018). „Vježbanje pri visokim temperaturama dovodi u kompeticiju aktivne mišiće i kožu zbog limitiranog dotoka kisika. Mišićima je potreban kisik iz krvi zbog održavanja aktivnosti, dok koža treba konstantan dotok krvi kako bi omogućila gubitak topline i pritom hladila tijelo.“ (Wilmore i Costill 1994). Prilikom izlaganja vrućinama, kardiovaskularni sustav podliježe brojnim prilagodbama jer su zahtjevi tjelovježbe i zahtjevi termoregulacije u konstantnoj kompeticiji. Krvne žile se šire kako bi koži donijele veću količinu krvi zbog prijenosa topline. U tom procesu sudjeluju i znojne žlijezde, koje svojim lučenjem znoja povećavaju evaporaciju na površini tijela, što isto tako rezultira potrebnim gubitkom topline. Ovakav način distribucije krvi po tijelu zahtjeva smanjenje vraćanja krvi u srce, što uzrokuje manjim udarnim volumenom. Manji udarni volumen kroz tjelovježbu uzrokuje povećanje u frekvenciji rada srca (Wilmore i Costill 1994). Kardiovaskularna izdržljivost prilikom vježbanja na visokim temperaturama se može povećati intenzivnijim aerobnim treninzima i treninzima izdržljivosti, a osobito radom na povećanju maksimalnog primitka kisika ( $VO_{2max}$ ) (Takeda i Okazaki 2018). Kvalitetna adaptacija na toplinu uključuje i neke genetski urođene čimbenike, kao što su niža temperatura mirovanja, veći volumen krvne plazme i povećano znojenje, a može se na nju djelovati i izlaganjima toplinskom stresu u različitim trajanjima i frekvencijama (Cheung 2010).

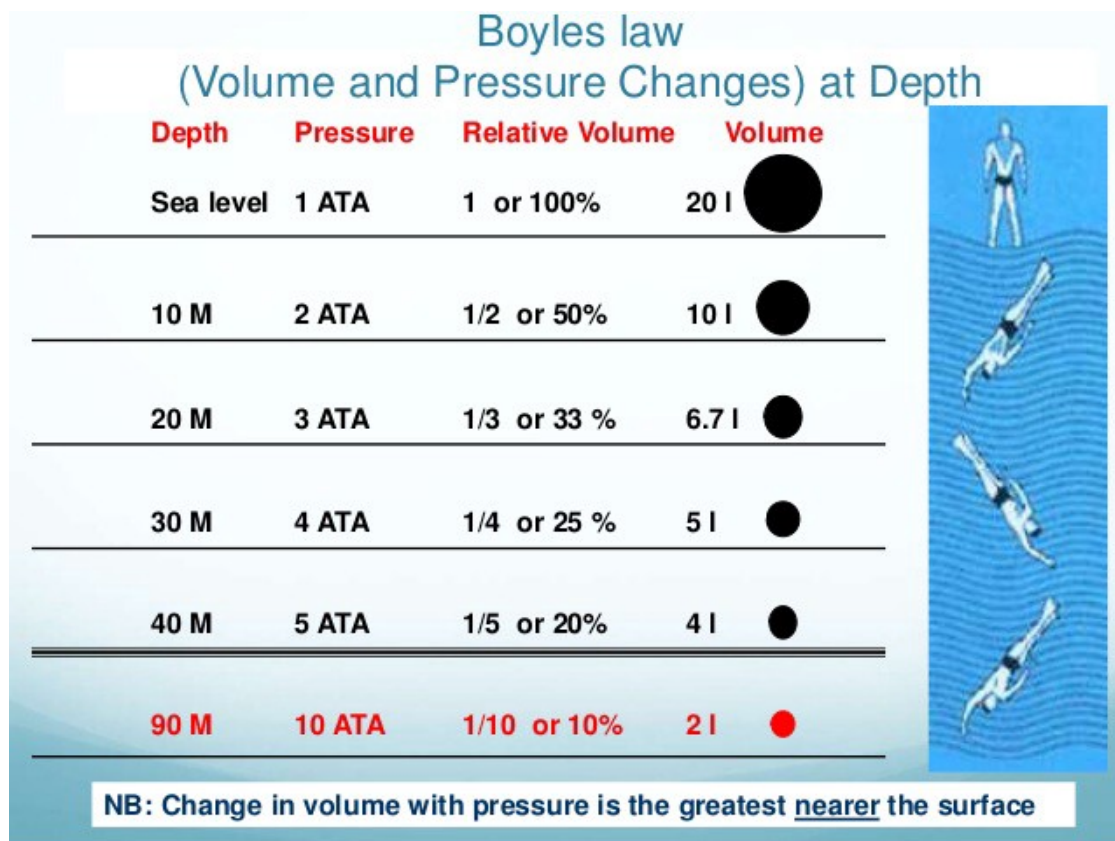
#### **4.2. Prilagodbe na promjene tlaka**

Pomicanje iznad ili ispod razine mora dovodi naše tijelo u okoliš promijenjenog tlaka. Tijelo je ponovno moralo razviti mehanizme kojima će reagirati na novonastale okolišne uvjete. U životinjskom svijetu ponovno nalazimo zanimljive primjere na uvjete ovakve prirode pa tako uočavamo smanjenje frekvencije srca za čak 90% prilikom ronjenja tuljana (Wilmore i Costill 1994). Ponovno nalazimo fantastične primjere u svijetu ptica gdje imamo pingvine koji mogu roniti na dubinama od 400 metara i provoditi čak do 20 minuta pod vodom (Penguin Record Breakers 2019). Ljudska znatiželja ponovno ide do krajnjih granica pa se tako sve više poseže za treningom na visini kao metodom razvoja fizioloških karakteristika do kojih je nemoguće doći

treningom na nizini. Dubinsko ronjenje sve je popularniji oblik rekreativnog sporta, no često se njegovi fiziološki učinci koriste i u medicinske svrhe.

#### 4.2.1. Trening pri hiperbaričnim uvjetima

Dubinsko ronjenje je specifičan sport upravo zbog visokog tlaka okoliša u kojem se odvija. Ranije smo spomenuli zakon termodinamike kojim objašnjavamo izmjenu topline između tijela i okoliša, a kod ronjenja je izuzetno važan Boyleov zakon. Volumen na koji se kompromira količina plina pri nekoj dubini obrnuto je proporcionalan tlaku (Guyton i Hall 2017). Na slici 2 je slikovno prikazan Boylesov zakon. Jasno su vidljivi su odnosi između dubine, volumena plina i pritiska prilikom ronjenja.



Slika 2. Boylesov zakon (Izvor: <https://medium.com/@DiveCompare/equalising-your-ears-a-beginners-guide-to-comfortable-descents-1c55cbe208df>)

Danas razlikujemo dvije vrste ronjenja, ronjenje na dah i ronjenje s bocom. Prije ronjenja na dah, ronionci često hiperventiliraju kako bi otklonili višak ugljikovog dioksida iz cirkulacije i tkiva. Ovo se radi kako bi se produžilo vrijeme prije potrebe tijela za udahom, zbog toga što je akumulacija ugljikova dioksida u arterijama je signal tijelu da mora udahnuti, tj. da mora doći do izmjene plinova. Tijekom zarona prsni koš se

stišće te se volumen zraka u njemu smanjuje, no nikada se ne može smanjiti ispod iznosa rezidualnog volumena. Rezidualni volumen je volumen zraka koji zaostaje u plućima nakon maksimalnog izdaha. Mogućnost organizma da zaroni dublje se gleda kroz omjer ukupnog volumena pluća i rezidualnog volumena (Wilmore i Costill 1994).

Ronjenje s bocom nosi opasnost od trovanja plinovima prisutnim u našem tijelu koji su podložni promjenama na dubini. To su dušik, ugljikov dioksid i kisik. Postoji više stupnjeva narkoze dušikom, a ovisi o dubini zarona pa tako možemo pratiti veselost pri dubini od 35 metara i potpunu nesposobnost na dubini od 75 metara. Mehanizam tzv. „dubinske opijenosti“ je otapanje plina u masnim tvarima živčanih membrana čime se mijenja ionska vodljivost i smanjuje neuronska podražljivost (Guyton i Hall 2017). Na visokom tlaku veliki dio ukupne količine kisika se nalazi otopljen u tekućoj fazi krvi uz onog koji je vezan uz hemoglobin. Kada se povisi alveolarni tlak kisika iznad kritične razine, hemoglobin više ne može djelovati kao pufer i održavati tkivni tlak kisika u normalnom rasponu. Tada dolazi do akutnog i kroničnog trovanja kisikom, a on može biti i toksičan za živčani sustav zbog pretjerane stanične oksidacije, stvaranja slobodnih oksidacijskih radikala i nemogućnosti tkiva za otklanjanje istih (Guyton i Hall 2017). Nakon svakog zarona vrlo je važno sporo izranjati kako bi se otklonila veća količina dušika koji se rasprostranio po svim tkivima organizma tijekom duljeg boravka pod visokim tlakom. Tako se smanjuje mogućnost razvitka „dekompresijske bolesti“.

#### **4.2.2. Trening pri hipobaričnim uvjetima**

Stanice su se morale aklimatizirati na visinu kod organizama koji borave na 5000 metara cijele godine. U stanicama tih organizama ima više mitohondrija i oksidacijskih enzima sustava nego kod organizama koji žive na morskoj razini. U tome su veliku ulogu imali hipoksijom inducirani faktori (*HIFs*) koji su transkripcijski čimbenici koji reagiraju na smanjenu količinu kisika i aktiviraju gene za kodiranje bjelančevina potrebnih za tkivnu opskrbu organizma (Guyton i Hall 2017).

Jedan od najvažnijih procesa aklimatizacije organizma na boravak na visini je povećanje plućne ventilacije u prvih par dana boravka. Povećanje plućne ventilacije prilikom naglog penjanja na velike visine uzrokuje smanjenje tlaka ugljikova dioksida u organizmu i povećanje pH tjelesnih tekućina. Ove promjene inhibiraju dišni centar u moždanom deblu. Uz ovaj receptor, postoje još i kemoreceptori u karotidnim i aortalnim tjelešcima koji stimuliraju disanje. Kroz par dana izloženosti hipoksiji,

ponovno se potiče respiracija jer se tjelesna tekućina oko dišnog centra odkiseljava, tj. snižava joj se pH (West i sur. 2007). Dakle, da sumiramo, u prvih par sekundi do 10-ak minuta postoji povećanje plućne ventilacije uzrokovane padom tlaka ugljikova dioksida; u idućih nekoliko minuta dolazi do normaliziranja ventilacije što je uzrokovano povišenjem tlaka ugljikova dioksida te ovaj fenomen nije u potpunosti objašnjen, no vjeruje se da je potpomognut velikim izdavanjem ugljikovog dioksida prilikom prvih par minuta povećane ventilacije; nakon pola sata boravka na visini te nadalje ponovno uočavamo povećanje plućne ventilacije zbog redukcije tlaka ugljikova dioksida.

Najbolje znani učinci treninga na visini su povećanje u broju eritrocita po jedinici volumena i povećanje u koncentraciji hemoglobina. To je posljedica smanjenja volumena krvne plazme i povećanja mase eritrocita. Smanjeni volumen krvne plazme je posljedica smanjene reapsorpcije natrija u bubrezima što je stimulirano neurološkim putem. Povećanje broja eritrocita je posljedica djelovanja eritropoetina koji stimulira koštanu srž na pojačanu produkciju crvenih krvnih stanica. Eritropoetin je pod djelovanjem hipoksijom induciranih faktora (*HIF*) koje smo ranije spominjali (West i sur. 2007).

Upravo zbog ovih prilagodbi uočavamo bolju tjelesnu izvedbu na visini. Najbolji primjer toga su Olimpijske igre iz 1968. godine održane u Mexico Cityju na visini od 2200 metara. Na njima smo svjedočili obaranju nekoliko atletskih svjetskih rekorada koji su stajali netaknuti gotovo 20 godina. Jedna od disciplina je bila skok u dalj koja je eksplozivne prirode te je visina definitivno potpomogla izvedbu atletičara.



## 5. Zaključak

Ljudsko tijelo je sustav koji ima mogućnost adaptacije na većinu okolišnih uvjeta. Razvilo je mehanizme koji su evolucijski pronašli odgovor na promjene temperature i tlaka. Sport i njegov razvoj je doveo mnoge mehanizme u pitanje, što je potaklo svijet znanosti na dublje proučavanje fizioloških procesa tokom vježbanja u uvjetima koji su tijelu strani. Vrhunski sport koristi razne okolišne uvjete za poboljšanje rezultata pojedinaca na treninzima i sportskim natjecanjima, dok rekreativni sport iste koristi u svrhu zabave i ispitivanja granica zaljubljenika u sport. U oba slučaja je razumijevanje okolišnih uvjeta i fiziološkog odgovora na njih potrebno za sigurno izvođenje trenažnih ili rekreativnih programa.

Razvojem tehnologije nam je omogućeno lakše praćenje promjene fizioloških parametara pod okolišnim stresom i njihova usporedba s podacima u „normalnim“ uvjetima. Obrada i analiza podataka, te na kraju njihova interpretacija i razumijevanje, nose ključnu ulogu u spajanju medicine i sporta, što je jedini put ka poboljšanju ljudske izvedbe i dovođenju organizma do krajnjih granica mogućnosti kroz sigurne i kontrolirane uvjete.

Bilo kako bilo, zaključujemo da je u sportskom razvitku vrhunskog sportaša i na rekreativnom putu sportskog zaljubljenika, potrebna temeljita interdisciplinarna znanstvena pozadina kako bi se omogućio željen napredak i kvalitetna izvedba svakog pojedinog treninga, ali i samog natjecateljskog performansa.

## 6. Literatura

Ahmed R. G. (2018): Diabetes and Its Complications. U: Takeda R., Okazaki K. (ur.): Body Temperature Regulation During Exercise and Hyperthermia in Diabetics. <https://www.intechopen.com/chapters/59169> (pristupljeno: 27.9.2022.)

Cheung S.S. (2010): Advanced environmental exercise physiology. Leeds: Human Kinetics. Str. 1-2; str. 28-29.

Guyton A.C., Hall J.E. (2017): Medicinska fiziologija. Zagreb: Medicinska naklada. Str. 561-564; str. 569-572; str. 1090-1094.

Haen Whitmer K.H. (2021): A Mixed Course-Based Research Approach to Human Physiology. Body Temperature Homeostasis: Cold Pressor Test. Ames, IA: Iowa State University Digital Press. <https://iastate.pressbooks.pub/curehumanphysiology/chapter/body-temperature-homeostasis/> (pristupljeno: 26.9.2022.)

Kido S., Yu W., Nakajima J., Tanaka T., Myasaka T., Shirogane S., Marouka H., Takanayagi K. (2017): Cardiorespiratory response during combined training with breathing resistance and sustained physical exertion: a pilot study. Phys Med Rehabil Res, Volume 2, str. 1-5.

Milošević A. (2016): Regulacija tjelesne topline i prvi zakon termodinamike. Matematičko-fizički list, LXVI 2 (2015. – 2016.), str. 111-115.

Penguin Record Breakers (2019): <https://www.penguinsinternational.org/tag/how-deep-do-penguins-dive/> (pristupljeno 26.9.2022.)

Smith D.L., Fernhall B. (2011): Advanced cardiovascular exercise physiology. Leeds: Human Kinetics. Str 12-13.

West J.B., Shoene R.B., Milledge J.S. (2007): High Altitude Medicine an Physiology. London: Hodder Arnold. Str. 52-53.

Willmer P., Stone G., Johnston I. (2005): Environmental Phisiology of Animals. Oxford: Blackwell Publishing. Str. 4-6; str. 17-20.

Wilmore J.H., Costill D.L. (1994): Phisiology of sport and exercise. Leeds: Human Kinetics. Str 94-96; str. 176-180; str. 217-227; str. 242-259.