

Fiziologija sporta

Cene, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:178:085654>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Veterinary Medicine -
Repository of PHD, master's thesis](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
VETERINARSKI FAKULTET

Ivona Cene

FIZIOLOGIJA SPORTA

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

Ovaj je rad izrađen na Zavodu za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju te na Zavodu za fiziologiju i radiobiologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Predstojnik zavoda za rendgenologiju, ultrazvučnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju:

prof. dr. sc. Damir Stanin

Predstojnik zavoda za fiziologiju i radiobiologiju:

prof. dr. sc. Suzana Milinković-Tur

Mentori:

1. Doc. dr. sc. Zoran Vrbanac
2. Doc. dr. sc. Ana Shek Vugrovečki

Članovi Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. Doc. dr. sc. Ivona Žura Žaja
2. Doc. dr. sc. Ana Shek Vugrovečki
3. Doc. dr. sc. Zoran Vrbanac
4. Prof. dr. sc. Damir Stanin (zamjena)

Zahvala

Prije svega zahvaljujem svojim mentorima, doc. dr. sc. Ani Shek Vugrovečki i doc. dr. sc. Zoranu Vrbancu, na njihovom strpljenju i susretljivosti te pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem svim svojim kolegama i kolegicama, a posebno kolegicama Dariji, Mateji i Ani. Hvala Vam na svim lijepim i nezaboravnim trenucima, podršci i prijateljstvu te što ste studiranje na Veterinarskom fakultetu pretvorili u jedno od najljepših životnih iskustava.

Najveće hvala mojoj obitelji i mom dečku Borni. Oni su mi pružili najveću podršku tijekom svih šest godina moga fakultetskog obrazovanja. Imali su strpljenja, motivirali su me i gurali prema naprijed, pogotovo na kraju, kada je i bilo najteže.

I na kraju htjela bih zahvaliti svim profesorima, docentima, asistentima i doktorima Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na svom prenesenom znanju i trudu te životnoj školi iz koje izlazim kao doktor veterinarske medicine.

POPIS PRILOGA

SLIKE:

1. SLIKA 1. Građa skeletnog mišića

TABLICE:

1. TABLICA 1. Količina stvorenog ATP-a i vrijeme rada potrebno da se potroši po sustavima
2. TABLICA 2. Energetski sustavi korišteni kod različitih sportova
3. TABLICA 3. Atletske varijable kod treniranih i ne-treniranih vrsta

KRATICE:

- AST- aspartat aminotransferaza
CK- kreatin kinaza
HR_{max}- maksimalan broj otkucaja srca
HSSC- high-intensity stretch-shortening cycles
IAD- upalna bolest dišnih puteva
IGF-1- inzulinu sličan faktor rasta 1
IMP –inozin monofosfat
LDH- laktat dehidrogenaza
LSSC- low-intensity stretch shortening cycles
MyHC- teški lanac miozina
ROM- range of motion
TCA- trikarboksilna kiselina
VO_{2max}- maksimalni unos kisika

SADRŽAJ RADA

1. UVOD.....	1
2. PREGLED DOSADAŠNJIH RADOVA.....	2
2.1. PRINCIPI FIZIOLOGIJE SPORTA.....	2
2.1.1. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA KOŠTANOG SUSTAVA.....	2
2.1.2. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA SKELETNIH MIŠIĆA.....	4
2.1.2.1. KONTRAKCIJA MIŠIĆA.....	5
2.1.2.2. SNAGA MIŠIĆA.....	7
2.1.2.3. IZDRŽLJIVOST MIŠIĆA.....	7
2.1.2.4. PODJELA MIŠIĆA U TIJELU PREMA BRZINI KONTRAKCIJE....	7
2.1.3. PROTOK KRVI KROZ MIŠIĆE PRI MIŠIĆNOM RADU.....	8
2.1.4. STVARANJE ENERGIJE ZA RAD.....	9
2.1.4.1. AEROBNO STVARANJE ENERGIJE.....	11
2.1.4.2. ANAEROBNO STVARANJE ENERGIJE.....	12
2.1.5. MAKSIMALNI PRIMITAK KISIKA(VO_{2max}) I KINETIKA KISIKA.....	13
2.2. ODGOVOR POJEDINIH ANATOMSKIH SUSTAVA NA VJEŽBU.....	14
2.2.1. UTJECAJ VJEŽBE NA MIŠIĆE.....	14
2.2.2. ODGOVOR KARDIOVASKULARNOG I RESPIRATORNOG SUSTAVA KAO POSLJEDICA TRENINGA.....	16
2.2.2.1. PULMONALNA RESPIRACIJA (DISANJE).....	16
2.2.2.2. POVEĆANJE VO_{2max}	17
2.2.2.3. KARDIOVASKULARNE PROMJENE.....	17
2.2.3. METABOLIČKE PROMJENE I OSTALE PROMJENE KAO POSLJEDICA TRENINGA.....	19
2.2.4. TJELESNA TEMPERATURA I VJEŽBANJE.....	22
2.3. OGRANIČAVAJUĆI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UČINAK VJEŽBANJA.....	22
2.4. ŽIVOTINJE SPORTAŠI.....	24
2.4.1. PSI KOJI VUKU SAONICE (<i>HUSKY</i>).....	25
2.4.2. HRTOVI ZA UTRKE.....	27
2.4.3. <i>AGILITY</i>	29
2.4.4. <i>FLYBALL</i>	29

2.4.5. SPORTSKI KONJI.....	29
2.5. SINDROM PRETRENIRANOSTI.....	32
2.6. ZAGRIJAVANJE I ISTEZANJE.....	33
2.7. TRENING I PREHRANA.....	35
3. RASPRAVA.....	37
4. ZAKLJUČCI.....	38
5. LITERATURA.....	39
6. SAŽETAK.....	46
7. SUMMARY.....	46
8. ŽIVOTOPIS.....	47

1. UVOD

Fiziologija je znanost koja objašnjava fizičke i kemijske činioce odgovorne za razvoj i održavanje života, dok nam fiziologija sporta govori o krajnjim tjelesnim mogućnostima tijekom napora (HALL, 2016.).

Sport, odnosno pojačana tjelesna aktivnost zahtjeva integraciju mnogih fizioloških mehanizama, kako bi se omogućilo respiratornom i kardiovaskularnom sustavu pružanje potpore povećanim metaboličkim zahtjevima organizma tijekom vježbanja (SAGHIV i SAGIV, 2020.).

Može se reći da je tjelesna aktivnost svojevrsan stres za cijeli organizam. Sposobnost odgovora cjelokupnog organizma na ovaj stres mjeri se fiziološkom zdravljom i kondicijom ispitanika. Praćenjem mnogih pokazatelja tijekom vježbanja mogu se procijeniti respiratorni i kardiovaskularni odgovori na postupna opterećenja te se na taj način definirati razina tjelesne radne sposobnosti kako bi se odredili ograničavajući čimbenici za povećane metaboličke potrebe tijekom vježbanja.

Znanstvena istraživanja vježbanja pomažu u definiranju učinaka treninga ili vježbe na fiziološki odgovor organizma u zdravlju, ali i u bolesti. Stoga se u humanoj, a i u veterinarskoj medicini u posljednje vrijeme sve više razvija grana fiziologije koja se bavi upravo proučavanjem tjelesnih funkcija vezanih uz odgovor i prilagodbu na tjelesnu aktivnost.

Fiziologija sporta možemo podijeliti u dva osnovna područja: ona koja se bavi sposobnostima zdravih jedinki – fiziologija sporta, najčešće u sportaša i ona koja se bavi rehabilitacijom – fizikalna terapija. Fiziologija sporta usmjerena je na postizanje čim boljih rezultata tijekom treninga, dok je fizikalna terapija usmjerena na oporavak od ozljede tkiva i povratak u ili čim bliže fiziološko stanje (SAGHIV i SAGIV, 2020).

U ovom preglednom radu, pregledom najrelevantnijih dosadašnjih radova, pokušat ću prikazati osnovne principe i značaj fiziologije sporta u veterinarskoj medicini.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH RADOVA

2.1. PRINCIPI FIZIOLOGIJE SPORTA

Osim respiratornog i kardiovaskularnog sustava koji su spomenuti u uvodu, fiziologija sporta proučava i lokomotorni sustav, koji se sastoji od kostiju, mišića i zglobova te energetske kapacitete (njihovu upotrebu i regeneraciju) i funkcionalne kapacitete, koji doprinose procjeni radne i funkcionalne sposobnosti.

Uloga koštanog sustava sisavaca je pružanje strukturalne potpore tijelu, a kosti povezane zglobovima, uz pomoć mišića i ligamenata služe za kretanje. Osim navedenog, kosti štite vitalne organe te su rezerva minerala u tijelu.

Glavna funkcija skeletnog mišićja je pružanje potpore tijelu tijekom mirovanja te pokretanje tijela, odnosno udova (RIVERO i PERCY, 2014.). Kako bi što bolje objasnili principe na kojima se temelji fiziologija sporta, potrebno je prvo dobro poznavati samu anatomiju i fiziologiju skeletnih mišića, kao glavne pokretače udova u samom radu, njihovu opskrbu energijom, njihovo jačanje te odgovor na pojačan napor i oporavak nakon rada. Fiziologija sporta proučava kakvu silu mišić može razviti, kakvu snagu postići i koliko dugo takva sila može djelovati pri određenom radu.

2.1.1. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA KOŠTANOG SUSTAVA

Osnovna jedinica koštanog sustava je kost. Kost spadaju u skupinu vezivnih tkiva, karakteriziranih velikom količinom ekstracelularnog matriksa i relativno malo stanica. Oblik i veličina svake kosti određena je genetskim i funkcionalnim čimbenicima, kako bi se osigurala odgovarajuća građa za funkcionalne potrebe, sa što manjom mogućnosti pogreške i sa što manjim utroškom energije. Koštano tkivo se može prilagođavati promjenama u mehaničkom opterećenju, kako bi se povećala energetska učinkovitost.

Kost se sastoji od oko 20% vode, a ostatak (80%) čini suha tvar: 65% anorganskih minerala (većinom hidroksiapatit, sastavljen većinom od kalcija i fosfora) i 35% organske tvari (uglavnom kolagen).

Stanice koštanog sustava koje izgrađuju kost su osteoblasti, osteoklasti koji je razgrađuju, osteociti zarobljeni unutar lakuna te pokrovne stanice koje detektiraju mehaničke i biološke signale.

Kosti dijelimo na duge kosti (npr. bedrena kost, nadlaktična kost), kratke kosti (npr. kosti pešća i kosti donožja) i ravne kosti (npr. lopatica, zdjelica). Duge kosti sastoje se od epifize, metafize i dijafize. Tvrdi dio kosti nazivamo kortikalni dio, odnosno kompaktni, dok unutarnji dio nazivamo medularna, trabekularna ili spongiozna kost u čijim je šupljinama smještena koštana srž.

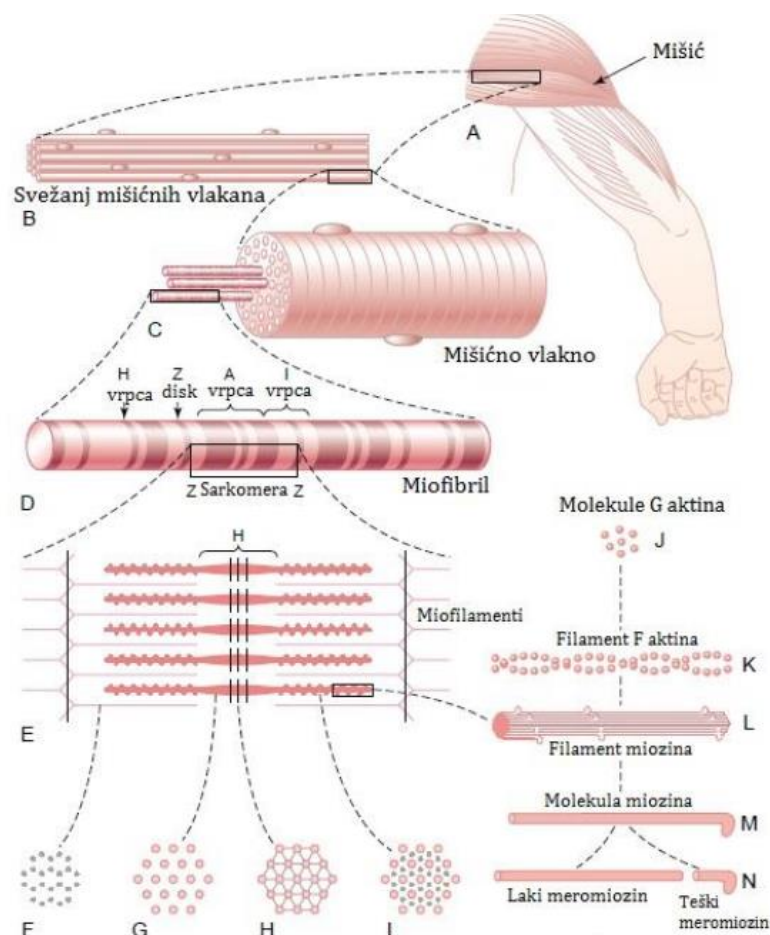
Funkcionalnu prilagodbu kostiju omogućuju odgovarajuće promjene građe kostiju zbog/tijekom novonastalih opterećenja. Biološki signali induciraju aktivnost koštanih stanica, reagirajući na promjenu oblika tkiva, kao posljedicu naprezanja mišića i djelovanja gravitacije. Ako naprezanje rezultira opterećenjem iznad praga mogućnosti, aktivirat će se populacija koštanih stanica, gradeći koštani matriks, kako bi se povećala masa kostiju te se smanjila mogućnost nastanka izobličenja kostiju. Ako dođe do smanjenja opterećenja, aktivirat će se sustavi resorpcije matriksa i doći će do smanjenja koštane mase. Prilagodba na opterećenje može biti izazvana cikličkim opterećenjima kratkog trajanja. Ukoliko se takva aktivnost prolongira ili se izvodi duže vrijeme i prebrzo, može dovesti do mikropukotina i prijeloma. Povećana aktivnost kod odraslih konja može prouzročiti zadebljanje trabekula subhondralnih kostiju, zadebljanje subhondralnih ploča, te zadebljanje kalcificiranih i hijalinih slojeva priležeće artikularne hrskavice. Istraživanje SINCLAIR-a i suradnika (2014.) pokazalo je, da je kod mladih engleskih punokrvnjaka u treningu, došlo do povećanja čvrstoće goljenične i palčane kosti, za razliku od netreniranih konja. Do povećanja čvrstoće je došlo zbog povećanja veličine kostiju, a ne zbog zadebljanja korteksa i povećanja gustoće minerala (SINCLAIR i sur., 2014.).

2.1.2. ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA SKELETNIH MIŠIĆA

Skeletni mišići se sastoje od snopova vlakana koje gradi velikog broja mišićnih vlaknaca (miofibrila), promjera od 10 do 80 mikrometara.

Sarkolema je stanična membrana mišićnog vlakna, koja se sastoji od plazmatske membrane te vanjskog sloja građenog od kolagenih vlaknaca. Vanjski sloj prelazi u vlakna tetive na krajevima mišićnih vlakana. Na krajevima mišićnih vlakana, vlakna tetive se skupljaju u snopove te grade tetivu, koja mišić pričvršćuje za kost.

Sarkomera je dio miofibrile koji se nalazi između dvije susjedne Z-ploče. H-pruge se rijetko vide, a nastaju kada se mišićno vlakno istegne preko fiziološke duljine, pritom se završeci aktinskih niti razdvoje, što se vidi kao svijetlo područje u A-pruzi. Mišićna vlakna okružuje sarkoplazma, koja sadrži mnogo kalija, magnezija, fosfata i enzimskih proteina (GUYTON, 1990.).



SLIKA 1. Građa skeletnog mišića (GUYTON i HALL, 2006.)

Slika 1. nam prikazuje građu skeletnog mišića. Vidimo da se svako mišićno vlakno sastoji od podjedinica, mišićnih vlakanaca ili miofibrila. Miofibrili se pak sastoje od 1500 debljih miozinskih i 3000 tanjih aktinskih niti koje se nalaze jedna pored druge. One su odgovorne za mišićnu kontrakciju, a sastoje se od svjetlijih I-pruga (sadrže samo aktinske niti) i tamnih A-pruga (sadrže miozinske niti i završetke aktinskih niti). Aktinske niti se pričvršćuju za Z-ploču, kojoj je uloga povezivanje susjednih miofibrila.

2.1.2.1. KONTRAKCIJA MIŠIĆA

Kontrakcija mišića odvija se preko mehanizma klizanja filamenata. Za vrijeme relaksacije sarkomere potpuno preklapaju miozinske niti, ali se oni sami jedva preklapaju. U kontrakciji, aktinske niti budu uvučene između miozinskih, te je sada preklapanje puno veće, a Z-ploče budu povučene sve do vrhova miozinskih niti (GUYTON, 1990.).

Kontrakcija mišića započinje dolaskom akcijskog potencijala, koji kreće iz središnjeg živčanog sustava, te putuje silazno preko alfa motoričkih neurona do vlastitih aksona i neuromuskularnog čvora. Tada acetilkolin aktivira nikotin acetilkolinske receptore, otvarajući natrij-kalijeve kanale i aktivirajući akcijski potencijal. Akcijski potencijal putuje T-kanalima depolarizirajući membranu mišića. Nadalje akcijski potencijal djeluje na sarkoplazmatski retikulum pri čemu se oslobađa velika količine kalcijevih iona u citoplazmu. Kalcijevi ioni se vežu za protein troponin, koji onemogućuje vezanje tropomiozinu, proteinu koji u stanju mirovanja prekriva aktivni dio aktina. Njegovo vezanje na aktivne dijelove aktina onemogućuje privlačenja između aktinskih i miozinskih filamenata te sprječava nastanak kontrakcije. Kako bi nastala reakcija, potrebno je cijepanje veze ATP-a i miozina. Odvojeni ATP osigurava energiju pri kontrakciji. ADP i fosfatni ion ostaju vezani za poprečni most. Kada se dio glave miozina poveže s aktivnim dijelom aktina, dolazi do promjena u građi i povlačenja aktinskog filameta – mehanizam klizanja filamenata. Nakon kontrakcije dolazi do otpuštanja ADP-a i fosfatnog iona s glave miozina, što omogućuje ponovno vezanje molekule ATP-a te samim time i odvajanje glave miozina od filameta aktina (MILLARD, 2014.).

Najmanja funkcionalan jedinica mišića je motorička jedinica koja se sastoji od α -motoričkog neurona i vlakana skeletnog mišića kojeg inervira. Kada je podraži motorički neuron, cijela se motorička jedinica kontrahira. Kontraktilna sila određenog mišića određena je brzinom podraživanja neurona. Snaga kontrakcije raste s učestalosti podraživanja sve do maksimuma, koji je definiran svojstvom mišića.

Do podraživanja mišićnih vlakana najčešće dolazi putem debelih mijeliniziranih živčanih vlakana na neuromuskularnoj vezi. U 98% slučajeva svako vlakno sadrži po jednu neuromuskularnu vezu koja se nalazi u sredini mišićnog vlakna, a sami potencijal se širi od središta prema van, a to omogućava sarkomerama da se sve kontrahiraju istovremeno, a ne jedna po jedna (GUYTON, 1990.).

Oni mišići koji brzo reagiraju i koji su precizno kontrolirani, u njih ide velik broj živčanih vlakana, a broj mišićnih vlakana u svakoj motoričkoj jedinici je malen. Mišići koji se sporije kontrahiraju i ne trebaju precizan stupanj kontrole, imaju veliki broj mišićnih vlakana u motoričkoj jedinici, a broj živčanih vlakana im je malen. Manje se motoričke jedinice lakše pobuđuju od velikih, jer ih inerviraju manja živčana vlakna, velike podražljivosti, iz ledne moždine (GUYTON, 1990.). U prosjeku tjelesni mišići imaju oko 150 vlakana po motoričkoj jedinici. Mišićna vlakna susjednih motoričkih jedinica se isprepliću, tako da kontrakcija jedne motoričke jedinice, pomaže kontrakciju druge. Ako dođe do gubitka nekih živčanih vlakana potrebnih za inervaciju mišića, dolazi do razgranavanja preostalih živčanih vlakana i preuzimanja inervacije paraliziranih mišićnih vlakana. Takvu jedinicu nazivamo makromotoričkom jedinicom, a one mogu imati i do pet puta više mišićnih vlakana nego obična jedinica

Mišićni trzaj je pojedinačna kontrakcija mišićnog vlakna i odvija se u tri faze. Prva faza (faza latencije) je vrijeme koje protekne od djelovanja podražaja do vidljive kontrakcije. Druga faza je faza kontrakcije, pri čemu se mišić skraćuje, a zadnja faza je faza relaksacije, pri kojoj se mišić vraća u početno stanje i duljinu. Sumacija mišićne kontrakcije je zbroj pojedinih mišićnih trzaja, kako bi se povećao intenzitet ukupne mišićne kontrakcije. Ona nastaje povećanjem broja motoričkih jedinica koje se istodobno kontrahiraju ili povećanjem učestalosti kojom se pojedine motoričke jedinice kontrahiraju (GUYTON, 1990.).

2.1.2.2. SNAGA MIŠIĆA

Snaga mišića je iznos ukupnog rada mišića u određenom vremenu. Ona se mjeri u kilogram metrima (kg-m) te je određena silom mišićne kontrakcije te brzinom i brojem kontrakcija u minuti. Snaga je u prvih 10 sekundi najveća te s vremenom opada, za pola sata padne i na jednu četvrtinu od početne snage, što ne znači da je učinak veći u početnoj fazi jer je djelotvornost pretvorbe snage kontrakcije u mišićni rad manja tijekom brzog djelovanja nego kod sporijeg, dugotrajnog djelovanja (HALL, 2016.).

2.1.2.3. IZDRŽLJIVOST MIŠIĆA

Izdržljivost mišića je vrijeme u kojem mišić može neprekidno raditi jednakim radom dok ne dođe do iscrpljenosti. Ovisi o opskrbljenosti mišića hranom, najviše glikogenom prije rada. Stoga osoba koja se hrani ugljikohidratima, pohranjuje najviše glikogena u mišiće te ima najveću izdržljivost (240 minuta), osoba koja se hrani mješovito i do pola manju izdržljivost (120 minuta), a osoba koja se hrani mastima ima i za dvije trećine manju izdržljivost (85 minuta) (HALL, 2016.).

2.1.2.4. PODJELA MIŠIĆA U TIJELU PREMA BRZINI KONTRAKCIJE

Mišiće u tijelu dijelimo na mišiće koji se sporo kontrahiraju i mišiće koji se brzo kontrahiraju. Svaki se mišić sastoji od mješavine mišićnih vlakana, brzih i sporih vlakana, te treće vrste vlakana građiranih između ove dvije vrste. Tako su mišići koji se brzo kontrahiraju većinom sastavljeni od brzih vlakana te su njihove kontrakcije snažne, prilagođene aktivnostima kao što su skakanje i brzo trčanje i ti se mišići najčešće nazivaju bijeli mišići, uslijed nedostatka mišićnog pigmenta mioglobina. S druge strane, mišići građeni od sporih vlakana, sporo se kontrahiraju te su prilagođeni dugotrajnoj, kontinuiranoj mišićnoj aktivnosti. Takvi se mišići nazivaju crvenima, zbog većeg sadržaja mioglobina. Brza su vlakna velika pa se jače kontrahiraju, imaju obilat sarkoplazmatski retikulum, koji otpušta ione kalcija i pobuđuje kontrakciju. Sadrže veliku količinu glikolitičkih enzima, kako bi se brzo stvorila energija iz procesa glikolize, slabije su opskrbljeni krvlju, te imaju manje mitohondrija jer su oksidativni procesi sporednog značenja. Spora vlakna s druge strane su malena i inerviraju ih manja živčana vlakna, opskrba krvlju je obilatija i znatno je povećan

broj mitohondrija zbog održavanja oksidativnih procesa, te su bogata mioglobinom (GUYTON, 1990.). Kod pasa je specifično da i brza vlakna imaju određene oksidativne sposobnosti, zajedno sa sporim vlaknima. Dokaz tomu je nedostatak čistih glikolitičkih mišićnih vlakana u skeletnim mišićima trupa i udova pasa. Glavnih tipova vlakana koja se pojavljuju kod psa su tri čista vlakna (I, IIA, IIX) i dva hibridna vlakna (I+IIA), (MILLARD, 2014.).

2.1.3. PROTOK KRVI KROZ MIŠIĆE PRI MIŠIĆNOM RADU

Protok krvi kroz mišiće tijekom fizičkog rada može porasti višestruko, više nego u bilo kojem drugom tkivu u tijelu. Tome je tako jer je mišićna masa organizma velika. Protok krvi kroz skeletne mišiće za vrijeme mirovanja iznosi 3-4 ml/min na 100 grama mišića. Međutim prilikom velike mišićne aktivnosti, protok krvi može porasti za 15-25 puta, odnosno na 50-80 ml/min na 100 grama mišića. U mladog odraslog čovjeka, ukupan protok krvi kroz mišiće može porasti s 1 litre po minuti na čak 20 litara u minuti, zbog toga i minutni volumen srca može porasti i pet puta od normalne vrijednosti, a u dobro treniranog sportaša i do sedam puta. Protok krvi u mišićima se povećava i smanjuje sa svakom kontrakcijom.

S kontrakcijom se protok krvi smanjuje, dok se povećava u fazi između kontrakcija. Još nekoliko sekundi nakon ritmičnih kontrakcija protok krvi ostaje velik, ali nakon nekoliko minuta pada na normalnu vrijednost. U mirovanju u mišićima otvoreno je samo do 25% kapilara, dok se u toku napornog mišićnog rada otvaraju sve kapilare, čime se i povećava prokrvljenost mišića te samim time olakšava opskrba kisikom i prehranbenim tvarima.

Kako bi krvožilni sustav mogao osigurati ogroman protok krvi u mišićnom radu, moraju se dogoditi tri promjene: masovno odašiljanje impulsa simpatičkim živcima posvuda u organizmu, povećanje minutnog volumena srca i porast arterijskog tlaka.

Mozak odašilje signale, kako bi došlo do mišićnih kontrakcija. Također se u isto vrijeme odašilju signali iz viših centara mozga u vazomotorički centar te time dolazi do masovnog odašiljanja simpatičkih impulsa. Istovremeno se smanjuje broj parasimpatičkih impulsa za srce. To dovodi do povećane frekvencije rada srca i udarnog volumena. Sve žile u perifernoj cirkulaciji su sužene (žila koronarnog i cerebralnog spleta nisu sužene zbog slabe vazokonstriktorske inervacije), osim žila u aktivnim mišićima koje su proširene zbog lokalnog vazodilatacijskog djelovanja u mišićima. Time se protok krvi u mišićima može povećati čak

za dvije litre dodatne krvi. Smatra se da simpatičke živce stimulira mišićni refleks, koji za vrijeme mišićne kontrakcije šalje refleksni signal putem leđne moždine u vazomotorni centar (GUYTON, 1990.).

Minutni volumen srca se povećava za vrijeme mišićnog rada zbog opsežne lokalne vazodilatacije. Zbog aktivnosti mišića dolazi do povećanog vraćanja venske krvi u srce, a srce tu krv pumpa i vraća arterijama u mišiće. Simpatikus steže i vene, također povećavajući minutni volumen srca te se sistemski tlak putem ovog podražaja može povisiti i do četiri puta. Srce povećava svoj minutni volumen Frank-Starlingovim mehanizmom. U srcu je povećan venski priljev, klijetke se jače dilatiraju, a miokard se snažnije kontrahira te se tako srčanom kontrakcijom izbaci veća količina krvi. Srce je također podraženo simpatikusom, a parasimpatička inhibicija je smanjena ili je nema. Rezultat je porast frekvencije rada srca i dvostruko veća snaga kontrakcije.

Do porasta arterijskog tlaka dolazi zbog masovnog simpatičkog podražaja koji uzrokuje vazokonstrikciju u gotovo svim tkivima osim u mišićima, te samim time dolazi i do povišenja arterijskog tlaka. Taj porast može iznositi od 2,7 kPa do 10,7 kPa, a ovisi o uvjetima u kojima se obavlja mišićni rad (GUYTON, 1990.).

2.1.4. STVARANJE ENERGIJE ZA RAD

Za mišićni rad je potrebna energija koja se dobiva pretvaranjem adenzin trifosfata (ATP-a) u adenzin difosfat (ADP) i adenzin monofosfat (AMP). Količina ATP-a prisutnog u mišiću dovoljna je za djelovanje od oko tri sekunde, zato je neophodno da se ATP-a neprekidno stvara. Tri metabolička sustava opskrbljuju mišiće s energijom: sustav fosfokreatin-kreatin, sustav glikogen-mliječna kiselina i aerobni sustav.

U sustavu fosfokreatin-kreatin (kreatin fosfat) dolazi do raspadanja fosfokreatina na kreatin i fosfatni ion i dolazi do oslobađanja velike količine energije. Ovaj izvor energije je dostupan gotovo odmah za mišićnu kontrakciju. Količina ATP-a i fosfokreatina dostupnih u mišiću naziva se fosfageni energetska sustav. Fosfageni energetska sustav dovoljan je za deset sekundi maksimalnog mišićnog rada.

Glikogen je molekula koja služi kao rezervna energija u mišićima i može se pretvoriti u glukozu. Glukoza se dalje, uz prisustvo kisika, glikolizom raspada na dvije molekule piruvata i 4 molekule ATP-a. Piruvat dalje uz prisustvo kisika, ulazi u TCA ciklus u kojem će se stvoriti još energije. Ako nema dovoljno kisika, piruvat će se pretvoriti u mliječnu kiselinu, koja ulazi u intersticijsku tekućinu i krvotok. Zanimljivo za glikogen-mliječna kiselina sustav je da može stvoriti molekule ATP-a, dva i pol puta brže, nego što se stvori oksidativnim putem, stoga i služi kao brzi izvor energije za mišić, ali je samo u pola brži od fosfagenog sustava.

Aerobni sustav se odvija u mitohondriju. On iz glukoze, nižih masnih kiselina i aminokiselina stvara velike količine energije, ugljikov dioksid, vodu i ureu. U **tablici 1.** je prikazana količina energije (ATP) u molima po minuti koja se stvori u određenom sustavu i koliko mu je trajanje pri radu mišića, dok je u **tablici 2.** prikazano koji se sustavi koriste kao izvor energija za određene sportove (HALL, 2016.).

SUSTAV	ATP (mol/minuti)	Vrijeme rada
Fosfageni sustav	4	8-10 sekundi
Sustav glikogen-mliječna kiselina	2.5	1.3-1.6 minuta
Aerobni sustav	1	Neograničeno (dok ima nutrijenata)

Tablica 1. Količina stvorenog ATP-a i vrijeme rada potrebno da se potroši po sustavima (HALL, 2016.)

SUSTAV	SPORT
Fosfageni sustav	Trčanje na 100 metara, skakanje, dizanje utega, ronjenje
Fosfageni i sustav glikogen-mliječna kiselina	Trčanje na 200 metara, košarka, tenis, nogomet, plivanje na 100 metara
Glikogen-mliječna kiselina i aerobni sustav	Trčanje na 800 metara, plivanje 200 metara, 1500 metara rolanja, 1500 metara trčanja, boksanje
Aerobni sustav	10000 metara rolanja, maraton, rekreativno trčanje

Tablica 2. Energetski sustavi korišteni kod različitih sportova (HALL, 2016.)

Kod životinja je zbog vrsnih razlika i same namjene životinje, bitno odrediti koji metabolizam stvaranja energije koristi, kako bi se mogao prilagoditi program treninga. Ako životinje u prirodi za određenu vježbu koriste aerobne putove, trening bi trebao biti fokusiran na aerobno stvaranje energije, dok za vježbe u prirodi, kao što je snaga i ubrzanje životinje, koriste anaerobne putove, trening bi se ipak trebao bazirati na aerobnim vježbama. Vukovi i psi su predatori koji love u čoporima te se oslanjaju na aerobne izvore energije. Za usporedbu s čovjekom, koji na primjer, za sprint koristi anaerobne putove, konji za istu aktivnost koriste aerobne putove. Konji trče u galopu kako bi pobjegli od predatora i upravo se zato moraju pouzdati u aerobne putove kao održive izvore energije (McGOWAN i HAMPSON, 2016.). Tako, na primjer arapski konji, tijekom utrka izdržljivosti, 96% energije koriste iz aerobnih izvora (EATON, 1994.).

2.1.4.1. AEROBNO STVARANJE ENERGIJE

ATP aerobno nastaje nizom reakcija u mitohondriju. Reakcija nastajanja ATP-a naziva se oksidativna fosforilacija, jer je za nju potreban upravo kisik kako bi se ADP fosforilirao u ATP. Kao izvor energije koristi se mišićni glikogen ili glukoza u krvi, iz kojih se glikolizom stvara piruvat u staničnoj citoplazmi. Piruvat se zatim transportira u mitohondrij, gdje se pretvara u acetil koenzim A te on ulazi u ciklus trikarboksilnih kiselina (TCA).

U TCA ciklusu uz ATP nastaju koenzimi nikotinamid adenin dinukleotid (NADH) i flavin adenin dinukleotid (FADH₂) koji ulaze u lanac transporta elektrona. Aerobnim putem iz glikogena nastaje ukupno 39 molekula ATP-a: tri iz glikolize, dva iz TCA ciklusa i 34 iz lanca transporta elektrona. Ako se kao izvor koristila glukoza, jedan ATP će biti utrošen na nastanak glukoza-6-fosfata, a ukupno će na kraju biti 38 molekula ATP-a.

Masne kiseline također se mogu koristiti kao izvor za oksidativnu fosforilaciju, ali prvo podliježu procesu β-oksidacije masti, pri kojoj nastaje acetil koenzim A, koji ulazi u TCA ciklus. Masne kiseline su građene od puno atoma ugljika pa od njih i može nastati puno energije, npr. od palmitinske kiseline može nastati ukupno 129 molekula ATP-a (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

2.1.4.2. ANAEROBNO STVARANJE ENERGIJE

Anaerobno stvaranje energije zasniva se na metabolizmu pohranjenog mišićnog glikogena ili glukoze od kojih glikolizom nastaje piruvat, koji ostaje u citoplazmi i pretvara se u laktat. ATP-a nastalih anaerobnom glikolizom je relativno malo. Ako je supstrat glikogen, nastanu tri molekule ATP-a, dok iz glukoze u krvi nastane svega dvije molekule ATP-a (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Osim anaerobnom glikolizom, ATP može nastati i pod utjecajem enzima kreatin kinaze, adenilat kinaze i AMP-deaminaze koji pospešuju visokoenergetski transfer fosfata na tri načina:

1. $ADP + \text{fosfokreatin} \rightarrow ATP + \text{kreatin}$
2. $ADP + ADP \rightarrow ATP + AMP$
3. $AMP + H_2O \rightarrow IMP + NH_3$

Navedeni enzimi smanjuju koncentraciju staničnog fosfokreatina i ADP-a, dok povećavaju koncentraciju AMP-a i IMP-a. Ove reakcije se odvijaju u mišiću pri maksimalnoj brzini, ali osiguravaju malu količinu energije dostupnu samo nekoliko sekundi. Nusprodukti ove reakcije su amonijak, urična kiselina i alantoin (RIVERO i PIERCY 2014.).

2.1.5. MAKSIMALNI PRIMITAK KISIKA (VO_{2max}) I KINETIKA KISIKA

Maksimalni primitak kisika je ključan u vježbanju za stvaranje energije. Njime možemo odrediti intenzitet vježbanja mjerenjem kisika i ugljikovog dioksida u izdahnutom zraku. Kada se mjeri u vježbi s postupnim pojačanjem intenziteta, unos kisika linearno raste s pojačanjem vježbe dok ne dostigne plato - VO_{2max} , koji određuje maksimalnu aerobnu stopu metabolizma. Maksimalan primitak kisika mjeren je često kod konja i pasa i usko je povezan s izdržljivošću i izvedbenom sposobnošću te se često koristi kao indikator vježbi visokog intenziteta. Međutim 100% VO_{2max} ne označava 100% učinak, nego samo granicu aerobnih puteva stvaranja energije. Kada se granica prekorači, organizam prelazi na anaerobne puteve stvaranja energije (McGOWAN i HAMPSON, 2016.). U konja je mali udio anaerobnih puteva jer konji ne mogu postići brzinu veću ekvivalentu 120% VO_{2max} , što podrazumijeva veliku sposobnost korištenja energije iz aerobnih puteva (EATON, 1995.).

Životinje koje imaju brzu kinetiku kisika, imaju bolju izvedbu, jer imaju brži porast energije stvorene aerobnim putem, manji nedostatak kisika i akumulaciju laktata u mišićima na početku intenzivnog treninga. Konji u kondiciji imaju jako brzu kinetiku kisika, tako da VO_{2max} mogu dostići već za 20 sekundi, dok će sportašu biti potrebno i do dvije minute pod istim opterećenjem. 63% VO_{2max} konj će postići za 10 sekundi, pas za 20, dok će sportašu trebati i do 30 sekundi (POOLE i sur., 2004.).

Kod konja se pokazalo da se kinetika kisika poboljšava s treningom (BELLENGER i sur., 1995.). Sama kinetika kisika može se poboljšati i zagrijavanjem prije treninga (GEOR i sur. 2000.). Fiziološka prilagodba tijekom zagrijavanja uključuje odgovor kardiovaskularnog i respiratornog sustava, kako bi se osigurala dovoljna opskrbljenost kisikom mišića koji rade. Pri zagrijavanju temperatura samog mišića poraste za 1°C. Takav mišić se jače kontrahira, njegova vlakna su popustljivija, što smanjuje rizik od ozljeda, kao što je puknuće vlakana mišića (SHELLOCK i PRENTICE, 1985.).

2.2. ODGOVOR POJEDINIH ANATOMSKIH SUSTAVA NA VJEŽBU

Treningom odnosno vježbom, poboljšava se cjelokupni transport kisika u tijelu, što se očituje poboljšanjem VO_{2max} i udjela aerobnog metabolizma. Ne događaju se samo promjene na kardiovaskularnom sustavu. Do promjena dolazi i u nastajanju anaerobne energije, kapacitetu puferiranja mišića i koncentracijama mišićnog glikogena, osobito kod konja (McGOWEN i sur., 2002.). Osim u stvaranju energije, dolazi i do promjena u veličini mišića (TYLER i sur., 1998.). Pojačava se i snaga mišića, prilagođava se i sama kost, hrskavica, tetiva, ligamenti i drugo vezivno tkivo (MARLIN I NANKERVIS, 2002.). Pokazalo se, da se s treningom, poboljšala i izvedba, odgovor motoričkih puteva i brzina odgovora motoričkih jedinica, za sport specifična propriocepcija i taktilni povratni mehanizmi (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

2.2.1. UTJECAJ VJEŽBE NA MIŠIĆE

Utjecaj vježbe na mišiće ovisit će o samoj prirodi treninga (trajanju, tipu, jačini, frekvenciji treninga). Prilagodba mišića na trening se javlja u dva oblika. U obliku hipertrofije, kada se poveća veličina mišićnih vlakana, ali se zadržava bazalna struktura ili u obliku remodelacije, bez mišićne hipertrofije, kada se mišićna vlakna ne povećavaju, ali im se mijenja struktura i enzimatska aktivnost, najčešće s promjenama u mikrovaskularnom sustavu. Također može doći i do promjena u mišićima kao mješavina hipertrofije i rekombinacije. Bazalni profil mišića prije treninga određuje do kojeg će modela promjene doći. Brzo kontrahirajuća vlakna pokazuju bolji odgovor na trening, u odnosu na sporo kontrahirajuća vlakna, pa se i mišići koji sadrže više takvih vlakana bolje prilagođavaju treningu (RIVERO I PIERCY, 2014.).

Do hipertrofije mišića dolazi kada se izvode kratke izometričke vježbe, odnosno lagana i prolongirana hiperekstenzija. Te će radnje dovest do hipertrofije mišićnih vlakana, povećane sinteze mišićnih proteina te će se povećati tvrdoća i dužina mišića. Do remodelacije dovode toničke i prolongirane vježbe te ponavljajuće aktivnosti i treninzi izdržljivosti. Kod remodelacije dolazi do unutarstanične reorganizacije, promjena u ekspresiji metaboličkih proteina, povećanja mitohondrija i kapilara te do promjena u ekspresiji kontraktilnih proteina (RIVERO I PIERCY, 2014.).

Kod pasa treningom dolazi do povećanja snage mišića povezane s mišićnom hipertrofijom. Tip II vlakna mišića može razviti veću snagu po površini presjeka pri većoj brzini, nego tip I vlakana, a trening snage dovodi do povećanja veličine tip II vlakana. Trening visokog otpora dovodi do povećanja kontraktilnih proteina u tipu II vlakana, a samim time i do povećanja presjeka vlakana i snage mišića (MILLARD, 2014.).

Osim promjena u samoj veličini vlakana, dolazi i do tranzicije mišićnih vlakana. Trening jako utječe na distribuciju vrste mišićnih vlakana i kompoziciju teškog lanca miozina (MyHC). Trening snage u konja rezultira u povećanom omjeru vlakana IIA:IIX (RIVERO, 2007.), a ako je trening dovoljno dug i omjeru vlakana tip I:tip II (SERRANO I RIVERO, 2000.). Slično i trening sprinta kod konja rezultira povećanim vlakana tip IIA i smanjenom broju vlaka tipa IIX s odgovarajućim promjenama na MyHC (RIVERO i sur., 2007.). U ponija je istraživano nošenje tereta, kao trening za povećanje snage. Rezultat treninga je bio povećanje snage mišića, veličine mišića i povećanje površine presjeka tip II vlakana, bez paralelne promjene kompozicije MyHC (HECK i sur., 1996.). Šest mjeseci konvencionalnog treninga konja preponaša dovelo je do selektivne hipertrofije tip II vlakana, s minimalnim promjenama u fenotipu mišićnih vlakana (RIVERO, 2007.).

Istraživanje PUUSTJARVI i sur. (1994.) je pokazalo da kod biglova, koji su trenirali na traci za trčanje, nakon 55 tjedana treninga po pet puta tjedno, došlo do povećanja broja vlakana tipa I u prsnim spinalnim mišićima te u tricepsu. S druge strane, kod pasa lisičara, nakon 12 tjedana treninga izdržljivosti, nije došlo do promjene tipa vlakana, gustoće kapilara, omjera kapilara i vlakana, te aktivnosti sukcinat dehidrogenaze (PARSONS i sur., 1985.). To nam govori da je mikrocirkulacija i aerobni kapacitet kod netreniranih lisičara, predodređena za zahtjeve, kao što je trening izdržljivosti, za razliku od ljudi u čijim se mišićima događaju sve navedene promjene (MILLARD, 2014.).

Promjene na mišićima koje su posljedica treninga događaju se sporo, ali isto tako te promjene sporo i nestaju. Istraživanje na konjima je pokazalo kako je potrebno 16 tjedana da bi se uočile promjene na mišićima, a njihov nestanak kao posljedica netreniranja nastaju za do 12 tjedana (SERRANO i dr., 2000). Najviše se adaptacija u mišićima vezanih uz aerobno opskrbljivanje mišića energijom odvija putem oksidativnih sustava. Te promjene uključuju povećanje broja kapilara po mm^2 , smanjenje difuzijskog indeksa, raste omjer vlakana IIA u

odnosu na IIB bez značajnijih promjena u tipu vlakana. Također dolazi do povećanja volumena mitohondrija, povećanja aktivnosti enzima povezanih s aerobnim metabolizmom mišića: citrat sinteze iz TCA ciklusa i hidroksi-acil dehidrogenaze iz beta-oksidacije masti, no bez povećanja aktivnosti enzima povezanih sa anaerobnom glikolizom (TYLER i sur., 1998.).

2.2.2. ODGOVOR KARDIOVASKULARNOG I RESPIRATORNOG SUSTAVA KAO POSLJEDICA TRENINGA

2.2.2.1. PULMONALNA RESPIRACIJA (DISANJE)

Pulmonalna respiracija odnosi se na ventilaciju zraka u i van pluća te razmjenu plinova između udahnutog i izdahnutog zraka i tkiva pluća. Dok se ventilacija odnosi na mehaničku izmjenu zraka iz i u pluća, difuzija je proces pri kojem molekule plina prelaze ili iz zraka u krv ili iz krvi u zrak. Kisik iz zraka ulazi u krv i tkiva, a oslobođeni ugljikov dioksid (CO_2) prelazi iz krvi u zrak i izdisajem bude oslobođen u okolinu. Time dišni sustav ima važnu ulogu u održavanju acido-bazne ravnoteže i termoregulacije, pri odmoru i treningu. Ulazak zraka u pluća omogućen je smanjenim intrapulmonalnim tlakom ispod atmosferskog, a izdisaj nastaje kada taj isti tlak poraste iznad atmosferskog. Zbog samog elasticiteta plućnog tkiva i prsne šupljine, izdisaj je pasivna radnja u mirovanju. Pri vježbanju izdisaj može djelomično biti i aktivna radnja, zbog kontrakcija abdominalnog zida.

Do povećane ventilacije prilikom vježbanja dolazi zbog veće potražnje stanica za kisikom, ali i zbog povećane potrebe tijela da se riješi nastalog ugljikovog dioksida. Centar za kontrolu disanja smješten je u *medulli oblongati*, a podražaj može nastati iz humoralnih i neuralnih izvora. Kemoreceptori u respiratornim mišićima mogu reagirati na H^+ ione i na količine kalija. Centralni kemoreceptori reagiraju na porast PCO_2 i na pad pH. Periferni kemoreceptori reagiraju na porast PCO_2 ili na pad PO_2 ili pH (MILLARD, 2014.).

2.2.2.2. POVEĆANJE VO_{2max}

Od najvažnijih promjena u respiratornom sustavu je povećanje VO_{2max} . Do povećanja VO_{2max} za 30% u netreniranih konja dolazi nakon 28 tjedana treninga, a slično povećanje dokazano je i u ljudi. Najbrži rast VO_{2max} je u prvih sedam tjedana treniranja te u tom periodu dostiže polovicu ukupnog rasta, a kontinuirani trening dovesti će do kontinuiranog rasta VO_{2max} (TYLER i sur., 1996.). Kod pasa lisičara promijene VO_{2max} su slične onima u ljudi. Pri treninzima izdržljivosti, lisičari su pokazali predvidiv porast VO_{2max} , povezan s povećanim minutnim volumenom srca, dok se samo povećanje minutnog volumena srca povezuje s povećanjem udarnog volumena za 50-70% od VO_{2max} . Nakon što psi prestanu trenirati VO_{2max} im pada zbog smanjenog maksimalnog minutnog volumena srca i smanjene ukupne potrošnje kisika u tijelu (MILLARD, 2014.).

2.2.2.3. KARDIOVASKULARNE PROMJENE

Primarne uloge kardiovaskularnog sustava su dovođenje kisika i nutrijenata do tkiva, uklanjanje štetnih nusprodukata iz tijela, kao i održavanje termoregulacije. Kako bi to bilo moguće, kardiovaskularni sustav radi surađujući s respiratornim sustavom. Tijekom vježbanja dolazi do povećanja minutnog volumena srca te do preraspodijele krvi iz neaktivnih organa u mišiće u radu, zbog povećanih potreba za kisikom i nutrijentima. Minutni volumen srca je količina krvi koju srce izbaci u aortu u minuti, a definirana je brzinom otkucaja srca i volumenom izbačene krvi pri jednom otkucaju. Prilikom vježbanja, inhibicija parasimpatičkog živčanog sustava i aktivacija simpatičkog, dovode do povećanja broja otkucaja srca i snage kontrakcije srca, a također dolazi i do povećanja udarnog volumena srca. Priljev venske krvi u srce je povećan konstrikcijom vena, koja dovodi do smanjenja kapaciteta pohrane venske krvi i vraćanja te iste krvi u srce. Također kontrakcija skeletnih mišića uzrokuje dodatan pritisak na vene te potiskuje krv nazad u srce. Kako bi tijelo odgovorilo na povećanu potrebu za kisikom prilikom vježbanja, u drugim organima u tijelu protok krvi se smanjuje te istovremeno dolazi do vazodilatacije arteriola u mišićima. Kod ljudi u mirovanju na prokrvljenost skeletnih mišića otpada 15-20% minutnog volumena, dok prilikom vježbanja taj postotak raste na 80-85% (MILLARD, 2014.).

I kod utreniranih konja dolazi do kardiovaskularnih promjena, a najznačajnije su: brzina otkucaja srca se smanjuje pri istoj brzini vježbanja, brži je oporavak, udarni volumen srca se povećava, a samim time i sama veličina srca. Povećava se volumen plazme i količina eritrocita u mirovanju (samim time i hemoglobina) te dolazi do povećane gustoće kapilara u treniranom mišiću (POOLE, 2004.).

Kod pasa i ljudi se događaju iste ove promjene u nešto većem ili manjem opsegu (McGOWAN I HAMPSON, 2016.).

Broj otkucaja srca u vježbi izrazito raste, pa je stoga razlika u broju otkucaja između onog u mirovanja i onog maksimalnog broja otkucaja tijekom vježbanja znatna. Primjerice, broj otkucaja kod atletičara može biti i 30 otkucaja u mirovanju po minuti, a u vježbi i 190. Kod konja od 25 pa sve do 250 otkucaja, kod hrtova i pasa za vuču saonica od 100 pa do 300 otkucaja u minuti. Plućna ventilacija može porasti preko 700 L/min kod konja i deva, a kod ljudi ta ventilacija iznosi do 300 L/min. Kod ljudi hematokrit u mirovanju iznosi 40-50% i raste samo malo pri vježbanju, dok je u konja taj postotak u mirovanju oko 32-46%, a pri vježbi može porasti na 50-70%, jer slezena ispušta velike količine eritrocita pri otkucajima od 180 do 200 otkucaja u minuti. Hrtovi imaju postotak hematokrita 50-55% te u treningu može porasti na 60-65% (SHARP, 2012.).

Istraživanje na zlatnim retriverima, koji su trenirali tri puta tjedno po 25 minuta na traci za trčanje, pokazalo je već nakon dva mjeseca statistički značajan pad tjelesne mase, koji je nastavio padati s daljnjim treningom. Istraživanje je također pokazalo nižu frekvenciju rada srca nakon dva mjeseca treniranja (sa 137.5 otkucaja u minuti na 122.6) pri istoj brzini kretanja na traci za trčanje (VRBANAC i sur., 2016.). Osim na otkucaje srca vježba utječe i na povećanje krvnog tlaka. Sistolčki tlak može porasti i na 200 mmHg pri vježbanju, ali dijastolički je tlak često niži nego onaj u mirovanju. Te su promjene rezultat vazodilatacije arteriola u skeletnim mišićima (MILLARD, 2014.).

I samo srce se mijenja u treningu i često ga se i naziva „atletskim srcem“, jer nastaje pri dugotrajnom treningu visokog intenziteta. U ljudi ovakav trening dovodi do poboljšanja vagusnog tonusa i povećanja lijeve i desne pretklijetke srca. Te promjene mogu dovesti do bradikardije u mirovanju, povećanje krajnjeg dijastoličkog volumena i povećanog udarnog volumena srca. Auskultacijska i elektrokardiografska istraživanja utvrdila su kod utreniranih pasa slične promjene kao i kod ljudi. Dijagnostika fiziološkog šuma na srcu kod treniranih

pasa je teža nego u netreniranih. Najčešće se radi o stupnju I-II sistoličkog šuma, koji se najbolje čuje na lijevoj bazi srca. Šum je najvjerojatnije nastao kao posljedica povećane brzine prolaska krvi kroz aortalne zaliske zbog hipertrofije srčanog mišića i povećanog udarnog volumena srca. Neka su istraživanja pokazala da su utrenirani psi bez šuma na srcu skloniji lošijoj izvedbi, u odnosu na one kod kojih je šum prisutan (CONSTABLE i sur., 1994.). Elektrokardiografija je pokazala da psi koji su sudjelovali u treninzima izdržljivosti imaju povećanje u trajanju QRS- kompleksa, kao posljedicu srčane hipertrofije, za koju se smatra da je reverzibilne prirode (CONSTABLE i sur., 2000.).

Promjene u protoku krvi kod pasa slične su onima u ljudi. Protok krvi do terminalne aorte i do koronarnih žila značajno se povećava u treningu, kao posljedica povećanog minutnog volumena srca. Istraživanje kod pasa koji vuku saonice je pokazalo da je protok krvi u mezenteriju i bubrezima nepromijenjen, u usporedbi s protokom krvi u mirovanju (VAN CITTERS i sur., 1969.). S druge strane, istraživanje na psima lisičarima je pokazalo smanjenje protoka krvi kroz abdominalne organe prilikom treninga, što je slično kao i kod ljudi (MUSCH i sur., 1987.). Ovakvi različiti rezultati mogu biti objašnjeni različitim tehnikama mjerenja protoka krvi i temperature okoline pri mjerenju, jer znamo da psi koji vuku saonice treniraju u puno hladnijoj okolini nego psi lisičari (MILLARD, 2014.). Za razliku od ljudi, psi imaju sposobnost kontrakcije slezene prilikom vježbanja kako bi se povećao broj cirkulirajućih eritrocita u krvi te samim time i povećali kapacitet prijenosa kisika (MILLARD, 2014.).

2.2.3. METABOLIČKE PROMJENE I OSTALE PROMJENE KAO POSLJEDICA TRENINGA

Metaboličke promjene najviše su vezane uz promjene u mišićima, odnosno u aktivnosti enzima aerobnog metabolizma. U njima dolazi do porasta aktivnosti enzima ciklusa trikarboksilne kiseline (TCA), lanca transporta elektrona i beta oksidacije masti. Te su promjene povezane s povećanom gustoćom mitohondrija i kapilara u samom mišiću, što omogućava lakšu difuziju kisika u mišićne stanice te lakše odvođenje ugljikovog dioksida iz samog mišića. S druge strane aktivnost enzima anaerobnog metabolizma (fosfofruktokinaza i laktat dehidrogenaza) ostaje ista ili pada.

Trening također može dovesti do povećanja aktivnosti AMP-deaminaze i kreatin kinaze. Tako umjerenja vježba i dugotrajna vježba u trajanju od 10 dana, može dovesti do povećanja mišićnog fosfokreatina i smanjiti količinu mišićnog kreatina u trenutku zamora (RIVERO i PIERCY, 2014.).

Konji imaju visoku koncentraciju zaliha mišićnog glikogena za razliku od ljudi te se s treningom ta zaliha glikogena kod konja može još povećati. U treninzima kratkog trajanja i jakog intenziteta zalihe glikogena se ne koriste, ali u dugim treninzima, kao što su treninzi izdržljivosti, glikogen se može koristiti.

U konja je jako važno uzeti u obzir sporo nadomještanje glikogena. Nakon deplecije glikogena potrebno je 48-72 sata kako bi se zalihe glikogena u mišiću obnovile. Hranjenje konja hranom bogatom ugljikohidratima (žitarice) će povisiti zalihu glikogena, ali tek za 48-72 sata, ne ranije. Zato pokušaji brzog punjenja zaliha može biti opasno za konja jer može prouzrokovati laminitis (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Trening, osim navedenog, ima i značajan učinak na elektronske i ionske kanale na membrani skeletnih mišića, pogotovo kod konja. Kratkotrajna vježba, umjerenog intenziteta, rezultira povećanjem u gustoći Na^+/K^+ ATP-aznih pumpi te smanjenjem izlaska K^+ iz mišića pri treninzima visokog intenziteta (SUWANNACHOT i sur., 2001.).

Neka su istraživanja pokazala povećanje kapaciteta pufera u skeletnim mišićima konja nakon nekoliko tjedana treninga sprinta i nakon 34 tjedana prolongiranog treninga. Smatra se da do tog povećanja dolazi zbog povećane ugradnje bjelančevina mišićnih vlakana, povećane koncentracije mišićnog kreatin-fosfata te povišene koncentracije mišićnog karnozina. Od ostalih promjena, trening utječe na povećanje ekspresije bjelančevina toplotnog šoka te spojne varijante neutronske dušične oksidne sintaze, koji štite mišić od oksidativnog stresa prouzrokovanog treningom (RIVERO I PIERCY, 2014.).

Tijekom vježbi jakog intenziteta, pH u mišićima se održava transportom H^+ iona i fiziokemijskim puferiranjem organskih fosfata, bikarbonata i dipeptida koji sadrže histidin (karnozin, anserin i balenine). Dok su fosfati i karbonati ograničeni zbog uključivanja i u druge reakcije, dipeptidi pokazuju 40 puta više mišićnih varijacija kod različitih vrsta, pri uključivanju u metaboličke procese. Karnozin se nalazi samo kod ljudi, anserin kod pasa i deva, a balenin kod jelena, kitova i dupina. Količina dipeptida u mišićima je proporcionalna stvaranju H^+ iona u mišićima. Životinje imaju više dipeptida u mišićima u odnosu na ljude

ljudi, zbog evolucijske prilagodbe usmjerene na sprint potreban za bijeg ili lov, pri kojem nastaje veća količina H⁺ iona, koje je potrebno puferirati (WISE i sur. 2007.).

Određivanje koncentracije laktata u krvi je korisna i česta metoda u mjerenju anaerobnog statusa. Koncentracija laktata u mirovanju se kod odraslih životinja smatra normalnom, ako je manja od 2,5 mmol/L (SAVIGNY i BERZON, 2019.). Kod ljudi laktat može maksimalno porasti na koncentraciju od 24 mmol/L (SHARP, 2012.), kod konja na 36 mmol/L (SHARP, 2012.), a kod pasa na otprilike 34 mmol/L (SHARP, 2012.). Kod pasa koji treniraju *agility* je izmjerena koncentracija laktata od 4,5 mmol/L, što je skoro dvostruko od koncentracije u mirovanju, ali te su koncentracije nakon 15 minuta odmora gotovo pale na koncentracije u mirovanju (ROVIRA i sur., 2007; VRBANAC i sur., 2016.).

Kod lisičara i labradora retrievera, tijekom terenskog rada, koncentracija laktata je bila nešto niža otprilike između 2,5 i 2,7 mmol/L (MUSCH i sur., 1987.). Dramatična razlika u porastu koncentracije laktata pri vježbanju zabilježena je kod trkaćih hrtova, kod kojih je došlo do povišenja laktata i do 30 mmol/L (MILLARD, 2014.).

Kod pasa za sprint i *agility* može doći do promjena u koncentraciji krvnog laktata, pH, hematokrita te koncentraciji proteina i kalija. Do tih promjena ne mora uvijek doći i uglavnom ne utječu na uspješnost izvođenja vježbe. Kod pasa koji vuku saonice, najznačajnija promjena u krvi je hipoproteinemija, najčešće uzrokovana hipoglobulinemijom. Te promjene mogu biti uzrokovane imunosupresijom, povećanim katabolizmom proteina i gubitkom proteina putem gastrointestinalnog trakta kao rezultat vježbanja. Dugotrajno treniranje kod psa može dovesti i do povećanja volumena krvne plazme, što može biti mehanizam prilagodbe na povećane kardiovaskularne i termoregulacijske zahtjeve prilikom vježbanja (MILLARD, 2014.). Nadalje, kod hrtova je zabilježen porast krvne plazme i za 30%, nakon treninga u trajanju od 2 tjedna. Taj se porast plazme pripisuje povećanom unosu vode s minimalnim učešćem renalne kontrole (McKEEVER i sur., 1985.). Kod pasa za *agility* hematokrit se može povećati za 21%, volumen plazme za 4% i ukupan volumen krvi za do 12%, kao rezultat kontrakcije slezene prilikom treninga (ROVIRA i sur., 2007.).

Istraživanje na *endurance* konjima pokazalo je značajan porast enzima kreatin kinaze (CK), laktat dehidrogenaze (LDH), aspartat aminotransferaze (AST), kreatinina, natrija i kalcija, pri utrkama na veće udaljenosti u odnosu na utrke na kraće udaljenosti. Također je zabilježen veći porast koncentracije LDH kod konja s nižom prosječnom brzinom trčanja, u odnosu na konje s većom prosječnom brzinom (KLOBUČAR i sur., 2019.).

2.2.4. TJELESNA TEMPERATURA I VJEŽBANJE

Regulacija tjelesne temperature ima vrlo važnu ulogu u održavanju homeostaze i fiziološke funkcije organizma. Dugotrajna i pretjerano visoka tjelesna temperatura može dovesti do denaturacije proteina i propadanja mišića. Pad tjelesne temperature s druge strane uzrokuje usporavanje metabolizma do te mjere da mogu biti ugrožene vitalne tjelesne funkcije. Termoregulacijski centar se nalazi u hipotalamusu, a on informacije prima iz perifernih termoreceptora. Pri intenzivnom vježbanju dolazi do velikog stvaranja topline, stoga tijelo mora poduzeti sve mjere kako bi povećalo gubitak topline. Mehanizmi za gubitak topline su radijacija, kondukcija, konvekcija i evaporacija. Radijacija je gubitak topline u obliku infracrvenih zraka. Proces uključuje odvođenje topline s jednog objekta na drugi, bez izravnog kontakta. Kondukcija je odvođenje topline s toplijeg objekta na hladniji, s kojim je u kontaktu. Konvekcija je odvođenje topline zrakom ili vodom, koja je u kontaktu s tijelom. Evaporacija je gubitak topline prevedene u vodu na površinu tijela te njeno pretvaranje u plin. Najvažniji način odvođenja topline kod pasa je evaporacija. Pas nema dobro razvijene znojne žlijezde, kao ljudi koje bi sudjelovale u termoregulaciji. Tijekom vježbe povećan je protok krvi u respiratornom sustavu, jeziku i sluznici usne šupljine te dolazi do povećanog stvaranja sline i respiratorne sekrecije, što rezultira dahtanjem kod pasa i otpuštanjem topline. Psi koji treniraju imaju ubrzano, plitko disanje, kako bi bila ubrzana cirkulacija zraka preko sluznice usne šupljine i respiratornih mrtvih prostora, radi povećane evaporacije i gubitka topline (MILLARD, 2014.).

2.3. OGRANIČAVAJUĆI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UČINAK VJEŽBANJA

Konji su životinje koje spadaju u vrhunske sportaše, te su samim time i najviše proučene životinje-sportaši. Njihovi rezultati primarno ovise o opskrbljenosti energijom i iskoristivosti te energije za pokret. Kao što je prije spomenuto, organizam konja se oslanja na dobru opskrbljenost kisikom prilikom vježbanja i ima visoki aerobni kapacitet (više od 160 mL/kg/min), za razliku od čovjeka-sportaša koji ima oko 70 mL/kg/min. Konji također imaju izrazito visok krvni tlak i tlak plućnih krvnih žila, kako ne bi došlo do pucanja kapilara pri povećanom tjelesnom naporu (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Konji, iako dobro prilagođeni treniranju, mogu razviti hipoksemiju i hiperkapniju prilikom intenzivnog treninga, zbog ograničenja respiratornog sustava na intenzivan trening (ART i LEKEUX, 1995.). Zbog visokog plućnog vaskularnog tlaka imaju zadebljanu difuzijsku membranu, što smanjuje stopu difuzije, pa vrlo vjerojatno dovodi do hipoksemije uzrokovane vježbom (CHRISTLEY i sur., 1997.).

Bolesti gornjeg dijela respiratornog trakta utječu na prijenos kisika zbog nastajanja povećanog otpora pri disanju i smanjenog protoka zraka, smanjujući zasićenost kisikom, a najčešće se sama bolest komplicira respiratornim stridorom. Konji isključivo dišu na nos, pa bilo kakvo anatomsko suženje nosnih prohoda ili prijelaza iz mekog nepca u ždrijelo dodatno loše utječe na izvedbu kod konja. Najčešći poremećaj toga tipa je idiopatska hemiplegija larinksa koju uzrokuje paraliza lijeve strane ždrijela, zbog paralize lijevog *n. laryngeus recurrens* te samim time i paralize otvaranja i zatvaranja aritenoidne hrskavice ždrijela. Od drugih poremećaja ždrijela važan je još rascjep mekog nepca (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Bolesti donjeg respiratornog trakta utječu na transport kisika tako što smanjuju difuziju kisika i ugljikovog dioksida iz alveola u plućne kapilare ili dovode do bronhokonstrikcije i smanjenja protoka zraka. Bolesti donjeg respiratornog trakta jako utječu na izvedbu prilikom konjskih utrka. Najčešće bolesti su upalna bolest dišnih puteva (*inflammatory airway disease*, IAD), vježbom uzrokovano krvarenje u plućima i upalne bolesti. IAD je sindrom upale malih dišnih puteva koja rezultira opstrukcijom malih dišnih prohoda, ali bez infekcije. Bolest je uglavnom klinički inaparentna, ali se može javiti kašalj i curenje iz nosa, a najčešće je povezana s lošim uvjetima držanja. Krvarenje u plućima uzrokovano vježbom je bolest do koje dolazi zbog krvarenja u dorzo-kaudalnim režnjevima pluća i može rezultirati krvarenjem iz nosa. Patogeneza nije u potpunosti razjašnjena, ali se smatra da je uzrok izrazito visok plućni krvni tlak tijekom vježbe, koji dovodi do pucanja kapilara. Smatra se da se krvarenje u plućima često javlja u trkaćih konja koji treniraju do maksimuma, a u samo 1% dolazi do krvarenja iz nosa. Ova bolest ne utječe uvijek na izvedbu kod konja, ali konji s čestim epizodama mogu imati lošije izvedbe (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Anemija kod konja utječe na transport kisika jer je smanjeno njegovo vezanje za hemoglobin. Rijetko se javlja kod sportskih konja, jer konji imaju jedinstvenu sposobnost kontrahirati slezenu i osloboditi i do 12 litara dodatne krvi. Do anemije najčešće dolazi zbog deficita nutrijenata ili bolesti. Od srčanih bolesti najčešća je pojava srčanog šuma, koja se dosta često javlja u konja zbog turbulentnog toka krvi i nema utjecaja na izvedbu kod konja. Međutim šumovi mogu predstavljati ozbiljnu bolest ako dolazi do zatajenja srca i samim time i dolazi do lošije izvedbe. Većina šumova je rezultat abnormalne električne aktivnosti srca, a najčešća je atrijska fibrilacija, koja se u većini slučajeva uspješno liječi.

Mišićno-koštani poremećaji su najčešći uzrok lošije izvedbe, sami ili u kombinaciji s drugim poremećajima. Od drugih je faktora izričito važno mentalno stanje konja i „volja za pobjedom“ te problemi u ponašanju zbog sindroma pretreniranja. I neke abdominalne bolesti mogu dovesti do slabije izvedbe kao što su npr. čirevi na želucu (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

2.4. ŽIVOTINJE SPORTAŠI

Trčanje kao vrsta sporta kod životinja ima nekoliko oblika. Neke su životinje predodređene za sprint, brzo i eksplozivno trčanje, dok s druge strane imamo životinje koje trče na srednje daleke udaljenosti te životinje koje trče na velike udaljenosti ili hodaju.

Od životinja sprintera najpoznatiji su gepardi, antilope, nojevi, hrtovi i konji. Gepardi (*Acinonyx jubatus*), kao primjer najbržih sprintera, imaju dugo aerodinamično tijelo i glavu te ekstremno savitljivu kralježnicu. Od ostalih prilagodbi za sprint imaju šape koje su debelo izbrazdane i duge, tupe kandže koje se ne uvlače te pomažu boljem hvatanju za podlogu. Noge su im duge, a mišići na njima smješteni su proksimalnije, odnosno bliže trupu, s dugim tetivama koje mogu pohraniti i osloboditi više od pola energije pri svakom koraku. Stoga gepardi mogu dostići brzinu i do 104 km/h (SHARP, 2013.).

Od trkača na srednje udaljenost najčešće su spominjani konji. Konj može pretrčati 0,8 km za 46 sekundi, a 1,6 km za 1 minutu i 35 sekundi i održavati brzinu od 48 km/h i do 10 minuta (SHARP, 2013.). Od trkača na velike udaljenosti/hodača najpoznatije su deve, psi koji vuku saonice (*husky*) i konji.

2.4.1. PSI KOJI VUKU SAONICE (*HUSKY*)

Husky (haski) je pasmina pasa izvorno uzgajana u Sibiru (sibirski haski), ali je kasnije došlo do miješanja s drugim pasminama, kao što su samojedi i aljaški malamuti, pa se često takve miješane pasmine nazivaju aljaški haski ili eskimski psi. Glavna svrha tih pasa je bila vuča saonica za prijevoz ljudi, namirnica i lijekova po ledu i snijegu, na iznimno niskim temperaturama te na velike udaljenosti. Samim time je i građa haskija prilagođena tim uvjetima. Robusne su građe, srednje veličine i gustog krzna, širokih ravnih šapa te su jaki i izdržljivi. Tjelesna masa im je između 18 i 20 kg. Mentalno su snažni s velikom voljom za trčanje, te imaju karakteristike vođe. U vuči saonica jednako su zastupljeni i mužjaci i ženke. U saonice na čelo se postavljaju najbrži i najinteligentniji psi i oni su predvodnici saonica („*lead dogs*“). Iza njih se postavljaju psi koji zakreću saonice u zavojima („*swing dogs*“). Uz same saonice postavljaju se najveći i najjači psi („*wheelers*“), a ostali psi u zaprezi se nazivaju timski psi („*team dogs*“). Najčešći broj pasa u zaprezi je 12-16 pasa. Najpoznatija utrka je *Iditarod* utrka pasa koja se trči po snijegu i ledu, na udaljenost od 1692 km i traje 12 dana, što je u prosjeku 141 km/danu (McGOWAN i HAMPSON, 2016.). Rekord iz 2011. godine je 8 dana 19 sati i 47 minuta (SHARP, 2013.).

Aerobni kapacitet kod haskija je najveći zabilježeni među pasminama pasa i kod nekih je haskija VO_{2max} iznosio i preko 200 ml/min/kg (BANSE i sur., 2007.). Za usporedbu kod pasa treniranih za lov lisica (lisičari), VO_{2max} je iznosio 154 ml/min/kg (MUSCH i sur. 1985.). U usporedbi s čovjekom-sportašem, čiji VO_{2max} iznosi 70 ml/min/kg, VO_{2max} haskija čini se još impresivnijim. Zabilježena je i brzina rada srca kod haskija od 300 otkucaja u minuti, kod produljenog trčanja koje prelazi trajanje od jednog sata (VAN CITTERS i FRANKLIN, 1969.), dok otkucaji u mirovanju ne prelaze 40-60 otkucaja u minuti.

Tijekom utrke psi su hranjeni s hranom sastava: 33% proteina, 50% masti i 16% ugljikohidrata, a tijekom same utrke moraju unijeti i do 10000 kcal po danu. MILLER i sur., 2014. su postavili hipotezu kako se haskiji u utrci oslanjaju na oksidaciju masti kao izvor energije pri utrci od 1600 km, ali se ona pokazala netočnom. U kasnijim istraživanju dokazali kako se haskiji koriste oksidacijom ugljikohidrata kao izvorom energije, i ne samo da ovise o oksidaciji ugljikohidrata nego je i mogu povećati. Dokazali su i da visoka stopa R_d glicerola, koji se pohranjuje u jetri, doprinosi velikoj proizvodnji jetrene glukoze.

Što se tiče samog treninga, preporučuje se da se prvo obavi fitness-testiranje. Ono se sastoji od određivanja VO_{2max} i maksimalnog otkucaja srca (HR_{max}) te su oni jedni od glavnih pokazatelja odgovora psa na trening. Nadalje radi se koncentracija krvnog laktata nasuprot brzine. Koncentracija laktata nije dovoljno istražena kod pasa, za razliku od ljudi i konja, i jedina zabilježena iznosi 3.06 mmol kod treniranih haskija 3 minute nakon utrke od 6 kilometara (READY i MORGAN, 1984.). Od fitness-testova provodi se mjerenje otkucaja srca nasuprot brzine, te se ono mjeri za vrijeme treninga pomoću prijenosnog monitora i određivanjem brzine i duljine trčanja pomoću GPS-a.

Sami trening trebalo bi započinjati igrom kako bi se pas oslobodio stresa i da se stvori veza između trenera i psa. Najčešće je to trčanje za loptom (sprint), a sama igra pomože kod ravnoteže, gibljivosti i propriocepcije. Nakon toga slijedi trčanje na veće udaljenosti, najčešće od 10 do 15 kilometara u zanimljivom i stimulativnom okruženju, te po različitim terenima, a pri tome trener prati psa na biciklu ili motoru te mjeri brzinu, opterećenje i udaljenost. Trčanje na velike udaljenosti priprema mišićni sustav psa na nastavak treninga i stimulira aerobni metabolizam. Nadalje trening uključuje trčanje na traci za trčanje s ili bez opterećenja. Opterećenje se postiže stavljanjem oprsnice s utezima. Koriste se i trake za trčanje pod vodom, gdje se tijelo psa opire otporu vode pri hodanju na traci, a razina vode je do trbuha psa. Trening u hladnoj vodi pomaže i prilagođavanju psa na hladniju okolinu. Trening bi se trebao provoditi i na stazama u obliku bazičnih intervalnih treninga i treninga brzine. Pri tome psi mogu nositi oprsnice te im se putem monitora i GPS-a može pratiti brzina i otkucaji srca. Trening u trajanju od 16 tjedana se sastoji od nekoliko faza. Prva je faza bazični trening koji traje 1-4 tjedana. Bazični trening dovodi psa natrag u režim vježbanja kako bi se spriječile moguće kasnije ozljede te potpomaže razvijanju vještine i povezanosti s trenerom. Nakon bazičnog slijedi trening otpornosti, koji traje 5-8 tjedana.

Ciljevi ovog treninga su poboljšanje aerobnih svojstava za sljedeću fazu intenzivnog treninga, postupno opterećenje muskuloskeletnog sustava, prilagodba na režim treniranja, te daljnji rad na ravnoteži i propriocepciji. Ovaj trening bi trebao biti prilagođen brzini VO_{2max} i maksimalnoj brzini otkucaja srca izmjenom u fitness-testiranju. Nakon treninga otpora slijedi intervalni naporan trening koji traje 9- 14 tjedna i visokog je intenziteta. Najčešće se provodi na trakama za trčanje, suhim i onima u vodi, a cilj mu je podizanje VO_{2max} i laktata u krvi. Zadnji dio 16-tjednog programa koji traje jedan tjedan naziva se „*taper*“, njegova je svrha smanjenje fiziološkog stresa od dnevnih treninga i optimizacija učinka. Malo je podataka evidentirano za ovu metodu kod životinja, ali je kod sportaša zabilježeno

poboljšanje izvođenja za 5-6%, zbog pozitivnih promjena na kardiorespiratornom, metaboličkom, hematološkom, hormonalnom i neuromuskularnom fiziološkom statusu. „*Tapering*“ se najbolje postiže održavanjem intenziteta treninga, ali smanjenjem njegova volumena na 60-90%, te smanjenjem frekvencije treninga ne više od 20%. Na psima bi trebalo „*taper*“ provoditi u trajanju od 2 tjedna prije natjecanja, smanjujući volume treninga do 25% uz održavanje intenziteta vježbanja (McGOWAN i HAMPSON, 2014.).

Ciljevi programa treninga su: treningom inducirana bradikardija pri određenoj brzini, povećanje VO_{2max} za 30-40%, povećanje maksimalnog srčanog rada za 30-35%, kompenzatorna hipertrofija srca, koja kod haskija može biti i do 24%, smanjenje sistemskog vaskularnog otpora za 25% tijekom maksimalnog treninga, povećanje površine mišićnih vlakana za spora i brza vlakna, bolje utilizacija elastične energije kod treninga snage, povećanje snage mišića kod propulzivne i protraktivne muskulature, povećanje trajanja kontrakcije mišića, povećanje pohranjenog intramuskularnog glikogena za 15-25%, poboljšan oksidativni kapacitet mišića, povećanje aktivnosti motorne jedinice, povećanje presjeka tetiva, povećanje gustoće kostiju te smanjenje mogućnosti nastajanja ozljeda (McGOWAN I HAMPSON, 2014.).

2.4.2. HRTOVI ZA UTRKE

Hrtovi su pasmina pasa primarno uzgajana za lov i utrke. Kod uzgoja se željela stvoriti pasmina koja vrlo brzo trči na kratke udaljenosti i pri tome ima izražen instinkt za lov. Hrtovi su mase između 28 i 30 kilograma, s vrlo niskim postotkom tjelesne masti od oko 16%, što je i do upola manje nego u ostalim pasmina pasa. To su dugonogi psi, s izraženom mišićavosti proksimalnog dijela udova, i tankih distalnih dijelova. Imaju dugu kralježnicu koja im omogućava maksimalno istezanje u trku i dugi korak. Pri trku, prije nego što dotaknu tlo, hrtovima su sve 4 šape u zraku, što im pomaže u postizanju veće brzine. Kod drugih pasmina 7,2% tjelesne mase otpada na krv, dok se kod hrtova ta brojka penje i do 11,4%. U utrkama se većinom koriste kratkodlake pasmine, a njihova izrazito kratka dlaka čini ih aerodinamičnima (ANONIMUS, 2012.).

Hrtovi mogu pretrčati i do 500 metara pri brzini od 18 m/s, dok ljudi udaljenost od 400 metara mogu pretrčati pri brzini od 10 m/s. Hrtovi imaju veći postotak brzo trzajućih mišićnih vlakana nego druge pasmine pasa te je kod njih zabilježen porast koncentracije krvnog laktata na 27 mmol/L (McGOWAN i HAMPSON, 2014.). U mišićima trupa i udova kod hrtova je dokazan veći postotak tip IIA mišićnih vlakana, za koje se pokazalo da imaju veliki glikolitički kapacitet, te da su sposobni proizvesti velike količine krvnog laktata tijekom vježbi visokog intenziteta (TONIOLO i sur., 2007.). Od ostalih fizioloških karakteristika hrtovi imaju visok hematokrit, visoku koncentraciju hemoglobina, i povećanu viskoznost krvi, sa smanjenim brojem leukocita, neutrofila, trombocita te serumskih proteina i koncentracije globulina (FAYOS i sur., 2005.). Također hrtovi imaju visoku glomerálnu filtraciju, funkcionalni šum zbog stenozе aortalnih zalistaka, povišene koncentracije serumskog kreatinina i snižene koncentracije hormona štitnjače T₄ i fT₄ (DROST i sur. 2006.). Od drugih specifičnosti imaju povišen krvni tlak, povećanu lijevu pretklijetku srca te povišen minutni volumen srca u usporedbi s drugim pasminama pasa (VILAR i sur., 2008.).

Utrke hrtove se u Australiji najčešće trče na 297 metara s prosječnim vremenom pobjednika od 17 sekundi. Pri sprintu u utrci hrtovi se uglavnom oslanjaju na anaerobni metabolizam (ROSE i BLOOMBERG, 1989.). VO_{2max} kod hrtova može iznositi i do 143 ml/kg/min (STAADEN, 1989.) s izrazito visokom brzinom otkucaja srca, što sugerira na izrazito visok aerobni kapacitet, s obzirom na sprint koji trče. Ovako visok aerobni kapacitet se očekuje kod pasa za *endurance* utrke, a ne za sprint kao što je u slučaju kod hrtova.

Hrtovi se najčešće treniraju radom na stazi te trčanjem za mamcem. Premda su hrtovi, s obzirom na građu tijela, predodređeni za sprint, pokazalo se da se izvedba može poboljšati treningom, slično kao kod čovjeka sprintera (McGOWAN i HAMPSON, 2014.). Dizajnirani programi treninga uključuju fitness testiranje, razvoj vještine i bazični trening, trčanje na suhoj i traci na trčanje pod vodom, igranje, istežanje i trening propriocepcije, sprint, te trčanje na stazi za utrke. Ciljevi treninga su izazivanje treningom inducirane bradikardije, povećanje VO_{2max} za 30%, povećanje maksimalnog minutnog volumena srca za 30-35%, izazivanje kompenzatorne hipertrofije srca, povećanje vježbovne koncentracije krvnog laktata, povećanje površine mišićnih brzih i sporih vlakana, povećanje snage propulzivnih i protraktivnih mišića, smanjenje vremena kontrakcije mišića, povećanje koncentracije mišićnog glikogena u mirovanju, povećanje oksidativnog kapaciteta mišića, povećanje aktivacije motorne jedinice mišića, povećanje površine presjeka tetiva i povećanje gustoće kostiju (McGOWAN i HAMPSON, 2014.).

2.4.3. *AGILITY*

Agility je sportska disciplina u kojem vodič usmjerava psa da u što kraćem vremenu svlada stazu s preprekama. Vodičeva kontrola je ograničena na glas i različite pokrete tijelom što zahtjeva iznimnu obuku psa i dobru koordinaciju vodiča (ZINK, 2013).

Psi za *agility* moraju biti brzi i okretni, što zahtjeva ne samo snagu, nego i dobru ravnotežu i propriocepciju kako bi savladali prepreke. Trening za *agility* zahtjeva svakodnevni trening vlasnika i psa, a sami trening bi trebao biti prilagođen individualno svakom psu. Trening bi trebao započeti već sa štencima kroz igru. Važno je naglasiti kako se ne preporučuje penjanje i neprestano skakanje, kako ne bi došlo do oštećenja zglobova pri samom njihovom razvoju (BALTZER, 2012.).

2.4.4. *FLYBALL*

Flyball je timski sport nastao u Kaliforniji (SAD) sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Jedan tim čine četiri psa i njihovi vodiči. Teren za natjecanje se sastoji od dvije trake široke 1.5 metar i duge 15.5 metara. Na trakama se nalaze elektronska mjerna vrata, četiri prepreke i automat koji izbacuje loptice. Podloga na stazi mora biti prikladna za pseće šape, kako bi se smanjile ozljede, pa ako je pretvrda potrebno ju je prekriti gumom. Pas mora proći kroz mjerna vrata, jureći preskočiti 4 prepreke i uhvatiti lopticu, koju je izbacio automat. Pas se tada mora vratiti preko prepreka u što kraćem vremenu svom vodiču. Kada prođe kroz mjerna vrata, sljedeći pas je već na vratima. U ovom se sportu pokazuje brzina, izdržljivost i spretnost samog psa (ANONIMUS, 2020.).

2.4.5. SPORTSKI KONJI

Domesticirani konji uzgajani su za razne poslove, pa tako veliki teški konji koriste se za vuču trupaca iz šume, plugova, sanjki ili kočija. Lakše pasmine konja uzgajane su za brzinu i izdržljivosti, te se koriste za jahanje i sport. Engleski punokrvnjak može trčati pri najbržoj brzini od 64 km/h na udaljenosti od 800 do 5000 metara. Američki *quarter* konj može sprintati na 400 metara pri brzini od 88 km/h. Arapski kasač može pri brzini od 29 km/h prijeći udaljenost od 160 km u jednom danu.. Toplokrvnjaci mogu izvoditi elegantne, ali zahtjevne rutine i pokrete. Poniji mogu vući manja kola ili terete.

Bez obzira na veličinu, svim je konjima zajedničko izvođenje fizičkih aktivnosti, kao što su skakanje i trčanje, u zavidnoj razini za životinju takve veličine i konstitucije. Visoke atletske sposobnosti konja su povezane s visokim maksimalnim aerobnim kapacitetom, velikim intramuskularnim zalihama energije, osobito glikogena, visokim volumenom mitohondrija u mišićima, sposobnošću povećanja kapaciteta prenošenja kisika preko kontrakcija slezene u treningu te učinkovita termoregulacija.

VO_{2max} kod konja je 2,6 puta veći nego u stoke slične veličine. Visoki aerobni kapacitet je osiguran povećanim maksimalnim minutnim volumenom srca i udarnim volumenom srca te povećanom koncentracijom hemoglobina u krvi. Sami otkucaji srca se kod konja i stoke slične veličine ne razlikuju, ali je zato volumen pluća konja gotovo dvostruko veći, s površinom izmjene plinova koja je i do 1.6 puta veća. Konji imaju visoku koncentraciju intramuskularnog glikogena kao i druge sportske životinje, poput pasa. Ta koncentracija iznosi oko 140 mmol/kg mišića, dok u usporedbi s ljudima ta koncentracija iznosi od 80-100 mmol/kg. Prisutnost velike količine glikogena, omogućuje konjima podnošenje napornih treninga, dok energija iz krvi u obliku glukoze, osigurava samo malu količinu energije i to manje od 10%. Povećanje prijenosa kapaciteta kisika konji postižu kontrakcijama slezene prilikom vježbanja, pri čemu se povećava koncentracija eritrocita u krvi, ali ne dolazi do povećanja volumena plazme. Rezultat je povećana koncentracija hemoglobina, te se oksidativni kapacitet arterijske krvi prilikom vježbanja može povisiti i za do 50%. (HINCLIFF, 2014.)

U **tablici 3.** je prikazan odnos mase, brzine, trajanja vježbe, VO_{2max} , brzina otkucaja srca, te utrošak energije u kcal po danu kod engleskih punokrvnjaka, konja kasača na velike udaljenosti, vola, koze, hrta, pasa za vuču saonica, i čovjeka olimpijskih odlika.

Vrsta	Masa (kg)	Brzina (km/h)	Trajanje vježbe	VO_{2max} ml O₂/kg/min	Bilo	Utrošak energije po danu (kcal)
Engleski punokrvnjak	450	64 (max)	2 min	180-200	240 (max)	30 000
Konji za daljinsko jahanje	400	15		180		38 000
Vol	470			80		
Koza	32					
Hrtovi za utrke	34	64 (max)	1 min	Nije zabilježeno	300	2 160
Psi koji vuku saonice	25	20	10 dana	170	300	11 000
Čovjek (olimpijac)	70	36 (max)	9.4 sekunde	85	220	7 000
Vitoroga antilopa	32	65	10 min	300		

TABLICA 3. Atletske varijable kod treniranih i ne-treniranih vrsta (HINCHCLIFF, 2014.).

2.5. SINDROM PRETRENIRANOST

Pretrreniranost je vrlo dobro poznat sindrom u ljudi atletičara, kod kojeg dolazi do povećanja ili održavanja intenziteta treninga, ali do pada učinka, odnosno do neravnoteže između treninga i oporavka od treninga. Kod ljudi je vrlo teško odrediti ovu pojavu, a kod životinja još i teže. Sindrom pretreniranosti je multisisternski poremećaj koji se javlja kod konja, koji kroz duže vrijeme sudjeluju na natjecanjima, pogotovo pri toplijem vremenu. Pretreniranost se očituje umorom, hipovolemijom, dehidracijom, gubitkom elektrolita, poremećajem acido-bazne ravnoteže, hipertermijom, slabijim učinkom pri treningu, najčešće uz druge znakove kao što su gubitak kilograma, psihološke promjene ili suspektne infekcije. Sindrom je kroničnog tijeka i najčešće su potrebni tjedni i mjeseci za oporavak. Kod konja najčešći znakovi pretreniranosti su: slabija izvedba, gubitak mase ili/i apetita, bol u mišićima, povećanje koncentracije mišićnih enzima, suspektne gastrointestinalne i urinarne infekcije, inkoordinacija, povećanje učestalosti ozljeda, nevoljkost za treniranjem i promjene u ponašanju (McGOWAN i HAPSON, 2016.). Dijagnoza se postavlja na temelju anamneze, kliničkih znakova i rezultata laboratorijskih testova (KLOBUČAR i sur., 2020.). Jedno je istraživanje pokazalo da je pretreniranost kod konja uzrokovala atrofiju tip IIA vlakana i smanjenje omjera vlakana tip IIA:IIX te smanjenje volumena mitohondrija u tipu I i tipu II vlakana (TYLER i sur., 1998.). Pretreniranost se sprječava prolongiranim odmorom, smanjenjem opterećenosti pri treningu, te promjenom rutine i protokola treninga te smanjenjem vanjskih stresora (McGOWAN i HAMPSON, 2016.).

Cilj terapije sindroma iscrpljenosti konja je snižavanje tjelesne temperature, nadoknada izgubljene tekućine i elektrolita te obnova cirkulirajućeg volumena krvi. Hlađenje se treba provoditi do sniženja tjelesne temperature, što bliže onoj fiziološkoj. Konjima koji imaju blaže simptome potreban je odmor uz hlađenje i dostupnost vode, soli i hrane. Ako konj ne uzima tekućinu unutar 30 minuta, potrebno mu je dati tekućinsku terapiju, a količina potrebne tekućine ovisit će o stupnju hipovolemije i dehidracije (KLOBUČAR i sur., 2020.).

2.6. ZAGRIJAVANJE I ISTEZANJE

Zagrijavanje prije natjecanja je svakako preporučljivo kod sportskih pasa. Kako bi se povećao protok krvi kroz mišiće i tetive, potreban je porast tjelesne temperature psa za 1-2°C, koristeći vježbe koje aktiviraju mišićne kontrakcije i povećavaju raspon pokreta (*range of motion*, ROM). Hrtove za utrke se najčešće potiče da hodaju ili lagano trče 5-10 minuta prije utrke. Kod pasa za *agility* i *flyball* preporučuje se šetnja ili lagano trčanje na uzici, 10-15 minuta, na mjestima udaljenim od mjesta održavanja natjecanja. Nakon zagrijavanja, preporučuju se vježbe pasivnog istezanja udova, kako bi se povećao opseg pokreta te istezanje vrata (BALTZER, 2012.)

Istezanje se često koristi prije samog treninga, ali i nakon, kako bi se smanjile eventualne ozljede. Također istezanje se koristi i u rehabilitaciji nakon ozljeda mekog tkiva. Pretpostavka je da se istezanjem produžuje duljina mišića i vankapsularnih struktura zglobova, kako bi se povećala mišićno-koštana gibljivost. U jednom se istraživanju pokazalo da do produljenja mišićnih vlakana, nakon istezanja, dolazi zbog serijskih dodavanja novih sarkomera na kraj već postojećih miofibrila (FUKUNAGA i KUOKAWA, 1996.). Istezanje je indicirano prije ili nakon vježbanja, ako je sami cilj istezanja produljenje jedinice mišić-tetiva ili povećanje raspona pokreta (ROM), (HAMPSON i sur. 2006.). Stručnjaci su se složili da postoji povećana popustljivost između mišićno-tetivne jedinice odmah nakon aktivnog ili pasivnog istezanja (TAYLOR i sur., 1990.). TAYLOR i sur. predlažu četiri ponavljanja od 30 sekundi pasivnog istezanja kao optimalne kombinacije za najveće produljenje mišićno-tetivne jedinice.

Kod konja se koriste dva modela sportskih aktivnosti, podijeljenih prema tipu mišićnih zahtjeva: HSSC (*high-intensity stretch-shortening cycles*) i LSSC (*low-intensity stretch shortening cycles*), koji se koriste i na modelu ljudi-sportaša. Aktivnost tipa HSSC je aktivnost vezana uz konje skakače. Pri toj se aktivnosti konj oslanja na mišićno-tetivnu jedinicu, koja je dovoljno kompatibilna da pohrani i otpusti velike količine elastične energije u trenutku skoka ili sprinta, ali i jednako važna i u samom trenutku doskoka. Ako bi mišićno-tetivna jedinica bila ukočena to bi bilo štetno s obzirom na vrstu treninga, i ne samo ograničavajuća u izvedbi, nego bi i pridonosila učestalijim ozljedama. Stoga je kontrolirano istezanje ključno za smanjenje ozljeda u ovom tipu sporta, kroz povećanje popustljivosti mišićno-tetivne jedinice (HAMPSON i sur.,2005.).

LSSC aktivnost uočljiva je kod konja za utrke izdržljivosti, kod kojih je lokomocija relativno spora, ravnomjernog ritma i produženog trajanja (25 i više kilometara). Biomehanički tijekom LSSC lokomotorne aktivnosti, većina je energije proizvedena aktivnim koncentričnim radom mišića, a proizvedena snaga se prenosi na mišić preko nepopustljive mišićno-tetivne jedinice. Popustljivija mišićno-tetivna jedinica u ovom bi slučaju učinkovito smanjila količinu mišićnog rada pretvorenog u vanjski rad (HAMPSON i sur., 2005.).

Vrste istezanja mogu se podijeliti u četiri osnovne kategorije: balistička, statička, pasivna i proprioceptivno neuromuskularno smanjenje nivoa podražljivosti (PNF). Balističko istezanje karakterizirano je ponavljajućim odskakujućim pokretima, na kraju ROM-a. Ona se nije pokazala toliko djelotvorna, već se pokazala kao mogući uzročni čimbenik u ozljedi mišićno-tetivne jedinice (STANISH, 1982.). Statičko se istezanje odnosi na istezanje subjektovog mišića, kratko do trenutka boli, te zadržavanjem u tom položaju na 30-60 sekundi. Smatra se da bi subjekt sam trebao kontrolirati istezanje, što je nemoguće među životinjskom populacijom (HAMPSON i sur., 2006.). Pasivno se statičko istezanje izvodi uz pomoć partnera, te je samo istezanje primjenjeno vanjskom silom. Klinički ovaj oblik istezanja omogućuje fizioterapeutu da učinkovito upotrijebi kontraktilne elemente ili ekscentrično opterećenje mišićno-tetivne jedinice. Pasivno se istezanje najčešće koristi kod životinja s ciljem poboljšanja ROM-a. Ako se ova vježba provodi više puta kroz puni funkcionalni ROM, ova bi se tehnika nazivala PNF (*proprioceptive neuromuscular facilitation*), koja koristi refleksnu aktivaciju i inhibiciju (STANISH, 1982.). Ova se tehnika još naziva i neuromehanička mobilizacijska tehnika, jer terapeut ubrzano isteže mišićno-fascijalne i neurološke sustave.

2.7. TRENING I PREHRANA

Prehrana životinja sportaša se bitno razlikuje od prehrane životinja koje žive normalnim/sjedilačkim načinom života, te se ona mora prilagoditi treningu. U usporedbi s ljudskim, skeletni mišići pasa imaju više oksidativnih vlakana. U prehrani pasa sportaša (hrtovi i psi koji vuku saonice su najčešće korišteni model), najčešći je sastojak sirovo meso, koje samo nije uravnotežena prehrana, zbog nedostatka esencijalnih vitamina i minerala te taj deficit može dovesti do sekundarnog hiperparatireoidizma i posljedičnih fraktura. Hranjenje sirovim mesom može dovesti i do hipokalcemije, koja se lako ispravlja dodavanjem jednog grama koštanog brašna na 50 grama mesnog obroka. Hranjenje sirovim mesom može dovesti i do infekcija i intoksikacija povezanih s hranom, a najčešće su: *Salmonella*, *E. coli*, *Campylobacter*, *Listeria* i *Shigella* toksin. Dnevne energetske potrebe ovise o masi životinje, starosti, vrsti treninga, pasmini i temperaturi okoline. Niže vanjske temperature zahtijevaju manje energije za održavanje, ali ako temperature padnu ispod točke pri kojoj je tijelu potrebno da se zagrije, povećat će se stopa metabolizma i potreba za energijom (MILLARD, 2016.). Kod pasa s rijetkom dlakom ta je temperatura ispod 20°C, dok je kod pasa s dugom dlakom i podlakom ta temperatura ispod 0°C (FINKE, 1991.).

Potrebe za energijom ovise više o udaljenosti na koju se životinje kreće nego o brzini, pa tako je tako potrebno više energije psu koji hoda 21 kilometar, nego psu da pretrči 100 metara pri najvećoj brzini (HILL, 1998.). Kod ljudi se izdržljivost povećava povećanjem zaliha mišićnog glikogena, odnosno unosom hrane bogate ugljikohidratima. Psi, za razliku od ljudi, imaju dvostruko veću stopu metabolizma slobodnih masnih kiselina, pa su i mišići pasa prilagođeniji korištenju masti, nego mišići ljudi, zbog čega bi hrana pasa trebala biti bogatija mastima, a siromašnija ugljikohidratima kako bi im se povećala izdržljivost (DOWNEY, 1980.). Hrana bogata ugljikohidratima povisuje količine mišićnog glikogena, ali se on puno brže iskoristi tijekom kratkih vježbi visokog intenziteta. Osim masti, psima su potrebne i visoke količine bjelančevina u prehrani. Kod pasa sportaša, premali udio bjelančevina u hrani može dovesti do anemije, te bi hrana trebala imati barem 32% energije iz bjelančevina kako bi se spriječio pad hematokrita (KRONFELD i sur., 1977.). Osim samog načina hranjenja, bitno je i vrijeme. Psi se ne bi trebali hraniti tijekom vježbanja, nego bi se trebalo pričekati nakon kraćeg vremena odmora.

Bjelančevine su ključan makronutrijent u prehrani sportskih pasa jer pomažu u očuvanju integriteta mišića, održavaju optimalnu količinu ukupnih proteina, albumina i hematokrita te su endogeni izvor kreatina, koji sudjeluje u opskrbi mišića energijom. Masti, osim što su bogat izvor energije, povećavaju ukusnost i probavljivost hrane (BUREŠ i sur., 2019.). Radni psi hranjeni hranom s više masti imaju višu razinu slobodnih masnih kiselina, a samim povećanjem masti u obroku povećat će se maksimalni unos kisika i maksimalna razina koncentracije masti za 20-30% (REYNOLDS i sur., 1999.).

Kod konja sami protokol hranjenja neće poboljšati samu volju konja za natjecanjem, ali utječe na njegov trening i natjecateljsku sposobnost. Hranjenju kod sportskih konja nije svrha samo održavanje tjelesne mase, nego se načinom hranjenja i vrstom nutrijenata pomaže optimiziranje individualnog učinka, održava zdravlje i smanjuje se rizik od bolesti. Ciljevi hranidbenog protokola kod konja su: opskrba supstratima za održavanje tjelesne mase i nadoknađivanje energetske rezerve u mišićima i drugim tkivima, potpomaganje adaptacije tkiva, rasta i popravka tkiva, potpomaganje održavanja općeg zdravlja i dobrobiti, te primjena strategija hranjenja prilagođenih vrsti sportskih aktivnosti. Programi hranjenja su individualni za svaku jedinku koja se natječe i ovisi o temperamentu, stupnju treninga i natjecanja, dobi, jahaču, držanju i dostupnosti hrane za životinje. Hrana mora biti adekvatna s uravnoteženim unosom energije, proteina, vitamina i minerala te vode. Hrana koja se daje konju se najčešće dijeli na travu i sijeno, žitarice, biljna ulja, primarne izvore proteina, suplemente vitamina i minerala i druge aditivi. Od aminokiselina bitno je unošenje esencijalne aminokiseline lizina. Količina potrebe za masnim kiselinama kod konja nije poznata, ali se može javiti potreba za unošenjem linolne kiseline. Od vitamina i minerala važni su natrij, kalij, klor, kalcij, fosfor, magnezij, bakar, cink, mangan, željezo, kobalt, selen, jod te vitamini A, D, E, K, C, tiamin, biotin i folna kiselina (HARRIS i GEOR, 2014.).

3. RASPRAVA

Fiziologija sporta je grana fiziologije koja proučava djelovanje produljenje fizičke aktivnosti na mišićni, koštani, kardiovaskularni i respiratorni sustav, metaboličke parametre, tjelesnu konstituciju i na sve ostale organske sustave na koje fizička aktivnost ima utjecaj.

Za pojačan mišićni rad potrebna je i veća količina energije, koja se dobiva iz hrane preko aerobnih i anaerobnih puteva stvaranja energije. Koji će se put stvaranja energije koristiti, ovisiti će o genskoj predispoziciji, vrsti fizičke aktivnosti, njezinom trajanju i udaljenosti na kojoj se izvodi. Maksimalan unos kisika je parametar kojim se određuje maksimalna aerobna stopa metabolizma i koristi se kao indikator intenziteta vježbanja.

Prilikom povećane fizičke aktivnosti mišići se mijenjaju u obliku hipertrofije ili u obliku remodulacije bez mišićne hipertrofije. O vrsti fizičke aktivnosti i njenom trajanju, ovisit će i na koji će se način sami mišić mijenjati, a također može doći i do tranzicije mišićnih vlakana. Najznačajnija kardiovaskularna promjena je smanjenje brzine otkucaja srca pri istoj brzini vježbanja, srce je povećano, kao i količina plazme, eritrocita i hemoglobina.

Za određivanje anaerobnog statusa, najčešće korištena metoda je mjerenje koncentracije krvnog laktata u krvi, koji se višestruko povećava pri pojačanom mišićnom radi, ali se isto tako brzo vraća na fiziološke vrijednost prilikom mirovanja.

Najpoznatije životinje sportaši, koje su najčešće i korištene za istraživanja o utjecaju povećane fizičke aktivnosti su: sportski konji, psi koji vuku saonice, psi za lov, hrtovi za utrke i psi za agility i flyball. Za svaku vrstu sportskih životinja, te za svaku pojedinačnu jedinku koja se natječe, potrebno je imati individualni protokol uvođenja u trening i samog treninga te individualnu prehranu koja će odgovarati energetske i nutritivne potrebama.

4. ZAKLJUČCI

1. Energija potrebna za mišićni rad dobiva se iz fosfagenog sustava, sustava glikogen-mliječna kiselina i iz aerobnog sustava.
2. Tijekom vježbanja aktivni su i aerobni i anaerobni putovi stvaranja energije, a koji će se koristiti u određenom trenutku ovisi će o vrsti, intenzitetu i trajanju fizičke aktivnosti, o tipu mišićnih vlakana, dostupnosti kisika i nutrijenata i aktivnosti enzima.
3. Maksimalan unos kisika linearno raste s pojačanjem intenziteta vježbi i indikator je vježbi visokog intenziteta.
4. Vježbanjem se pospješuje put kisika, dolazi do promjena u građi i veličini mišića. Dolazi do povećanja veličine srca i smanjenja broja otkucaja u minuti. Povećava se i količina krvne plazme, eritrocita i hemoglobina te krvnog tlaka. Prilikom vježbanja dolazi do pojačane aktivnosti enzima, npr. enzima TCA ciklusa, AMP-deaminaze, CK i drugih.
5. Svaku životinju korištenu za sport potrebno je postupno uvoditi u trening, prvo kroz igru, a kasnije kroz individualne trenažne programe ovisno o namijeni i očekivanoj izvedbi. Osim samih programa treninga, sportskim je životinjama potrebno prilagoditi i prehranu, koja će pratiti povećanu potrebu za energijom i nutrijentima.

5. LITERATURA

ANONIMUS (2012): A little anatomy and physiology of the greyhound. <https://adoptiongreyhound.wordpress.com/category/a-little-anatomy-and-physiology-of-the-greyhound/> (posjet 17.4.2020.)

ANONIMUS (2020): Flyball <http://www.kossp.hr/flyball/> (posjet. 4.9.2020.)

ART, T., P. LEKEUX (1995): Ventilatory and arterial blood gas tension adjustments to strenuous exercise in Standardbreds. *Am. J. Vet. Res.* 56 (10): 1332-1337.

BALTZER, W. (2012); Preventing injury in sporting dogs. *Veterinary medicine.* 178-183.

BANSE, H. E., R. H. SIDES, B. C. RUBY, W. M. BAYLY (2007): Effects of endurance training on VO₂max and submaximal blood lactate concentrations of untrained sled dogs. *Equine Compr. Exerc. Physiol.* 4: 89-94.

BELLENGER, S., A.J. DAVIE, D. L. EVANS (1995): Effects of low intensity training on gas exchange at the start of exercise. *Equine Vet. J.* 18: 43-46.

BUREŠ, T., Z. VRBANAC, N. BRKLJAČA BOTTEGARO, J. ŠURAN, I. ŠMIT, D. BROZIĆ (2019): Prehrana sportskih i radnih pasa. *Hrvatski veterinarski vjesnik*; 27: 3-4.)

CHRISTLEY, R. M., D. R. HODGSON, D. L. EVANS, R. J. ROSE (1997): Effects of training on the development of exercise-induced arterial hypoxaemia in horses. *Am. J. Vet. Res.* 58 (6): 653-657.

CONSTABLE, P. D., K. W. HINCHCLIFF, J. L. OLSON, R. L. HAMLIN (1994): Athletic heart syndrome in dogs competing in a long-distance sled race. *J. Appl. Physiol.* 76: 433-438.

CONSTABLE, P. D., K. W. HINCHCLIFF, J. OLSEN, R. L. STEPIEN (2000): Effects of endurance training on standard and signal-averaged electrocardiograms of sled dogs. *Am. J. Vet. Res.* 61: 582-588.

DAVIS, M. S., W. C. DAVIS, W.Y. ENSING, K. W. HINCHELIF, T. C. HOLBROOK, K. K. WILLIAMSON (2008): Effects of training and strenuous exercise on hematologic values and peripheral blood leukocyte subsets in racing sled dogs. *JAVMA*, Vol 232, No.6, 873-878.

DOWNEY, R. (1980): Diet of beagles affects stamina. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 16: 273-277.

DROST, W. T., C. G. COUTO, A. J. FISCHETTI, J. S. MATTOON, C. IAZBIK (2006): Comparison of glomerula filtration rate between Greyhounds and non-Greyhound dogs. *J. Vet. Intern. Med.* 20: 544-546.

EATON, M. D. (1994): Energetics and performance. U: HODGSON, D. R., R. J. ROSE (ur) *The athletic horse: Principles and practice of equine sport medicine.* W. B. Saunders, Philadelphia, 19-61.

EATON, M. D., D.R. HODGSON, D. L. EVANS, R. J. ROSE (1995): Maximal accumulated oxygen defficit in Thoroughbred horses. *J. Appl. Physiol*, 1564-1568.

FAYOS, M., C. G. COUTO, M. C. CLINE JAZBIK, M. WELLMAN (2005): Serum protein electrophoresis in retired racing Greyhounds. *Vet. Clin. Pathol.* 34: 397-400.

FINKE, M. D. (1991): Evaluation of the energy requirements of adult kennel dog. *J. Nutr.* 121: S22-S28.

FUKUNAGA, T.,S. KUROKAWA (1996): Muscle fibre behaviour during drop jump in human. *J. Appl. Physiol.* 80: 158–165

GEOR R. J., L. J. McCUTHEON, K. W. HINCHCLIFF (2000): Effects of warm up intensity on kinetics of oxygen consumption and carbon dioxide production during high-intensity excercise in horses. *Am. J. Vet. Res.* 61(6): 638-645.

GERARD, M. P., E. DE GRAAF-ROELFSEMA, D. R. HODGSON, J. H. VAN DER KOLK (1994): Energetic consideration of exercise. U: HODGSON, D. R., K.H. McKEEVER, C. M. MCGOWAN (ur) *The athletic horse: Principles and practice of equine sport medicine.* 2nd edition, Saunders Elsevier, Philadelphia, 19-61.

GOFF, L. (2016): *Equine sport medicine and performance managment.* U: GOFF L., C. M. MCGOWAN (ur), *Animal physiotherapy: Assessment, treatment and rehabilitation of animals* Willey Blackwell, West Sussex, 329-346.

GUYTON, A. C. (1990): Kontrakcija skeletnog mišića. U: FIŠTER, V., F. ČULO (ur) *Medicinska fiziologija XI hrvatsko preštampano izdanje, Medicinska knjiga, Zagreb,* 169-190.

GUYTON, A.C. i J. E. HALL (2006): *Textbook of Medical Physiology.* 11th Edition, Elsevier Saunders, Amsterdam, 1116.

HALL, JOHN E. (2016) Sports Physiology. U: HALL, J. E., A. C. GUYTON (ur), Guyton and Hall: Textbook of Medical Physiology. 13th edition, Elsevier, Philadelphia, 1085-1096.

HAMPSON, B., N. C. STUBBS, C. M. MCGOWAN (2005): Stretching for performance enhancement and injury prevention in animal athletes. *Veterinarian* December: 35–39.

HARRIS, P. A., R. J. GEOR (2014) Nutrition for the equine athlete: nutrient requirements and key principles in ration design. U: HINCLIFF, K. W., A. J. KANEPS, R. J. GEOR (ur), Equine sports medicine and surgery: Basic and clinical sciences of the equine athlete. 2nd edition, Saunders Elsevier, Philadelphia, 797-817.

HECK, R. W., K. H. MCKEEVER, S. E. ALWAY, W. K. AUGER, R. WHITEHEAD, A. L. BERTONE, J. A. LOMBARDO (1996): Resistance training-induced increases in muscle mass and performance ponies. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: 877-883.

HILL, R. C (1998): The nutritional requirements of exercising dogs. *J. Nutr.* 128: S2686-S2690.

HILL, R. W., G. A. WYSE, M. ANDERSON (2012) Movement and muscle at Work: Plasticity in response to use and disuse. U: HILL, R. W., G. A. WYSE, M. ANDERSON (ur), Animal physiology., 3rd edition, Sinauer Associates, Massachusetts, 549-566.

HINCHLIFF, K. W. (2014): The horse as an athlete. U: Equine sports medicine (Hincliff, K.W., A. J. Kaneps, R. J. Geor). 2nd edition, Saunders Elsevier, Philadelphia; str. 3-10.

<https://adventure.howstuffworks.com/outdoor-activities/snow-sports/sled-dog.htm> (posjet 1.4.2020.)

KLOBUČAR, K., Z. VRBANAC, J. GOTIĆ, K. BOJANIĆ, T. BUREŠ, N. BRKLJAČA BOTTEGARO (2019): Changes in biochemical parameters in horses during 40 km and 80 km endurance races. *Acta Veterinaria*; 69(1): 73-87.

KLOBUČAR, K., Z. VRBANAC, T. BUREŠ, N. BRKLJAČA BOTTEGARO (2020) Sindrom iscrpljenosti konja. *Veterinarska stanica*; 51(1): 79-86.

KRONFELD, D.S., E.P. HAMMEL, V.K. GANJAM Jr., H.L. DUNLAP Jr. (1977): Hematological and metabolic responses to training in racing sled dogs fed diets containing medium, low or zero carbohydrate. *Am. J. Clin. Nutr.* 30: 419-430.

MARLIN, D. J., K. NANKERVIS (2002): Skeletal responses. U: HINCLIFF, K.W., R. J. GEOR (ur), *Equine exercise physiology* Blackwell Science, Oxford, 86-93.

McGOWAN, C. M., B. HAMPSON (2016): Comparative exercise physiology. U: McGOWAN, C. M., L. GOFF (ur), *Animal physiotherapy: Assessment, treatment and rehabilitation of animals*. Willey Blackwell, West Sussex, 329-346.

McGOWAN, C. M., L. C. GOLLAND, D. L. EVANS (2002): Effects of prolonged training, overtraining and detraining on skeletal muscle metabolites and enzymes. *Equine Vet. J.* 34: 257-263.

McKEEVER, K. H., W. A. SCHURG, V. A. CONVERTINO (1985): Exercise training-included hypervolemia in greyhounds: role of water intake and renal mechanism. *Am. J. Physiol.* 248: 422-425.

MILLARD, R. (2014): Exercise physiology of the canine athlete. U: MILLIS, D. L., D. LEVINE (ur.), *Canine rehabilitation and physical therapy*. Philadelphia, Elsevier Saunders. 162-179.

MILLER, B. F., J. C. DRAKE, F. F. PEELOR III., L. M. BIELA, R. GEOR, K. HINCHCLIFF, M. DAVIS, K. L. HAMILTON (2014): Participation in a 1,000-mile race increases the oxidation of carbohydrate in Alaskan sled dogs. *J. Appl. Physiol.* 118:1502-1509.

MUSCH, T. I., G. C. HAIDET, G. A. ORDWAY, J. C. LONGHURST, J. H. MITCHELL (1987): Training effects on regional blood flow response to maximal exercise in fox-hound. *J. Appl. Physiol.* 62: 1724-1732.

MUSCH, T. I., G. C. HAIDET, G. A. ORDWAY, J. C. LONGHURST, J. H. MITCHELL (1985): Dynamic exercise training in foxhound. 1. Oxygen consumption and hemodynamic responses. *J. Appl. Physiol.* 59: 183-189.

NEARY, KATHLEEN S. „How sled dogs work“

PARSONS, D., T. I. MUSCH, R. L. MOORE, G. C. HAIDET, G. A. ORDWAY (1985): Dynamic exercise training in foxhounds. II. Analysis of skeletal muscles. *J. Appl. Physiol.* 59:190-197.

PFAU, T., A. SPENCE, S. STARK, M. FERRARI, A. M. WILSON (2009): Modern riding style improves horse-racing times. *Science* 325, 289-293.

POOLE, D. C. (2004): Current concepts of oxygen transport during exercise. *Equine Compr. Exerc. Physiol.* 1: 5-22

PUUSTJARVI, K., M. TAMMI, M. REINIKAINEN, J. HELMINEM, L. PALJARVI (1994): Running training alters fiber type composition in spinal muscles. *Eur. Spine J.* 3:17-21.

RADIN, L., M. BELIĆ, N. BRKLJAČA BOTTEGARO, H. HRASTIĆ, M. TORTI, V. VUČETIĆ, D. STANIN, Z. VRBANAC (2015): Heart rate deflection point during incremental test in competitive agility border collies. *Vet. Res. Commun.* 39: 137-142.

RIVERO, J. L. (2007): A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. *Equine Vet. J. Suppl.*, 54: 321-332.

RIVERO, J. L., A. RUZ, S. MARTI-KROFF, J. C. ESTEPA, E. AGUILERA-TEJERO, J. WERKMAN, M. SOBOTTA, A. LINDNER (2007): Effects of intensity and duration of exercise on muscular responses to training of thoroughbred racehorses. *J. Appl. Physiol.* 102: 1871-1882.

RIVERO, J. L., R. J. PIERCY (2014) Muscle physiology: responses to exercise and training. U: HINCHCLIFF, K. W., A. J. KANEPS, R. J. GEOR (ur), Equine sports medicine and surgery: Basic and clinical sciences of the equine athlete. 2nd edition, Saunders Elsevier, Philadelphia, 69-108.

ROSE, R. J., M. S. BLOOMBERG (1989): Responses to sprint exercise in the Greyhound: effects on hematology, serum biochemistry and muscle metabolites. *Res. Vet. Sci.* 47: 212-218.

ROVIRA, S., A. MUNOZ, M. BENITO (2007): Fluid and electrolyte shifts during and after agility competitions in dogs. *J. Vet. Med. Sci.* 69: 31-35.

SAGHIV, M. S., M. S. SAGIV (2020): Basic Exercise Physiology. Springer Nature Switzerland AG, 1-2.

SAVIGNY, M., J. BERZON (2019): Measuring blood lactate levels. <https://www.vetfolio.com/learn/article/measuring-blood-lactate-levels> (posjet 4.9.2020.)

SERRANO, A. L., E. QUIROZ-ROTHER, J. L. L. RIVERO (2000): Early and long-term changes of equine skeletal muscle in response to endurance training and detraining. *Pflugers Arch. Eur. J. Physiol.* 441: 263-274.

- SERRANO, A. L., J. L. RIVERO (2000): Myosin heavy chain profile of equine gluteus medius muscle following prolonged draught-exercise training and detraining. *J. Muscle Res. Cell Motil*, 21: 235-245.
- SHARP, CRAIG N. C. (2012) Animal athletes: a performance review. *Veterinary Record*, No 171, 87-94.
- SHELLOCK, F. G., W. E. PRENTICE (1985): Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sport-related injuries. *Sport Med*. 2(4): 267-278.
- SINCLAIR, C., H.L. BIRCH, R. K. W. SMITH, A.E. GOODSHIP (2014): Skeletal physiology: responses to exercise and training. U: HINCHCLIFF, K. W., A. J. KANEPS, R. J. GEOR (ur), *Equine sports medicine and surgery: Basic and clinical sciences of the equine athlete*.). 2nd edition, Saunders Elsevier, Philadelphia, 145-165.
- STAADEN, R. (1984): The exercise physiology of the racing Greyhound. Phd thesis, Murdoch University, Australia.
- STANISH, W.D. (1982): Neurophysiology of Stretching: prevention and treatment of running injuries. Slack, Thorofare, NJ, 135–145.
- SUWANNACHOT, P., C. B. VERKLEIJ, S. KOCSIS, P. R. VAN WEEREN, M. E. EVERTS (2001): Specificity and reversibility of the training effects on the concentration of Na⁺, K⁺-Atpase in foal skeletal muscle. *Equine Vet. J.*, 33: 250-255.
- TAYLOR, D.C., J.D. DALTON, A. V. SEABER, W. E. GARRET Jr. (1990): Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. *Am. J. Sports Med*. 183: 300–330
- TONIOLO, L., L. MACCATROZZO, M. PATRUNO, E. PAVAN, F. CALIARO, R. ROSSI, C. RINALDI, M. CANEPARI, C. REGGIANI, F. MASCARELLO (2007): Fiber types in canine muscles: myosin isoform expression and functional characterization. *Am. J. Physiol. Cell Physiol*. 292(5): 1915-1926.
- TYLER, C. M., L. C. GOLLAND, D. L. EVANS, D. R. HODGONS, R. J. ROSE (1998): skeletal muscle adaptations to prolonged training, overtraining and detraining in horses. *Pflugers Arch. Eur. J. Physiol*. 81: 391-397.

TYLER, C. M., L. C. GOLLAND, D. L. EVANS, D. R. HODGONS, R. J. ROSE (1996): Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining and detraining in horses. *J. Appl. Physiol.* 81: 2244-2249.

VAN CITTERS, R. L., D. L. FRANKLIN (1969): Cardiovascular performance of Alaska sled dogs during exercise. *Circ. Res.* 24: 33-42.

VILAR, P., C. G. COUTO, N. WESTERNDORF, C. IAZBIK, J. CHARSKÉ, L. MARIN (2008): Thromboelastographic tracings in retired racing Greyhounds and in non-Greyhound dogs. *J. Vet. Intern. Med.* 22: 374-379.

VRBANAC, Z., M. BELIĆ, N. BRKLJAČA BOTTEGARO, I. BLAŽEVIĆ, D. KOLARIĆ, S. VOJVODIĆ-SCHUSTER, M. BENIĆ, V. KUŠEC, D. STANIN (2016): The effects of long term moderate intensity exercise on heart rate and metabolic status in sedentary Labrador Retrievers. *Veterinarski arhiv*; 86(4): 553-564.

WEST, KRISTA: „Learning fat burning secrets from sled dogs“. <https://www.scientificamerican.com/article/sled-dog-science/> (posjet 1.4.2020)

WISE, J. A., R. C. HARRIS, C. A. HILL (2007): Comparative and evolutionary adaptations of muscle buffering capacity in species subject to varying degrees of acidosis. *Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology*; 21: 965-970.

ZINK, C. M. (2013): What is a canine athlete? U: VAN DYKE J. B., M. C. ZINK (ur) Canine sports medicine and rehabilitation. Willey-Blackwell, London, pp 1–19

6. SAŽETAK

Fiziologija sporta je grana fiziologije, koja proučava utjecaj vježbe na mišićni, koštani, kardiovaskularni i respiratorni sustav, na metabolizam, enzime, krvne i biokemijske parametre, u odnosu na fiziološke parametre i građu. U ovom su diplomskom radu, osim samih odgovora pojedinih anatomskih sustava na pojačanu fizičku aktivnost, prikazane i osnove anatomije i fiziologije mišićnog i koštanog sustava kao glavnih sudionika u fizičkim aktivnostima. Od životinja sportaša najznačajniji su sportski konji, hrtovi za utrke, psi koji vuku saonice te psi za *agility* i *flyball*. Za svaku sportsku životinju potrebno je imati individualni trenerski program i prilagođenu prehranu.

Ključne riječi: fiziologija sporta, sportski konji, sportski psi

7. SUMMARY

SPORTS PHYSIOLOGY

Sports physiology is a branch of physiology that studies the impact of exercise on the muscular, skeletal, cardiovascular and respiratory systems, metabolism, enzymes, blood and biochemical parameters. In this graduate thesis, in addition to the responses of individual anatomical systems to physical activity and exercise, the basics of anatomy and physiology of the muscular and skeletal system as the main participants in physical activities are presented. The most important animal athletes are sport horses, race dogs, sled dogs and dogs for agility and flyball. For each sports animal, it is necessary to have an individual training program and balanced nutrition.

Key words: sports physiology, sport horses, sport dogs

8. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 7. lipnja 1993. godine u Zagrebu. U Zagrebu sam s obitelji živjela do 1995. godine, kada smo se zbog ratnih neprilika preselili u rodno mjesto moje bake, grad Vrbovec.

2000. godine sam upisala II. osnovnu školu u Vrbovcu, koju završavam 2008. te upisujem Opću gimnaziju u Vrbovcu.

Kroz cijelu osnovnu i srednju školu trenirala sam u mažoretkinjama te nakon četiri godine u seniorskom sastavu postajem njihov predvodnik, trener i koreograf. S njima sam putovala po zemlji i izvan nje predstavljajući svoj grad Vrbovec i Hrvatsku.

Nakon uspješno položene državne mature 2012. godine upisujem Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu kao prvi izbor, jer sam oduvijek rasla uz životinje i nedaleko od sela koje sam često posjećivala.

Od fakultetskih aktivnosti sudjelovala sam 2017. na CEEPUS-ovom Short Lipizzan Excursion u Beču te na 7. nacionalnom kongresu „Veterinarska znanost i struka“ 2017. godine.

U sklopu sveučilišta sam završila napredne tečajeve za Office Power Point i Excel.