

# Aerobna izdržljivost i što je definira?

---

**Malenica, Petra**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:221:596157>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ KINEZIOLOGIJE

**AEROBNA IZDRŽLJIVOST I ŠTO JE  
DEFINIRA?**

(DIPLOMSKI RAD)

Split, 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ KINEZIOLOGIJE

# **AEROBNA IZDRŽLJIVOST I ŠTO JE DEFINIRA?**

(DIPLOMSKI RAD)

**Student:**

Petra Malenica

**Mentor:**

doc. dr. sc. Nikola Foretić

**Sumentor:**

doc. dr. sc. Šime Veršić

Split, 2022.

## Table of Contents

1.	UVOD .....	3
1.1.	Fiziološka osnova aerobnog metabolizma .....	5
1.2.	Uloga kardio-respiratornog sustava u aerobnom metabolizmu .....	7
1.3.	Plućna izmjena plinova.....	7
1.4.	Transport kisika .....	8
1.5.	Stanična izmjena plinova.....	10
1.6.	Stanično iskorištavanje kisika i Kerbsov ciklus .....	11
2.	Dosadašnja istraživanja.....	11
3.	Problemi rada .....	13
4.	Cilj rada .....	13
5.	Hipoteze .....	14
6.	Metode rada.....	14
6.1.	Ispitanici i protokol mjerenja.....	14
6.2.	Varijable .....	15
6.3.	Statistika.....	21
7.	Rezultati .....	21
8.	Rasprava.....	24
8.1.	Povezanost morfoloških karakteristika s Yo yo testom .....	24
8.2.	Povezanost agilnosti s Yo yo testom.....	25
8.3.	Povezanost jakosti s Yo yo testom.....	25
8.4.	Povezanost eksplozivnosti s Yo yo testom .....	26
8.5.	Povezanost anaerobne izdržljivosti s Yo yo testom .....	26
9.	Zaključak .....	28
10.	Literatura.....	29

## **SAŽETAK**

Cilj rada bio je utvrditi povezanost Yo yo testa s baterijom morfoloških, motoričkih i funkcionalnih testova. Ispitanici su bili studenti kineziologije, miješano muškog i ženskog spola, njih 21. Prosječna visina ispitanika bila je 175 centimetara, a težina 70 kilograma. Testovi su se odrađivali unutar dva dana s razmakom od 7 dana s ciljem bolje izvedbe testova i otklanjanja efekta umora. Rezultati su pokazali povezanost pojedinih testova, agilnosti, jakosti, eksplozivnosti, te nekih morfoloških karakteristika. Dobivene rezultate nije lako interpretirati, obzirom da, barem teoretski, ne bi trebala postojati povezanost između korištenih testova s Yo yo testom, te generalno aerobnom izdržljivošću. Povezanost smo vjerojatno dobili zbog upliva drugih varijabli, kao što je spol, generalni trenažni status, te morfološke razlike.

*Ključne riječi:* Yo yo test, funkcionalne sposobnosti, aerobna izdržljivost

## **ABSTRACT**

### **Aerobic endurance and what defines it?**

The aim of this study was to determine the association of Yo yo test with a battery of morphological, motor and functional tests. The respondents were students of kinesiology, mixed male and female, 21 of them. The average height of the respondents was 175 centimeters and weight 70 kilograms. The tests were performed within two days with an interval of 7 days in order to better perform the tests and eliminate the effect of fatigue. The results showed the connection between individual tests, agility, strength, explosiveness, and some morphological characteristics. The results obtained are not easy to interpret, given that, at least in theory, there should be no association between the tests used with the Yo yo test, and aerobic endurance in general. The association was probably due to the influence of other variables, such as gender, general training status, and morphological differences.

*Key words:* Yo yo test, functional tests, aerobic endurance

## 1. UVOD

Sposobnost obavljanja rada definira čovjekovo kretanje. U bilo kojoj fizičkoj aktivnosti sposobnost da mišićno-tetivni sustav, zajedno sa motoričkim neuralnim sustavom, proizvede pokret definirano je namicanjem energije. Ova karakteristika ljudskog tijela iznimno je važna za daljnje proučavanje ljudskog pokreta. Količina energije dostupne za obavljanje mišićnog rada je limitirana, a samim time, limitirana je i moguća količina rada koju ljudsko tijelo može obaviti (Hall J.E., 2015).

Mišići, ali i drugi organski sustavi u ljudskom tijelu, za svoj rad koriste adenzin-trifosfat (ATP) kao energetska molekulu za namicanje energije. ATP je molekula zadužena za unutar-stanični prijenos energije, te se njenom razgradnjom oslobađa energija koja se koristi za mišićne kontrakcije. Otpuštanjem jedne ili dvije fosfatne grupe s molekula ATP-a, nastaje ADT ili AMP (adenozin difosfat; adenzin monofosfat). Jednom kada je molekula ATP-a prešla u AMP potrebno je ostvariti fosfatnu resintezu, u suprotnom, molekula AMP-a nije u stanju prenijeti više energije potrebne za obavljanje mišićnog rada. Količina ATP-a u ljudskom tijelu je ograničena, pa je brza i konstantna resinteza ATP-a i namicanje novog ATP-a ključno za dugotrajno i konstantno obavljanje mišićnog rada (Hall J.E., 2015).

Namicanje ATP-a i njegova resinteza u ljudskom organizmu može se ostvariti na 4 načina: 1) Iz skladišta fosfo-kreatina; 2) Iz glukoze putem anaerobne glikolize; 3) iz glukoze putem aerobne glikolize; 4) Iz slobodnih masnih kiselina putem beta oksidacije. Promatranjem procesa resineteze ATP, možemo definirati da postoje 4 energetska mehanizma namicanja energije potrebne za mišićni rad. Ipak, kako se proces namicanja energije putem aerobne glikolize i putem masti (beta-oksidacije) odvija uz prisustvo kisika, u literaturi najčešće pričamo o tri energetska sustava ljudskog tijela: 1) anaerobni alaktatni sustav ili fosfageni sustav; 2) anaerobni laktatni sustav ili glikolitički sustav; 3) aerobni sustav (Kenney W.L. i sur. 2019) .

Ovakva podjela je opće prihvaćena u gotovo svim udžbenicima sportske fiziologije i kao takvu ćemo je koristiti u nastavku ovog rada, a dalje u tekstu definirati ćemo i objasniti svaki od 3 energetska sustava. Potrebno je reći da, ukoliko želimo jasno definirati aerobni sustav i njegove limite, podjela aerobnog metabolizma na metabolizam glukoze i metabolizam masti mora postojati, a o tome više u nastavku rada.

Sposobnost aerobne izdržljivosti tako je, gledajući 3 energetska sustava ljudskog tijela, poprilično jasna, i implicira jasnu diferencijaciju između pojedinog sustava. Stvarnost ipak nije toliko jednostavna i biokemijski procesi u ljudskom tijelu kompleksniji su nego nam to udžbenici mogu dočarati. Netočno je da ova tri sustava rade odvojeno. Zapravo, rad ova tri sustava konstantno je isprepleten i sva 3 sustava su uvijek jednim dijelom aktivna. Recimo, prilikom eksplozivnih i snažnih mišićnih kontrakcija, mišići brzo potroše uskladištene količine ATP-a (unutar 1-2 sekunde) (Hargreaws M. i sur., 2020). Da bi mišići nastavili rad, potrebna im je gotovo direktna resinteza fosfatnih grupa. Ona se ostvaruje putem skladišta fosfo-kreatina koji omogućuje nastavak snažnih mišićnih kontrakcija (6-8 sekundi) (Hargreaws M. i sur., 2020). Jednom kada količina fosfo-kreatina padne preko kritične točke, nastavak rada mišića na istoj snazi (W) nije moguća. Kada mišići prestanu s radom, obnavljanje ATP-a i fosfo-kreatina odvija se putem aerobnog metabolizma. Ovo samo ukazuje na veliku isprepletenost samih energetskih sustava, i zato je nemoguće promatrati svaki pojedini sustav izolirano jedan od drugoga, što se često radi.

Aerobna izdržljivost tako je definirana obavljanjem rada u kojoj dominira aerobni metabolizam, uz malu prisutnost fosfagenog i laktatnog metabolizma (Wilmore J.H. i sur. 2019). Najčešće kada pričamo o aerobnoj izdržljivosti i što je definira, spominjemo vršni primitak kisika ( $VO_{2max}$ ) i laktatni prag (OBLA). Ova dva parametra detaljno ćemo opisati u nastavku teksta kao dva ključna fiziološka markera koji definiraju aerobnu izdržljivost. Međutim, ukazati ćemo i na limite ovih parametara o kojima se rijetko priča, a važni su za razumijevanje fenomena aerobne izdržljivosti i što je limitira.

U ovom radu detaljno ćemo se pozabaviti i testiranjem aerobne izdržljivosti. Gledano metabolički, aerobna izdržljivost predstavljala bi maksimalnu količinu vremena provedenog na vršnom primitku kisika ( $VO_{2max}$ ), obzirom da vršni primitak kisika predstavlja maksimalnu količinu aerobnog namicanja energije. Vrijeme provedeno na ovoj granici varira od sportaša do sportaša, te tipa zadatka koji se izvodi. Najčešće, vrijeme rada provedeno na  $VO_{2max}$  iznosi između 4-8 minuta. Stoga, testovi koje koristimo u cilju ispitivanja aerobne izdržljivosti najčešće se izvode: 1) maksimalnim intenzitetom trajanja unutar 4-8 minuta (trčanje na 1500 metara; trčanje na 1 milju; modificirani Cooperov test i sl.); 2) Progresivnim testovima opterećenja s ciljem postepenog aktiviranja aerobnog metabolizma (Beep test, IFT 30-15, Conconi test i sl.). Koji su od ovih testova bolji za ispitivanje aerobne izdržljivosti? S jedne strane,

testovi progresivnog povećanja opterećenja stvaraju manji stres na anaerobne kapacitete (zaobilazi se inertnost aerobnog sustava), te je tempo izvođenja unaprijed određen, pa se isključuje mogućnost da netko napravi test bolje na račun ranije „familiarizacije“ s testom. S druge strane, u ni jednom sportu izdržljivosti nemamo natjecanje koje zahtjeva progresivno povećanje opterećenja, već se od početka do kraja natjecanja stvara pritisak na natjecatelja da obavlja rad na svom „maksimumu“. Stoga, prva grupa testova je ekološki validnija, jer je bliža stvarnom stanju kojeg vidimo u sportu. Treba naglasiti da će definiranje aerobne izdržljivosti jako ovisiti o tome kroz kakvu prizmu promatramo na izdržljivost i koji nam je primarni „modus operandi“. Postavlja se također pitanje, što je s radom koji prelazi navedenu količinu vremena od 4 do 8 minuta? Dakle, može li  $VO_{2max}$  jasno definirati kapacitet izdržljivosti u radnjama u kojima je količina aerobnog namicanja energije manja od maksimalne, ali su potrebe aerobnog rada puno duže? Da bi mogli odgovoriti na ovakva pitanja, potrebno je razumjeti ostale fiziološke parametre koji definiraju aerobni metabolizam, ali i druge parametre koji definiraju samu izdržljivost, kao što su bio-mehanički parametri, psihološki parametri i drugi.

Neki od bio-mehaničkih parametara koji se u literaturi spominju kao važni za aerobni izdržljivost je ekonomija kretanja (trčanja, bicikliranja, veslanja i dr.). Svaka aktivnost ima zasebnu priču oko toga koji parametri najviše definiraju ekonomiju kretanja. Tako se uz trčanje najčešće spominje sinkronizacija segmenata tijela (tehnika trčanja), korištenje elastične energije koju pohranjuju tetive, te optimalna kadenca. U biciklizmu veliku važnost daje se na poziciji tijela prilikom vožnje bicikla s ciljem smanjenja otpora zraka, koji s povećanjem brzine predstavlja sve veći i veći problem, ali i optimalnom prijenosu sile s nogu na „papučice“ bicikla. Gledano cjelokupno, jako je teško definirati aerobnu izdržljivost, jer na nju igraju brojni faktori, pa to konstantno moramo imati na pameti.

## 1.1. Fiziološka osnova aerobnog metabolizma

Aerobni metabolizam predstavlja kompleksnu biokemijsku seriju reakcija pri kojoj se unijeta i uskladištena energija iz hrane pretvara u energiju potrebnu za rad organa, gdje se kemijske reakcije odvijaju uz prisustvo kisika. Gledano s područja tjelesne aktivnosti i rada, aerobni metabolizam je serija kemijskih reakcija za koju je potrebno prisustvo kisika, a koje kompleksnim metaboličkim putevima razgrađuju energiju iz masti i



ugljikohidrata (slobodnih masnih kiselina, triglicerida, glikogena i glukoze) i pretvaraju je u mehanički (mišićni) rad i toplinu.

Serijski kemijski spojevi kroz koje prolaze izvori energije potrebni za mišićni rad, uključuju djelovanje kisika, naziva se Krebsov ciklus, i dobro je opisan u literaturi. Ovakvim iskorištavanjem energije, po jednoj molekuli glukoze može se proizvesti 38 molekula ATP-a (Wilmore J.H. i sur. 2019). Po jednoj masnoj kiselini koja sadrži 16 ugljikovih spojeva može se proizvesti 129 molekula ATP-a, ali je biokemijski proces mnogo složeniji, i zahtjeva veću količinu kisika u odnosu na Krebsov ciklus i izgaranje molekule glukoze. Ovo igra važnu ulogu u razumijevanju aerobne izdržljivosti, ali o tome nešto više kasnije u radu.

ATP se može stvoriti i bez prisustva kisika, ali takav proces stvara mnogo manje molekula ATP-a po molekuli glukoze, preciznije 2 ATP-a. Stoga, ovakav način namicanja energije potrebne za rad je neefikasan, jer je skladište glukoze (glikogena) u tijelu limitirano. Osim toga, ovakvo namicanje energije stvara „metabolički otpad“ koji igra ulogu u povećanju kiselosti krvi u mišićima, koja dovodi do smanjene efikasnosti mišićnog rada, te na posljeticu i mišićnog zamora (prestanka rada). Stoga, da bi razumjeli aerobnu izdržljivost, te aerobni metabolizam, potrebno je proučiti kada i zašto mišićna stanica prestaje dominantno namicati energiju aerobnim putem, a dominantno namiče energiju anaerobnim putem koji stvara „metabolički otpad“.

Obzirom kako smo rekli da je za aerobni metabolizam potrebno prisustvo kisika, dalje u radu pozabaviti ćemo se ulogom kisika u mišićnom radu, njegovim transportom, staničnom respiracijom, te nusproduktima aerobnog metabolizma. Probati ćemo što jasnije objasniti put kisika iz vanjskog okoliša, njegovog reagiranja s ugljikohidratima i mastima, te transporta i uklanjanja onoga što nastaje aerobnim namicanjem energije. Osim toga, pozabaviti ćemo se i anaerobnim metabolizmom, preciznije, namicanjem energije iz glukoze dobivene bez prisustva kisika, nusproduktima koje takav metabolizam stvara, te njihovim utjecajem na ljudski organizam.

## 1.2. Uloga kardio-respiratornog sustava u aerobnom metabolizmu

Kisik u ljudsko tijelo ulazi iz okoliša putem disanja. Zrak struji kroz dišne puteve, nos, grlo, grkljan, pluća, bronhe, bronhiole, te završava u funkcionalnoj jedinici dišnog sustava, alveoli. Unos zraka aktivan je mehanizam u kojem je najvažnija uloga glavnog respiratornog mišića dijafragme, te vanjski među-rebreni mišići. Kontrakcijom tih mišića, prostor pluća (pluća šupljina) se širi, te u njoj pada tlak. Padom tlaka, vanjski pritisak zraka, koji je na morskoj razini oko 760 milimetara živine ljestvice (mmHg) postaje veći od unutrašnje pritiska u plućima (oko 756 mmHg), te zrak ima tendenciju kretanja u smjeru pluća (prostora nižeg tlaka zraka), sve do izjednačavanja tlakova. Ovaj proces naziva se udah. Udahom ulazi zrak bogat kisikom, koji je nužno potreban za obavljanje mnogih kemijskih spojeva u tijelu. Izdah s druge strane pasivan je proces, u kojem se opuštanjem mišića, prsni koš i područje plućne šupljine sužava, te tako povećava pritisak u plućima. Jednom kada pritisak u plućima prijeđe pritisak okolišnog zraka, kretanje zraka ide u smjeru prema van (ponovno u smjeru nižeg tlaka zraka).

## 1.3. Plućna izmjena plinova

Jednom kada zrak bogat kisikom dođe u alveolu, događa se plućna difuzija plinova. U alveolama, zrak dolazi do alveolarne membrane, s druge strane, venska krv koja se putem pulmonalne arterije vraća u pluća dolazi do plućne kapilarne koje su omotane oko alveole. Eritrociti, prenosioci kisika u krvi, dolaze u kontakt s kapilarnom membranom. Alveolarna i kapilarna membrana zajedno sačinjavaju respiratornu membranu, mjesto gdje se događa plućna izmjena plinova. Kao i u slučaju kretanja zraka u pluća i van pluća (disanje) koje smo prethodno opisali, izmjena plinova kroz respiratornu membranu odvija se po sličnim principima. Razlika tlakova između udahnutog zraka i tlaka otopljenih plinova u krvi i krvnoj plazmi, definira kretanje, odnosno difuziju kisika i ugljikovog dioksida.

Zrak je mješavina plinova, od kojih najveći otpada na dušik, kisik i ugljikov dioksid. Ukupna količina tlaka (pritiska) koju zrak čini, zbroj je parcijalnih pritisaka svakog pojedinog plina u mješavini, fenomen poznatiji kao Daltonov zakon. Dakle, prosječna

veličina tlaka zraka na nadmorskoj razini iznosi oko 760 mmHg. Obzirom da u zraku kojeg udišemo ima 79.04% dušika, 20.93% kisika, te 0.03% CO<sub>2</sub>, poznat je parcijalni tlak pojedinog plina u zraku, a on za kisik iznosi 159.1 mmHg, odnosno 0.2mmHg za ugljikov dioksid. Parcijalni tlak kisika (PO<sub>2</sub>), jednom kada dođe u alveolu pada na oko 105 mmHg. S druge strane, PO<sub>2</sub> u krvi koja dolazi u alveolarnu kapilaru iznosi između 60 do 65 mmHg. Ovo čini veliku razliku između parcijalnih tlakova kisika u krvi i alveoli, te otvara nesmetanu mogućnost za prolazak kisika preko respiratorne membrane iz alveole u krv, gdje se dalje veže za eritrocite. Parcijalni tlak ugljikovog dioksida (PCO<sub>2</sub>) u alveoli iznosi 40 mmHg, dok u alveolarnim kapilarama iznosi 46 mmHg. Iako je razlika mala, ona je dostatna za brzu izmjenu plinova kroz respiratornu membranu, jer je difuzijski koeficijent CO<sub>2</sub>, prema Fikovom zakonu, veći 20 puta od difuzijskog koeficijenta kisika.

Jednom kada se kisik prenese u krv, veže se na hemoglobin i mala količina se otapa u krvnoj plazmi. Krv dalje putuje u lijevu stranu srca, gdje se dalje prenosi po cijelom tijelu. Ugljikov dioksid se iz pluća izdahom izbacuje van tijela.

#### 1.4. Transport kisika

Kisik se dalje od pluća prenosi do lijeve srčane pred-kljetke i kljetke, gdje se snažnim kontrakcijama dalje prenosi preko arterijskog žilnog sistema po cijelom tijelu. Osim kisika, krv prenosi brojne hranjive tvari, lipide, glukozu, razne sistemske hormone i soli. Kisik se u krvi u glavnom nalazi u eritrocitima, crvenim krvnim stanicama koje nemaju jezgru i dvostrukog su sedlastog oblika. Eritrociti kada su zdravi nose hemoglobin, metalo-protein koji u sebi sadrži željezo, važno za vezivanje atoma kisika na eritrocit. Manjak eritrocita ili manjak hemoglobina ukazuje na anemiju, smanjenu sposobnost krvi da pohrani, pa tako i prenese kisik. Ovakva stanja mogu smanjiti aerobne kapacitete u organizmu, jer remete količinu kisika koju krv može prenijeti u jedinici vremena. S druge strane, povećan broj eritrocita povećava količinu kisika koju krv može prenijeti u organizmu. Kontrolu broja eritrocita u organizmu regulira hormon eritropoetin, koji se luči iz bubrega.

Jednom kada u plućima dođe do oksigenizacije krvi, ona odlazi u srce. Srce je mišićni organ koji je pod upravljanjem autonomnog živčanog sustava, te kateholamina. Srce ima vlakna koja sama generiraju srčane impulse potrebne za kontrakciju srčanog mišića, a regulaciju tempa (srčanog ritma) određuju parasimpatetički i simpatetički živčani ogranici. Srce je podijeljeno na 4 velike komore, klijetke i pred-kljetke. Komore služe za srčano punjenje krvlju koje se nakon toga širi dalje po tijelu. Broj srčanih kontrakcija u minuti naziva se frekvencija srca ili srčani ritam. Srčani ritam reguliran je Sinus-atrijskim čvorom (SA). SA čvor otpušta električni potencijal koji uzrokuje mišićnu kontrakciju srca. Na frekvenciju okidanja signala utječu autonomni živčani sustav i kateholamini. Kada je tijelo u mirovanju, potrebna je manja količina kisika, pa dolazi do prevlasti parasimpatičkog ogranka autonomnog živčanog sustava. Frekvencija u mirovanju kod prosječne odrasle osobe iznosi oko 80-100 otk./min. Kod sportaša taj broj ide i ispod 60 otk./min. Kod visoko aerobno utreniranih sportaša frekvencija srca u mirovanju zna doseći i manje od 30 otk./min. Samo ovaj podatak nam ukazuje da je srce važan organ u aerobnoj izdržljivosti, a koji su razlozi za navedenu adaptaciju opisati ćemo kasnije u tekstu. Pri maksimalnim naporima, srčana frekvencija se povećava, pokušavajući „ispumpati“ što više krvi, pa tako i kisika. Srčane frekvencije kod nekih osoba znaju ići i do 250 otk./min, a prosječno maksimalne srčane frekvencije iznose između 180 do 220 otk./min.

Osim srčane frekvencije, važan srčani parametar za transport krvi u tijelu je i udarni volumen srca. Udarni volumen srca je volumen krvi koje srce izbaci u jednoj srčanoj kontrakciji. Veličina udarnog volumena tako izravno ovisi o: a) Veličini srca; b) jačini srčane kontrakcije; c) brzini punjenja srca. Veličina srca otvara mogućnost da srce pohrani veći volumen krvi unutar jednog punjenja, a na nju je moguće utjecati treningom. Jačina srčane kontrakcije omogućava smanjenje rezidualnog krvnog volumena, volumena krvi koje zaostane u srcu nakon njegove kontrakcije. Što se srčana kontrakcija jača, to je rezidualni volumen krvi manji, a više krvi odlazi u krvotok. Brzina punjenja srca zanemaren je parametar u udarnom volumenu srca. Kod velikih napora, kada je srčana frekvencija jako visoka, kod nekih osoba srce nije u stanju ostvariti puno punjenje srčanih pred-kljetki, pa iako srčani mišić može biti velik, nepotpuno punjenje srca krvi može smanjiti udarni volumen srca.

Kombinacijom udarnog volumena srca i njegovog minutnog ritma, dolazi do parametra minutnog volumena srca (MVS). MVS je količina upumpane krvi u krvožilni sustav u

jednoj minuti srčanog rada. Što je MVS veći, možemo reći da je opskrba kisikom u tijelu veća. Jednom kada srce upumpa krv u aortu (glavnu arteriju) ona se dalje grana po tijelu na manje i manje ogranke, arterije i arteriole. Najmanji ogranak krvnih žila naziva se kapilara. Kapilare obavijaju organe i prenose krv do stanica, tamo se ona koristi u različitim biokemijskih procesima, između ostaloga i biokemijskim procesima nužnima za namicanje energije.

## 1.5. Stanična izmjena plinova

Jednom kada krv dođe do stanice, ona odlazi u posebne stanične strukture, mitohondrije, gdje kasnije služi u kompleksnim kemijskim reakcijama za proizvodnju ATP-a. Prilikom prolazak krvi kroz kapilare u venski sustav, dio kisika se apsorbira u stanicu, a dio ne, i on dalje ostaje u venskoj krvi i vraća se u srce. Razlika u razini kisika između krvi koja dospje do stanice i one koja prijeđe u venski sustav naziva se arterijsko-venska razlika (a-v razlika). U normalnim okolnostima, a-v razlika iznosi 5 ml na 100 ml krvi (ne zaboravimo da se u 100 ml krvi otprilike nalazi 20 ml kisika). Prilikom pojačane tjelesne aktivnosti, razlika se povećava na 15-16 ml na globalnoj razini, dok na lokalnoj razini oko mišića koji podnose veliki napor ona iznosi 17-18 ml.

Osim hemoglobina, molekula mioglobin jako pomaže otpuštanju kisika u stanicu. Mioglobin je molekula slična hemoglobinu, a služi jednim dijelom i kao skladište kisika u mišićima, ali i kao molekula koja naglašava otpuštanje kisika u mišićnu stanicu kada je parcijalni tlak kisika u stanici (mitohondrijima) jako nizak, manji od 20 mmHg.

Koliko će biti efikasna difuzija plinova ovisi i o drugim faktorima, kao što su temperatura, protok krvi, saturacija krvi kisikom, kiselost medija i sl. Povećan protok krvi smanjuje potrebu za stvaranjem velika a-v razlike, pa je samim time i otpuštanje kisika u stanicu olakšano. Ugljikov dioksid, kao i u alveolarnoj difuziji plinova, lako prelazi iz stanice u krvotok, jer je  $PCO_2$  veći u stanici nego u arterijskoj krvi. Razlog je što je  $CO_2$  nus-produkt staničnih kemijskih procesa, pa je njegova količina u stanici povećana. Jednom kada se otpusti iz stanice u krvotok, vraća se u desnu stranu srca, koje dalje pumpa vensku krv u pluća.

## 1.6. Stanično iskorištavanje kisika i Kerbsov ciklus

Na razini stanice, kisik se koristi u procesu Kerbsovog ciklusa, pri kojem se glukoza uz pomoć kisika razgrađuje do 37 ATP-a, te nus-produkata. Kerbsov ciklus složeni je proces od velikog broja kemijskih reakcija čiji opis izlazi iz tematike ovog rada. Skraćeno, na razini stanice, u posebnim staničnim strukturama, mitohondrijima, stanica koristi kisik za namicanje energije potrebne za rad stanice i organa. Stanica može proizvesti energiju i bez kisika, ali u puno manjoj količini, te uz otpadne produkte čije stvaranje remeti normalan rad stanice. Sav kisik tako, koji dođe do stanice, uz pomoć posebnih respiratornih enzima, ulazi u proces stvaranja energije. U stanicama gdje je broj mitohondrija mali, te je mala količina respiratornih enzima, bez obzira na količinu dotoka kisika, njegova iskoristivost je mala. Stoga, treningom ne samo da možemo djelovati na transport kisika, već i na enzimatske sustave na razini stanice.

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanja utjecaja i odnosa različitih motoričkih i funkcionalnih sposobnosti složena je priča. Iznimno je teško jasno definirati veličinu utjecaja pojedine motoričke sposobnosti na drugu. Najčešće, možemo definirati smjer utjecaja, ali ne i njegovu veličinu, radi konstantne promjene odnosa motoričkih varijabli, konstantne promjene unutar samih varijabli (jesu li varijable pod utjecajem treninga ili de-treninga) i sl.

Odnosi između motoričkih i funkcionalnih sposobnosti dugo su predmet ispitivanja istraživača u sportskim znanostima. Sama hijerarhija motoričkih i funkcionalnih sposobnosti bazira se na malim i neznatnim vezama između sposobnosti, u protivnom, ne bi bilo potrebe za podjelama. Ipak, motoričke sposobnosti nisu izolirane kao što bi mnogi znanstvenici htjeli, već su u stalnom odnosu i interakciji. Ta interakcija nije statična pa je nemoguće jasno definirati, već se ona mijenja u odnosu na druge faktore. Primjerice, odnosi između eksplozivnosti i drugih motoričkih sposobnosti se mijenjaju kako dijete raste. Dok je dijete malo, eksplozivnost je uglavnom definirana koordinacijskim sposobnostima, jer je sama izvedba manifestacija testa eksplozivnosti kakve radimo u praksi složena (pri., skok u vis, skok u dalj i sl.). Kako osoba odrasta, tako i neurološki

sustav sazrijeva, pa je izvedba eksplozivnih zadataka manje određena „znanjem izvedbe“, a više brzinom stvaranja mišićne sile.

Ovaj gore navedeni primjer pojednostavljen je u cilju objašnjena kako se odnosi među motoričkim i funkcionalnim sposobnostima stalno mijenja i dinamičan je. Ipak, to ne znači da nije predmet interesa u sportskim znanostima. Takav interes imamo i u našem radu, pa smo prvo prošli kroz dostupnu literaturu i detektirali radove koji su se bavili sličnom tematikom, te istakli dobivene rezultate.

Baris Karakoc i sur. (2012) proveli su Yo yo recovery test lv. 1, lv. 2 i kontinuiranim testom i usporedili povezanost rezultata s anaerobnom izdržljivošću (Wingate test) i maksimalnim primitkom kisika (Vo2max), mjerom aerobne snage. Uočena je slaba povezanost rezultata Yo-yo testova s VO2max rezultatom, te nije uočena povezanost s rezultatima Yo-yo testova s prosječnim izlazom snage na Wingate testu.

Hayriye C.A. na populaciji od 24 atletičara usporedio je rezultate u Cooperovom 12 minutnom testu (test aerobne izdržljivosti), te Wingate testu, jednom od najpopularnijih anaerobnih testova, te dobio podijeljene rezultate. Korelacija između prediktivnih Vo2max rezultata dobivenih Cooperovim testom postojala je sa srednjim izlazom snage u Wingate testu (0.635), ali nije bila statistički značajna s indeksom umora, važnim parametrom u samom protokolu Wingate testa.

Maciejewski H. i sur. (2015) utvrdili su na mladim veslačima značajnu povezanost rezultata Wingate testa s izvedbom na 1500 metara veslanja (test aerobne izdržljivosti). Dobivena je značajna povezanost između dva testa (0.83) što implicira veliki impakt anaerobne izdržljivosti na aerobnu u ovakvom tipu rada mišića. Potrebno je dodati da je mišićna masa također imala veliku povezanost s oba testa, pa moguće taj parametar može objasniti i veliku vezu između Wingate testa i rezultata na 1500 metara na veslačkom ergometru.

Gledajući zbrojno, rezultati ukazuju na nejasne odnose aerobnog i anaerobnog metabolizma. Kao što smo već spominjali u tekstu prije, aerobni i anaerobni metabolizam nisu potpuno neovisni jedan o drugome, te se njihova uloga uvelike mijenja kako se mijenjaju oblici rada. Nemoguće je u stvarnom svijetu, dakle van laboratorija, izolirati jedan od ta dva energetska sustava, stoga ne čudi da pojedina istraživanja ne ukazuju na povezanost ova dva energetska sustava, a neka druga ukazuju na jaku ovisnost. Motorički

prostor isprepleten je različitim antropometrijskim i funkcionalnim utjecajem, te se same motoričke sposobnosti međusobno isprepliću.

### **3. PROBLEMI RADA**

Motorički prostor je isprepleten različitim sposobnostima od kojih neke više, a neke manje utječu na druge sposobnosti. Osim toga, motoričke sposobnosti su definirane i različitim antropometrijskim karakteristikama, te funkcionalnim sposobnostima čovjeka. Aerobna izdržljivost kategorizira se u funkcionalne sposobnosti, međutim njen utjecaj seže i u motorički prostor, te obratno. Potrebno je tako utvrditi kakve su relacije drugih varijabli na aerobnu izdržljivost, bilo da se radi o drugim funkcionalnim sposobnostima, kao što je anaerobna izdržljivost ili drugim motoričkim sposobnostima.

Da bi utvrdili takvo nešto, potrebno je provesti veliku količinu testova koji bi obuhvatili što više motoričkog, antropometrijskog i funkcionalnog prostora, te odabrati adekvatan test koji bi dao valjane rezultate u ispitivanju aerobne izdržljivosti. Kao test aerobne izdržljivosti odabrali smo Yo yo test, koji je mnogobrojno puta validiran (Karakoc B., i sur. 2012; Thomas A., i sur. 2006), te je prošao i ostale metrijske karakteristike potrebne za prihvatiti ga kao dobar test. Uz njega, koristili smo bateriju tipičnih testova za ispitivanje morfološkog statusa i motoričkih sposobnosti.

### **4. CILJ RADA**

Cilj rada bio je provesti korelacijsku analizu rezultata na yo yo testu na nizu testova koji su imali za cilj istražiti motorički, morfološki i funkcionalni prostor. Cilj je utvrditi koji testovi koreliraju s aerobnom izdržljivosti, a koji ne, te kolike su te razine povezanosti. Pogotovo nam je zanimljivo provjeriti vezu aerobne i anaerobne izdržljivosti. Obzirom da, u realnom svijetu, nije moguće jasno odvojiti aerobnu od anaerobne izdržljivosti, očekivano je kako će se ove dvije sposobnosti ispreplitati i donekle utjecati jedna na drugu. Aerobnu izdržljivost ispitivali smo Yo yo recovery level 1 testom, a anaerobnu izdržljivost ispitivali smo Novozelandskim Rugby testom.



## **5. HIPOTEZE**

Prije provedenog istraživanja postavljeno je nekoliko hipoteza:

Glavna hipoteza H1- Postoji značajna povezanost između Yo yo testa aerobne izdržljivosti i nekih motoričkih i funkcionalnih testova

Alternativna hipoteza - Ne postoji značajna povezanost između Yo yo testa aerobne izdržljivost i nekih motoričkih i funkcionalnih testova

Osim glavne i alternativne hipoteze, postavljamo i sekundarnu hipotezu ovog rada, a to je postojanje povezanosti nekih ispitivanih varijabli s rezultatima u yo yo testu.

## **6. METODE RADA**

Naše istraživanje podrazumijevalo je rezultate provedene na studentima kineziologije 3. godine, njih 21, na različitim varijablama motorike, morfoloških karakteristika, te funkcionalnih sposobnosti

### **6.1. Ispitanici i protokol mjerenja**

Protokol mjerenja

Mjerenje je provedeno na Kineziološkom fakultetu u Splitu u nekoliko dana. Testovi izdržljivosti provedeni su zasebnim danima, dok su ostali testovi, dakle testovi ravnoteže, agilnosti, eksplozivnosti i jakosti provedeni unutar drugog dana, razmaku od 7 dana. Razlog za odvajanjem testnih dana je da ne bi stvorio utjecaj zamora koji bi poremetio rezultate.

Ispitanici, njih 21, u našem radu bili su studenti 3. godine Kineziološkog fakulteta u Splitu, prosječno 21 godinu stari. Iako se ne radi o vrhunskim sportašima, u ovu dobnu populaciju radi se o iznadprosječno utreniranim osobama, prosječne (AS) visine (TV):

AS TV=175,6 cm, te mase (TT): AS TT=70.4 kg. Navedene varijable izmjerene su prije protokola mjerenja drugih testova kao i YO-YO testa.

## 6.2. Varijable

Kao glavnu varijablu, ispitivanje aerobne izdržljivosti koristili smo YO-YO recovery level 1 test. YO-YO test ima više inačica, level 1, level 2 i sub-maksimalni yo-yo test. Glavna razlika između dva testa je u početnoj brzini trčanja. YO-YO recovery 1 starta s niže brzine trčanja u odnosu na recovery 2 varijantu, pa tako recovery 1 varijanta dominantno uključuje aerobne kapacitete, dok je u recovery 2 varijanti zastupljena i anaerobna komponenta, uslijed očekivanog bržeg ulaska u anaerobni metabolizam mišićnog rada.

Početna brzina YO-YO recovery level 1 testa (Yo yo) je 10 km/h. Da bi izveli test, potrebno nam je minimum 30 metara praznog prostora pogodnog za trčanje, markacije, centimetarska vrpca dužine veće od 30 metara, „audio player“, audio Yo yo testa kojeg izvodimo, te mjesto za bilježenje rezultata (tablica). Poligon za Yo yo test sačinjavaju dvije zone, odnosno 3 granične linije. Prva zona duga je 20 metara i predstavlja zonu trčanja, dok je druga zona duga 5 metara i predstavlja „recovery“ zonu ili zonu aktivnog odmora. Između dvije zone nalazi se granica početka testa, a označavamo je linijom kao pozicija „B“. Zona trčanja omeđena je još granicom „C“ na udaljenosti od 20 metara od granice „B“, a „recovery“ zona granicom „A“.

Ispitanik starta sa granice „B“ okrenut prema trkačkoj zoni, odnosno granici „C“. Na zvučni signal starta trčanje, te mora prije ponovnog zvučnog signala (beep-a) dotrčati do granice „C“, okrenuti se, te prije sljedećeg „beep-a“ otrčati nazad do granice „B“. Ispitanik ima 10 sekundi vremena za oporavak, tako da laganim trkom dođe do granice „A“, te se prije sljedećeg beep-a vrati na poziciju za start sljedećeg istrčavanja. Kako vrijeme teče audio zapis se ubrzava, pa ispitanik mora trčati sve brže i brže da bi stigao na vrijeme. Test završava kada ispitanika više nije u stanju nastaviti test svojom voljom, ili ne uspije u dva uzastopna trčanja stići na vrijeme na granicu „B“. Rezultat se zapisuje u već pripremljenu tablicu, te se može izraziti „levelom“ i njemu pridodanom brzinom

trčanja dosegnutom prije završetka testa. Test u prosjeku traje između 5 i 15 minuta (Bangsbo J. i sur., 2008).

Od ostalih varijabli koristili smo:

YBTL – Y balans test lijeva noga; YBTD – Y balans test desna noga; RODA L – Roda test lijeva noga; RODA D – Roda test desna noga; 20J – Test na 20 yardi; KUS – koraci u stranu; HEK – Heksagon test; T-TEST – T test agilnosti; LA – lane test agilnosti; SLA – test agilnosti trčanja u slalom; SKLEK – broj sklekova; TRB – trbušnjaci; ZGIB – zgibovi; ČUČ L – broj čučnjeva na lijevoj nozi; ČUČ D – broj čučnjeva na desnoj nozi; SOR – Sorensen test; PLANK – Izdržaj u planku; CMJ – skok vis sa spuštanjem u čučanj; SJ – Skok u vis iz čučnja sa zadržkom; DJ – Skok u vis s prethodnim saskokom s kutije; 15SEC – Skokovi u vis vezano 15 sekundi; RUGBI – Novozelandski rugby test; Yo yo – yo yo test izdržljivosti.

#### YBTL – Y balans test

Y balans test nastao je kao skraćena verzija od SEBT testa (Chimera N.J., i sur., 2015). Cilj testa utvrditi je ravnotežne sposobnosti ispitanika, te pomoću rezultata probati predvidjeti rizike nastanka ozljeda donjeg dijela tijela (Plisky P.J., i sur., 2006). Izvodi se tako da osoba stane prvo jednom, pa zatim drugom nogom u sredinu postavljenog poligona, i bez pomicanja smjera stopala, drugom nogom pokušava dohvatiti što dalje u prostoru, bez da se nasloni. Poligon je označen u obliku slova „Y“, po čemu je i dobio ime. Osoba staje na križanju označenih linije, dakle u sredinu. Linije su sačinjene od centimetarske vrpce da bi lakše izmjerili duljinu dohvata. Stopalo stajne noge i osoba okrenuti su prema ravnoj liniji, dok iza prolaze dvije linije pod kutom, koje zajedno tako čine slovo „Y“. Slobodna noga ide u dohvat pri čemu se mjeri duljina dohvata. Što veći dohvat to je bolji rezultat. Test se izvodi 3 puta u svakom smjeru za svaku nogu, a da bi isključili efekt longitudinalnosti skeleta na rezultat potrebno je korigirati rezultate za dužinu nogu ispitanika.

#### Roda Test

Test podrazumijeva stajanje na prstima 1 noge u stavu „roda“. Stav podrazumijeva držanje ruke na kukovima i postavljanje stopala noge koja nije na podlozi na unutrašnju stranu koljena stajace noge. Test se može probati nekoliko minuta prije samog početka. Test počinje kada ispitanik dođe u položaj „roda“, te se podiže se na prste stajace noge i

održava ravnotežu. Mjerenje vremena se zaustavlja u slučaju: 1. Ako se ruke ili ruka odmakne od kukova; 2. Ako se stajaća noga pomakne u bilo kojem smjeru; 3. Ako noga koja nije na podlozi izgubi kontakt sa koljenom ili 4. Ako peta stajaće noge dotakne pod.

#### Koraci u stranu

Test koraci u stranu služi za ispitivanje ne reaktivnog oblika agilnosti. Na udaljenosti od 4 metra se postavljaju 2 paralelne linije. Potrebno je da je pod za izvedbu zadatka adekvatan, odnosno da površina nije skliska. Ispitanik počinje zadatak stojeći jednom nogom na liniji a drugom izvan nje, te na znak bočnim korakom bez križanja nogu što brže trči prema drugoj liniji. Kada dotakne ili prijeđe liniju nogom, mijenja smjer i vraća se istim načinom nazad. Bilježi se vrijeme potrebno da ispitanik prođe 6 udaljenosti od 4 metra. Ovim testom mjerimo ne reaktivnu agilnost u frontalnoj ravnini kretanja.

#### Heksagon test

Test agilnosti, frekvencije pokreta, te reaktivne jakosti. Izvodi se u iscrtanom heksagonskom obliku na podu, stranica duljine 60.5 centimetara. Ispitanik stoji u sredini heksagona i sunožno skače vani i unutra heksagona, i to preko svake njegove stranice. Kada napravi 3 puna kruga, bilježi se vrijeme. Ispitanik nakon odmora potrebnog da ponovi test maksimalno dobro, ponavlja isti zadatak, ali u suprotnom smjeru od onoga koji je izvodio prvi put. Test se ponavlja dva puta (svaka strana), te se bilježi najbolji rezultat.

#### T-test

T test dobio je ime po svom obliku. Poligon je sastavljen u nalik slova „T“, a iznimno je popularan test ne reaktivne agilnosti.. Na startnoj liniji postavljena je oznaka, a nasuprotno na udaljenosti od 9.14 m postavljena je druga oznaka, kojem su u produžetku s oboje strane, pod kutom od 90 stupnjeva, postavljene dodatne oznake, sa svake strane po jedan, udaljene od središnje oznake 4.57 metara. Ispitanik kreće sa zadatkom tako što pravocrtno sprinta do središnje oznake te nasumično bira stranu prema kojoj želi nastaviti. Dokoračnom tehnikom nastavlja kretanje bez križanja nogu. Nakon što dotakne oznaku, istim gibanjem ide prema drugoj strani prema nasuprotnoj oznaci. Mijenja smjer, te bočnim korakom bez križanja nogu dolazi do središnje oznake, nakon čega se vraća na početak, ali trčanjem u nazad. Mjeri se vrijeme izvedbe testa koje se zapisuje. Test se izvodi tri puta i bilježi se najbolji rezultat.

### Lane test agilnosti

Lane test je specifični košarkaški test ne reaktivne agilnosti. Izvodi se prolaskom oko 6 čunjeva postavljenih na reket košarkaškog igrališta. Ispitanik kreće iz mjesta sa jednom nogom u iskoraku. Vrijeme kreće kada se ispitanik počne kretati. Ispitanik trči do prvog čunja pravocrtno, nakon čega do sljedećeg čunja mijenja kretanje u lateralno. Kada dođe do sljedećeg čunja opet kreće u pravocrtno kretanje, ali trčanjem u natrag. Od sljedećeg čunja do startne linije opet se kreće bočnim načinom. Kada dođe do zadnjeg čunja dotiče liniju i izvodi ista kretanja u suprotnu stranu do ciljne crte.

### Trčanje u slalomu

Test je nogometni specifični test ne reaktivne agilnosti. Idealno, kada ispitujemo nogometaše, test se izvodi na nogometnom terenu, po mogućnosti umjetnoj travi, na duljini većoj od 12 metara. Ispitanik stoji na startnoj liniji, ravno na 1 m ispred njega nalazi se 6 slalom štapova razmaka 2m koje mora maksimalno brzo pretrčati slalom tehnikom naprijed i natrag. Ispitanik kreće kada želi, te se tada aktivira štoperica. Cilj testa je što prije u slalom kretanju proći oko slalom štapova, te se vratiti na start. Test se izvodi 3 puta te se bilježi najbolji rezultat.

### Sklekovi

Cilj testa je izvesti maksimalan broj sklekova u 60 sekundi. Ispitanik zauzima poziciju upora na dlanovima, s potpuno ispruženim tijelom. Ispod njega, u području prsne kosti se postavlja mekani predmet visine 10 centimetara, najčešće mekana spužva. Broji se samo onaj sklek koji je završio dodirivanjem prsima spužvu, te završio opruženih laktova. Broji se broj ispravnih ponavljanja izvedenih u 60 sekundi. Test mjeri repetitivnu jakost ramenog pojasa.

### Trbušnjaci

Test se izvodi na mekanom podlozi koje ne smije klizati. Ispitanik leži na strunjači koljena savijenih pod 90° pritom zadržavajući stopala na podlozi. Stopala drži partner kako se tijekom izvedbe pregiba trupom ne bi pomakla od podloge. Prsti šake su međusobno prekriveni i postavljeni iza glave na vratu. Na znak ispitanik radi pregib trupom, te se dovodi tijelo u poziciju vertikalnu sa podlogom, sličnu sijedu. Ispitanik se spušta u početni položaj. Nakon svakog pravilnog „trbušnjaka“ leđa ispitanika moraju dodirnuti

podlogu. Ne broje se nepotpuni pokušaji kao ni oni nakon kojih leđa nisu dotakla pod ili ruke nisu ostale spojene iza glave.

### Čučnjevi na jednoj nozi

Test čučnjeva na jednoj nozi test je repetitivne jakosti donjeg dijela tijela. Test se izvodi prvo jednom, pa drugom nogom, oba rezultata se bilježe zasebno. Test se izvodi tako da ispitanik sjedne na sanduk visine potkoljenice. Nakon toga ima za cilj što više puta se ustati i spustiti (bez da sjedne) u jednoj minuti. Nepravilno je izvođenje ako se ispitanik odgurne od sanduka, ako se ne ispruži do kraja ili ako se ne spusti da natkoljenicom ne dotakne sanduk. Ovaj test može nam poslužiti i da utvrdimo simetriju jakosti lijeve i desne strane tijela.

### Sorensenov test

Sorensenov test jakosti stražnjeg kinetičkog lanca u izometričkim uvjetima mišićnog rada. Mišići koji sudjeluju u testu primarno su ekstenzori kukova i leđa. Trening se izvodi na rimskoj klupi, švedskom sanduku ili nekom drugom mjestu pogodnom za postići pravilnu poziciju tijela. Ispitanik se „kači“ nogama i stavlja tijelo u produžetak klupe. Oslonac završava oko pozicije kukova, a test kreće kada ispitanik dođe tijelom u poziciju paralelnu s podlogom, u produžetku nogu. Ruke su križno postavljene svaka na suprotno rame. Mjeri se vrijeme dok ispitanik može zadržati pravilnu poziciju tijela.

### Plank

Test se izvodi na strunjači na tlu. Ispitanik stavlja podlaktice na podlogu s laktovima poravnatim s ramenima, kukovima u zraku, te nogama spojenima i zategnutima u koljenima. Pozicija leđa mora imati dobar integritet, jednak onomu kao kada je osoba na nogama. Dakle, ne smije doći do propadanja leđa prema podu, već ona moraju imati svoj prirodni oblik. Kada se ispitanik postavio u ispravnu poziciju starta se vrijeme, te test traje dok ispitanik ne odustane ili ne izgubi integritet u položaju tijela, bilo kukova ili kralježnice. Testom ispituje se statičku jakost mišića prednje strane trupa.

### Skok u vis sa spuštanjem u čučanj

Skok u vis sa spuštanjem u čučanj (CMJ) izvodi se na kontaktnom sagu ili tenziometrijskoj platformi. Ispitanik postavlja ruke na kukove, te ima za cilj što više skočiti vertikalno u zrak. Prilikom skoka ispitanik se naglo spušta u poziciju polu-čučnja, te skače

ravno u vis što više. Uređaj mjeri vrijeme leta, te putem jednadžbi leta tijela izračunava visinu skoka. Test se izvodi 3 puta, a bilježi se najbolji rezultat. Test pokriva eksplozivnu sposobnost donjeg dijela tijela, uz korištenje reverzibilne mišićne akcije.

#### Skok u vis iz čučnja sa zadržskom

Test je sličan prethodno objašnjenom testu (CMJ), ali se izvodi sa zaustavljanjem u poziciji čučnja s rukama na poziciji kukova (SJ). Ispitanik se spušta u čučanj da mu je kut između potkoljenice i natkoljenice približno 90 stupnjeve, te zadržava tu poziciju najmanje 3 sekunde. Nakon toga ispitanik skače maksimalno visoko, vertikalno u vis, a uređaj mjeri vrijeme leta te preračunava u visinu skoka. Test se izvodi 3 puta i mjeri se najbolji rezultat. Ovakvim načinom isključujemo elastičnu ulogu mišića i tetiva u rezultatu na visinu skoka, te mjerimo isključivo koncentričnu eksplozivnu jakost.

#### Skok u vis s prethodnim doskokom s kutije

Test je sličan prethodno opisana dva testa (CMJ i SJ), ali se priprema za skok ostvaruje prethodnim doskokom sa kutije ili sanduka visine 30 cm (DJ). Za razliku od CMS i SJ skokova, u DJ testiranju amplituda pokreta je mala, s malim savijanjem u koljenima te kratkim kontaktom s podlogom, dominantno iz gležnja. Cilj je ostvariti šta viši skok, s naglaskom na kratko trajanje kontakta s podlogom. Uređaj mjeri trajanje kontakta s podlogom nakon doskoka, te trajanje leta tijela. Iz ta dva podatka može se dobiti reaktivni indeks jakosti koji je dobra mjera elastično-reaktivne jakosti donjeg dijela tijela. Što je indeks veći, bolja je elastično-reaktivna jakost. Osim toga, može se mjeriti visina postignutog skoka, što smo mi mjerili u našem radu.

#### Vezani skokovi u vis 15 sekundi

Test se izvodi u vremenu od 15 sekundi. Ispitanik stoji na kontaktnom sagu s rukama na kukovima. Proizvoljno kreće u vertikalne skokove u vis s kratkim kontaktom s podlogom, te s ciljem da dosegne što veću visinu. Ispitanik tako skače maksimalno visoko 15 sekundi, s malim promjenama u amplitudi koljena i kukova pri doskoku. Kontaktni sag bilježi vrijeme kontakta svakog skoka, te njegovu visinu. Svi skokovi se zbrajaju te se dobiva prosjek visina svih skokova sumirano. Ovaj test istraživa snažnu izdržljivost donjeg dijela tijela.

## Novozelandski Rugby test anaerobne izdržljivosti

Test se izvodi na terenu dugom 20 metara. Postavljaju se 4 oznake i to: 1) startna oznaka; 2) oznaka na 5 metara; 3) oznaka na 10 metara; te oznaka na 20 metara udaljenosti. Ispitanik trči maksimalno brzo sa startne oznake do oznake na 5 metara i nazad, zatim do oznake na 10 metara i nazad, te do oznake na 20 metara i nazad. Nakon odrađenog zadatka, ispitanik odmara 30 sekundi, te ponavlja zadatak još 6 puta. Rezultat testa dobiva se po formuli:  $RUGBY = \text{prosječno vrijeme trčanja} \times (\text{najsporije vrijeme} - \text{najbrže vrijeme}) \times (6/\text{broj odrađenih ciklusa})$ . Rezultate je moguće izračunati i ako osoba ne odradi svih 6 ciklusa trčanja.

### 6.3. Statistika

Za obradu podataka koristili smo se programom STATISTICA 12. Za ispitivanje normaliteta distribucije koristili smo Kormogorov-Smirnovljev test, te dalje dobili srednje vrijednosti i standardnu devijaciju

Kao metode inferencijalne statistike koristili smo korelacijsku metodu pomoću koje smo dobili matricu korelacija pojedinog testa s YO-YO testom.

## 7. REZULTATI

U tablici 1 i 2 prikazani su rezultati. U tablici jedan prikazana je deskriptivna statistika, dok je u tablici 2 prikazana korelacijska analiza.



**Tablica 1.** deskriptivna statistika

	<b>AS</b>	<b>SD</b>	<b>K-S p</b>
<b>TV</b>	175,62	10,51	p > .20
<b>TT</b>	70,48	12,32	p > .20
<b>YBT L</b>	94,0	10,08	p > .20
<b>YBT D</b>	95,2	10,85	p > .20
<b>RODA L</b>	15,6	13,88	p < ,20
<b>RODA D</b>	15,3	14,29	p > .20
<b>20 J</b>	4,9	0,23	p > .20
<b>KUS</b>	8,2	0,44	p > .20
<b>HEK</b>	12,6	1,24	p > .20
<b>T-TEST</b>	10,8	0,79	p > .20
<b>LA</b>	12,2	0,80	p > .20
<b>SLA</b>	7,2	0,60	p > .20
<b>SKLEK</b>	33,3	18,25	p > .20
<b>TRB</b>	26,8	3,03	p > .20
<b>ZGIB</b>	14,3	5,00	p > .20
<b>ČUČ L</b>	32,5	13,81	p > .20
<b>ČUČ D</b>	38,8	22,91	p > .20
<b>SOR</b>	139,7	39,59	p > .20
<b>PLANK</b>	191,3	71,11	p > .20
<b>CMJ</b>	34,3	5,22	p > .20
<b>SJ</b>	33,3	4,80	p > .20
<b>DJ</b>	44,6	7,88	p > .20
<b>15SEC</b>	1,0	0,34	p > .20
<b>RUGBI</b>	18,0	1,51	p > .20
<b>Yo yo</b>	16,7	2,12	p > .20

*AS – Aritmetička sredina; SD – Standardna devijacija; K-S p – Kolmogorov Smirnovljev test; TV- Tjelesna visina; TT- Tjelesna visina; YBTL- Y balans test lijeva noga, YBTD- Y balans test desna noga; RODA L- Roda balans test lijeva noga; RODA D- Roda balans test desna noga; 20J- Test 20 jada; KUS- Koraci u strani; HEKS- Heksagon test; T-Test- t test; LA- Lane test agilnosti; SLA- Slalom test; SKLEK- Sklekovi; TRB- Trbušnjaci; ZGIB- Zgibovi; ČUČ L- Čučnjevi lijeva noga; ČUČ D- Čučnjevi desna noga; SOR- Sorensen test; PLANK- Plank test; CMJ- Skok u vis s pripremom; SJ- Skok u vis bez pripreme; DJ- Skok u vis iz nad skoka; 15SEC- Skokovi u vis 15 sekundi; RUGBI- Rugby test; Yo yo- Yo yo recovery level 1 test*

Tablica 1. prikaz je deskriptivne statistike našeg uzorka u osnovnim antropometrijskim mjerama, te testovima koje smo mjerili. Od deskriptivnih podataka izvukli smo: aritmetičku sredinu (AS), standardnu devijaciju (SD), Kolmogorov-Smirnovljev test normaliteta distribucije.

**Tablica 2.** Matrica korelacija

	YO-YO
TV	0.65*
TT	0.81*
YBT L	-0,42
YBT D	-0,28
RODA L	-0,34
RODA D	-0,34
20 jardi	-0,90*
KUS	-0,38
HEK	0,33
T-TEST	-0,89*
LA	-0,58
SLA	-0,43
SKLEK	0,72*
TRB	0,62
ZGIB	-0,32
ČUČ L	0,07
ČUČ D	-0,51
SOR	-0,18
PLANK	-0,11
CMJ	0,72*
SJ	0,67
DJ	0,80*
15SEC	0,60
RUGBI	-0,56

*YOYO – Korelacijski koeficijent pojedine varijable s yo yo testom. \* - Značajna povezanost varijable s yo yo testom ( $p < 0.05$ )*

Tablica 2. prikaz je korelacijske matrice Yo yo testa, te drugih testova koje smo mjerili. Uočena je povezanost Yo yo testa s mnogim testovima, ali ne i anaerobnim RUGBY testom. Testova koji su povezani s Yo yo testom su: TV, TT, 20 jardi, T-TEST, SKLEK, CMJ, DJ.

## 8. RASPRAVA

Provedena analiza dala je neke zanimljive rezultate. Prvo, deskriptivna statistika ukazala je na normalnu distribuciju svih varijabli. Korelacijska analiza utvrdila je nekoliko značajnih povezanosti. Kako smo pojedine testove grupirali na testove: morfološke karakteristike, ravnoteže, brzine i agilnosti, jakosti, eksplozivnosti, te anaerobne izdržljivosti, tako ćemo se u nastavku teksta oslanjati na opisivanje dobivenih podataka promatrajući takvu podjelu.

### 8.1. Povezanost morfoloških karakteristika s Yo yo testom

Tjelesna visina i težina ostvarile su značajnu povezanost s Yo yo testom. U normalnim okolnostima gdje je uzorak ispitanika homogen prema spolu, ovakvu povezanost ne bi trebali očekivati, pogotovo varijable ATV s Yo yo testom. Obzirom da je naš uzorak miješani uzorak muškaraca i žena, a žene su u prosjeku niže od muškaraca, za očekivati je da će ova varijabla ostvariti pozitivnu korelaciju s Yo yo testom, ali ne zbog stvarne povezanosti između varijabli, već zbog supresorske varijable spola. Takva varijabla može indirektno, kao treća varijabla, povezati dvije varijable koje same po sebi, kada bi supresorsku varijablu isključili, ne bi ostvarile. Isto tako možemo objasniti i povezanost između varijable ATT i Yo yo testa, jer je očekivano da muškarci iste dobi budu u prosjeku veće tjelesne težine od žena. Treba naglasiti da bi varijabla ATT mogla negativno utjecati na rezultat u Yo yo testu, ali na nekom drugom uzorku ispitanika je rje očekivano da bi prekomjerna tjelesna težina trebala otežati kretanje te povećati metaboličke zahtjeve u aerobnom testu kao što je Yo yo test. Obzirom da smo mi dobili pozitivnu korelaciju (težina pozitivno utječe na rezultate u Yo-yo testu), možemo je uglavnom prepisati heterogenom uzorku ispitanika, koji nije podijeljen po spolu. Jednostavno, kako se radi o utreniranim ispitanicima koji imaju veću mišićnu masu, taj višak težine zapravo ima propulzivnu ulogu u kretanju, a ne balasnu (ne otežava tijelo).

## 8.2. Povezanost agilnosti s Yo yo testom

Neki testovi agilnosti pokazali su povezanost s Yo yo testom i to sa 20J i T-TEST. Razlog možemo tražiti u karakteristici Yo yo testa koji ima mnogo promjena smjera kretanja, pa efikasnija promjena smjera može pozitivno utjecati na oba testa. Ovo je potvrđeno i u prethodnim istraživanjima, gdje su Brito J. i sur., (2010) utvrdili statistički značajnu povezanost Yo yo testa s rezultatima u sprintu i agilnosti. Istraživanje je provedeno na grupi od 239 mladih nogometaša. Autori su zaključili da sposobnost ubrzavanja, zaustavljanja i okretanja može imati utjecaja na rezultate u Yo yo testu, ali s malim postotkom determiniteta ( $<30\%$ ;  $r=0.55$ ). Osim toga, generalna spremnost može imati velik utjecaj na dobivene rezultate. Moguće da je generalna spremnost kao treća varijabla umjetno povezala ove testove. Neki ispitanici utreniraniji su od drugih, pa je moguće da su na račun svoje redovitije tjelovježbe bolji u obje sposobnosti. Tu je i problem koji smo već spominjali, pomiješani uzorak ispitanika koji moguće utječe na rezultate. Očekivano je, uslijed hormonalnih razlika između muškaraca i žena, da će muškarci biti bolji u većini motoričkih testova uslijed razvijenijeg mišićno-koštanog sustava. Kada imamo tako izmiješan uzorak, relacije se mogu ostvariti putem takve „treće“ varijable.

## 8.3. Povezanost jakosti s Yo yo testom

Yo yo test pokazao se u korelaciji s testom SKLEL. Ova relacija je zanimljiva jer je u teoriji ne očekujemo. Jakost gornjeg dijela tijela generalno ne bi trebala imati utjecaja na aerobnu izdržljivost. Međutim, sve rezultate potrebno je promatrati kroz prizmu uzorka kojeg ispituje. Tako, naš uzorak sačinjen je od heterogene skupine studenata (izmiješani muškarci i žene), te od generalno dobro utrenirane skupine ljudi za ovu populaciju (studenti kineziologije). Tako je moguće da su se ostvarene relacije ostvarile radi: 1) očekivano je da će muškarci biti bolji od žena u testu sklekova uslijed genetske predispozicije i povoljnije hormonalne pozadine; 2) bolja opća utreniranost moguće je dovela da oni studenti koji su bolje utrenirani (generalno više treniraju) budu bolji u oba testa. Moguće je tako da su se relacije ostvarile putem trećih varijabli (spol; opća utreniranost) (G. Marquez i sur., 2017).

#### 8.4. Povezanost eksplozivnosti s Yo yo testom

Eksplozivnost ne bi trebala biti usko povezana s aerobnom izdržljivošću, pogotovo kada uzmemo u obzir različitost trenažnih metoda potrebnih za povećanje pojedine sposobnosti. Ove dvije sposobnosti se generalno promatraju kao konkurentne, pa ovakvi rezultati iznenađuju. Konkretno, povezanost je ostvarena u CMJ i DJ testu, ali ne i u SJ testu. To nam ukazuje na važnost elastično-reaktivne komponente u trčanju i promjeni smjera kretanja. Cristobal D.A. i sur., (2018) pokazali su da trening elastično-reaktivne jakosti od 4 tjedna može pozitivno utjecati na rezultate u trčanju na 2 kilometra. Dakle, poboljšanje elastično-reaktivnih jakosnih svojstava mišića pozitivno utječe na očuvanje energije u aktivnostima kao što je trčanje. Promjena smjera kretanja u sebi implementira promjenu mišićnog rada, te postavlja velike zahtjeve na ekscentričnu jakost donjeg dijela tijela. Brza promjena pravca tako nije ništa drugo nego elastično-reaktivna mišićna akcija izvedena u specifičnom smjeru i pod specifičnim kutom. Možemo očekivati da, uslijed takve prirode mišićnog rada, koje razvijena elastično-mišićna svojstva može pomoći u efikasnosti i očuvanju energije u zadacima gdje postoji učestala potreba za promjenom smjera kretanja, kao što je to slučaj s Yo yo testom. To objašnjava zašto su rezultati u skokovima koji u sebi implementiraju ciklus istežanja i skraćivanja imaju povezanost sa rezultatima u Yo yo testu (CMJ, DJ), a rezultati u skokovima koji su dominantno koncentričnog karaktera nisu povezani (SJ).

#### 8.5. Povezanost anaerobne izdržljivosti s Yo yo testom

Zanimljivo, Novozelandski rugby test nije pokazao značajniju povezanost s yo yo testom. Ovo samo ukazuje kako aerobnu i anaerobnu izdržljivost treba promatrati, testirati i trenirati odvojeno jednu od druge. Iako je moguće da se na nekim drugim uzorcima ispitanika ovakve relacije pojave kao što su Chuman K. i sur. (2011) pokazali su u svom radu kako različita kronološka dob utječe na rezultate i relacije između aerobnih i anaerobnih parametara, treba imati na umu sljedeće. U našem istraživanju koristili smo Yo yo recovery level 1 test, koji u svojoj prirodi starta s malih brzina, te tako smanjuje ulogu anaerobnog metabolizma na rezultate. Yo yo recovery level 1 tako traje duže od

njegove inačice Yo yo recovery level 2, koji traje kraće jer mu je ulazna brzina veća. Postavlja se pitanje bi li se ostvarile relacije između anaerobnog i aerobnog testa da smo u ispitivanju koristili Yo yo recovery level 2 test? Ipak, treba naglasiti da selekcija testa ovisi o sposobnosti koju želimo ispitati, te uzorku ispitanika. Korištenje druge varijante testa bilo bi vjerojatno neprikladno za naš uzorak, te ne bi adekvatno ispitali aerobnu izdržljivost, što je bio cilj testiranja. Baris Karakoc i sur. (2012) su u svom radu pokazali kako nije ostvarena povezanost između Yo yo testa i drugog popularnog anaerobnog testa, Wingate testa, pa možemo reći kako su naši rezultati očekivani.

## 9. ZAKLJUČAK

Motoričke i funkcionalne sposobnosti su u literaturi jasno diferencirane jedne od drugih. Međutim, često zaboravljamo da su one isprepletene na različite načine, bilo direktno, bilo putem trećih varijabli, te da je jako teško promatrati njihove odnose generalno. Naše istraživanje je pokazalo da rezultati u Yo yo testu, dakle testu aerobne izdržljivosti, mogu biti povezani s nizom testova koji opisuju: morfološke karakteristike, agilnost, jakost, te eksplozivnost. Razlog za pojavljivanje ovakvih veza nije potpuno jasno, međutim treba uzeti u obzir nekoliko faktora. Motoričke sposobnosti nemoguće je izolirati jednu od drugih. Morfološke karakteristike igraju ulogu u gotovo svim motoričkim sposobnostima. Pojedini tip građe povoljniji je za sportske aktivnosti (mezomorfni somatotip) od nekih drugih (endomorfni somatotip). Osim toga, odabir uzorka može umjetno stvoriti veze među varijablama koje možda ne bi dobili na homogenim uzorcima, kao na primjer miješanje rezultata muškog i ženskog spola, te bolje od lošije utreniranih ispitanika. Recimo, bilo bi zanimljivo vidjeti rezultate istih testova, ali samo na uzorku muškaraca i žena, zasebno. Osim toga, zanimljivo bi bilo vidjeti rezultate na uzorku ispitanika „jednake“ opće utreniranosti. Na takav način selekcije uzorka barem bi malo otklonili utjecaj spomenutih „trećih“ varijabli.

Limit ove studije su u heterogenosti uzorka, te maloj količini ispitanika (samo 21). Osim toga, korelacijske analize su uvijek nezgodne za interpretaciju, uslijed konstantnog rizika od uplitanja treće varijable u rezultate ispitivanja. Čak i kada dobijemo veze između varijabli, brojevi nam često ne govore o razlozima dobivenih veza, smjeru utjecaja (što utječe na što), te o utjecaju drugih fenomena na rezultate (fenomen supresora). U budućim radovima koji bi se bavili ovom tematikom svakako savjetujemo povećanje uzorka, specificiranje uzorka po dobi, spolu, trenažnom statusu i sl. Osim toga, bilo bi zanimljivo vidjeti povezanost aerobne izdržljivosti s nekoliko anaerobnih testova izdržljivosti, a ne samo jednim testom. Time bi se otklonila sumnja da je specifična karakteristika testa odredila relacije, umjesto željno mjerenih aerobno-anaerobnih sposobnosti.

## 10. LITERATURA

1. Bangsbo J., Iaia F.M., Krstrup P. (2008) *The yo-yo intermittent recovery test: A useful tool in evaluation of physical performance in intermittent sports. Sports Med* 38:37-51.
2. Brito J., Fernandes L., Seabra A., Rebelo A. (2010) *Factors influencing the performance in the YO-YO intermittent endurance test – level 2 in youth football players, Biomedical Human Kinetics Suppl.* 11(-1):103-104
3. Çakir-Atabek H. (2014). *Relationship between anaerobic power, vertical jump and aerobic performance in adolescent track and field athletes. Journal of Physical Education and Sport (JPES),* 14(4), 643 – 648.
4. Chuman K., Hoshikawa Y., Tomomilid, Nishijima T. (2011) *Relationships between Yo-Yo Intermittent Recovery Tests and Development of Aerobic and Anaerobic Fitness in U-13 and U-17 Soccer Players. International Journal of Sport and Health Science.* Vol. 9, 91-97.
5. Chimera N.J., Smith C.A., Warren M. (2015) *Injury History, Sex, and Performance on the Functional Movement Screen and Y Balance Test. Journal of Athletic Training* 50(5):475–485.
6. Hall J.E. (2015) *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology 13th ed. Saunders.* June 3, 2015
7. Hargreaves M., Lawrence L. S. (2020) *Skeletal muscle energy metabolism during exercise, Nature Metabolism volume 2, 817–828*
8. Karakoç, B., Akalan, C., Alemdaroğlu, U., & Arslan, E. . *The Relationship Between the Yo-Yo Tests, Anaerobic Performance and Aerobic Performance in Young Soccer Players. (2021) Journal of Human Kinetics, 35, 81–88.*
9. Kenney W.L., Wilmore J.H., Costill D.L. (2019). *Physiology of Sport and Exercise 7th ed. Human Kinetics.* May 1, 2019.
10. Maciejewski H., Rahmani A., Rahmani F., Chorin F., Chorin S. (2016). *The 1,500-m Rowing Performance is Highly Dependent on Modified Wingate Anaerobic Test Performance in National-Level Adolescent Rowers. Pediatric Exercise Science* 28(4):1-16.
11. Marquez G., Alegre L.M., Jean D., Martin-Casado L., Aguado X., (2017). *Sex differences in kinetic and neuromuscular control during jumping and landing. Journal of Musculoskeletal Neuronal Interaction, 17(1): 409–416.*
12. Mayhew, J. L., Houser, J. J., Briney, B. B., Williams, T. B., Piper, F. C., & Brechue, W. F. (2010). *Comparison between hand and electronic timing of 40-yd dash performance in college football players. The Journal of Strength & Conditioning Research, 24(2), 447-451.*
13. Plisky P.J., Rauh M.J., Kaminski T.W., Underwood F.B. (2006) *Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. J Orthop Sports Phys Ther.* 36(12):911–919
14. Thomas A., Dawson B., Goodman, C. (2006). *The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO2 max. International Journal of Sports Physiology and Performance.* 1(2), 137-49