

# Dinamika nekih biomarkera tijekom treninga jakosti

---

**Vukas, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:221:246234>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

**DINAMIKA NEKIH BIOMARKERA  
TIJEKOM TRENINGA JAKOSTI**

ZAVRŠNI RAD

**Student:** Marko Vukas

**Mentor:** doc. dr. sc. Nikola Foretić

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij kineziologije  
Zavod za antropološku kineziologiju i zdravlje  
Rekreacija i Fitness

**DINAMIKA NEKIH BIOMARKERA  
TIJEKOM TRENINGA JAKOSTI**  
(ZAVRŠNI RAD)

**Student:** Marko Vukas

**Mentor:** doc. dr. sc. Nikola Foretić

**Sumentor:** doc. dr. sc. Šime Veršić

Split, 2023.

## SAŽETAK

Gubitak mišićne funkcije povezan sa starenjem je predodređen, no osobe s tjelesno aktivnim životnim stilom mogu znatno dulje održati zdravo funkcioniranje u usporedbi s onima koji prakticiraju sjedilački način života. Predmet istraživanja je elektromiografija u statičkom i dinamičkom radu donjih ekstremiteta. Statičko i dinamičko istežanje pripadaju najčešće korištenim tehnikama istežanja. Zbog jednostavnosti i sigurnosti primjene, statičko istežanje je preferirana metoda među sportašima. Elektromiografija donjih ekstremiteta označava pregled kojim se analizira i ispituje električna aktivnost mišića te vodljivost perifernog živčanog sustava na rukama i nogama. Pretraga daje uvid u stanje mišića te otkriva je li slabost i gubitak mišićne mase posljedica bolesti živca ili bolesti samog mišića. Ciljevi su istraživanja dati uvid u teorijski okvir elektromiografije, analizirati statički i dinamički rad te potom predstaviti rezultate provedenog istraživanja u kojem su se ispitivale izometričke i dinamičke vježbe u istom mišiću.

## ABSTRACT

### **Electromyography in static and dynamic work of the lower extremities**

The loss of muscle function associated with aging is predetermined. However, people with a physically active lifestyle can maintain healthy functioning significantly longer compared to those with a sedentary lifestyle. The subject of research is electromyography in static and dynamic work of the lower extremities. Static and dynamic stretching refer to the most commonly used stretching techniques. Static stretching is the preferred stretching method among athletes due to its simple and safe application. Electromyography of the lower extremities is an examination that analyzes and tests the electrical activity of the muscles and the conduction of the peripheral nervous system on the arms and legs. The search provides an insight into the condition of the muscles and reveals whether weakness and loss of muscle mass is the result of a nerve disease or a disease of the muscle itself. The goals of the research are to provide an insight into the theoretical framework of electromyography, to analyze static

and dynamic work, and then to present the results of the research that examined isometric and dynamic exercises in the same muscle.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Provodljivost fiziologije mišića.....	2
1.2. Elektromiografija.....	4
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	9
3. CILJ RADA .....	13
4. HIPOTEZE.....	14
5. METODE RADA.....	15
6. REZULTATI I RASPRAVA.....	16
7. ZAKLJUČAK .....	20
8. LITERATURA.....	21
POPIS ILUSTRACIJA.....	23

# 1. UVOD

Elektromiografija (EMG) ispituje kako živci i mišići djeluju zajedno mjerenjem električnih impulsa duž živaca, živčanih korijena i mišićnog tkiva (NYU Langone Hospitals, 2023). Mišićno tkivo izgrađeno je od stanica koje mišićnim stanicama omogućuju kontrakcije. Kada se uzmu u obzir funkcionalne i morfološke karakteristike čovjeka, jasno se izdvajaju tri vrste mišićnog tkiva:

1. skeletno,
2. srčano, i
3. glatko mišićno tkivo (Bajek i sur., 2007).

Vrsta mišićnog tkiva značajnog za ovo područje promatranja je skeletni mišić, građen od mišićnih snopova koji se sastoje od cilindričnih stanica, tj. vlakana. Kontrakcija je brza, snažna i pod utjecajem volje čovjeka. Upravo su skeletni mišići odgovorni za kretanje i održavanje stava tijela (Matković i Ružić, 2009).

Latash (1998) navodi kako živac koji inervira mišić sadrži motorička, osjetna i autonomna živčana vlakna. Motorička vlakna poznata su i kao aferentna, a osjetna eferentna. Motorička vlakna imaju funkciju provođenja motoričkih podražaja do motoričke ploče. Tako se uzrokuje voljna kontrakcija. S druge strane, osjetna vlakna provode osjetne podražaje od tetiva i mišićnog vretena sve do stražnjeg roga leđne moždine i središnjeg živčanog sustava. Posljednja autonomna živčana vlakna inerviraju krvne žile.

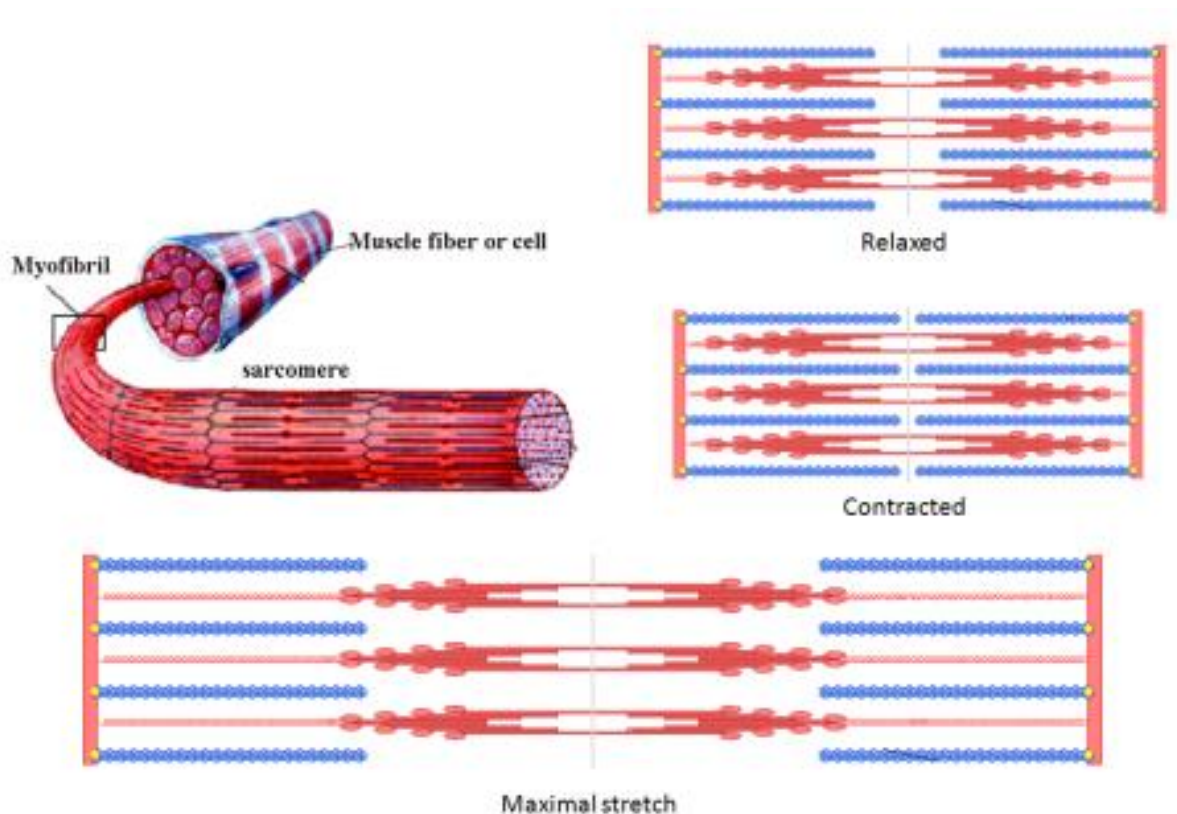
Bajek i sur. (2007) ističu kako skeletni mišići obavljaju različite funkcije. Agonisti označavaju mišiće koji se kontrahiraju i izvode određene kretnje, dok s druge strane antagonisti predstavljaju mišiće koji se opuštaju za vrijeme agonista. Tako se neometano odvija pokret. Potrebna je koordinirana akcija i jednog i drugog mišića. Antagonist kontrolira brzinu i opseg pokreta. Nadalje, sinergisti su mišići koji izvode kretnje poput agonista. Također, značajni su i fiksatori koji omogućuju da jedna insercija agonista odredi smjer kretnje. Za vježbe istezanja značajna je kretnja mišića agonista jer se njegovo istezanje izvodi putem suprotnog pokreta. U daljnjem radu bit će riječ o provodljivost fiziologije mišića te osnovnim značajkama elektromiografije, a koji su ključ problematike samog istraživanja.

## 1.1. Provodljivost fiziologije mišića

Kontrakcija je svojstvo mišića da mijenja svoju duljinu i volumen ili tonus, što dovodi do pokreta u zglobovima. Postoje statičke (izometrijske) i dinamičke (izotonične) kontrakcije. Kod statičke ili izometrijske kontrakcije mišićni tonus raste bez promjene duljine mišića, što znači da je razmak između početne točke i hvatišta mišića konstantan tijekom trajanja kontrakcije. Kod dinamičke ili izotonične kontrakcije dolazi do promjene duljine između početne točke i hvatišta mišića, dok je tonus mišića tijekom kontrakcije konstantan. Izotonična kontrakcija se dijeli na dvije vrste kontrakcija, ovisno o tome postoji li približavanje ili udaljenost između početne točke i hvatišta mišića. Ako postoji konvergencija polazišta i hvatišta mišića, a time i povećanje promjera trbuha mišića, takva se kontrakcija naziva koncentrična kontrakcija. Ako pak postoji udaljenost od ishodišta i hvatišta mišića te smanjenje promjera trbuha mišića, radi se o ekscentričnoj kontrakciji (Vlak i Martinović Kaliterna, 2011).

Istezanje ovisi o nekoliko čimbenika. U tom smislu značajan je mišićno-koštani sustav, mišićno-tetivna jedinica, aktivna i pasivna napetost mišića te mišićni proprioceptori. Ponavljajuće jedinice funkcionalne jedinice mišića nazivaju se sarkomeri. U tom dijelu započinje istezanje mišićnih vlakana. Pri kontrahiranju sarkomera dolazi do povećanja područja preklapanja između debelih i tankih miofibrila. Nasuprot tome, prilikom istezanja, područje preklapanja miofibrila se smanjuje i mišić elongira (Dunce, 2014). U nastavku slijedi slikovni prikaz kontrakcije i istezanja mišića (Slika 1).





*Slika 1. Kontrakcije i istezanja mišića (Izvor: Dunce, 2014)*

Sarkomera se sastoji od lanaca aktina (tanke niti – plavo) i miozina (debele niti – crveno). Tijekom istezanja, stupanj preklapanja se smanjuje, izdužujući mišiće (Dunce, 2014). Istezanje označava sustav vježbanja u kojem se izvode pokreti ili zadržavaju određeni položaji kako bi se produljili određeni mišići ili pak skupina mišića. Vježbama istezanja može se povećati fleksibilnost. Uz to, povećava se prokrvljenost i uspostavlja bolja koordinacija pokreta. Istezanjem se umanjuje mogućnost ozljeđivanja mišića i zglobova (Nelson i Kokkonen, 2007).

Različite su vrste vježbi istezanja. One se koriste shodno individualnim preferencijama sportaša. Opća podjela istezanja je na statičko i dinamičko. Hedrick (2000) navodi kako postoje i balističko, pasivno, izometričko i proprioceptivno neuromuskularno istezanje. Ipak, statičko se istezanje izdvaja kao preferirana metoda istezanja zbog jednostavne i sigurne primjene. Balističko istezanje uključuje pokrete odskakanja i ne uključuje zadržavanje istezanja dulje vrijeme. Ono može aktivirati refleks istezanja. Iz tog razloga mnogi su pretpostavili da balističko istezanje ima veći potencijal uzrokovati oštećenje mišića ili tetiva, osobito u najzategnutijim mišićima. Međutim, ova je tvrdnja čisto spekulativna i nijedno objavljeno istraživanje ne podržava tvrdnju. Istezanje proprioceptivne neuromuskularne

facilitacije (PNF) odnosi se na tehniku istezanja koja pokušava potpunije uključiti djelovanje proprioceptora istezanjem kontrahiranog mišića kroz raspon pokreta zgloba. Nakon kretanja kroz cijeli raspon pokreta, mišić je opušten i odmoran prije nego što se ponovno istegne. Ovu vrstu istezanja najbolje je izvoditi uz pomoć druge osobe. Posljednje dinamičko istezanje više je funkcionalno orijentirano istezanje koje koristi pokrete specifične za sport za pomicanje udova kroz veći raspon pokreta od uobičajenog. Ono je karakterizirano njihanjem, skakanjem ili pretjeranim pokretima u kojima zamah pokreta nosi udove do ili izvan uobičajenih granica raspona pokreta i aktivira proprioceptivni refleksni odgovor. Pravilna aktivacija proprioceptora može uzrokovati olakšavanje živaca koji su aktivirali mišićne stanice. To osigurava živcima da se brže aktiviraju, omogućujući mišiću da napravi brze i jače kontrakcije. Budući da dinamičko istezanje povećava temperaturu mišića i proprioceptivnu aktivaciju, utvrđeno je da je dinamičko istezanje korisno za poboljšanje atletske izvedbe. Ono se ne treba brkati s balističkim istezanjem jer iako oba uključuju ponovljene pokrete, balistički pokreti su brzi, odskočni pokreti koji uključuju male raspone pokreta pri kraju raspona pokreta (Nelson i Kokkonen, 2007).

Serefoglu i sur. (2017) ističu kako neka istraživanja ukazuju na to da produljeno statičko istezanje može ugroziti izometrijsku i izokinetičku silu. S druge strane, dinamičko istezanje može poboljšati kasniju izvedbu mišićne snage. Nadalje, navode da je detaljnom analizom studija utvrđeno da su mjerenja snage provedena isključivo u istegnutim mišićima. Konačna vanjska sila izravno je proporcionalna sili koju stvaraju mišići agonisti i neizravno proporcionalna sili koju stvaraju mišići antagonisti. Na temelju dokaza da statičko istezanje smanjuje, a dinamičko rastezanje povećava izvedbu mišićne snage, može se pretpostaviti da bi promjene mišićne snage u mišićima antagonistima, bilo da se povećavaju dinamičkim ili smanjuju statičkim vježbama istezanja, mogle utjecati na mišiće agoniste smanjenjem odnosno povećanjem njihove snage.

## **1.2. Elektromiografija**

Elektromiografija označava neizravni dijagnostički uređaj za procjenu električne aktivnosti proizvedene u mišićima živčanim impulsom koji stvara akcijski potencijal u membrani miocita u situacijama mirovanja ili u fazi aktivacije. Općenito, EMG se može

klasificirati prema protokolu testiranja koji se provodi na pojedincu koji se procjenjuje (Fernandez-Lazaro i sur., 2020):

- a) EMG u mirovanju (određuje električnu aktivnost bazalnog mišića);
- b) voljni EMG (procjenjuje odgovor mišića nakon akcije) i,
- c) evocirani potencijalni EMG (procjenjuje motoričke jedinice).

EMG je vrsta opreme za snimanje koja se sastoji od nekoliko elemenata: elektroda, pojačivača i registracijskog sustava. Dvije su vrste elektroda: unutarnje ili igličaste elektrode (duboki EMG ili integrirani EMG (iEMG)), i površinske elektrode (kineziološki ili površinski EMG (sEMG)). Elektrode emitiraju EMG signal i skupljaju ga u pojačalo koje detektira razlika potencijala i eliminira smetnje. Zatim se signal kvantificira pomoću sustava za snimanje koji izražava entitet signala u usporedbi s prethodno dobivenom referentnom vrijednošću. Postoje dvije primarne metode pojačanja signala: monopolarne i bipolarne konfiguracije. Nadalje, postoje različite vrste sustava za snimanje koji prikupljaju informacije, npr. grafičko snimanje, snimanje osciloskopom, trajni zapisi na papiru ili trajni fotografski zapisi. Dakle, jasno je da EMG ima višestruku namjenu.

Zakašnjela dijagnoza može prouzročiti zdravstvene probleme i značajno umanjiti kvalitetu života. U tom kontekstu EMG pruža relativno jednostavnu i dostupnu dijagnostiku koja daje podatke o stanju perifernih živaca i mišića. EMG također može biti koristan u ranoj dijagnozi neuromuskularnih bolesti, razlikovanjem specifične vrste patologije i njezinog učinka na živčane aksone ili mijelin. Drugim riječima, EMG može djelovati kao zapis električne aktivnosti mišića, stoga predstavlja proširenje fizikalnog pregleda kojim se može procijeniti integritet motoričkog sustava. Druga primjena EMG-a može uključivati praćenje stanja mišića u stvarnom vremenu i identifikaciju pragova na kojima se događaju prijelazi između molekularnih sustava tijekom fizičke aktivnosti. Neadekvatna primjena intenziteta tijekom vježbanja rezultira modifikacijama molekularnih sustava koji mijenjaju zdravlje, fizičku izvedbu, kvalitetu života te društvenu i individualnu održivost. Također, EMG se može smatrati korisnim alatom i u kliničkoj praksi (Fernandez-Lazaro i sur., 2020).

Elektromiografija mjeri odgovor mišića ili električnu aktivnost kao odgovor na živčanu stimulaciju mišića. Test se koristi za otkrivanje neuromuskularnih abnormalnosti. Tijekom testa, jedna ili više malih igala (elektrode), umetnu se kroz kožu u mišić. Električna aktivnost koju su uhvatile elektrode prikazuje se na osciloskopu, monitoru koji prikazuje

električnu aktivnost u obliku valova (Slika 2). Koristi se audio pojačalo kako bi se aktivnost mogla čuti. EMG mjeri električnu aktivnost mišića tijekom mirovanja, lagane kontrakcije i snažne kontrakcije. Mišićno tkivo obično ne proizvodi električne signale tijekom mirovanja. Kada je elektroda umetnuta, na osciloskopu se može vidjeti kratak period aktivnosti, ali nakon toga ne bi trebao biti prisutan signal (Johns Hopkins Medicine, 2023).

Nakon što je elektroda umetnuta može se tražiti da osoba stegne mišić, npr. podizanjem ili savijanjem noge. Akcijski potencijal koji se time stvara na osciloskopu pruža informacije o sposobnosti mišića da odgovori na stimulaciju živaca. Kako se mišić jače kontrahira, aktivira se sve više i više mišićnih vlakana, stvarajući akcijske potencijale. Srodan postupak koji se može izvesti je ispitivanje živčane vodljivosti (NCS). NCS je mjerenje količine i brzine provođenja električnog impulsa kroz živac. NCS može odrediti oštećenje i uništenje živaca, a često se izvodi u isto vrijeme kao i EMG. Oba postupka pomažu otkriti prisutnost, mjesto i opseg bolesti koje oštećuju živce i mišiće (Johns Hopkins Medicine, 2023).

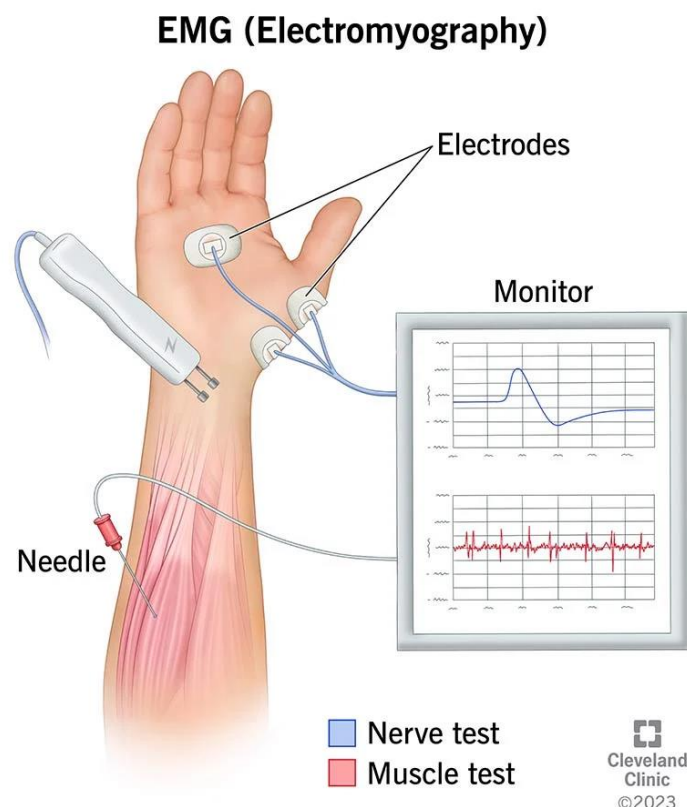
Elektromiografija se može definirati i kao dijagnostički postupak za procjenu zdravlja mišića i živčanih stanica koje ih kontroliraju, odnosno motoričkih neurona. Rezultati EMG-a mogu otkriti disfunkciju živaca, disfunkciju mišića ili probleme s prijenosom signala od živaca do mišića. Motorni neuroni prenose električne signale koji uzrokuju kontrakciju mišića. EMG koristi sićušne uređaje zvane elektrode za prevođenje tih signala u grafikone, zvukove ili numeričke vrijednosti koje zatim tumači stručnjak. Tijekom EMG-a, elektroda s iglom umetnuta izravno u mišić bilježi električnu aktivnost u tom mišiću. Studija živčanog provođenja, još jedan dio EMG-a, koristi naljepnice elektrode nanosene na kožu za mjerenje brzine i jačine signala koji putuju između dvije ili više točaka (Mayo Clinic, 2019).

Rezultati EMG-a često su potrebni za dijagnosticiranje ili isključivanje brojnih stanja kao što su (Mayo Clinic, 2019):

- poremećaji mišića, npr. mišićna distrofija ili polimiozitis;
- bolesti koje utječu na vezu između živca i mišića, npr. miastenija gravis;
- poremećaji živaca izvan leđne moždine (periferni živci), npr. sindrom karpalnog tunela ili periferne neuropatije;
- poremećaji koji utječu na motorne neurone u mozgu ili leđnoj moždini, npr. amiotrofična lateralna skleroza ili dječja paraliza;

- poremećaji koji zahvaćaju korijen živca, npr. hernija diska u kralježnici.

EMG je postupak niskog rizika, a komplikacije su rijetke. Postoji mali rizik od krvarenja, infekcije i ozljede živca gdje je umetnuta igličasta elektroda. Kada se mišići duž stijenke prsnog koša pregledaju igličastom elektrodom, postoji vrlo mali rizik da bi moglo doći do curenja zraka u područje između pluća i stijenke prsnog koša, uzrokujući kolaps pluća (pneumotoraks) (Mayo Clinic, 2019).



*Slika 2. EMG (Izvor: Cleveland Clinic, 2023.)*

Svaki pokret tijela koji osoba napravi, od podizanja noge do klimanja glavom, uključuje složenu komunikaciju između središnjeg živčanog sustava (mozga i leđne moždine), živaca i mišića. Kako bi proizveli pokret, motorički (pokretni) živci šalju električne signale mišićima. EMG može otkriti probleme s motoričkim živcima, mišićima ili komunikacijom između njih dvoje. NCS mjeri protok električne struje kroz živac prije nego što stigne do mišića. EMG mjeri odgovor mišića na električnu aktivnost i koliko električne aktivnosti stvara kontrakcija mišića. EMG može pomoći u dijagnosticiranju nekoliko ozljeda ili bolesti koje utječu na motoričke živce i mišiće. Može pomoći u određivanju prisutnosti, mjesta i

opsega tih ozljeda i bolesti. Pružatelji usluga također mogu koristiti EMG testove za isključivanje bolesti (Cleveland Clinic, 2023).

Elektromiografija donjih ekstremiteta označava elektrofiziološki pregled kojim se analizira i ispituje električna aktivnost mišića i vodljivost perifernog živčanog sustava na rukama i nogama. Pretraga se sastoji od nekoliko postupaka, stimulacije živaca strujom preko površinske elektrode na nekoliko regija ekstremiteta i aplikacije tanke jednokratne igličaste elektrode u nekoliko mišića ekstremiteta ili trupa. Elektromiografija daje uvid u stanje mišića, pokazuje je li slabost i gubitak mišićne mase posljedica bolesti živaca ili bolesti samog mišića te utvrđuje visinu mjesta i vrstu oštećenja perifernog živca (Poliklinika Aviva, 2023).

## 2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Malo je studija istraživalo učinke istežanja mišića antagonista na izvedbu mišića agonista. Sandberg i sur. (2012.) imali su za cilj istražiti učinke statičkog istežanja antagonističke muskulature na višestruke mjere snage i snage. Pokazali su da statičko istežanje fleksora kuka i dorzifleksora gležnja može povećati visinu i snagu vertikalnog skoka tijekom vertikalnog skoka u suprotnom pokretu, a statičko istežanje tetive koljena može generirati veću izokinetičku proizvodnju momenta kvadricepsa tijekom velikih kutnih brzina ( $300^\circ/s$ ), bez razlike tijekom manjih kutnih brzina ( $60^\circ/sec$ ). Wakefield i Cottrell (2015) istraživali su učinke statičkog istežanja mišića fleksora kuka na visinu okomitog skoka. Autori su zaključili da se visina okomitog skoka smanjila za 1,74% nakon statičkog istežanja mišića agonista, ekstenzora kuka i povećala za 1,74% nakon statičkog istežanja mišića antagonista, fleksora kuka. Iako su učinci antagonističkog statičkog istežanja na izvedbu skoka dostupni iz literature, nijedna studija do danas nije istraživala učinke statičkog i dinamičkog istežanja mišića antagonista na izvedbu snage mišića agonista.

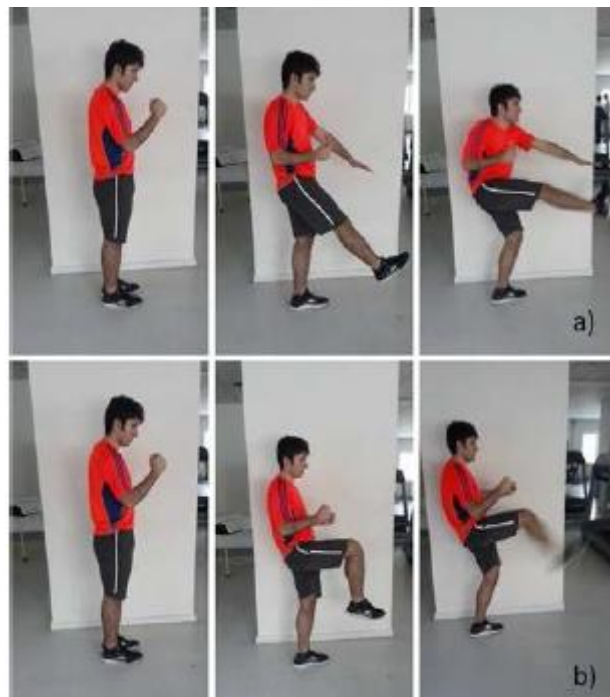
Tetive koljena ili kvadricepsi dominantnog donjeg ekstremiteta istegnuti su s dvije metode bez pomoći. Svaka vježba statičkog istežanja bez pomoći izvedena je četiri puta po 30 sekundi do razine blage nelagode, ali ne i boli, kako je ispitanik priznao (Serefoglu i sur., 2017). U nastavku slijede slikovni prikazi statičkog i dinamičkog istežanja korištenog za potrebe navedenog istraživanja (Slika 3, Slika 4, Slika 5 i Slika 6).



*Slika 3. Statičko istežanje mišića koljena u stojećem i sjedećem položaju (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.)*

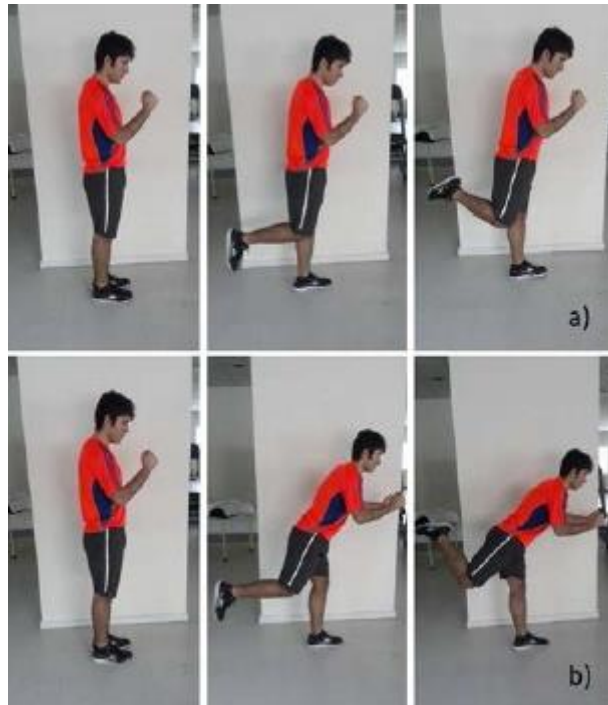


*Slika 4. Statičko istezanje za mišić kvadriceps u stojećem i sjedećem položaju (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.)*



*Slika 5. Dvije različite metode dinamičkog istezanja mišića koljena (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.)*





*Slika 6. Dvije različite metode dinamičkog istezanja mišića kvadricepsa (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.)*

Površinski elektromiografski signali obično pokazuju nasumične valne oblike jer predstavljaju zbroj akcijskih potencijala mnogih neovisno aktiviranih motoričkih jedinica. Bilo je moguće samo procijeniti stupanj mišićne aktivnosti na temelju prosječne amplitude površinskih EMG-ova, unatoč naporima mnogih istraživača koji su pokušali izvući informacije o mišićnim funkcijama iz EMG valnih oblika. S razvojem računalne tehnologije postalo je moguće primijeniti tehniku frekvencijske analize na EMG signale. Kao rezultat toga, utvrđeno je da se spektar snage EMG signala pomiče prema donjem pojasu tijekom produljene kontrakcije mišića. Ovaj se fenomen dalje koristi za procjenu lokaliziranog mišićnog umora. Pomak spektra prema nižem pojasu uzrokovan je smanjenjem brzine provođenja mišićnih vlakana (MFCV) 2, 3, 4, 5. Smanjenje MFCV je zatim posljedica nakupljanja metaboličkih nusproizvoda kao što su mliječna kiselina, što snižava unutarstanični pH i smanjuje ekscitabilnost membrane mišićnog vlakna (Masuda i sur., 1999).

Posljednjih godina postalo je lako mjeriti MFCV pomoću niza površinskih elektroda 5, 6, 7, 8, što omogućuje izravno ispitivanje odnosa između MFCV i spektra snage 2, 3, 9. Mnogi su istraživači uočili pozitivna korelacija između EMG parametara tijekom statičke produljene kontrakcije 9, 10, 11, 12, 13. Zwarts i sur. nadalje su izvijestili da korelacija između MFCV i spektra snage nestaje pod ishemijom. Mjerali su površinske EMG parametre

tijekom perioda oporavka nakon izometrijske produžene kontrakcije i uspoređivali normalna i ishemijska stanja. Rezultati su pokazali da se srednja frekvencija (MDF) spektra snage s vremenom oporavila, ali se MFCV nije vratio na normalnu razinu prije ishemije. Ovo otkriće pokazuje da se MDF ne mijenja uvijek u skladu s MFCV i sugerira da protok krvi u mišićima određuje odnos između MFCV i MDF. Uz studiju Zwartsa i sur., odnos između MFCV i spektra snage istraživan je samo pod statičkom kontrakcijom. Važno je razjasniti promjene EMG parametara tijekom dinamičke kontrakcije za kvantitativne analize umora u sportu i napora. Dinamička kontrakcija, koja uključuje istežanje i skraćivanje mišića, trebala bi poboljšati protok krvi povećanjem venskog povratka iz mišića koji se steže. Povećani protok krvi uklanja nusproizvode metabolizma i pridonosi inhibiciji smanjenja unutarstaničnog pH. Razlika u intracelularnom stanju može utjecati na promjene u MFCV i MDF (Masuda i sur., 1999).

### **3. CILJ RADA**

Ciljevi su istraživanja dati uvid u teorijski okvir elektromiografije, analizirati statički i dinamički rad te potom predstaviti rezultate provedenog istraživanja u kojem su se ispitivale izometričke i dinamičke vježbe u istom mišiću. Elektromiografski zapis je sakupljen uz pomoć BiTalino uređaja (Plux Wireless Biosignals S.A.). Osnovan 2007., Plux stvara inovativne i napredne platforme za praćenje biosignala koje integriraju nosive tjelesne senzore kao što su elektromiografija (EMG), elektrokardiografija, respiracija i akcelerometri u kombinaciji s bežičnim povezivanjem i softverskim aplikacijama. Matlab je bio korišten za filtriranje svih EMG podataka. U istraživanju je sudjelovalo 50 ispitanika.

## 4. HIPOTEZE

Sukladno postavljenom cilju postavljene su slijedeće hipoteze:

- **H<sub>1</sub>** – Najviša aktivnost u mišiću VLD postignuta je prilikom izvedbe izometričkog čučnja i izometričkog jednonožnog čučnja.
- **H<sub>2</sub>** – Najviša aktivnost u mišiću VLL postignuta je u vježbama čučanj i izometrički čučanj.

## 5. METODE RADA

Uzorak ispitanika sačinjavalo je 10 studenata, od čega 5 muškaraca, Kineziološkog fakulteta, prosječne dobi  $22,44 \pm 1,42$  godina, tjelesne visine  $177,89 \pm 9,44$ cm, tjelesne mase  $77,10 \pm 15,08$  kilograma i postotka potkožnog masnog tkiva  $16,27 \pm 6,91$ . Svi ispitanici su dobrovoljno sudjelovali u istraživanju te prethodno potpisali sudjelovanje. Također, niti jedan ispitanik nije imao prethodne ozljede ili bolesti koje bi mogle utjecati na njih tijekom izvedbe.

Vježbe koje su se provodile su: iskorak, izometrički jednonožni čučanj, čučanj i izometrički čučanj. Sve navedene vježbe su se izvodile uz vanjsko opterećenje od ...% tjelesne mase.

Tijekom izvođenja vježbi, elektrode su postavljene na desni (VLD) i lijevi (VLL) lateralni vastus. Elektromiografski (EMG) zapis je sakupljen uz pomoć BiTalino uređaja (Plux Wireless Biosignals S.A.). Zapis EMG podataka je sakupljen u rasponu od 1000 Hz i procesiran koristeći Brze Fourierove Transformacije i bandpass filter (20-300Hz). Korijen od aritmetičkih sredina kvadriran (RMS) je bio izračunat na 50 uzoraka. Zatim je integrirani EMG (iEMG) izračunat kako bi se determinirala pouzdanost podataka. Matlab (The Mathworks, Inc.) je bio korišten za filtriranje svih EMG podataka.



*Slika 7. Izvedba iskoraka, izometričkog čučnja i čučnja prilikom testiranja (Izvor: obrada autora)*

## 6. REZULTATI I RASPRAVA

Tablica 1 prikazuje deskriptivne pokazatelje svih ispitanika u varijablama antropometrije. Također, prikazana EMG aktivnost je u obliku RMSa i iEMG. Tablica 2 prikazuje razlike dobivene korištenjem t-testa, između izometričkih i dinamičkih vježbi u istom mišiću (VLD ili VLL).

*Tablica 1. Deskriptivni parametri antropometrijskih i elektromiografskih podataka na ukupnom uzorku ispitanika (Izvor: obrada autora)*

Varijable		AS	Min	Max	SD	
Dob		22,44	20,00	25,00	1,42	
Tjelesna visina (cm)		177,89	167,00	195,00	9,44	
Tjelesna masa (kg)		77,10	57,00	97,00	15,08	
Potkožno masno tkivo (%)		16,27	4,10	29,60	6,91	
EMG						
RMS	VLD	Iskorak	0,13	0,08	0,17	0,03
	VLL	Iskorak	0,11	0,07	0,16	0,03
	VLD	Izometrički jednonožni čučanj	0,14	0,10	0,22	0,04
	VLL	Izometrički jednonožni čučanj	0,09	0,01	0,17	0,06
	VLD	Čučanj	0,14	0,02	0,20	0,05
	VLL	Čučanj	0,16	0,08	0,21	0,05
	VLD	Izometrički čučanj	0,15	0,11	0,19	0,03
	VLL	Izometrički čučanj	0,14	0,07	0,18	0,04
	VLD	Iskorak	0,09	0,05	0,16	0,03
	VLL	Iskorak	0,08	0,04	0,13	0,03
	VLD	Izometrički jednonožni čučanj	0,14	0,10	0,20	0,03
	VLL	Izometrički jednonožni čučanj	0,08	0,01	0,15	0,05
iEMG	VLD	Čučanj	0,11	0,02	0,16	0,04
	VLL	Čučanj	0,12	0,06	0,16	0,04
	VLD	Izometrički čučanj	0,13	0,10	0,18	0,03
	VLL	Izometrički čučanj	0,12	0,06	0,16	0,03

Legenda: AS-aritmetička sredina, Min-minimalni podatak, Max-maksimalni podatak, SD-standardna devijacija, EMG-elektromiografija, VLD-vastus lateralis desni, VLL-vastus lateralis lijevi, RMS-korijen aritmetičkih sredina kvadriran, i EMG-integrirani elektromiografski zapis.

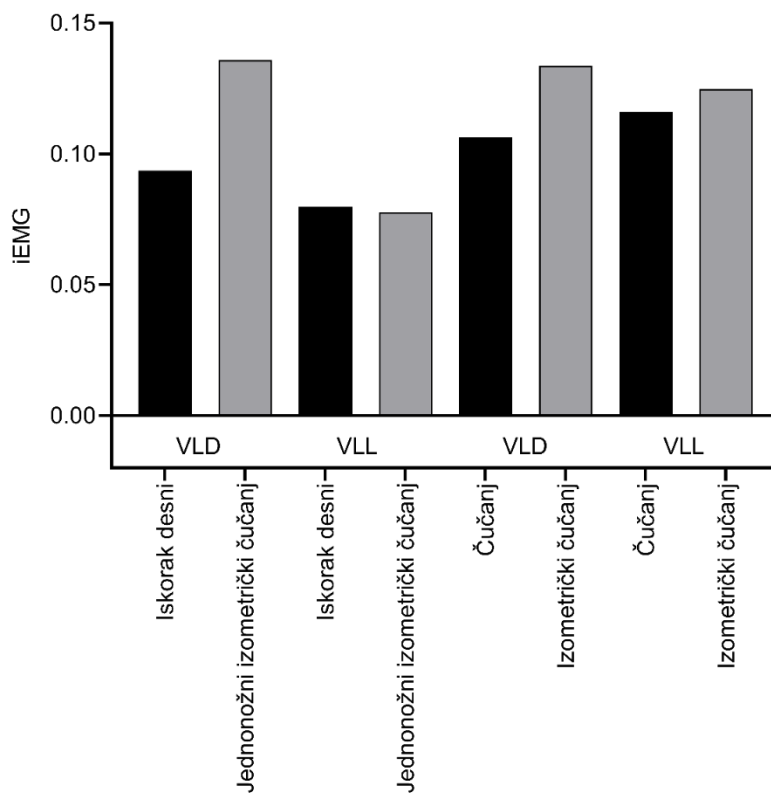
Iz tablice 1. vidljivo je kako je najviša aktivnost u mišiću VLD postignuta prilikom izvedbe izometričkog čučnja (RMS  $0,15 \pm 0,03$ ; iEMG  $0,13 \pm 0,03$ ) i izometričkog jednoonožnog čučnja (RMS  $0,14 \pm 0,04$ ; iEMG  $0,14 \pm 0,03$ ). Nadalje, podatci prikazuju najveću aktivnost VLL u vježbama čučanj (RMS  $0,16 \pm 0,05$ ; iEMG  $0,12 \pm 0,04$ ) i izometrički čučanj (RMS  $0,14 \pm 0,04$ ; iEMG  $0,12 \pm 0,03$ ).

Tablica 2. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu (Izvor: obrada autora)

Variable	AS	SD	t	p		
RMS	VLD	Iskorak	0,13	0,03	-	0,46
		Izometrički jednoonožni čučanj	0,15	0,04	0,77	
		Čučanj	0,14	0,05	-	0,51
		Izometrički čučanj	0,15	0,03	0,69	
	VLL	Iskorak	0,11	0,03	1,10	0,30
		Izometrički jednoonožni čučanj	0,09	0,06		
		Čučanj	0,16	0,05	0,63	0,54
		Izometrički čučanj	0,15	0,04		
iEMG	VLD	Iskorak	0,09	0,03	-	0,05*
		Izometrički jednoonožni čučanj	0,14	0,03	2,36	
		Čučanj	0,11	0,04	-	0,16
		Izometrički čučanj	0,13	0,03	1,56	
	VLL	Iskorak	0,08	0,03	0,12	0,91
		Izometrički jednoonožni čučanj	0,08	0,05		
		Čučanj	0,12	0,04	-	0,55
		Izometrički čučanj	0,12	0,03	0,62	

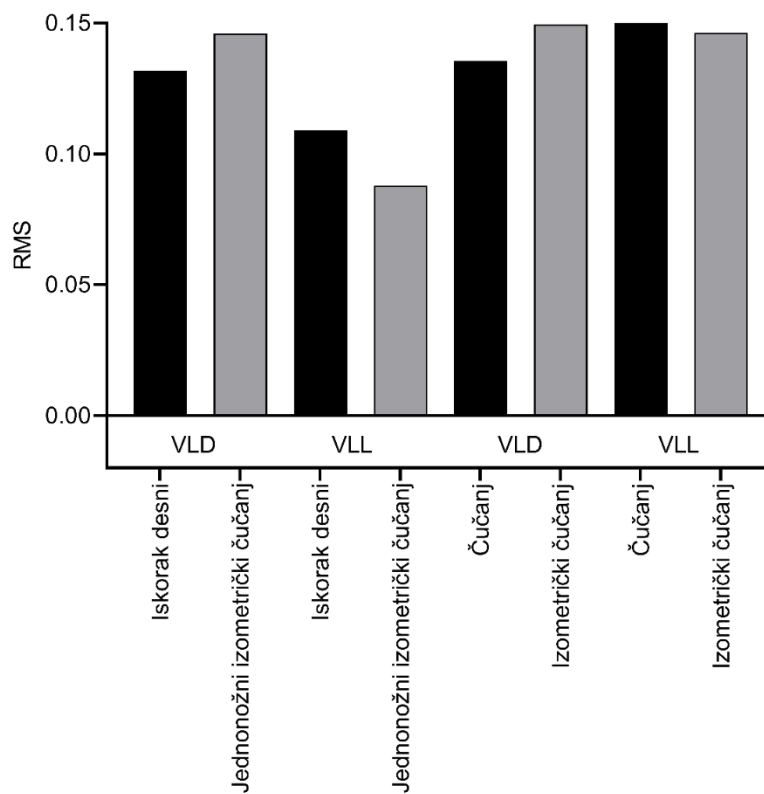
Legenda: AS-aritmetička sredina, SD-standardna devijacija, t-testna vrijednost t-testa, p-nivo signifikantnosti, \*-značajan nivo signifikantnosti pri  $p < 0,005$ , VLD-vastus lateralis desni, VLL-vastus lateralis lijevi, RMS-korijen aritmetičkih sredina kvadriran, iEMG-integrirani elektromiografski zapis.

Analizom tablice 2. vidljivo je kako značajna razlika postoji jedino između iskoraka i izometričkog jednoonožnog čučnja u iEMG zapisu na VLD ( $p=0,05$ ). Razlike nisu pronađene kod drugi vježbi na oba mišića ni u RMS ni u iEMG zapisu.



*Grafikon 1. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu u RMS zapisu (Izvor: obrada autora)*





*Grafikon 2. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu u iEMG zapisu (Izvor: obrada autora)*

## 7. ZAKLJUČAK

EMG je prikladan alat za praćenje različitih odgovora skeletnih mišića i ima dovoljnu osjetljivost za otkrivanje mišićnih promjena uzrokovanih različitim podražajima. Statička vježba uključuje kontrakciju skeletnih mišića bez promjene duljine mišića. Povećani udarni volumen ne kompenzira se u perifernoj cirkulaciji kao tijekom dinamičkog vježbanja.

Prva postavljena hipoteza glasi: *Najviša aktivnost u mišiću VLD postignuta je prilikom izvedbe izometričkog čučnja i izometričkog jednonožnog čučnja.* Rezultati istraživanja pokazuju kako je najviša aktivnost u mišiću VLD postignuta prilikom izvedbe izometričkog čučnja (RMS  $0,15 \pm 0,03$ ; iEMG  $0,13 \pm 0,03$ ) i izometričkog jednonožnog čučnja (RMS  $0,14 \pm 0,04$ ; iEMG  $0,14 \pm 0,03$ ). U skladu s time, hipoteza se potvrđuje.

Druga postavljena hipoteza glasi: *Najviša aktivnost u mišiću VLL postignuta je u vježbama čučanj i izometrički čučanj.* Rezultati istraživanja potvrđuju najveću aktivnost VLL u vježbama čučanj (RMS  $0,16 \pm 0,05$ ; iEMG  $0,12 \pm 0,04$ ) i izometrički čučanj (RMS  $0,14 \pm 0,04$ ; iEMG  $0,12 \pm 0,03$ ). Dakle, potvrđena je i druga hipoteza.

Daljnja bi se istraživanja trebala usredotočiti na učinke istezanja korištenjem drugih tehnika poput PNF ili balističkog istezanja i/ili različitih volumena istezanja. Također, ove učinke treba ispitati i na fizički slabijim aktivnim pojedincima.

## 8. LITERATURA

### Knjige:

1. Bajek, S., Bobinac, D., Jerković, R., Malnar, D. i Marić, I. (2007). *Sustavna anatomija čovjeka*. Rijeka: Digital Point tiskara.
2. Latash, M. L. (1998). *Neurophysiological basis of movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
3. Matković, B. i Ružić, L. (2009). *Fiziologija sporta i vježbanja*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
4. Nelson, A. G. i Kokkonen, J. (2007). *Stretching Anatomy*. IL: Human Kinetics.
5. Vlak, T. i Martinović Kaliterna, D. (2011). *Rano prepoznavanje reumatskih bolesti, dijagnostika i liječenje*. Split: Sveučilište u Splitu, Medicinski fakultet.

### Članci:

1. Dunce, J. (2014). Stretching: What's the big whoop? Debunking one of the oldest exercise myths. *Anti Sense Science*. preuzeto 10.7.2023. s <https://antisensescienceblog.wordpress.com/2014/04/25/stretching-whats-the-big-whoop-debunking-one-of-the-oldest-exercise-myths/>
2. Hedrick, A. (2000). Dynamic flexibility training. *Strength and Conditioning Journal*, 22 (5), 33-38.
3. Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M., Katsuta, S. (1999). Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9 (1), 39-46, preuzeto 12.8.2023. s <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050641198000212>
4. Sandberg, J. B., Wagner, D. R., Willardson, J. M., Smith G. A. (2012). Acute effects of antagonist stretching on jump height, torque, and electromyography of agonist musculature. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (5), 1249-1256.
5. Serefoglu, A., Sekir, U., Gur, H. i Akova, B. (2017). Effects of Static and Dynamic Stretching on the Isokinetic Peak Torques and Electromyographic Activities of the Antagonist Muscles. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16 (1), 6-13. preuzeto 21.7.2023. s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5358032/>
6. Wakefield C. B., Cottrell G. T. (2015). Changes in hip flexor passive compliance do not account for improvement in vertical jump performance after hip flexor static stretching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (6), 1601-1608.

**Internet izvori:**

1. Cleveland Clinic (2023). *EMG (Electromyography)*, preuzeto 15.7.2023. s <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/4825-emg-electromyography>
2. Johns Hopkins Medicine (2023). *Electromyography (EMG)*, preuzeto 12.7.2023. s <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/electromyography-emg>
3. Mayo Clinic (2019). *Electromyography (EMG)*, preuzeto 10.7.2023. s <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/emg/about/pac-20393913>
4. NYU Langone Hospitals (2023). *Diagnosing Muscular Dystrophy*, preuzeto 22.7.2023. s <https://nyulangone.org/conditions/muscular-dystrophy/diagnosis>
5. Poliklinika Aviva (2023). *Elektromiografija (EMG) donjih ekstremiteta*, preuzeto 10.7.2023. s <https://poliklinika-aviva.hr/hr/usluge/neurologija/elektromiografija-emg-donjih-ekstremiteta/>

## POPIS ILUSTRACIJA

### Popis slika

<i>Slika 1. Kontrakcije i istezanja mišića (Izvor: Duncce, 2014).....</i>	<i>3</i>
<i>Slika 2. EMG (Izvor: Cleveland Clinic, 2023.).....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3. Statičko istezanje mišića koljena u stojećem i sjedećem položaju (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.) .....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 4. Statičko istezanje za mišić kvadriceps u stojećem i sjedećem položaju (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.).....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 5. Dvije različite metode dinamičkog istezanja mišića koljena (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.).....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 6. Dvije različite metode dinamičkog istezanja mišića kvadricepsa (Izvor: Serefoglu i sur., 2017.) .....</i>	<i>11</i>

### Popis tablica

<i>Tablica 1. Deskriptivni parametri antropometrijskih i elektromiografskih podataka, na ukupnom uzorku ispitanika (Izvor: obrada autora) .....</i>	<i>16</i>
<i>Tablica 2. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu (Izvor: obrada autora) .....</i>	<i>17</i>

### Popis grafikona

<i>Grafikon 1. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu u RMS zapisu (Izvor: obrada autora) .....</i>	<i>18</i>
<i>Grafikon 2. Razlike između izometričkih i dinamičkih vježbi u desnom i lijevom vastusu lateralisu u iEMG zapisu (Izvor: obrada autora) .....</i>	<i>19</i>