

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

VELIMIR L. JEKNIĆ

**KONTRAKTILNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA  
NOGU KARATISTA RAZLIČITOG NIVOA  
TRENIRANOSTI MERENE TMG - METODOM:  
KVANTITATIVNI I FAKTORSKI MODEL**

doktorska disertacija

Beograd, 2024

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

VELIMIR L. JEKNIĆ

**CONTRACTILE CHARACTERISTICS OF THE  
KARATE ATHLETE'S LEG MUSCLES OF  
DIFFERENT TRAINING LEVELS MEASURED BY  
THE TMG - METHOD: A QUANTITATIVE AND  
FACTORIAL MODEL**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2024

**MENTOR:**

prof. dr Milivoj Dopsaj

redovni profesor, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,  
Univerzitet u Beogradu

**ČLANOVI KOMISIJE:**

prof. dr Miloš Mudrić

vanredni profesor, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,  
Univerzitet u Beogradu

prof. dr Vladimir Ilić

redovni profesor, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,  
Univerzitet u Beogradu

prof. dr Nenad Koropanovski

redovni profesor, Kriminalističko-policijski univerzitet,  
Beograd

Datum odbrane: \_\_\_\_\_

*Izražavam izuzetnu zahvalnost prof. dr Milivoju Dopsaju na pomoći i podršci u izradi ovog rada. Ne manju zahvalnost dugujem i prof. dr Nenadu Koropanovskom koji mi je tokom čitavog rada davao značajne smernice i sugestije.*

*Takođe, zahvaljujem se članovima komisije prof. dr Milošu Mudriću i prof. dr Vladimiru Iliću, kao i svim učesnicima u istraživanju.*

# KONTRAKTILNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA NOGU KARATISTA RAZLIČITOG NIVOVA TRENIRANOSTI MERENE TMG METODOM: KVANTITATIVNI I FAKTORSKI MODEL

## Sažetak

Osnovni cilj ovog istraživanja bio je da se ispituju neuromišićne karakteristike karatista različitog nivoa treniranosti.

Uzorak su činili karatisti različitog nivoa treniranosti (elitni karatisti, karate reprezentativci, osnovno trenirani) i kontrolna grupa. Metodom tenziomiografije su ispitani neuromehanički kontraktilni odgovori mišića opružača i pregibača zgloba kolena dominantne i nedominantne noge (Vastus lateralis, Vastus medialis, Rectus femoris, Biceps femoris i Semitendinosus). Parametri tenziomiografije koji su dobijeni direktnim merenjem su vreme pobuđivanja mišića, vreme kontrakcije i vertikalno pomeranje trbuha mišića, na osnovu kojih su izvedene varijable ukupno vreme kontrakcije i stepen razvoja mišićne tenzije. Izračunati su Indeksi koordinacije proseka, standardne devijacije i koeficijenta varijacije za parametre vreme kontrakcije, ukupno vreme kontrakcije i brzina kontrakcije trbuha mišića za pregibače tj. opružače zgloba kolena dominantne i nedominantne noge. Izračunati su i Indeksi koaktivacije proseka i koeficijenta varijacije mišića pregibača i opružača zgloba kolena dominantne i nedominantne noge za parametre vreme kontrakcije, ukupno vreme kontrakcije i brzina kontrakcije trbuha mišića.

Rezultati ukazuju na 61 statistički značajnu razliku između posmatranih grupa. Od tog broja, 32 razlike su bila u pojedinačnim TMG parametrima, 24 razlike u indeksima koordinacije i pet u indeksima koaktivacije. Takođe, u postupku utvrđivanja pojedinačnog doprinosa varijabli razlici među grupama, vidljiv je statistički značajan doprinos kod 8 varijabli.

Bolji vremenski parametri karate subgrupa su utvrđeni kod mišića agonista kako dominantne, tako i nedominantne noge. Što se tiče mišića antagonista, utvrđeni su bolji vremenski parametri nedominantne noge, kao i brzinski parametar dominantne noge. Uzimajući u obzir povećanje broja razlika između karate subgrupa i kontrolne grupe sa povećanjem nivoa treniranosti i takmičarske uspešnosti, kao i specifičnost utvrđenih razlika, navedeno sugeriše na zaključak da karate trening sa svojim kumulativnim dugogodišnjim efektima adaptacije utiče na poboljšanje funkcionalnih karakteristika mišića nogu na sportsko specifičan način, a koji je moguće izmeriti metodom tenziomiografije. Takođe, funkcionalna homogenizacija neuromehaničkih parametara u vidu indeksa koordinacije i koaktivacije je u pozitivnoj relaciji sa nivoom treniranosti i takmičarske uspešnosti.

**Ključne reči:** Karate, Neuromišićne kontrakcije, Tenziomiografija, Mišićne adaptacije, Nivoi treniranosti

**Naučna oblast:** Fizičko vaspitanje i sport

**Uža naučna oblast:** Teorija i tehnologija fizičkog vaspitanja i sporta

**UDK broj:** 796.8.012.1(043.3)

# CONTRACTILE CHARACTERISTICS OF THE KARATE PRACTITIONERS LEG MUSCLES OF DIFFERENT TRAINING LEVELS MEASURED BY THE TMG METHOD: A QUANTITATIVE AND FACTORIAL MODEL

## Abstract

The main goal of this research was to examine the neuromuscular characteristics of karate practitioners of different training levels.

The sample consisted of karatekas of different training levels (Elite karate athletes, Karate national team members, and Karate beginners) and a Control group. The neuromechanical contractile responses of the extensor and flexor muscles of the knee joint of the dominant and non-dominant leg (Vastus lateralis, Vastus medialis, Rectus femoris, Biceps femoris, and Semitendinosus) were examined using the tensiomyography method. Tensiomyography parameters obtained by direct measurement were Time of muscle displacement, Contraction Time, and Vertical movement of the muscle belly, based on which the variables Total Contraction Time and Rate of Muscle Tension Development were derived. Average, standard deviation, and coefficient of variation coordination Indexes were calculated for the parameters Contraction time, Total contraction time and Contraction speed for the flexors, i.e. knee joint extensors of the dominant and non-dominant leg. Average and coefficient of variation coactivation Indexes of the flexor and extensor muscles of the knee joint of the dominant and non-dominant leg were also calculated for the parameters Contraction time, Total contraction time, and Contraction speed.

The results indicate 61 statistically significant differences between the observed groups. Of that number, 32 differences were in individual TMG parameters, 24 differences in coordination indexes and five in coactivation indexes. Also, in the process of determining the individual contribution of variables to the differences between groups, a statistically significant contribution is visible in 8 parameters.

Better time parameters of karate subgroups were determined in agonist muscles of both dominant and non-dominant legs. As for the antagonist muscles, better time parameters of the non-dominant leg, as well as the speed parameter of the dominant leg, were determined. Taking into consideration the increase in the number of differences between the karate subgroups and the Control group with an increase in the level of training and competitive success, as well as the specificity of the determined differences, the above suggests the conclusion that karate training with its cumulative long-term effects of adaptation affects the improvement of the functional characteristics of the leg muscles in a sport-specific way, which can be measured using the tensiomyography method. Also, the functional homogenization of neuromechanical parameters in the form of coordination and coactivation Indexes has a positive relationship with the level of training and competitive success.

**Key words:** Karate, Neuromuscular contractions, Tensiomyography, Muscular adaptations, Training levels

**Scientific field:** Physical education and sport

**Scientific subfield:** Theory and technology of physical education and sport

**UDK number:** 796.8.012.1(043.3)

## SKRAĆENICE

<b>CNS</b> - Centralni Nervni Sistem	<b>RFD</b> - Rate of Force Development
<b>TMG</b> - Tenziomiografija	<b>SD</b> - Standard Deviation
<b>EMG</b> - Elektromiografija	<b>cV%</b> - Coeficient of Variation
<b>RF</b> - Rectus Femoris	<b>Min</b> - Minimum
<b>VL</b> - Vastus Lateralis	<b>Max</b> - Maksimum
<b>VM</b> - Vastus Medialis	<b>D</b> - Dominantna noga
<b>BF</b> - Biceps Femoris	<b>ND</b> - Nedominantna noga
<b>ST</b> - Semitendinosus	<b>IC</b> - Indeks Koordinacije
<b>EK</b> - Elitni Karatisti	<b>Index_Coa</b> - Indeks Koaktivacije
<b>KR</b> - Karate Reprezentativci	<b>Q</b> - Opružači zgloba kolena
<b>KO</b> - Karate Osnovno	<b>H</b> - Pregibači zgloba kolena
<b>KG</b> - Kontrolna Grupa	<b>FK</b> - Front Kick
<b>BH</b> - Body Height	<b>RK</b> - Roundhouse Kick
<b>BM</b> - Body Mass	<b>MOK</b> - Međunarodni Olimpijski Komitet
<b>BMI</b> - Body Mass Index	<b>SFO</b> - Specijalno Fizičko Obrazovanje
<b>Td</b> - Time of Displacement	<b>MMA</b> - Mixed Martial Arts
<b>Tc</b> - Time of Contraction	<b>WKF</b> - World Karate Federation
<b>TcT</b> - Total Contraction Time	<b>FIAS</b> - International Sambo Federation
<b>Dm</b> - Displacement of Muscle	<b>Sig</b> - Significance
<b>RMTD</b> - Rate of Muscle Tension Development	

# Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI PRISTUP PROBLEMU ISTRAŽIVANJA .....	4
2.1. Karate sport .....	4
2.2. Mišićne kontrakcije.....	6
2.3. Kontraktilne adaptacije skeletnih mišića.....	9
2.4. Uloga mišića nogu u karate sportu .....	10
3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA .....	13
4. PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA .....	16
5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	17
6. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA .....	18
6.1. Uzorak ispitanika.....	18
6.2. Tenziomiografija .....	19
6.3. Procedura testiranja.....	22
6.4. Varijable .....	23
6.5. Statističke procedure .....	25
7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	26
7.1. Osnovni deskriptivni pokazatelji .....	26
7.1.1. Uzrast i morfološke karakteristike .....	26
7.1.2. Parametri tenziomiografije.....	27
7.2. Indeksi koordinacije i koaktivacije.....	31
7.3. REZULTATI DISKRIMINATIVNE ANALIZE.....	37
7.3.1. Diskriminativna analiza za opružake u zglobu kolena dominantne noge.....	37
7.3.2. Diskriminativna analiza za opružake u zglobu kolena nedominantne noge.....	39
7.3.3. Diskriminativna analiza za pregibače u zglobu kolena dominantne noge .....	41
7.3.4. Diskriminativna analiza za pregibače u zglobu kolena nedominantne noge.....	43
7.3.5. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu Tc .....	45
7.3.6. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc.....	47
7.3.7. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT .....	49



7.3.8. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu TcT .....	51
7.3.9. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu RMTD .....	53
7.3.10. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu RMTD .....	55
8. DISKUSIJA.....	57
8.1. Osnovni deskriptivni pokazatelji .....	57
8.1.1. Uzrast i morfološke karakteristike .....	57
8.1.2. Parametri tenziomiografije.....	57
8.1.2.1. Parametri tenziomiografije mišića agonista.....	57
8.1.2.2. Parametri tenziomiografije mišića antagonista .....	61
8.2. Indeksi koordinacije .....	64
8.3. Indeksi koaktivacije.....	67
8.4. Diskusija rezultata diskriminativne analize .....	68
8.4.1. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića opružača zgloba kolena dominantne noge	69
8.4.2. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića opružača zgloba kolena nedominantne noge .....	69
8.4.3. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića pregibača zgloba kolena dominantne noge.....	69
8.4.4. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića pregibača zgloba kolena nedominantne noge .....	70
8.4.5. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu Tc.....	70
8.4.6. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu Tc.....	70
8.4.7. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu TcT .....	70
8.4.8. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu TcT .....	71
8.4.9. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu RMTD.....	71
8.4.10. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu RMTD.....	71
8.5. Limitacije studije.....	72
9. ZAKLJUČAK.....	73

10. LITERATURA .....	76
Изјава о ауторству .....	88
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.....	89
Изјава о коришћењу.....	90
Odobrenje etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.....	92
Naslovna strana objavljenog rada .....	94
BIBLIOGRAFIJA KANDIDATA.....	95
BIOGRAFIJA KANDIDATA.....	97

# 1. UVOD

U Tokiju 2020. godine, karate se posle višedecenijskih najava našao u okviru programa Olimpijskih igara. To je dovelo karate kao sport u žižu interesovanja šire javnosti. U uslovima posledične popularizacije, razvoj karatea treba da prati i intenziviranje tretiranja karatea od strane sportske nauke. Primenom novih rezultata naučno-istraživačkog rada upotpunjuju se znanja o karateu kako sa stanovišta sporta, tako i sa stanovišta psiholoških i srodnih nauka sa više aspekata – strukturnog, funkcionalnog, informacionog, energetskog, biomehaničkog, biohemijskog, metodičkog, obrazovno – trenažnog itd. (Mudrić i sar., 2015).

Karate je popularna japanska borilačka veština na bazi udaraca sa preko 10 miliona sportista i 100 miliona vežbača u svetu (Molinaro et al., 2020). Karate na japanskom znači „prazna šaka / ruka“; nastao je i vežban u tajnosti na Okinavi u ranom 17. veku, u vreme kada je „običnom narodu“ svako oružje bilo konfiskovano od strane policije (Tabben et al., 2014). Ova zabrana nošenja oružja i učenja borilačkih veština dogodila se carskim dekretom, tokom viševekovnog perioda mira, za vreme vladavine dinastije Tokugava šogunata (1600 - 1868). Posledično je došlo do razvoja ratničkih borilačkih veština, a taj deo istorije Japana je zabeležen kao period procvata u svakom pogledu - kulturnom, vojnom i drugim sferama života (Mudrić i sar., 2015). Veliki broj definicija opisuju karate, ali se uglavnom sve koncentrišu oko njegova tri karakteristična aspekta: umetnost, veština i sport. Kroz ove aspekte je karate evoluirao, da bismo danas došli do postojanja tri oblika praktikovanja karatea: tradicionalnog, praktičnog i sportskog (Jovanović, 1992)<sup>1</sup>.

**Tradicionalni karate** podrazumeva formu bavljenja karateom koji se zasniva na učenju i usavršavanju standardnih školskih modela tradicionalne forme tehnike (KIHON). Primarno mesto u obuci ima metod KATA (japanski naziv za simboličke borilačke forme). Uz kate, zastupljen je i TEMAŠI VARI (metod jačanja udarnih površina). Sparing je veoma malo zastupljen i to isključivo u dogovorenom obliku (ĐAKUSOKU KUMITE). Ovaj koncept vežbanja karatea ima specifičnu filozofsku i psihološku borilačku osnovu. Naime, osnovna ideja treninga jeste postizanje KIME-a dugogodišnjim perfekcionistačkim usavršavanjem tehnike, uz ispoljavanje totalne spoljašnje i unutrašnje energije putem posebne mobilizacione spremnosti organizma za realizaciju principa „ubiti jednim udarcem“. Nepostojanje takmičenja je jedno od osnovnih obeležja ovog oblika vežbanja (Jovanović, 1992). Karate kao borilačka veština ima ogromnu paletu tehnika. Imajući u vidu da u tradicionalnom obliku karatista efikasno koristi sve delove tela kao ubojito oružje, arsenal tehničkih rešenja u okršaju sa protivnikom se čini gotovo neograničenim (Błaszczyszyn et al., 2019).

**Praktični karate** je drugi oblik karatea, koji se primenjuje kao sadržaj programa samoodbrane i specijalnog fizičkog obrazovanja (SFO). U programu obuke lica koja se bave poslovima koji zahtevaju posebne borilačke sposobnosti tehnike karatea imaju značajnu ulogu i veliku upotrebnu vrednost (policija, vojska, službe bezbednosti...). Elastična povezanost sa tehnikama iz drugih borilačkih sistema (džudo, aikido, boks, rvanje...) je karakteristika ovog

---

<sup>1</sup> Mudrić i sar. (2015) ističu da su tri najznačajnija oblika u kojima se karate danas praktikuje sportska disciplina, veština samoodbrane i zdravstveno-rekreativni oblik. Ostaje nejasno da li se pod veštinom samoodbrane podrazumeva praktični karate (za koji Jovanović (1992) tvrdi da sadrži i samoodbranu i SFO) i da li se pod zdravstveno-rekreativnim oblikom praktikovanja karatea podrazumeva tradicionalni karate, ili se autori mimoilaze u pogledu postojanja pojavnih oblika modernog karatea.

pojavnog oblika upražnjavanja karatea. Tehnike karatea u ovom slučaju predstavljaju deo širokog i kompleksnog tehničkog sistema koga čine udarci (rukama i nogama), bacanja, gušenja, hvatovi, držanja i poluge (Jovanović, 1992), u cilju efikasne primene istih u profesionalnom postupanju zaposlenih u organima bezbednosti (Blagojević i sar., 2019; Mudrić, 2001; Milošević i sar., 2001).

Karate je evoluirao od tradicionalne borilačke veštine do modernog **sporta** (Tabben et al., 2018). Moderni – sportski karate predstavlja transformisani oblik tradicionalnog koncepta vežbanja, koji je nastao početkom 20. veka, prvim javnim prikazom karatea, a posebno se razvio posle Drugog svetskog rata, uvođenjem takmičenja u borbama (jap. KUMITE). Karate sport, u kom se takmičari pridržavaju strogih pravila borbe ograničava upotrebu opasnih tehnika, a one koje mogu trajno povrediti protivnika su odbačene (Błaszczyszyn et al., 2019). Osnovno obeležje poen karatea je takmičenje u disciplinama borbi i kata (Jeknić, 2012).

Brojne studije su se bavile fiziološkim karakteristikama i voljnim mišićnim kontrakcijama karatista u obe pomenute discipline (Rodrigues Ferreira & Vences Brito, 2010; Kotrljanovic et al., 2016; Güler & Ramazanoglu, 2018; Mori et al., 2002; Iide et al., 2008; Arazi & Izadi, 2017 itd.). Naime, Rodrigues Ferreira i Vences Brito (2010) su proučavali kinematičku i elektromiografsku aktivnost mišića pri ručnim napadima specifičnim za karate – direktnim udarcima u telo (jap. „choku-zuki“). Kotrljanovic i saradnici (2016) su metodom izokinetičke dinamometrije poredili odnose snaga mišića opružaca i pregibača u zglobu kolena kako unutar muške i ženske grupe, tako i između polova. Sa druge strane, Güler i Ramazanoglu (2018) su koristeći specifični karate test koji simulira borbu pratili fiziološke parametre (koncentraciju laktata u krvi, puls i potrošnju kiseonika) pre, tokom i nakon testa simuliranih borbi. Iste fiziološke karakteristike (koncentraciju laktata u krvi, puls i potrošnju kiseonika) su proučavali Iide i saradnici (2008) u studiji koja je poredila karatiste različitog uzrasta, testirajući ih tokom sparringa u trajanju od 2 i 3 minuta. Arazi i Izadi (2017) su proučavali morfološke i motoričke karakteristike iranskih reprezentativaca na osnovu testiranja antropometrije, telesne kompozicije, somatotipa i motoričkih sposobnosti (izdržljivosti, snage i fleksibilnosti). Nasuprot mnogih studija baziranih na fiziološkim, opšte motoričkim, specifično – sportskim i drugim testovima pri voljnoj mišićnoj aktivaciji karate takmičara, ne postoje istraživanja nevoljnih (stimulisanih) kontraktilnih karakteristika mišića ove populacije, što je od suštinskog značaja za povezivanje teorijskog i praktičnog aspekta sporta, kao ni fenomena koji dovode do adaptivnih promena u skeletnim mišićima „poen karate“ takmičara. Konkretno, merenje nevoljnih mehaničkih i kontraktilnih mišićnih svojstava, bez kršenja dnevne rutine treninga i izbegavanje uticaja faktora kao što su motivacija, umor ili povreda su od velike važnosti za praksu ovakvih testiranja i njihovu objektivnu vrednost.

Adaptivne promene mogu biti izazvane u neuromuskularnom sistemu kao odgovor na specifične vrste treninga (Aagaard, 2003). Povećanje sile i snage kontrakcije, kao i stepena brzine razvoja sile (RFD) će se desiti ne samo zbog promena u morfologiji i arhitekturi mišića (Aagaard et al., 2001), već i kao rezultat promena u smislu pozitivne adaptacije nervnog sistema (Aagaard et al., 2000; 2002; Van Cutsem et al., 1998). Uprkos ogromnoj popularnosti karatea, ipak do danas nema adekvatnih podataka kao i naučnih dokaza u kojoj meri se nevoljne mišićne kontraktilne karakteristike adaptiraju na utreniranost, usmerenje i uspešnost u datom sportu, kao i u kojoj meri su potencijalne adaptacije senzitivne sa aspekta diskriminacije tj. prepoznavanja razlike modaliteta treniranja karatea, iako takva vrsta podataka i naučnih dokaza postoji za brojne druge sportske grane i discipline (Rodriguez-Ruiz et al., 2014; Diez

Vega et al., 2012; García-García et al., 2015; Loturco et al., 2019; Pajović et al., 2023; Jones et al., 2023; Rey et al., 2012a itd.).

## 2. TEORIJSKI PRISTUP PROBLEMU ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Karate sport

Borilačke veštine predstavljaju svetski fenomen koji je nadržastao svoje izvorne nacionalne granice i područje uticaja i postao globalna pojava. Njihovo poreklo je uglavnom lokalizovano na istoku (Kina, Rju Kju arhipelag, Tajland, Koreja, Indonezija, Japan, Persija itd.) ali današnji oblik, koji je na "tržištu" je globalni i bitno izmenjen u odnosu na izvorne sadržaje i praksu u svojim matičnim kulturama. Faktori koji su najviše oblikovali fenomen borilačkih veština poslednjih decenija jeste njihova adaptacija drugim kulturnim obrascima i spajanje sa telesnim aktivnostima koje već postoje u tim kulturama (Filipović, 2011).

Nadmetanja u borilačkim veštinama prate ljudsku istoriju – zabeležene su svečanosti na pogrebu Ahilovog prijatelja i ljubimca Patrokla 1185. pne (Ćirković, 2007), preko antičkog boksa i rvanja, pankraciona, pojave takmičenja u "istočnim" veštinama, vale tudo-a, do današnjeg sjedinjavanja veština i nadmetanja u mešovitim borilačkim veštinama (eng. mixed martial arts - MMA) (Jeknić, 2012). Sportisti se u borilačkim disciplinama takmiče u tehničkim, taktičkim, fizičkim i drugim domenima, što se realizuje kroz promene u distanci, kao i kombinacije u pokretima napada i odbrane (Beránek et al., 2023).

Borilačke sportove Ćirković i saradnici (2010) klasifikuju na sledeći način: najpre ih dele u dve kategorije - borilačke sportove bez oružja i borilačke sportove sa oružjem (mačevanje, kendo itd.). Grupa borilačkih sportova bez oružja se zatim deli u tri grupe:

1. Borilački sportovi na bazi udaraca – Boks, Karate, Taekvondo, Savate, Kik boks, Ful kontakt, Tajlandski boks...
2. Borilački sportovi na bazi bacanja – Rvanje, Grepling, Džudo, Sumo rvanje, Sambo...
3. Kombinovani borilački sportovi – MMA, Pankracion, Džiu džicu<sup>2</sup>...

Uz ovu klasifikaciju treba napomenuti i neke izuzetke i tendencije. Sambo danas nije borilački sport isključivo na bazi bacanja. Naime, u okviru Svetske Sambo Federacije (FIAS) se organizuju takmičenja u tri discipline – Sport Sambo, Combat Sambo i Beach Sambo. Disciplina Combat Sambo je namenjena samo muškarcima i u njoj su pored bacanja dozvoljeni razni udarci rukama i nogama (čak su ovi drugi zastupljeniji), te se stoga može reći da je Combat Sambo kombinovani borilački sport. Ova pojava nije usamljena, već dosta tradicionalnih borilačkih veština koje su postale moderni sportovi idu korak dalje i radi atraktivnosti i povećanja bodovnog asortimana sve više dobijaju kombinovani borilački oblik (npr. Karate Combat). Treba napomenuti da je i sportski karate doživeo promene što se tiče pravila takmičenja. Postepeno su pored čišćenja dozvoljena i određena bacanja, koja sama po sebi ne donose bodove, već samo u kombinaciji sa udarcem. Međutim, potrebno je naglasiti da moderni sportski karate i pored pomenutih promena ostaje dominantno udaračka sportska disciplina.

Karate se smatra jednim od najpopularnijih borilačkih sportova na svetu (Jemili et al., 2017; Tan, 2004; Jeknić et al., 2017). Zahteva visoki nivo tehničkih veština, kao što je fina

---

<sup>2</sup> Današnja takmičenja u džiu džicu se zasnivaju na bacanjima, polugama, kontroli protivnika na zemlji i gušenjima. Kao veština podrazumeva upotrebu svega navedenog uključujući i udarce i upotrebu hladnog oružja. Dakle, kao sport nije „klasično“ kombinovan kao MMA i Pankracion.

kontrola pokreta, praćena velikom sposobnošću da se glavne tehničke radnje izvode što je brže moguće (tzv. „balističke akcije“) (Przybylski et al., 2021). Dominantan motorički obrazac u karateu je da se veoma složene radnje, odnosno primenjene tehnike realizuju pri velikim brzinama kretanja i velikom preciznošću (Sbriccoli et al., 2010). Karate je sport intervalnog karaktera, visokog intenziteta sa aerobnim i anaerobnim radnim naprezanjem (Herrera-Valenzuela et al., 2021), strogim vremenskim i prostornim ograničenjima, uz zahtev brzih reakcija u ofanzivnim i defanzivnim akcijama (Mori et al., 2002). Postizanje visokog nivoa performansi, u kompleksno strukturiranom sportu kao što je karate, je određeno fizičkom pripremljenošću, tehnikom, taktikom borbe i mentalnim stanjem takmičara (Przybylski et al., 2021). Takmičarska aktivnost se najčešće pojavljuje u dva modaliteta: borbe (kumite) i forme (kata) (WKF - Statutes & Rules, 2024) i u oba uspeh u značajnoj meri zavisi od razvijenosti motoričkih faktora (snage, brzine i izdržljivosti).

Drugi važan faktor koji može bitno uticati na performanse karate takmičara su kinantropometrijski atributi (Nichas et al., 2020). Przybylski i saradnici (2021) takođe opisuju sportski karate kao disciplinu koja zahteva performanse visokog nivoa najviše zasnovane na balističkim pokretima uz rapidno vreme reakcije, maksimalno ubrzanje, „eksplozivnu snagu“ i brzinu kao odgovor na stimulus. Konkretno, takmičar mora da reaguje što je brže moguće na vizuelne ili akustične stimuluse sa maksimalnom brzinom, snagom i kontrolom izvođenja pokreta (Berti et al., 2019). Dalje, karatisti moraju biti u stanju da primene efikasne motoričke strategije kako bi održali svoje telo stabilnim dok realizuju veliku količinu ili visok intenzitet ispoljavanja mišićne sile (Cesari & Betrucco, 2008). Pored kontrole statičkih položaja, postoji zahtev kontrole i dinamičkih pokreta, jer se koriste tehnike koje se izvode na izuzetno dinamičan, precizan i specifično koordinisan način (Przybylski et al., 2021). Konačno, karate takmičarskog nivoa zahteva koordinisanu kombinaciju perceptivnih (vizuelnih, proprioceptivnih, auditivnih i interoceptivnih), kognitivnih (radna memorija i pažnja) i motoričkih (brzina, reaktivnost, sposobnost koordinacije i eksplozivnost) sposobnosti koje se progresivno usavršavaju i unapređuju kontinuiranom obukom, posebno u pogledu brzine obrade primljenih signala u funkciji vremena izvršenja (Berti et al., 2019).

Karate se vežba u različitim oblicima i stilovima. Poznatiji stilovi su Shotokan, Shito-Ryu, Goju-Ryu, Wado-Ryu, Kyokushin (Oyama-Ryu), Uechi-ryu, Fudokan, Shorin-ryu (Kobayashi-ryu, Matsubayashi-ryu, Shobayshi-ryu, Matsumura Seito), Kojo-ryu, Ruei-ryu, To'on-ryu... Za potrebe ovog rada fokus će biti orijentisan na najmasovniji pojavni oblik trenažnog i takmičarskog karatea - tzv. „poen karate“ pod pokroviteljstvom svetske karate federacije. Svetska karate federacija (WKF - World Karate Federation), koju prepoznaje MOK (međunarodni olimpijski komitet), je najveće međunarodno upravljачko telo za sportski karate sa oko 100 miliona sportista iz 199 zemalja članica (WKF - Statutes & Rules, 2024) i okuplja uglavnom vežbače Shotokan, Goju-ryu, Shito-ryu i Wado-ryu stilova. Neke od karate federacija imaju i svoja specifična takmičenja: demonstracije lomljenja tvrdih predmeta, demonstracije dogovorenog sparringa (neka vrsta dogovorene borbe u situaciono složenim uslovima), takmičenja hendikepiranih osoba itd. (Mudrić i sar., 2015).

Karate borba (kumite) je nadmetanje između dva takmičara pod strogo definisanim pravilima u kojoj dominira ofanzivno i defanzivno kretanje, kao i zadavanje ručnih i nožnih udaraca (Chaabene et al., 2012). Karate borba pripada grupi polu-strukturalnih acikličnih sportova gde aciklični kompleks pokreta dominira na relativno malom prostoru sa ciljem poentiranja simboličnom destrukcijom protivnika. U borbi su dozvoljeni udarci rukama (jap.

tsuki i uchi) i nogama (jap. geri) u predele glave i torzoa (jap. jodan i chudan) protivnika u cilju postizanja poena. U tehnički repertoar se ubrajaju i specifična čišćenja i bacanja. Takmičenja se izvode na strunjači (jap. tatami) dimenzije 8 x 8 m u trajanju borbe od 3 minuta za muškarce i žene u seniorskoj konkurenciji (WKF - Kumite competition rules, 2024). Osvajanje poena različite bodovne vrednosti predstavljaj cilj u nadmetanju karatista u sportskoj borbi, a oni se vrednuju na sledeći način: IPPON (tri boda), VAZA-ARI (dva boda) i YUKO (jedan bod) (Arazi & Izadi, 2017; Chaabene et al, 2019). Uspeh takmičara u karate borbi je usko povezan sa njihovim perceptivnim i anticipativnim sposobnostima (Mori et al., 2002), uz fokus na dinamičku posturalnu kontrolu (Hadad et al., 2020). U kumiteu i katama, snažna i duboka vokalizacija (kiai) često prati izvođenje date tehnike.

Kate predstavljaju oblik karate praktikovanja gde se unapred dogovoreni skup pokreta izvodi na egzibicioni način (Arazi & Izadi, 2017; Chaabene et al., 2019). Spadaju u aktivnosti tipa zatvorenog motoričkog stereoptipa, odnosno sastoje se od šematizovanih kretanja, definisanih sekvenci bez direktnog kontakta sa protivnikom (Koropanovski, 2012; Nedeljkovic et al., 2017). Može se izvoditi pojedinačno ili u timu od 3 karateke. Članovi kata tima simultano izvode tehničke zadatke koji iziskuju velike fizičke napore i zahtevaju visoki nivo perceptivnih sposobnosti, vezanih kako za prostornu orijentaciju tako i za vremensko uskladjivanje (Mori et al., 2002). Prilikom izođenja kata fokus se stavlja na dinamičku i statičku kontrolu držanja – posture (Hadad et al., 2020), te za posledicu ima značajno povećanje stabilnosti tela vežbača (Gauchard et al., 2018). Postoji veliki broj kata u različitim stilovima karatea, a u okviru WKF pravila 102 kate su uvrštene u oficijalnu listu, tj. mogu biti izvođene na zvaničnim takmičenjima (WKF Kata competition rules, 2024). U okviru izvođenja kata postoji i fenomen bunkai-a, koji za cilj ima objašnjenje primene tehnika u kati.

## 2.2. Mišićne kontrakcije

Telo čoveka ima prepoznatljivu strukturu i specifične funkcije strukturnih elemenata koje su visoko usaglašene. Međusobni odnosi gradivnih tkiva – koštanog, mišićnog i masnog, tj. morfološke karakteristike – visina, masa i volumen tela opisuju telesnost kao karakterističan oblik i konstituciju čoveka (Kukolj, 2006). Mišići su tkivo tela sa kontraktilnim specifičnostima, odnosno spadaju u aktivni deo sistema za kretanje (Bošković, 1984). Njihovo osnovno svojstvo je da se posredstvom neuromišićnih veza skupljaju ili stežu, kada su stimulisani nervnim impulsima (Ilić & Mrdaković, 2009).

Mišići predstavljaju složen biološki i biomehanički sistem, posmatrano iz aspekata neurofiziologije, histologije, biohemije itd. (Jarić, 1997). Imaju sposobnost pomeranja delova tela ili menjanja oblika unutrašnjih organa. Mišićne ćelije su specijalizovane da omoguće kontrakcije (Milner, 2008). Postoje tri vrste mišića u telu, od kojih svaki ima svoju specijalizovanu aktivnost.

**Skeletni mišići** su pod kontrolom somatskog nervnog sistema, mogu se voljno aktivirati i pokreću telo u zglobovima. Ovaj tip mišića je najvažniji u funkcionalnoj anatomiji (Frontera & Ochala, 2015). Skeletni mišići čine oko 40 % telesne mase, u kome postoji više od 600 skeletnih mišića. Skeletni mišići imaju četiri glavne funkcije: kretanje, posturu, stabilizacija zgloba i stvaranje toplote (Frontera & Ochala, 2015). Skeletni mišić je vezan za kosti putem vezivnog



tkiva. Tetiva mišića ili sam mišić prelazi jedan ili više zglobova. Kada se mišić skraćuje, pomera kost u zglobu preko kojeg mišić prelazi. Koordinisana kretanja kostiju koje uzrokuju mišićne aktivnosti pokreću celo telo. Skeletni mišići su takođe odgovorni za posturu tela (držanje). Održavanje stojećeg ili sedećeg položaja tela omogućava periodična kontrakcija mišića. Mišići su pored pomeranja zglobova uključeni i u njihovu stabilizaciju. Stabilizacija zgloba se postiže održavanjem napetosti na tetivi mišića mehanizmom održavanja niskog nivoa kontrakcije uz trajno nizak nivo tonusa. Ovo je posebno važno u zglobovima kolena i ramena čija struktura po prirodi nije stabilna. Kao što je već navedeno, mišićna kontrakcija stvara i toplotu. Ona pomaže telu čoveka da održi normalnu temperaturu od oko 37°C (Nikolić, 2003). Za potrebe ovog rada valja napomenuti da se skeletni mišići (koji su po pravilu pod uticajem volje) mogu pokrenuti i na drugi način, npr. elektrostimulacijom. Druge dve vrste mišića kontroliše autonomni nervni sistem i nisu pod uticajem volje čoveka.

U zidovima srca i središnjem sloju plućnih vena (blizini njihovog ušća u srce) se nalazi **srčani mišić** koji formira miokard, mišićni zid srca. Nalazi se i u zidovima aorte, plućne vene i gornje šuplje vene. Otkucaji srca su posledica kontrakcija srčanog mišića. Autonomni nervni sistem preko „pejsmejkera“ (specijalizovanih ćelija) kontroliše puls. Srčani mišić se ne umara, njegov dugogodišnji rad se sastoji iz danonoćnog skupljanja i opuštanja.

**Glatki mišići** se nalaze u zidovima većine krvnih sudova, delovima digestivnog trakta, folikulima kose i u oku. Ovaj tip mišića može ostati parcijalno napet duži vremenski period. Na primer, glatki mišić stezanjem kontroliše debljinu očnog sočiva, omogućavajući oku fokusiranje na različite udaljenosti (Nikolić, 1995).

Mišići su organizovani u grupe unutar segmenata tela. Ove grupe su odvojene fascijama (vlaknastim vezivnim tkivima) u pojedinačne odeljke. Na primer, u nadlaktici postoje tri grupe: rameni pojas, zadnji i prednji deo ruke. Slično tome, u natkolenici postoje prednji, srednji i zadnji deo butine (Milner, 2008).

**Nazivi mišića** su izvedeni iz karakteristika mišićnog lokaliteta i funkcije. Njihova imena uključuju reference na mesto, oblik, veličinu, pravac vlakna, poreklo, lokaciju pripoja, delovanje mišića, strukturu i funkciju. „Unutrašnje i spoljašnje“ se odnose na dublje ili površnije lokacije, npr. unutrašnje i spoljašnje kose mišiće na trupu (Milner, 2008). „Prednji i zadnji“ opisuju položaj mišića u odnosu na kost, kao što su tibialis anterior i posterior u potkolenici. Nazivi mišića mogu eksplicitno uključiti imena delova tela, kao što su interkostalis - međurebarni mišići (costa = rebro) ili brahialis - mišić ruke (brachium = ruka). Celokupni oblik mišića može biti uključen u naziv: deltoid je trouglastog oblika (simbol za grčko slovo delta je trougao). Relativna veličina se često koristi u imenovanju mišića unutar grupe. Sedalni su dobar primer, nazvani od najvećeg do najmanjeg kao gluteus maxmus, medius i minimus (Milner, 2008). Parovi mišića koji su slični, pri čemu je jedan duži od drugog (uključujući dužinu njegove tetive) nazivaju se longus i brevis (dugi i kratki), npr. peroneus longus i brevis u donjim ekstremitetima. Pravac u kome se kreću mišićna vlakna takođe može biti izvor imena mišića. Vlakna rectus abdominis-a su paralelna sa srednjom linijom tela. Transversus abdominis ima vlakna koja se kreću normalno u odnosu na srednju liniju, horizontalno oko stomaka. Vlakna oblique-a su pod kosim uglom u odnosu na srednju liniju, protežući se dijagonalno preko stomaka. Broj glava mišića može biti uključen u naziv kao „ceps“. Biceps brachii, triceps brachii i quadriceps femoris imaju dve, tri, odnosno četiri glave. Mišići se mogu nazvati prema lokaciji njihovog porekla i mesta pripoja, pri čemu se prvo imenuje poreklo, na primer, brachioradialis potiče od ruke (brachium) i ide ka radius-u. Funkcija mišića može biti

uključena u njegovo ime kao fleksor, ekstenzor, aduktor ili abduktor. Adductor longus privlači / privodi butinu u zglobu kuka. Nazivi mišića mogu postati prilično dugi ako uključuju kombinaciju različitih klasifikacija, npr. extensor carpi radialis longus je dugi ekstenzor zgloba (carpi) na radijalnoj strani podlaktice. Ovo ime uključuje radnju, zglob, lokaciju i relativnu veličinu mišića (Milner, 2008).

Postoji nekoliko različitih tipova **mišićnih kontrakcija**, koje rezultiraju različitim obrascima kretanja u zglobu koji mišić prelazi (Jarić, 1997). U **koncentričnoj kontrakciji**, mišić se skraćuje dok se stimulira. Smer kretanja u zglobu i smer stvorenog mišićnog momenta su isti. Koncentrična kontrakcija je posledica „skraćanja“ mišića, npr. koncentrična kontrakcija biceps femoris-a (koji se nalazi na zadnjoj strani natkolenice) dovodi do savijanja kolena, kao tokom vežbe „leg curl“. Konkretno, tokom ove vrste kontrakcije mišić se skraćuje i proizvodi silu, koja se prenosi kroz tetivu na zglob, omogućavajući kretanje i promenu ugla zgloba (Pakosz et al. 2023).

**Ekscentrična kontrakcija** je suprotna od koncentrične. U ovom slučaju, mišić se produžava dok je stimulisan, a kretanje zgloba i generisani obrtni momenat deluju u suprotnom smeru. Ekscentrična kontrakcija usporava kretanje u datom zglobu i suprotna je gravitacionoj (Jarić, 1997). Ponovo koristeći primer bicepsa u natkolenici, zglob kolena će se pomeriti iz pregibanja u opružanje uz dejstvo kontrakcije kvadricepsa. Ekscentrične kontrakcije se javljaju tokom svakodnevnih pokreta, omogućavajući „gušenje“ mehaničke energije tokom usporavanja pokreta tela (Konow & Roberts, 2015). Ekscentrične kontrakcije takođe omogućavaju pretvaranje kinetičke u elastičnu energiju uskladištenu u tetivama, delimično je obnavljajući i rezultirajući manjim radom mišića (Hoppeler & Herzog, 2014).

**Izometrijska kontrakcije** je ona u kojoj se zglob ne pomera iako se mišić stimulira. U ovom slučaju postoje dva suprotna momenta koji se međusobno poništavaju. To su situacije gde su spoljašnji otpor i nivo sile koju mišić ostvaruje u ekvilibrijumu - ravnoteži (Blagojević i sar., 2019). Deo imena „izo“ znači „isti“, a „metrički“ deo se odnosi na dužinu, tj. mišić ne menja dužinu (u poređenju sa skraćanjem odnosno produženjem u koncentričnoj i ekscentričnoj kontrakciji, respektivno). Konkretno, zglob je fiksiran jer postoji par mišića koji rade „jedan protiv drugog“. Ova pojava se imenuje kao mišićni par **agonist-antagonist** (Nikolić, 2003). Na primer, da bi se zglob lakta održao u fiksnoj položaju dok se drži teg, pod uglom od 45°, pregibači i opružači formiraju par agonist-antagonist, pošto je jedan fleksor, a drugi ekstenzor lakta. Pregibači i opružači zgloba ručja su izometrijski kontrahovani da bi zglob ostao fiksiran. Režim izometrijske kontrakcije se javlja u stavovima, izdržajima i sl. (Jarić, 1997). U stavovima se agonist-antagonist par javlja u mišićima opružačima i pregibačima zgloba kolena, odnosno fleksorima i ekstenzorima zgloba kuka, kao i u drugim zglobovima koji moraju održavati specifičnu posturalnu kontrolu tokom pomenutih stavova i izdržaja.

Postoje još dva tipa mišićne kontrakcije koji su posebni slučajevi koncentričnih i ekscentričnih kontrakcija: izokinetička i izotonična (Milner, 2008). Kod **izokinetičke kontrakcije** mišića postoji brzina rotacije zgloba koja se ne menja. Ova vrsta pokreta se najčešće koristi u rehabilitaciji, gde se izokinetički dinamometar koristi da ograniči kretanje zgloba pri fiksnoj brzini. **Izotonična mišićna kontrakcija** je ona u kojoj se ne menjaju količina mišićne napetosti ili tonusa. Kako se mišićna efikasnost u pomeranju zgloba može promeniti u zavisnosti od njegovog ugla, količina mišićne napetosti potrebna za podizanje tereta se može menjati u različitim fazama pokreta. Ovo je povezano sa linijom delovanja mišića preko zgloba i koliko blizu njegovog centra ona prolazi. Mašine za savlađivanje spoljašnjeg tereta su

dizajnirane po principima izotonične kontrakcije i često su zastupljene u treningu snage. Razlog za to je zahtev da se mišićna snaga ravnomerno razvija tokom čitavog opsegu pokreta vežbe. Sa tradicionalnim slobodnim tegovima, potrebna je veća mišićna snaga u pojedinim fazama pokreta nego u drugim usled nekonstantnosti savladavanja spoljašnjeg opterećenja pri različitim zglobnim uglovima.

Planirana i organizovana fizička aktivnost izaziva u mišićima značajne strukturne i metaboličke promene koje su specifične za dato vežbanje (Frontera & Ochala, 2015). Te promene se nazivaju neuromišićne adaptacije.

### 2.3. Kontraktilne adaptacije skeletnih mišića

Mišić proizvodi silu i pokrete koji mogu varirati po nivou i intenzitetu, brzini, preciznosti itd. Raznolikost profila sile i pokreta zavisi kako od perifernih faktora, kao što su anatomija i sastav vlakana mišića, tako i od centralnih faktora kao što su motorne komande. Mišić, bez obzira koliko sofisticiran u dizajnu i sastavu, deluje kao odgovor na neuralne komande kako bi proizveo potreban opseg motornih izlaza (Bawa, 2002).

Postoje brojni dokazi iz studija na ljudima i životinjama o efektima različitih vrsta treninga na tipove mišićnih vlakana (Edström & Grimby, 1986). Motorika vrhunskih sportista se značajno razlikuje od prosečne populacije, a naročito one sposobnosti koje dominantno doprinose uspehu u sportskoj grani za koju je sportista specijalizovan. Prilikom trenažne i / ili takmičarske aktivnosti lokomotorni sistem je podvrgnut akutnom ili hroničnom stresu ali je u stanju da se adaptira. Adaptacije mogu biti u širokom opsegu (u zavisnosti od vrste tretiranja) i u velikoj meri utiču na morfološka i funkcionalna svojstva sistema (Ilić & Mrdaković, 2009). Opisana karakteristika lokomotornog sistema (sposobnost adaptacije) se ostvaruje u dva smera - od CNS-a ka lokomotornom aparatu i obrnuto. Adaptacija lokomotornog sistema se odvija u odnosu na spoljašnje i unutrašnje faktore koji direktno ili indirektno utiču na kosti, hrskavice i mišiće (Ilić & Mrdaković, 2009). Na primer, trening sa opterećenjem eksplozivnog tipa (tj. trening koji uključuje visoku stopu razvoja sile - RFD) može biti optimalan za izazivanje promena u maksimalnoj brzini paljenja motornih jedinica (Aagaard, 2003). Povećanje izlazne snage motoneurona kao odgovor na trening sa opterećenjem može uključivati povećanu ekscitabilnost i brzinu pražnjenja motoneurona (Aagaard, 2003).

Zamišljanje pokreta i time njegovo poboljšanje u učenju i performansama su jasan primer neuronske adaptacije. Motorni sistem je „plastičan“ i stoga se može trenirati. Motoneuroni ispaljuju veoma kratke početne intervale paljenja da bi započeli brzu kontrakciju. Trening sa dinamičkim kontrakcijama pruža dokaze o smanjenju trajanja pomenutih početnih intervala i sinhronizovanijem paljenju drugih motornih jedinica na početku brze kontrakcije (Van Cutsem et al., 1998). Trening sa malim opterećenjem pri maksimalnoj brzini pokreta je karakterističan za moderni, sportski karate i indukuje mišićne i neuronske adaptacije. Ovaj metod, koji se obično naziva dinamički ili „eksplozivni“ trening uključuje balističke kontrakcije, koje karakteriše kratko vreme dostizanja „pika“ mišićne tenzije, visoke stope razvoja napetosti i visoke frekvencije pražnjenja motornih jedinica (Desmedt & Godaux, 1977).

## 2.4. Uloga mišića nogu u karate sportu

Karate udarci (rukama i nogama), blokovi i specifično, frekventno kretanje zahtevaju istovremenu akciju više zglobova uz učešće mišića nogu, karlice, trupa i ruku. Hariri i Sadeghi (2018) su istakli značaj i specifične karakteristike mišića nogu u dva slučaja vezana za karate sport. Prvi se odnosi na udarce nogama, gde autori ističu da su povećanje brzine ekstenzije u zglobu kolena i minimiziranje vremena proteklog pri podizanju stopala od tla i fleksiji u zglobu kuka determinante uspešnosti udaraca. Druga tvrdnja se odnosi na efikasnost kretanja, gde je naglašeno da su sposobnost izvođenja brzih manevara i promena smera od najveće važnosti u karateu. Prilikom izvođenja ručnih udaraca donji deo tela ima primaran doprinos usled činjenice da se reakcija sile tla generiše od nogu i prenosi na gornji deo tela, omogućavajući snažan pokret (Lenetsky et al., 2013; Loturco et al., 2014). Potvrda navedenog može se pronaći i u istraživanju Rinaldija i saradnika (2018) koji su otkrili značajnu pozitivnu korelaciju između sile udarca rukom i sile desne i leve noge kod profesionalnih karatista sinhronizovanim prikupljanjem kinematičkih, kinetičkih i površinskih elektromiografskih (EMG) podataka.

U poređenju sa akcijama u drugim borbenim stilovima (baziranim na bacanjima, polugama itd.), udarci se relativno brzo usvajaju zbog svoje kineziološke i refleksivne osnove, gde trajektorija udaraca gornjim ekstremitetima odgovara funkcionalnim zadacima zasnovanim na osnovnim obrascima kretanja (Beránek et al., 2023; Kabat, 1950). Ono što pred takmičare „poen - karatea“ postavlja naizgled paradoksalan zadatak jesu pravila koja zahtevaju da se kontrolišu udarci koji u prirodnim okolnostima imaju potpuno drugačiju ulogu (nanošenje bola ili povrede) (Ćirković, 2007). Konkretno, postizanje poena zahteva demonstraciju snage i brzine udaraca u regije glave ili trupa protivnika uz zaustavljanje ekstremiteta i potpunu „poštedu“ onoga protiv koga je akcija izvedena. Naime, ovi udarci se zasnivaju na lakom (do nikakvom) kontaktu sa vitalnim tačkama protivnika, tj. ispoljavanju velike količine energije u smeru iste, uz istovremenu kontrolu, tj. zaustavljanje brzih udaraca rukama i nogama. Još preciznije, pomenuti zahtevi karakteristični za „poen - karate“ uslovljavaju veoma specifično, čak, može se reći super fino usaglašavanje mišića agonista i antagonista koje ne postoji ni u jednom drugom sportu (Jemili et al., 2017; Sbriccoli et al., 2010; Quinzi et al., 2014; Quinzi et al., 2016).

Najbolji način za postizanje poena na takmičenju podrazumeva pravilo „udariti prvi“, izvođenjem odabranih tehničkih elemenata kao što su udarac rukom ili nogom. Idealno, napadač preuzima inicijativu skraćivanjem distance i poentira brzim udarcem. Horizontalno savladavanje prostora je specifično kretanje pri karate napadu koje se oslanja na brzinu kontrakcije mišića agonista (ektenzora kolena). Drugim rečima, maksimalna brzina i snaga su glavni mehanički faktori mišića uključeni u karate akcije (Ravier et al., 2004). Mišići kvadricepsa deluju kao agonisti ne samo u kretanju ka protivniku pri ručnim, već i pri izvođenju nožnih tehnika. Studija Pozo-a i saradnika (2011) je otkrila da je trajanje udarca nogom - mae geri (globalno korišćena japanska terminologija za front kick (FK)) značajno kraće za međunarodne nego za sportiste nacionalnog nivoa. S druge strane, pored velike brzine kretanja i udaranja, karatista često treba da izvrši snažno „kočenje“ pokreta sa antagonističkim mišićnim grupama kako bi se izbegao jači kontakt između napadačeve ruke ili noge i tela protivnika, shodno međunarodnim pravilima takmičenja (WKF - Kumite competition rules, 2024). Aktivnost mišića antagonista se povećava proporcionalno intenzitetu pokreta, takozvana ko-kontrakcija. Veća ko-kontrakcija implicira veće suprotstavljanje mišića antagonista nameravanom pokretu

(Moreira et al., 2016). Mišići zadnje lože natkolenice vrše ekscentričan rad apsorbujući silu tokom pokreta ekstenzije kolena, delujući kao antagonisti u većini karate tehnika (Pakosz et al., 2023).

Mišići natkolenice se, prema položaju i funkciji dele u tri grupe: prednju, zadnju i unutrašnju. U prednjoj loži se nalaze dva dvozglobna mišića, terzijski mišić (*musculus sartorius*) i četvoroglavi mišić buta (*musculus quadriceps femoris*) (Ilić & Mrdaković, 2009).

Četvoroglavi mišić buta (eng. „the quadriceps femoris muscle“) je veliki mišić koji oblikuje prednju i bočne strane natkolenice. Sastoji se od četiri mišića: pravi mišić buta (*musculus rectus femoris*), srednji stegnjeni mišić (*musculus vastus intermedius*), spoljni stegnjeni mišić (*musculus vastus lateralis*) i unutrašnji stegnjeni mišić (*musculus vastus medialis*). *Musculus rectus femoris*, pravi mišić buta ima polazište od prednje – donje bedrene bodlje (*spina iliaca anterior inferior*). *Musculus vastus lateralis* – spoljni stegnjeni mišić, se u početnom delu pripaja duž spoljne strane usne hrapave linije butne kosti (*labium laterale lineae asperae*). „Polazna tačka“ *musculus vastus medialis* - a (unutrašnjeg stegenog mišića), je na unutrašnjoj usni hrapave linije butne kosti (*labium mediale lineae asperae*). Sva četiri mišića obuhvataju čašicu (*patella*) svojim završnim tetivama i završavaju na gornjem okrajku golenjače (*tibia*) na hrapavom ispupčenju koje se naziva „*tuberositas tibiae*“, putem čašične veze (*lig. patellae*). *Musculus quadriceps femoris* je najjači mišić koji opruža potkolenicu. *Vastus lateralis*, kao jednozglobna glava je vrlo snažan, jer se suprotstavlja sili zemljine teže. Mišić *rectus femoris* je „dvozglobna glava“, koja takođe deluje kao fleksor buta. Njegovo dejstvo je posebno izraženo kada je potkolenica već opružena (Ilić & Mrdaković, 2009)<sup>3</sup>. Za potrebe ovog rada valja naglasiti tvrdnju da *rectus femoris* ima najbitniju ulogu od svih mišića koji učestvuju u izvođenju nožnih udaraca (Hiratsuka et al., 2017).

Mišići zadnje lože buta (eng. „the hamstring muscles“) su dvozglobni mišići koji povezuju sedalnu kvrugu (*tuber ischiadicum*) sa gornjim delom kostiju potkolenice. U ovu kategoriju spadaju dvoglavi mišić buta (*musculus biceps femoris*), polužilavi mišić (*musculus semitendinosus*) i poluopnasti mišić (*musculus semimembranosus*), a njihova primarna uloga je da budu antagonisti mišićima prednje lože natkolenice. Dvoglavi mišić buta (*musculus biceps femoris*) u svom gornjem delu ima dve glave, dugu i kratku. Prva (*caput longum*) se pripaja na sedalnoj kvrzi (*tuber ischiadicum*), dok se druga glava (*caput breve*) pripaja na donjoj trećini spoljne usne hrapave linije butne kosti (*labium laterale lineae asperae*). Ove dve glave se spajaju u zajedničku tetivu, koja se pripaja na vrhu glave lišnjače (*apex capitis fibulae*). Funkcije u zglobu kolena su fleksija i spoljašnja rotacija potkolenice, kao i ekstenzija buta u zglobu kuka. Polužilavi mišić (*musculus semitendinosus*) polazi od sedalne kvrge (*tuber ischiadicum*), a završava se u gornjem delu unutrašnje strane golenjače. U zglobu kolena vrši fleksiju i unutrašnju rotaciju potkolenice, u zglobu kuka ekstenziju, a ima ulogu i pomoćnog aduktora buta (Cooper & Avais, 2019).

---

<sup>3</sup> Bošković (2005) sa druge strane, tvrdi da mišić RF ima pojačanu aktivnost pri fleksiji buta ukoliko postoji fleksija u zglobu kolena. Sa aspekta težišta segmenta tela tvrdnja Ilića i Mrdakovića (2009) je opravdana. Naime, biće potrebna veća mišićna sila za pokretanje iste mase ukoliko se centar mase segmenata nalazi na većoj udaljenosti od zgloba u kom se pokret vrši, tj „promenom međusobnog položaja segmenata kinetičkog lanca se može promeniti opterećenje koje mišićima nameće težina tela“ (Jarić, 1997). Otvara se pitanje optimizacije ugla zgloba kolena ako znamo da se pri kružnim nožnim udarcima u Muay Tah-u udara uglavnom sa kolenom u ekstenziji, tj. minimalnoj fleksiji tokom čitavog pokreta (sem u slučaju „questionmark kick-a“), a u karateu sa naglašenom fleksijom pre ekstenzije. Nastavak diskusije o ovom problemu sledi u poglavljima 8.1.2.1. i 8.1.2.2.

U narednom poglavlju će biti predstavljene studije vezane za adaptacije mišićnog sistema, kao i istraživanja koja su se bavila voljnim kontraktilnim karakteristikama mišića karate sportista i njihovim specifičnim adaptacijama.

### 3. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U naučnoj literaturi su publikovani istraživački radovi u kojima ima dokaza da različite vrste treninga utiču na promene u strukturnim karakteristikama mišićno-tetivnog kompleksa, tipa vlakana i neuronske aktivacije (Marković & Mikulić, 2010; Ojeda-Aravena et al., 2020). Imajući u vidu specifične obrasce „paljenja“, strategije koordinacije i šeme kontrole koje se realizuju tokom balističkih pokreta, može se očekivati da će vrsta treninga ili aktivnosti koje stimulišu balističke kontrakcije izazvati vrlo specifične neuromišićne adaptacije koje se čak mogu proširiti i na transformaciju tipa vlakana (Angel, 1974; Zehr & Sale, 1994). Jansson i saradnici (1990) su ukazali da je moguće postići transformaciju kompozicije mišićnih vlakana uz trening visokog intenziteta. Ispitanici su ponavljali Wingate sprint treninge i testove na bicikl ergometru (u trajanju od 30 sekundi) tokom 4 do 6 nedelja i zabeleženo je značajno smanjenje vlakana tipa I i značajno povećanje mišićnih vlakana tipa IIA. Jansson i saradnici su zaključili da efekat ovog tipa treninga može biti povezan sa povećanom frekvencijom paljenja motornih jedinica, što se vidi kroz promenu obrasca aktivacije vlakana tokom treninga.

Hainaut i saradnici (1981) su testirali dve grupe ispitanika – jedna je trenirala izometrijski a druga brzo izotonično u periodu od 3 meseca. Nakon trenažnog procesa ustanovljeno je da grupa „brzo izotonično treniranih“ proizvodi kraći trzaj i kraće vreme kontrakcije u m. adductor pollicis-u nego ispitanici koji su trenirali izometrijskim režimom. U sličnoj studiji, ispitujući uticaj 3 različita režima treninga (takođe na m. adductor pollicis-u), Duchateau i Hainaut (1984) su potvrdili zaključak da ljudski mišići imaju kapacitet da adaptiraju svoje kontraktilne karakteristike. Cracraft i Petajan (1977) su istražili da li dinamički i izometrijski režimi treninga mogu da izazovu promene u obrascima pokretanja pojedinačnih motornih jedinica koje mogu uticati na adaptaciju mišića. Rezultati studije su pokazali da statički i dinamički režimi treninga proizvode promene u obrascima paljenja motornih jedinica u tibialis anterior-u. Zaključeno je da režim rada (izometrijski naspram dinamičkog) ima direktan uticaj na motoneurone i da plastičnost u kontroli pokretanja motornih jedinica može dovesti do promena u sastavu mišićnih vlakana.

Pod pretpostavkom da balistički trening može izazvati neuromišićne adaptacije koje uključuju refleksne odgovore, Mortimer i Webster (1983) su otkrili da karatisti usled treninga na kojima se potenciraju balistički pokreti manifestuju pojačanje miotatičkih puteva sa dugom latentnošću koji prethode pokretu, veće ubrzanje ekstremiteta i kraće vreme uspona u početnoj aktivaciji agonista u odnosu na kontrolnu grupu. Slične rezultate su pronašli i Lee i saradnici (1999) u poređenju kendo i karate sportista sa jedne i nesportista sa druge strane, tokom izvođenja balističke ekstenzije prsta. Autori konstatuju da su vreme početka pokreta ekstenzije prsta, kao i interval između početka ubrzanja i pika brzine značajno manji kod kendo i karate sportista nego kod kontrolne grupe. Zaključak studije je takođe da sportisti imaju superiorne balističke performanse zahvaljujući motornom učenju.

Brojne studije su se bavile proučavanjem motoričkih sposobnosti karatista, njihovim sportsko – specifičnim kretanjima kao i uticajem karate treninga na kontraktilna svojstva mišića. Sterkowicz i saradnici (2009) su osmislili bateriju testova specifičnu za karate kojom su pokušali da naprave bazu rezultata za kontrolisanje efekata treninga i utvrde korelaciju pomenutih sa rezultatima testova opštih motoričkih sposobnosti. Ova baterija karate – specifičnih fitnes testova se sastoji od testa brzine rotiranja kukova, brzine udaranja rukama,

brzine udaranja nogama, testa fleksibilnosti, agilnosti i testa „akcija povlačenja“. Treba napomenuti da su neki od ovih 6 testova postojali u identičnom obliku a drugi pretrpeli manje modifikacije u odnosu na bateriju testova za karatiste koju je koristio Story (1989). U istraživanju sprovedenom na uzorku od 61 ispitanika (karatisti „top nivoa“) upoređene su bazično – motoričke sposobnosti i njihova takmičarska efikasnost (Mikić et al., 2009). Rezultati analize su pokazali da takmičarska efikasnost u najvećoj meri zavisi od brzine pokreta rukama i nogama, segmentarne brzine ruku i snage donjih ekstremiteta. Zehr i saradnici (1997) su zaključili da karatisti imaju superiorne performanse pri balističkim pokretima u odnosu na neutreniranu kontrolnu grupu, stvarajući viši pik ubrzanja tokom akcija ekstenzije u zglobu lakta. Takođe, kako 6, tako i 12 meseci karate treninga su pokazali smanjenje vremena reakcije na uzorku populacije srednjih godina (Marie-Ludivine et al., 2010), dok je 5 meseci prilagođenog karate treninga poboljšalo ovu sposobnost kod grupe starijih odraslih ljudi (Witte et al., 2016). Istraživanje Jemili i saradnika (2016) podržava nalaze navedenih studija da specifični karate trening smanjuje vreme kontrakcije i modifikuje obrasce motorne kontrole tokom udaraca rukama i nogama. Rezultati njihovog istraživanja su dobijeni merenjem EMG aktivnosti tokom „kiza mawashi geri“ i „gyaku tsuki“ udarca pre i posle 3 meseca intenzivnog karate treninga. Istraživanje Probst i saradnika (2007) je takođe ukazalo na to da karatisti imaju sport - specifične adaptacije u određenim aspektima kaudalne snage i fleksibilnosti, dok su Zago i saradnici (2015) zaključili da elitni majstori poseduju veću sposobnost dinamičke ravnoteže od neelitnih karate vežbača. Slično, Fontani i saradnici (2006) su otkrili da karatisti sa većim majstorskim zvanjem (3. i 4. dan) imaju kraće vreme reakcije od karatista sa nižim majstorskim zvanjem (1. i 2. dan). Dalje, Ravier i saradnici (2004) uočavaju veću mišićnu snagu, posebno u pogledu performansi vertikalnog skoka („squat jump“) kod karatista međunarodnog takmičarskog nivoa u poređenju sa njihovim kolegama nacionalnog nivoa. Ista grupa istraživača (Ravier et al., 2003) je u drugoj studiji utvrdila da „međunarodni“ karatisti imaju veću snagu i maksimalne vrednosti brzine na bicikl ergometru u poređenju sa karatistima nacionalnog nivoa (utvrđeno sprintevima od 8 sekundi sa različitim opterećenjem trenja).

Manji je broj studija zasnovanih na poređenju razlika u odnosu na specijalizaciju karatista. U istraživanju u kojem je učestvovao 31 seniorski karate takmičar nacionalnog karate tima (Koropanovski et al., 2011) procenjene su (pored antropometrije) fizičke performanse - fleksibilnost mišića primicača i zadnje lože natkolenice, brzina i ubrzanje, (eksplozivna) snaga, agilnost i aerobna izdržljivost. Kumite takmičari su pokazali veće sposobnosti ubrzanja i snage u odnosu na grupu orijentisanu na takmičenje u katama. Nedeljković i saradnici (2017) su takođe istražili efekte karate specijalizacije, u ovom slučaju u odnosu na vreme reakcije u ofanzivnim i defanzivnim akcijama. Grupe su činili takmičari u borbama, formama i početnici. Autori su pronašli razlike između početnika i obe pomentute grupe. Zaključeno je da sport - specifične adaptacije vezane za karate mogu uticati na poboljšanje brzine reakcije u specifičnim borbenim situacijama. Takođe je istaknuto i da poboljšanje u brzini reakcije može biti vezano za disciplinu - kata u odnosu na kumite.

Rezultati istraživanja Bertija i saradnika (2019) predstavljaju značajan korak u definisanju direktne povezanosti „nervne efikasnosti“ kod karatista, čiji su mozak na osnovu rezultata istraživanja okarakterisali „uspešnim modelom kontinuirane plastične trenažne adaptacije“. Naime, istražili su povezanost kognitivnih i kinematičkih sposobnosti poredeći 14 profesionalnih karatista i 14 pripadnika kontrolne grupe. Uz pomoć „Ergo-Mak“ platforme na



kojoj su izvođeni udarci, kognitivne baterije testova i MRI skeniranja mozga zaključili su da karatisti imaju znatno bolji učinak u zadacima pažnje i bolju povezanost u „audiomotornim“ mrežama.

U cilju procene uticaja karatea na posturalnu kontrolu tela, sprovedena je studija (Hadad et al., 2020) na uzorku od 20 karatista i 20 plivača (starosti 20 -50 godina). Rađena su četiri testa u stojećem stavu, od lakših ka težim: (a) dvonožni stav sa otvorenim očima; (b) jednonožni stav sa otvorenim očima; (c) jednonožni stav sa zatvorenim očima i (d) dvostruki zadatak - stav na jednoj nozi sa zatvorenim očima uz izvođenje verbalnih zadataka. Razlike su utvrđene u svim testovima i zaključeno je da ponavljanje vežbi koje zahtevaju ravnotežu tokom godina trenaznog procesa kod karatista dovodi do bolje kontrole držanja tela tokom relativno zahtevnih zadataka. Slična studija je sprovedena od strane Osmanski-Zenk i saradnika (2022). Poredeći grupu karatista sa kontrolnom grupom („zdravih istogodišnjaka“) u testovima na neuromišićnom trenaznom i test uređaju (Human Body Equilibrium 360), došli su do zaključka da su karatisti pokazali različite adaptacije specifične za njihov trenazni proces. Naime, karatisti su bili sposobniji da nadoknade gubitak vizuelnih informacija pri održavanju tela u balansu. Takođe, pokazali su znatno bolju sposobnost pomeranja težišta tela bez narušavanja ravnoteže pri testovima koji zahtevaju zadržavanje oslonca na podlozi pri širim stavovima.

Standardni testovi za procenu motoričkih sposobnosti, bilo u laboratorijskim ili terenskim uslovima, mogu biti značajan pokazatelj stanja sportske forme takmičara. Međutim, pored testova prikazanih u navedenim istraživanjima postoji potreba za primenom novih testova koji bi smanjili rizik od povređivanja i onemogućili zamaranje takmičara, pri čemu bi trenazni proces bio neometen. Takvim pristupom, usled smanjenja rizika od povrede i nemogućnosti zamaranja pri neuromišićnoj proceni, testiranje i praćenje trenaznih efekata bi bilo moguće sprovoditi češće dok bi benefiti mogli biti višestruki.

Popularnost karatea tokom poslednjih decenija sve više privlači pažnju sportske nauke, što je dovelo do publikacije velikog broja radova u kojima su ispitivane neuromišićne karakteristike sportista (vežbača). Međutim, dosadašnja istraživanja su se u većini slučajeva koncentrisala na voljne mišićne kontrakcije, ali nije sprovedena eksperimentalna studija koja bi istražila uticaj različitih nivoa i usmerenja karatista na njihove nevoljne kontraktilne karakteristike i utvrdila stepen njihovih adaptacija.

## 4. PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

**Predmet** istraživanja je formiran na osnovu pregleda literature, analize rezultata i nedostataka tih istraživanja. Predmet istraživanja su specifične adaptacije nevoljnih kontraktilnih karakteristika mišića nogu koji obezbeđuju specifičnu lokomociju karate sportista i njihova povezanost sa nivoom treniranosti i takmičarskom uspešnošću.

U odnosu na problem i predmet postavljeni su i ciljevi istraživanja.

**Cilj(evi)** istraživanja: Da se metodom iritabilnosti<sup>4</sup> utvrdi da li dugogodišnji trenažni proces i specifična takmičarska aktivnost u karate sportu dovodi do neuromišićnih adaptacija, tj.:

- Uporediti nevoljne kontraktilne karakteristike mišića karatista i kontrolne grupe,
- Uporediti nevoljne kontraktilne karakteristike mišića karatista različitog nivoa treniranosti,
- Analizirati nevoljne kontraktilne karakteristike mišića karate sportista iz prizme dominantnosti donjih ekstremiteta,
- Analizirati rezultate u odnosu na različite aspekte funkcionalne i kontraktilne simetričnosti i
- Analizirati diskriminativnost korišćenih varijabli u istraživanju u funkciji takmičarskog nivoa.

Za ostvarivanje postavljenih ciljeva realizovaće se sledeći **zadaci**:

- Definisane metode i procedure testiranja,
- Formiranje grupa ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma,
- Prikupljanje podataka o izabranim varijablama,
- Analiza podataka primenom specijalizovanih statističkih softvera i
- Prikaz i interpretacija dobijenih rezultata.

---

<sup>4</sup> Pod iritabilnošću se podrazumeva sposobnost mišića da reaguje na električni stimulus.

## 5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

### Opšta:

OH: Karate trening sa svojim kumulativnim dugogodišnjim efektima adaptacije utiče na poboljšanje funkcionalnih (kontraktilnih) karakteristika mišića nogu na sportsko specifičan način, a koji je moguće izmeriti metodom tenziomiografije.

### Posebne:

PH 1: Usled specifičnosti dugogodišnjeg trenažnog procesa karatisti imaju bolje funkcionalne neuromehaničke parametre u odnosu na kontrolnu grupu, tj. neutreniranu populaciju u svim praćenim tenziomiografskim parametrima.

PH 2: Funkcionalna homogenizacija neuromehaničkih parametara je u pozitivnoj relaciji sa takmičarskom uspešnošću i nivoom treniranosti.

PH 3: Postoji hijerarhijska struktura uticaja funkcionalnih neuromehaničkih parametara u odnosu na takmičarsku uspešnost i nivo treniranosti.

PH 4: Tenziomiografija je, kao nova tehnologija, sportski specifična i ima visoki aplikativni potencijal za primenu u karate sportu.

## 6. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom istraživanju su analizirane nevoljne kontraktilne karakteristike mišića metodom tenziomiografije i uz primenu odgovarajućih statističkih procedura. U odnosu na proceduru merenja, upotrebljen je metod laboratorijskog testiranja.

### 6.1. Uzorak ispitanika

Istraživanje je obuhvatilo uzorak od sedam elitnih karatista (EK), 14 karatista šireg spiska reprezentacije (KR), 16 osnovno treniranih karatista (KO) i 14 fizički aktivnih i zdravih ispitanika istog uzrasta i pola kao karate subgrupe - kontrolna grupa (KG). Kriterijumi za uključivanje u EK grupu su bili sledeći: (1) Vrhunski sportisti<sup>5</sup> koji su predstavnici države u svojoj kategoriji ili ekipnom kumite muškom timu na prvenstvu Evrope i Sveta, a na kojima su u prethodne 4 godine osvojili medalju; (2) Elitni karatisti uključeni u studiju su majstori karatea (crni pojas sa minimumom zvanja 1. dan). Ispitanici su svrstani u KR grupu po sledećim kriterijumima: (1) U tekućoj godini su na regionalnom prvenstvu ostvarili plasman na prvenstvo države i učestvovali na istom, a pritom se izborili i za učešće u finalu; (2) Bili su predstavnici države u svojoj kategoriji ili ekipnom kumite muškom timu na prvenstvu Evrope i/ili Sveta, a na kojima u prethodne 4 godine nisu osvojili medalju; (3) Svi iz grupa sportista su (kao i pripadnici EK grupe) nosioci majstorskog zvanja u karateu. Ispitanici KO grupe su 2 puta nedeljno u trajanju od šest meseci imali obuku karate veštine u okviru predmeta Specijalno fizičko obrazovanje. Ispitanici su uključeni u KG ako nikada nisu vežbali karate, ali redovno učestvuju u fizičkim aktivnostima (2-3 puta nedeljno na rekreativnom nivou).

U EK, KR i KO grupama dominantna noga je definisana kao noga koja se koristi za izvođenje pokreta, dok je nedominantnu nogu definisala njena stabilizirajuća ili potporna uloga (van Melick et al., 2017). Konkretno, dominantna noga se definiše kao potiskujuća noga u borbenom stavu (odgovorna za najveći udeo proizvodnje horizontalnog kretanja) i istovremeno ona za koju se navodi da se najčešće koristi pri nožnim udarcima, tj. „geri“ - tehnikama zadavanja poena. Nedominantna je noga u prednjoj poziciji koja zaustavlja kretanje tela unapred, podržava nogu pri udarcu i kontroliše rastojanje između karatiste i njegovog protivnika. Dominantna noga u KG je utvrđena popunjavanjem upitnika za procenu dominantne lateralizovanosti donjih ekstremiteta (Jovanović i sar., 2014).

Nijedan od učesnika nije prijavio bilo kakav medicinski problem ili nedavne povrede koje bi mogle ugroziti testirane performanse. 24 sata pre testiranja, ispitanici su se uzdržali od fizičke aktivnosti i proizvoda koji sadrže stimulanse ili trankilizatore. Svi učesnici su u potpunosti obavešteni o potencijalnim rizicima povezanim sa istraživanjem i potpisali su formulare o informisanosti i saglasnosti koje je prethodno odobrio Etički komitet istraživanja Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (br. 484-2), u skladu sa kriterijumima Helsinške deklaracije za istraživanja koja uključuju ljudska bića.

---

<sup>5</sup> Vrhunski sport je treći nivo (i forma) sporta (pored bazičnog sporta i sporta mlađih kategorija). Izdvaja se po tome što je orijentisan ka najvećim rezultatskim dostignućima koja imaju međunarodni značaj i sežu do nivoa svetskog rekorda (Koprivica, 2002). Glavna obeležja vrhunskog sporta su nizak kvantitet i visok kvalitet.

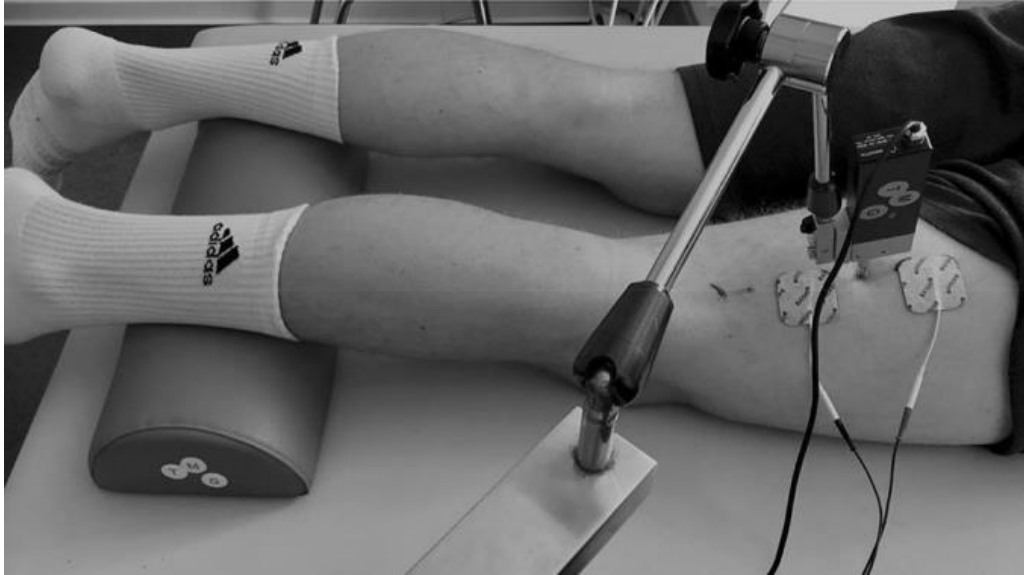
## 6.2. Tenziomiografija

Procena neuromišićne funkcije je od velikog značaja u brojnim kliničkim i nekliničkim oblastima ljudskih delatnosti. U sportskim aktivnostima se smatra suštinskim za identifikaciju i razumevanje neuromišićnih strategija i utvrđivanje trenutne forme takmičara (Rodrigues Ferreira & Vences Brito, 2010). Standardni testovi sile su većinom zasnovani na merenju maksimalnih izometrijskih i izotoničnih kontrakcija određenih mišićnih grupa u trajanju od 1 do 2, ili 3 do 5 sekundi, respektivno (Abernethy et al., 1995; Wilson & Murphy, 1996). Kontraktilna svojstva skeletnih mišića se najčešće procenjuju testovima koji se zasnivaju na voljnim kontrakcijama. Izazivanjem nevoljnih kontrakcija (električnom stimulacijom) takođe dobijamo informacije o kontraktilnim, mehaničkim i funkcionalnim karakteristikama skeletnih mišića (Valenčič & Knez, 1997). Na osnovu merenja ovih kontrakcija možemo dobiti informacije o mišićnoj sili, brzini kontrakcije ali i histološkoj strukturi mišića i stanju nervnog sistema (Toskić, 2019). Nevoljne kontraktilne karakteristike mišića moguće je proceniti različitim metodama.

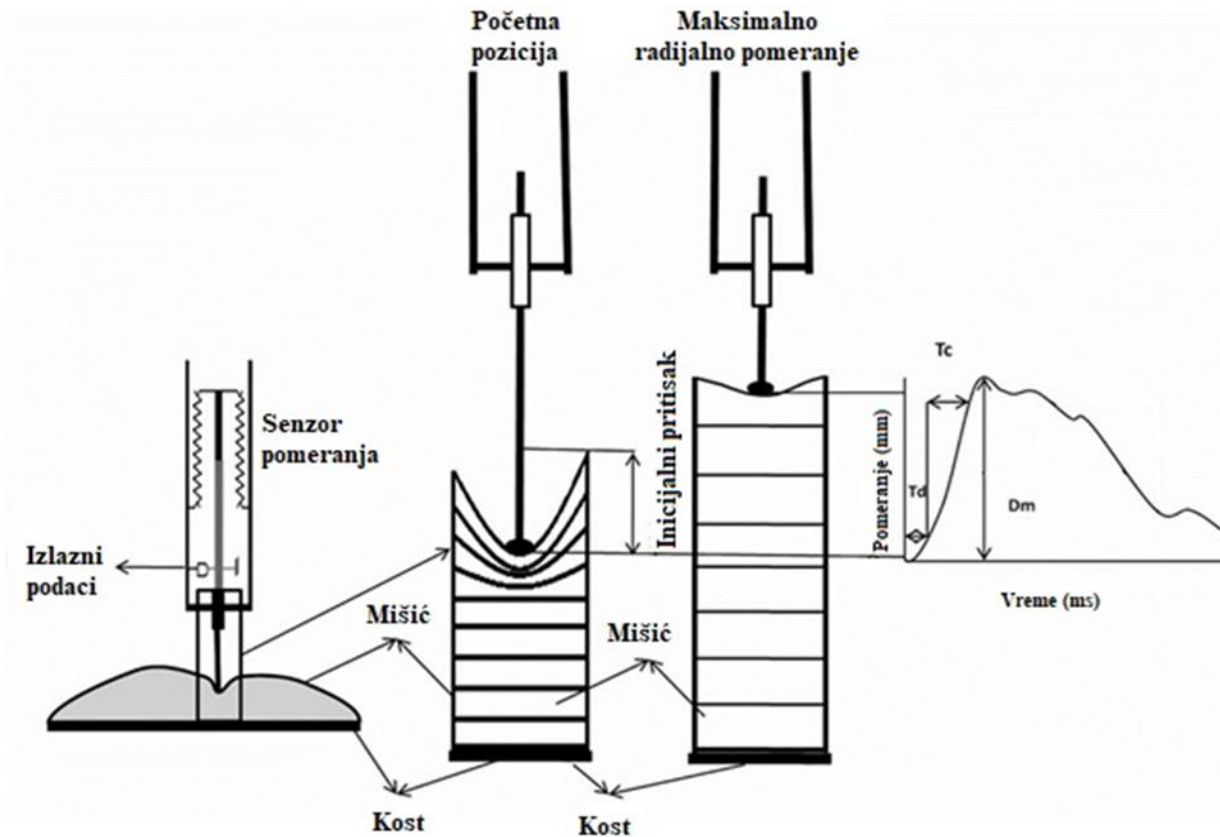
Poslednjih decenija se sve veća pažnja posvećuje izazivanju nevoljnih kontrakcija po principu elektrostimulacije, među kojima dominira metoda - TMG, odnosno tenziomiografska metoda (Toskić et al., 2022; Đorđević et al., 2022; Čular et al., 2023). Tenziomiografija (TMG) je neinvanzivna metoda, jednostavna za primenu, koja se koristi za procenu nevoljnih funkcionalnih neuromehaničkih kontraktilnih karakteristika mišića. Tenziomiografija se primenjuje pomoću portabl aparata (Slike 1 i 2). Bazira se na proceni kontraktilnih karakteristika mišića u izometrijskim uslovima na osnovu promena u položaju trbuha mišića izazvanih električnim impulsom (Valenčič & Knez, 1997) (Slika 3).



Slika 1. TMG aparat i njegova primena. Preuzeto sa sajta: <https://borf.rs/tmg-100/>



Slika 2. Merenje kontraktilnih karakteristika BF-a TMG aparatom (fotografija preuzeta iz rada "Effects of muscle fatigue on exercise-induced hamstring muscle damage: a three-armed randomized controlled trial", by Schwiete et al. 2023, European journal of applied physiology, 10.1007/s00421-023-05234-z).



Slika 3. Senzor koji prikuplja vrednosti pomicanja mišića ( $D_m$ ), odloženog vremena kontrakcije ( $T_d$ ) i vremena kontrakcije ( $T_c$ ) kao odgovor na pokret trbuha mišića. Preuzeto i modifikovano iz rada: "Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG)" by Garcia-Manso J.M. et al., 2011, Journal of Sports Sciences, 29(6): 619-625.

Parametri kontraktilnih karakteristika mišića merenih tenziomiografijom (Slika 4):

$D_m$  - maksimalno vertikalno pomeranje mišića (izraženo u mm) – maksimalno vertikalno pomeranje trbuha mišića tokom električne stimulacije;

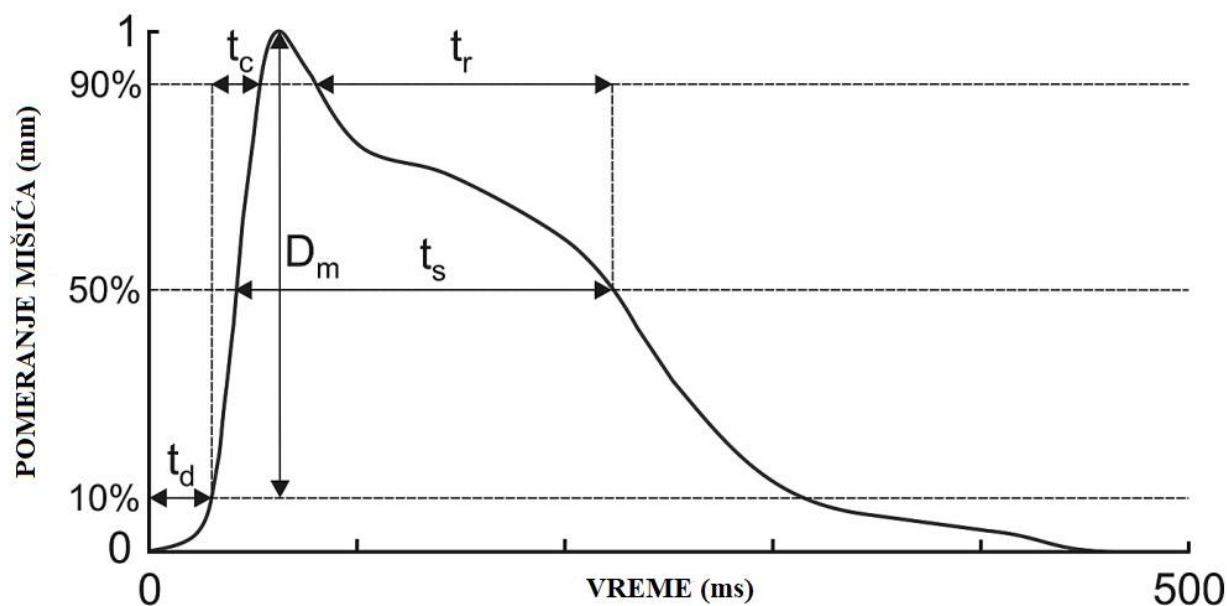
$t_d$  - odloženo vreme kontrakcije (izraženo u ms) – vreme potrebno da se dostigne 10% od maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića;

$t_c$  - vreme kontrakcije (izraženo u ms) – vreme potrebno da se dostigne od 10% do 90% od maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića;

$t_r$  - vreme relaksacije (izraženo u ms) – vreme potrebno da se kontrakcija vrati sa 90% na 50% od maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića;

$t_s$  - vreme trajanja kontrakcije (izraženo u ms) – vreme koje protekne od 50% od maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića pri fazi kontrakcije do 50% od maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića pri fazi relaksacije.

Mišić sa kratkim vremenom kontrakcije i pobuđivanja ( $t_c$ ,  $t_d$ ) ukazuje na visoku eksplozivnost, dok mišić sa dugim vremenom kontrakcije pokazuje sporost (Macgregor et al., 2018). Veliko pomeranje mišića ( $D_m$ ) ukazuje na labaviji (manje krut) mišićni stomak (eng. looser muscle belly), dok kada mišić ima malo pomeranje, to ukazuje na veliki tonus mišića, odnosno povećani nivo krutosti (eng. stiffness) (Garcia-Manso et al., 2011).



Slika 4. TMG signal nevoljnih neuromehaničkih kontraktilnih parametara mišića.

Do sada su brojne studije potvrdile validnost i pouzdanost tenziomiografije kao metode (Tous-Fajardo et al., 2010; Šimunič, 2012; Ditroilo et al., 2013). Primenjivana je u proceni tipa mišićnih vlakana (Dahmane et al., 2005; Šimunič et al., 2011), zamora mišića (Garcia-Manso et al., 2011; Martín-San Agustín et al., 2020; Schwiete et al., 2023), oštećenja mišića (Chai & Bae, 2020), patoloških stanja (Grabljevec et al., 2005), procenjivanju mišićne atrofije (Pišot et al., 2008), efekata starenja (Šimunič et al., 2009), strategija oporavka mišića (Rey et al., 2012b; Chai & Bae, 2019), uticaja pola na mišićne kontraktilne karakteristike (Martín-San Agustín et al., 2019), različitih trenažnih opterećenja (Piqueras-Sanchiz et al., 2019), različitih režima

opterećenja (Pakosz et al., 2023), uticaja ishrane i stimulanasa na mišićne kontrakcije (Naclerio et al., 2021; Domaszewski et al., 2021), visokoj specifičnosti metode u skriningu povreda mišićno-vezivnog tkiva (Đorđević et al., 2022) itd.

Tenziomiografija je učestalo primenjivana u sledećim sportovima: fudbalu (Garcia-Manso et al., 2011; Rey et al., 2012a, 2016; Alvarez-Diaz et al., 2016a; Alvarez-Diaz et al., 2016b; Pajović et al., 2023; Jones et al., 2023), odbojci (Rodriguez-Ruiz et al., 2014; Diez Vega et al., 2012; Iglesias-Caamaño et al., 2018), triatlonu (Garcia-Manso et al., 2011), biciklizmu (García-García et al., 2013, 2015, 2018), kajaku (García-García et al., 2015), plesu (Zagorc et al., 2010), gimnastici (Atiković et al., 2015; Vernetta-Santana et al., 2018), rvanju (Garcia Garcia et al., 2016), košarci (Peterson & Quiggle, 2017), kik boks (Zubac et al., 2017), ragbiju (Valenzuela et al., 2018), atletici (Loturco et al., 2019), kanuu (Alvarez-Yates & García-García, 2020), wushuu (Cha et al., 2021) itd.

Prednosti tenziomiografije kao metode za procenu neuromišićnih karakteristika su prvenstveno u tome što je neinvazivna, visoko pouzdana i specifična, kao i relativno laka za primenu. Velika prednost je i u mogućnosti procene kontraktilnih karakteristika pojedinačnih mišića. Primenuje se pomoću portabl aparata, samim tim se može koristiti za procenu kontraktilnih karakteristika mišića kako u laboratorijskim, tako i u terenskim uslovima rada (Toskić, 2019). Iako postoje brojne studije koje su metodom tenziomiografije ispitale kontraktilne karakteristike mišića sportista u različitim sportskim granama i disciplinama, do sada ne postoji dovoljno istih u borilačkim veštinama a ni jedna u „poen“ karateu.

### 6.3. Procedura testiranja

Ispitanici su testirani u jutarnjim časovima bez praktikovanja fizičke aktivnosti 24 sata pre toga. Ispitivanje je sproveo tim istraživača koji su činile dve osobe iskusne u testiranju TMG aparaturom. Eksperiment se sproveo u okviru jednog testiranja. Sastojao se od antropometrijskih merenja praćenim TMG procenom neuromišićnih performansi. Telesna visina (BH) je merena sa tačnošću od 0,1 cm, a telesna masa (BM) sa tačnošću od 100 g. Nakon toga su izračunati indeksi telesne mase ( $BMI = BM/BH^2$ ). Nevoljne kontraktilne karakteristike mišića donjih ekstremiteta – Rectus femorisa, Vastus medialis, Vastus lateralis, Biceps femorisa i Semitendinosus su zabeleženi merenjem odgovora ovih mišića na indukovani električni stimulus (isprovociran sa dve samolepljive elektrode), korišćenjem TMG opreme (TMG100, Sistemski elektrostimulator, TMG-BMC d.o.o., Ljubljana, Slovenija) na donjem desnom i levom ekstremitetu, tačnije mišićima natkolenice.

Jedan mišić je testiran na desnoj i levoj nozi, nakon čega se fokus premešta na naredni mišić. RF, VM i VL su testirani dok se ispitanik nalazio u položaju na leđima (eng. „supine position“), dok su BF i ST testirani dok je ispitanik ležao na stomaku (eng. „prone position“). Zglob kolena je bio fiksiran pod uglom od  $120^\circ$  (Toskić et al., 2019). Mesto merenja je pažljivo određeno (vizuelno i palpatorno) kao tačka maksimalnog pomeranja trbuha mišića pri voljnoj kontrakciji (de Simola et al., 2016). Između elektroda je postavljen senzor (GK40, Panoptik, Ljubljana, Slovenija) koji je detektovao promene na truhu mišića izazvane električnim stimulacijama, na osnovu kojih su dobijeni podaci o nevoljnim kontraktilnim svojstvima mišića (Toskić et al., 2019). Sva merenja je izvršio isti istraživački tim primenom šest električnih stimulusa u trajanju od 1 ms (10, 25, 50, 75, 100 i 110 mA). Dozvoljeno je deset sekundi oporavka



između merenja da bi se minimizirali efekti potencijacije i umora. Od svakog učesnika, samo zapis koja je zabeležio najveći Dm (maksimalni radijalni pomak trbuha mišića) je uzet u obzir za analizu (Jeknic et al., 2020).

#### 6.4. Varijable

Metodom tenziomiografije su izmerene a naknadno i izvedene sledeće kontraktilne karakteristike:

- Dm - maksimalno vertikalno pomeranje mišića (mm) - maksimalno pomeranje trbuha mišića izazvano elektrostimulacijom;
- Td - odloženo vreme kontrakcije (ms) - vreme potrebno da se dostigne 10% maksimalnog pomeranja trbuha mišića;
- Tc - vreme kontrakcije (ms) - vreme potrebno da se dostigne od 10 - 90% maksimalnog vertikalnog pomeranja trbuha mišića;
- TcT - ukupno vreme kontrakcije (mm) - izvedena varijabla, dobijena zbirom vremena kontrakcije i odloženog vremena kontrakcije (Tc + Td);
- RMTD - brzina vertikalnog pomeranja mišića kao analogije brzine kontrakcije (mm/ms) - izvedena varijabla, izračunata kao odnos maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića i vremena kontrakcije (Dm / Tc) (Dopsaj et al., 2014). Za svaki od odabranih mišića će biti izračunato ovih pet varijabli za procenu nevoljnih neuromišićnih kontraktilnih karakteristika.

Sve pomenute varijable su izmerene ili izračunate u odnosu na dominantnu i nedominantnu nogu (za svakog ispitanika je leva ili desna noga definisana sa aspekta dominantnosti), gde se na osnovu pomenutih varijabli u funkciji dominantne i nedominantne noge izračunao količnik (odnos), koji predstavlja varijable indeksa simetričnosti tj. Indeksa koordinacije (IC).

Takođe, pojedinačne vrednosti vremenskih i brzinskih karakteristika merenih mišića (Tc i Td), ukupno vreme kontrakcije (TcT) i RMTD - kao vreme brzine vertikalnog pomeranja mišića, koji pripadaju mišićima agonistima (RF, VL i VM), odnosno antagonistima (BF i ST) zgloba kolena predstavljaju mere na osnovu kojih su izračunate vrednosti koaktivacije (Index Coa) datih mišićnih grupa, dok su standardne devijacije i koeficijenti varijacije istog predstavljali apsolutnu i relativnu meru sinhronizacije datih mišićnih grupa, što predstavlja potpuno inovatini analitički pristup primene tenziometrijske metode.

Indeksi koordinacije (IC) su dobijeni sabiranjem srednjih vrednosti varijable posmatranih mišića date mišićne grupe (opružaći dominantne noge, pregibači dominantne noge, opružaći nedominantne noge i pregibači nedominantne noge), i izračunavanjem prosečne vrednosti za istu. IC se izračunavao posebno za dominantnu i nedominantnu nogu u funkciji pregibača i opružaća, gde je korišćen sledeći obrazac izračunavanja (primer izračunavanja IC za varijablu Tc mišića prednje lože natkolenice (Q) pojedinačnog ispitanika):

$$IC_{Tc\_Q_1} = (VL_{Tc} + VM_{Tc} + RF_{Tc}) / 3$$

Primer izračunavanja IC za varijablu Tc mišića zadnje lože natkolenice (H) pojedinačnog ispitanika je bio sledeći:

$$IC\_Tc\_H_1 = (BF_{Tc} + ST_{Tc}) / 2$$

**Indeksi standardne devijacije IC-a (IC\_SD\_AVG) i koeficijenta varijacije IC-a (IC\_cV\_AVG)** određene grupe, varijable, mišića ili noge su izračunavani u skladu sa standardnom statističkom procedurom izračunavanja standardne devijacije i koeficijenta varijacije.

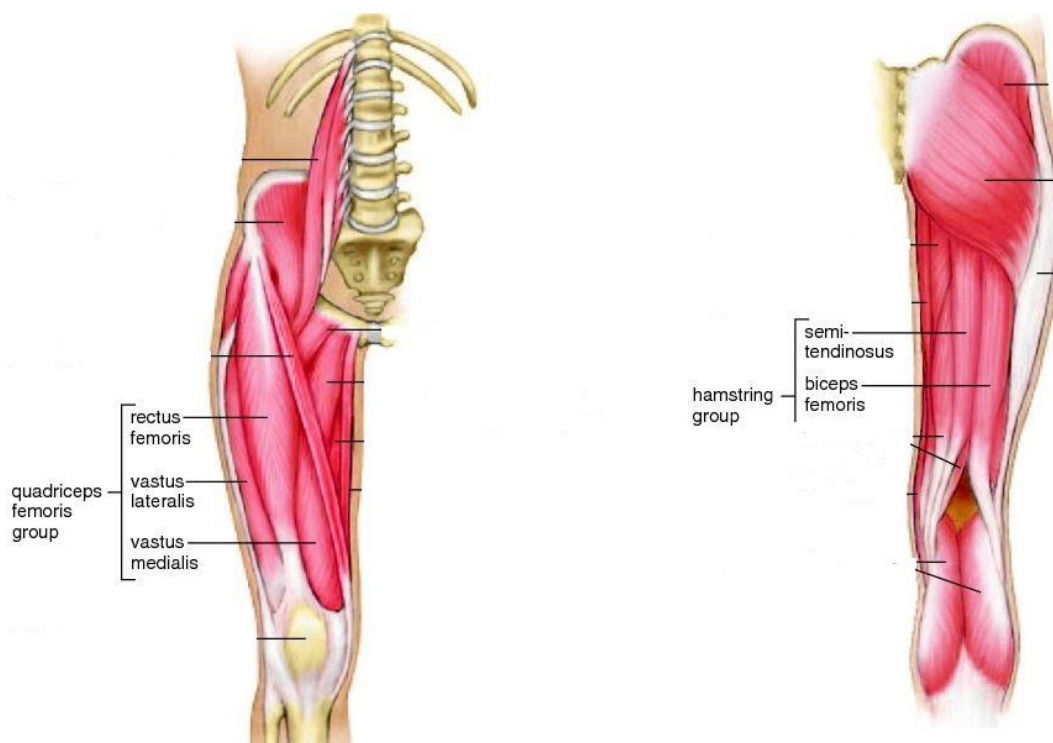
**Indeksi koaktivacije (Index\_Coa)** su dobijeni izračunavanjem odnosa indeksa koordinacije mišića pregibača (IC H) i opružaća zglobova kolena (IC Q) za analizirane TMG varijable za svakog ispitanika pojedinačno gde su se indeksi izračunavali posebno za dominantnu i nedominantnu nogu, u skladu sa navedenim (primer izračunavanja Index\_Coa za varijablu Tc):

$$Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q = ((IC\_Tc\_H_1 / IC\_Tc\_Q_1) * 100) - 100$$

Indeks koaktivacije koeficijenta varijacije (Index\_Coa\_cV\_H/Q) određene grupe, varijable i noge se dobijaju na isti način kao i Index\_Coa\_AVG\_H/Q, s tim što se u formulu uvode vrednosti koeficijenta varijacije.

Navedene kontraktilne karakteristike su za potrebe ovog rada proučene na sledećim mišićima dominantne i nedominantne noge:

- 1) Ekstenzori u zglobov kolena - Rectus femoris, Vastus lateralis i Vastus medialis.
- 2) Fleksori u zglobov kolena - Biceps femoris i Semitendinosus (Slika 5).



Slika 5. Testirani mišići natkolenice (RF, VL, VM, ST, BF).

## 6.5. Statističke procedure

Za opisivanje kvantitativnih mera proučavanih varijabli primenjena je deskriptivna analiza, gde su izračunati: srednja vrednost varijabli - Mean, standardna devijacija - SD, minimum - Min, maksimum - Max, i koeficijent varijacije - cV%. Za utvrđivanje generalnih i parcijalnih razlika između grupa koristile su se multivarijatna i univarijatna analiza varijanse (MANOVA i ANOVA). Diskriminativna analiza je upotrebljena radi definisanja najvažnijih varijabli u prostoru po kojima se ispitivane grupe u funkciji korišćenih varijabli najviše razlikuju.

Razlika između varijabli grupa se u deskriptivnom smislu prikazala u apsolutnim i relativnim (procentualnim) vrednostima.

Struktura u odnosu na specifičnost svih standardnih TMG varijabli, kao i novoformiranih varijabli za procenu predloženih indeksa koordinacije i koaktivacije (unutar-mišićne i među-mišićne sinhronizacije) je definisana primenom konfirmativne faktorske analize, koja je izračunata u funkciji svih ispitivanih grupa. Sa druge strane najsenzitivnija i najinformativnija varijabla koja je nosila informacije o razlikama između grupa, kao novokorišćeni indikator je određena primenom kanoničke diskriminativne analize.

Sve statističke analize su izvršene uz pomoć softverskog paketa SPSS 20.0 (IBM, Chicago, IL, USA), dok se za nivo statističke značajnosti koristila granica 95% verovatnoće za vrednost  $p < 0.05$  (Hair et al., 1998).

## 7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 7.1. Osnovni deskriptivni pokazatelji

#### 7.1.1. Uzrast i morfološke karakteristike

Na Tabeli 1 su prikazani osnovni deskriptivni pokazatelji uzrasta i osnovnih parametara morfoloških karakteristika (telesna visina – TV, telesna masa – TM i indeks telesne mase – BMI) svih ispitanika. Generalno gledano, u odnosu na sve grupe, može se utvrditi da je prosečan uzrast bio  $23.28 \pm 4.08$  godina, prosečna vrednost telesne visine  $182.01 \pm 7.72$  cm, prosečna vrednost telesne mase  $81.02 \pm 9.86$  kg, dok je prosečna vrednost indeksa telesne mase bila  $24.45 \pm 2.53$  kg/m<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Osnovni deskriptivni pokazatelji uzrasta i morfoloških karakteristika različito treniranih karatista.

		Uzrast	TV (cm)	TM (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Karate Elitni Medalje (N=7)</b>	<b>Average</b>	28.67	184.63	86.43	25.38
	<b>SD</b>	2.66	2.76	7.02	2.38
	<b>cV%</b>	9.27	1.49	8.12	9.38
	<b>Min</b>	26.00	181.50	75.40	22.37
	<b>Max</b>	32.00	188.20	94.00	28.38
	<b>Range</b>	6.00	6.70	18.60	6.01
<b>Karate Reprezentacija (N=14)</b>	<b>Average</b>	21.79	180.56	77.12	23.67
	<b>SD</b>	3.12	9.07	6.89	1.61
	<b>cV%</b>	14.31	5.02	8.94	6.80
	<b>Min</b>	18.00	161.40	63.00	19.38
	<b>Max</b>	27.00	193.10	87.90	25.47
	<b>Range</b>	9.00	31.70	24.90	6.09
<b>Karate Osnovno (N=16)</b>	<b>Average</b>	20.13	183.44	80.88	24.05
	<b>SD</b>	0.96	8.44	9.17	2.27
	<b>cV%</b>	4.76	4.60	11.34	9.45
	<b>Min</b>	19.00	168.50	69.30	18.40
	<b>Max</b>	23.00	197.10	98.00	26.77
	<b>Range</b>	4.00	28.60	28.70	8.36
<b>Kontrolna Grupa (N=14)</b>	<b>Average</b>	26.07	180.70	82.77	25.28
	<b>SD</b>	3.75	7.23	13.30	3.44
	<b>cV%</b>	14.39	4.00	16.07	13.61
	<b>Min</b>	19.00	170.50	60.80	19.30
	<b>Max</b>	30.00	196.00	106.30	31.80
	<b>Range</b>	11.00	25.50	45.50	12.50

**Legenda:** TV - Telesna visina; Tm - Telesna masa; BMI - Body mass index; Average - Prosek; SD - Standardna devijacija; cV% - Koeficijent varijacije; Min - Minimum; Max - Maksimum; Range - Opseg.

## 7.1.2. Parametri tenziomiografije

Na Tabelama od 2 do 5 su prikazani osnovni deksriptivni pokazatelji merenih TMG parametara kod karatista različitog nivoa treniranosti i kontrolne grupe. Prikazani su parametri vreme kontrakcije (Tc), odloženo vreme kontrakcije (Td), ukupno vreme kontrakcije (TcT), maksimalno vertikalno pomeranje mišića (Dm) i brzina vertikalnog pomeranja mišića (RMTD) rektus femorisa (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femorisa (BF) i semitendinosus (ST) dominantne i nedominantne noge.

**Tabela 2.** Deskriptivni pokazatelji merenih varijabli za opružaće dominantne noge (Mean ± SD) u funkciji ispitivanih subuzoraka.

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Repez.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
RF_D_Tc	25.15±2.19*	29.04±5.19	28.11±5.95	32.15±6.32	2.794	.049	.151	.636	
RF_D_Td	22.36±0.49	23.73±5.52	21.88±1.21	22.30±2.92	.823	.488	.050	.215	
RF_D_TcT	47.52±2.53	52.77±7.03	49.99±6.52	54.45±7.94	2.129	.109	.120	.509	
RF_D_Dm	7.19±1.92	6.04±1.66	4.98±2.05	5.56±2.16	2.223	.098	.124	.528	
RF_D_RMTD	0.287±0.075@**	0.213±0.064	0.184±0.081	0.174±0.068	4.378	.008	.218	.843	
VL_D_Tc	22.91±2.67	24.09±3.06	21.99±4.25 <sup>ø</sup>	25.74±3.83	2.796	.049	.151	.637	
VL_D_Td	21.70±1.11	21.32±1.14 <sup>§</sup>	21.74±3.24	24.23±3.12	3.713	.018	.192	.772	
VL_D_TcT	44.60±3.59	45.41±2.76	43.73±7.10 <sup>ø</sup>	49.97±5.66	3.736	.017	.193	.775	
VL_D_Dm	5.56±1.26	4.96±1.42	4.86±2.47	5.00±2.44	.188	.904	.012	.083	
VL_D_RMTD	0.246±0.066	0.208±0.061	0.228±0.121	0.201±0.105	.451	.718	.028	.134	
VM_D_Tc	27.37±2.90	22.89±1.68	24.82±3.89	28.19±9.35	2.467	.074	.136	.577	
VM_D_Td	25.62±8.33	21.14±0.97	22.56±1.64	23.16±3.87	2.287	.091	.127	.541	
VM_D_TcT	52.99±8.55 <sup>¥</sup>	44.03±2.06 <sup>§</sup>	47.38±5.22	51.35±10.23	3.830	.016	.196	.786	
VM_D_Dm	7.83±1.61	7.79±1.96	7.12±2.51	6.63±1.63	.968	.416	.058	.247	
VM_D_RMTD	0.289±0.069	0.342±0.089	0.295±0.119	0.254±0.086	1.957	.133	.111	.473	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
Wilks' lambda	0.139	2.071	0.001	0.482	0.999				

**Legenda:** Statistička značajnost između grupa Elitnih i Repezantacije - ¥; Elitnih i Osnovno treniranih - @; Elitnih i Kontrolne grupe - \*; Repezantacije i Osnovno treniranih - ¢; Repezantacije i Kontrolne grupe - §; Osnovno treniranih i Kontrolne grupe - ø. Broj simbola označava jačinu statističke značajnosti. Primer: p < 0.050 \*; p < 0.010 \*\*; p < 0.001 \*\*\*.

**Tabela 3.** Deskriptivni pokazatelji merenih varijabli za opružake nedominantne noge (Mean ± SD) u funkciji ispitivanih subuzoraka.

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprez.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
RF_ND_Tc	23.49±3.16	26.66±6.13	28.40±8.40	31.36±5.71	2.529	.069	.139	.588	
RF_ND_Td	21.74±1.41	21.56±2.70 <sup>§</sup>	22.42±2.47	24.66±3.13	3.809	<b>.016</b>	.196	.784	
RF_ND_TcT	45.24±4.38*	48.21±8.08	50.82±10.23	56.02±7.76	3.266	<b>.029</b>	.172	.712	
RF_ND_Dm	7.17±1.87	5.77±2.09	4.92±2.55	5.78±2.28	1.617	.198	.094	.397	
RF_ND_RMTD	0.304±0.076 <sup>@@ *</sup>	0.218±0.078	0.176±0.086	0.186±0.078	4.597	<b>.007</b>	.227	.862	
VL_ND_Tc	22.23±1.69	23.93±3.92	21.57±2.60 <sup>∅∅</sup>	25.49±3.16	4.489	<b>.008</b>	.223	.853	
VL_ND_Td	20.83±1.23	21.13±2.13	21.19±1.71	23.10±2.18	3.715	<b>.018</b>	.192	.773	
VL_ND_TcT	43.04±2.49	45.06±5.73	42.76±4.22 <sup>∅∅</sup>	48.59±4.46	4.547	<b>.007</b>	.225	.858	
VL_ND_Dm	5.97±1.14	5.01±1.61	4.44±2.07	5.14±1.47	1.386	.259	.081	.344	
VL_ND_RMTD	0.270±0.055	0.209±0.060	0.205±0.092	0.207±0.075	1.423	.248	.083	.353	
VM_ND_Tc	25.73±2.27	22.85±2.47 <sup>§</sup>	24.73±7.68	29.02±7.01	2.700	.056	.147	.620	
VM_ND_Td	21.17±1.20	20.91±1.53 <sup>§§</sup>	20.91±1.48 <sup>∅∅</sup>	22.97±1.66	6.016	<b>.001</b>	.277	.943	
VM_ND_TcT	46.92±3.01	43.76±3.13 <sup>§</sup>	45.64±8.72	51.99±8.22	3.739	<b>.017</b>	.193	.776	
VM_ND_Dm	8.00±1.75	7.53±2.52	6.08±1.43	6.02±1.97	2.920	<b>.044</b>	.157	.658	
VM_ND_RMTD	0.310±0.064	0.336±0.123 <sup>§</sup>	0.260±0.078	0.216±0.094	4.164	<b>.011</b>	.210	.823	
	<b>MANOVA</b>								
	<b>Value</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>	<b>Part. Eta<sup>2</sup></b>	<b>Power</b>				
<b>Wilks' lambda</b>	0.133	2.139	<b>0.001</b>	0.490	1.000				

**Tabela 4.** Deskriptivni pokazatelji merenih varijabli za pregibače dominantne noge (Mean ± SD) u funkciji ispitivanih subuzoraka.

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprez.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
BF_D_Tc	24.51±3.49	35.17±10.24	33.60±10.41	35.20±9.38	2.388	.081	.132	.561	
BF_D_Td	22.14±0.82	22.96±1.91	23.07±2.71	26.49±10.39	1.395	.256	.082	.346	
BF_D_TcT	46.66±4.18	58.13±11.95	56.67±12.96	61.69±15.28	2.245	.095	.125	.533	
BF_D_Dm	5.59±1.73	6.43±1.77	5.36±2.34	4.82±1.83	1.603	.201	.093	.394	
BF_D_RMTD	0.227±0.064*	0.187±0.038	0.173±0.080	0.141±0.049	3.425	<b>.025</b>	.179	.735	
ST_D_Tc	38.19±15.23	42.89±9.88	37.81±10.97	35.70±13.34	.892	.452	.054	.230	
ST_D_Td	22.85±2.66	24.56±1.65	23.37±2.15	25.21±8.06	.626	.602	.038	.171	
ST_D_TcT	61.04±17.58	67.45±11.30	61.17±12.70	60.90±14.94	.739	.534	.045	.196	
ST_D_Dm	7.45±2.57	9.13±2.05 <sup>sss</sup>	6.89±3.06	4.58±2.87	6.751	<b>.001</b>	.301	.965	
ST_D_RMTD	0.202±0.052*	0.218±0.046 <sup>ss</sup>	0.185±0.078 <sup>ø</sup>	0.123±0.052	6.504	<b>.001</b>	.293	.958	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
Wilks' lambda	0.380	1.462	0.080	0.276	0.952				

**Tabela 5.** Deskriptivni pokazatelji merenih varijabli za pregibače nedominantne noge (Mean ± SD) u funkciji ispitivanih subuzoraka.

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
<b>BF_ND_Tc</b>	26.77±8.00 <sup>‡</sup>	42.81±13.03	32.31±11.82	36.25±9.65	3.854	<b>.015</b>	.197	.789	
<b>BF_ND_Td</b>	21.20±1.00	23.40±2.02	22.56±2.25	22.98±5.05	.804	.498	.049	.210	
<b>BF_ND_TcT</b>	47.97±8.00 <sup>‡</sup>	66.21±14.71	54.87±13.25	59.23±14.10	3.392	<b>.025</b>	.178	.730	
<b>BF_ND_Dm</b>	5.70±1.72	6.92±2.63	5.45±2.10	4.98±3.09	1.524	.221	.089	.376	
<b>BF_ND_RMTD</b>	0.219±0.061*	0.168±0.054	0.182±0.081	0.132±0.057	3.083	<b>.036</b>	.164	.684	
<b>ST_ND_Tc</b>	28.97±9.74 <sup>@**</sup>	41.49±13.05	43.79±10.51	47.30±6.91	5.070	<b>.004</b>	.245	.896	
<b>ST_ND_Td</b>	21.89±1.24*	23.58±2.49	23.73±1.67	25.12±2.51	3.709	<b>.018</b>	.191	.772	
<b>ST_ND_TcT</b>	50.85±10.93 <sup>@**</sup>	65.07±15.37	67.51±10.95	72.42±7.49	5.533	<b>.002</b>	.261	.922	
<b>ST_ND_Dm</b>	6.90±3.11	8.33±2.69	7.44±2.85	6.58±3.24	.885	.456	.053	.229	
<b>ST_ND_RMTD</b>	0.229±0.056	0.204±0.051	0.183±0.083	0.143±0.081	2.863	<b>.047</b>	.155	.648	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
<b>Wilks' lambda</b>	0.373	1.494	0.069	0.280	0.957				



## 7.2. Indeksi koordinacije i koaktivacije

**Tabela 6.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) dominantnih opružača i pregibača u zglobu kolena za parametar Vreme kontrakcije (Tc).

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
IC_AVG_Tc_Q_D	25.14±2.07	25.34±2.07	24.97±3.64	28.69±3.71	4.400	.008	.219	.845	
IC_SD <sub>AVG</sub> Tc_Q_D	4.68±3.12	4.15±2.46	4.38±1.99	6.18±4.51	1.208	.317	.072	.303	
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_Q_D	9.13±5.11	15.95±8.32	17.29±6.50	20.76±12.53	2.708	.056	.147	.621	
IC_AVG_Tc_H_D	31.35±7.58	39.03±7.48	35.70±8.45	35.45±8.97	1.400	.254	.082	.348	
IC_SD <sub>AVG</sub> Tc_H_D	12.14±8.15	9.68±4.66	8.16±4.95	7.66±6.46	1.102	.358	.066	.278	
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_H_D	36.38±20.48	25.93±14.21	23.48±14.35	22.55±18.13	1.274	.294	.075	.318	
Index_Coa_Tc_AVG_H/Q_D	25.79	53.76	44.64	25.75	2.118	.111	.119	.507	
Index_Coa_Tc_cV_H/Q_D	261.29	153.77	69.40	636.17	.585	.628	.036	.162	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
Wilks' lambda	0.412	1.738	<b>0.028</b>	0.256	0.963				

**Legenda:** IC - Indeks koordinacije; Coa - koaktivacija; AVG - prosek; SD - standardna devijacija; cV - koeficijent varijacije; Q - opružači zgloba kolena; H - pregibači zgloba kolena; D - dominantna noga; ND - nedominantna noga.

**Tabela 7.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) nedominantnih opružaća i pregibača u zglobu kolena za parametar Vreme kontrakcije (Tc).

	GRUPE				ANOVA			
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power
IC_AVG_Tc_Q _ND	23.81±1.74	24.48±3.18	24.90±5.42	28.62±3.00	3.889	<b>.015</b>	.199	.793
IC_SD <sub>AVG</sub> Tc_Q _ND	2.41±1.16	3.65±2.03	4.67±3.65	5.34±3.33	1.864	.149	.106	.452
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_Q _ND	10.07±4.59	14.55±6.54	17.43±9.16	18.45±10.97	1.752	.169	.101	.428
IC_AVG_Tc_H _ND	27.87±5.96	42.15±9.29	38.05±8.47	41.78±5.50	6.298	<b>.001</b>	.287	.952
IC_SD <sub>AVG</sub> Tc_H _ND	7.02±5.78	9.32±8.65	10.88±7.14	9.84±6.47	.472	.704	.029	.138
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_H _ND	22.92±15.96	23.40±22.74	28.88±17.27	24.83±17.69	.277	.842	.017	.099
Index_Coa_Tc_ AVG_H/Q_ND	17.13	73.38	56.13	47.12	4.949	<b>.005</b>	.240	.888
Index_Coa_Tc_ cV_H/Q_ND	252.16	120.08	125.64	71.39	.682	.568	.042	.183
	MANOVA							
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>				
<b>Wilks' lambda</b>	0.313	2.390	<b>0.001</b>	0.321				

**Tabela 8.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) dominantnih opružača i pregibača u zglobu kolena za parametar Ukupno vreme kontrakcije (TcT).

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
IC_AVG_TcT_Q_D	48.37±3.20	47.40±2.76	47.03±4.62	51.92±4.36	4.613	<b>.007</b>	.227	.863	
IC_SD <sub>AVG</sub> TcT_Q_D	5.16±4.57	5.51±3.20	5.53±2.46	7.13±4.72	.721	.544	.044	.192	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_Q_D	10.38±8.47	11.36±6.05	11.67±4.74	13.45±7.93	.417	.741	.026	.127	
IC_AVG_TcT_H_D	53.85±8.69	62.79±8.41	58.92±10.29	61.30±11.47	1.393	.256	.082	.346	
IC_SD <sub>AVG</sub> TcT_H_D	13.34±9.41	11.63±5.47	9.42±5.80	10.60±8.54	.566	.640	.035	.158	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_H_D	23.65±15.03	18.94±9.85	16.28±9.81	17.10± 3.58	.706	.553	.043	.188	
Index_Coa_TcT_AVG_H/Q_D	12.43	32.22	25.69	18.95	1.699	.180	.098	.416	
Index_Coa_TcT_Cv_H/Q_D	300.03	198.14	65.49	99.04	1.204	.319	.071	.302	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
<b>Wilks' lambda</b>	0.565	1.058	0.402	0.173	0.767				

**Tabela 9.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) nedominantnih opružača i pregibača u zglobu kolena za parametar Ukupno vreme kontrakcije (TcT).

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
IC_AVG_TcT_Q _ND	45.07±2.77	45.68±4.50	46.41±6.67	52.20±4.03	5.474	<b>.003</b>	.259	.919	
IC_SD <sub>AVG</sub> TcT_Q _ND	2.69±1.28	4.46±2.79	5.66±4.01	6.87±3.67	2.797	<b>.050</b>	.151	.637	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_Q _ND	5.91±2.60	9.54±4.98	11.56±6.42	13.18 ± 6.83	2.740	.054	.149	.627	
IC_AVG_TcT_H _ND	49.41±6.71	65.64±10.84	61.19±9.29	65.82 ± 7.86	6.070	<b>.001</b>	.279	.945	
IC_SD <sub>AVG</sub> TcT_H _ND	7.63±5.50	10.67±9.78	12.10±7.22	12.18 ± 8.08	.610	.612	.037	.167	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_H _ND	14.65±9.22	17.01±16.32	19.91±11.22	19.87 ± 15.03	.341	.795	.021	.112	
Index_Coa_TcT_ AVG_H/Q_ND	9.72	44.08	33.05	26.58	5.229	<b>.003</b>	.250	.906	
Index_Coa_TcT_ Cv_H/Q_ND	227.42	117.54	202.96	73.71	.679	.569	.042	.182	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
<b>Wilks' lambda</b>	0.300	2.499	<b>0.001</b>	0.330	0.997				

**Tabela 10.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) dominantnih opružača i pregibača u zglobu kolena za parametar Brzina kontrakcije trbuha mišića (RMTD).

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
IC_AVG_RMTD_Q_D	0.27±0.06	0.25±0.05	0.24±0.09	0.21±0.07	1.576	.208	.091	.388	
IC_SD <sub>AVG</sub> RMTD_Q_D	0.04±0.03	0.09±0.04	0.09±0.03	0.07±0.03	4.665	<b>.006</b>	.229	.867	
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_Q_D	16.20±10.74	34.85±11.94	43.20±16.36	32.80±14.34	6.105	<b>.001</b>	.280	.946	
IC_AVG_RMTD_H_D	0.21±0.04	0.20±0.04	0.18±0.07	0.13±0.04	5.350	<b>.003</b>	.255	.912	
IC_SD <sub>AVG</sub> RMTD_H_D	0.04±0.03	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.02	.985	.408	.059	.251	
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_H_D	18.98±12.96	16.57±7.86	21.32±14.14	19.46±16.68	.316	.814	.020	.107	
Index_Coa_RMTD_AVG_H/Q_D	-20.69	-18.74	-23.37	-34.03	1.535	.218	.089	.378	
Index_Coa_RMTD_Cv_H/Q_D	63.66	-45.42	-46.87	-35.16	5.835	<b>.002</b>	.271	.936	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
Wilks' lambda	0.311	2.408	<b>0.001</b>	0.322	0.996				

**Tabela 11.** Rezultati Indeksa Koordinacije (IC) i Koaktivacije (Index\_Coa) nedominantnih opružača i pregibača u zglobu kolena za parametar Brzina kontrakcije trbuha mišića (RMTD).

	GRUPE				ANOVA				
	Karate Elitni	Karate Reprezent.	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power	
IC_AVG_RMTD_ Q_ND	0.29±0.05	0.21±0.06	0.19±0.08	0.20±0.06	3.980	<b>.013</b>	.203	.803	
IC_SD <sub>AVG</sub> RMTD_ Q_ND	0.05±0.02	0.04±0.03	0.05±0.042	0.05±0.04	.104	.958	.007	.067	
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_ Q_ND	16.32±5.87	22.66±14.73	27.94±22.86	25.97±21.30	.686	.565	.042	.184	
IC_AVG_RMTD_ H_ND	0.22±0.04	0.19±0.04	0.18±0.07	0.14±0.06	3.713	<b>.018</b>	.192	.772	
IC_SD <sub>AVG</sub> RMTD_ H_ND	0.04±0.03	0.04±0.03	0.04±0.03	0.03±0.04	.582	.630	.036	.161	
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_ H_ND	18.28±14.16	21.37±13.92	26.49±17.23	18.53±16.79	.783	.510	.048	.205	
Index_Coa_RMTD _AVG_H/Q_ND	-21.20	-4.68	0.34	-27.34	2.466	.074	.136	.576	
Index_Coa_RMTD _Cv_H/Q_ND	17.69	213.56	36.42	1601.42	.843	.477	.051	.219	
	MANOVA								
	Value	F	Sig.	Part. Eta <sup>2</sup>	Power				
Wilks' lambda	0.468	1.455	0.098	0.224	0.914				

### 7.3. REZULTATI DISKRIMINATIVNE ANALIZE

Rezultati diskriminativne analize su podrazumevali sumarnu analizu svih praćenih tenziomiografskih varijabli (Td, Tc, TcT, Dm i RMTD) i indeksa (koordinacije i koaktivacije) u odnosu na sve merene pojedinačne mišiće (RF, VL, VM, BF i ST) dominantne i nedominantne noge za potrebu definisanja najvažnijeg, tj. najsenzitivnijeg odnosno najdiskriminativnijeg faktora. Drugim rečima, ovom analizom je definisano koji pojedinačni mišić u funkciji koje tenziomiografske varijable najbolje opisuje razlike između testiranih subgrupa.

#### 7.3.1. Diskriminativna analiza za opružače u zglobu kolena dominantne noge

Rezultati diskriminativne analize za opružače u zglobu kolena dominantne noge su prikazani na Tabeli 12 i Figuri 1. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijanse matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 612.85,  $p = 0.000$ ), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih je samo prvi statistički značajan (Wilks' Lambda = 0.223,  $p = 0.004$ , Tabela 12), što znači da se ispitivane grupe u funkciji TMG varijabli, a za datu mišićnu grupu značajno razlikuju u odnosu na prvi definisani faktor.

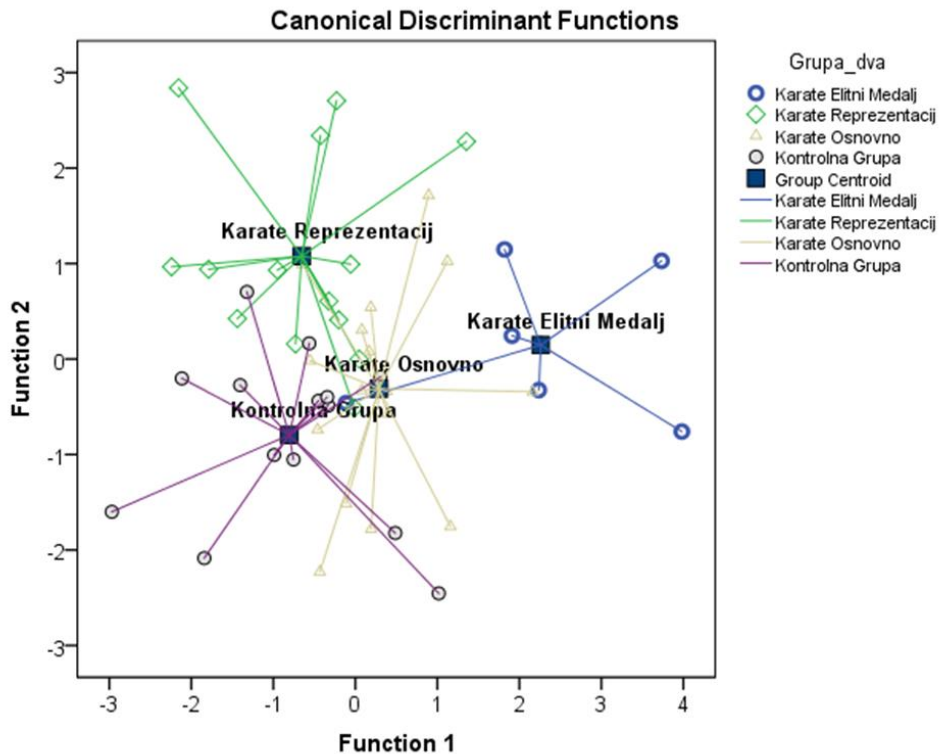
**Tabela 12.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
<b>RF_D_RMTD</b>	.390*		
RF_D_Tc	-.351*		
RF_D_TcT <sup>b</sup>	-.328*		
VM_D_Td	.279*		
VL_D_RMTD	.154*		
VL_D_Td		-.497*	
VM_D_TcT <sup>b</sup>		-.478*	
VM_D_RMTD		.448*	
VM_D_Tc		-.430*	
VM_D_Dm		.298*	
RF_D_Td		.264*	
VL_D_TcT <sup>b</sup>			.567*
VL_D_Tc			.549*
RF_D_Dm			.463*
VL_D_Dm			.122*

Na Tabeli 13 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji opružača zgloba kolena dominantne noge. Na Tabeli 14 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 13.** Vrednosti centroida definisanih grupa za opružače zgloba kolena dominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	2.261	.147	.636
Karate Reprerentacija	-.654	1.077	.074
Karate Osnovno	.288	-.311	-.789
Kontrolna Grupa	-.805	-.796	.510



**Figura 1.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije opružača zgloba kolena dominantne noge ispitivanih TMG varijabli.

**Tabela 14.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprerentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	6	0	0	1	7
Karate Reprerentacija	0	11	3	0	14
Karate Osnovno	1	2	11	2	16
Kontrolna Grupa	0	2	3	9	14
%					
Karate Elitni Medalje	85.7	0.0	0.0	14.3	100.0
Karate Reprerentacija	0.0	78.6	21.4	0.0	100.0
Karate Osnovno	6.3	12.5	68.8	12.5	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	14.3	21.4	64.3	100.0

72.5% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.



### 7.3.2. Diskriminativna analiza za opružače u zglobu kolena nedominantne noge

Rezultati diskriminativne analize za opružače u zglobu kolena nedominantne noge su prikazani na Tabeli 15 i Figuri 2. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 416.71, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih su dva statistički značajna (Wilks' Lambda = 0.174, p = 0.000 i Wilks' Lambda = 0.399, p = 0.016, Tabela 15), što znači da se ispitivane grupe u funkciji TMG varijabli, a za datu mišićnu grupu razlikuju značajno razlikuju u odnosu na prvi i drugi definisani faktor.

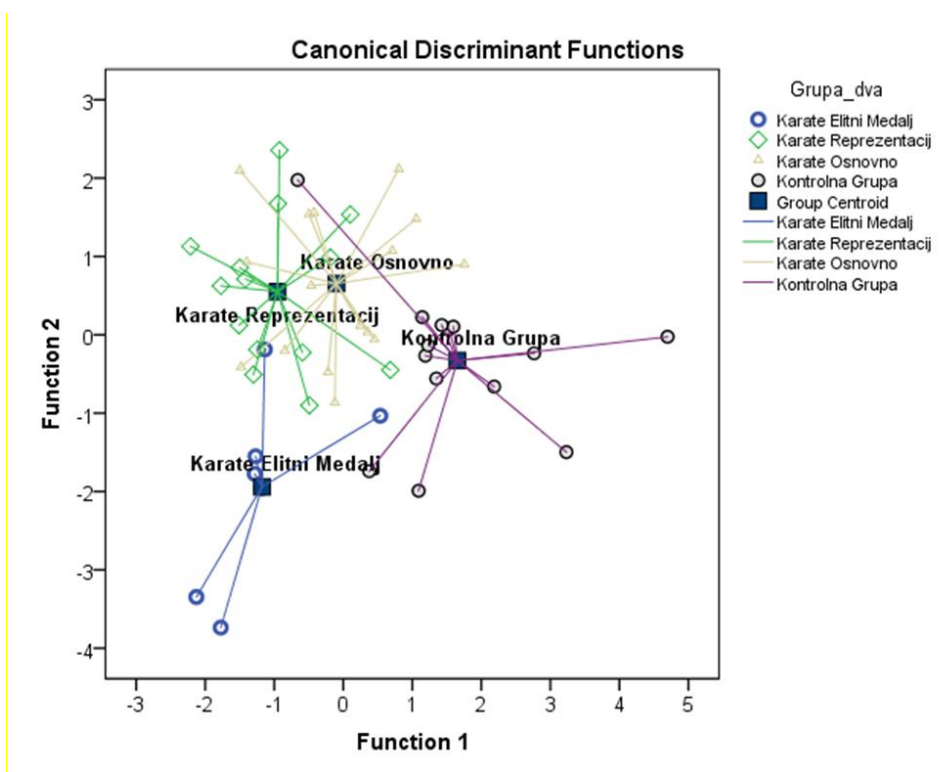
**Tabela 15.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
VM_ND_Td	.494*		
RF_ND_Td	.429*		
VM_ND_RMTD	-.423*		
VL_ND_Td	.410*		
RF_ND_TcT <sup>b</sup>	.394*		
VM_ND_TcT <sup>b</sup>	.388*		
RF_ND_Tc	.331*		
VM_ND_Tc	.324*		
RF_ND_RMTD		-.466*	
RF_ND_Dm		-.317*	
VL_ND_Dm		-.297*	
VL_ND_RMTD		-.295*	
VL_ND_Tc			.688*
VL_ND_TcT <sup>b</sup>			.552*
VM_ND_Dm			.312*

Na Tabeli 16 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji opružača zgloba kolena nedominantne noge. Na Tabeli 17 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 16.** Vrednosti centroida definisanih grupa za opružanje zgloba kolena nedominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	-1.178	-1.941	-.259
Karate Reprzentacija	-.951	.551	.713
Karate Osnovno	-.099	.654	-.744
Kontrolna Grupa	1.653	-.329	.267



**Figura 2.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije opružaća zgloba kolena nedominantne noge ispitivanih TMG varijabli.

**Tabela 17.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprzentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	5	0	1	1	7
Karate Reprzentacija	0	11	2	1	14
Karate Osnovno	0	2	12	2	16
Kontrolna Grupa	0	1	0	13	14
%					
Karate Elitni Medalje	71.4	0.0	14.3	14.3	100.0
Karate Reprzentacija	0.0	78.6	14.3	7.1	100.0
Karate Osnovno	0.0	12.5	75.0	12.5	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	7.1	0.0	92.9	100.0

80.4% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.3. Diskriminativna analiza za pregibače u zglobu kolena dominantne noge

Rezultati diskriminativne analize za pregibače u zglobu kolena dominantne noge su prikazani na Tabeli 18 i Figuri 3. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 282.66, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora koji se između sebe (između grupa) statistički značajno ne razlikuju.

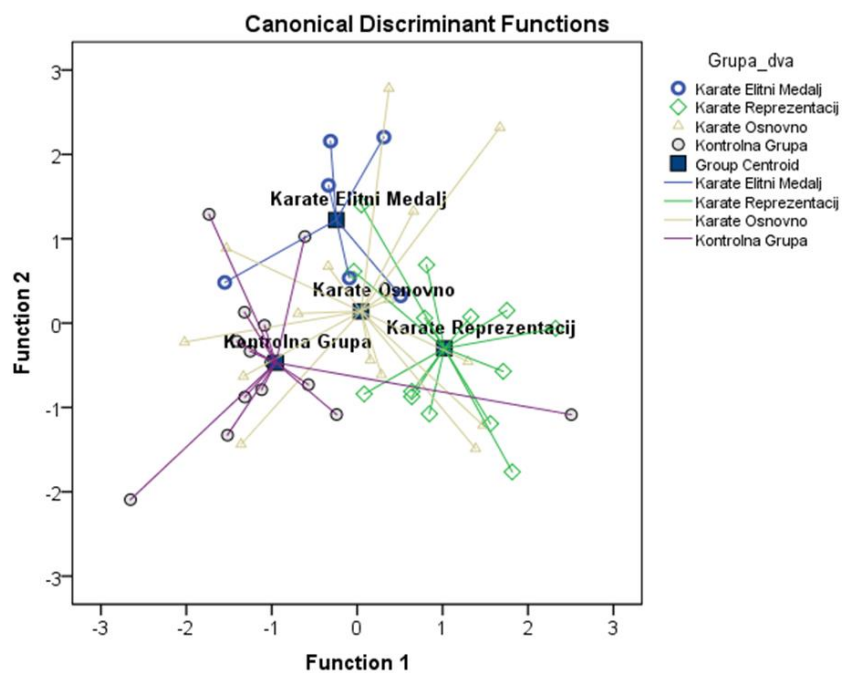
**Tabela 18.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
ST_D_Dm	.827*		
ST_D_RMTD	.767*		
BF_D_Dm	.401*		
ST_D_Tc	.300*		
BF_D_RMTD		.676*	
BF_D_Tc		-.663*	
BF_D_TcT <sup>b</sup>		-.653*	
BF_D_Td		-.344*	
ST_D_Td			-.359*
ST_D_TcT <sup>b</sup>			-.336*

Na Tabeli 19 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji pregibača zgloba kolena dominantne noge. Na Tabeli 20 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 19.** Vrednosti centroida definisanih grupa za pregibače zgloba kolena dominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	-.244	1.222	-.247
Karate Reprerentacija	1.022	-.300	-.150
Karate Osnovno	.046	.140	.336
Kontrolna Grupa	-.953	-.471	-.111



**Figura 3.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije pregibača zgloba kolena dominantne noge ispitivanih TMG varijabli.

**Tabela 20.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Rezentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	2	0	4	1	7
Karate Rezentacija	1	12	1	0	14
Karate Osnovno	1	4	7	4	16
Kontrolna Grupa	2	1	1	10	14
%					
Karate Elitni Medalje	28.6	0.0	57.1	14.3	100.0
Karate Rezentacija	7.1	85.7	7.1	0.0	100.0
Karate Osnovno	6.3	25.0	43.8	25.0	100.0
Kontrolna Grupa	14.3	7.1	7.1	71.4	100.0

60.8% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.4. Diskriminativna analiza za pregibače u zglobu kolena nedominantne noge

Rezultati diskriminativne analize za pregibače u zglobu kolena dominantne noge su prikazani na Tabeli 21 i Figuri 4. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 240.02, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih je samo prvi statistički značajan (Wilks' Lambda = 0.431, p = 0.043, Tabela 21), što znači da se ispitivane grupe u funkciji TMG varijabli, a za datu mišićnu grupu razlikuju u odnosu na prvi definisani faktor.

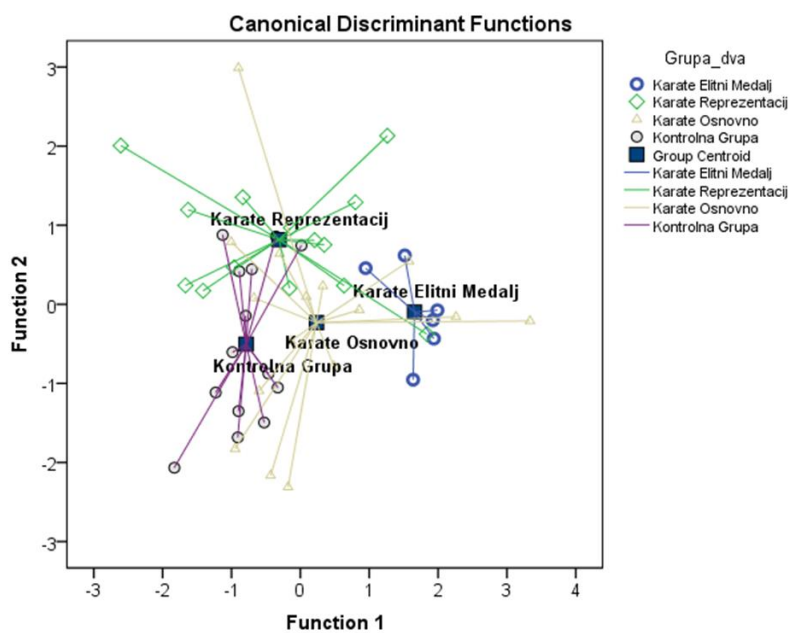
**Tabela 21.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
<b>ST_ND_TcT</b>	-.678*		
ST_ND_Tc	-.642*		
ST_ND_Td	-.561*		
BF_ND_RMTD	.529*		
BF_ND_Td	-.253*		
BF_ND_Tc		.620*	
BF_ND_Dm		.574*	
BF_ND_TcT <sup>a</sup>		.560*	
ST_ND_RMTD		.505*	
ST_ND_Dm			.294

Na Tabeli 22 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji pregibača zgloba kolena nedominantne noge. Na Tabeli 23 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 22.** Vrednosti centroida definisanih grupa za pregibače zgloba kolena nedominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	1.658	-.098	-.370
Karate Reprezentacija	-.309	.818	-.038
Karate Osnovno	.234	-.232	.403
Kontrolna Grupa	-.788	-.504	-.238



**Figura 4.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije pregibača zgloba kolena nedominantne noge ispitivanih TMG varijabli.

**Tabela 23.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Rezentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	5	0	2	0	7
Karate Rezentacija	1	10	1	2	14
Karate Osnovno	1	4	9	2	16
Kontrolna Grupa	0	5	0	9	14
%					
Karate Elitni Medalje	71.4	0.0	28.6	0.0	100.0
Karate Rezentacija	7.1	71.4	7.1	14.3	100.0
Karate Osnovno	6.3	25.0	56.3	12.5	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	35.7	0.0	64.3	100.0

64.7% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.5. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu Tc

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu Tc su prikazani na Tabeli 24 i Figuri 5. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 280.91, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora ali bez statističke značajnosti.

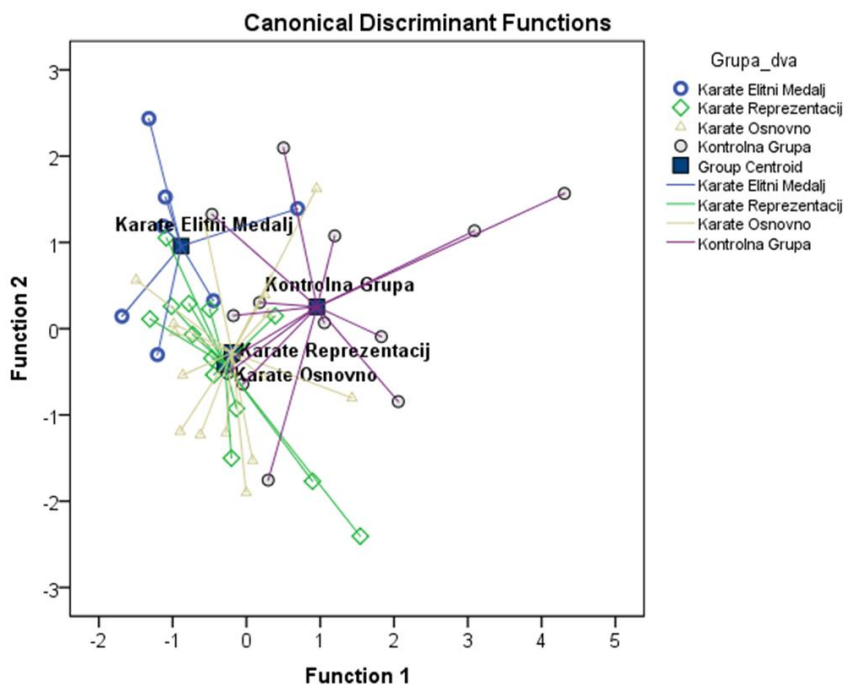
**Tabela 24.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
IC_AVG_Tc_Q_D	.753*		
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_Q_D	.573*		
Index_Coa_Tc_cV_H/Q_D	.243*		
Index_Coa_Tc_AVG_H/Q_D		-.666*	
IC_cV <sub>AVG</sub> Tc_H_D		.386*	
IC_AVG_Tc_H_D			-.606*

Na Tabeli 25 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu Tc. Na Tabeli 26 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 25.** Vrednosti centroida definisanih grupa za IC i Index\_Coa za Tc dominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	-.885	.958	-.032
Karate Reprezentacija	-.291	-.414	-.272
Karate Osnovno	-.195	-.278	.281
Kontrolna Grupa	.956	.252	-.032



**Figura 5.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu Tc.

**Tabela 26.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprerentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	3	1	2	1	7
Karate Reprerentacija	1	7	6	0	14
Karate Osnovno	2	1	9	4	16
Kontrolna Grupa	1	3	3	7	14
%					
Karate Elitni Medalje	42.9	14.3	28.6	14.3	100.0
Karate Reprerentacija	7.1	50.0	42.9	0.0	100.0
Karate Osnovno	12.5	6.3	56.3	25.0	100.0
Kontrolna Grupa	7.1	21.4	21.4	50.0	100.0

51.0% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.



### 7.3.6. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc su prikazani na Tabeli 27 i Figuri 6. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijanse matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 151.91, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih je samo prvi statistički značajan (Wilks' Lambda = 0.429, p = 0.004, Tabela 27), što znači da se ispitivane grupe u funkciji indeksa varijable Tc nedominantne noge razlikuju u odnosu na prvi definisani faktor.

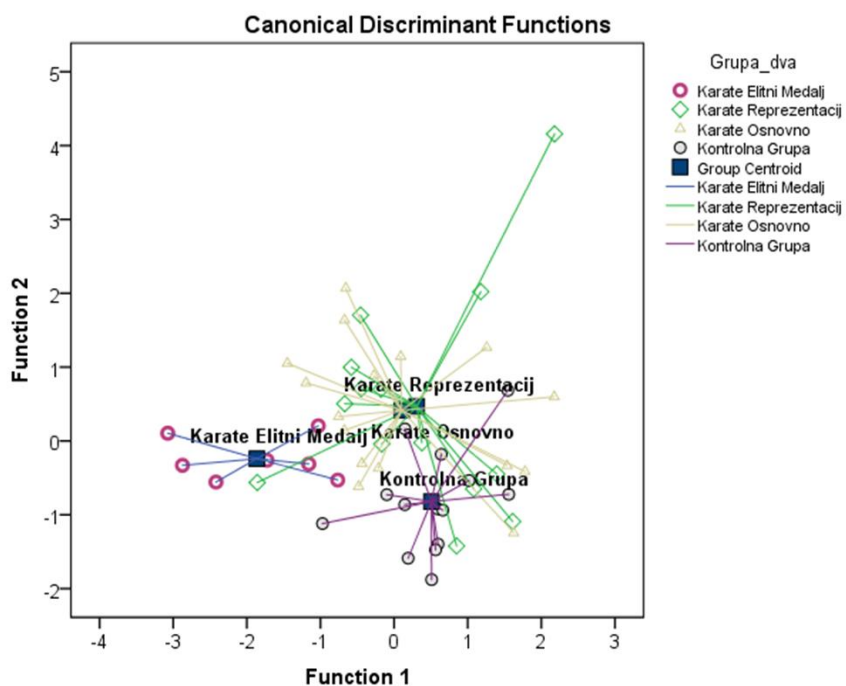
**Tabela 27.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
IC_AVG_Tc_H_ND	.779*		
Index_Coa_Tc_cV_H/Q_ND	-.255*		
IC_AVG_Tc_Q_ND		-.720*	
IC_cV_AVGTc_Q_ND			.587*
Index_Coa_Tc_AVG_H/Q_ND			-.576*
IC_cV_AVGTc_H_ND			.445*

Na Tabeli 28 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc. Na Tabeli 29 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 28.** Vrednosti centroida definisanih grupa IC i Index\_Coa za Tc nedominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	-1.864	-.240	-.071
Karate Reprezentacija	.308	.468	-.348
Karate Osnovno	.103	.414	.332
Kontrolna Grupa	.507	-.821	.004



**Figura 6.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc.

**Tabela 29.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprerentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	4	0	3	0	7
Karate Reprerentacija	1	5	4	4	14
Karate Osnovno	0	5	8	3	16
Kontrolna Grupa	0	1	2	11	14
%					
Karate Elitni Medalje	57.1	0.0	42.9	0.0	100.0
Karate Reprerentacija	7.1	35.7	28.6	28.6	100.0
Karate Osnovno	0.0	31.3	50.0	18.8	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	7.1	14.3	78.6	100.0

54.9% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.7. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT su prikazani na Tabeli 30 i Figuri 7. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 196.03, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora ali bez statističke značajnosti.

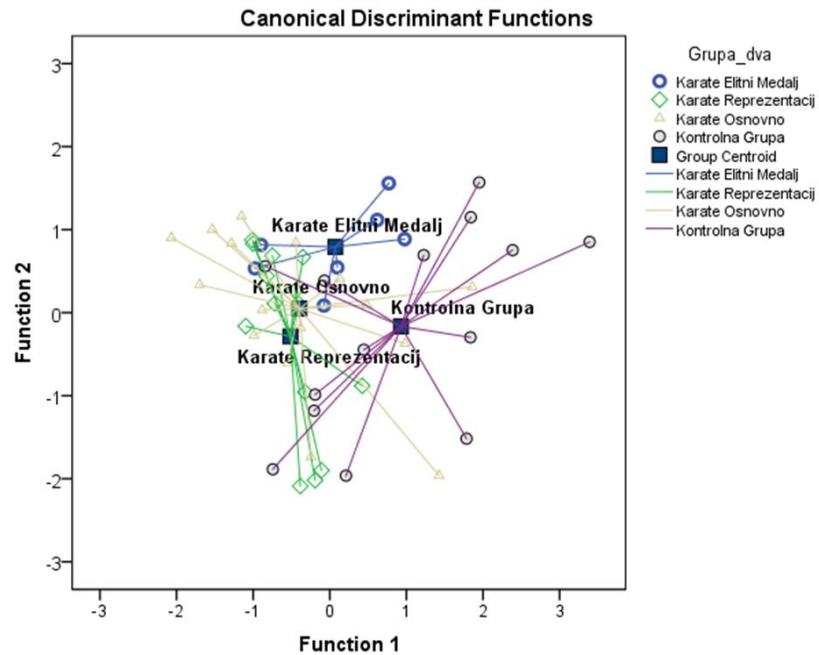
**Tabela 30.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
IC_AVG_TcT_Q_D	.855*		
IC_AVG_TcT_H_D		-.827*	
Index_Coa_TcT_AVG_H/Q_D		-.667*	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_Q_D		-.255*	
Index_Coa_TcT_cV_H/Q_D			.857*
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_H_D			.560*

Na Tabeli 31 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT. Na Tabeli 32 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 31.** Vrednosti centroida definisanih grupa za IC i Index\_Coa za TcT dominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	.073	.792	.255
Karate Reprezentacija	-.513	-.287	.293
Karate Osnovno	-.396	.050	-.351
Kontrolna Grupa	.930	-.165	-.019



**Figura 7.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT.

**Tabela 32.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprezentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	2	1	3	1	7
Karate Reprezentacija	0	5	8	1	14
Karate Osnovno	0	1	11	4	16
Kontrolna Grupa	0	2	4	8	14
%					
Karate Elitni Medalje	28.6	14.3	42.9	14.3	100.0
Karate Reprezentacija	0.0	35.7	57.1	7.1	100.0
Karate Osnovno	0.0	6.3	68.8	25.0	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	14.3	28.6	57.1	100.0

51.0% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.8. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu TcT

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu TcT su prikazani na Tabeli 33 i Figuri 8. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijance matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 192.15, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih su dva statistički značajna (Wilks' Lambda = 0.383, p = 0.001 i Wilks' Lambda = 0.660, p = 0.044, Tabela 33), što znači da se ispitivane grupe u funkciji indeksa varijable TcT nedominantne noge razlikuju u odnosu na prvi i drugi definisani faktor.

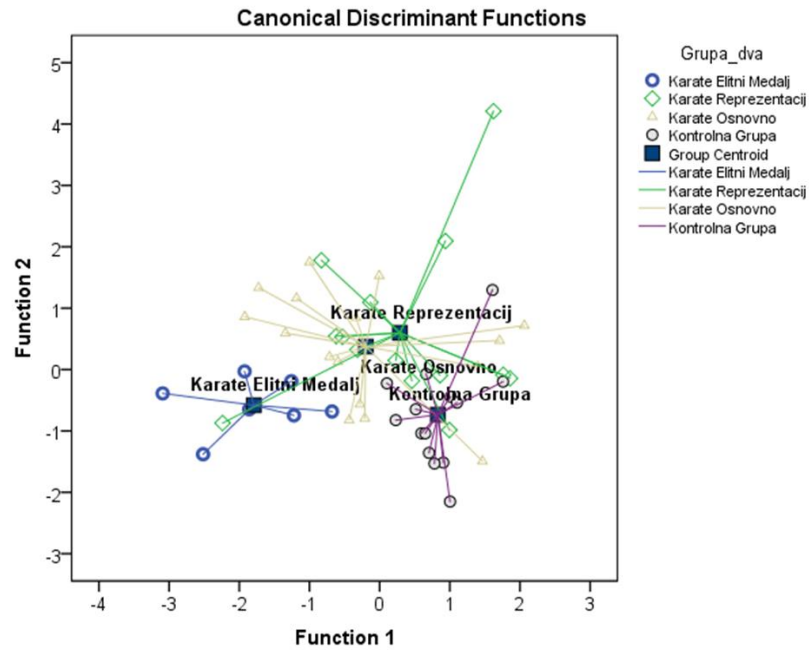
**Tabela 33.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
<b>IC_AVG_TcT_H_ND</b>	.711*		
<b>Index_Coa_TcT_AVG_H/Q_ND</b>		.762*	
IC_AVG_TcT_Q_ND		-.698*	
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_Q_ND			.654*
IC_cV <sub>AVG</sub> TcT_H_ND			.330*
Index_Coa_TcT_cV_H/Q_ND			.255*

Na Tabeli 34 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu TcT. Na Tabeli 35 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 34.** Vrednosti centroida definisanih grupa za IC i Index\_Coa za TcT nedominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	.073	.792	.255
Karate Reprezentacija	-.513	-.287	.293
Karate Osnovno	-.396	.050	-.351
Kontrolna Grupa	.930	-.165	-.019



**Figura 8.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu TcT.

**Tabela 35.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprerentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	6	0	1	0	7
Karate Reprerentacija	1	6	4	3	14
Karate Osnovno	0	4	10	2	16
Kontrolna Grupa	0	1	2	11	14
%					
Karate Elitni Medalje	85.7	0.0	14.3	0.0	100.0
Karate Reprerentacija	7.1	42.9	28.6	21.4	100.0
Karate Osnovno	0.0	25.0	62.5	12.5	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	7.1	14.3	78.6	100.0

64.7% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

### 7.3.9. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu RMTD

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu RMTD su prikazani na Tabeli 36 i Figuri 9. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijanske matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 206.24, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno tri faktora od kojih je samo prvi statistički značajan (Wilks' Lambda = 0.395, p = 0.001, Tabela 36), što znači da se ispitivane grupe u funkciji indeksa varijable RMTD dominantne noge razlikuju u odnosu na prvi definisani faktor.

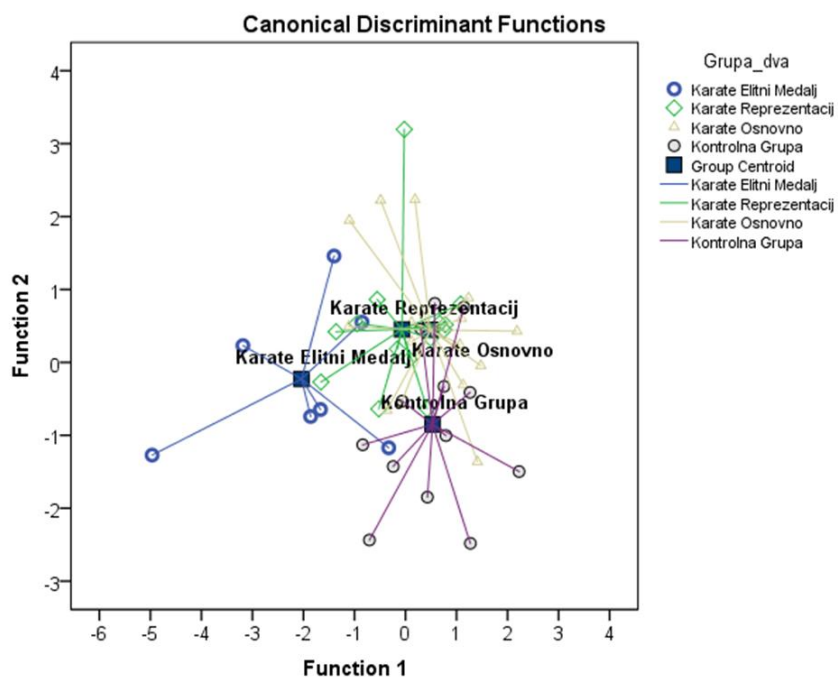
**Tabela 36.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture			
	Funkcija		
	1	2	3
<b>Index_Coa_cV_RMTD_H/Q_D</b>	-.642*		
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_Q_D	.612*		
IC_AVG_RMTD_H_D		.738*	
Index_Coa_RMTD_AVG_H/Q_D		.457*	
IC_AVG_RMTD_Q_D		.315*	
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_H_D			.612*

Na Tabeli 37 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu RMTD. Na Tabeli 38 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 37.** Vrednosti centroida definisanih grupa za IC i Index\_Coa za RMTD dominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	-2.037	-.227	.131
Karate Reprezentacija	-.069	.452	-.299
Karate Osnovno	.488	.448	.235
Kontrolna Grupa	.529	-.850	-.035



**Figura 9.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije dominantne noge za varijablu RMTD.

**Tabela 38.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Reprzentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	4	2	0	1	7
Karate Reprzentacija	1	6	5	2	14
Karate Osnovno	0	4	9	3	16
Kontrolna Grupa	0	0	3	11	14
%					
Karate Elitni Medalje	57.1	28.6	0.0	14.3	100.0
Karate Reprzentacija	7.1	42.9	35.7	14.3	100.0
Karate Osnovno	0.0	25.0	56.3	18.8	100.0
Kontrolna Grupa	0.0	0.0	21.4	78.6	100.0

58.8% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.



### 7.3.10. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu RMTD

Rezultati diskriminativne analize indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu RMTD su prikazani na Tabeli 39 i Figuri 10. Rezultati Box's testa jednakosti kovarijanse matrice su pokazali da ukupni prostor merenih varijabli ima pravilnu distribuciju na statistički značajnom nivou (Box's M = 306.66, p = 0.000), što znači da su rezultati interpretabilni u smislu primenjene analize.

Rezultati diskriminativne analize su pokazali da je izdvojeno dva faktora ali bez statističke značajnosti.

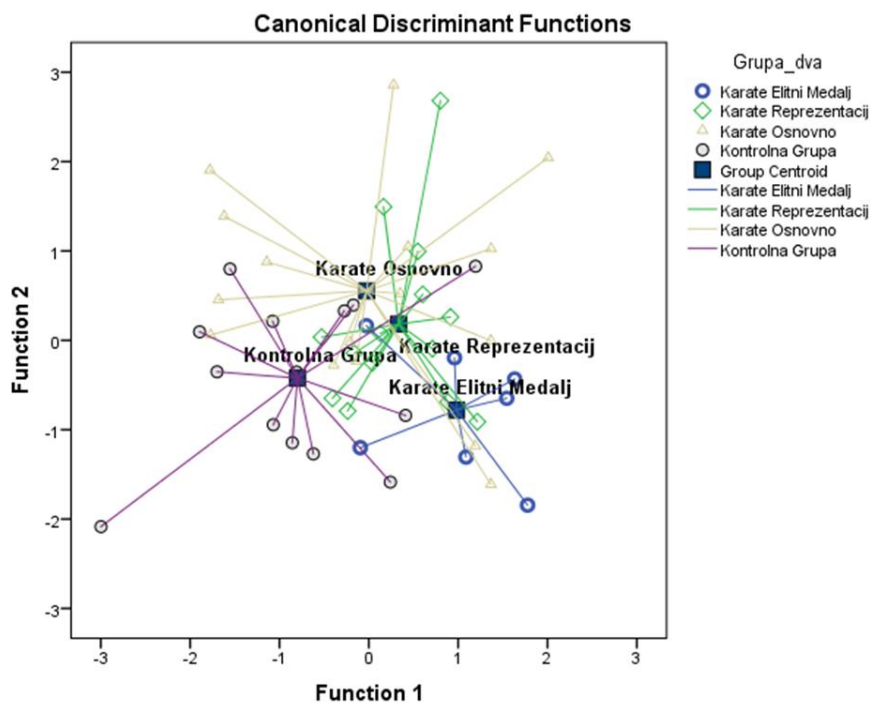
**Tabela 39.** Matrica strukture izdvojenih diskriminativnih faktora.

Matrica strukture		
	Funkcija	
	1	2
IC_AVG_RMTD_H_ND	.790*	
Index_Coa_RMTD_cV_H/Q_ND	-.322*	
Index_Coa_RMTD_AVG_H/Q_ND		.717*
IC_AVG_RMTD_Q_ND		-.645*
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_H_ND		.411*
IC_cV <sub>AVG</sub> RMTD_Q_ND		.270*

Na Tabeli 40 su prikazane definisane vrednosti centroida u odnosu na ispitivane grupe u funkciji indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu RMTD. Na Tabeli 41 su prikazani rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

**Tabela 40.** Vrednosti centroida definisanih grupa za IC i Index\_Coa za RMTD nedominantne noge.

Grupe	Funkcija		
	1	2	3
Elitni Karatisti	.982	-.781	-.192
Karate Reprezentacija	.334	.181	.303
Karate Osnovno	-.023	.553	-.195
Kontrolna Grupa	-.799	-.423	.015



**Figura 10.** Definisane kanoničke diskriminativne funkcije indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu RMTD.

**Tabela 41.** Rezultati kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitivanih grupa.

	Predikcija pripadnosti grupi				Ukupno
	Karate Elitni Medalje	Karate Rezentacija	Karate Osnovno	Kontrolna Grupa	
Karate Elitni Medalje	3	1	2	1	7
Karate Rezentacija	0	6	6	2	14
Karate Osnovno	2	2	9	3	16
Kontrolna Grupa	1	2	2	9	14
%					
Karate Elitni Medalje	42.9	14.3	28.6	14.3	100.0
Karate Rezentacija	0.0	42.9	42.9	14.3	100.0
Karate Osnovno	12.5	12.5	56.3	18.8	100.0
Kontrolna Grupa	7.1	14.3	14.3	64.3	100.0

52.9% ispitanika originalnih grupa je pravilno klasifikovano.

## 8. DISKUSIJA

Cilj istraživanja je bio utvrditi razlike između neuromišićnih profila elitnih karatista (EK), karate reprezentativaca (KR), osnovno treniranih karatista (KO) i muškaraca koji se nisu bavili karateom - kontrolne grupe (KG), kao i predstaviti novi analitički pristup primene tenziomiografske metode kroz indekse koordinacije i koaktivacije. Procenjene nevoljne kontraktilne karakteristike odabranih mišića donjih ekstremiteta (RF, VM, VL, BF i ST) bile su Td, Tc, Tct, Dm i RMTD. U daljem tekstu će se parametri tenziomiografije obraditi kroz odvojena poglavlja, posvećena posebno mišićima agonistima, tj. antagonistima. Indeksi koordinacije su predstavili prosečne vrednosti, standardne devijacije i koeficijente varijacije sa aspekta unutar-mišićne koordinacije. Indeksi koaktivacije su predstavili perspektivu sagledavanja neuromehaničkih kontraktilnih svojstava mišićnih parova sa funkcionalno suprotnim ulogama, koji deluju oko datog zgloba.

### 8.1. Osnovni deskriptivni pokazatelji

#### 8.1.1. Uzrast i morfološke karakteristike

Od sve četiri ispitane grupe, grupa elitnih karatista ima najstarije ispitanike ( $28.67 \pm 2.66$  godina), sa prosečnom najvećom visinom ( $184.63 \pm 2.76$  cm), najvećom telesnom masom ( $86.43 \pm 7.02$  kg) i najvećim indeksom telesne mase ( $25.38 \pm 2.38$  kg/m<sup>2</sup>) - Tabela 1.

#### 8.1.2. Parametri tenziomiografije

Na nivou pomenutih grupa, mišića i parametara uočene su značajne razlike na generalnom nivou kod opružača dominantne i nedominantne noge ( $p = 0.001$ ) i ( $p = 0.001$ ) - Tabele 2 i 3. U odnosu na pojedinačne varijable, identifikovane su 32 razlike. Utvrđeni su kraći Td, Tc i Tct dominantnih i nedominantnih mišića ekstenzora kolena (agonisti - RF, VL, VM) svih subgrupa karatista u odnosu na KG, dok je RF dominantne i nedominantne noge, pored pomenutih kraćih vremenskih varijabli (Td, Tc i Tct) pokazao i veće vrednosti RMTD-a grupe EK kako u odnosu na KG, tako i na grupu KO (Tabele 2 i 3). Što se tiče mišića fleksora kolena (antagonista - BF i ST) utvrđene su značajno kraći Td, Tc i TcT u odnosu kvaliteta EK i svih ostalih grupa (KR, KO i KG) u slučaju nedominantne noge (Tabela 5), dok su u slučaju dominantne noge pronađene značajne razlike u varijablama Dm i RMTD od kojih je RMTD izražena kod svih nivoa karatista (EK, KR i KO) u odnosu na KG (Tabela 4).

##### 8.1.2.1. Parametri tenziomiografije mišića agonista

Vrednosti **Vremena kontrakcije (Tc)** mišića opružača u zglobu kolena su na svim nivoima treniranosti karatista bili niži od 30 ms, što je u dosadašnjim istraživanjima okarakterisano kao sposobnost brzog generisanja sile tokom nevoljnih kontrakcija agonista (Rey et al., 2012; López-Fernández et al., 2020). Tc RF-a dominantne noge EK je statistički

značajno kraći u poređenju sa Tc RF-a KG ( $p = 0.049$ ). Izražene u procentima, razlike između karatista i KG su sledeće: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 24.43%, KR za 10.17% a KO za 13.41% (Tabela 2). Za Tc RF-a nedominantne noge nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa. Izražene u procentima, razlike između karatista i KG u nedominantnom RF-u su: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 28.70%, KR za 16.20% a KO za 9.91% (Tabela 3). Vrednosti Tc RF dominantne noge EK i Tc RF nedominantne noge RK su slični vrednostima elitnih Kjúkúšinkai karatista (Hiratsuka et al., 2017). Tc VL-a dominantne noge grupe KO se statistički značajno razlikuje od Tc VL-a KG ( $p = 0.043$ ). Izražene u procentima, razlike između karatista i KG su: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 11.63%, KR za 6.62% a KO za 15.71% (Tabela 2). Što se tiče Tc VL-a nedominantne noge statistički značajna razlika je utvrđena kao i kod dominantne noge - između grupe KO i KG ( $p = 0.007$ ). Razlika u vremenu kontrakcije je procentualno manja kod EK za 13.66%, KR za 6.31% a kod KO za 16.66% (Tabela 3). U studiji Garcia Garcia-e et al. iz 2017. godine, TMG vrednosti su predstavljene kao prosek dominantne i nedominantne noge fudbalera različitih pozicija. Kada se posmatra VL dominantne i nedominantne noge, uočava se sličnost rezultata između fudbalera na poziciji napadača u navedenom istraživanju i grupe RK. Za Tc VM-a dominantne noge nisu utvrđene statistički značajne razlike između grupa. Izražene u procentima, razlike između karatista i KG su: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 2.95%, KR za 20.75% a KO za 12.72% (Tabela 2). Što se tiče Tc VM-a nedominantne noge statistički značajna razlika je pronađena između KR i KG ( $p = 0.048$ ). Razlika u brzini kontrakcije je procentualno kraća kod EK za 12.02%, KR za 23.79% a kod KO za 15.96% u odnosu na KG (Tabela 3). Vrednosti kako dominantnog, tako i nedominantnog Tc-a VM-a RK grupe su slične elitnim Kjúkúšinkai karatistima (Hiratsuka et al., 2017).

Što se tiče **Odloženog vremena kontrakcije (Td)**, za RF dominantne noge nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa. Utvrđeno je da grupa EK ima duže vreme kontrakcije od KG za 0.27%, KR duže za 6.21% a KO grupa kraće od KG za 1.90% (Tabela 2). Sa druge strane, Td RF-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između KR i KG ( $p = 0.019$ ). Procentualne razlike između subgrupa karatista i KG su sledeće: EK imaju kraće vreme Td-a za 12.59%, KR za 13.41% a KO za 9.52% (Tabela 3). Td VL-a dominantne noge se statistički značajno razlikuje između KR i KG ( $p = 0.026$ ). Gledajući procenat, EK imaju kraće vreme za 11.02%, KR za 12.77% a KO za 10.83% u odnosu na KG (Tabela 2). Td VL-a nedominantne noge se statistički značajno ne razlikuje između grupa. Procentualno, EK imaju kraće vreme Td-a za 10.36%, KR za 8.91% a grupa KO za 8.63% u odnosu na KG (Tabela 3). Za Td VM-a dominantne noge nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa. Procentualne razlike karate subgrupa i KG su 10.09% duže vreme kod EK, 9.12% kraće vreme KR i 2.63% kraće vreme kod KO (Tabela 2). Analiza varijable Td VM-a nedominantne noge je pokazala statistički značajne razlike između KR i KG ( $p = 0.005$ ) kao i između KO i KG ( $p = 0.003$ ). Procentualne razlike su pokazale da sve karate subgrupe imaju kraći Td od KG: grupa EK za 8.16%, grupa KR za 9.39% i grupa KO za 9.39% (Tabela 3). Rezultati Td varijable dominantnog VM-a RK su slični vrednostima utvrđenim kod elitnih biciklista (Garcia Garcia, 2015) i vrhunskih takmičara u odbojci na pesku (Rodriguez-Ruiz et al., 2012).

**Ukupno vreme kontrakcije (TcT)** RF-a dominantne noge se nije statistički značajno razlikovalo između posmatranih grupa. Razlika u procentima između EK i KG iznosi 13.59% (kraće kod EK), KR i KG 3.13% (kraće vreme KR) i KO i KG 8.54% (kraće vreme kod KO) - Tabela 2. Tct nedominantnog RF-a se statistički značajno razlikuje između grupe EK i KG ( $p =$

0.048). Izraženo u procentima, EK imaju kraće vreme za 21.29%. Grupa KR ima kraće vreme za 14.99% a grupa KO kraće od KG za 9.73% (Tabela 3). Analiza varijable TcT VL-a dominantne noge je pokazala statistički značajnu razliku između KO i KG ( $p = 0.015$ ). EK imaju kraće vreme od KG za 11.36%, KR za 9.56% a KO za 13.32% (Tabela 2). TcT VL-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između KO i KG ( $p = 0.007$ ). U procentima, EK imaju kraće totalno vreme kontrakcije od KG za 12.11%, KR za 7.54% a KO za 12.76% (Tabela 3). TcT VM-a dominantne noge se statistički značajno razlikuje između grupe EK i KR ( $p = 0.045$ ), kao i između KR i KG ( $p = 0.045$ ). EK imaju duže vreme kontrakcije za 3.14% od KG, dok su KR i KO imali kraće vreme za 15.35% i 8.04%, respektivno (Tabela 2). TcT VM-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između KR i KG ( $p = 0.016$ ). EK imaju kraće vreme od KG za 10.25%, KR od KG za 17.19% a KO za 13.01% (Tabela 3). Pomenute razlike u Tc, Td i TcT varijablama su pronađene između svih grupa karatista u odnosu na KG, ali i između EK u odnosu na KR i KO. Ovo sugeriše na neuromišićnu adaptaciju specifičnu za kontraktilne karakteristike mišića agonista karate sportista najverovatnije nastalih usled različitih nivoa brzine stvaranja sile trzaja (eng. „twitch force generation speed“), brzine mišićne reakcije i samog sastava mišićnih vlakana (Toskić et al., 2019; Toskić et al., 2016).

Analizom **Maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića (Dm)** RF-a dominantne noge nisu utvrđene značajne statističke razlike između grupa. Procentualne razlike su sledeće: 25.57% je veće pomeranje mišića kod EK nego kod KG, 8.28% je veće pomeranje kod KR nego kod KG i za 11.01% je manje pomeranje kod KO nego kod KG (Tabela 2). Analizom rezultata Dm RF-a nedominantne noge takođe nisu utvrđene statistički značajne razlike između grupa. EK imaju veće pomeranje mišića za 21.47% od KG, KR grupa ima manje pomeranje za 0.17% od iste a grupa KO za 16.08% manje pomeranje od KG (Tabela 3). Vrednosti Dm parametra RF-a dominantne i nedominantne noge EK je sličan kao kod elitnih biciklista iz studije Garcia Garcia-e (2015). Za Dm VL-a dominantne noge nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa. Dm EK je pokazao veću vrednost za 10.61% u odnosu na KG. Kod KR je ta razlika bila 0.80% manja, a kod grupe KO manja za 2.84% u odnosu na KG (Tabela 2). Dm VL-a nedominantne noge se takođe nije statistički značajno razlikovao između grupa. EK su imali veće pomeranje za 14.94%, dok su grupe KR i KO imali manji Dm za 2.56% i 14.61% od KG, respektivno (Tabela 3). U poređenju sa pozicijama profesionalnih fudbalera, srednja vrednost Dm VL-a dominantne i nedominantne noge EK je slična poziciji centralnog odbrambenog igrača (García-García, 2017). Za Dm VM-a dominantne noge nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa. Sve tri grupe karatista su imale veća pomeranja mišića od KG, i to: EK za 16.60%, KR za 16.09% i KO za 7.13% (Tabela 2). Analiza Dm VM-a nedominantne noge takođe nije pokazala statistički značajne razlike između grupa. Slično prethodnom slučaju, sve tri grupe karatista su imale veća pomeranja mišića od KG, i to: EK za 28.25%, KR za 22.29% i KO za 0.99% (Tabela 3). Kao ni u studiji koja je analizirala razlike u kontraktilnim karakteristikama mišića elitnih i subelitnih igrača futsala (López-Fernández et al., 2020), ni između karate subgrupa nisu utvrđene statistički značajne razlike u Dm varijabli mišića dominantnih i nedominantnih opružača zgloba kolena.

Analizom **Brzine vertikalnog pomeranja mišića (RMTD)** RF-a dominantne noge utvrđena je značajna statistička razlika između grupe EK i KO ( $p = 0.017$ ), kao i između EK i KG ( $p = 0.009$ ). EK imaju veće vrednosti od KG za 49.02% a od grupe KO za 43.74%. KR imaju veće vrednosti od KG za 20.16% a grupa KO veće od KG za 5.59% (Tabela 2). RMTD RF-a nedominantne noge iz perspektive odnosa grupa ima identičnu statističku razliku - značajne

su između EK i KO ( $p=0.006$ ), kao i između EK i KG ( $p = 0.016$ ). Razlike u grupama izražene u procentima su: EK imaju više vrednosti od KO za 53.33% a u odnosu na KG za 48.16%. RK imaju više od KG za 15.84%, dok grupa KO ima manje od KG za 5.53% (Tabela 3). Rezultati RMTD VL-a dominantne noge nisu pokazali značajne statističke razlike između grupa. Procentualno, poredeći sa KG, EK imaju veći RMTD za 20.13%, KR za 3.42% a KO za 12.59% (Tabela 2). Analiza RMTD varijable VL-a nedominantne noge takođe nije pokazala značajne statističke razlike između grupa. Grupa EK ima veće vrednosti od KG za 26.42%, KR za 0.96%, dok KO imaju manje vrednosti RMTD od KG za 0.97% (Tabela 3). Analiza ukazuje da nema statistički značajnih razlika RMTD varijable VM-a dominantne noge između ispitivanih grupa, a za 12.89% su veće vrednosti kod EK nego kod KG, 29.53% veće kod KR nego kod KG i 14.94% veće kod grupe KO nego kod KG (Tabela 2). Rezultati RMTD VM-a nedominantne noge su pokazali značajnu razliku između grupe KR i KG ( $p = 0.010$ ). Procentualne razlike karate subgrupa u odnosu na KG su: EK imaju za 35.74% veće vrednosti, KR za 43.48% a KO za 18.49% (Tabela 3).

Td, Tc i Tct razlike u dominantnim i nedominantnim mišićima ekstenzorima sugerišu da su sve subgrupe karatista eksplozivnije od KG i da postoji mogućnost postojanja većeg broja vlakana tipa 1 (Križaj et al., 2008; Šimunič et al., 2011). Poredeći karatiste nacionalnog i internacionalnog nivoa tokom izvođenja Mae gerija sa više aspekata, Pozo et al. (2011) zaključuju da grupa internacionalnih karatista aktivira veći broj brzih motornih jedinica kvadricepsa tokom faze napada u odnosu na grupu nacionalnog nivoa. Ovde treba napomenuti da se razlike između OK i KG javljaju u VL mišiću dominantne i nedominantne noge (parametri Tc i TcT), što sugeriše na kumulativni trenažni efekat koji nastaje kao posledica trenažnih epizoda (Zatsiorsky & Kraemer, 2009). Slična promena je utvrđena u studiji Jemili et al. (2016) gde su se promene u vidu smanjenja vremena kontrakcije mišića kvadricepsa elitnih karatista dogodile nakon 3 meseca intenzivnog karate treninga. Ovi rezultati su u skladu sa tvrdnjom da sportisti koji redovno učestvuju u planiranim fizičkim aktivnostima razvijaju sportski specifične mišićne kvalitete nastale usled adaptacije na trening (Ahtiainen & Häkkinen, 2009), što se manifestuje većom brzinom kontrakcije. Prilagođavanje na balističke pokrete kod subgrupe KO je najverovatnije izazvalo navedene specifične neuromehaničke promene u mišićnoj reakciji (Toskić et al., 2022). Razlike OK i KG (Tabele 2 i 3) u VL-u dominantne i nedominantne noge za varijable Tc i TcT sugerišu na bilateralne neuromehaničke promene nastale učenjem kretanja i školske tehnika iz oba stava - kako dominantnom, tako i nedominantnom nogom, tj. rukom. Kako u procesu obuke verovatno nije prošlo dovoljno vremena da se ispoljava individualna priroda vežbača i dođe do nivoa gde bi se kroz sparinge favorizovala dominantna ruka i noga, neuromišićne razlike su se ispoljile u Tc i TcT varijablama VL-a obe noge. Sa druge strane, kod takmičara se uočava specifičan razvoj kontraktilnih karakteristika mišića agonista gde se jasno razlikuju vremenski kvaliteti mišića agonista poentirajućih i suprotivnih ekstremiteta (Tabele 2 i 3).

Ispitani VL i VM mišići su ekstenzori u zglobu kolena (Yoon et al., 2016), dok je RF ekstenzor u kolenu i fleksor u zglobu kuka (Çankaya et al., 2019). Konkretno, RF mišić obavlja obe ove radnje tokom udarca tako što smanjuje vreme podizanja stopala od tla i povećava brzinu opružanja potkolenice (Hariri & Sadeghi, 2018, Kapilevich et al., 2020). Pošto se i fleksija kuka (jap. Hiki ashi) i pokreti ekstenzije kolena koriste u karateu prilikom izvođenja udaraca, RF se odlikuje različitim kvalitetima kontrakcije od drugih mišića iz grupe ekstenzora kolena. Naime, odlikuju ga kako reaktivne, kao i brzinsko - snažne karakteristike manifestovane u

statistički značajnim razlikama u varijablama TcT (nedominantne noge) i Tc (dominantne noge), kao i značajnim razlikama RMTD-a između EK i OK, kao i EK i KG – kako u RF-u dominantne, tako i nedominantne noge. S tim u vezi, treba ponoviti tvrdnje Boškovića (2005) da „RF u zglobu kuka ima pojačanu aktivnost i preuzima veće dejstvo fleksije ukoliko je istegnut fleksijom u zglobu kolena“, što je konkretno i slučaj u poziciji Hiki ashija.<sup>6</sup>

### 8.1.2.2. Parametri tenziomiografije mišića antagonista

**Vreme kontrakcije (Tc)** BF-a dominantne noge se statistički značajno ne razlikuje između grupa. Izražene u procentima, razlike između subgrupa karatista i KG su sledeće: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 35.81%, KR za 0.09% a KO za 4.65% (Tabela 4). Vrednost Tc BF-a dominantne noge EK je slična vrednostima utvrđenim u studiji o vrhunskim odbojkašima na pesku (Rodriguez-Ruiz et al., 2012). Tc BF-a nedominantne noge EK se statistički značajno razlikuje od Tc BF-a KR ( $p = 0.020$ ). Izražene u procentima, razlike između karatista i KG u nedominantnom BF-u su sledeće: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 30.09%, KR duže za 16.60% a KO kraće vreme za 11.49% (Tabela 5). Tc ST-a dominantne noge se statistički značajno ne razlikuje između grupa. Izražene u procentima, razlike između subgrupa karatista i KG su: EK imaju duže vreme kontrakcije za 6.74%, KR za 18.30% a KO za 5.74% (Tabela 4). Tc ST-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između EK i KO ( $p = 0.017$ ), kao i EK i KG ( $p = 0.002$ ). Izražene u procentima, razlike između subgrupa karatista i KG su: EK imaju kraće vreme kontrakcije za 48.07%, KR za 13.09% a KO za 7.71% (Tabela 5).

Što se tiče **Odloženog vremena kontrakcije (Td)**, BF dominantne noge se statistički značajno ne razlikuje između grupa. Utvrđeno je da grupa EK ima kraće odloženo vreme kontrakcije od KG za 17.89%, KR za 14.28% a KO grupa kraće za 13.80% (Tabela 4). Td BF-a nedominantne noge se takođe statistički značajno ne razlikuje između grupa. Procentualne razlike između sve tri karate i Kontrolne grupe su sledeće: EK imaju kraće odloženo vreme kontrakcije za 8.06%, KR duže za 1.81% dok grupa KO kraće za 1.85% (Tabela 5). Imajući u vidu sume srednjih vrednosti Td-a dominantne i nedominantne noge BF-a (Tabele 4 i 5), poređene sa sumama srednjih vrednosti iste varijable fudbalera (García-García, 2017), pronađene su sledeće sličnosti karate subgrupa i fudbalskih pozicija: OK i „full back“ pozicija, dok se RK vrednost date varijable poklapa sa golmanskim pozicijom. Td ST-a dominantne noge se nije značajno razlikovao između grupa. Rezultati su pokazali procentualne razlike između karate subgrupa i KG, tj. kraće trajanje u odnosu na KG kod EK za 9.82%, KR za 2.61% i KO za 7.58% (Tabela 4). Analizom varijable Td ST-a nedominantne noge utvrđena je statistički značajna razlike između EK i KG ( $p = 0.012$ ). Procentualne razlike su pokazale da sve karate subgrupe imaju kraće vreme od KG i to: grupa EK za 13.74%, KR za 6.32% i grupa KO za 5.69% (Tabela 5).

---

<sup>6</sup> Iako iz perspektive segmentarne težine (u ovom slučaju noge) deluje lakše za mišić RF da vrši pregibanje kada je potkolenica u fleksiji (Ilić i Mrdaković, 2009), Bošković (2005) naglašava veću aktivaciju RF-a usled njegove „istegnutosti“. Rastegnutos RF-a je zastupljena usled tehničkih pravila karatea, tj. da „pri Hiji ashiju fleksiju kolena treba maksimizirati“ (Mudrić i sar., 2015; Oyama, 1969). Ostaje otvoreno pitanje za naredna istraživanja da li je pristup maksimalne fleksije zgloba kolena radi ispoljavanja velike sile (Mudrić, 2005) dobro rešenje za primenu u poen karateu, tj. koji stepen fleksije kolena je najoptimalniji pri izvođenju polukružnih nožnih udaraca, obzirom da se od takmičara zahteva maksimalna kontrola pri kontaktu sa glavom protivnika.

**Ukupno vreme kontrakcije (TcT)** BF-a dominantne noge se statistički značajno ne razlikuje između grupa. Sve tri karate grupe imaju kraće vreme kontrakcije od KG. Izražena u procentima, razlika EK i KG iznosi 27.74%, RK i KG 5.94% a KO i KG 8.48% (Tabela 4). TcT BF-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između grupa EK i RK ( $p = 0.030$ ). Izraženo u procentima, EK imaju kraće ukupno vreme kontrakcije od KG za 21.01%, grupa KR ima duže vreme od KG za 11.13% a grupa KO kraće za 7.64% (Tabela 5). Analiza varijable TcT ST-a dominantne noge nije pokazala statistički značajne razlike između posmatranih grupa. EK imaju duže vreme kontrakcije od KG za 0.23%, KR za 10.21% a KO za 0.44% (Tabela 4). TcT ST-a nedominantne noge se statistički značajno razlikuje između EK i KO ( $p = 0.016$ ) kako i između EK i KG ( $p = 0.001$ ). U procentima, EK imaju kraće TcT od KG za 34.97%, KR za 10.69% a KO za 7.02% (Tabela 5).

Nepostojanje statistički značajnih razlika u varijablama **Tc** i **TcT** kod mišića pregibača zgloba kolena dominantne noge je odraz različite neuromišićne adaptacije u odnosu na nedominantnu nogu, tj. na pojačanu aktivaciju mišića antagonista dominantne noge u cilju zaštite zgloba kolena (Quinzi et al., 2014) i kontrole kontakta sa protivnikom, što je direktno uslovljeno „point fighting“ sistemom takmičenja (Hoelbling et al., 2020). Ove adaptacije su uslovile razvoj drugih neuromehaničkih kvaliteta u fleksorima dominantne noge, o kojima će biti reči kasnije. Sa druge strane, kod mišića pregibača nedominantne (suportivne noge) zabeleženo je šest statistički značajnih razlika vezanih za varijable **Tc** i **TcT** (između EK i RK; EK i KO; i EK i KG), kao i jasne nominalne linearne tendencije smanjenja između svih posmatranih grupa za varijable **Tc** i **TcT** ST-a, kako se nivo treniranosti povećava (Tabela 5). Naime, pregibači nedominantne noge nisu izloženi antagonističkim aktivacijama kao što je to slučaj sa pregibačima dominantne noge (Sbriccoli et al., 2010), već imaju zadatak da pomognu izvođenje brzih rotacija pri nožnim udarcima. Prva uloga mišića pregibača kolena stajne noge pri udarcu su ekstenzija i spoljna rotacija u zglobu kuka, kao i spoljna rotacija potkolenice, a sve tri uloge su funkcije BF-a (Bošković, 2005). Druga uloga pregibača stajne noge je vraćanje u početnu poziciju ili bar u poziciju u kojoj karatista nije toliko izložen protivniku što iziskuje unutrašnju rotaciju stajne noge koja je funkcija ST-a (Bošković, 2005). Brzo vraćanje segmenata tela u početnu poziciju pomenutom aktivacijom ST-a ima motivaciju u zadovoljavanju još jednog aspekta bodovanja poen karatea – jap. „Zanshin“ koji predstavlja specifičnu posturu po okončanju napadačke tehnike (Alinaghypour et al., 2019; Jemili et al., 2016). Oyama (1969) na ovu temu iznosi sledeća uputstva: „Kod udaranja nogom je najvažnije da se udara snažno i brzo, te da se noga nakon udarca istim putem brzo povuče. Čim je udarac zadan, nogu valja smesta povući nazad i to tako da se najpre savije u kolenu, a tek nakon toga spusti na tlo“. Zarad objektivnosti treba naglasiti da su njegove reči u kontekstu nožnih udaraca punom snagom u telo ili glavu protivnika (shodno ciljevima Kjokušinkai karatea) a brzo povlačenje istom putanjom ima za cilj „izbegavanje fatalnih posledica ukoliko protivnik uhvati nogu kojom se udarac izvodi“ (Oyama, 1969). Bez obzira na razlike „full contact“ i „point“ karatea, princip brzog povlačenja noge nakon udarca je isti u oba pomenuta sistema takmičenja.

Analizom **Maksimalnog vertikalnog pomeranja mišića (Dm)** BF-a dominantne noge nisu utvrđene značajne statističke razlike između grupa. Procentualne razlike su sledeće: 14.79% je veće pomeranje mišića kod EK nego kod KG, 28.62% je veće pomeranje kod KR nego kod KG i za 10.61% je veće pomeranje kod KO nego kod KG (Tabela 4). Rezultati Dm BF-a nedominantne noge takođe nisu pokazali značajne statističke razlike između grupa. Procentualno gledano, EK imaju veće pomeranje mišića od KG za 13.48%, KR ima veće



pomeranje za 32.61% od iste a grupa KO za 9.01% veće pomeranje od KG (Tabela 5). Slične vrednosti Dm varijable BF-a dominantne i nedominantne noge i istu linearnu tendenciju EK u odnosu na RK nalazimo u studiji gde su TMG metodom ispitane razlike između elitnih i subelitnih futsal igrača (López-Fernández-a et al., 2020). Na nivou proseka dominantne i nedominantne noge, grupa RK je slična sa vrednostima Dm BF-a „full back“ pozicije profesionalnih fudbalera (Garcia Garcia, 2017). Vrednosti Dm-a nedominantnog BF-a grupe RK su slične sa elitnim biciklistima (Garcia Garcia, 2015), dok je vrednost iste varijable za dominantnu nogu grupe RK ekvivalentna sa Kjokušinkai karatistima (Hiratsuka et al., 2017). Dm ST-a dominantne noge se statistički značajno razlikovao između KR i KG ( $p = 0.000$ ), što je u suprotnosti sa studijama koje tvrde da su niže vrednosti Dm-a povezane sa većom izloženošću treningu sile, snage ili pliometrije (Loturco et al., 2015; Zubac & Šimunič, 2017). Sa druge strane, karate trening i zahtevi takmičenja povećavaju fleksibilnost mišića donjih ekstremiteta (Probst et al., 2007; Anderson, 2011) (pogotovo zadnje lože), tako da ovaj uticaj vrlo verovatno doprinosi većim amplitudama pomeranja mišića u ovoj specifičnoj TMG varijabli. Dm EK je imao veću vrednost za 47.71% u odnosu na KG, kod grupe KR je ta razlika bila veća za 66.38%, a kod KO za 40.28% u odnosu na KG (Tabela 4). Dm ST-a nedominantne noge se nije statistički značajno razlikovao između grupa. EK su imali veće pomeranje za 4.75%, dok su grupe KR i KO imali veći Dm za 23.47% i 12.27% od KG, respektivno (Tabela 5).

Analizom brzine vertikalnog pomeranja mišića (RMTD) BF-a dominantne noge utvrđena je značajna statistička razlika između EK i KG ( $p = 0.020$ ). Sve tri grupe karatista imaju veće vrednosti RMTD od KG. Razlika između EK i KG je 46.74%, između grupe KR i KG je 28.05% a razlika između KO i KG je 20.38% (Tabela 4). RMTD BF-a nedominantne noge se značajno statistički razlikuje između grupe EK i KG ( $p = 0.036$ ). Kao i kod dominantne noge, sve tri subgrupe karatista imaju veće vrednosti RMTD od KG. Razlika između EK i KG je 49.57%, između grupa KR i KG je 24% a razlika između KO i KG je 31.85% (Tabela 5). RMTD ST-a dominantne noge se značajno statistički razlikuju između EK i KG ( $p = 0.039$ ), KR i KG ( $p = 0.001$ ) kao i između KO i KG ( $p = 0.040$ ). Procentualno, EK ostvaruju brže vertikalno pomeranje mišića za 48.62%, KR za 55.72% a KO za 40.26% u odnosu na KG (Tabela 4). Analiza RMTD varijable ST-a nedominantne noge nije pokazala značajnu statističku razliku između grupa. EK su brži od KG za 46.24%; KR za 35.16% dok je grupa KO brža od KG za 24.54% (Tabela 5).

Više vrednosti RMTD-a pregibača BF i ST-a dominantne noge između EK i KR u odnosu na KG sugerišu na brzinsko - snažne karakteristike „kočionih mehanizama“ mišića zadnje lože, zbog specifičnih strategija učenja usvojenih u cilju kontrole udarca nogom nametnutog pravilima karate takmičenja (Pozo et al., 2011; WKF - Kumite competition rules, 2024). Konkretnije, RMTD razlika mišića antagonista zasniva se na prethodnom iskustvu stečenom kroz godine vežbanja i predstavlja centralno programirani anticipatorni mehanizam koji kontroliše silu udara i stabilizuje zglobov kolena pre istog (Jemili et al., 2016). Takmičari u kumiteu pokazuju veliku sposobnost da aktiviraju ili deaktiviraju svoje antagoniste kako bi stabilizovali i zaštitili zglobov tokom udaraca nogama i rukama (Sbriccoli et al., 2010; Quinzi et al., 2013). Udarci koji su najviše ispitivani sa elektrofiziološkog stanovišta su Mae geri - zbog njegove snage i Mavaši geri zbog česte upotrebe na takmičenjima (Portela et al., 2014; Quinzi et al., 2013). Ova dva udarca se izvode fleksijom kuka i kolena koja je praćena ekstenzijom istih zglobova (Kim et al., 2011). U karate veštini uopšte su retki udarci nogama u kojima nema fleksije u zglobov kolena (npr. Mawashi kubi-geri), a što se „point karatea“ tiče, dozvoljeni su

isključivo oni koji u izvođenju imaju fleksiju u zglobu kolena pre opružanja potkolenice - Mae geri, Mawashi geri (jap. jodan i chudan, tj. visoki i srednji), Yoko geri, Ura mawashi geri, Ushiro mawashi geri i Ushiro geri (Koropanovski & Jovanović, 2007). Veća aktivacija antagonista je primećena kod elitnih karatista u poređenju sa takmičarima nižeg ranga pri izvođenju Mae gerija, što je usvojena radnja u cilju postizanja bolje kontrole noge pri udarcu (Sbriccoli et al., 2010). Pored toga, primećena je veća aktivacija antagonista BF-a tokom faze ekstenzije kolena tokom izvođenja Mavaši gerija kod grupe seniorskih u odnosu na grupu juniorskih takmičara (Quinzi et al., 2014). U ovom slučaju, aktivacija antagonista je bila značajno povezana sa uzrastom, što zajedno sa prethodnom tvrdnjom upućuje na zaključak o uticaju specifičnog karate treninga i njegovog trajanja na adaptaciju kontraktilnih svojstava mišića. Veća ekscentrična aktivacija na kraju faze napada smatra se takođe preaktivacijom koja predviđa fleksiju kolena i ekstenziju kuka u fazi povratka (Pozo et al., 2011).

Govoreći o adaptivnim karakteristikama i programiranoj edukativnoj i trenažnoj aktivnosti Specijalnog fizičkog obrazovanja (čiji se veliki deo zasniva na karateu) Milošević i sar. (2001) faktor nervno-mišićne reakcije (jedan od sedam latentnih dimenzija subprostora brzine) opisuju kao: „Sposobnost koja je odgovorna za varijabilitet manifestovan pri merenju vremenskog intervala proteklog od davanja određene draži do početka motoričkog odgovora.“ Na ovom mestu treba istaći statistički značajne razlike između grupa KO i KG u varijabli RMTD ST dominantne noge (Tabela 4), pored razlika spomenutih u poglavlju 8.1.2.1. koje se tiču varijabli Tc i TcT dominantnog i nedominantnog VL (Tabele 2 i 3). Brzinske karakteristike grupe KO sugerisu na razvoj kontraktilnih sposobnosti mišića antagonista dominantne noge podstaknut upražnjavanjem aktivnosti SFO, tj. izvođenja FK i RK dominantnom nogom punom snagom u fokuser i kao posledica toga pojačane aktivacije mišića antagonista dominantne noge u cilju zaštite zgloba kolena (Sbriccoli et al., 2010; Quinzi et al., 2013; Quinzi et al., 2014).

## 8.2. Indeksi koordinacije

Indeksi koordinacije omogućavaju novu perspektivu sagledavanja neuromehaničkih kontraktilnih svojstava mišića. Konkretno, rezultati predstavljaju unutarmišićnu koordinaciju kroz indekse prosečnih vrednosti, indekse standardnih devijacija i indekse koeficijenata varijacije dominantnih i nedominantnih mišića pregibača i opružaća zgloba kolena (RF, VL, VM, BF i ST) za parametre Tc, TcT i RMTD. Na generalnom nivou su pronađene četiri, a na nivou pojedinačnih varijabli 11 statistički značajnih razlika između grupa EK, KR, KO i KG. Uočene su i jasne linearne tendencije smanjenja ili povećanja vrednosti varijabli između grupa što ukazuje na potencijalno važan fenomen koji je potrebno ispitati u narednim studijama.

Rezultati Indeksa Koordinacije mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena dominantne noge za parametar **Vreme kontrakcije (Tc)** pokazuju statistički značajne razlike na generalnom nivou ( $p = 0.028$ ). Najznačajnija razlika između grupa je pronađena za varijablu Indeks Koordinacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića opružaća dominantne noge (u daljem tekstu **IC\_AVG\_Tc\_Q\_D**) ( $p = 0.008$ ), gde su sve tri subgrupe karatista imale kraće prosečno vreme kontrakcije u odnosu na Kontrolnu grupu. Konkretno, statistički značajne razlike su utvrđene između KR i KG ( $p = 0.040$ ) kao i između EK i KG ( $p = 0.013$ ) - Tabela 6. Za varijablu

Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića opružaća dominantne noge -  $IC_{cV_{AVG}Tc\_Q\_D}$  je utvrđena statistički značajna razlika između EK i KG ( $p = 0.042$ ). Takođe, potrebno je naglasiti uočavanje jasne nominalne linearne tendencije smanjenja ove varijable kako je nivo treniranosti, odnosno sportske uspešnosti na višem nivou (KG  $20.76 \pm 12.53$ , KO  $17.29 \pm 6.50$ , KR  $15.95 \pm 8.32$ , EK  $9.13 \pm 5.11$ ) - Tabela 6.

Rezultati Indeksa Koordinacije mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena nedominantne noge za parametar  $Tc$  pokazuju statistički značajne razlike na generalnom nivou ( $p = 0.001$ ). Statistički značajna razlika na grupnom nivou je utvrđena za varijable Indeks Koordinacije prosečnog vremena kontrakcije mišića opružaća nedominantne noge -  $IC_{AVG\_Tc\_Q\_ND}$  ( $p = 0.015$ ) i Indeks Koordinacije prosečnog vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge -  $IC_{AVG\_Tc\_H\_ND}$  ( $p = 0.001$ ) - Tabela 7. Na pojedinačnom nivou, u okviru varijable  $IC_{AVG\_Tc\_Q\_ND}$  utvrđena je statistički značajna razlika između KR i KG ( $p = 0.041$ ), a u okviru varijable  $IC_{AVG\_Tc\_H\_ND}$  između sledećih grupa: EK i KR ( $p = 0.001$ ), EK i KO ( $p = 0.033$ ) i EK i KG ( $p = 0.002$ ) - Tabela 7. Iako nisu utvrđene statistički značajne razlike između karate subgrupa za varijable Indeks Koordinacije standardne devijacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića opružaća nedominantne noge -  $IC_{SD_{AVG}Tc\_Q\_ND}$  (KO  $4.67 \pm 3.65$ , KR  $3.65 \pm 2.03$ , EK  $2.41 \pm 1.16$ ), Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića opružaća nedominantne noge -  $IC_{cV_{AVG}Tc\_Q\_ND}$  (KO  $17.43 \pm 9.16$ , KR  $14.55 \pm 6.54$ , EK  $10.07 \pm 4.59$ ), Indeks Koordinacije standardne devijacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge -  $IC_{SD_{AVG}Tc\_H\_ND}$  (KO  $10.88 \pm 7.14$ , KR  $9.32 \pm 8.65$ , EK  $7.02 \pm 5.78$ ) i Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije prosečnog Vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge -  $IC_{cV_{AVG}Tc\_H\_ND}$  (KO  $28.88 \pm 17.24$ , KR  $23.40 \pm 22.74$ , EK  $22.92 \pm 15.96$ ), uočavaju se jasne nominalne linearne tendencije smanjenja ovih varijabli kako se nivo treniranosti, odnosno takmičarska uspešnost povećava (Tabela 7).

Rezultati Indeksa Koordinacije dominantnih mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena za parametar **Ukupno vreme kontrakcije ( $TcT$ )** pokazuju statistički značajnu razliku između grupa za varijablu Indeks Koordinacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružaća dominantne noge -  $IC_{AVG\_TcT\_Q\_D}$  ( $p = 0.007$ ). Preciznije, razlike su utvrđene između KR i KG ( $p = 0.023$ ) i KO i KG ( $p = 0.008$ ) - Tabela 8. Iako bez statistički značajnih razlika, uočavaju se nominalne linearne tendencije smanjenja vrednosti za dve varijable sa povećanjem nivoa takmičarske uspešnosti i treniranosti grupa - Indeks Koordinacije standardne devijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružaća dominantne noge -  $IC_{SD_{AVG}TcT\_Q\_D}$  (KG  $7.13 \pm 4.72$ , KO  $5.53 \pm 2.46$ , KR  $11.36 \pm 6.05$ , EK  $5.16 \pm 4.57$ ) i Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružaća dominantne noge -  $IC_{cV_{AVG}TcT\_Q\_D}$  (KG  $13.45 \pm 7.93$ , KO  $11.67 \pm 4.74$ , KR  $5.51 \pm 3.20$ , EK  $10.38 \pm 8.47$ ) - Tabela 8.

Rezultati Indeksa Koordinacije mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena nedominantne noge za parametar  $TcT$  pokazuju statistički značajne razlike na generalnom nivou ( $p = 0.001$ ). Statistički značajna razlika između grupa je utvrđena za varijable Indeks Koordinacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružaća nedominantne noge ( $IC_{AVG\_TcT\_Q\_ND}$ ) i za Indeks Koordinacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge -  $IC_{AVG\_TcT\_H\_ND}$  ( $p = 0.003$ ) i ( $p = 0.001$ ), respektivno (Tabela 9). Konkretno, što se tiče varijable  $IC_{AVG\_TcT\_Q\_ND}$  razlike su definisane između grupa EK i KG ( $p = 0.022$ ), KR i KG ( $p = 0.008$ ), kao i između KO i KG ( $p =$

0.017). Varijablu **IC\_AVG\_TcT\_H\_ND** odlikuju statistički značajne razlike između grupa EK i KR ( $p = 0.002$ ), EK i KO ( $p = 0.038$ ) i EK i KG ( $p = 0.002$ ). Jasne nominalne linearne tendencije smanjenja se uočavaju kod dve varijable vezane za karakteristike mišića opružača čiji su rezultati blizu statističke značajnosti: Indeks Koordinacije standardne devijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružača nedominantne noge - **IC\_SD<sub>AVG</sub>TcT\_Q\_ND** ( $p = 0.050$ ; KG  $6.87 \pm 3.67$ , KO  $5.66 \pm 4.01$ , KR  $4.46 \pm 2.79$ , EK  $2.69 \pm 1.28$ ) i Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružača opružača nedominantne noge - **IC\_cV<sub>AVG</sub>TcT\_Q\_ND** ( $p = 0.054$ ; KG  $13.18 \pm 6.83$ , KO  $11.56 \pm 6.42$ , KR  $9.54 \pm 4.98$ , EK  $5.91 \pm 2.60$ ). Slične tendencije postoje u slučajevima varijabli koje opisuju karakteristike mišića pregibača subgrupa karatista, a to su Indeks Koordinacije standardne devijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge - **IC\_SD<sub>AVG</sub>TcT\_H\_ND** (KO  $12.10 \pm 7.22$ , KR  $10.67 \pm 9.78$ , EK  $7.63 \pm 5.50$ ) i Indeks Koordinacije koeficijentat varijacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića pregibača nedominantne noge - **IC\_cV<sub>AVG</sub>TcT\_H\_ND** (KO  $19.91 \pm 11.22$ , KR  $17.01 \pm 16.32$ , EK  $14.65 \pm 9.22$ ) - Tabela 9.

Rezultati Indeksa Koordinacije mišića opružača i pregibača u zglobu kolena dominantne noge za parametar **Brzina kontrakcije mišića (RMTD)** pokazuju statistički značajne razlike na generalnom nivou ( $p = 0.001$ ). Rezultati takođe ukazuju na statistički značajne razlike između grupa za varijable Indeks Koordinacije standardne devijacije proseka brzine kontrakcije mišića opružača dominantne noge - **IC\_SD<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D** ( $p = 0.006$ ), Indeks Koordinacije koeficijenta varijacije proseka brzine kontrakcije trbuha mišića opružača dominantne noge - **IC\_cV<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D** ( $p = 0.001$ ) kao i za Indeks Koordinacije proseka brzine kontrakcije trbuha mišića pregibača dominantne noge - **IC\_AVG\_RMTD\_H\_D** ( $p = 0.003$ ) - Tabela 10. U analizi varijable **IC\_SD<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D** su se izdvojile statistički značajne razlike između grupa EK i KR ( $p = 0.040$ ) kao i između EK i KO ( $p = 0.011$ ), u analizi varijable **IC\_cV<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D** su se izdvojile statistički značajne razlike između grupa EK i KR ( $p = 0.036$ ) i EK i KO ( $p = 0.001$ ), dok su se analizom varijable **IC\_AVG\_RMTD\_H\_D** izdvojile statistički značajne razlike između grupa EK i KG ( $p = 0.014$ ) i KR i KG ( $p = 0.006$ ) - Tabela 10. Iako bez statističke značajnosti, a zarad budućih istraživanja ovde treba naglasiti rezultate koji pokazuju jasne nominalne linearne tendencije povećanja varijable Indeks koordinacije prosečne brzine kontrakcije trbuha mišića opružača dominantne noge - **IC\_AVG\_RMTD\_Q\_D** kako se nivo treniranosti i sportska uspešnost grupa poboljšavaju (KG  $0.21 \pm 0.07$ , KO  $0.24 \pm 0.09$ , KR  $0.25 \pm 0.05$ , EK  $0.27 \pm 0.06$ ) - Tabela 10.

Rezultati Indeksa Koordinacije mišića opružača i pregibača u zglobu kolena nedominantne noge za parametar **RMTD** pokazuju statistički značajnu razliku između grupa za varijable Indeks koordinacije proseka brzine kontrakcije trbuha mišića opružača nedominantne noge - **IC\_AVG\_RMTD\_Q\_ND** ( $p = 0.013$ ) i Indeks koordinacije proseka brzine kontrakcije trbuha mišića pregibača nedominantne noge - **IC\_AVG\_RMTD\_H\_ND** ( $p = 0.018$ ). Konkretno, u okviru varijable **IC\_AVG\_RMTD\_Q\_ND** postoje statistički značajne razlike između grupa EK i KO ( $p = 0.011$ ) i EK i KG ( $p = 0.025$ ). Varijabla **IC\_AVG\_RMTD\_H\_ND** statistički značajno razdvaja grupe EK i KG ( $p = 0.016$ ).

### 8.3. Indeksi koaktivacije

Indeksi koaktivacije su prikazali odnose prosečnih vrednosti mišića agonista (RF, VL i VM) i antagonista (BF i ST) dominantne i nedominantne noge, kao i koeficijenta varijacija pomenutih mišića za parametre Tc, TcT i RMTD između grupa EK, KR, KO i KG.

Rezultati Indeksa koaktivacije prosečnog **Vremena kontrakcije (Tc)** mišića opružaća i pregibača nedominantne noge (**Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q\_ND**) pokazuju statistički značajnu razliku između grupa ( $p = 0.005$ ). Najmanji indeks ima grupa EK (17.13%) – Tabela 7. Rezultati Indeksa koaktivacije prosečnog **Ukupnog vremena kontrakcije (TcT)** mišića opružaća i pregibača nedominantne noge (**Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND**) takođe pokazuju statistički značajnu razliku na generalnom nivou između grupa ( $p = 0.003$ ). Najmanji indeks koaktivacije ima grupa EK (9.72%) – Tabela 9. Ovako niski procenti razlika varijabli Tc i TcT opružaća i pregibača mišića nedominantne („suportivne“) noge EK kao i statistički značajne razlike između grupa predstavljaju visoki nivo koaktivacije mišića agonista i antagonista. Specifičnost je u tome što visoki nivo usaglašenosti, tj. koaktivacije mora postojati kako bi nedominantna (stajna) noga održala dinamičku ravnotežu i stabilnost (Hoelbling et al., 2020) prilikom izvođenja udaraca dominantnom nogom. Jedan od glavnih nalaza studije Hoelbling et al. (2020) je da borci višeg ranga pokazuju bolji balans suportivne (nedominantne) noge, što omogućava horizontalno kretanje ka protivniku dok je dominantna noga podignuta visoko radi napada. Takođe, u istraživanju koje je poredilo elitne karatiste i karatiste amatere (Zago et al., 2015) rezultati sugerišu da elitni karatisti demonstriraju prefinjenu kontrolu dinamičke ravnoteže koja je naročito izražena pri nožnim udarcima, kada je jedna noga (~15% ukupne telesne mase)<sup>7</sup> podignuta visoko i karatista njom izvodi napadačku tehniku. Autori (Zago et al., 2015) ovaj fenomen objašnjavaju većom vremenskom izloženošću elitnih karatista složenim motoričkim zadacima, kao što su različite promene težišta, rotacije tela i stavovi na jednoj nozi. Oyama (1969) pri opisivanju Mawashi geri-a daje „plastična“ uputstva vezana za suportivnu nogu: „Kod izvođenja ovog kružnog udarca risom stopala u gornji deo tela protivnika, pazite da noga na kojoj stojite čvrsto pridržava ravnotežu tela“. Rezultati EK u varijablama **Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q\_ND** i **Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND** ukazuju da kod ove grupe ispitanika postoje najmanji prosečni indeksi koaktivacije što sugeriše na važnost visoke tehničke obučenosti i neuromišićne koaktivacije stajne noge koja mora biti sinhronizovana i stvoriti preduslov za otiskivanje o podlogu prilikom zadavanja udarca i čvrst oslonac za zamah dominantnoj nozi prema napred (Mudrić i sar., 2015, Mudrić 2005).

Što se tiče osnovnih vremenskih parametara mišića opružaća zgloba kolena nedominantne noge, KR imaju četiri statistički značajne razlike, dok grupa EK ima samo jednu (Tabela 3). Sa druge strane, kod mišića pregibača zgloba kolena nedominantne noge grupa EK ima pet statistički značajnih razlika, dok KR nemaju ni jednu (Tabela 5). Ono što nam rezultati sugerišu su bolji parametri pobuđivanja mišića, vremena kontrakcije i ukupnog vremena kontrakcije mišića agonista kod grupe KR i bolji parametri pobuđivanja mišića, vremena kontrakcije i ukupnog vremena kontrakcije mišića antagonista suportivne noge kod grupe EK (Tabele 3 i 5). Jedna od bitnih razlika između KR, odnosno takmičara koji ne osvajaju medalje

---

<sup>7</sup> Po drugim autorima (Zatsiorsky & Seluyjanov, 1985; Jarić, 1997), procenjene težine segmenata natkolenice, potkolenice i stopala kao procentni deo ukupne težine tela su: 14.16% + 4.33% + 1.37% = 19.86%, tj. ~ 20% ukupne telesne mase.

na međunarodnim takmičenjima i onih koji osvajaju (EK) su upravo vremenski Indeksi koaktivacije (Tc i TcT). Navedeno se ogleda u statistički značajno različitim vrednostima i boljoj koaktivaciji grupe EK u odnosu na KR u varijabli Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q\_ND ( $p = 0.003$ ), Tabela 7. Takođe, statistički značajna razlika i bolja koaktivacija mišića natkolenice grupe EK u odnosu na grupu KR postoji i u varijabli Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND ( $p = 0.002$ ), Tabela 9. Navedeno sugeriše da bolje pojedinačne neuromišićne karakteristike na višim nivoima treniranosti nisu „garant“ uspešnosti u karateu, već je to bolja koaktivacija mišića koji imaju suprotne funkcije oko posmatranog zgloba, tj. „bolje vremenske modulacije mišića agonista i antagonista“ (Jemili et al., 2016; Quinzi et al., 2016). U širem kontekstu, ovi rezultati se mogu posmatrati kao determinante kvaliteta nedominantne noge pri kretanju, zaustavljanju kretanja, odgurivanju unazad na bezbednu distancu i održavanju balansa dok dominantna noga udara. Prikazano sugeriše da kontrakcije agonista ne treba da traju što kraće, već uz visoku usaglašenost sa antagonistima, tj. u najboljem momentu za delovanje (pravovremeno).

Rezultati Indeksa koaktivacije koeficijenta varijacije prosečne **Brzine kontrakcije mišića (RMTD)** opružača i pregibača dominantne noge (**Index\_Coa\_RMTD\_Cv\_H/Q\_D**) pokazuju statistički značajnu razliku na grupnom nivou ( $p = 0.002$ ). Parcijalno gledano, EK se statistički značajno razlikuju u odnosu na KR ( $p = 0.003$ ), KO ( $p = 0.002$ ) i u odnosu na KG ( $p = 0.009$ ) - (Tabela 10). Viši nivo Indeksa koaktivacije opružača i pregibača dominantne (izvršne) noge je takođe utvrđen pri poređenju seniorskih i juniorskih karatista nacionalnog nivoa (Quinzi et al., 2014). Naime, u pomenutoj studiji su metodom elektromiografije ispitani mišići VL i BF tokom izvođenja Mavaši geri udarca. Pored većeg Indeksa koaktivacije, u fazi ekstenzije u zglobu kolena grupa seniorskih karatista je demonstrirala i veći indeks aktivacije BF u ulozi antagoniste u odnosu na juniorsku grupu karatista. Ovaj mehanizam aktivacije antagonista je objašnjen kao „remodeliranje perifernog i centralnog nervnog sistema koje je direktno zavisno od stepena veštine“. Zatim, u studiji u kojoj su poređene kontraktilne karakteristike mišića prednje i zadnje lože elitnih karatista i karatista amatera (Sbriccoli et al., 2010), tokom izokinetičkog testa elitni karatisti su pokazali veći obrtni moment pri savijanju kolena u odnosu na amatere pri svim ugaonim brzinama. Takođe, tokom izvođenja Mae geri udarca, elitni karatisti su pokazali veće nivoe aktivacije antagonista u poređenju sa amaterima, tj. efikasniji ekscentrični rad mišića zadnje lože natkolenice. Nasuprot tome, nije pronađena nikakva razlika između grupa pri ekstenziji kolena u oba eksperimentalna uslova (Sbriccoli et al., 2010).

#### 8.4. Diskusija rezultata diskriminativne analize

Rezultati diskriminativne analize sugerišu da su određene varijable izuzetno značajne u razdvajanju posmatranih grupa ispitanika, tj. da je komparativnu analizu karatista različitog nivoa treniranosti potencijalno moguće izvršiti pomoću parametara i indeksa istaknutim u narednim potpoglavljima.

#### **8.4.1. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića opružaća zgloba kolena dominantne noge**

Utvrđeno je da varijabla **RF\_D\_RMTD** za opružaće u zglobu kolena dominantne noge (Tabela 12, Figura 1) ima najveću saturaciju kao najdominantniji nosilac informacije na izdvojenom prvom faktoru (0.390). Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno prvom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od 2.261 SD ka pozitivnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 2.915, KO 1.973, dok je KG udaljena 3.066 SD ukupnog prostora prvog faktora (Tabela 13).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja *spособnost brzog paljenja ili uključenja mišića RF-a dominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 72.5% i u najvećem procentu je klasifikovao upravo EK grupu (85.7%), dok je u najmanjoj meri klasifikovao KG (Tabela 14). Mora se naglasiti da postoji jasna linearna tendencija ispravnosti klasifikacije ispitanika u funkciji nivoa treniranosti i takmičarske uspešnosti u odnosu na ispitivani specifični prostor – mišiće opružaće zgloba kolena dominantne noge.

#### **8.4.2. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića opružaća zgloba kolena nedominantne noge**

Utvrđeno je da varijable **VM\_ND\_Td** i **RF\_ND\_RMTD** za opružaće u zglobu kolena nedominantne noge (Tabela 15, Figura 2) imaju najveću saturaciju kao najdominantniji nosioci informacije na izdvojenom prvom (0.494), odnosno drugom faktoru (-0.466). Međutim, najveća senzitivnost dobijenog prvog faktora je dobijena za KG pa taj isti podatak nije od dominantnog interesa u odnosu na kriterijsku temu istraživanja – karatisti različitog nivoa treniranosti. Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno drugom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od -1.941 SD ka negativnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 2.492, KO 2.595, dok je KG udaljena 1.612 SD ukupnog prostora drugog faktora (Tabela 16).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja *spособnost pobuđivanja mišića VM-a nedominantne noge*. Na osnovu sklopa definisanog drugog faktora, može se pretpostaviti da on predstavlja *spособnost brzog paljenja ili uključenja mišića RF-a nedominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 80.4% (Tabela 17).

#### **8.4.3. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića pregibača zgloba kolena dominantne noge**

Za varijable TMG parametara pregibača zgloba kolena dominantne noge nije utvrđena statistički značajna diskriminativnost i može se smatrati da ne nose informacije o varijablama, odnosno ne čine specifični faktorski prostor po kome se grupe razlikuju.

#### **8.4.4. Diskriminativna analiza TMG parametara mišića pregibača zgloba kolena nedominantne noge**

Utvrđeno je da varijabla **ST\_ND\_TcT** za pregibače u zglobu kolena nedominantne noge (Tabela 21, Figura 4) ima najveću saturaciju kao najdominantniji nosilac informacije na izdvojenom prvom faktoru (-0.678). Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno prvom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od 1.658 SD ka pozitivnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 1.967, KO 1.424, dok je KG udaljena 2.446 SD ukupnog prostora prvog faktora (Tabela 22).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja *spособnost brzine reaktivnosti ukupnog vremena kontrakcije mišića ST-a nedominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 64.7.5% i u najvećem procentu je klasifikovao grupe EK (71.4%) i KR (71.4%) - Tabela 23.

#### **8.4.5. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu Tc**

Za varijable indeksa koordinacije i koaktivacije Tc-a dominantne noge nije utvrđena statistički značajna diskriminativnost i može se smatrati da ne nose informacije o varijablama, odnosno ne čine specifični faktorski prostor po kome se grupe razlikuju.

#### **8.4.6. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu Tc**

Utvrđeno je da varijabla **IC\_AVG\_Tc\_H\_ND** indeksa koordinacije i koaktivacije nedominantne noge za varijablu Tc (Tabela 27, Figura 6) ima najveću saturaciju kao najdominantniji nosilac informacije na izdvojenom prvom faktoru (0.779). Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno prvom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od -1.864 SD ka negativnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 2.172, KO 1.967, dok je KG udaljena 2.371 SD ukupnog prostora prvog faktora (Tabela 28).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja *spособnost rapidnog vremena kontrakcije mišića zadnje lože natkolenice nedominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 54.9% (Tabela 29).

#### **8.4.7. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu TcT**

Za varijable indeksa koordinacije i koaktivacije TcT-a dominantne noge nije utvrđena statistički značajna diskriminativnost i može se smatrati da ne nose informacije o varijablama, odnosno ne čine specifični faktorski prostor po kome se grupe razlikuju.



#### **8.4.8. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu TcT**

Utvrđeno je da varijable **IC\_AVG\_TcT\_H\_ND** i **Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND** indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu TcT (Tabela 33, Figura 8) imaju najveću saturaciju kao najdominantniji nosioci informacija na izdvojenom prvom (0.711) i drugom faktoru (0.762). Međutim, najveća senzitivnost dobijenog prvog faktora je dobijena za KG pa taj isti podatak nije od dominantnog interesa u odnosu na kriterijsku temu istraživanja – karatisti različitog nivoa treniranosti. Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno drugom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od 0.792 SD ka pozitivnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 1.079, KO 0.742, dok je KG udaljena 0.957 SD ukupnog prostora prvog faktora (Tabela 34).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja *sposobnost brzine reaktivnosti ukupnog vremena kontrakcije mišića zadnje lože natkolenice nedominantne noge*. Na osnovu sklopa definisanog drugog faktora, može se tvrditi da on predstavlja *sposobnost usaglašavanja, tj. koaktivacije ukupnog vremena kontrakcije mišića prednje i zadnje lože natkolenice nedominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 64.7% i u najvećem procentu je klasifikovao upravo EK grupu (85.7%) - Tabela 35.

#### **8.4.9. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu RMTD**

Utvrđeno je da varijabla **Index\_Coa\_cV\_RMTD\_H/Q\_D** indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice dominantne noge za varijablu RMTD (Tabela 36, Figura 9) ima najveću saturaciju kao najdominantniji nosilac informacije na izdvojenom prvom faktoru (-0.642). Takođe, rezultati su pokazali da se po datoj varijabli, odnosno prvom faktoru EK nalaze na centroidnoj poziciji od -2.037 SD ka negativnim vrednostima skale distribucije, odnosno da su od KR udaljeni 1.968, KO 2.525, dok je KG udaljena 2.566 SD ukupnog prostora prvog faktora (Tabela 37).

Na osnovu sklopa definisanog prvog faktora, može se zaključiti da on predstavlja visok nivo usaglašenosti *koaktivacije brzog paljenja tj. uključenja mišića prednje i zadnje lože natkolenice dominantne noge*. Definisani model kanoničke klasifikacije prediktivne pripadnosti ispitanih grupa je imao generalnu ispravnost klasifikacije na nivou 58.8% (Tabela 38).

#### **8.4.10. Diskriminativna analiza indeksa koordinacije i koaktivacije mišića natkolenice nedominantne noge za varijablu RMTD**

Za varijable indeksa koordinacije i koaktivacije RMTD-a nedominantne noge nije utvrđena statistički značajna diskriminativnost i može se smatrati da ne nose informacije o varijablama, odnosno ne čine specifični faktorski prostor po kome se grupe razlikuju.

## 8.5. Limitacije studije

Nalaze ove studije treba uzeti u obzir u okviru sledećih ograničenja:

- (1) Analizirani su samo ispitanici jednog pola, tj. u narednim istraživanjima treba ispitati neuromišićne karakteristike karate subgrupa ženske populacije;
- (2) Studija je bazirana na ispitivanju mišića natkolenice - preporuka bi bila da se prouči još mišića vezanih za kretanje i/ili egzekuciju udaraca - npr. m. Gastrocnemius;
- (3) Broj ispitanika u grupi EK je bio relativno mali, posledično visokim standardima pripadnosti istoj.

## 9. ZAKLJUČAK

U skladu sa postavljenim hipotezama istraživanja, kao i metodološki definisanim i postavljenim predmetom, problemom i ciljem istraživanja, a na osnovu analize dobijenih rezultata ove studije može se zaključiti sledeće:

U odnosu na **opštu hipotezu (OH)** koja glasi: „Karate trening sa svojim kumulativnim dugogodišnjim efektima adaptacije utiče na poboljšanje funkcionalnih (kontraktilnih) karakteristika mišića nogu na sportsko specifičan način, a koji je moguće izmeriti metodom tenziomiografije“, može se zaključiti da je hipoteza **potvrđena**, odnosno, može se tvrditi da su rezultati veoma specifični jer je utvrđeno sledeće:

Rezultati multivarijatne i univarijatne analize su pokazali da postoje brojne značajne razlike između grupa, kao i da su te razlike sportski specifične jer jasno razdvajaju neuromišićne kvalitete subgrupa karatista od KG. Bolji vremenski parametri (Td, Tc i TcT) karate subgrupa su utvrđeni za mišiće opružaće zglobova kolena kako dominantne, tako i nedominantne noge (Tabele 2, 3, 6, 7, 8 i 9). Bolji kvalitet varijable brzine (RMTD) je utvrđen kod mišića RF-a dominantne i nedominantne noge (Tabele 2 i 3), kao refleksija njegove specifične uloge pregibanja kuka i opružanja kolena pri složenim karate pokretima. Što se tiče mišića antagonista, TMG metoda je utvrdila kvalitetnije vremenske varijable (Td, Tc i TcT) u pregibačima zglobova kolena nedominantne noge karatista (Tabela 5), kao i superiorniju brzinsku analogiju u vidu varijable RMTD kod mišića pregibača kolena dominantne noge istih (Tabela 4). Pomenute neuromišićne kontraktilne karakteristike su analogne zahtevima karate sporta, konkretno brzim rotacijama i uklizavanjima na nedominantnoj, suportivnoj nozi i kontroli udaraca delovanjem antagonista dominantne, izvršne noge.

U odnosu na **posebnu hipotezu 1 (PH 1)** koja glasi: „Usled specifičnosti dugogodišnjeg trenaznog procesa karatisti imaju bolje funkcionalne neuromehaničke parametre u odnosu na kontrolnu grupu, tj. neutreniranu populaciju u svim praćenim tenziomiografskim parametrima“, može se zaključiti da je hipoteza **delimično potvrđena**. Naime, između subgrupa karatista i KG je utvrđena 41 statistički značajna razlika.

Preciznije, u osnovnim tenziomiografskim parametrima su pronađene razlike:

Između grupa KO i KG - šest (varijable VL ND Tc, VL ND TcT, VM ND Td, VL D Tc, VL D TcT i ST D RMTD), između KR i KG - devet (varijable VM ND Tc, VM ND Td, VM ND TcT, VM ND RMTD, RF ND Td, VM D TcT, VL D Td, ST D Dm i ST D RMTD), dok je između EK i KG je utvrđeno 10 statistički značajnih razlika (varijable RF ND TcT, RF ND RMTD, RF D Tc, RF D RMTD, BF ND RMTD, ST ND Tc, ST ND Td, ST ND TcT, BF D RMTD i ST D RMTD) - Tabele 2, 3, 4 i 5.

Što se tiče indeksa koordinacije, statistički značajne razlike su pronađene:

Između grupa KO i KG - tri (IC\_AVG\_Tc\_Q\_D, IC\_AVG\_TcT\_Q\_D i IC\_AVG\_TcT\_Q\_ND) (Tabele 6, 8 i 9), grupa KR i KG - pet (IC\_AVG\_Tc\_Q\_D, IC\_AVG\_Tc\_Q\_ND, IC\_AVG\_TcT\_Q\_D, IC\_AVG\_TcT\_Q\_ND i IC\_AVG\_RMTD\_H\_ND) (Tabele 6, 7, 8, 9 i 11) i između grupa EK i KG - sedam razlika (IC\_cV\_AVGTc\_Q\_D, IC\_AVG\_Tc\_H\_ND, IC\_AVG\_TcT\_Q\_ND, IC\_AVG\_TcT\_H\_ND, IC\_AVG\_RMTD\_H\_D, IC\_AVG\_RMTD\_Q\_ND i IC\_AVG\_RMTD\_H\_ND) (Tabele 6, 7, 9, 10 i 11).

Indeksi koaktivacije su identifikovali jednu statistički značajnu razliku između grupa EK i KG - **Index\_Coa\_cV\_AVGRMTD\_H/Q\_D** (Tabela 10). Hipoteza da karatisti imaju bolje neuromehaničke karakteristike u odnosu na KG u svim praćenim TMG parametrima ne može

biti u potpunosti potvrđena, ali je utvrđen veliki procenat istih. Razlog je prepoznavanje razlika osetljivih na neuromišićne adaptacije koje se nisu odrazile na sve praćene parametre, već samo one specifične za sport (str. 28 - 57).

U odnosu na **posebnu hipotezu 2 (PH 2)** koja glasi: „Funkcionalna homogenizacija neuromehaničkih parametara je u pozitivnoj relaciji sa takmičarskom uspešnošću i nivoom treniranosti“, može se zaključiti da je hipoteza **potvrđena**. Grupa EK je imala najviše razlika u odnosima indeksa, kako u poređenju sa KG (sedam statistički značajnih razlika - Tabele 6, 7, 9, 10 i 11), tako i u odnosu na karate subgrupe - KO (pet razlika - Tabele 7, 9, 10 i 11) i KR (četiri razlike - Tabele 7, 9 i 10), što potvrđuje činjenicu da specifičnost adaptacije raste s nivoom ovladavanja sportom (Zatsiorsky & Kraemer, 2009). Postoje jasne linearne tendencije smanjenja vremena, odnosno povećanja brzine indeksa koordinacije kako se uspešnost i nivo treniranosti povećava između subgrupa karatista u utvrđenim statistički značajnim razlikama kod varijabli: IC\_AVG\_Tc\_Q\_D, IC\_AVG\_Tc\_Q\_ND, IC\_AVG\_Tc\_H\_ND, IC\_AVG\_TcT\_Q\_D, IC\_AVG\_TcT\_Q\_ND, IC\_AVG\_TcT\_H\_ND, IC\_SD<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D, IC\_cV<sub>AVG</sub>RMTD\_Q\_D, IC\_AVG\_RMTD\_H\_D, IC\_AVG\_RMTD\_Q\_ND i IC\_AVG\_RMTD\_H\_ND (Tabele 6, 7, 8, 9, 10 i 11). Takođe, najmanji prosečni indeksi koaktivacije, tj. najveća usaglašenost mišića agonista i antagonista između karate subgrupa je pronađena kod grupe EK, u varijablama: Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q\_D, Index\_Coa\_Tc\_AVG\_H/Q\_ND, Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_D i Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND (Tabele 6, 7, 8 i 9). Pomenute razlike u indeksima koordinacije vremena (Tc i TcT) tj. brzine (RMTD), kao i vremenskim indeksima koaktivacije mišića (Tc i TcT) prednje i zadnje lože natkolenice dominantne i nedominantne noge između posmatranih grupa ukazuju na postojanje funkcionalne homogenizacije neuromehaničkih parametara koja je u pozitivnoj relaciji sa takmičarskom uspešnošću i nivoom treniranosti.

U odnosu na **posebnu hipotezu 3 (PH 3)** koja glasi: „Postoji hijerarhijska struktura uticaja funkcionalnih neuromehaničkih parametara karatista u odnosu na nivo treniranosti“, može se zaključiti da je hipoteza **delimično potvrđena**. U postupku analize pojedinačnog doprinosa varijabli razlici između grupa, vidljiv je statistički značajan doprinos kod osam varijabli, od kojih je šest značajno za ovu studiju: Stepen razvoja tenzije mišića rectus femorisa dominantne noge - RF\_D\_RMTD (Tabela 12, Figura 1), Stepen razvoja tenzije mišića rectus femorisa nedominantne noge - RF\_ND\_RMTD (Tabela 15, Figura 2), Ukupno vreme kontrakcije semitendinosusa nedominantne noge - ST\_ND\_TcT (Tabela 21, Figura 4), Indeks koordinacije prosečnog vremena kontrakcije mišića pregibača u zglobu kolena nedominantne noge - IC\_AVG\_Tc\_H\_ND (Tabela 27, Figura 6), Indeks koaktivacije prosečnog ukupnog vremena kontrakcije mišića opružača i pregibača u zglobu kolena nedominantne noge - Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND (Tabela 33, Figura 8) i Indeks koaktivacije koeficijenta varijacije stepena razvoja mišićne tenzije pregibača i opružača u zglobu kolena dominantne noge - Index\_Coa\_cV\_RMTD\_H/Q\_D (Tabela 36, Figura 9). Najveća snaga pri diskriminativnom razlikovanju centroida kod svih šest faktora je utvrđena za grupu EK. U dva slučaja doprinos razlici nije koncentrisan u okviru karate subgrupa, ali poseduje diskriminativnu snagu - VM\_D\_TcT (Tabela 12, Figura 1) i IC\_AVG\_TcT\_H\_ND (Tabela 33, Figura 8).

U odnosu na **posebnu hipotezu 4 (PH 4)** koja glasi: „Tenziomiografija je, kao nova tehnologija, sportski specifična i ima visoki aplikativni potencijal za primenu u karate sportu“, može se zaključiti da je hipoteza **potvrđena**. Uz pomoć TMG tehnologije je pronađena 61

statistički značajna razlika između posmatranih grupa, od kojih je 41 bila između karate subgrupa i KG (25 na nivou pojedinačnih varijabli, 15 na nivou indeksa koordinacije i jedna na nivou indeksa koaktivacije) a 20 između samih subgrupa (sedam na nivou pojedinačnih varijabli, devet na nivou indeksa koordinacije i četiri na nivou indeksa koaktivacije – Tabele 2 - 11). Sve pronađene razlike u neuromišićnim karakteristikama su sport-specifične. TMG instrument se pokazao kao upotrebljivo i korisno sredstvo za utvrđivanje razlika neuromišićnih kvaliteta karatista različitog nivoa treniranosti, kao i pronalaženje najdiskriminativnijih parametara u cilju utvrđivanja razlika između grupa: RF\_D\_RMTD, RF\_ND\_RMTD, ST\_ND\_TcT, IC\_AVG\_Tc\_H\_ND, Index\_Coa\_TcT\_AVG\_H/Q\_ND i Index\_Coa\_cV\_RMTD\_H/Q\_D (Tabele 12 - 41, Figure 1 - 10). TMG rezultati su jasno oslikali karakteristike mišića agonista, tj. antagonista, kao i njihovu uzajamnu povezanost (bilo da su analizirani sa jedne ili obe strane zgloba kolena) kroz osnovne, izvedene parametre i indekse koordinacije i koaktivacije.

Ova studija nudi novu perspektivu sagledavanja kontraktilnih svojstava mišića karatista uopšte kao i karatista različitog nivoa treniranosti. Metodom tenziomiografije se u velikoj meri mogu proceniti mišićne karakteristike karatista, što je do sada bila nepoznanica kada je u pitanju ovaj instrument, obzirom da je relativno nov, perspektivan ali još uvek nedovoljno korišćen u vrhunskom karate sportu. Konkretno, potvrđeno je postojanje specifičnih razlika u neuromišićnim karakteristikama prednje i zadnje lože natkolenice između karatista i opšte populacije, kao i između karatista različitog nivoa treniranosti i takmičarske uspešnosti. Rezultati su utvrdili vrednosti glavnih mišića uključenih u kretanje i izvođenje udaraca koje bi mogle poslužiti kao referenca istraživačima, trenerima i drugim specijalistima za praćenje datih varijabli u različitim periodima trenažnog procesa. Takođe, uvedeni su indeksi koordinacije i koaktivacije kako bi pomogli boljem razumevanju kompleksnih odnosa kako unutar samih mišića agonista i antagonista, tako i njihovom zajedničkom delovanju. Pored toga, definisano je koji pojedinačni mišić u funkciji koje tenziomiografske varijable najbolje opisuje razlike između testiranih subgrupa, odnosno koje varijable nose najveću diskriminativnost. To bi, svakako bilo potrebno proveriti u narednim istraživanjima, na novom uzorku karatista, čime bi se postigla efikasnija i racionalnija naučna istina. Jedna od prednosti TMG metode u odnosu na „stres testiranja“ kontraktilnih karakteristika je u tome što ne izaziva zamor, tako da ne narušava planiranje i periodizaciju treninga, te se samim tim može češće sprovoditi. Takođe, ovom metodom testiranja se izbegavaju negativni uticaji faktora kao što su manjak motivacije i umor.

## 10. LITERATURA

1. Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and sport sciences reviews*, 31(2), 61–67.
2. Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of physiology*, 534(Pt. 2), 613–623.
3. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of applied physiology*, 92(6), 2309–2318.
4. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of applied physiology*, 89(6), 2249–2257.
5. Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. *Sports Medicine*, 19(6), 401–417.
6. Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2009). Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *Journal of strength and conditioning research*, 23(4), 1129–1134.
7. Alinaghypour, M., Zareian, E., & Ardakani, Z. P. (2019). The Scoring Techniques in the Final Competitions of the Karate World Championships 2016. *Annals of Applied Sport Science*, 8(2), e760.
8. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J. J., Cuscó, X., Ares, O., Ballester, J., & Cugat, R. (2016). Effects of anterior cruciate ligament injury on neuromuscular tensiomyographic characteristics of the lower extremity in competitive male soccer players. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy :official journal of the ESSKA*, 24(7), 2264–2270.
9. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., Seijas, R., Ballester, J., & Cugat, R. (2016). Comparison of tensiomyographic neuromuscular characteristics between muscles of the dominant and non-dominant lower extremity in male soccer players. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 24(7), 2259–2263.
10. Alvarez-Yates, T., & García-García, O. (2020). Effect of a Hamstring Flexibility Program Performed Concurrently During an Elite Canoeist Competition Season. *Journal of strength and conditioning research*, 34(3), 838–846.
11. Anderson, D. E. (2011). Benefits of a University Karate Class on Markers of Fitness. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25, S85.
12. Angel, R. W. (1974). Electromyography during voluntary movement: the two-burst pattern. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 36(5), 493–498.
13. Arazi, H., & Izadi, M. (2017). Physical and physiological profile of Iranian world-class karate athletes. *Biomedical Human Kinetics*, 9(1), 115–123.

14. Atiković, A., Samardžija Pavletič, M., & Tabaković, M. (2015). The importance of functional diagnostics in preventing and rehabilitating gymnast injuries with the assistance of the tensiomyography (TMG) method: a case study. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 7(4), 29-36.
15. Bawa, P. (2002). Neural control of motor output: can training change it? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(2), 59-63.
16. Beránek, V., Votápek, P., & Stastny, P. (2023). Force and velocity of impact during upper limb strikes in combat sports: a systematic review and meta-analysis. *Sports biomechanics*, 22(8), 921-939.
17. Berti, B., Momi, D., Sprugnoli, G., Neri, F., Bonifazi, M., Rossi, A., Muscettola, M., Benocci, R., Emiliano Santarnecchi, E., & Rossi, S. (2019). Peculiarities of Functional Connectivity - including Cross-Modal Patterns in Professional Karate Athletes: Correlations with Cognitive and Motor Performances. *Neural Plasticity*, article ID: 66807978.
18. Blagojević, M., Koropanovski N., Vučković, G., & Dopsaj, M. (2019). *Specijalno fizičko obrazovanje 1 – osnovni nivo*. Beograd: Kriminalističko-Policijski Univerzitet.
19. Błaszczyszyn, M., Szczęsna, A., Pawlyta, M., Marszałek, M., & Karczmit, D. (2019). Kinematic Analysis of Mae-Geri Kicks in Beginner and Advanced Kyokushin Karate Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17), 3155.
20. Bošković, M. (1984). *Anatomija čoveka – deskriptivna i funkcionalna*. Beograd – Zagreb: Medicinska knjiga.
21. Bošković, M. (2005). *Anatomija čoveka – deskriptivna i funkcionalna*. Beograd: Naučna KMD.
22. Çankaya, T.; Karli, Ü., & Buğdayci, G. (2019). Comparison of exhaustive concentric and eccentric contractions: Effects on muscle damage and EMG responses during recovery period. *Isokinetics and Exercise Science*, 27(3), 185-191.
23. Cesari, P., & Bertuccio, M. (2008). Coupling between punch efficacy and body stability for elite karate. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 353-356.
24. Cha, J. Y., Lee, H. S., Park, S., & Jee, Y. S. (2021). Effects of Knee Injury Length on Jump Inside Kick Performances of Wushu Player. *Medicina*, 57(11), 1166.
25. Chaabene, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B., & Chamari, K. (2012). Physical and Physiological Profile of Elite Karate Athletes. *Sports Medicine*, 42(10), 829-843.
26. Chaabene, H., Negra, Y., Capranica, L., Prieske, O., & Granacher, U. (2019). A Needs Analysis of Karate Kumite With Recommendations for Performance Testing and Training. *Strength and Conditioning Journal*, 41(3), 35-46.
27. Chai, J. H., & Bae, S. W. (2019). Evaluation of Calf Muscular Function During the Recovery Phase After the Repair of an Achilles Tendon Rupture. *Frontiers in surgery*, 6, 57.
28. Chai, J., & Bae, S. (2020). Evaluation of Muscle Damage by Central Fatigue Using Tensiomyography. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 38(4), 238-241.
29. Ćirković, Z. (2007): *Duh borenja*. Beograd: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
30. Ćirković, Z., Jovanović. S., & Kasum, G. (2010). *Borenja*. Beograd: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
31. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
32. Cooper, R., & Avais, R. (2019). *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Hamstring Muscle*. Kansas, USA: University of Kansas School of Medicine.

33. Cracraft, J. D., & Petajan, J. H. (1977). Effect of muscle training on the pattern of firing of single motor units. *American journal of physical medicine*, 56(4), 183–194.
34. Čular, D., Babić, M., Zubac, D., Kezić, A., Macan, I., Peyré-Tartaruga, L. A., Ceccarini, F., & Padulo, J. (2023). Tensiomyography: from muscle assessment to talent identification tool. *Frontiers in physiology*, 14, 1163078.
35. Dahmane, R., Djordjević, S., Šimunić, B., & Valenčić, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle. *Journal of biomechanics*, 38(12), 2451–2459.
36. de Paula Simola, R. Á., Raeder, C., Wiewelhove, T., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2016). Muscle mechanical properties of strength and endurance athletes and changes after one week of intensive training. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 30, 73–80.
37. Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of Physiology*, 264(3), 673–693.
38. Diez Vega, I., Rodrigue-Matoso, D., Fernandez - del Valle, M., Sagastume, R., Estevez, R., Molina, J. J., & Rodriguez-Ruiz, D. (2012) Functional differences in the musculature of the knee in professional female volleyball players. *Kronos*, 10(2), 55–62.
39. Ditroilo, M., Smith, I. J., Fairweather, M. M., & Hunter, A. M. (2013). Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(3), 558–563.
40. Đorđević, S., Rozman, S., Zupet, P., Dopsaj, M., & Maffulli, N. (2022). Tensiomyography Allows to Discriminate between Injured and Non-Injured Biceps Femoris Muscle. *Biology*, 11(5), 746.
41. Domaszewski, P., Pakosz, P., Konieczny, M., Bączkiewicz, D., & Sadowska-Krępa, E. (2021). Caffeine-Induced Effects on Human Skeletal Muscle Contraction Time and Maximal Displacement Measured by Tensiomyography. *Nutrients*, 13(3), 815.
42. Dopsaj, M., Ivanovic, J., & Copic, N. (2014). Voluntary vs non-voluntary muscle contraction explosivity: RFD vs. RMTD as a possible new TMG parameter. In *TMG: Today and Future - ISOT 2014; Djordjevic, S., Ed.; Universitaria Craiova: Craiova, Romania*. pp. 5–10.
43. Duchateau, J., & Hainaut, K. (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 56(2), 296–301.
44. Edström, L., & Grimby, L. (1986). Effect of exercise on the motor unit. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 9(2), 104–126.
45. Filipović, A. (2011). *Borilačke veštine između istoka i zapada*. Beograd: Malagma.
46. Fontani, G., Lodi, L., Felici, A., Migliorini, S., & Corradeschi, F. (2006). Attention in athletes of high and low experience engaged in different open skill sports. *Perceptual and motor skills*, 102(3), 791–805.
47. Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183–195.
48. Garcia Garcia, J. M., Calvo, B., Monteiro, L., Massuca, L., Portillo, J., & Abian-Vicen, J. (2016). Impact of hydration on muscle contraction properties of elite competitive wrestlers. *Archives of budo – science of martial arts*, 12(1), 25–34.



49. García-García, O. (2015). Preseason neuromuscular profile of knee extensor and flexor muscles in elite amateur road cyclist's assessment through Tensiomyography. *Annals of Sports Medicine and Research*, 2(3), 1024–1028.
50. García-García, O., Cancela-Carral, J. M., & Huelin-Trillo, F. (2015). Neuromuscular Profile of Top-Level Women Kayakers Assessed Through Tensiomyography. *Journal of strength and conditioning research*, 29(3), 844–853.
51. García-García, O., Cancela-Carral, J. M., Martínez-Trigo, R., & Serrano-Gómez, V. (2013). Differences in the contractile properties of the knee extensor and flexor muscles in professional road cyclists during the season. *Journal of strength and conditioning research*, 27(10), 2760–2767.
52. García-García, O., Cuba-Dorado, A., Fernández-Redondo, D., & López-Chicharro, J. (2018). Neuromuscular Parameters Predict the Performance in an Incremental Cycling Test. *International Journal of Sports Medicine*, 39(12), 909-915.
53. García-García, O., Serrano-Gómez, V., Hernández-Mendo, A., & Morales-Sánchez, V. (2017). Baseline Mechanical and Neuromuscular Profile of Knee Extensor and Flexor Muscles in Professional Soccer Players at the Start of the Pre-Season. *Journal of human kinetics*, 58, 23–34.
54. Garcia-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Rodríguez-Ruiz, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., & Calderón, J. (2011). Effect of Cold-Water Immersion on Skeletal Muscle Contractile Properties in Soccer Players. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 90(5), 356–363.
55. Garcia-Manso, J. M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S., & Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of sports sciences*, 29(6), 619–625.
56. Gauchard, G. C., Lion, A., Bento, L., Perrin, P. P., & Ceyte, H. (2018). Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement & Sport Sciences*, 100(2), 21–26.
57. Grabljevec, K., Burger, H., Kerševan, K., Valenčič, V., & Marinček, Č. (2005). Strength and endurance of knee extensors in subjects after paralytic poliomyelitis. *Disability and rehabilitation*, 27(14), 791–799.
58. Güler, M., & Ramazanoglu, N. (2018). Evaluation of Physiological Performance Parameters of Elite Karate-Kumite Athletes by the Simulated Karate Performance Test. *Universal Journal of Educational Research*, 6(10), 2238-2243.
59. Hadad, A., Ganz, N., Intrator, N., Maimon, N., Molcho, L., & Hausdorff, J. M. (2020). Postural control in karate practitioners: Does practice make perfect? *Gait & Posture*, 77, 218-224.
60. Hainaut, K., Duchateau, J., & Desmedt, J. E. (1981). Differential effects on slow and fast motor units of different programs of brief daily muscle training in man. In: Desmedt JE, editor. *Progress in Clinical Neurophysiology*, 9, 241–249.
61. Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
62. Hariri, S., & Sadeghi, H. (2018). Biomechanical Analysis of Mawashi-Geri in Technique in Karate: Review Article. *International journal of Sport Studies for Health*, 1(4), 843–849.
63. Herrera-Valenzuela, T., Miccono-González, G., Fazekas-Molina, M., Astorga-Rojas, G., Valdés-Badilla, P., Ojeda-Aravena, A., & Franchini, E. (2021). Relationship between movement change in karate position test and neuromuscular performance in karate

- athletes: A pilot study. *Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF), Retos*, 39, 505-508.
64. Hiratsuka, K., Tanaka, R., Kameyama, A., & Tsunoda, N. (2017). Contractile properties of thigh muscles in karate athletes. *The annual reports of health, physical education and sport science*, 36, 113-117.
  65. Hoelbling, D., Baca, A., & Dabnichki, P. (2020). Sequential action, power generation and balance characteristics of a martial arts kick combination. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(5), 766-781.
  66. Hoppeler, H., & Herzog, W. (2014). Eccentric exercise: many questions unanswered. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 116(11), 1405-1406.
  67. Iglesias-Caamaño, M., Carballo-López, J., Álvarez-Yates, T., Cuba-Dorado, A., & García-García, O. (2018). Intrasession Reliability of the Tests to Determine Lateral Asymmetry and Performance in Volleyball Players. *Symmetry*, 10(9), 416.
  68. Iide, K., Imamura, H., Yoshimura, Y., Yamashita, A., Miyahara, K., Miyamoto, N., & Moriwaki, C. (2008). Physiological responses of simulated karate sparring matches in young men and boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 839-844.
  69. Ilić, D., & Mrdaković V. (2009). *Neuromehaničke osnove pokreta*. Beograd: MTS Gajić.
  70. Jansson, E., Esbjörnsson, M., Holm, I., & Jacobs, I. (1990). Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta physiologica Scandinavica*, 140(3), 359-363.
  71. Jarić, S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Beograd: Fakultet Fizičke Kulture.
  72. Jeknić, V. (2012). Primena karatea u MMA sportovima. *Završni rad. Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja*.
  73. Jeknic, V., Kasum, G., & Stojkovic, M. (2017). Karate in MMA. Analysis of Lyoto Machida's career and fighting style. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, 6(3), 13-19.
  74. Jeknic, V., Toskic, L., & Koropanovski, N. (2020). Descriptive model of mechanical characteristics of leg muscles in elite Karate athletes measured by TMG method. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 11(2), 55-61.
  75. Jeknić, V., Dopsaj, M., Toskić, L., & Koropanovski, N. (2022). Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography. *International journal of environmental research and public health*, 19(16), 10309.
  76. Jemili, H., Mejri, M. A., Bouhleb, E., & Amri, M. (2017). Biochemical status, oxidative and antioxidant responses after 3-month specific training in elite karate athletes. *Physiology international*, 104(4), 344-354.
  77. Jemili, H., Mejri, M. A., Sioud, R., Bouhleb, E., & Amri, M. (2016). Changes in muscle activity during karate *guiaku-zuki*-punch and *kiza-mawashi-guiri*-kick after specific training in elite athletes. *Science & Sports*, 32(2), 73-81.
  78. Jones, A., Jones, G., Johnson, M. I., Hind, K., Jacob, I., & Francis, P. (2023) Muscle contractile properties of professional soccer players according to playing position and limb dominance. *Journal of Elite Sport Performance*, 3(1), 1-12.
  79. Jovanović, G., Purić, B., & Ignjatović, R. D. (2014). Uticaj dominantne lateralizovanosti ekstremiteta i čula na diskalkuliju. *Medicinski časopis*, 48(1), 7-11.
  80. Jovanović, S. (1992). *Karate 1 – teorijska polazišta*. Novi Sad: Sports World.

81. Kabat, H. (1950). Studies on neuromuscular dysfunction. New concepts and techniques of neuromuscular reeducation for paralysis. *Permanente Foundation Medicine Bulletin*, 8(3), 121-143.
82. Kapilevich, L.; Gaevaya, Y., & Ilyin, A. (2020). Ball kicking bioelectric activity of muscles in students playing snow football. *Human. Sport. Medicine*, 20(2), 5-13.
83. Kim, Y. K., Kim, Y. H., & Im, S. J. (2011). Inter-joint coordination in producing kicking velocity of taekwondo kicks. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 31-38.
84. Konow, N., & Roberts, T. J. (2015). The series elastic shock absorber: tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. *Proceedings. Biological sciences*, 282(1804), 20142800.
85. Koprivica, V. (2002). *Osnove sportskog treninga*. Beograd: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
86. Koropanovski, N. (2012). Karakteristike neuromišićne funkcije vrhunskih karatista različite specijalizacije. *Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja*.
87. Koropanovski, N., Berjan, B., Bozic, P., Pazin, N., Sanader, A., Jovanovic, S., & Jaric, S. (2011). Anthropometric and physical performance profiles of elite karate kumite and kata competitors. *Journal of human kinetics*, 30(1), 107-114.
88. Koropanovski, N., & Jovanović, S. (2007). Model characteristics of combat in elite male karate competitors. *Serbian Journal of Sports Sciences*. 1(1-4), 99-115.
89. Kotrljanovic, A., Atanasov, D., Veljovic, D., & Drid, P. (2016). An isokinetic profile in senior female and male karate athletes. *Archives of Budo Science of Martial Arts and Extreme Sports*, 12(1), 203-210.
90. Križaj, D., Simunic, B., & Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 18(4), 645-651.
91. Kukolj, M. (2006). *Antropomotorika*. Beograd: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
92. Lee, J. B., Matsumoto, T., Othman, T., Yamauchi, M., Taimura, A., Kaneda, E., Ohwatari, N., & Kosaka, M. (1999). Coactivation of the flexor muscles as a synergist with the extensors during ballistic finger extension movement in trained kendo and karate athletes. *International journal of sports medicine*, 20(1), 7-11.
93. Lenetsky, S., Harris, N.K., & Brughelli, M. E. (2013). Assessment and Contributors of Punching Forces in Combat Sports Athletes: Implications for Strength and Conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 35(2), 1-7.
94. López-Fernández, J., García-Unanue, J., Sánchez-Sánchez, J., Colino, E., Hernando, E., & Gallardo, L. (2020). Bilateral Asymmetries Assessment in Elite and Sub-Elite Male Futsal Players. *International journal of environmental research and public health*, 17(9), 3169.
95. Loturco, I., Artioli, G. G., Kobal, R., Gil, S., & Franchini, E. (2014). Predicting punching acceleration from selected strength and power variables in elite karate athletes: a multiple regression analysis. *Journal of strength and conditioning research*, 28(7), 1826-1832.
96. Loturco, I., Gil, S., Laurino, C. F., Roschel, H., Kobal, R., Cal Abad, C. C., & Nakamura, F. Y. (2015). Differences in muscle mechanical properties between elite power and endurance athletes: a comparative study. *Journal of strength and conditioning research*, 29(6), 1723-1728.

97. Loturco, I., Kobal, R., Kitamura, K., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., Cal Abad, C. C., & Pereira, L. A. (2019). Predictive Factors of Elite Sprint Performance: Influences of Muscle Mechanical Properties and Functional Parameters. *Journal of strength and conditioning research*, 33(4), 974–986.
98. Macgregor, L. J., Hunter, A. M., Orizio, C., Fairweather, M. M., & Ditroilo, M. (2018). Assessment of Skeletal Muscle Contractile Properties by Radial Displacement: The Case for Tensiomyography. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(7), 1607–1620.
99. Marie-Ludivine, C. D., Papouin, G., Saint-Val, P., & Lopez, A. (2010). Effect of adapted karate training on quality of life and body balance in 50-year-old men. *Open access journal of sports medicine*, 1, 143–150.
100. Marković, G., & Mikulić, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(10), 859–895.
101. Martín-San Agustín, R., Medina-Mirapeix, F., Alakhdar, Y., & Benítez-Martínez, J. C. (2019). Sex Differences in the Velocity of Muscle Contraction of the Hamstring and Quadriceps Among Recreationally Active Young Adults. *Journal of strength and conditioning research*, 33(5), 1252–1257.
102. Martín-San Agustín, R., Medina-Mirapeix, F., Casaña-Granel, J., García-Vidal, J. A., Lillo-Navarro, C., & Benítez-Martínez, J. C. (2020). Tensiomyographical responsiveness to peripheral fatigue in quadriceps femoris. *PeerJ*, 8, e8674.
103. Mikić, B., Huremović, Dž., Mehinovic, J., & Shala, S. (2009). Canonical Correlation between Basic-Motor Abilities and Karate Competitor's Efficacy. *Sport Scientific and Practical Aspects*, 6(2), 33-36.
104. Milner, C. E. (2008). *Functional Anatomy for Sport and Exercise*. New York, USA: Routledge.
105. Milošević, M., Zulić, M., & Božić, S. (2001). *Specijalno Fizičko Obrazovanje*. Beograd: Viša Škola Unutrašnjih Poslova.
106. Molinaro, L., Taborri, J., Montecchiani, M., & Rossi, S. (2020). Assessing the Effects of Kata and Kumite Techniques on Physical Performance in Elite Karatekas. *Sensors*, 20(11), 3186.
107. Moreira, P. V., Goethel, M. F., & Gonçalves, M. (2016). Neuromuscular performance of Bandal Chagui: Comparison of subelite and elite taekwondo athletes. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 30, 55–65.
108. Mori, S., Ohtani, Y., & Imanaka, K. (2002). Reaction time and anticipatory skills of karate athletes. *Human Movement Science*, 21(2), 213–230.
109. Mortimer, J. A., & Webster, D. D. (1983). Dissociated changes of short- and long-latency myotatic responses prior to a brisk voluntary movement in normals, in karate experts, and in Parkinsonian patients. *Advances in neurology*, 39, 541–554.
110. Mudrić, R. (2001). *Specijalno fizičko vaspitanje*. Beograd: Viša Škola Unutrašnjih Poslova.
111. Mudrić, R., Mudrić, M., & Ranković, V. (2015). Analiza karate tehnika koje se izvode nogama. *SPORT - Nauka i Praksa*, 5(1-2), 89-114.
112. Naclerio, F., Seijo, M., Earnest, C. P., Puente-Fernández, J., & Larumbe-Zabala, E. (2021). Ingesting a Post-Workout Vegan-Protein Multi-Ingredient Expedites Recovery after Resistance Training in Trained Young Males. *Journal of Dietary Supplements*, 18(6), 698-713.

113. Nedeljkovic, A., Mudric, M., Cuk, I., Jovanovic, S., & Jaric, S. (2017). Does specialization in karate affect reaction time in specific karate kumite situations? *In Proceedings of the Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Cologne, Germany*, 404–407.
114. Nichas, A., Millard, L., Shaw, B., Breukelman, G., & Shaw, I. (2020). Kinanthropometric attributes of elite South African male kata and kumite karateka. *Archives of Budo*, 16, 181-194.
115. Nikolić, Z. (1995). *Fiziologija fizičke aktivnosti*. Beograd: Fakultet Fizičke Kulture.
116. Nikolić, Z. (2003). *Fiziologija fizičke aktivnosti*. Beograd: Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
117. Ojeda-Aravena, A., Herrera-Valenzuela, T., Garcia, J. M. G., & Ramirez-Campillo, R. (2020). Six weeks of HIIT based on repeated 5-meter sprints vs. countermovement jumps: Effects on physical performance among karate athletes. A pilot-study. *Ido Movement for Culture*, 20(2), 24-32.
118. Osmanski-Zenk, K., Ningel, A., Tischer, T., & Mittelmeier, W. (2022). Comparative study of postural control in 20-40 years olds and karate athletes using a neuromuscular training device. *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 36(4), 200–207.
119. Oyama, M. (1969). *Karate*. Tokyo: Japan Publications.
120. Pajović, L., Toskić, L., Stanković, V., Lilić, L., & Cicović, B. (2023). Muscle Contractile Properties Measured by the Tensiomyography (TMG) Method in Top-Level Football Players of Different Playing Positions: The Case of Serbian Super League. *International journal of environmental research and public health*, 20(2), 924.
121. Pakosz, P., Konieczny, M., Domaszewski, P., Dybek, T., Gnoiński, M., & Skorupska, E. (2023). Comparison of concentric and eccentric resistance training in terms of changes in the muscle contractile properties, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 73, 102824.
122. Peterson, K. D., & Quiggle, G. T. (2017). Tensiomyographical responses to accelerometer loads in female collegiate basketball players. *Journal of sports sciences*, 35(23), 2334–2341.
123. Pišot, R., Narici, M.V., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G., & Mekjavić, I. B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European journal of applied physiology*, 104(2), 409–414.
124. Piqueras-Sanchiz, F., Martín-Rodríguez, S., Martínez-Aranda, L. M., Lopes, T. R., Raya-González, J., García-García, Ó., & Nakamura, F. Y. (2019). Effects of moderate vs. high iso-inertial loads on power, velocity, work and hamstring contractile function after flywheel resistance exercise. *PloS one*, 14(2), e0211700.
125. Portela, B.S., Barbosa, M.R., Cavazzotto, T.G., & Tartaruga, M.P. (2014). Kinematics analysis of the front kick with and without impact on traditional karate. *Archives of Budo Science of Martial Arts and Extreme Sports*, 10, 47–51.
126. Pozo, J., Bastien, G., & Dierick, F. (2011). Execution time, kinetics, and kinematics of the mae-geri kick: comparison of national and international standard karate athletes. *Journal of sports sciences*, 29(14), 1553–1561.
127. Probst, M. M., Fletcher, R., & Seelig, D. S. (2007). A comparison of lower-body flexibility, strength, and knee stability between karate athletes and active controls. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2), 451–455.

128. Przybylski, P., Janiak, A., Szewczyk, P., Wielinski, D., & Domaszewska, K. (2021). Morphological and Motor Fitness Determinants of Shotokan Karate Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4423.
129. Quinzi, F., Camomilla, V., Di Mario, A., Felici, F., & Sbriccoli, P. (2016). Repeated Kicking Actions in Karate: Effect on Technical Execution in Elite Practitioners. *International journal of sports physiology and performance*, 11(3), 363–369.
130. Quinzi, F., Camomilla, V., Felici, F., Di Mario, A., & Sbriccoli, P. (2013). Differences in neuromuscular control between impact and no impact roundhouse kick in athletes of different skill levels. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(1), 140–150.
131. Quinzi, F., Camomilla, V., Felici, F., Di Mario, A., & Sbriccoli, P. (2014). Agonist and antagonist muscle activation in elite athletes: Influence of age. *European journal of applied physiology*, 115(1), 47–56.
132. Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. D. (2003). Comparison between the maximal variables of velocity, force and power from two analysis methods in the functional assessment of karate. *Science & Sports*, 18(3), 134-140.
133. Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. D. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 44(4), 349–355.
134. Rey, E., Lago-Peñas, C., & Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(6), 866–872.
135. Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J., & Casáis, L. (2012). The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography and perceived muscle soreness in professional soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 26(11), 3081–3088.
136. Rey, E., Padrón-Cabo, A., Barcala-Furelos, R., & Mecías-Calvo, M. (2016). Effect of High and Low Flexibility Levels on Physical Fitness and Neuromuscular Properties in Professional Soccer Players. *International journal of sports medicine*, 37(11), 878–883.
137. Rinaldi, M., Nasr, Y., Atef, G., Bini, F., Varrecchia, T., Conte, C., Chini, G., Ranavolo, A., Draicchio, F., Pierelli, F., Amin, M., Marinozzi, F., & Serrao, M. (2018). Biomechanical characterization of the Junzuki karate punch: Indexes of performance. *European Journal of Sport Science*, 18(1), 796–805.
138. Rodrigues Ferreira, M. A., & Vences Brito, A. (2010). Electromechanical delay in ballistic movement of superior limb: comparison between karate athletes and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 111(3), 722-734.
139. Rodriguez-Ruiz, D., Diez-Vega, I., Rodríguez-Matoso, D., Fernandez-del-Valle, M., Sagastume, R., & Molina, J. J. (2014). Analysis of the response speed of musculature of the knee in professional male and female volleyball players. *BioMed research international*, 2014, 239708.
140. Rodriguez-Ruiz, D., Quiroga Escudero, M. E., Matoso, D. R., Montesdeoca, S. S., Reyna, J. L., Guerra, Y. S., & Garcia Manso, J. M. (2012). The tensiomyography used for evaluating high level beach volleyball players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(2), 95-99.

141. Sbriccoli, P., Camomilla, V., Di Mario, A., Quinzi, F., Figura, F., & Felici, F. (2010). Neuromuscular control adaptations in elite athletes: the case of top level karateka. *European journal of applied physiology*, 108(6), 1269–1280.
142. Schwiete, C., Roth, C., Skutschik, C., Möck, S., Rettenmaier, L., Happ, K., Broich, H., & Behringer, M. (2023). Effects of muscle fatigue on exercise-induced hamstring muscle damage: a three-armed randomized controlled trial. *European journal of applied physiology*, 123(11), 2545–2561.
143. Šimunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of electromyography and kinesiology*, 22(4), 527–530.
144. Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavić, I. B., & Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1619–1625.
145. Šimunič, B., Pišot, R., & Rittweger, J. (2009). The effect of ageing on contraction time of postural and non-postural skeletal muscles in master athletes. *Exercise and Quality of Life Journal*, 19-24.
146. Sterkowicz, S., & Franchini, E. (2009). Testing motor fitness in karate. *Archives of Budo*, 5, 29-34.
147. Story, G. (1989). Fitness testing for karate. *Sports Coach*, 35–38.
148. Tabben, M., Chaabène, H., Franchini, E., Tourny, C., Chamari, K., & Coquart, J. (2014). The influence of karate practice level and sex on physiological and perceptual responses in three modern karate training modalities. *Biology of Sport*, 31(3), 201-207.
149. Tabben, M., Miarka, B., Chamari, K., & Beneke, R. (2018). Decisive-moment: A Metric to Determine Success in Elite Karate Bouts. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 1000-1004.
150. Tan, K. S. (2004). Constructing a martial tradition: rethinking a popular history of Karate Do. *Journal of Sport and Social Issues*, 28(2), 169-192.
151. Toskić, L. (2019). *Relacije između metoda za procenu voljnih i nevoljnih kontraktilnih karakteristika mišića*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja.
152. Toskić, L. D., Dopsaj, M. J., Marković, M. R., Toskić, D. R., & Ignjatović, A. M. (2022). Mechanical and Contractile Properties of Knee Joint Muscles Measured by the Method of Tensiomyography in Differently Trained Men and Women. *Journal of strength and conditioning research*, 36(6), 1532–1539.
153. Toskić, L., Dopsaj, M., Stanković, V., & Marković, M. (2019). Concurrent and predictive validity of isokinetic dynamometry and tensiomyography in differently trained women and men. *Isokinetics and Exercise Science*, 27(1), 31-39.
154. Toskić, L., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & Jeknić, V. (2016). The neuromechanical functional contractile properties of the thigh muscles measured using tensiomyography in male athletes and non-athletes. *Physical Culture*, 70(1), 34-45.
155. Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D. M., & Maffiuletti, N. A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20(4), 761–766.

156. Valenčič, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240-242.
157. Valenzuela, P. L., Montalvo, Z., Sánchez-Martínez, G., Torrontegi, E., De La Calle-Herrero, J., Domínguez-Castells, R., Maffiuletti, N. A., & De La Villa, P. (2018). Relationship between skeletal muscle contractile properties and power production capacity in female Olympic rugby players. *European journal of sport science*, 18(5), 677-684.
158. Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *The Journal of Physiology*. 513(Pt. 1), 295-305.
159. van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G., & van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PloS one*, 12(12), e0189876.
160. Vernetta-Santana, M., Rojas, N., Montosa, I., & Lopes-Bedoya, J. (2018). Application of tensiomyography to assess the muscle response in the lower limbs of acrobatic gymnasts. *European journal of human movement*, 40, 96-110.
161. Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine*, 22(1), 19-37.
162. Witte, K., Kropf, S., Darius, S., Emmermacher, P., & Böckelmann, I. (2016). Comparing the effectiveness of karate and fitness training on cognitive functioning in older adults - A randomized controlled trial. *Journal of sport and health science*, 5(4), 484-490.
163. World Karate Federation. (2024). Kata competition rules. Dostupno na: [https://www.wkf.net/pdf/WKF\\_Kata\\_Competition\\_Rules\\_2024.pdf](https://www.wkf.net/pdf/WKF_Kata_Competition_Rules_2024.pdf)
164. World Karate Federation. (2024). Kumite competition rules. Dostupno na: [https://www.wkf.net/pdf/WKF\\_Kumite\\_Competition\\_Rules\\_2024.pdf](https://www.wkf.net/pdf/WKF_Kumite_Competition_Rules_2024.pdf)
165. World Karate Federation. (2024). Statutes & Rules. Dostupno na: <https://www.wkf.net/structure-statutes-rules>
166. Yoon, T.-L.; Kim, K.-S., & Cynn, H.-S. (2016). Comparison of the knee valgus angle, leg muscle activity, and vastus medialis oblique/vastus lateralis ratio during a single leg squat on flat and declined surfaces in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Isokinetics and Exercise Science*, 24(4), 341-347.
167. Zago, M., Mapelli, A., Shirai, Y. F., Ciprandi, D., Lovecchio, N., Galvani, C., & Sforza, C. (2015). Dynamic balance in elite karateka. *Journal of electromyography and kinesiology*, 25(6), 894-900.
168. Zagorc, M., Šimunič, B., Pišot, R., & Oreb, G. (2010). Contractile Parameters Comparison between Twelve Skeletal Muscles in Inter-dance Couple Athletes. *Kinesiologia Slovenica*, 16(3), 57-65.
169. Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2009). *Nauka i praksa u treningu snage*. Beograd: DATA STATUS.
170. Zatsiorsky, V., & Seluyanov, V. (1985). Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regression equations. *Biomechanics VIII-B (Ed. D.A. Winter et al.) Human kinetic publishers, Champaign, IL*. 233-239.
171. Zehr, E. P., & Sale, D. G. (1994). Ballistic movement: muscle activation and neuromuscular adaptation. *Canadian journal of applied physiology*, 19(4), 363-378.
172. Zehr, E. P., Sale, D. G., & Dowling, J. J. (1997). Ballistic movement performance in karate athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(10), 1366-1373.



173. Zubac, D., & Šimunič, B. (2017). Skeletal Muscle Contraction Time and Tone Decrease After 8 Weeks of Plyometric Training. *Journal of strength and conditioning research*, 31(6), 1610-1619.
174. Zubac, D., Šimunič, B., Karninčić, H., & Ivančev, V. (2017). Skeletal Muscle Contraction Time is an Important Factor in the Muscle Damage Response in Kickboxing Athletes. *Archives of Budo*, 13(13), 169-178.

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора \_\_\_\_\_ Велимир Јекнић \_\_\_\_\_

Број индекса \_\_\_\_\_ 5003/2016 \_\_\_\_\_

### Изјављујем

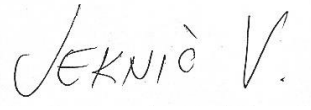
да је докторска дисертација под насловом

\_\_\_\_\_ “Контрактилне карактеристике мишића ногу каратиста различитог нивоа тренираности мерене ТМГ методом: квантитативни и факторски модел” \_\_\_\_\_

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

### Потпис аутора

У Београду, \_\_\_\_\_ 05. 07. 2024. \_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора \_\_\_\_\_ Велимир Јекнић \_\_\_\_\_

Број индекса \_\_\_\_\_ 5003/2016 \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_ Експерименталне методе истраживања хумане локомоције \_\_\_\_\_

Наслов рада \_\_\_\_\_ “Контрактилне карактеристике мишића ногу каратиста различитог нивоа тренираности мерене ТМГ методом: квантитативни и факторски модел” \_\_\_\_\_

Ментор \_\_\_\_\_ проф. др Миливој Допсај \_\_\_\_\_

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_ 05. 07. 2024. \_\_\_\_\_

Јекнић В.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

“Контрактилне карактеристике мишића ногу каратиста различитог нивоа тренираности мерене ТМГ методом: квантитативни и факторски модел”

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

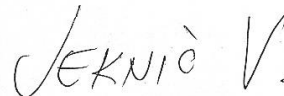
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

**Потпис аутора**

У Београду, 05. 07. 2024.



**1. Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

**2. Ауторство - некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

**3. Ауторство - некомерцијално - без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

**4. Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

**5. Ауторство - без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

**6. Ауторство - делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

# Odobrenje etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu

PEI  
SRBIJA  
02 no. 484-2  
07.3.11  
BEOTPA, 2011

CERTIFIED TRANSLATION FROM SERBIAN INTO ENGLISH

Stamp: Republic of Serbia, University of Belgrade  
Faculty of Sport and Physical Education  
02 no. 484-2  
24 February 2011  
Belgrade, Blagoja Parovica 156

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

APPROVAL OF THE ETHICS COMMITTEE OF THE FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION, UNIVERSITY OF BELGRADE FOR EXECUTION OF THE PROJECT "EFFECTS OF THE APPLIED PHYSICAL ACTIVITY ON LOCOMOTOR, METABOLIC, PSYCHO-SOCIAL AND EDUCATIONAL STATUS OF THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF SERBIA" (No. 47015)

Based on the inspection of the plan of the project "Effects of the Applied Physical Activity to Locomotor, Metabolic, Psycho-Social and Educational Status of the Population of the Republic of Serbia" (No. 47015, project leader assistant prof. Milivoj Dopsaj, PhD), approved by the Ministry of Science and technological development of the Republic of Serbia within the cycle of national scientific projects for the period from 2011 to 2019, the Ethics Committee of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Belgrade considers that both in research conception and execution planning as well as in the application of the obtained results, from its beginning the project has been undertaken based on the principles which comply with ethical standards, ensuring thus protection for human subjects from possible violation of their psycho-social and physical benefit.

In conformity with the aforesaid opinion, the Ethics Committee of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Belgrade has granted the approval for realization of the research planned by the project "Effects of the Applied Physical Activity to Locomotor, Metabolic, Psycho-Social and Educational Status of the Population of the Republic of Serbia" (No. 47015, project leader Assistant prof. Milivoj Dopsaj, PhD) which is approved by the Ministry of Science and technological development of the Republic of Serbia within the cycle of national scientific projects for the period from 2011 to 2019.

For the Ethics Committee  
full prof. Dušan Ugarković, signed  
associate prof. Vladimir Koprivica, signed  
(Stamp)

END OF TRANSLATION

№ 178/11

I CERTIFY THAT this document which has been given to me in Serbian language, has been correctly translated into English.

IN WITNESS WHEREOF I have hereunto set my hand and seal, this 1<sup>st</sup> day of March 2011 in Beograd.

My appointment is permanent.



Gordana Vekarić, Sworn to Court  
Interpreter for English and Italian language  
Milutina Milankovića 130/33, Beograd, Serbia  
tel:++381 11 711 03 38  
e-mail:gocaa@eunet.rs

Appointed by the Decision of the Republic Minister of Justice,  
Belgrade, Serbia № 74-02-46/91-03



Article

## Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography

Velimir Jeknić<sup>1,2,\*</sup>, Milivoj Dopsaj<sup>3</sup>, Lazar Toskić<sup>4,5</sup> and Nenad Koropanovski<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Palms Sports, Abu Dhabi P.O. Box 111188, United Arab Emirates

<sup>2</sup> Department of Sport, Abu Dhabi Police College, Abu Dhabi P.O. Box 111188, United Arab Emirates

<sup>3</sup> Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, 11030 Belgrade, Serbia

<sup>4</sup> Faculty of Sport and Physical Education, University in Priština-Kosovska Mitrovica, 38218 Leposavić, Serbia

<sup>5</sup> Faculty of Sport, University "Union-Nikola Tesla", 11000 Belgrade, Serbia

<sup>6</sup> Department of Criminalistics, University of Criminal Investigation and Police Studies, 11080 Belgrade, Serbia

\* Correspondence: velimirjeknic@yahoo.com

**Abstract:** Background: This paper aimed to compare the involuntary stimulated neuromuscular response of thigh muscles in top-level karate athletes and recreational groups. Methods: The study included 13 male karate athletes (KAs) and 14 non-athlete male individuals (NAs). Tensiomyographic (TMG) measurements were obtained from the rectus femoris (RF), vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), biceps femoris (BF) and semitendinosus (ST). Results: Statistically significant differences were observed between KAs and NAs in knee extensor/flexor delay time (Td), contraction time (Tc), total contraction time (Tct), maximal radial displacement of the muscle belly (Dm) and rate of muscle tension development (RMTD). On a group level, KA dominant-leg extensors and flexors and also non-dominant-leg knee flexors had significant differences when compared to NA. Tct is a TMG parameter in which the KAs and NAs differ the most in the case of the knee extensors, while flexor muscles differ the most in the RMTD parameter. Conclusions: The lower Tct values indicate an improved ability of top-level karateka to make fast contractions of the agonist muscles. KAs' higher RMTD values suggest on strength characteristics needed in breaking actions of the antagonist muscles. Existence of contraction-relaxation-contraction neuromuscular pattern in the RF muscle suggests on implementation of training strategies that involves both rapid muscle contractions and relaxations.

**Keywords:** TMG; contraction time; neuromuscular changes; thigh muscles; combat sports; sport-specific adaptations



**Citation:** Jeknić, V.; Dopsaj, M.; Toskić, L.; Koropanovski, N. Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 10309. <https://doi.org/10.3390/ijerph191610309>

Academic Editors: Paul B. Tchounwou, Wojciech J. Cynarski, Tadeusz Ambrozy and Szczepan Wiecha

Received: 21 June 2022

Accepted: 14 August 2022

Published: 19 August 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

Karate is considered to be one of the most popular martial arts in the world [1–3]. It is classified among specialties requiring high technical skills, such as a fine control of movement, accompanied by a great ability to perform the main technical actions as fast as possible—"ballistic actions" [4]. A karate athlete is continuously challenged in the goal of performing very complex actions, combining high movement velocities with high precision [5]. A karate fight (Kumite) is a real match/combat between two competitors under strict rules; they are free to move, kick and punch in defensive and offensive manners [6]. Karate is a good example of a competitive sport with high levels of temporal and spatial constraints, which require rapid reactions [7].

There has been long-standing interest in combat athletes' lower-body muscle performance [8–12]. Karate punches, kicks, blocks and frequent movements require a joint action sequence with the participation of the leg, pelvis, torso and arm muscles. Hariri et al. [13] highlighted the importance of leg muscle properties in two cases in karate sport. One is regarding kicks, where they pointed out that increasing the knee speed and minimizing the time elapsed from the ground is effective in improving kicking techniques. The second claim considered movement efficiency, where they emphasized that the ability to execute rapid



## BIBLIOGRAFIJA KANDIDATA

Toskic, L., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & **Jeknic, V.** (2015). Relations between neuromuscular contractile properties of leg muscles measured with isokinetic and TMG methods. *University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. Scientific Conference "FIS COMMUNICATIONS 2015"*, 35-44.

Toskic, L., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & Jeknic, V. (2015). The neuromechanical functional contractile properties of the thigh muscles measured using tensiomyography in male athletes and non-athletes. *Physical Culture. Journal of Sport Sciences & Physical Education*, 70(1), 34-45.

**Jeknic, V.**, & Stojkovic, M. (2017). Effects of twelve - week training program on fitness level and anthropometric status of Police college students. *VII International Scientific Conference "Archibald Reiss Days", Belgrade*, 469-476.

Stojkovic, M., Cvorovic, A., Jeknic, V., & Kukic, F. (2017). Influence of two-month training program on anthropometry and VO2max in recreational athletes. *International journal of physical education, fitness and sports*, 6(2), 19-24.

**Jeknic, V.**, Kasum, G., & Stojkovic, M. (2017). Karate in MMA. Analysis of Lyoto Machida's career and fighting style. *International journal of physical education, fitness and sports*, 6(3), 13-19.

Kukic, F., Dopsaj, M., Cvorovic, A., Stojkovic, M., & **Jeknic, V.** (2018). A brief review of body composition in police workforce. *International journal of physical education, fitness and sport*, 7(2), 10-19.

**Jeknic, V.**, Stojkovic, M., & Bacetic, N. (2018). Fitness level comparison between Police College freshman and senior students. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 5(3), 99-104.

Cvorovic, A., Kukic, F., Orr, R. M., Dawes, J. J., **Jeknic, V.**, & Stojkovic, M. (2021). Impact of a 12-Week Postgraduate Training Course on the Body Composition and Physical Abilities of Police Trainees. *Journal of strength and conditioning research*, 35(3), 826-832.

Kukic, F., **Jeknic, V.**, Dawes, J., Orr, R., Stojkovic, M., & Cvorovic, A. (2019). Effects of training and a semester break on physical fitness of police trainees. *Kinesiology*, 51(2), 161-169.

**Jeknic, V.**, Toskic, L., & Koropanovski, N. (2020). Descriptive model of mechanical characteristics of leg muscles in elite Karate athletes measured by TMG method. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 11(2), 55-61.

Stojkovic, M., Kukic, F., Nedeljkovic, A., Orr, R., Dawes, J., Cvorovic, A., & **Jeknic, V.** (2021). Effects of a physical training programme on anthropometric and fitness measures in obese and overweight police trainees and officers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 43(3), 63-76.

Stojković, M., Heinrich, K. M., Čvorović, A., **Jeknić, V.**, Greco, G., & Kukić, F. (2022). Accuracy of Body Mass Index and Obesity Status in Police Trainees. *European journal of investigation in health, psychology and education*, 12(1), 42–49.

**Jeknic, V.**, Dopsaj, M., Toskić, L., & Koropanovski, N. (2022). Muscle Contraction Adaptations in Top-Level Karate Athletes Assessed by Tensiomyography. *International journal of environmental research and public health*, 19(16), 10309.

## BIOGRAFIJA KANDIDATA

Velimir Jeknić je rođen 29. 02. 1988. u Kranju (Slovenija). U Beogradu je završio srednju ekonomsku školu a zatim diplomirao na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja (Univerzitet u Beogradu). Master studije je završio na Kriminalističko - policijskoj akademiji (zvanje „master kriminalista“) i Fakultetu za diplomatiju i bezbednost (zvanje „master politikolog za diplomatiju i bezbednost“). Šahom i karateom se bavi od 1999. godine. Nosilac je majstorskog zvanja u karateu 3. DAN. Nastupao je za karate reprezentaciju Srbije u disciplini borbe pojedinačno na više svetskih kupova, šampionata Balkana, Premijer liga i univerzitetskih prvenstava Sveta, kao i borbama ekipno na prvenstvima Evrope i Sveta. U klupskoj karijeri je nastupao za klubove „Nikola Tesla“ (2000 - 2005), „Partizan“ (2005 - 2010), „Kolos“ (2010 - 2012), „Studentski grad“ (2012 - 2015) i „Al Nasr - Dubai“ (2015 - 2017). Od 2024. godine je aktivni član akademije praktičnog streljaštva „Dejan Vukojević“. Poslednjih deset godina se bavi istraživanjem motoričkih sposobnosti karatista i pripadnika policijskih snaga. Od 2015. - 2019. godine radi na Policijskom koledžu u Abu Dabiju (Ujedinjeni Arapski Emirati) na predmetima Sport i Fizičko vaspitanje. Od 2019. do 2021. godine radi kao stručni saradnik u Republičkom zavodu za sport i medicinu sporta, u odeljenju analitike i dijagnostike sporta. 2021. godine ponovo stupa u radni odnos na Policijskom koledžu u Abu Dabiju.