

KOMISIJA ZA PREGLED I OCENU DOKTORSKE DISERTACIJE

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU UNIVERZITETA U BEOGRADU – FAKULTETU SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Predmet: Izveštaj o pregledu i oceni doktorske disertacije Ive Radić, studentkinje doktorskih akademskih studija.

Nastavno-naučno veće Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, na 11. sednici održanoj 2. jula 2026. godine, u skladu sa članom 40 Pravilnika o doktorskim akademskim studijama – prečišćen tekst (02-br. 532/22-4 od 9. novembra 2022. godine) i članovima 41–43 Statuta Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja – prečišćen tekst (02-br. 151/24-8 od 19. decembra 2024. godine), na predlog Veća doktorskih akademskih studija (02-br. 1183/26-2 od 29. juna 2026. godine), donelo je odluku broj 02-br. 1183/26-3 od 2. jula 2026. godine o formiranju Komisije za ocenu doktorske disertacije studentkinje doktorskih akademskih studija Ive Radić, pod naslovom „Primena metoda modifikovane fluktuacione analize i veštak transformacija u analizi signala sa senzora sile“, u sastavu:

1. Dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik Komisije;
2. Dr Radivoj Mandić, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član;
3. Dr Slađan Milanović, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu – Institut za medicinska istraživanja, član.

Doktorska disertacija je urađena pod mentorstvom dr Olivera Knežević, vanredne profesorke Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, i dr Suzane Blesić, više naučne saradnice Univerziteta u Beogradu – Fizičkog fakulteta.

Nakon pregleda doktorske disertacije, biografije kandidatkinje i prateće dokumentacije, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću sledeći:

IZVEŠTAJ O PREGLEDU I OCENI DOKTORSKE DISERTACIJE

BIOGRAFIJA KANDIDATKINJE

Iva Radić rođena je 17. februara 1987. godine u Subotici, gde je završila osnovnu i srednju školu. Osnovne akademske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu upisala je 2006. godine, a završila 2010. godine sa prosečnom ocenom 9,04. Master akademske studije na istom fakultetu završila je 2013. godine sa prosečnom ocenom 9,33. Master rad pod nazivom „Analiza odbrane na završnici Evropskog prvenstva u košarci, Francuska 2013“ izradila je pod mentorstvom dr Saše Jakovljevića. Tokom osnovnih i master studija bila je stipendistkinja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Doktorske akademske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu upisala je 2019. godine, a ispite je položila 2021. godine sa prosečnom ocenom 9,70. Doktorsku disertaciju pod nazivom „Primena metoda modifikovane fluktuacione analize i vejevlet transformacija u analizi signala sa senzora sile“ prijavila je 2022. godine, dok je temu 2023. godine potvrdilo Veće naučnih oblasti društveno-humanističkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Od marta 2021. godine zaposlena je u Institutu za medicinska istraživanja Univerziteta u Beogradu, u Grupi za biomehaniku, biomedicinski inženjering i fiziku složenih sistema, kao istraživač saradnik. Istraživački rad usmerila je ka primeni metoda statističke fizike i fizike složenih sistema u analizi biomehaničkih podataka. Rezultate istraživanja predstavljala je na međunarodnim naučnim konferencijama i objavljivala u međunarodnim naučnim časopisima.

NAUČNA PRODUKCIJA I KOMPETENCIJE KANDIDATKINJE

Prema biografiji priloženoj u disertaciji, Iva Radić je objavila 11 bibliografskih jedinica, uključujući radove u časopisima kategorija M21, M22 i M23, kao i saopštenja na međunarodnim naučnim skupovima. Njena dosadašnja aktivnost obuhvata biomehaniku, analizu signala sile, posturalnu kontrolu i primenu metoda fizike složenih sistema u istraživanjima neuromišićne funkcije.

Radić, I., Blesić, S., Aničić, Z., Milanović, S., Mirkov, D. M., & Knežević, O. M. (2025).

Quantification of changes in balance control with tasks and injury using detrending methods for time series analysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13.

<https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1589072>

OSNOVNI PODACI O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Doktorska disertacija pod nazivom „Primena metoda modifikovane fluktuacione analize i vejevlet transformacija u analizi signala sa senzora sile“ predstavljena je na 80 numerisanih strana formata A4, latinicom. Sadrži 5 tabela, 27 slika i 155 bibliografskih jedinica. Disertaciju čine sledeća poglavlja: Uvod; Mišićna funkcija; Metode za procenu mišićne funkcije; Problem, predmet, cilj i hipoteze istraživanja; Eksperiment 1; Eksperiment 2; Eksperiment 3; Zaključak i značaj istraživanja; Literatura. Na kraju su dati prilozi i biografija kandidatkinje.

Disertacija pripada naučnoj oblasti Fizičko vaspitanje i sport i užoj naučnoj oblasti Biomehanika čoveka. Teorijski deo rada razmatra mehaničke, morfološke i neuralne faktore mišićne funkcije, standardne postupke njene procene, elektromiografiju, procenu ravnoteže i osnovne i složene metode obrade podataka sa senzora sile. Posebna pažnja posvećena je modifikovanoj fluktuacionoj analizi i lokalnoj i globalnoj vejevlet spektralnoj analizi.

Problem, predmet i cilj istraživanja

Problem istraživanja odnosi se na mogućnost primene metoda statističke fizike u analizi biomehaničkih signala sile i elektromiografskih signala radi sagledavanja posturalne kontrole i neuromišićne funkcije kod osoba sa i bez istorije povreda. Polazište rada je da klasični pokazatelji sile i standardni parametri EMG signala pružaju važne, ali ne uvek i dovoljne informacije o vremenskoj organizaciji, nestacionarnosti i višeskalnoj strukturi registrovanih signala.

Predmet disertacije predstavlja primena modifikovane fluktuacione analize (DFA) i vejevlet spektralne analize (WTS) u obradi biomehaničkih signala. U prvom eksperimentu na signalima sile primenjena je DFA drugog reda (DFA2), dok je WTS korišćena u analizi signala sile, a u trećem eksperimentu i površinskih elektromiografskih signala. Opšti cilj bio je da se ispita sposobnost navedenih metoda da karakterišu varijabilnost i stabilnost neuromišićne funkcije i da se proceni njihov doprinos analizi posturalne kontrole, funkcije mišića kolena i šake i praćenju rehabilitacije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena.

Za ostvarivanje opšteg cilja sprovedena su tri eksperimenta: prvi je bio usmeren na promene u kontroli ravnoteže povezane sa zadatkom i istorijom povrede; drugi na razlike u funkciji mišića kolena i šake između zdravih ispitanika i ispitanika sa istorijom povrede kolena; treći na longitudinalno praćenje neuromišićne funkcije tokom rehabilitacije nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena.

Ciljevi i hipoteze istraživanja

U Eksperimentu 1 postavljene su pretpostavke da DFA2 i WTS parametri mogu razlikovati zapise stajanja ispitanika sa istorijom povrede od zapisa ispitanika bez povrede i da se karakteristični parametri menjaju u zavisnosti od tipa povrede i složenosti zadatka. U Eksperimentu 2 pretpostavljeno je da ispitanici sa istorijom povrede kolena ostvaruju nižu maksimalnu silu i izmenjene WTS obrasce, da su promene izraženije na povređenoj u odnosu na nepovređenu nogu i da je jačina stiska šake pozitivno povezana sa funkcijom opružača kolena, ali da je ne može zameniti. U Eksperimentu 3 očekivana su odstupanja vremensko-frekvencijske organizacije signala sile i površinske EMG aktivnosti operisane noge u ranim fazama rehabilitacije, uz postepeno približavanje referentnim obrascima tokom praćenja.

Hipoteze su povezane sa ciljevima pojedinačnih eksperimenata. Zbog transversalnog dizajna prva dva eksperimenta, malih i heterogenih podgrupa ispitanika sa povredama i studije slučaja u trećem eksperimentu, stepen njihove potvrde tumačen je uz odgovarajuća ograničenja.

Metode istraživanja

Eksperiment 1

Prvi eksperiment imao je transversalni dizajn i obuhvatio je 89 fizički aktivnih ispitanika, 45 žena i 44 muškarca. Prema istoriji povreda donjih ekstremiteta izdvojena je grupa od 41 ispitanika bez prijavljene povrede i 48 ispitanika sa istorijom povrede, od kojih je podgrupa od 26 osoba sa novijom unilateralnom povredom korišćena u odgovarajućim analizama. Podaci su prikupljeni na dve platforme sile AMTI pri frekvenciji uzorkovanja od 1000 Hz. Trinaest ispitanika izvodilo je zadatke mirnog stajanja sa otvorenim i zatvorenim očima i stajanja na jednoj nozi u trajanju od 10 sekundi, dok je kod 76 ispitanika analizirano prvih 1,5 sekundi mirnog stajanja pre izvođenja skoka sa počučnjem.

Signali horizontalnih i vertikalnih komponenti sile analizirani su pomoću DFA2 i lokalne i globalne WTS analize. Za poređenje su korišćeni i standardni statistički postupci, uz

unapred definisan nivo značajnosti. Deo podataka poticao je iz ranije realizovane studije, dok su novi podaci prikupljeni u okviru odobrenja Etičkog komiteta Fakulteta.

Eksperiment 2

Drugi eksperiment takođe je imao transversalni dizajn. Učestvovalo je 25 ispitanika: 9 zdravih, fizički aktivnih osoba i 16 osoba sa dijagnostikovanom povredom kolena. Procena je obuhvatila morfološke karakteristike, maksimalnu voljnu izometrijsku silu opružača kolena i silu stiska šake. Za obe regije izvedene su po tri maksimalne kontrakcije, a analizirani su najbolji rezultat i srednja vrednost pokušaja. Signali sile registrovani su pri 1000 Hz i obrađeni standardnim i vežvlet postupcima.

Poređenja su izvršena između dominantne i nedominantne strane kod zdravih ispitanika, odnosno između povređene i nepovređene strane kod ispitanika sa povredom. Primenjene su deskriptivna, komparativna i korelaciona analiza, uz izbor parametarskih ili neparametarskih postupaka prema raspodeli podataka.

Eksperiment 3

Treći eksperiment koncipiran je kao longitudinalna studija slučaja ispitanika starog 40 godina nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta kolena, uz referentne podatke 9 zdravih ispitanika iz Eksperimenta 2. Merenja su sprovedena pre operacije i 2, 6, 12 i 24 nedelje nakon operacije. Procena je uključila maksimalnu voljnu izometrijsku kontrakciju opružača kolena i površinsku elektromiografiju mišića vastus lateralis, vastus medialis i rectus femoris.

Od mehaničkih pokazatelja analizirani su maksimalna sila (F_{max}), maksimalna brzina razvoja sile (RFD_{max}) i sila pri završetku faze značajnog priraštaja sile (F_{end}). EMG signal je razmatran pomoću medijane frekvencije (MDF), omotača i pokazatelja energije, kao i WTS analize. U drugoj nedelji nakon operacije nisu bili dostupni validni zapisi sile ni validan EMG signal operisane noge, što je uzeto u obzir pri tumačenju rezultata.

Sva tri eksperimenta sprovedena su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Deo podataka u Eksperimentu 1 poticao je iz istraživanja odobrenog aktom Etičkog komiteta broj 02-273/21-1, dok su novi podaci za taj eksperiment, kao i Eksperimenti 2 i 3, obuhvaćeni odobrenjem broj 02-2432/22-1. Ispitanici su dali pisanu saglasnost za učešće.

Rezultati istraživanja

Rezultati Eksperimenta 1

U zapisima sa platforme sile utvrđena je promena režima skaliranja u oblasti približno 50–100 ms. WTS analiza izdvojila je karakteristične pikove na nižim i višim vremenskim skalama. Kod stajanja na jednoj nozi i kod ispitanika sa istorijom povrede promene su bile izraženije iznad tačke prelaza, dok su se u zadatku sa zatvorenim očima češće menjale amplitude karakterističnih WTS pikova nego nagibi DFA2 funkcija.

Kod ispitanika sa istorijom povrede opisana su dva obrasca odgovora, označena kao „kompenzacija“ i „nedovoljan uspeh“. Promene u horizontalnoj ravni pokazale su se informativnijim za razlikovanje pojedinih obrazaca od promena u vertikalnoj osi. Nalazi ukazuju da DFA2 i WTS mogu registrovati razlike koje standardni pokazatelji ne izdvajaju, ali su rezultati podgrupa sa povredama pretežno deskriptivni zbog malog broja ispitanika, kratkog trajanja dela zapisa i oslanjanja na „samoprijavljenu“ istoriju povreda.

Rezultati Eksperimenta 2

Kod ispitanika sa istorijom povrede kolena povređena noga ostvarila je statistički značajno nižu maksimalnu silu od nepovređene. Kod zdravih ispitanika nije utvrđena

značajna razlika u maksimalnoj sili između dominantne i nedominantne noge, dok su WTS parametri ukazali na razlike u vremenskoj organizaciji signala. Dominantna ruka zdravih ispitanika ostvarila je veću maksimalnu silu i više WTS vrednosti od nedominantne ruke. Kod ispitanika sa istorijom povrede kolena nije bilo značajne razlike u sili stiska između ruku, ali su njihove WTS vrednosti bile više nego kod zdravih ispitanika.

Povezanost jačine stiska šake i funkcije mišića kolena bila je pozitivna i umerena (r približno 0,43), ali nije dostigla statističku značajnost. Zbog toga stisak šake može biti samo dopunski, a ne zamenski pokazatelj funkcije kolena. WTS nalazi pružili su dodatne informacije u odnosu na maksimalnu silu, ali se na osnovu njih ne mogu neposredno utvrditi fiziološki mehanizmi uočenih promena. Heterogenost povreda i mali uzorak ograničavaju generalizaciju rezultata.

Rezultati Eksperimenta 3

U ranom postoperativnom periodu zabeležen je pad pokazatelja mišićne funkcije operisane noge. U šestoj nedelji vrednosti F_{end} , F_{max} i RFD_{max} bile su niže za 38,5%, 22,5% i 33,3%, redom, u odnosu na preoperativne vrednosti. Do 24. nedelje F_{end} i F_{max} prevazišli su preoperativni nivo, dok je RFD_{max} ostao blago niži. Promene su zabeležene i na nepovređenoj strani, što ukazuje da se praćenje oporavka ne može zasnivati samo na poređenju operisane i kontralateralne noge.

Promene MDF i WTS pokazatelja nisu u potpunosti pratile promene maksimalne sile. Uočene su faze delimičnog poboljšanja i ponovnog odstupanja, što opisuje nelinearan tok oporavka u prikazanom slučaju. Dvadeset četiri nedelje nakon operacije registrovan je oporavak dela WTS amplituda, ali su pojedini vremensko-frekvencijski obrasci ostali izmenjeni. Rezultati delimično podržavaju postavljene hipoteze i predstavljaju opis individualne dinamike oporavka, a ne dokaz opšte dijagnostičke vrednosti WTS metode.

Diskusija

Diskusija je organizovana prema ciljevima pojedinačnih eksperimenata. Kandidatkinja rezultate povezuje sa prethodnim saznanjima o posturalnoj kontroli, promenama funkcije kvadricepsa nakon povrede kolena, bilateralnim neuromišićnim adaptacijama i mogućnostima vremensko-frekvencijske analize signala. Osnovno tumačenje je da DFA i WTS ne zamenjuju klasične biomehaničke i elektromiografske pokazatelje, već ih dopunjuju informacijama o vremenskoj organizaciji i višeskalnoj strukturi signala.

U radu su razdvojeni neposredno dobijeni rezultati od mogućih fizioloških objašnjenja. Kandidatkinja navodi da tumačenje WTS obrazaca ostaje indirektno i da njihovu dijagnostičku vrednost treba proveriti na većim, homogenijim i longitudinalno praćenim uzorcima. Ograničenja svakog eksperimenta posebno su razmotrena: kratko trajanje pojedinih zapisa i mali broj ispitanika u podgrupama sa povredama u prvom eksperimentu; heterogenost povreda i mali uzorak u drugom; studija jednog slučaja i nedostatak validnih zapisa sile i EMG signala operisane noge u drugoj nedelji trećeg eksperimenta.

Zaključak i značaj istraživanja

Na osnovu tri eksperimenta zaključeno je da DFA i WTS mogu pružiti dodatni opis posturalne kontrole i neuromišićne funkcije u odnosu na analizu zasnovanu samo na standardnim pokazateljima sile i EMG signala. U prvom eksperimentu izdvojeni su obrasci povezani sa zadatkom i istorijom povrede; u drugom su uočene razlike u maksimalnoj sili i vremenskoj organizaciji kontrakcije; u trećem je prikazana individualna, nelinearna dinamika oporavka nakon rekonstrukcije prednjeg ukrštenog ligamenta.

Naučni doprinos rada prvenstveno je metodološki i ogleda se u povezivanju klasičnih biomehaničkih pokazatelja sa metodama analize vremenskih serija. Praktični značaj je za sada

ograničen na mogućnost preciznijeg opisivanja signala i formulisanje pokazatelja koji bi, nakon dodatne validacije, mogli doprineti praćenju funkcionalnih odstupanja i oporavka. Kandidatkinja zaključke usklađuje sa ograničenjima istraživanja i predlaže proveru ponovljivosti nalaza na većim i homogenijim uzorcima.

Literatura i prilozi

Literatura obuhvata 155 bibliografskih jedinica iz oblasti biomehanike, neuromišićne funkcije, posturalne kontrole, elektromiografije, rehabilitacije i metoda analize vremenskih serija. Zastupljeni su osnovni metodološki izvori i aktuelna istraživanja relevantna za temu disertacije. Reference su navedene u tekstu i objedinjene u završnom spisku literature.

Disertacija sadrži šest priloga: formular saglasnosti ispitanika, odobrenje Etičkog komiteta, naslovnu stranu objavljenog rada, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju. Na kraju je data biografija kandidatkinje.

OBJAVLJENI REZULTATI KOJI ČINE DEO DOKTORSKE DISERTACIJE

Deo materijala predstavljenog u disertaciji, koji se odnosi na analizu posturalne kontrole u Eksperimentu 1, objavljen je u međunarodnom naučnom časopisu:

Radić, I., Blesić, S., Aničić, Z., Milanović, S., Mirkov, D. M., & Knežević, O. M. (2025).

Quantification of changes in balance control with tasks and injury using detrending methods for time series analysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13.

<https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1589072>

PROVERA ORIGINALNOSTI DOKTORSKE DISERTACIJE

Provera originalnosti doktorske disertacije izvršena je 23. juna 2026. godine putem programa iThenticate u Univerzitetskoj biblioteci „Svetozar Marković“. Utvrđen je indeks sličnosti od 6%, pri čemu je preklapanje sa pojedinačnim izvorima iznosilo 1% ili manje. U izveštaju o proveri navedeno je da podudarnosti potiču od ličnih imena, uobičajenih stručnih formulacija, bibliografskih podataka i opštih mesta i da nisu pronađene cele rečenice ili pasusi preuzeti iz drugih izvora. Na osnovu navedenog, mentor je ocenio da tekst i sadržaj disertacije predstavljaju originalno delo kandidatkinje.

ZAKLJUČAK KOMISIJE

Doktorska disertacija Ive Radić zasnovana je na definisanom istraživačkom problemu, ciljevima i hipotezama koje su razmatrane kroz tri međusobno povezana eksperimenta. Primjenjene metode opisane su u meri koja omogućava razumevanje postupka prikupljanja i obrade podataka, a rezultati su predstavljeni u skladu sa postavljenim ciljevima. Kandidatkinja je posebno navela ograničenja uzoraka i dizajna i, u završnim razmatranjima, ograničila zaključke na domet sprovedenih analiza.

Osnovni doprinos disertacije ogleda se u primeni DFA2 i WTS metoda u analizi biomehaničkih signala sile, kao i WTS u analizi EMG signala, uz povezivanje dobijenih pokazatelja sa standardnim merama mišićne funkcije i posturalne kontrole. Dobijeni nalazi podržavaju upotrebu ovih metoda kao dopunskog analitičkog pristupa, dok njihova šira dijagnostička i praktična primena zahteva dalju proveru. Disertacija doprinosi metodologiji analize biomehaničkih signala i otvara pitanja za naredna istraživanja u oblasti praćenja neuromišićne funkcije i oporavka nakon povrede.

Na osnovu pregleda rada i prateće dokumentacije, Komisija je mišljenja da doktorska disertacija Ive Radić predstavlja originalan i samostalan naučni rad i da kandidatkinja ispunjava naučne i formalne uslove za pristupanje javnoj odbrani doktorske disertacije.

PREDLOG KOMISIJE NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja da prihvati ovaj izveštaj o pozitivnoj oceni doktorske disertacije Ive Radić pod nazivom „Primena metoda modifikovane fluktuacione analize i vejevlet transformacija u analizi signala sa senzora sile“, odobri njenu javnu odbranu i, u skladu sa važećim propisima, predmet uputi Veću naučnih oblasti društveno-humanističkih nauka Univerziteta u Beogradu na razmatranje i usvajanje.

U Beogradu, 17.07.2026. godine

Članovi Komisije:

1. Dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik Komisije;

2. Dr Radivoj Mandić, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član;

3. Dr Slađan Milanović, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu – Institut za medicinska istraživanja, član.
