

Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

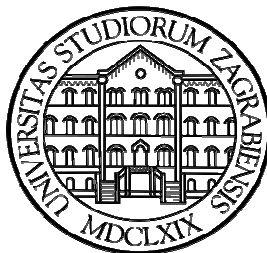
mr. sc. Josipa Bradić

**KONTRALATERALNI UČINCI
UNILATERALNOG TRENINGA JAKOSTI NA
MIŠIĆNU FUNKCIJU I RAVNOTEŽU
TJELESNO AKTIVNIH ŽENA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof. dr. Goran Marković

Zagreb, 2011.



University of Zagreb

Faculty of Kinesiology

Josipa Bradić, M. Sc.

CONTRALATERAL EFFECTS OF UNILATERAL STRENGTH TRAINING ON MUSCLE FUNCTION AND BALANCE PERFORMANCE IN PHYSICALLY ACTIVE WOMEN

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Goran Marković, PhD.

Zagreb, 2011.

Zahvale

Ponajprije se zahvaljujem svome mentoru prof. dr. sc. Goranu Markoviću na ideji, uputama, vremenu i, svakako, strpljenju uloženom u mentorstvo ovog rada.

Želim se zahvaliti i prof.dr.sc. Draganu Milanoviću na pruženoj prilici i podršci od dana upisa na Fakultet do danas!

Osobite zahvale upućujem prof. dr. sc. Izetu Rađi, dekanu Fakulteta sporta i tjelesnog odgoja, Univerziteta u Sarajevu, bez čije spremnosti na suradnju ne bi bilo ni ovog doktorskog rada u ovom obliku.

Veliko hvala i Erolu, Ensaru, Bejdi i Tanji na pedantnosti, angažiranosti i uloženom vremenu.

Veliko hvala i mojoj obitelji na strpljenju tijekom čitavoga vremena izrade doktorskog rada.

Eksperimentalni program ovoga doktorskog rada proveden je u suradnji s
Fakultetom sporta i tjelesnog odgoja Univerziteta u Sarajevu u
ak. god. 2009./2010.

*Doktorski rad posvećujem svojoj obitelji:
Asimu, Majdi i Dinu*

Sažetak:

Temeljni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi ipsilateralne i, osobito, kontralateralne učinke unilateralnog treninga jakosti nogu s različitim brzinama kontrakcije na mišićnu funkciju i ravnotežu tjelesno aktivnih žena. Poseban cilj ovog istraživanja bilo je utvrđivanje stupnja povezanosti između jakosti mišića nogu i ravnoteže. U istraživanju je sudjelovalo 45 zdravih studentica kineziologije, nasumce podijeljenih u tri jednakobrojne skupine: SPORU (unilateralni „spori“ izokinetički trening jakosti nogu), BRZU (unilateralni „brzi“ izokinetički trening jakosti nogu) i KONTROLNU. Prije i nakon 4-tjednog eksperimentalnog tretmana ispitanicama je izmjerena masa, sastav tijela, jednonožna ravnoteža (komputorizirana kružna platforma – Biodex Stability System) te koncentrična jakost fleksora i ekstenzora koljena (pri 60 °/s i 180 °/s), kao i plantarnih i dorzalnih fleksora (pri 30 °/s i 60 °/s; Biodex System 3). Obje trenažne skupine provele su izokinetički koncentrični trening jakosti ekstenzora i fleksora koljena te plantarnih i dorzalnih fleksija nedominantne noge istog volumena (isti obavljeni mehanički rad), ali pri različitim kutnim brzinama (ekstenzori/fleksori koljena pri 180 °/s vs. 60 °/s; plantarni/dorzalni fleksori skočnog zgloba pri 60 °/s vs. 30 °/s). Obje trenažne skupine proizvele su statistički značajne ipsilateralne i kontralateralne trenažne učinke ($p < 0,05$) u prostoru jakosti treniranih mišićnih skupina, pri čemu je prosječna veličina učinka kod netrenirane noge iznosila 11%, a kod trenirane noge 27,8%. Nisu utvrđene statistički značajne razlike ($p > 0,05$) u veličini promjena u varijablama jakosti između trenažnih skupina, dovodeći time u pitanje načelo specifičnosti treninga jakosti s obzirom na brzinu kontrakcije. Kod obje trenažne skupine također su zabilježeni statistički značajni ($p < 0,05$) pozitivni ipsilateralni i kontralateralni učinci u prostoru ravnoteže, pri čemu nije bilo značajnih razlika u tim učincima između SPORE i BRZE skupine. Konačno, rezultati su pokazali umjerenu, statistički značajnu ($p < 0,05$), povezanost između apsolutne/relativne jakosti mišića nogu i jednonožne ravnoteže (postotak zajedničke varijance: 36 – 40%). Sveukupno gledajući, dobiveni rezultati ukazuju na važnost jakosti donjih ekstremiteta u uspostavljanju i zadržavanju dinamične ravnoteže, kao i na efikasnost primjene treninga jakosti u poboljšanju ravnoteže na treniranoj i netreniranoj strani tijela kod mlade, tjelesno aktivne ženske populacije.

Ključne riječi: trening s otporom, posturalna kontrola, mišićna funkcija, ukrižena edukacija.

Summary:

The main aim of this study was to determine the ipsilateral and contralateral effects of unilateral leg strength training with different contraction velocities lower body strength and balance in physically active women. An additional aim of this study was to determine the relationship between lower body muscle strength and balance performance. Altogether 45 PE students volunteered in this study. They were randomly divided into 3 groups: SLOW (unilateral, low-speed leg strength training), FAST (unilateral, high-speed strength training), or CONTROL group. Body mass, body composition, single-limb balance (Biodex Stability System), and concentric strength of knee extensors and flexors (at 60°/s and 180°/s), and plantar- and dorsi-flexors (at 30°/s and 60°/s) were measured prior to and after a 4-week training period. Both training groups performed isokinetic concentric strength training of knee extensors and flexors, as well as plantar- and dorsi-flexors with equal volume (i.e. mechanical work), but at different contraction speeds (knee extensors/flexors at 180°/s vs. 60°/s; plantar-/dorsi-flexors at 60°/s vs. 30°/s). Both training groups elicited statistically significant ipsilateral and contralateral strength gains ($p < 0,05$) in the tested muscle groups, with the mean contralateral effect being 11%, and ipsilateral training effect being 27,8%. No significant differences in the magnitude of effects were observed between two training groups, suggesting no presence of the velocity-specific strength training effects. Both training groups also significantly improved balance performance of trained and untrained leg, with no significant differences in the training effects between the two training groups. Finally, a statistically significant relationship was observed between both absolute and relative lower body muscle strength and single-limb balance performance (common variance: 36-40%; $p < 0.05$). Overall, the results obtained suggest that lower body muscle strength could represent an important factor in balance control, and that lower body strength training appears to be an efficient training modality for improving ipsilateral and contralateral muscle function and balance performance in healthy young women.

Key words: resistance training, postural control, muscle function, cross education.

Sadržaj:

1.	UVOD I PROBLEM.....	1
1.1.	Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti: pregled literature	2
1.2.	Fenomen kontralateralnih učinaka unilateralnog treninga jakosti – potencijalni mehanizmi.....	5
1.3.	Problem	10
2.	CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	13
3.	METODE ISTRAŽIVANJA	14
3.2.	Uzorak ispitanica	14
3.3.	Uzorak varijabli	15
3.3.1.	Antropometrijski testovi	15
3.3.2.	Testiranje ravnoteže	16
3.3.2.1.	Opis protokola testiranja „ukupnog indeksa ravnoteže“	17
3.3.3.	Testiranje jakosti donjih ekstremiteta	19
3.3.3.1.	Opis protokola testiranja jakosti donjih ekstremiteta.....	19
3.4.	Eksperimentalni plan	22
3.5.	Metode obrade podataka	25
4.	REZULTATI.....	26
4.1.	Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta	26
4.1.1.	Ipsilateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta	26
4.1.2.	Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta	36
4.2.	Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu	47
4.2.1.	Ipsilateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu	47
4.2.2.	Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu	49
4.3.	Povezanost jakosti mišića donjih ekstremiteta i ravnoteže	51
5.	RASPRAVA	53
5.1.	Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta	54
5.2.	Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu	62
5.3.	Povezanost jakosti mišića donjih ekstremiteta i ravnoteže	66
6.	ZAKLJUČAK	69
	LITERATURA	71
	ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORICE	81

1. UVOD I PROBLEM

Trening jakosti jedan je od najrasprostranjenijih i najproučavanijih oblika tjelesnog vježbanja čovjeka. Uključuje sustavnu primjenu submaksimalnih i maksimalnih kontrakcija usmjerenih k savladavanju različitih vrsta otpora. Bez obzira na metodički pristup, režim rada mišića i treniranu regiju tijela, poznato je da takav sustav vježbanja povećava mišićnu jakost i snagu te unaprjeđuje funkcionalnu motoričku izvedbu, stoga se značajno primjenjuje u brojnim područjima primijenjene kineziologije (Marković, 2004.). Promjene u jakosti, snazi i motoričkoj izvedbi, izazvane sustavnim progresivnim treningom jakosti, rezultat su mišićne (npr. hipertrofija mišićnih vlakana, promjena geometrije mišića – vidi Aagaard, 2003., Häkkinen i sur., 1985. i Tihanyi, 1989.) i živčane prilagodbe (npr. povećana aktivacija agonista i sinergista, smanjena koaktivacija antagonista – vidi Moritani i DeVries, 1979., Sale, 1988. i Häkkinen, 1989.).

Zanimljivo, treniranje jedne (ipsilateralne) strane tijela (npr. jednog ekstremiteta) dovodi do promjena u jakosti i motoričkoj funkciji netrenirane (kontralateralne) strane tijela (Hellebrandt, Parrish i Houtz, 1947., Brent i Stromberg, 1985., Brent, Stromberg i Charleston, 1988., Zhou, 2000., Munn, Herbert i Gandevia, 2004., Hortobagay, 2005., Lee i sur., 2010. i drugi). Taj se fenomen naziva „ukrižena edukacija“ (engl. *cross-education*), odnosno „ukriženi ili kontralateralni trenažni učinak“ (engl. *cross-transfer* ili *contralateral training effect*). Za potrebe ove disertacije, navedeni će se fenomen u daljnjem tekstu nazivati „kontralateralni trenažni učinak“ (KTU). Ipsilateralni trenažni učinak ili učinak na treniranom ekstremitetu skraćeno će se pisati ITU. Danas je fenomen KTU dobro poznat u području motoričke kontrole te predstavlja jedan od najznačajnijih indikatora da su promjene u jakosti i snazi, izazvane unilateralnim treningom jakosti, upravo rezultat živčane prilagodbe (Lee i Carroll, 2007.).

Osim u temeljnom prostoru razumijevanja čovjekove motoričke kontrole, važnost KTU fenomena ogleda se i u brojnim područjima primijenjene kineziologije te fizikalne medicine i rehabilitacije. Tako, primjerice, unilateralni trening jakosti zdravog ekstremiteta može značajno umanjiti negativne učinke imobilizacije ozlijeđenog

ekstremiteta na živčano-mišićnu funkciju i motoričku izvedbu tijekom početnih faza rehabilitacije. Također, KTU može pomoći u rehabilitaciji neuroloških pacijenata koji su doživjeli parezu jedne strane tijela. Stoga ne čudi činjenica da se ovim fenomenom istraživači bave više od jednog stoljeća (Caroll i sur., 2006.). Unatoč brojnim istraživačkim naporima usmjerenim prema ovom fenomenu, mehanizmi koji se nalaze u pozadini KTU još uvijek nisu dovoljno poznati. U sljedeća dva potpoglavlja prikazan je detaljan pregled literature vezan uz KTU u području treninga jakosti, kao i potencijalni mehanizmi koji se nalaze u pozadini ovog fenomena.

1.1. Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti: pregled literature

Fenomen kontralateralnih trenažnih učinaka prva je primijetila i objavila 1894. godine gospođa Emily M. Brown (vidi Carroll i sur., 2006.). Tada je objavljeno kako se nakon 13 dana treninga stiskanja gumene lopte jakost stiska šake netrenirane ruke gospođi Emily M. Brown povećala za 43%. Od tog trenutka uslijedila su brojna istraživanja. Ovaj je fenomen s vremenom dobio naziv „fenomen ukrižene edukacije“ (engl. *cross education*), ili alternativno „ukriženo vježbanje“ (eng. *cross exercise*), „ukriženi trening“ (eng. *cross training*), ili „ukriženi transfer“ (*cross transfer*) (Zhou, 2000.), a učinci se nazivaju „kontralateralni učinci“ (engl. *contralateral effects*), „ukriženi trenažni učinci“ (engl. *cross training effects*) ili „ukriženi prijenos učinaka“ (engl. *cross transfer effects*).

Kako bi se prednosti fenomena KTU iskoristile u cijelosti, različiti su mu autori pristupali s različitih stajališta. Pregledavajući dosadašnja istraživanja KTU (tablica 1, str. 3 do 9) može se primijetiti da su trenažni programi kod većine studija trajali između 4 i 12 tjedana, da je najveći broj istraživanja rađen na mišićima ekstenzorima koljena, da velik broj istraživanja primjenjuje izokinetički sustav te da je u najvećem broju slučajeva veličina KTU proporcionalna veličini ITU (Hortobagyi, 2005.). Tablica 1 predstavlja najvažnije elemente istraživanja KTU kao i njihove najvažnije nalaze.

Tablica 1. Kronološki pregled istraživanja koja su proučavala KTU.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trenažni sustav	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %	
							ITU	KTU
Hellebrandt, Parrish i Houtz, 1947.	15 Ž Dob: 22 – 48 god.	Ekstenzori koljena, fleksori lakta, proizvoljan odabir ekstremiteta	10 serija x 10 RM x 4 dana; 5. dan 10 x 1 RM	Izoinerzijska dinamometrija	Izoinerzijski trening (koncentrično-ekscentrične kontrakcije)	mala	10 RM: ekstenzija koljena: 34,73 10 RM: fleksija lakta: 39,69 1 RM: ekstenzija kolji.: 28,2 1 RM: fleksija lakta: 22,61	10 RM: ekstenzija kolji.: 34,13 10 RM: fleksija lakta: 27,70 1 RM: ekstenzija kolji.: 37,03 1 RM: fleksija lakta: 22,61
Hellebrandt, 1951.	27 M i 24 Ž Dob: odrasli	Lijeva nedominantna i desna dominantna ruka	8 tjedana vježbanja (1 x tjedno), vještina praćenja, računanja, točkanja i preslikavanja	MacQuarrie test	Papir i olovka	-	desna: 33,82 lijeva: 32,65	Desna: 28,51 Lijeva: 36,78
Komi i sur., 1978.	6 parova jednojajčanih blizanaca, 2 ženska i 4 muška para	Ekstenzori koljena, desna noga	12 tjedana 4 x tjedno	Izometrična dinamometrija (MVIK)	Izometrični trening	- (izometrija)	MVIK: 20	MVIK: 11
Devine, LeVeau i Yack, 1981.	6 M i 14 Ž Dob: 21 – 32 god., zdravi	m. rectus femoris i m. vasti. lateralis Lijeva noga	2 dana	Izometrična dinamometrija (MVIK) i EMG	Izometrični trening	- (izometrija)		EMG signal varira od 8,5 do 23,9 tijekom MVIK suprotne noge u odnosu na MVIK te noge dan prije.
Laughman i sur., 1983.	58 ispitanika, 28 M i 30 Ž Dob: 21 – 39 god., zdravi	Ekstenzori koljena, desna noga	EMS 5 tjedana, 5 x tjedno, 10 x dnevno MVC 5 tjedana, 5 x tjedno, 10 x dnevno	Izometrična dinamometrija (MVIK) i EMG	Izometrični trening (MVIK) i EMS	- (izometrija)	EMS: 18 MVIK: 22	EMS: 15 MVIK: 11
Houston i sur., 1983.	6 M Dob: 20 – 21 god., zdravi	Ekstenzori koljena, 3 ispitanika radila su desnu nogu, a 3 ispitanika lijevu nogu	10 tjedana, 4 x tjedno 3 serije x 2 vježbe	Izokinetička dinamometrija	Izoinerzijska dinamometrija (koncentrične kontrakcije)	n/a	PT: 39 – 60	PT: 12 – 37
Tesch i Karlsson, 1984.	4 M Dob: 21 god., zdravi	Ekstenzori koljena, lijeva noga	7 tjedana, 3 – 4 x tjedno 3 serije po 1 kontrakcija	Izometrična, izokinetička i izoinerzijska dinamometrija	Izometrični, izokinetički i izoinerzijski trening	n/a	MVIK: 25	MVIK: 27,41
Brent i Stromberg, 1985. i 1988.	20 odraslih pacijenata s dijagnozom za operaciju ruke	Ruke	Operacija pa 3 tjedna odmora u kontr. sk. Eksp. sk. provodila je 3 tjedna kućni režim jačanja zdrave ruke. Testiranje: 1., 2., 3., 4., 6., 8. i 12. Tjedan.	Izometrična dinamometrija, kutomjer	Izometrični trening	- (izometrija)		Malo, ali konstantno povećanje opsega pokreta, a jakosti do 150.

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscentrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trenažni sustav	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %	
							ITU	KTU
Parker, 1985.	9 M Dob: 22 – 33,5 god., zdravi (marinci)	Ekstenzori koljena, snažnija noga	19 tjedana, 3 – 6 x tjedno	Izometrična dinamometrija	Izoinerzijski trening (izometričke i ekscentrično- koncentrične)	n/a	MVIK (PT): Skupina IZOM: 30 Skupina EKS – KON: 0 MVIK (PT): Skupina IZOM: 15 Skupina EKS – KON: 0 MVIK (PT):	MVIK (PT): Skupina IZOM: 15 Skupina EKS – KON: 0 MVIK (PT):
Cabric i Appell, 1987.	36 M Dob: 20-23 god. Zdravi	List, nije definirano koje noge	svakodnevno 21 dan	EMG, izokinetička dinamometrija, MVIK	EMS 50 Hz EMS 200 Hz	– (EMS)	Skupina 50 Hz: 50,3 Skupina 200 Hz: 58,8 MVIK (PT):	Skupina 50 Hz: 39,7 Skupina 200 Hz: 32,2 MVIK (PT):
Cannon i Cafarelli, 1987.	23 plaćena dobrovoljca	Palac na ruci, desna ruka	5 tjedana, 3 x tjedno 15 kontrakcija pri 80 od 1 RM	EMG, izokinetička dinamometrija	EMS, izometrični trening, (MVIK)	– (izometrija i EMS)	MVIK: 15 EMS: 15 MVIK (PT):	MVIK: nena EMS: nena MVIK (PT):
Jones i Rutherford, 1987.	12 ispitanika, 11 M i 1 Ž, Dob: 27,5 god. zdravi	Ekstenzori koljena, slučajni odabir ekstremiteta	12 tjedana, 3 x tjedno 4 serije po 6 ponavljanja	Izoinerzijska dinamometrija, izometrična dinamometrija, koncentrične, ekscentrične kontrakcije	Izoinerzijski trening (koncentrične, ekscentrične kontrakcije) i izometrični trening	n/a	Skupina ISOM: 34,17 Skupina KONC: 15,35 Skupina EKSC: 10,85 PT	Skupina KONC.: 6 – 8 PT
Narici i sur., 1989.	4 M Dob: 28,3 god.	Ekstenzori koljena, dominantna noga	15 tjedana, 4 x tjedno 6 serija x 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, maksimalne izokinetičke ekstenzije koljena	Izokinetički trening	120°/s	PT 60°: 23,8 120°: 22,5 180°: 14,5 240°: 3,6 300°: 2,8	PT 60°: nije značajno 120°: nije značajno 180°: nije značajno 240°: nije značajno 300°: nije značajno
Kannus i sur., 1991.	20 ispitanika, 10 M i 10 Ž Dob: 23 – 40 god.	Ekstenzori i fleksori koljena, slučajni odabir noge	7 tjedana, 3 x tjedno 5 serija x 5 – 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, koncentrično- koncentrične i koncentrične kontrakcije	Izokinetički trening (koncentrično- koncentrične i izometričke kontrakcije)	60° i 240°	PT Quad.: 19 Ham.: 14	PT Quad.: 11 Ham.: 5
Garfinkel i Cafarelli, 1992.	15 Ž Dob: 21,9 god., sedentarne, zdrave	Ekstenzori koljena, 4 tjedna desna, pa 4 tjedna lijeva noga	8 tjedana, 3 x tjedno 3 serije x 10 ponavljanja (3 – 5 sec)	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izometrički trening	– (izometrija)	MVIK PT: 28	MVIK PT: minimalno
Housh i sur., 1992.	13 M Dob: 25 god., sedentarni, zdravi	Fleksori i ekstenzori lakti i koljena, nedominantna noga i ruka	8 tjedana, 3 x tjedno 6 x 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, koncentrične kontrakcije	Izokinetički itrening, koncentrične kontrakcije	120°	MVIK PT: Fleks. kolj.: 21,7 Ekst. kolj.: 11,2 Fleks. lakti: 20,6 Ekst. lakti: 36	MVIK PT: Fleks. kolj.: 14,8 Ekst. kolj.: 6,7 Fleks. lakti: 10,6 Ekst. lakti: 14,6

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscentrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trening oprema Trenirana kontrakcija	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %	
							ITU	KTU
Hortobágyi i sur., 1993.	32 Ž Dob: 24,8 ± 4,5 god.	Ekstenzori koljena, lijeva noga	6 tjedana, 4 x tjedno, VOLJNE: 4 – 6 serija po 6 – 8 ponavljanja. (2840 kontrakcija) EMS postupne kontrakcije	Izokinetička dinamometrija, EMG, izometričke i izokinetičke ekscitirane kontrakcije	Izokinetički trening (ekscitirane kontrakcije), izokinetički trening (ekscitirane kontrakcije) i EMS bicepsa lijeve ruke	135°	Prosječno 38% veći učinci kod EMS vs. voljne skupine	Prosječno 26% veći učinci kod EMS vs. voljne skupine
Housh i Housh, 1993.	12 M Dob: 24 ± 6 god., sedentarni, zdravi	Fleksori i ekstenzori lakti i koljena, nedominantna noga i ruka	8 tjedana, 3 x tjedno, 6 x 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, koncentrične kontrakcije	Izokinetički trening (koncentrične kontrakcije)	120°	PT: Fleks. kolj.: 16 – 24 Ekst. kolj.: 9 – 16 Fleks. lakti: 16 – 38 Ekst. lakti: 35 – 38	PT: Fleks. kolj.: 14 – 21 Ekst. kolj.: 6 – 11 Fleks. lakti: 2 – 20 Ekst. lakti: 12 – 15
Ploutz i sur., 1994.	9 M Dob: nije definirana	Ekstenzori koljena; lijeva je noga eksperimentalna, a desna je kontrolna	9 tjedana, 2 x tjedno 3 – 6 serija x 12 ponavljanja	Izoinerzijska dinamometrija, koncentrične kontrakcije	Izoinerzijski trening, koncentrične kontrakcije	n/a	1RM: 14	1RM: 7
Weir, Housh, i Weir, 1994.	13 ispitanika, 6 M i 7 Ž Dob: 22 – 24 god., zdravi	Ekstenzori koljena, desna noga	6 tjedana, 3 x tjedno, 2 x 10 sub maks izom kontr. od 6 sek s 80 od MVIK	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izokinetički trening, izometričke kontrakcije	45°	PT: 15°: 27,27 45°: 18,60	PT: 15°: 27,27 45°: 18,60
Weir i sur., 1995.	17 Ž Dob: 20 – 21 god., zdrave	Ekstenzori koljena, desna noga	6 tjedana, 3 x tjedno, 2 x 10 sub maks. izom. kontr. od 6 sek s 80 % od MVIK	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izokinetički trening, izometričke kontrakcije	45°	PT: 45°: značajne 75°: značajne 90°: nema znač. promj.	PT: 45°: nema znač. promj. 75°: nema znač. promj. 90°: nema znač. promj.
Weir i sur., 1995.	17 M Dob: 23 – 24 god.	Ekstenzori koljena, desna noga	8 tjedana, 3 x tjedno, 3 – 5 serija x 6 ponavljanja (80 od 1 RM)	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izoinerzijski trening, ekscitirani trening	n/a	1 RM: 29 IZOM.: 15°: 17,5 45°: 15,2 75°: 15,0	1 RM: 17 IZOM.: 15°: 9,6 45°: 4,2 75°: 12,1
Hortobágyi, Lambert i Hill, 1997.	21 muškarac Dob: 21,3 ± 1,9 god.	Ekstenzori i fleksori koljena, lijeva noga	12 tjedana, 3 x tjedno 4 – 6 serija x 8 – 12 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, EMG, izokinetička koncentrična i ekscitirana kontrakcija	Izokinetički trening, ekscitirane ili koncentrične kontrakcije	60°	KONC Skupina KONC: 30 ISOM: 22	EKSC Skupina EKSC: 77 ISOM: 39

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscitirana kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trening oprema Trenirana kontrakcija	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %		
							ITU		KTU
Weir i sur., 1997.	16 M Dob: 24 – 25 god., zdravi	Ekstenzori koljena, nedominantna noga	8 tjedana, 3 x tjedno 3 – 5 serija x 6 ponavljanja (80 od 1 RM)	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izokinetički trening, koncentrične kontrakcije	n/a	IZOM.: 15: 19,22% 45: 9,59% 75: 20%	IZOM.: 15: 5,47% 45: 6,23% 75: 11,06%	
Sege, Arvidsson i Thorstensson, 1998.	10 M Dob: 24 – 25 god., zdravi	Ekstenzori koljena, 10 tjedana lijeva pa 10 tjedana desna	10 tjedana, 3 x tjedno 4 x 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, ekscitrične i koncentrične kontrakcije	Izokinetički trening, ekscitrične, koncentrične kontrakcije	90°		PT: EKSC: 16 KON: 10	
Hortobágyi i sur. 1999.	32 Ž Dob: 25 god., zdrave, dešnjakinje	Ekstenzori koljena, lijeva noga	6 tjedana, 4 x tjedno sve skupa 840 voljnih i stim. kontr.	Izokinetička dinamometrija, voljne ekscitrične i izometričke te EMS kontrakcije	Izokinetički trening, ekscitrične voljne ili stimulirane kontrakcije	60°	VOLNE: MVIK: 25 MVEK: 54 STIMULIRANE: MVIK: 22 MVEK: 36	VOLNE: MVIK: 15 MVEK: 23 STIMULIRANE: MVIK: 19 MVEK: 34	
Shields, 1999.	24 M Dob: 26,2 god., dešnjaci	Mišići šake, desna ruka	6 tjedana, 5 x tjedno uzastopna stiskanja šake (prosječno 22 minute)	Izometrična dinamometrija, MVIK	Izoinerzijski trening, voljna izometrička kontrakcija s 30% od MVIK	n/a	RITM STISKANJA: 1232 MVIK: 2,45 IZOM IZDRŽLJIV: -7	RITM STISKANJA: 39,8 MVIK: 4 IZOM IZDRŽLJIV: 1,5	
Benjamin i sur., 2000.	20 ispitanika, 10 Ž i 10 M Dob: 18 – 40 god.	Plantarni i dorzalni fleksori te abduktori i aduktori skočnog zgloba; pola skupine dominantnu, a pola nedominantnu nogu	8 tjedana, 3 x tjedno 16 vježbi po 25 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, koncentrične i ekscitrične kontrakcije	Izokinetički trening, koncentrične i ekscitrične kontrakcije	30° – 120°	DOM. skupina: 8,5 NEDOM. skupina: 9,3	DOM. skupina: 1,5 NEDOM. skupina: 3,5	
Teixeira, 2000.	40 studenata (20 M + 20 Ž)	Ruka, šaka, prsti; jedna skupina dominantnu, a druga nedominantnu ruku	TESTNI PROCES 5 probnih pokušaja, 60 pokušaja, 5 testnih pokušaja	Pritiskanje gumba na svjetleći znak.	Pritiskanje gumba na svjetleći znak.	Svjetlo je putovalo brzinom od 4,4 m/s.		DOM. skupina: 77 NEDOM. skupina: 71	

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscitrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trening oprema Trenirana kontrakcija	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %		
							ITU		KTU
Uh i sur., 2000.	20 ispitanika, 10 M i 10 Ž Dob: 18 – 40 god., zdravi	Dorzani fleksori i ekstenzori te invertori i evertori skočnog zgloba; jedna skupina dominantnu, a druga nedominantnu nogu	8 tjedana, 3 x tjedno 5 – 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, ekscentrične koncentrične kontrakcije	Izokinetički trening, ekscentrične i koncentrične kontrakcije	30° 60° 90° i 120°	PT: DOM: 8,5 NEDOM.: 9,3	PT: DOM: 1,5 NEDOM.: 3,5	
Evetovich i sur., 2001.	20 M Dob: 22 – 24 god., zdravi	Ekstenzori koljena, nedominantna noga	12 tjedana, 3 x tjedno 3 – 6 serija po 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, koncentrične kontrakcije	Izokinetički trening, koncentrične kontrakcije	90°/s	PT: 15,5	PT: 5,5	
Ebersole i sur., 2002.	17 Ž Dob: 21 god., zdrave, netrenirane	Fleksori lakti, nedominantna ruka	8 tjedana, 3 x tjedno 3 – 5 serija po 10 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izokinetički trening, izometričke kontrakcije s 80 od RM MV/K	n/a	PT: 30°: 32,7 60°: 22,5 90°: 7,7	PT: 30°: nema kros-edukacije 60°: nema kros-edukacije 90°: nema kros-edukacije	
Shima i sur., 2002.	15 M Dob: 26,2 ± 4,6 god.	Plantarni fleksori, slučajni odabir trenirane noge	6 tjedana, 4 x tjedno 3 serije x 10 – 12 ponavljanja	Izoinerzijska dinamometrija, EMG	Izoinerzijski trening, koncentrično- -ekscentrična kontrakcija	standardna za trenažere	MVC: 18,5 EMS: 45,3	MVC: 7,3 EMS: 22,2	
Farthing i Chilibeck, 2003.	36 ispitanika, 13 M i 23 Ž Dob: 18 – 23 god., netrenirani	Fleksori lakti, slučajni odabir trenirane ruke	8 tjedana, 3 x tjedno 2 – 6 serija x 8 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija	Izokinetički trening, ekscentrične kontrakcije	180° i 30°	180 skupina EKSC 180°/s: 23,7 EKSC 30°/s: 21 KONC 180°/s: 30 KONC 30°/s: 34,3	30 skupina EKSC 180°/s: -5,5 EKSC 30°/s: 7,15 KONC 180°/s: 2,2 KONC 30°/s: 4,3	180 skupina EKSC 180°/s: 22,8 EKSC 30°/s: 16,6 KONC 180°/s: 23,5 KONC 30°/s: 16,6 KONC 30°/s: -17,7 KONC 30°/s: -19,6
Munn i sur., 2005.	115 ispitanika, 21 muškarac i 94 Ž Dob: 20,6 ± 6 god.	fleksori lakti, slučajni odabir trenirane ruke	6 – 7 tjedana, 3 x tjedno 1 serija x 6 – 8 ponavljanja i 3 serije po 6 – 8 ponavljanja	Izokinetička dinamometrija, Koncentrično - ekscentrične kontrakcije	Izoinerzijski trening, Koncentrično - ekscentrična kontrakcija	~140° i ~50°	1 serija brzo: 48 1 serija sporo: 25 3 serije brzo: ~20 3 serije sporo: ~13	1 serija brzo: 8,6 1 serija sporo: 3,77 3 serije brzo: 9,09 3 serije sporo: 1,81	

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscentrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trenin oprema Trenirana kontrakcija	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %			
							ITU		KTU	
							D skupina	L skupina	D skupina	L skupina
Farthing, Chilibeck i Binsted. 2005.	39 Ž Dob: 21 god., dešnjakinje	Fleksići šake, ulnarna devijacija, slučajni odabir grupe: EKSP trenira desnu ruku, KON trenira lijevu ruku	6 tjedana, 4 x tjedno progresivno 2 – 6 serija po 8 ponavljanja, 2 s kontrakcija, 2 s odmor	Izokinetička dinamometrija, EMG (MVIK)	Izokinetički trening, izometrička kontrakcija	n/a	25,9	41,9	39,2	9,3
Hubal i sur., 2005.	585 ispitanika, 243 M i 342 Ž Dob: 24 god.	Fleksići lakti, nedominantna	12 tjedana, 3 x tjedno 6 serija po 12 x 1 do 6 x 6 RM	Izoinerzijska dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izoinerzijski trening, ekscentrične kontrakcije	n/a	M: 1 RM: 39,8 MVIK: 15,8 Ž: 1 RM: 64 MVIK: 22	M: 1 RM: 39,8 MVIK: 15,8 Ž: 1 RM: 64 MVIK: 22	M: 1 RM: 6,2 MVIK: 3,6 Ž: 1 RM: 13,6 MVIK: 6,4	1 RM: 10,6 MVIK: 5,3
Farthing i sur. 2007.	23 Ž Dob: 21 god., dešnjakinje	Fleksići šake, ulnarna devijacija, desna ruka	6 tjedana, 4 x tjedno 2 – 6 serija po 8 ponavljanja, 2 s kontrakcija, 2 s odmor	Izokinetička dinamometrija, MVIK	Izokinetički trening, MVIK	n/a	Eksp. unil.: 44,7 Eksp. imag. unil.: 0	Eksp. unil.: 45,8 Eksp. imag. unil.: 1,9		
Adamson i sur., 2008.	10 Ž Dob: 20,8 ± 2,7 god., dešnjakinje	Fleksići lakti lijeve nedominantne ruke	8 tjedana, 3 x tjedno 5 serija po 5 ponavljanja jedan trening: 300 abdukcija 2 x 15 x 10	Izometrična dinamometrija, MVIK	Izokinetički trening, MVIK	n/a	Maksimalna sila, PT: 37 1 RM: 79	Maksimalna sila: 35 1 RM: 9		
Caroli i sur., 2008.	18 ispitanika, 7 M i 11 Ž Dob: 18 – 39 god., zdravi	Kažiprst, desni		TMS, EMG, koncentrično- ekscentrične kontrakcije	EMS, koncentrično- ekscentrične kontrakcije	n/a	Peak acceleration: 140	Peak acceleration: 82		
Fimlandi sur., 2009.	26 ispitanika, 9 M i 17 Ž Dob: 24 – 26 god., zdravi	Plantarni fleksići (list), dominantna noga	4 tjedna, 4 x tjedno 6 x 6 ponavljanja	Izometrična dinamometrija, izometričke kontrakcije	Izokinetički trening, izometričke kontrakcije	n/a	44		32	

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrička kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscentrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Studija	Ispitanici	Mišićna skupina / ekstremitet	Trenažni proces	Mjerni sustav	Trening oprema Trenirana kontrakcija	Brzina trenirane kontrakcije	Trenažni učinci u %	
							ITU	KTU
Bezerra i sur., 2009.	30 ispitanika Dob: 18 – 33 god., zdravi	Ekstenzori i fleksori koljenja, desna noga	6 tjedana, 3 x tjedno 3 serije po 10 ponavljanja	Izoinerzijska dinamometrija, MVIK	Izoinerzijski trening, MVIK	n/a	PT MVIK: Voljna skupina: 18 El. stim. skupina: 30	PT MVIK: Voljna skupina: 9,4 El. stim. skupina: 28
Lee, Gandevia i Carroll, 2009.	20 ispitanika, 13 M i 7 Ž Dob: 18 – 24 god.	Ekstenzori zgloba šake, desna ruka	4 tjedna, 4 serije po 10 ponavljanja, 1 – 2 s kontrakcija	Izometrična dinamometrija, EMG, TMS	Izokinetički trening, unilateralna maksimalna izometrična ekstenzija šake	n/a	MVC: 31,5	MVC: 9,8
Lee i sur., 2010.	29 ispitanika, 19 M i 10 Ž Dob: 25,8 ± 7,6	Abduktori palca i malog prsta, desna ruka	1 balistički trening: preostalih 14 ispitanika trening je ponovilo nakon 3 mjeseca	EMG, TMS, akcelerometar	Posebno napravljena udubina za dlan + akcerometar	n/a	Peak acceleration kažiprsta: nakon: 150: 64 300: 93 pokreta	Peak acceleration kažiprsta: nakon: 150: 37 300: 62 pokreta

Legenda: M – muškarci, Ž – žene, TMS – transkranijalna magnetska stimulacija, EMG – elektromiografija, EMS – električno stimulirana kontrakcija, MVIK – maksimalna voljna izometrična kontrakcija, MVEK – maksimalna ekscentrična kontrakcija, PT – *peak torque* (vršni moment sile), n/a – *not available* (nije dostupno), RM – *repetitio maximalis*.

Brojne su studije pokazale kako različiti oblici unilateralnog treninga jakosti dovode do značajnih KTU (tablica 1). Munn, Herbert i Gandevia (2004.) proveli su metaanalizu 17 studija o KTU unilateralnog treninga jakosti i došli do sljedećih zaključaka: promjene jakosti kontralateralnih ekstremiteta nakon unilateralnog treninga jakosti kretale su se od -2,7% do 21,6% od inicijalne jakosti. Prosječna promjena jakosti kontralateralne strane tijela iznosila je 7,8%, odnosno oko 35% promjena zabilježenih u treniranom ekstremitetu. Autori su zaključili da unilateralni trening jakosti proizvodi statistički i praktično značajne kontralateralne učinke u području jakosti.

Istraživanja su pokazala kako se KTU javljaju kod voljnih (tablica 1), zamišljenih (Yue i Cole, 1992.) i električno stimuliranih kontrakcija (Hortobagyi i sur., 1983., Laughman i sur., 1983., Cabric i Appell, 1987., Hortobagyi i sur., 1983., Hortobagyi i sur., 1999.). Međutim, istraživanja ponekad prezentiraju i sasvim oprečne spoznaje. Primjerice, zamišljane kontrakcije ne dovode uvijek do pojave KTU. U istraživanju Herberta, Deana i Gandevije (1998.), a pri sličnom protokolu vježbanja i zamišljanja kao i u istraživanju Yua i Colea (1992.) u kojem su se zamišljale abdukcije malog prsta lijeve ruke, nije došlo do značajnih KTU fleksora lakta. Nadalje, istraživanje Farthinga i sur. (2007.) pokazalo je da kod skupine koja je zamišljala vježbanje desne ruke (ulnarna devijacija) nije došlo pojave KTU. Općenito, živčana adaptacija na trening jakosti još je uvijek nedovoljno istražena (Lee i Carroll, 2007.), a samim tim i područje zamišljanja treninga jakosti.

Brojna su istraživanja pokazala kako unilateralni trening jakosti dovodi do pojave KTU bez obzira na veličinu mišićnih skupina. Drugim riječima, do pojave KTU dolazi i kod velikih (npr. ekstenzori i fleksori koljena: Komi i sur., 1978., Laughman i sur., 1983., Tesch i Karlson, 1984., Kannus i sur., 1991., Weir i sur., 1995., Evetovich i sur., 2001., i lakta: Farthing i Chilibeck, 2003., Hubal i sur., 2005., Adamson i sur., 2008. i dr.) te kod malih mišićnih skupina (npr. mišići šake: Shields, 1999., Farthing, Chilibeck i Binsted, 2005., Farthing i sur., 2007., Lee, Gandevia i Carroll, 2009., mišići kažiprsta: Carroll i sur., 2008., mišići aduktori palca i malog prsta, Lee i sur., 2010.).

Izgleda da je veličina KTU povezana i s dominantnošću ekstremiteta. Primjerice, istraživanja su pokazala da će, ako se trenira dominantni ekstremitet, KTU biti značajni (Farthing, Chilibeck i Binsted, 2005., Farthing i sur., 2007., Lee, Gandevia i Carroll 2009.). Također, ako se trenira dominantni ekstremitet, KTU će biti veći i značajniji nego ako se trenira nedominantni ekstremitet (Farthing, Chilibeck i Binsted, 2005.). Isto je istraživanje (Farthing, Chilibeck i Binsted, 2005.) pokazalo da nakon treniranja ulnarne devijacije desne ruke (većini je ljudi to dominantna ruka) dolazi do pojave značajnih KTU na lijevoj netreniranoj ruci, a ako se trenira lijeva (većini je ljudi to nedominantna ruka), KTU neće biti značajni. Međutim, izgleda da se ovaj fenomen dominantnosti odnosi samo na šaku jer je, primjerice, istraživanje Adamsona i sur. (2008.) pokazalo da treniranje fleksora lakta lijeve (nedominantne) ruke slobodnim utezima dovodi do značajnih KTU. Nadalje, brojna su istraživanja pokazala da treniranje nedominantne noge dovodi do značajnog KTU (Tesch i Karlson, 1984., Horobagy i sur., 1993., Ploutz i sur., 1994. i dr.).

Istraživanja su također pokazala i da je volumen treninga odgovoran za veličinu KTU. Primjerice, istraživanje Munna i sur. (2005.) pokazalo je da trening jakosti s 3 serije proizvodi veće KTU u odnosu na trening jakosti s jednom serijom. Isto je istraživanje pokazalo da trening jakosti s jednom serijom, u odnosu na trening jakosti s trima serijama, proizvodi veće kontralateralne trenažne učinke samo ako se treniraju brze kontrakcije.

Veličina KTU ovisi i o vrsti treniranih kontrakcija. Primjerice, Duncan i sur. (1989.) utvrdili su kako ekscentrični trening značajno poboljšava rezultate u ekscentričnim kontrakcijama, a koncentrični trening u koncentričnim kontrakcijama. Hortobágyi, Lambert i Hill (1997.) utvrdili su kako unilateralni ekscentrični trening statistički značajno više povećava kontralateralnu jakost homolognih mišićnih skupina nego koncentrični unilateralni trening. Do sličnih spoznaja došli su i Farthing i Chilibeck (2003.) koji su utvrdili da do većih pozitivnih promjena u jakosti netreniranog ekstremiteta dolazi kod ekscentričnih brzih kontrakcija nego kod koncentričnih sporih ili brzih kontrakcija. Miller i sur. (2006.) također su dokazali da je skupina koja je radila ekscentrične kontrakcije poboljšala vršni moment sile, vrijeme za postizanje vršnog momenta sile i vrijeme ubrzanja više od skupine koja je radila koncentrične kontrakcije.

Utvrđeno je i kako veličina KTU ovisi o amplitudi pokreta. Što je amplituda pokreta kraća, bit će i manji KTU, i obrnuto. Primjerice, istraživanje Weira i sur. (1995.) pokazalo je kako nakon 8 tjedana unilateralnog ekscentričnog treninga jakosti nema značajnih KTU u izometričkoj jakosti kod skupine koja je trenirala pod kutom od 15°. Skupine koje su trenirale unilateralni ekscentrični trening jakosti pod većim kutovima imale su značajne kontralateralne učinke u izometričkoj jakosti. KTU u izometričkoj jakosti bio je veći kod skupine koja je imala veću amplitudu pokreta, tj. kod skupine koja je trenirala pod kutom od 75° (12,2%) za razliku od skupine koja je trenirala pod kutom od 45° (4,1%).

Nadalje, istraživanja KTU išla su i u pravcu utvrđivanja specifičnosti u odnosu na brzinu kontrakcija. Utvrđeno je da do većih pozitivnih promjena u jakosti netreniranog ekstremiteta dolazi kod ekscentričnih brzih kontrakcija nego kod koncentričnih sporih ili brzih kontrakcija (Farthing i Chilibeck, 2003.).

Lacerte i sur. (1992.) proučavali su razlike u učincima brzog i sporog koncentričnog te ekscentrično-koncentričnog izokinetičkog treninga. Nakon 12 tjedana treninga jakosti (5 x tjedno) pokazalo se da se veće poboljšanje vršnog momenta sile dogodilo kod skupina koje su trenirale kombinirane (ekscentrično-koncentrične) kontrakcije u odnosu na skupine koje su trenirale samo koncentrične kontrakcije.

Utvrđeno je kako se KTU javljaju bez obzira na spol, tj. javlja se i kod muškaraca i kod žena (tablica 1). Hubal i sur. (2005.) utvrdili su sličan varijabilitet promjena jakosti kod muškaraca i žena. Vjerojatno zbog toga veći broj autora eksperimentalnih istraživanja muškarce i žene tretira kao istu populaciju.

Također je poznato kako do KTU nakon unilateralnog treninga jakosti dolazi kod osoba svih životnih dobi, iako je znatno veći broj istraživanja KTU proveden na osobama mlađe životne dobi (tablica 1).

Iz svega navedenog može se zaključiti da su dosadašnja istraživanja KTU u području jakosti došla do sljedećih spoznaja:

- veličina KTU u prostoru jakosti ovisi o volumenu opterećenja
- KTU u prostoru jakosti javljaju se i kod muškaraca i kod žena
- KTU u prostoru jakosti javljaju se i kod velikih i kod malih mišićnih skupina
- ekscentrične brze kontrakcije dovode do većih KTU u području jakosti nego ekscentrične spore kontrakcije
- ekscentrične kontrakcije dovode do značajnih KTU u izometričkoj jakosti
- ekscentrične kontrakcije dovode do većeg povećanja KTU u području jakosti ekscentrično nego koncentrične kontrakcije koncentrično
- treniranje jakosti dominantnog ekstremiteta dovodi do značajnih KTU u prostoru jakosti
- treniranje jakosti nedominantnog ekstremiteta dovodi do značajnih KTU u prostoru jakosti
- treniranje dominantnog ekstremiteta dovodi do većih KTU u području jakosti nego treniranje nedominantnog ekstremiteta
- elektrostimulacijski trening proizvodi KTU u području jakosti
- zamišljane kontrakcije mogu, ali i ne moraju, dovesti do KTU u prostoru jakosti
- prosječni KTU u prostoru jakosti iznose 7,8%, dok ITU iznosi 35,1%.

1.2. Fenomen kontralateralnih učinaka unilateralnog treninga jakosti – potencijalni mehanizmi

Usprkos brojnim istraživanjima vezanim uz KTU, spoznaje o potencijalnim mehanizmima nisu do kraja razjašnjene.

Primjerice, **Zhou (2000.)** navodi kako su predloženi sljedeći živčani mehanizmi: difuzija impulsa između moždanih polutki, koaktivacija putem bilateralnih kortikospinalnih putova, posturalna stabilizacija i aferentna modulacija. Isti autor navodi da rezultati dobiveni evociranim potencijalima sugeriraju kako su KTU najvjerojatnije posljedica promjena na razini spinalnih mehanizama. I Hortobagyi (2005.) slaže se s pretpostavkom da se radi o spinalnim mehanizmima. Međutim, nije poznato o kojim je točno mehanizmima riječ.

Carroll i sur. (2006.) navode kako se vjerojatnije radi o refleksiji povećanog motoneuronskog izlaza nego o mišićnoj adaptaciji. Navode kako su prepoznata dva mehanizma funkcioniranja: širenje impulsa na kontrolni sustav kontralateralnog ekstremiteta te adaptacija u kontrolnom sustavu treniranog ekstremiteta, a kojem pristup ima netrenirani ekstremitet. Isti autori smatraju da su u „transfer“ zapravo uključena i kortikalna, i subkortikalna, i spinalna razina te da se, na temelju dosadašnjih spoznaja, ni jedna navedena razina ne može isključiti.

Nadalje, Lee i Carroll (2007.), između ostalog, objašnjavaju i pobijaju teoriju mišićne adaptacije kao moguću teoriju mehanizama u pozadini KTU. Navode kako trening s opterećenjem uistinu dovodi do hipertrofije, povećava aktivnost mišićnih enzima te dovodi do promjena tipa mišićnih vlakana. Međutim, mišićna se adaptacija događa na treniranom ekstremitetu. Autori također navode da su istraživanja magnetskom rezonancom pokazala kako nema promjena poprečnog presjeka mišića netreniranog ekstremiteta. Nadalje, istraživanja koja su radila biopsiju pokazala su da nema promjena u enzimskoj aktivnosti niti promjena u tipovima mišićnih vlakana na kontralateralnom ekstremitetu. Elektromiografska istraživanja također su pokazala da nema povećane aktivacije kontralateralnog ekstremiteta tijekom treninga s opterećenjem treniranog ekstremiteta. Zaključuju kako je zapravo malo vjerojatna teorija o mišićnoj adaptaciji jer je očito kako netrenirani ekstremitet ne prima dovoljno podražaja za

mišićnu adaptaciju te kako svi dokazi jasno upućuju da je riječ o živčanoj adaptaciji. Isti autori navode i pretpostavku da unilateralni trening s opterećenjem uzrokuje specifične promjene u organizaciji motoričkih putova (u odnosu na bilateralni trening) koji se projiciraju na kontralateralne mišiće. Pretpostavlja se kako reorganizacija kontralateralnih netreniranih motoričkih putova vodi k većoj učinkovitosti živčanih putova netreniranih kontralateralnih mišića, što sve skupa dovodi do povećanja jakosti. Nadalje, navode kako postoji i pretpostavka da trening s opterećenjem uzrokuje adaptaciju motoričkog područja odgovornog za kontrolu i izvođenje pokreta treniranog ekstremiteta. Suprotna moždana polutka može pristupiti ovom modificiranom krugu tijekom voljne kontrakcije netreniranog ekstremiteta. Ovakav pristup predstavljen je u okviru konteksta „motoričkog učenja“. Dakle, unilateralnim vježbanjem nekog zadatka unaprjeđuje se i vještina kontralateralnog netreniranog ekstremiteta. U okviru „motoričkog učenja“ prva se pretpostavka čini upitnom. Bilo kako bilo, predloženo je da se na trening s opterećenjem gleda kao na proces motoričkog učenja, učenja repliciranja pokreta.

Prva hipoteza (modifikacija kontralateralnih motoričkih putova) sugerira da unilateralni trening jakosti može aktivirati živčani sklop koji kronično modificira efikasnost motoričkih putova koji se projiciraju na kontralateralni netrenirani ekstremitet. Ovo može posljedično voditi k povećanju kapaciteta motoričkih putova netreniranih mišića te rezultirati povećanjem jakosti. Broj spinalnih i kortikalnih sklopova koji dokazuju potencijal ove adaptacije upitan je.

Unilateralna voljna kontrakcija dovodi do čitavog kompleksa promjena kortikalnih motoričkih putova koji kontroliraju homologne mišiće. Evocirani motorički potencijal netreniranog ekstremiteta (MEPs), snimljen transkranijalnom magnetskom stimulacijom (TMS), omogućen je popuštanjem velike sile voljne kontrakcije kontralateralnog homolonom mišića (više od 40% maksimalne voljne izometričke kontrakcije). Nasuprot tome, MEP-amplituda netreniranog ekstremiteta pokazuje tendenciju biti potisnuta tijekom mišićne kontrakcije treniranog ekstremiteta. Velika sila unilateralnih kontrakcija također može utjecati na učinkovitost transkalosalne inhibicije između dviju moždanih polutki. Drugim riječima, unilateralni trening jakosti pobuđuje ipsilateralni korteks. Pretpostavlja se da inducira promjene motoričkih putova, a posredno i kontrolu živčanih putova kontralateralnih mišića.

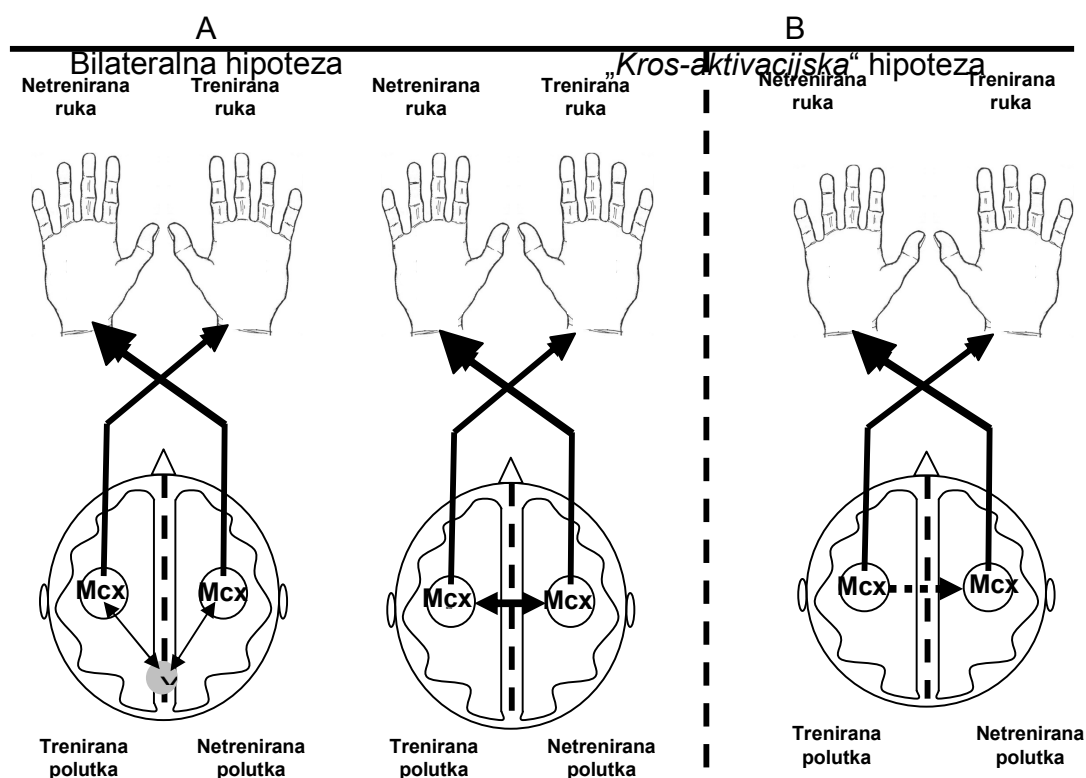
Poznato je i kako voljne kontrakcije visokog intenziteta utječu na spinalne motoričke putove koji se projiciraju na kontralateralnu stranu. Izgleda da u pozadini KTU ne leži adaptacija refleksa istezanja. Međutim, to ne isključuje prisutnost drugih spinalnih mehanizama.

Aktivacija aferentnih putova voljnom mišićnom kontrakcijom može potaknuti inhibitorski efekt na motoneuronima putem recipročne inhibicije. Recipročnom inhibicijom upravljaju specifični interneuroni. Interneuroni se aktiviraju aferentnim putovima agonista te manifestiraju kratkotrajnom inhibicijom antagonističkog motoneurona i inhibitorskog interneurona potaknutog antagonističkim motoneuronom.

Druga hipoteza sugerira da unilateralni trening jakosti izaziva adaptaciju motoričkih putova koji su primarno uključeni u kontrolu pokreta treniranog ekstremiteta. Netrenirani ekstremitet postiže adaptaciju motoričkih sklopova tijekom maksimalne voljne kontrakcije na način analogan motoričkom učenju. Živčana adaptacija koja vodi do KTU može biti u supraspinalnoj regiji uključenoj u kontrolu pokreta treniranog ekstremiteta. Moguće je da se ovaj modificirani živčani krug postiže tijekom voljne kontrakcije suprotnog netreniranog ekstremiteta optimiziranjem dolazeće signalne naredbe iz netrenirane moždane polutke, a samim tim olakšavaju izlaz sile tijekom maksimalne voljne kontrakcije.

Lee i sur. (2010.) sumiraju dosadašnje hipoteze te ih dijele u dvije kategorije. Prva kategorija hipoteza sugerira da uspješnom transferu prethodi poboljšana izvedba koja se javlja kao rezultat treningom induciranih motoričkih programa ipsilateralnog ekstremiteta. Ti stečeni motorički programi najvjerojatnije se smještaju u središnjem živčanom sustavu (SŽS) koji su također dostupni i kontralateralnom ekstremitetu (Imamizu i Shimojo, 1995., Anguera i sur., 2007., prema Leeju i sur., 2010.). Ovaj se pristup naziva „bilateralni pristup“ (eng. *bilateral access*). Primjer je ovakvog pristupa hipoteza „kalosalni pristup“ (eng. *callosal access*) u kojoj se pretpostavlja da motorički program razvijen u dominantnoj moždanoj polutki može biti dostupan suprotnoj moždanoj polutki preko kalosalnog tijela (eng. *corpus callosum*), a samim tim i utjecati na netrenirani ekstremitet (Taylor i Heilman, 1980., prema Leeju i sur., 2010.). Dvojba unutar ove hipoteze odnosi se na područje adaptacije tj. skladištenja unilateralno stečenih motoričkih

programa (slika 1A). To se područje nalazi u kortikalnim ili subkortikalnim područjima. Slika 1A predstavlja shematski prikaz „bilateralnog pristupa“ ili tzv. „kalosalnih hipoteza“.



Slika 1: Shematski prikaz dviju glavnih kategorija hipoteza o mogućim mehanizmima funkcioniranja KTU (prema Leeju i sur., 2010.).

Druga kategorija hipoteza o mogućim mehanizmima temelji se na tome što je primijećeno da mnogi unilateralni zadaci generiraju kortikalnu aktivnost i kontralateralno i ipsilateralno u odnosu na trenirani ekstremitet (Lee i sur., 2010.). Ova se hipoteza naziva „kros-aktivacijskom hipotezom“ (eng. *cross-activation*). Prema ovoj hipotezi (slika 1B) bilateralna kortikalna aktivnost potaknuta unilateralnim treningom vodi prema adaptaciji obiju moždanih polutki. Upravo zbog toga unilateralni trening uzrokuje slične promjene u organizaciji motoričkih putova, povezane s kontrolom suprotnog, homolognog mišića (Hellebrandt, 1951.). Ova se hipoteza temelji na pretpostavci da postoji bilateralna aktivacija nekoliko kortikalnih područja tijekom različitih tipova unilateralnih motoričkih zadataka (Lee i sur., 2003., Koenekes i sur., 2006.). Hipoteza se temelji i na studijama koje uključuju transkranijalnu magnetsku stimulaciju koju pokazuju akutne promjene u podražljivosti kortikospinalnih putova, a projiciraju na suprotni,

homologni mišić tijekom unilateralne mišićne kontrakcije (Hess i sur., 1986., prema Leeju i sur., 2010.). Slika 1B predstavlja shematski prikaz pristupa i hipoteza tzv. „kros-aktivacija“.

Iz svega navedenog jasno je da se svjetski autoriteti iz područja motoričke kontrole nisu do kraja usuglasili o mehanizmima funkcioniranja KTU. Zaključno, razumijevanje mehanizma funkcioniranja KTU pomoglo bi boljem razumijevanju motoričkog učenja, a time i poboljšanju terapijskih i rehabilitacijskih postupaka kod pacijenata sa spinalnim povredama, kod nekih živčano-mišićnih poremećaja, kod hemipareze, kod pacijenata s implantantima u koljenu te općenito kod pacijenata s ortopedskim problemima.

1.3. Problem

Fenomen KTU nije primijećen samo u području jakosti, već i u području učenja novih motoričkih vještina. Primjerice, Latash (1999.) utvrdio je da se KTU javljaju i kod učenja zrcalnog pisanja, a veličina kontralateralnih učinaka kretala se od 70% do čak 97%. Nadalje, Teixeira (2000.) primijetio je kako se KTU javljaju i kod unilateralnog vježbanja zadataka s primarnom percepcijskom komponentom (pritiskanje gumba na svjetlosni signal), a KTU se kretao od 71% do 77%. Drugim riječima, KTU nije privilegija samo treninga jakosti, već se javlja i u drugim područjima čovjekovih sposobnosti.

Općenito, poznato je da trening jakosti dovodi do značajnih adaptacijskih promjena u brojnim organskim sustavima čovjeka: živčanom sustavu, mišićno-koštanom sustavu, endokrinom, energetskom, srčano-žilnom sustavu itd. (Enoka, 2003.).

Može se pretpostaviti da razni oblici treninga jakosti mogu imati pozitivan transfer i na druge motoričke sposobnosti poput brzine, agilnosti, fleksibilnosti i, svakako, ravnoteže. Konkretno, moguće je pretpostaviti i da koncentrično-koncentrični trening jakosti ekstenzora i fleksora koljenog zgloba te plantarnih i dorzalnih fleksora može imati pozitivan transfer i na kontralateralnu ravnotežu.

Transfer učinaka treninga jakosti na ravnotežu osobito je zanimljiv jer sa starenjem (Orr, Fiatarone, Singh, 2008.) i s brojnim bolestima/oštećenjima živčanog ili mišićno-koštanog sustava dolazi do narušavanja čovjekove ravnoteže.

U kineziologiji se ravnoteža može definirati na tri načina: kao sposobnost održavanja pozicije, kao sposobnost voljnog kretanja i kao sposobnost tijela da reagira na promjene (Berg, 1989., prema Goldenbergu i Twistu, 2002.). Općenito, sposobnost uspostavljanja i zadržavanja ravnoteže ovisi o većem broju živčano-mišićnih čimbenika, tj. uz vestibularni, vizualni te somatosenzorni dio perifernog živčanog sustava (zahvaljujući kojima informacije o tijelu neprestano dolaze u središnji živčani sustav) važnu ulogu, svakako, ima i jakost mišića donjih ekstremiteta.

Primjerice, istraživanja su pokazala pozitivnu zavisnost između jakosti donjih ekstremiteta i ravnoteže starijih osoba (Horlings i sur., 2008., Pijnappels i sur., 2008.). Dokazano je i da trening jakosti može značajno unaprijediti ravnotežu kod starijih osoba (Holviala i sur., 2006., Orr i sur., 2008.) te da je mišićna slabost važan čimbenik rizika kod padova starijih osoba (Horlings i sur., 2008.).

Istraživanja su također pokazala postojanje visoke korelacije između jakosti i ravnoteže i kod mlađe populacije (Thorpe i Ebersole, 2008.). Dokazano je i da neuromuskularni trening pozitivno utječe na stabilnost zglobova bez povijesti povrjeđivanja i s njom, tj. na zglobove s funkcionalnom nestabilnošću (Sekir i sur., 2007., Paterno i sur., 2004.). Pod neuromuskularnim treningom autori podrazumijevaju različite kombinacije treninga jakosti i propriocepcije (Paterno i sur., 2004.). Blackburn i sur. (2000.) utvrdili su kako poboljšanje propriocepcije i jakosti jednako učinkovito utječe na poboljšanje stabilnosti zgloba i održavanje ravnoteže. Za mlađu je populaciju poznato i da kombinirani program treninga (ravnoteža, pliometrija i trening s opterećenjima) značajno unaprjeđuje ravnotežu (Paterno i sur., 2004.). Isto tako, ustanovljeno je da izolirani trening jakosti agonista (ekstenzori leđa) kod mlađe populacije ne pridonosi poboljšanju ravnoteže (Kollmitzer i sur., 2000.).

Prikazani rezultati sugerirali su da bi trening jakosti u značajnoj mjeri mogao pozitivno utjecati na sposobnost ravnoteže. Budući da unilateralni trening jakosti proizvodi i značajne KTU, logično je pretpostaviti da bi i u prostoru ravnoteže moglo biti KTU. To, međutim, nije proučavano u znanstvenoj literaturi.

Nadalje, uzevši u obzir da je za zadržavanje i uspostavljanje ravnoteže važno da mišići opružajući nogu brzo proizvode silu (Izquierdo i sur., 1999.), pretpostavlja se kako bi trening jakosti s velikim brzinama kontrakcije mogao imati veće KTU u području ravnoteže od treninga jakosti s malim brzinama kontrakcije. Također, izgleda da trening jakosti s velikim brzinama proizvodi veće KTU (Farthing i Chilibeck, 2003., Munn i sur., 2005.).

Trenažni proces zasnovan samo na pretpostavkama, odnosno stihijski rad, ne osigurava sigurnost u postizanju željenih ciljeva (Milanović, 2007.), stoga je i za znanost i za praksu važno utvrditi dovodi li unilateralni trening jakosti ekstenzora i fleksora koljenog zgloba te plantarnih i dorzalnih fleksora do značajnih ITU, a posebice KTU u prostoru ravnoteže. Također, od osobite bi važnosti bilo utvrditi ovise li ti učinci o brzini mišićne kontrakcije. Ovo je istraživanje usmjereno upravo rješavanju tih problema. Praktična primjena ovog istraživanja ogleda se i u većoj vjerojatnosti uspjeha unilateralnog trenažnog (rehabilitacijskog) programa. Općenito, predviđanje predstavlja jedan od načina postavljanja željenog stanja (Malacko i Rađo, 2004.). Što je predviđanje željenog cilja preciznije, to je i uspjeh objektivniji. Konkretno, usporedbom dvaju unilateralnih treninga jakosti mišića nogu, različitih s obzirom na brzinu kontrakcija, nastojat će se utvrditi ipsilateralne i kontralateralne promjene u jakosti nogu i ravnoteži mladih žena. Pritom će se voditi računa da ukupni volumen rada u objema trenažnim skupinama (izražen obavljenim mehaničkim radom) bude izjednačen.

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Temeljni cilj ovog istraživanja jest utvrditi ipsilateralne i, osobito, kontralateralne učinke „sporog“ i „brzog“ izoliranog treninga jakosti donjih ekstremiteta na mišićnu funkciju i unilateralnu ravnotežu mladih i tjelesno aktivnih žena. Pored temeljnog cilja, posebni je cilj ovog istraživanja utvrđivanje stupnja povezanosti jakosti izoliranih mišića donjih ekstremiteta i unilateralne ravnoteže.

Na temelju dosadašnjih spoznaja formulirane su sljedeće istraživačke hipoteze:

H1: Unilateralni trening jakosti s „velikim“ brzinama kontrakcije proizvodi statistički značajno veće kontralateralne učinke u području jakosti u odnosu na trening jakosti s „malim“ brzinama kontrakcije jednakog volumena.

H2: Unilateralni trening jakosti s „velikim“ brzinama kontrakcije proizvodi statistički značajno veće kontralateralne učinke u području ravnoteže u odnosu na trening jakosti s „malim“ brzinama kontrakcije jednakog volumena.

H3: Postoji statistički značajna pozitivna povezanost između jakosti mišića donjih ekstremiteta i ravnoteže kod tjelesno aktivnih žena.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.2. Uzorak ispitanica

Uzorak ispitanica čini skupina od 45 studentica Fakulteta sporta i tjelesnog odgoja Sveučilišta u Sarajevu u dobi od 19 do 25 godina. Njihova prosječna tjelesna visina bila je 167 cm, tjelesna masa 61 kg, a prosječna količina masnog tkiva bila je 26%.

Prije početka eksperimenta sve studentice prve, druge i treće godine Fakulteta ispunile su opći upitnik o zdravstvenom statusu i tjelesnoj aktivnosti ($n = 63$). Na temelju informacija dobivenih upitnikom odabrano je 60 ispitanica bez povijesti ozljeđivanja skočnih zglobova u zadnjim dvjema godinama¹.

Istraživanje predstavlja randomizirani kontrolirani pokus jer je uzorak od 45 ispitanica slučajnim odabirom izvučen iz ukupne populacije studentica prve, druge i treće godine studija ($n = 60$) koje nisu imale povijest ozljeda koljenog i skočnog zgloba u posljednje dvije godine. Ispitanice su, također slučajnim odabirom, bile razvrstane u jednu od tri skupine: SPORU ($n = 15$; masa = 59 kg; visina = 166 cm), BRZU ($n = 15$; masa = 62 kg; visina = 168 cm) i KONTROLNU ($n = 15$; masa = 61 kg; visina = 168 cm). Neke od ispitanica aktivne su sportašice koje su trenirale i za vrijeme ove studije, ali to nije utjecalo na njihov raspored niti su se homogenizirale u nekoj od skupina. Nije bilo statistički značajnih razlika u tjelesnoj masi, visini i postotku masti na početku eksperimenta ($p > 0,05$).

Ispitanice nisu bile upućene u fenomen KTU ni upoznate s eksplicitnim ciljevima istraživanja, a svoje sudjelovanje u istraživanju potvrdile su pisanim pristankom. Istraživanje je u potpunosti provedeno u skladu s Helsinškom deklaracijom i Oviedskom konvencijom. Eksperimentalni protokol potvrdilo je Povjerenstvo za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

¹ Istraživanje Willemsa i sur. (2002.) pokazalo je da nema statistički značajnih razlika između skupina ispitanika bez povijesti ozljeđivanja nogu u zadnje dvije te zadnjih tri do pet godina u jakosti i ravnoteži, stoga se pretpostavlja kako je razdoblje od dvije godine bez ozljeda nogu odgovarajuće za ovo istraživanje.

Na temelju statističke snage od 80%, pogreške od 5% i minimalne praktično značajne veličine učinaka u zavisnim varijablama od 0,5 SD, utvrđeno je da bi u svakoj skupini trebalo biti 12 ispitanica (Cohen, 1988.). Uzimajući u obzir mogućnost odustajanja ispitanica tijekom realizacije istraživanja, u istraživanje je uključeno 15 ispitanica po skupini.

3.3. Uzorak varijabli

Svim ispitanicama izmjerene su osnovne antropometrijske mjere (tjelesna visina, tjelesna masa i postotak masnog tkiva), sposobnost jednonožne ravnoteže, jakost mišića fleksora i ekstenzora koljena te plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba. Izuzev tjelesne visine, sve navedene varijable mjerene su u dvije vremenske točke, tj. u inicijalnom i finalnom stanju.

Inicijalno mjerenje obavljeno je prije, a finalno nakon provedenog 4-tjednog eksperimentalnog tretmana. Sva antropometrijska mjerenja te sva mjerenja jakosti i ravnoteže proveli su isti educirani mjerioci.

3.3.1. Antropometrijski testovi

Osnovni antropometrijski testovi utvrđeni su prema standardiziranom postupku koji je preporučio Međunarodni biološki program (Mišigoj i sur., 2008.):

- Tjelesna visina (TV) testirana je antropometrom po Martinu (GPM, Švicarska) s točnošću od 0,5 cm. Ispitanice su stajale na ravnoj podlozi, težina tijela bila je jednako raspoređena na obje noge, ramena relaksirana, pete spojene, a glava postavljena u položaj tzv. frankfurtske horizontale.
- Tjelesna masa (TM) mjerila se medicinskom vagom s pomičnim utegom (točnost 0,1 kg), a ispitanice su bile odjevene u gaćice i grudnjak.

- Postotak tjelesne masti (BF) izmjeren je pomoću Omron HBF-306 analizatora sastava tijela (OMRON, Matsusaka Co.Ltd., Japan), koji određuje sastav tijela na principu bioelektrične impedancije.

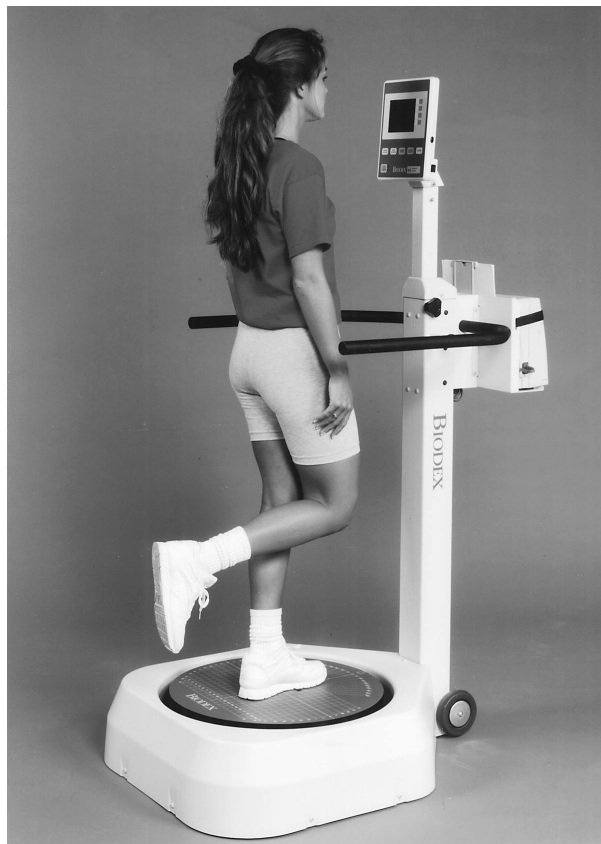
3.3.2. Testiranje ravnoteže

U ovom istraživanju dinamička ravnoteža pri stajanju na jednoj nozi procijenjena je primjenom komercijalno dostupnog elektroničkog sustava Biodex Stability System (BSS) (Biodex Corporation, Shirley, New York, SAD). BSS koristi kružnu platformu koja se slobodno kreće u anterioposteriornoj i mediolateralnoj ravnini istovremeno. Sustav omogućava promjenu stabilnosti platforme računalnim prilagođavanjem otpora koji pružaju posebne opruge ugrađene u platformu (Arnold i Schmitz, 1998.). Rezultat mjerenja ravnoteže (indeksi stabilnosti) predstavljaju standardnu devijaciju (varijabilitet) odstupanja nagiba platforme od horizontalne osi, i to u anterioposteriornoj ravnini, mediolateralnoj ravnini istovremeno te u objema ravninama istovremeno. Za potrebe ovog istraživanja koristit će se sveukupni indeks ravnoteže, tj. onaj koji ravnotežu promatra istovremeno u anterioposteriornoj i mediolateralnoj ravnini.

Navedeni sustav do sada je korišten u brojnim prethodnim istraživanjima (Arnold, 1998., Paterno i sur., 2004., Rein i sur., 2010.a, Rein i sur., 2010.b itd.) za procjenu ravnoteže osoba različite dobi, spola i razine tjelesne aktivnosti. Pouzdanost sustava, izražen koeficijentom varijacije, iznosi 5% (Schmitz i Arnold, 1998.).

3.3.2.1. Opis protokola testiranja „ukupnog indeksa ravnoteže“

- mjerni instrument: BSS, računalno kontrolirana pokretna platforma (slika 2)
- naziv testa: Ravnoteža – sveukupni indeks ravnoteže
- razina stabilnosti testa: 5
- vrijeme rada: procjena ukupnog trajanja testa za jednu ispitanicu iznosi 3 minute
- broj ispitivača: 1 ispitivač



Slika 2. Testiranje ravnoteže na računalno kontroliranoj kružnoj platformi (*Biodex Stability System*)

- Početni stav ispitanika: Držeći se za ručke, ispitanica staje na kružnu platformu. Mjeritelj objašnjava zadatak. Ispitanica silazi s platforme. Potom ispitanica opet staje na kružnu platformu te sama bira položaj stopala na platformi. Ispitivač unosi koordinate položaja stopala koje je ispitanica odabrala, dob, masu, visinu ispitanice i razinu stabilnosti na

kojoj se test radi. U ovom istraživanju razina stabilnosti iznosi 5. Ispitanica izvodi jedan probni pokušaj. Silazi s platforme. Ponovo se penje na platformu. Ispitivač unosi koordinate položaja stopala koje je ispitanica odabrala.

- Izvođenje zadatka: Kada ispitanica bude spremna, odmakne ruke od rukohvata, a ispitivač pritišće tipku „start“ i zadatak počinje. Zadatak traje 20 sekundi. Svaka je noga testirana 3 puta kao i u prethodnim studijama koje su koristile *Biodex Stability System* (Arnold, 1998., Paterno i sur., 2004., Rein i sur., 2010.a, Rein i sur., 2010.b itd.).

3.3.3. Testiranje jakosti donjih ekstremiteta

Testiranje jakosti ekstenzora i fleksora koljenog zgloba te jakosti plantarnih i dorzalnih fleksora provedeno je na *Biodex System 3* (Biodex Corporation, Shirley, New York, SAD) izokinetičkom dinamometru (slika 3). Pouzdanost sustava, izražena koeficijentom varijacije, iznosi 3% (Drouin, 2004.).



Slika 3. Izokinetički dinamometar (*Biodex System 3*)

3.3.3.1. Opis protokola testiranja jakosti donjih ekstremiteta

Prije početka testiranja provodio se standardni postupak zagrijavanja koji se sastojao od vožnje bicikla (5 minuta), dinamičkog istezanja (3 – 5 minuta) te tri submaksimalne i jedne maksimalne koncentrične kontrakcije na izokinetičkom dinamometru.

Sva mjerenja jakosti ekstenzora i fleksora koljenog zgloba izvela su se iz sjedećeg položaja s prosječnim kutom trupa i natkoljenica od 85° . Trake za stabilizaciju bile su postavljene preko trupa, kukova i distalnog dijela natkoljenice testirane noge. Tijekom čitave procedure izokinetičkog testiranja ispitanice su držale ruke prekrižene na prsima. Također, za vrijeme testiranja ispitanicama su dane upute da sve rade sa 100%-tnim naporom te im je uvijek prvo bila testirana dominantna noga. Dominantnom se nogom tretirala ona noga za koju su ispitanice odgovorile da bi njome udarile loptu. Na ovaj način dominantnost noge utvrđivala se i u drugim studijama (npr. Weir i sur., 1997.).

Jakost **ekstenzora i fleksora koljena** testirana je koncentrično koncentričnim kontrakcijama pri brzinama od $60^\circ/\text{s}$ i $180^\circ/\text{s}$ po 5 ponavljanja (slika 3). Ispitanice su sjedile fiksirane u stolcu s lateralnim kondilom femura u ravnini s osi rotacije dinamometra. Krak poluge individualno se postavljao, dok je podložak za skočni zglob bio postavljen proksimalno medijalnom maleolusu. Procedura gravitacijske korekcije bila je primijenjena prema direktnim mjerama nogu na krakovima poluge pri kutu nožne ekstenzije od 30° . Opseg pokreta kretao se od 90° do 10° nožne ekstenzije. Zavisna varijabla bila je vršni moment sile. Izmjerena je pri svakoj od testiranih kutnih brzina. Prilikom mijenjanja kutnih brzina ispitanice su se odmarale jednu minutu.

Jakost **plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba** testirana je koncentrično koncentričnim kontrakcijama pri brzinama od $30^\circ/\text{s}$ i $60^\circ/\text{s}$ i to s po 5 ponavljanja. Ispitanice su sjedile u stolcu s lagano savijenom nogom. Stopalo je bilo postavljeno na poseban držač za stopalo te fiksiran dvjema trakama. Zglob je bio u ravnini s osi dinamometra. U početnoj poziciji skočni zglob bio je postavljen u neutralan položaj, tj. oko 90° , a s početkom testiranja ispitanice su izvodile svoj maksimalni opseg pokreta.

Ukupno je tijekom testiranja jakosti izmjereno 16 varijabli jakosti:

1. KE-NT-60 (koljeno – ekstenzija – netrenirana – 60°/s)
2. KE-T-60 (koljeno – ekstenzija – trenirana – 60°/s)
3. KF-NT-60 (koljeno – fleksija – netrenirana – 60°/s)
4. KF-T-60 (koljeno – fleksija – trenirana – 60°/s)

5. KE-NT-180 (koljeno – ekstenzija – netrenirana – 180°/s)
6. KE-T-180 (koljeno – ekstenzija – trenirana – 180°/s)
7. KF-NT-180 (koljeno – fleksija – netrenirana – 180°/s)
8. KF-T-180 (koljeno – fleksija – trenirana – 180°/s)

9. PF-NT-30 (plantarna fleksija – netrenirana – 30°/s)
10. PF-T-30 (plantarna fleksija – trenirana – 30°/s)
11. DF-NT-30 (dorzalna fleksija – netrenirana – 30°/s)
12. DF-T-30 (dorzalna fleksija – trenirana – 30°/s)

13. PF-NT-60 (plantarna fleksija – netrenirana – 60°/s)
14. PF-T-60 (plantarna fleksija – trenirana – 60°/s)
15. DF-NT-60 (dorzalna fleksija – netrenirana – 60°/s)
16. DF-T-60 (dorzalna fleksija – trenirana – 60°/s)

3.4. Eksperimentalni plan

Ispitanice su podijeljene u tri skupine: dvije eksperimentalne i jednu kontrolnu skupinu. Prva eksperimentalna skupina zvala se SPORA, a druga eksperimentalna skupina zvala se BRZA.

KONTROLNA skupina sastojala se od 15 zdravih, tjelesno aktivnih studentica. Kontrolna skupina tijekom cijelog eksperimenta nije provodila nikakav sustavni trenažni program.

SPORA eksperimentalna skupina sastojala se od 15 zdravih, tjelesno aktivnih studentica. Ova je skupina provodila 4-tjedni (3 x tjedno) progresivni program treninga jakosti nedominantne noge na izokinetičkom dinamometru. Korištene su recipročne koncentrične kontrakcije ekstenzora i fleksora koljenog zgloba te plantarnih i dorzalnih fleksora pri manjim brzinama. Koljeni zglob treniran je pri brzini od $60^{\circ}/s$, a skočni zglob pri brzini od $30^{\circ}/s$.

BRZA eksperimentalna skupina sastojala se od 15 zdravih, tjelesno aktivnih studentica. Ova je skupina provodila 4-tjedni (3 x tjedno) progresivni program treninga jakosti nedominantne noge na izokinetičkom dinamometaru. Korištene su recipročne koncentrične kontrakcije ekstenzora i fleksora koljenog zgloba te plantarnih i dorzalnih fleksora pri većim brzinama. Koljeni zglob treniran je pri brzini od $180^{\circ}/s$, a skočni zglob pri brzini od $60^{\circ}/s$.

Ispitanice iz eksperimentalnih skupina trenažni su program izvodile na nedominantnoj nozi.

Globalni plan eksperimenta prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. *Globalni plan provedenog eksperimenta*

Inicijalno testiranje 1 tjedan	4 tjedna treninga 3 x tjedno	Finalno testiranje 1 tjedan
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

Inicijalno i finalno testiranje obuhvatilo je sve definirane testove za procjenu odabranih morfoloških obilježja te dimenzija jakosti i ravnoteže. U analizu je, uz 15 ispitanica iz kontrolne skupine, ušlo i svih 30 ispitanica iz eksperimentalnih skupina jer su u potpunosti obavile inicijalno i finalno testiranje te odradile minimalno 10 od ukupno 12 trenažnih jedinica.

Dosadašnja istraživanja (Signorille i sur., 2005.) i pilot-mjerenja pokazala su kako izvedba jedne serije koncentrične ekstenzije/fleksije u koljenu s 5 ponavljanja pri brzini od 60°/s odgovara po volumenu (obavljenom radu) izvedbi jedne serije koncentrične ekstenzije/fleksije u koljenu sa 7 ponavljanja pri brzini od 180°/s. Za skočni zglobova ova analogija znači da izvedba 5 koncentričnih kontrakcija plantarne/dorzalne fleksije pri brzini od 30°/s odgovara po volumenu izvedbi 6 koncentričnih kontrakcija plantarne/dorzalne fleksije pri brzini od 60°/s. Na taj je način izjednačen volumen rada u SPOROJ i BRZOJ eksperimentalnoj skupini. Volumen treninga tijekom 4-tjednog tretmana progresivno se povećavao dominantno povećavajući broj serija s dvije (prvi trening), preko tri (2. do 5. trening), sve do četiri serije (6. do 12. trening).

U tablici 3 vidi se detaljan prikaz plana treninga eksperimentalnih skupina tijekom 4-tjednog tretmana.

Tablica 3. Program rada eksperimentalnih skupina po tjednima i treninzima

Tjedan	Trening u tjednu	Eksperimentalna skupina	Koljeni zglob		Skočni zglob	
			Broj serija	Broj ponavljanja	Broj serija	Broj ponavljanja
1	1	Spora	2	5	2	5
		Brza	2	7	2	6
	2	Spora	3	5	3	5
		Brza	3	7	3	6
	3	Spora	3	5	3	5
		Brza	3	7	3	6
2	1	Spora	3	6	3	6
		Brza	3	8	3	7
	2	Spora	3	6	3	6
		Brza	3	8	3	7
	3	Spora	3	6	3	6
		Brza	3	8	3	7
3	1	Spora	4	5	4	5
		Brza	4	7	4	6
	2	Spora	4	5	4	5
		Brza	4	7	4	6
	3	Spora	4	5	4	5
		Brza	4	7	4	6
4	1	Spora	4	6	4	6
		Brza	4	8	4	7
	2	Spora	4	6	4	6
		Brza	4	8	4	7
	3	Spora	4	6	4	6
		Brza	4	8	4	7
5	1	Spora	Odmor	-	Odmor	-
		Brza	Odmor	-	Odmor	-
	2	Spora	Odmor	-	Odmor	-
		Brza	Odmor	-	Odmor	-
	3	Spora	Testiranje	-	Testiranje	-
		Brza	Testiranje	-	Testiranje	-

3.5. Metode obrade podataka

Rezultati su obrađeni programskim paketom *Statistica for Windows*, ver 7.0. Za sve zavisne varijable u svim mjerenjima izračunate su aritmetička sredina (AS) i standardna devijacija (SD). Razlike u masi, visini, postotku masti i ravnoteži dominantne i nedominantne noge između skupina utvrđene su na početku eksperimenta univarijatnom analizom varijance.

Razlike u varijablama jakosti između skupina na početku eksperimenta utvrđene su multivarijatnom analizom varijance (posebno za dominantnu i nedominantnu nogu).

Promjene u zavisnim varijablama između inicijalnog i finalnog mjerenja u svakoj skupini analizirane su t-testom za zavisne uzorke. Razlike u veličini promjena (varijable razlika) u svim zavisnim varijablama između skupina analizirane su multivarijatnom analizom varijance i serijom univarijatnih analiza varijanci. U slučaju da su utvrđene statistički značajne univarijatne razlike između skupina u zavisnim varijablama, parovi su uspoređeni *Tukey* testom.

Konačno, povezanost između varijabli jakosti donjih ekstremiteta i ravnoteže utvrđena je stupnjevitom multiplom regresijskom analizom („Backward“ model). Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Rezultati su prikazani logičkim redoslijedom, odnosno redoslijedom postavljenih hipoteza.

4.1. Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

Prije predstavljanja rezultata istraživanja vezanih uz ipsilateralne i kontralateralne učinke izokinetičkog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta, treba naglasiti kako niti jedna od eksperimentalnih skupina nije zabilježila statistički značajne promjene u tjelesnoj masi ($p > 0,2$) kao ni u postotku tjelesne masti ($p > 0,05$). Ta je spoznaja važna jer sugerira da su moguće promjene u mišićnoj jakosti prije svega rezultat živčane (a ne mišićne) prilagodbe.

4.1.1. Ipsilateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

Rezultati MANOVA-e pokazali su kako nema statistički značajnih multivarijatnih razlika u varijablama jakosti mišića trenirane (nedominantne) noge između analiziranih skupina u inicijalnom mjerenju (Wilks Lambda = 0,61, $F = 1,23$, $p = 0,27$). Stoga se razlike u veličini učinaka pojedinih tretmana između skupina mogu pripisati upravo razlikama u tretmanu.

Tablica 4 predstavlja prosječne rezultate (SD) ispitanika u SPOROJ, BRZOJ i KONTROLNOJ skupini za sve varijable jakosti trenirane (nedominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti (standardne devijacije; SD) ispitanika u svakoj od skupina za sve varijable jakosti trenirane (nedominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju. T-test inicijalnog i finalnog stanja po skupinama (razina statističke značajnosti: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

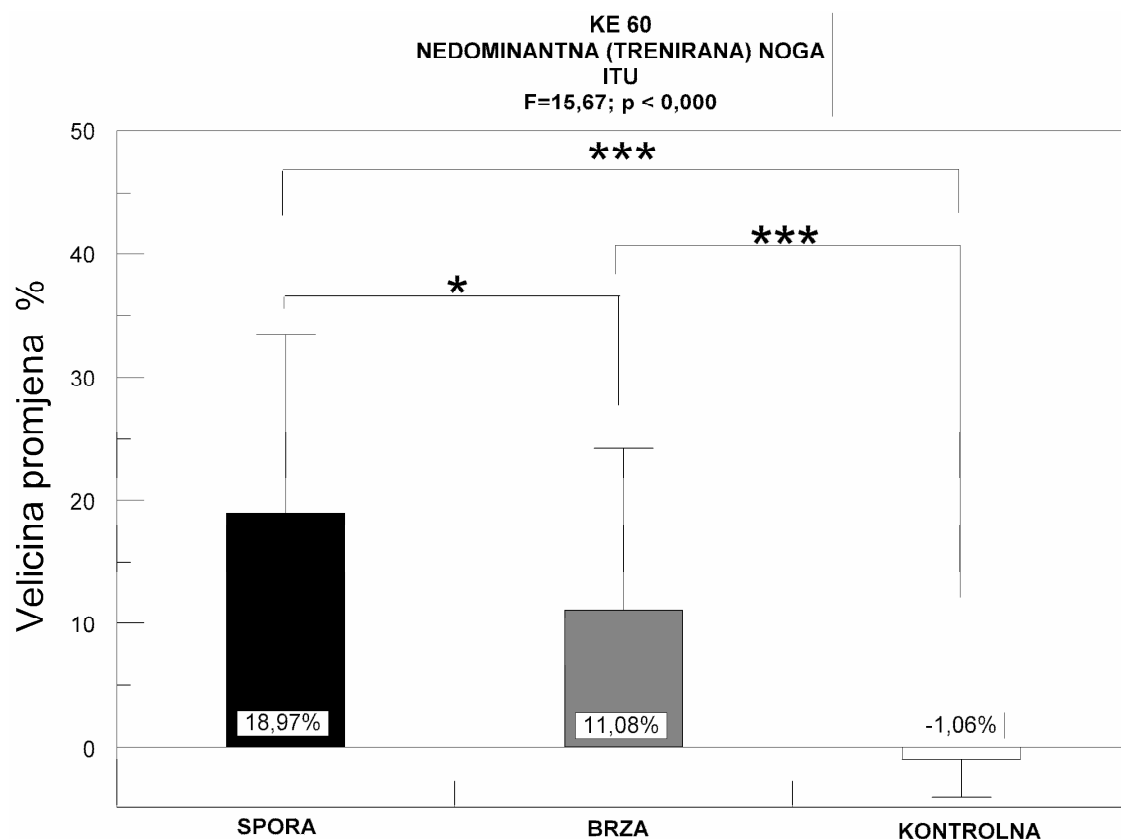
TRENIRANA NOGA	SPORA INICIJAL.	SPORA FINAL.	BRZA INICIJAL.	BRZA FINAL.	KON INICIJAL.	KON FINAL.
KE-T-60	140,85 (34,95)	167,57*** (31,59)	146,98 (20,44)	163,27 ** (22,74)	143,89 (29,36)	142,37 (28,35)
KF-T-60	73,25 (20,12)	91,87*** (16,20)	79,66 (17,51)	91,44*** (15,12)	77,84 (17,04)	77,38 (16,18)
KE-T-180	93,63 (18,34)	114,08*** (18,77)	100,87 (15,11)	116,98*** (15,57)	95,19 (19,08)	93,32 (19,17)
KF-T-180	57,35 (20,40)	68,23*** (19,24)	59,58 (13,07)	74,85*** (10,76)	59,03 (12,49)	58,58 (11,71)
PF-T-30	87,87 (17,03)	109,66*** (21,21)	91,88 (22,90)	114,54*** (20,62)	78,74 (24,95)	79,53 (22,89)
DF-T-30	35,09 (9,74)	49,62*** (11,73)	28,86 (9,59)	40,03*** (10,07)	32,76 (8,71)	32,61 (7,80)
PF-T-60	76,90 (12,19)	95,13*** (15,45)	84,79 (19,33)	104,10*** (14,20)	80,75 (18,28)	82,41 (16,87)
DF-T-60	31,77 (9,19)	41,68*** (7,82)	29,76 (7,89)	41,50*** (9,39)	32,77 (6,86)	32,33 (6,76)

Legenda: KE-T-60: koljeno – ekstenzija – trenirana – $60^\circ \cdot s^{-1}$; KF-T-60: koljeno – fleksija – trenirana – $60^\circ \cdot s^{-1}$; KE-T-180: koljeno – ekstenzija – trenirana – $180^\circ \cdot s^{-1}$; KF-T-180: koljeno – fleksija – trenirana – $180^\circ \cdot s^{-1}$; PF-T-30: plantarna fleksija – trenirana – $30^\circ \cdot s^{-1}$; DF-T-30: dorzalna fleksija – trenirana – $30^\circ \cdot s^{-1}$; PF-T-60: plantarna fleksija – trenirana – $60^\circ \cdot s^{-1}$; DF-T-60: dorzalna fleksija – trenirana – $60^\circ \cdot s^{-1}$.

Vidljivo je da je SPORA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala jakost svih analiziranih mišićnih skupina trenirane noge pri svim kutnim brzinama (tablica 4). Također je vidljivo da je i BRZA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala jakost svih analiziranih mišićnih skupina pri svim kutnim brzinama (tablica 4). Konačno, tablica 4 pokazuje da kod KONTROLNE skupine nije bilo statistički značajnih promjena u analiziranim varijablama jakosti trenirane noge između dvaju mjerenja.

Multivarijatna analiza varijance (MANOVA), provedena na varijablama razlika jakosti mišića trenirane (nedominantne) noge, pokazala je postojanje statistički značajne razlike među analiziranim skupinama (Wilks Lambda = 0,07, $F = 11,5$, $p < 0,001$). Serijom univarijatnih

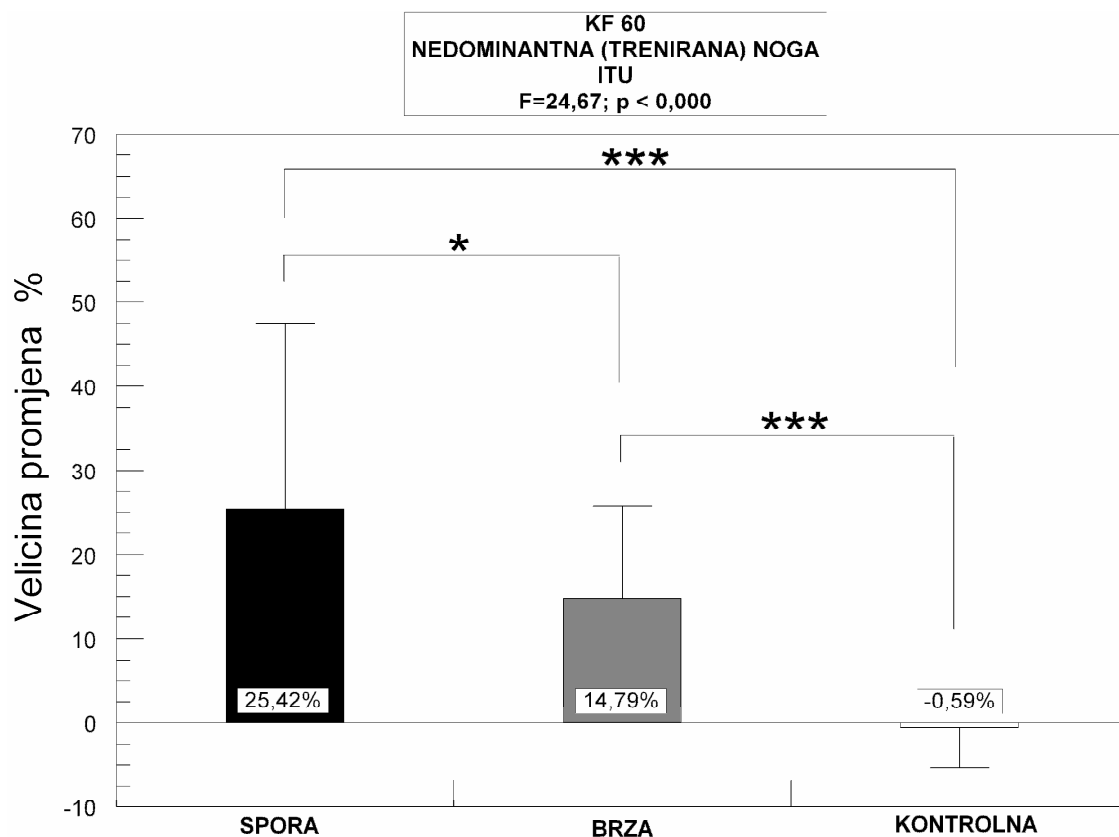
analiza varijance (ANOVA) utvrđene su statistički značajne razlike među analiziranim skupinama u veličini učinka za sve varijable jakosti nedominantne noge (slike 4 do 11). Kasnije usporedbe po parovima u svakoj ANOVA-i pokazale su kako su promjene jakosti nedominantne trenirane noge u svim varijablama statistički značajno različite između SPORE i KONTROLNE te između BRZE i KONTROLNE skupine. Veličine promjena jakosti nedominantne trenirane noge općenito nisu statistički značajno različite između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine (slike 6 do 11). Izuzeci su jedino varijable ekstenzije i fleksije koljena pri brzini od 60°/s, u kojima postoje statistički značajne razlike između BRZE i SPORE skupine (slike 4 i 5).



Slika 4. Veličina promjena (%) u jakosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KE 60

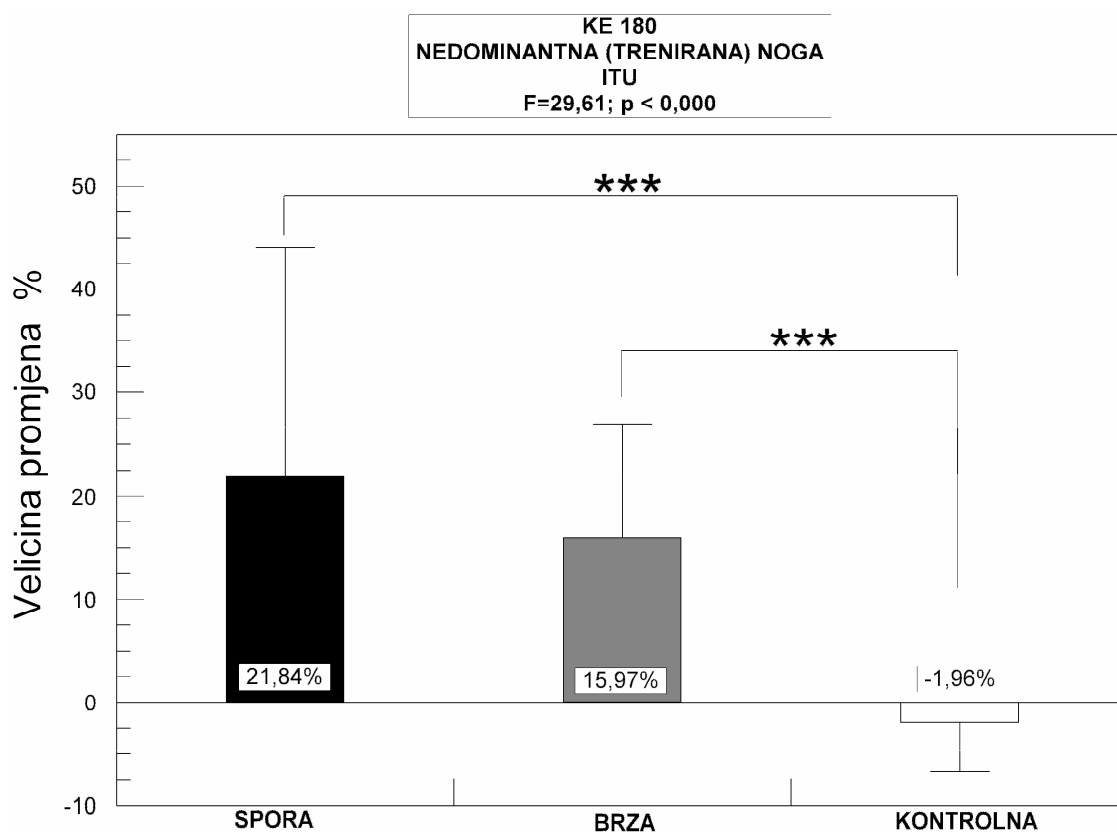
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 4 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KE 60-nedominantna (trenirana)** sa 140,85 Nm na 167,57 Nm (tablica 4) tj. za 19%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 146,98 Nm na 163,27 Nm tj. za 11,1%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je neznatan pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-1,06%). Također se uočava kako su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ u odnosu na BRZU i KONTROLNU skupinu. Promjene su također statistički značajno veće u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU.



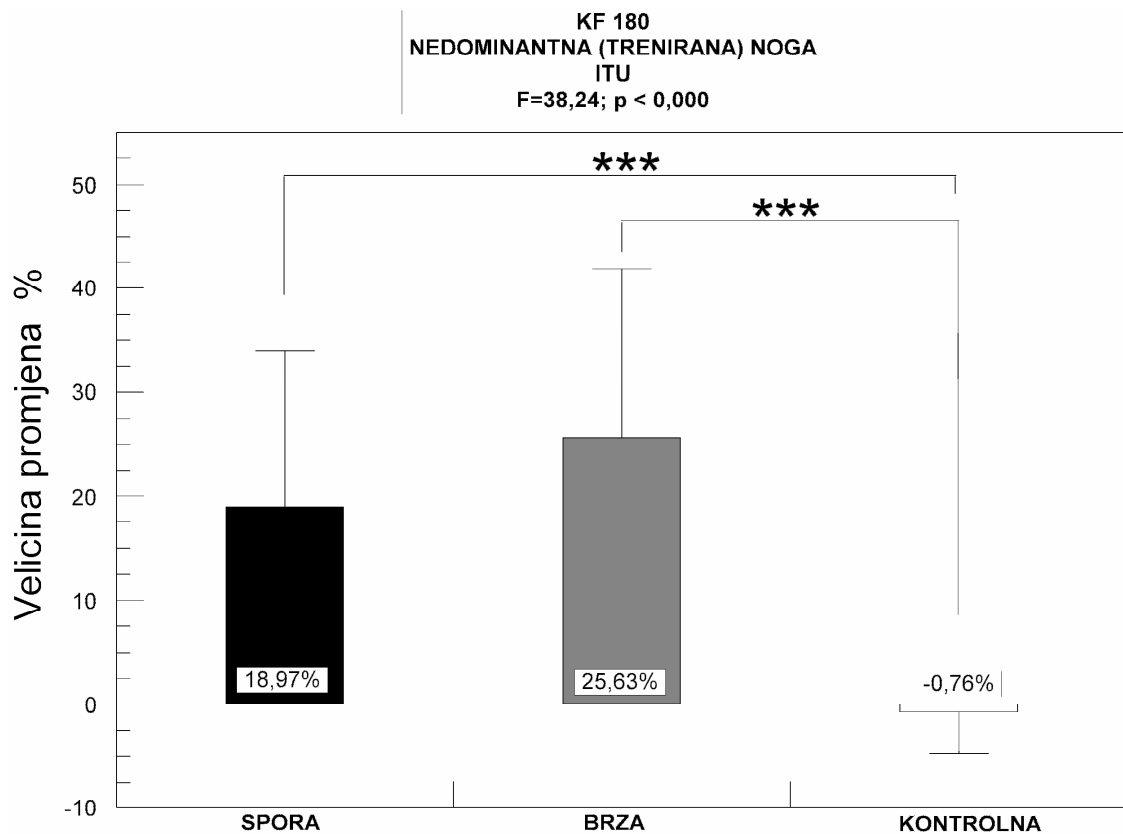
Slika 5. *Velicina promjena (%) u jakosti nedominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KF 60*
 (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 5 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KF 60-nedominantna (trenirana)** sa 73,25 Nm na 91,89 Nm tj. za 25,4%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 79,66 Nm na 91,44 Nm tj. za 14,8%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je neznatan pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,6%). Također se uočava da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na BRZU i KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU.



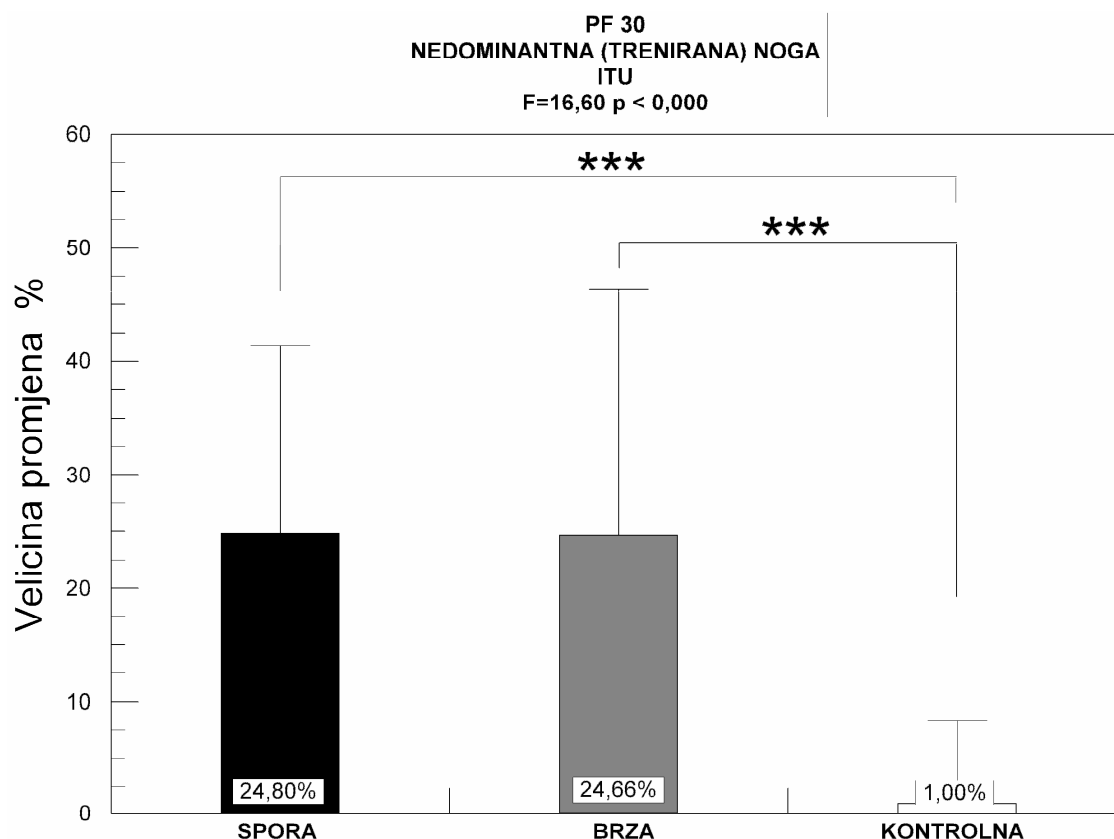
Slika 6. Veličina promjena (%) u jakosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KE 180
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 6 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KE 180-nedominantna (trenirana)** s 93,63 Nm na 114,08 Nm tj. za 21,8%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 100,87 Nm na 116,98 Nm tj. za 16%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-2%). Također se uočava kako su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



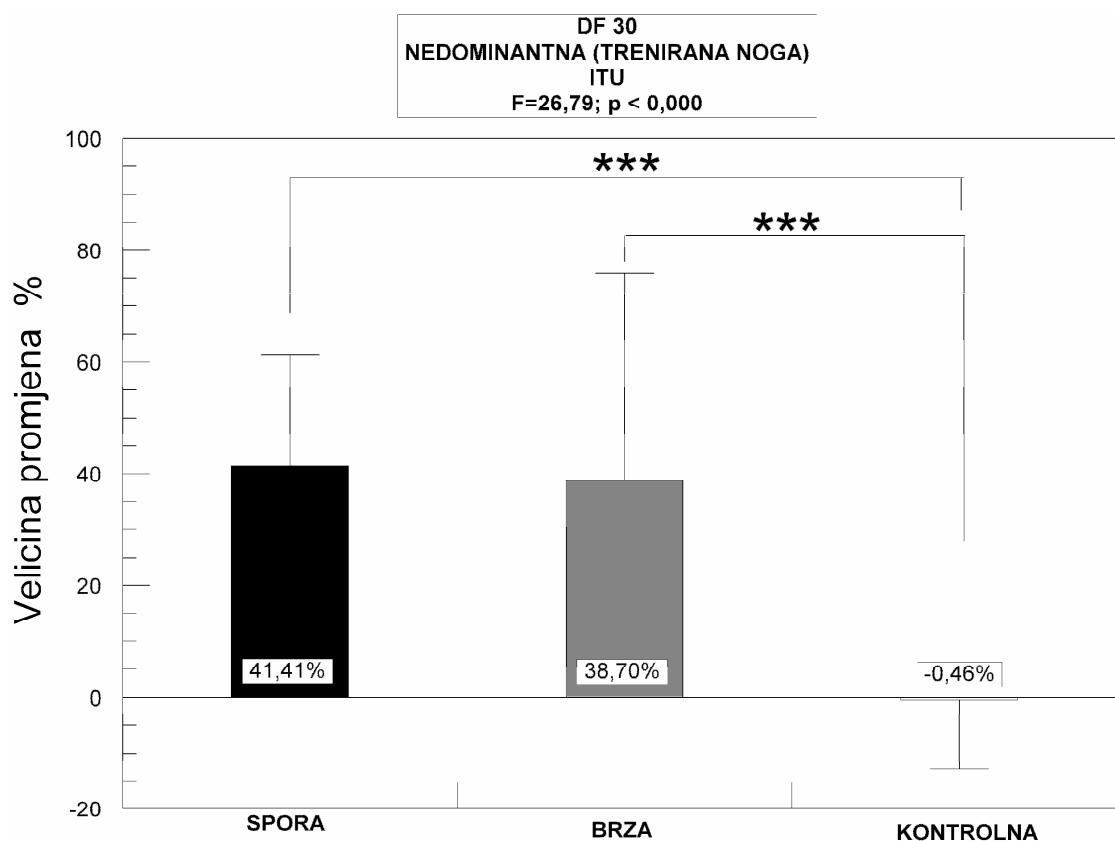
Slika 7. Veličina promjena (%) u jakosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KF 180
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 7 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KF 180-nedominantna (trenirana)** s 57,35 Nm na 68,23 Nm tj. za 19%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 59,58 Nm na 74,85 Nm tj. za 25,6%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,8%). Također se uočava da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



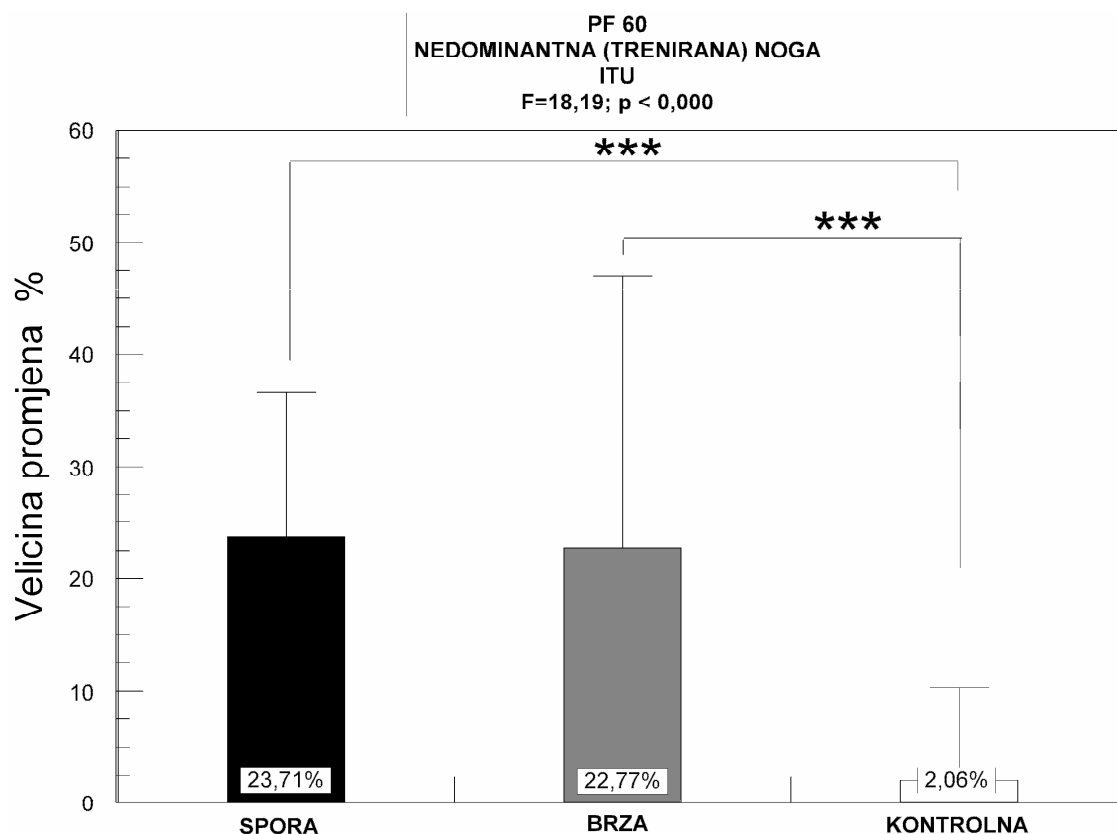
Slika 8. Veličina promjena (%) u jakosti nedominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli PF 30
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 8 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **PF 30-nedominantna (trenirana)** s 87,87 Nm na 109,66 Nm tj. za 24,8%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 91,9 Nm na 114,54 Nm tj. za 24,7%. Nije bilo bitnijih promjena kod KONTROLNE skupine u ovoj varijabli jakosti (1%). Uočava se i da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



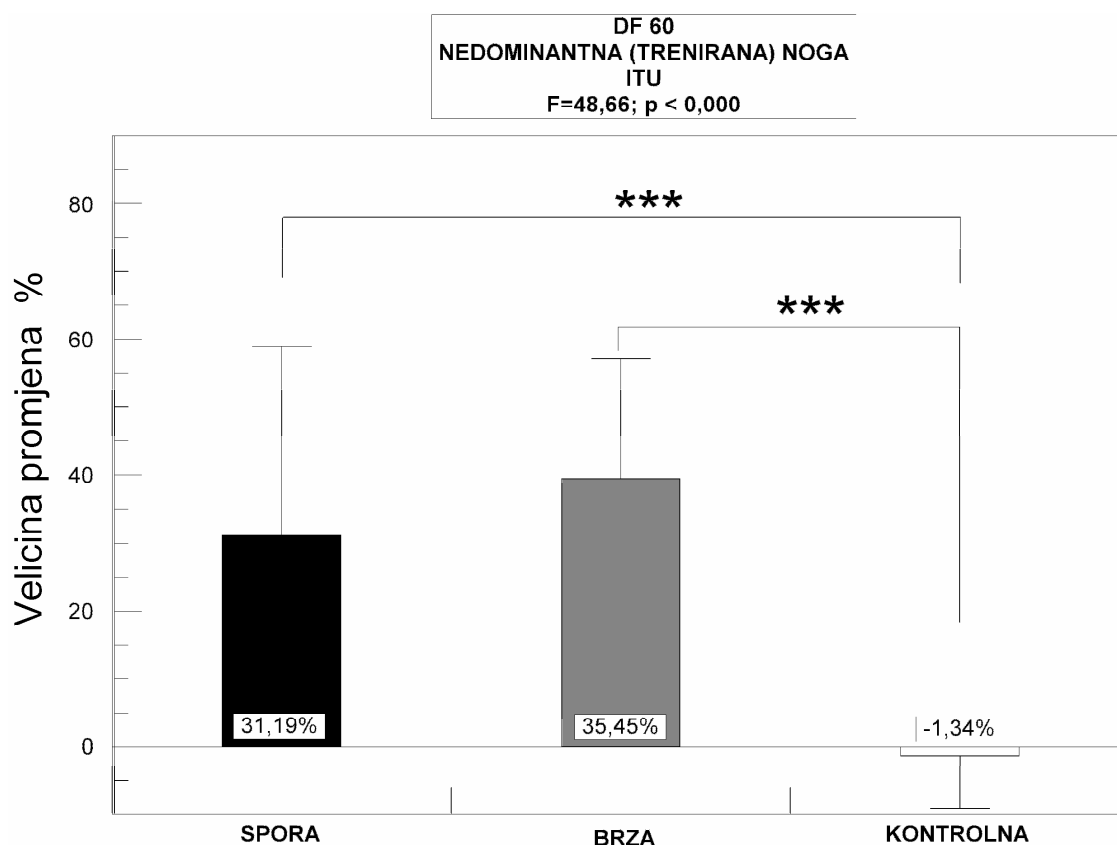
Slika 9. Veličina promjena (%) u jakosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli DF 30
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 9 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **DF 30-nedominantna (trenirana)** s 35,09 Nm na 49,62 Nm tj. za 41,4%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 28,86 Nm na 40,03 Nm tj. za 38,7%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,5%). Uočava se i da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



Slika 10. Veličina promjena (%) u akosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli PF 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 10 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **PF 60-nedominantna (trenirana)** sa 76,90 Nm na 95,13 Nm tj. za 23,7%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 84,79 Nm na 104,10 Nm tj. za 22,8%. Nije bilo bitnijih promjena kod KONTROLNE skupine u ovoj varijabli jakosti (2,1%). Uočava se i da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



Slika 11. Veličina promjena (%) u jakosti nedominante noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli DF 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 4 i sliku 11 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **DF 60-nedominantna (trenirana)** poboljšali s 31,77 Nm na 41,68 Nm tj. za 31,2%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 29,76 Nm na 41,50 Nm tj. za 35,2%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-1,3%). Uočava se i da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.

4.1.2. Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

Rezultati MANOVA-e pokazali su da nema statistički značajnih multivarijatnih razlika u varijablama jakosti mišića netrenirane (dominantne) noge između analiziranih skupina u inicijalnom mjerenju (Wilks Lambda = 0,63; $F = 1,45$; $p = 0,33$).

Tablica 5 predstavlja prosječne rezultate (SD) ispitanika u SPOROJ, BRZOJ i KONTROLNOJ skupini za sve varijable jakosti netrenirane (dominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju.

Tablica 5. Prosječne vrijednosti (standardne devijacije; SD) ispitanika u svakoj od skupina za sve varijable jakosti netrenirane (dominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju. T-test inicijalnog i finalnog stanja po skupinama (razina statističke značajnosti: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

NETRENIRANA NOGA	SPORA INICIJAL.	SPORA FINAL.	BRZA INICIJAL.	BRZA FINAL.	KON INICIJAL.	KON FINAL.
KE-NT-60	148,65 (31,15)	160,12** (30,28)	155,83 (19,43)	160,73 (18,67)	147,86 (29,10)	147,02 (27,89)
KF-NT-60	78,25 (18,82)	86,43*** (15,96)	83,33 (14,52)	87,93* (14,38)	80,62 (20,58)	80,05 (19,44)
KE-NT-180	95,81 (18,14)	104,63*** (16,51)	104,44 (14,46)	111,11*** (14,08)	99,17 (19,53)	97,77* (18,44)
KF-NT-180	56,72 (12,78)	62,07*** (11,12)	62,76 (13,13)	68,79*** (11,41)	61,55 (11,55)	61,11 (11,13)
PF-NT-30	91,85 (19,98)	102,59*** (20,78)	94,73 (15,61)	104,53*** (15,55)	89,79 (24,15)	89,45 (23,37)
DF-NT-30	37,11 (10,01)	42,91*** (11,67)	32,33 (10,21)	36,77** (10,11)	37,51 (9,51)	37,02 (8,97)
PF-NT-60	83,26 (16,59)	91,53*** (15,25)	92,68 (17,06)	100,78** (14,81)	79,87 (23,84)	80,03 (23,76)
DF-NT-60	32,58 (8,08)	37,25*** (8,25)	29,43 (8,46)	33,21** (8,32)	37,03 (13,06)	35,62* (12,33)

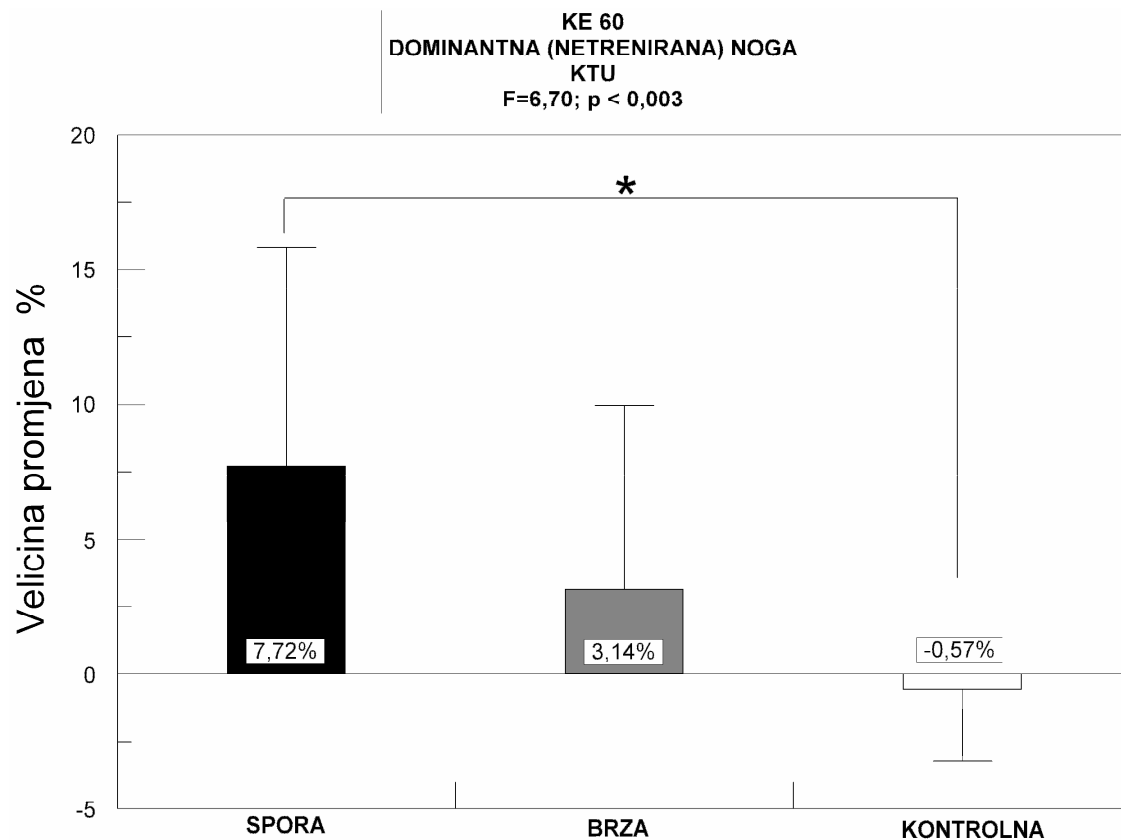
Legenda: KE-NT-60: koljeno – ekstenzija – netrenirana – $60^\circ \cdot s-1$; KF-NT-60: koljeno – fleksija – netrenirana – $60^\circ \cdot s-1$; KE –NT-180: koljeno – ekstenzija – netrenirana – $180^\circ \cdot s-1$; KF-NT-180: koljeno – fleksija – netrenirana – $180^\circ \cdot s-1$; PF-NT-30: plantarna fleksija – netrenirana – $30^\circ \cdot s-1$; DF-NT-30: dorzalna fleksija – netrenirana – $30^\circ \cdot s-1$; PF-NT-60: plantarna fleksija – netrenirana – $60^\circ \cdot s-1$; DF-NT-60: dorzalna fleksija – netrenirana – $60^\circ \cdot s-1$.

Vidljivo je da je netrenirana noga SPORE skupine u statistički značajnoj mjeri poboljšala jakost svih analiziranih mišićnih skupina pri svim kutnim brzinama (tablica 5). Također je vidljivo da je i BRZA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala jakost svih analiziranih

mišićnih skupina pri svim kutnim brzinama, osim jakosti ekstenzora koljenog zgloba pri brzini od 60°/s (tablica 5). Konačno, ista tablica pokazuje da kod KONTROLNE skupine nije bilo statistički značajnih promjena u analiziranim varijablama jakosti donjih ekstremiteta između dvaju mjerenja. Izuzetak su jakost ekstenzora koljenog zgloba pri brzini od 180°/s (tablica 5) te jakost dorzalnih fleksora pri brzini od 60°/s (tablica 5) kod kojih je zabilježen značajan pad rezultata u finalnom mjerenju u odnosu na inicijalno.

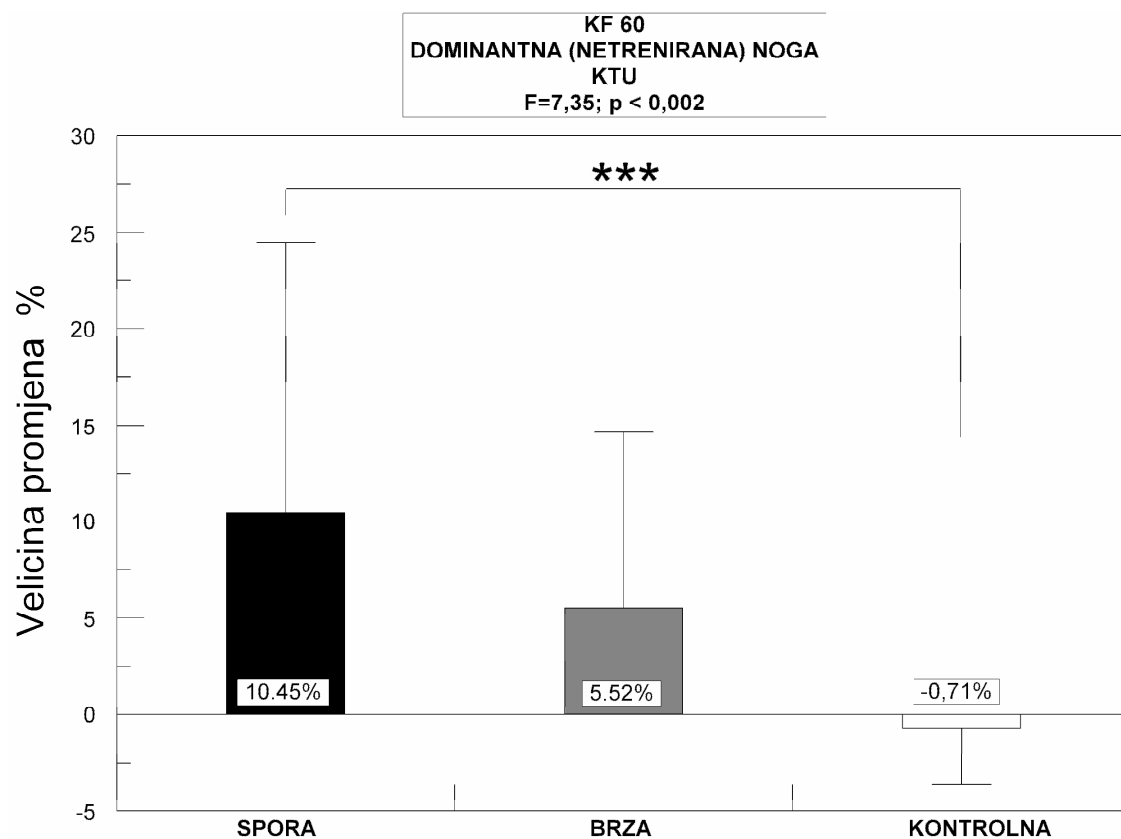
Multivarijatna analiza varijance (MANOVA), provedena na varijablama razlika jakosti mišića netrenirane (dominantne) noge, pokazala je postojanje statistički značajnih razlika između analiziranih skupina (Wilks Lambda = 0,23; $F = 4,8$; $p < 0,001$).

Serijom univarijatnih analiza varijance (ANOVA) utvrđene su statistički značajne razlike među analiziranim skupinama u veličini učinka za sve varijable jakosti netrenirane (dominantne) noge (slike 12 do 19). Kasnije usporedbe po parovima („*Tukey*“ testom) u svakoj ANOVA-i pokazale su da se promjene u jakosti netrenirane noge u svim varijablama statistički značajno razlikuju između SPORE i KONTROLNE skupine. Promjene u jakosti netrenirane noge također se statistički značajno razlikuju i između BRZE i KONTROLNE skupine. Izuzetak su jedino varijable ekstenzije i fleksije koljenog zgloba pri brzini od 60°/s (slike 12 i 13), gdje nema značajnih razlika između BRZE i KONTROLNE skupine. Također se može primijetiti da se veličine promjena u jakosti netrenirane noge statistički značajno ne razlikuju između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine (slike 12 do 19).



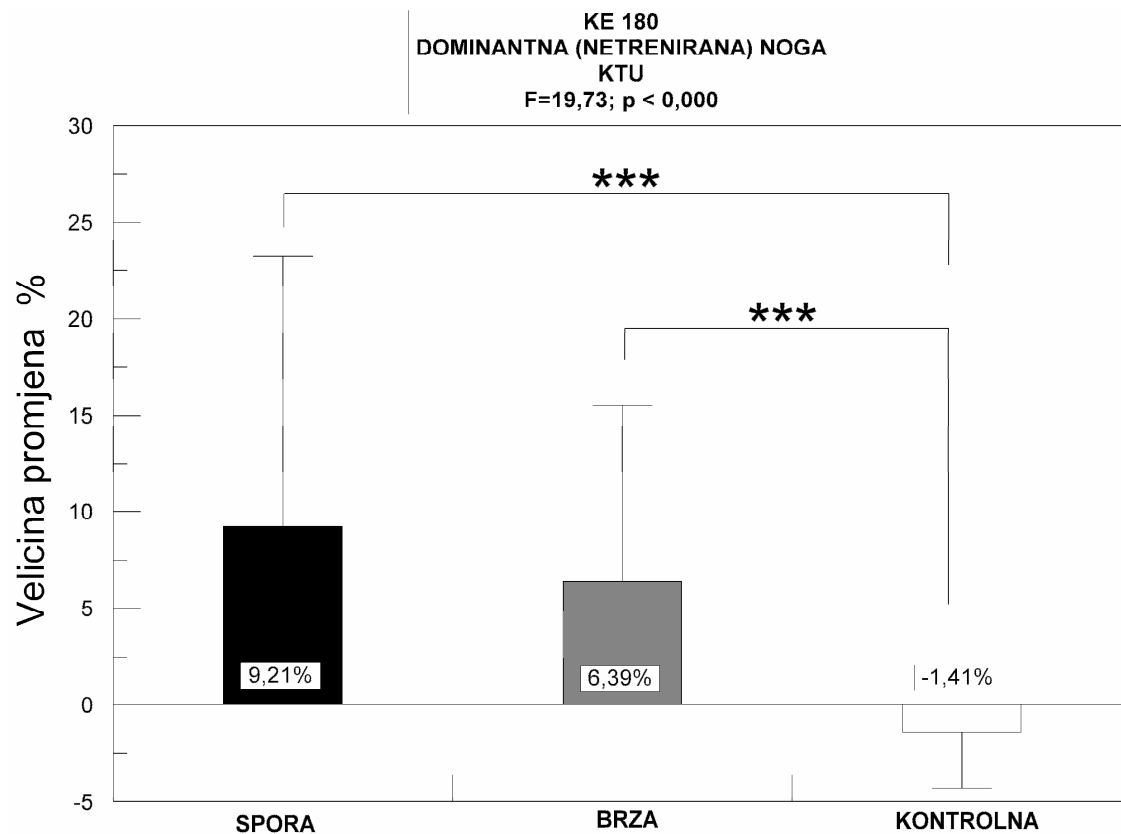
Slika 12. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KE 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 12 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KE 60-dominantna (netrenirana)** sa 148,65 Nm na 160,12 Nm tj. za 7,7%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 155,83 Nm na 160,73 Nm tj. za 3,1%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,6%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. U ovoj se varijabli može primijetiti kako ne postoje statistički značajne razlike veličini promjena između BRZE i KONTROLNE skupine. Također, ne postoje statistički značajne razlike u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine.



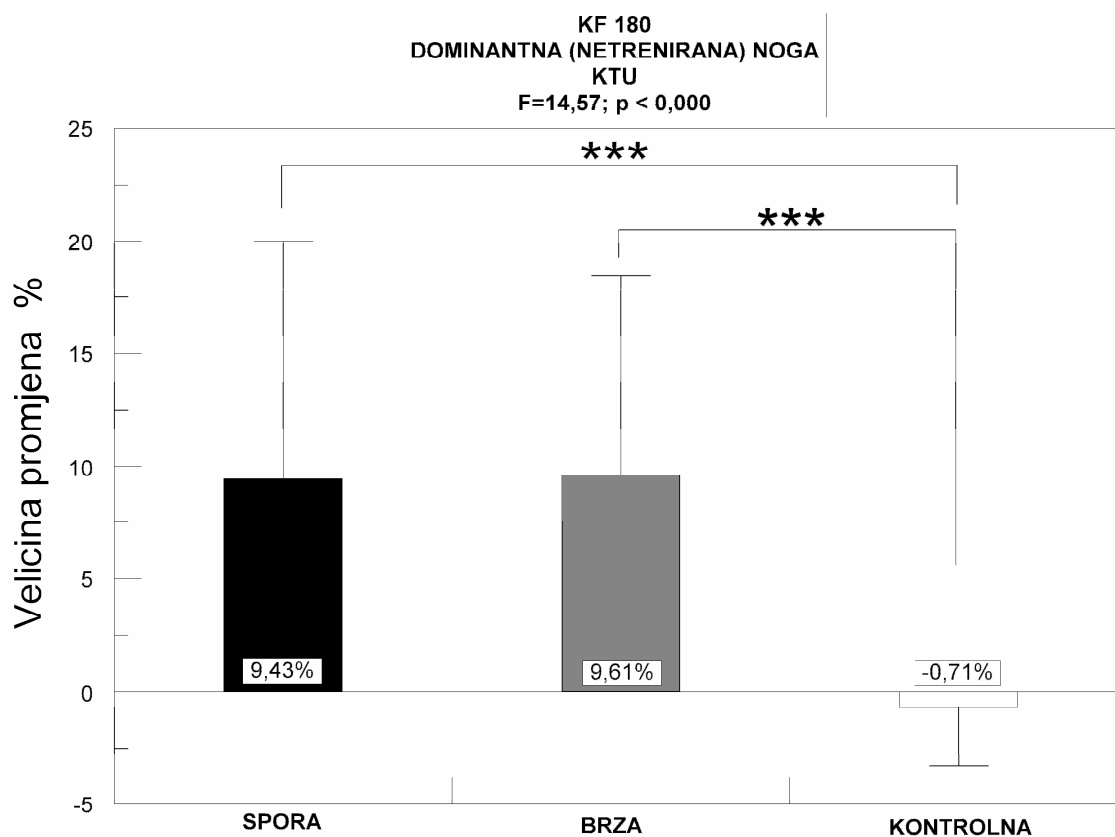
Slika 13. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KF 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 13 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KF 60-dominantna (netrenirana)** sa 78,25 Nm na 86,43 Nm tj. za 10,5%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 83,33 Nm na 87,93 Nm tj. za 5,5%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,7%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. U ovoj se varijabli može primijetiti kako ne postoje statistički značajne razlike između BRZE i KONTROLNE skupine. Također ne postoje statistički značajne razlike između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine.



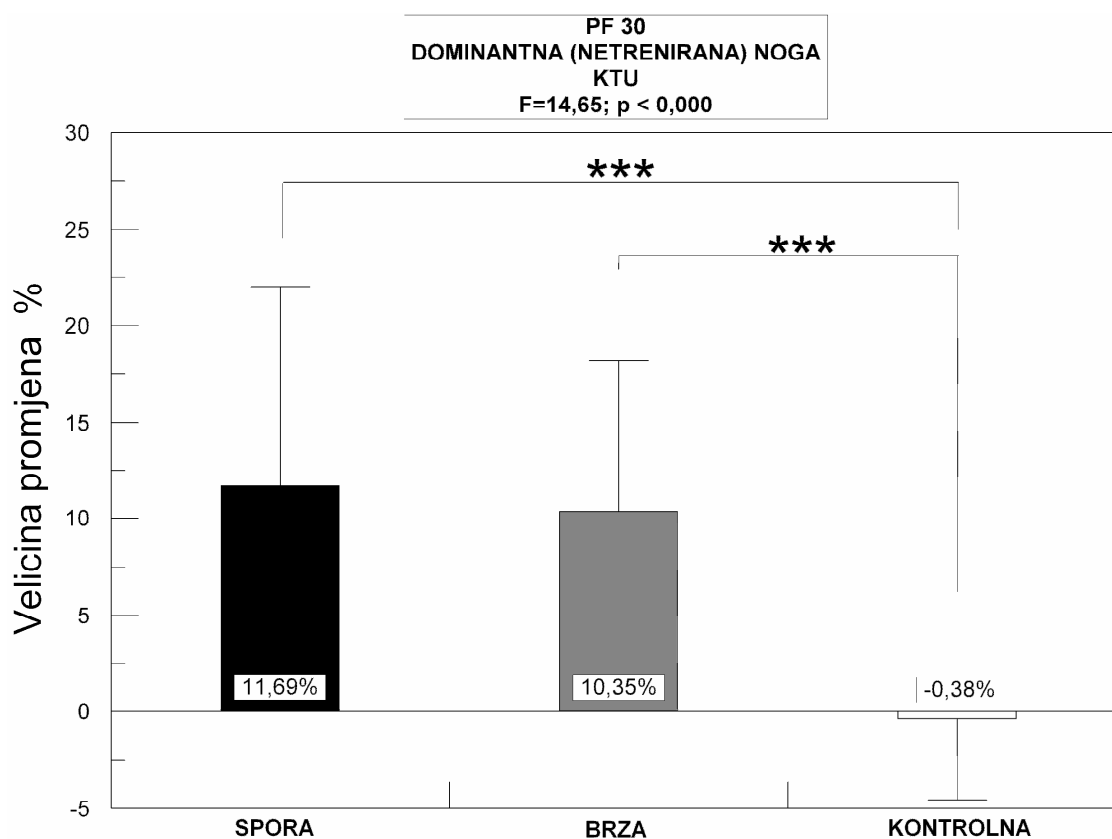
Slika 14. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KE 180
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 14 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KE 180-dominantna (netrenirana) noga** s 95,81 Nm na 104,63 Nm tj. za 9,2%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 104,44 Nm na 111,11 Nm tj. za 6,4%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-1,4%). Uočava se i da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



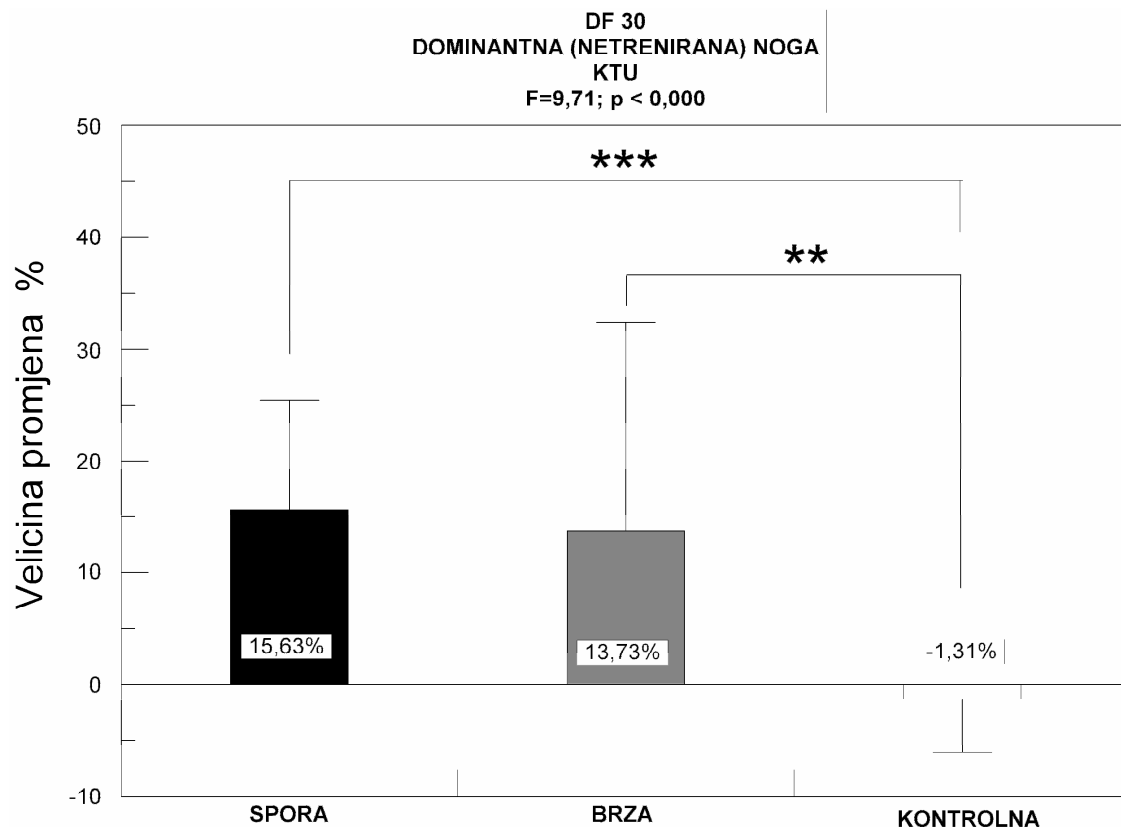
Slika 15. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli KF 180
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 15 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **KF 180-dominantna (netrenirana) noga** s 56,72 Nm na 62,76 Nm tj. za 9,4%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se sa 62,76 Nm na 68,79 Nm tj. za 9,6%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,7%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



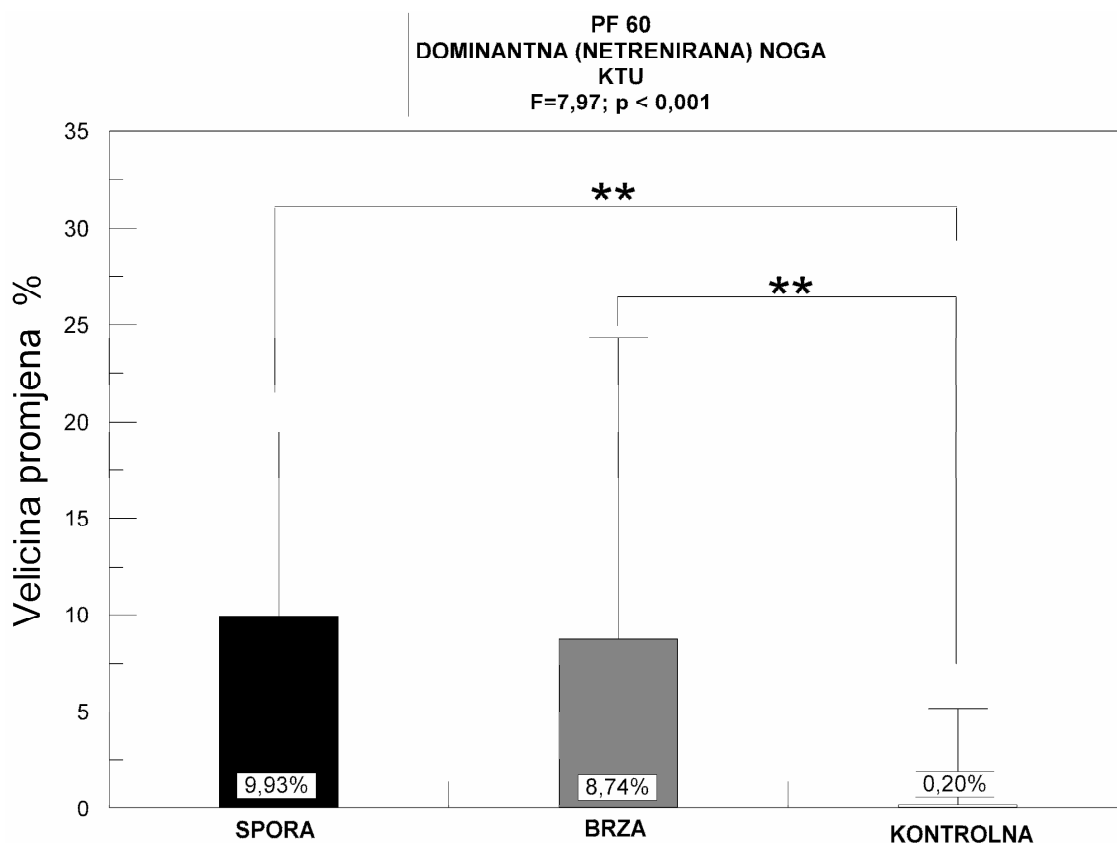
Slika 16. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli PF 30
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 16 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **PF 30-dominantna (netrenirana) noga** s 91,85 Nm na 102,59 Nm tj. za 11,7%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 94,73 Nm na 104,53 Nm tj. za 10,4%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-0,4%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



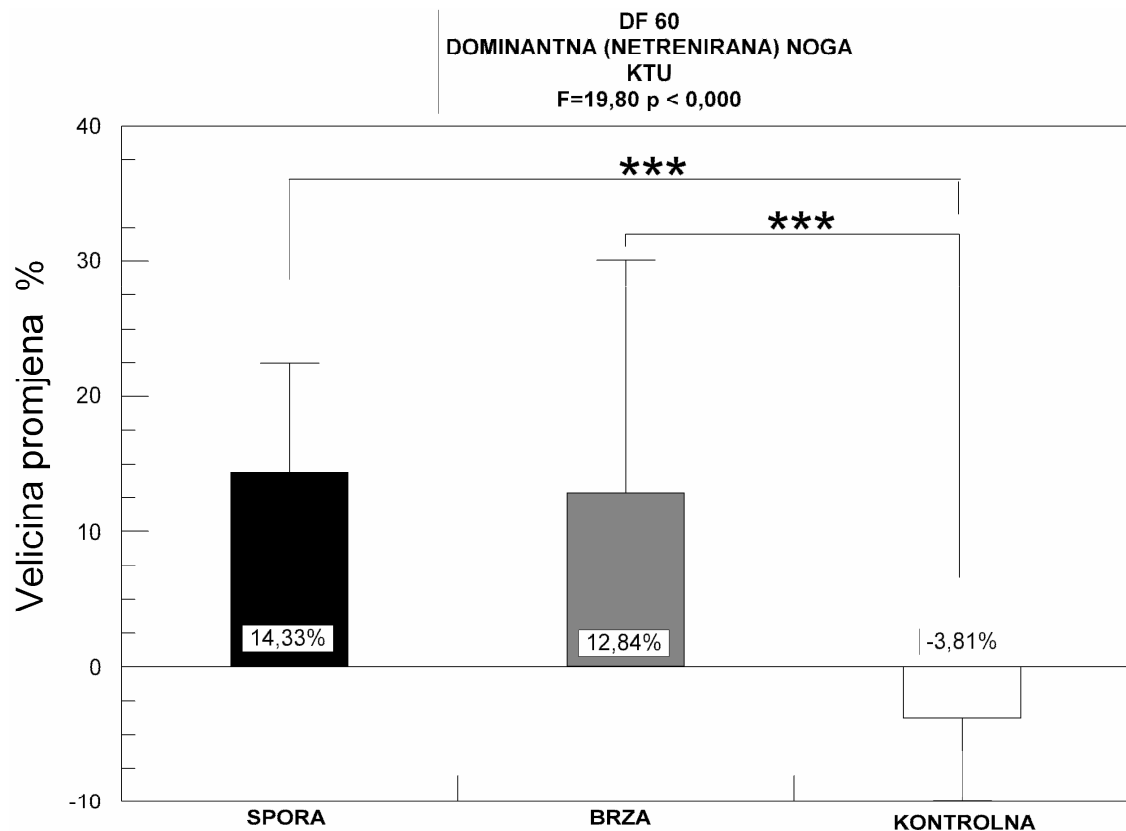
Slika 17. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli DF 30
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 17 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **DF 30-dominantna (netrenirana) noga** s 37,11 Nm na 42,91 Nm tj. za 15,6%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 32,33 Nm na 36,77 Nm tj. za 13,7%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je manji pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-1,3%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



Slika 18. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge u varijabli PF 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 18 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **PF 60-dominantna (netrenirana) noga** s 83,26 Nm na 91,53 Nm tj. za 9,9%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 92,68 Nm na 100,78 Nm tj. za 8,7%. Nije bilo bitnijih promjena kod KONTROLNE skupine u ovoj varijabli jakosti (0,2%). Promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički su značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.



Slika 19. Veličina promjena (%) u jakosti dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti dominantne noge u varijabli DF 60
(* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

Detaljnim uvidom u tablicu 5 i sliku 19 uočava se poboljšanje rezultata SPORE skupine u varijabli **DF 60-dominantna (netrenirana) noga** s 32,58 Nm na 37,25 Nm tj. za 14,3%. Rezultati BRZE skupine u ovoj varijabli poboljšali su se s 29,43 Nm na 33,21 Nm tj. za 12,8%. Kod KONTROLNE skupine zabilježen je pad rezultata u ovoj varijabli jakosti (-3,8%). Uočava se da su promjene u ovoj zavisnoj varijabli statistički značajno veće u SPOROJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Promjene su također statistički značajno veće i u BRZOJ skupini u odnosu na KONTROLNU. Nema statistički značajnih razlika u veličini promjena između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine u ovoj varijabli.

4.2. Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu

4.2.1. Ipsilateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu

Rezultati ANOVA-e pokazali su da nema statistički značajnih razlika u varijabli ravnoteže trenirane (nedominantne) noge između analiziranih skupina u inicijalnom mjerenju ($F = 0,82$, $p = 0,45$), stoga se eventualne razlike u veličini učinaka pojedinih tretmana između skupina mogu pripisati upravo razlikama u tretmanu. Tablica 6 predstavlja prosječne rezultate i SD ispitanika u SPOROJ, BRZOJ i KONTROLNOJ skupini za ravnotežu tijela stojeći na treniranoj (nedominantnoj) nozi u inicijalnom i finalnom mjerenju.

Tablica 6. Prosječne vrijednosti (standardne devijacije; SD) ispitanika u BRZOJ, SPOROJ i KONTROLNOJ skupini u ravnoteži trenirane (nedominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju. T-test inicijalnog i finalnog stanja po skupinama (razina statističke značajnosti: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

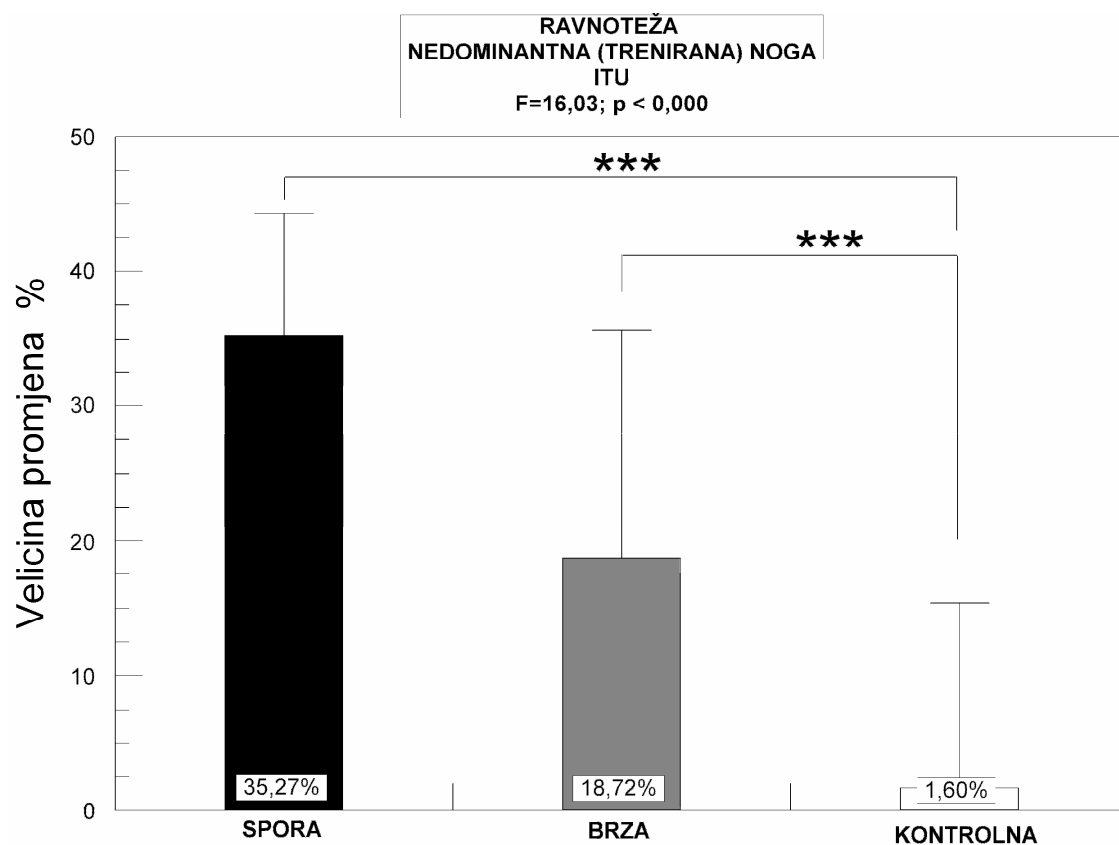
TRENIRANA NOGA	SPORA INICIJAL	SPORA FINALNO	BRZA INICIJAL	BRZA FINALNO	KON INICIJAL	KON FINALNO
RAV T	2,07 (0,82)	1,34*** (0,57)	2,19 (0,52)	1,78** (0,40)	2,34 (0,77)	2,27 (0,86)

rilik
om
inter
pret

acije rezultata svakako treba uzeti u obzir da je ravnoteža inverzno skalirana varijabla. Drugim riječima, što je rezultat numerički veći, to je ravnoteža slabija. I obrnuto.

Vidljivo je da je SPORA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala ravnotežu tijekom stajanja na treniranoj nozi (tablica 6). Također je vidljivo da je i BRZA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala ravnotežu tijekom stajanja na treniranoj nozi (tablica 6). Konačno, tablica 6 pokazuje da kod KONTROLNE skupine nije bilo statistički značajnih promjena u ravnoteži pri stajanju na treniranoj nozi.

Univarijatna analiza varijance (ANOVA) pokazala je postojanje statistički značajnih razlika u veličini promjena u ravnoteži pri stajanju na treniranoj nozi između analiziranih skupina ($F = 16,03$, $p < 0,000$). Kasnija usporedba po parovima pokazala je da su promjene u ravnoteži pri stajanju na treniranoj nozi statistički značajno veće kod SPORE i BRZE eksperimentalne skupine u odnosu na KONTROLNU skupinu (slika 20). Veličine promjena u ravnoteži pri stajanju na treniranoj nozi nisu statistički značajno različite između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine (slika 20).



Slika 20. Veličina promjena (%) u ravnoteži nedominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

4.2.2. Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu

Rezultati ANOVA-e pokazali su da nema statistički značajnih razlika u varijabli ravnoteže netrenirane (dominantne) noge između analiziranih skupina u inicijalnom mjerenju ($F = 2,57$, $p = 0,09$), stoga se eventualne razlike u veličini učinaka pojedinih tretmana između skupina mogu pripisati upravo razlikama u tretmanu.

Tablica 7 predstavlja prosječne rezultate i SD ispitanika u SPOROJ, BRZOJ i KONTROLNOJ skupini za ravnotežu tijela stojeći na netreniranoj (dominantnoj) nozi u inicijalnom i finalnom mjerenju.

Tablica 7. Prosječne vrijednosti (standardne devijacije; SD) ispitanika u BRZOJ, SPOROJ i KONTROLNOJ skupini u ravnoteži netrenirane (dominantne) noge u inicijalnom i finalnom mjerenju. T-test inicijalnog i finalnog stanja po skupinama (razina statističke značajnosti: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

NETRENIRANA NOGA	SPORA INICIJAL	SPORA FINALNO	BRZA INICIJAL	BRZA FINALNO	KON INICIJAL	KON FINALNO
RAV T	1,91 (0,58)	1,61*** (0,50)	2,24 (0,62)	1,81*** (0,47)	2,41 (0,62)	2,37 (0,65)

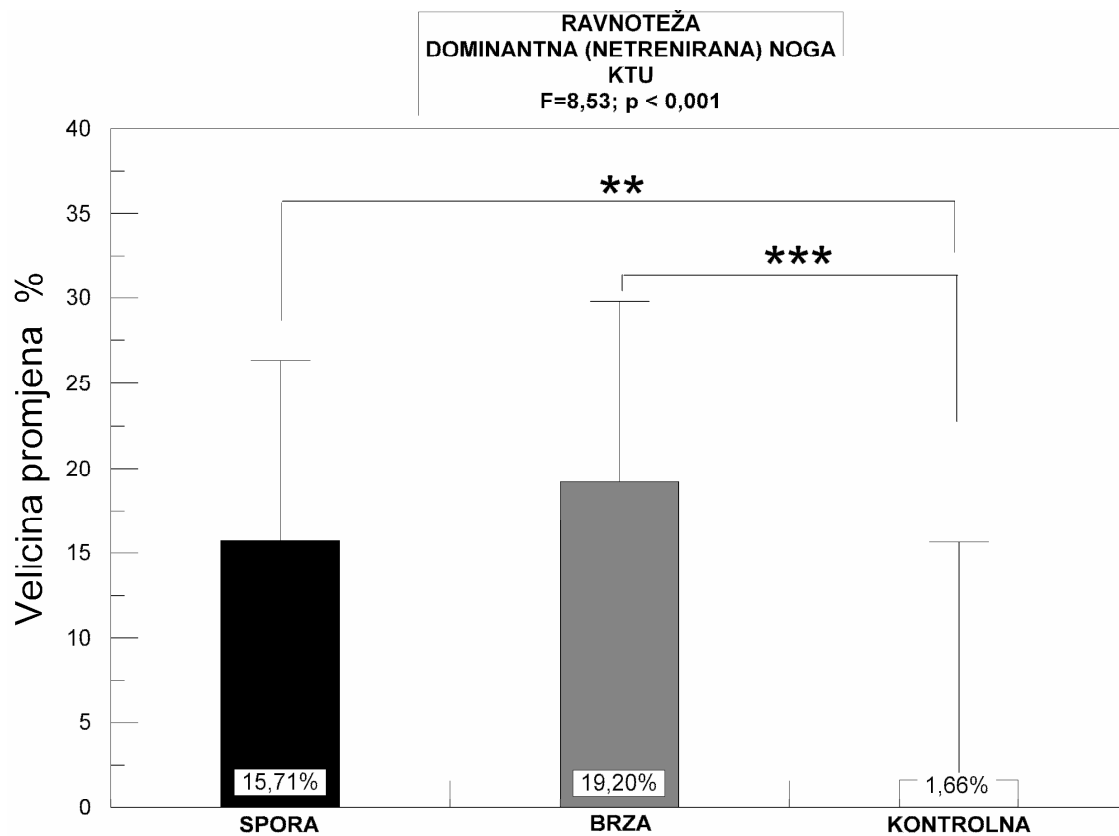
V

idli

vo je da je SPORA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala ravnotežu tijekom stajanja na netreniranoj nozi (tablica 7). Također je vidljivo da je i BRZA skupina u statistički značajnoj mjeri poboljšala ravnotežu tijekom stajanja na netreniranoj nozi (tablica 7). Konačno, ista tablica pokazuje da kod KONTROLNE skupine nije bilo statistički značajnih promjena u ravnoteži pri stajanju na netreniranoj nozi.

Univarijatna analiza varijance (ANOVA) pokazala je postojanje statistički značajnih razlika u veličini promjena u ravnoteži pri stajanju na netreniranoj nozi između analiziranih skupina ($F = 8,53$, $p < 0,001$). Kasnija usporedba po parovima pokazala je da su promjene u ravnoteži pri stajanju na netreniranoj nozi statistički značajno veće kod SPORE i BRZE

eksperimentalne skupine nego kod KONTROLNE. Veličine promjena u ravnoteži pri stajanju na netreniranoj nozi nisu statistički značajno različite između BRZE i SPORE eksperimentalne skupine (slika 21).



Slika 21. Veličina promjena (%) u ravnoteži dominantne noge kod analiziranih skupina nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti nedominantne noge (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$)

4.3. Povezanost jakosti mišića donjih ekstremiteta i ravnoteže

Testiranja unilateralne jakosti i ravnoteže provedena su na objema nogama u inicijalnom i finalnom stanju. Isto tako, multipla regresijska analiza provedena je zasebno za svaku nogu u inicijalnom mjerenju. Međutim, rezultati regresijske analize prezentirani su i interpretirani samo na rezultatima inicijalnog mjerenja nedominantne noge. Naime, rezultati multiple regresijske analize pokazali su identične koeficijente multiple korelacije kao i identičnu strukturu regresijskog modela za obje noge. Upravo iz tog razloga u rezultatima su interpretirani samo rezultati jedne, u ovom slučaju nedominantne noge. Također, prvo su prikazani rezultati multiple regresijske analize na apsolutnim mjerama jakosti (Nm), a zatim i na relativnim mjerama jakosti (Nm/kg).

Multiplom regresijskom analizom (tablica 8) utvrdila se funkcionalna veza između jedne zavisne (kriterijske) varijable „ravnoteža“ i osam nezavisnih (prediktorskih) varijabli za procjenu jakosti (apsolutna jakost). Rezultati pokazuju statistički značajnu povezanost između varijabli jakosti mišića nogu i ravnoteže ($R = 0,635$, $p < 0,002$). Ovo ukazuje na osrednju povezanost između apsolutne jakosti mišića nogu i ravnoteže, tj. oko 40% zajedničkih informacija. Od prediktorskih varijabli zadržane su varijable KE 60, KE 180, KF 180, DF 30, PF 60 i PF 30.

Tablica 8: Rezultati stupnjevite regresijske analize (nezavisne varijable jakosti u apsolutnim vrijednostima)

	Standardizirani Beta regresijski koeficijenti	Razina značajnosti (p)	Korelacija (r)	Parcijalna korelacija (Part r)
KE 60	0,718	0,013	0,025	0,39
KE 180	-0,814	0,007	-0,125	-0,418
KF 180	0,386	0,059	0,031	0,301
PF 30	-0,522	0,017	-0,247	-0,374
DF 30	-0,425	0,005	-0,356	-0,436
PF 60	0,395	0,055	-0,023	0,305

Rezultati multiple regresijske analize na relativnim mjerama jakosti (Nm/kg) pokazuju statistički značajnu povezanost (tablica 9) relativne jakosti mišića nogu i ravnoteže ($R = 0,596$; $p < 0,001$). I u ovom je slučaju utvrđena osrednja povezanost varijabli jakosti mišića nogu i ravnoteže, tj. oko 36% zajedničkih informacija. Od prediktorskih varijabli zadržane su KF 180, KE 60, DF 30 i KE 180.

Tablica 9: Rezultati stupnjevite regresijske analize (nezavisne varijable jakosti u relativnim vrijednostima)

	Standardizirani Beta regresijski koeficijenti	Razina značajnosti	Korelacija (r)	Parcijalna korelacija
KE 60	0,459	0,081	-0,271	0,273
KE 180	-0,777	0,007	-0,396	-0,41
KF 180	0,246	0,192	-0,169	0,205
DF 30	-0,453	0,004	-0,472	-0,44

5. RASPRAVA

Temeljni cilj ovog istraživanja bio je utvrđivanje ipsilateralnih i, osobito, kontralateralnih učinaka sporog i brzog izoliranog treninga jakosti donjih ekstremiteta na mišićnu funkciju i unilateralnu ravnotežu mladih i tjelesno aktivnih žena. Pored temeljnog cilja, posebni cilj ovog istraživanja bio je utvrđivanje stupnja povezanosti između jakosti izoliranih mišića donjih ekstremiteta s unilateralnom ravnotežom.

Dobiveni rezultati raspravljani su u sljedećim potpoglavljima:

- U potpoglavlju 5.1. detaljno se raspravlja o ipsilateralnim i kontralateralnim učincima unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta kod tjelesno aktivnih žena.
- U potpoglavlju 5.2. detaljno se raspravlja o ipsilateralnim i kontralateralnim učincima unilateralnog treninga jakosti nogu s različitim brzinama kontrakcije na ravnotežu.
- U potpoglavlju 5.3. raspravlja se o stupnju povezanosti jakosti mišića nogu i ravnoteže kod tjelesno aktivnih žena.

5.1. Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

5.1.1. Ipsilateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

Prosječni ITU u jakosti ekstenzora i fleksora koljena (slike 4 do 7) nešto su manji (19%) u odnosu na prosječne ITU kod plantarnih i dorzalnih fleksora (30%) (slike 8 do 11). Treba naglasiti da su zabilježene veličine promjena u jakosti ekstenzora i fleksora koljena u ovom istraživanju u skladu s rezultatima prethodnih istraživanja usprkos činjenici da je provedeni trenažni program bio kratkog trajanja (4 tjedna s ukupno 12 trenažnih jedinica). Primjerice, Jones i Rutherford (1987.) zabilježili su 15%-tno povećanje jakosti ekstenzora koljena nakon 12-tjednog koncentričnog treninga jakosti. Narici i suradnici (1989.) zabilježili su povećanje od 14 do 24% u jakosti ekstenzora koljena nakon 32 unilateralna izokinetička treninga jakosti. U istraživanju Kannusa i sur. (1991.) pokazalo se da je 7-tjedni unilateralni izokinetički trening jakosti proizveo povećanje jakosti ekstenzora i fleksora koljena u iznosu od 14%, odnosno 19%. Housh i Housh (1993.) pokazali su da unilateralni koncentrični trening jakosti ekstenzora i fleksora povećava jakost istih skupina za 9%, odnosno 24%. Konačno, u istraživanju Evetovicha i sur. (2001.) utvrđeno je da 12-tjedni program koncentričnog treninga jakosti ekstenzora koljena povećava jakost iste mišićne grupe od prosječno 15%. U većini spomenutih istraživanja ispitanici su bili muškarci.

Puno je manji broj istraživanja proučavao učinke koncentričnog izokinetičkog treninga jakosti plantarnih i/ili dorzalnih fleksora skočnog zgloba. Primjerice, Benjamin i suradnici (2000.) zabilježili su povećanje jakosti plantarnih i dorzalnih fleksora nakon izokinetičkog treninga jakosti od 8 do 9%. Shima i suradnici (2002.) trenirali su jakost plantarnih fleksora mladih muškaraca (6 tjedana, 4 x tjedno) i zabilježili promjene od 18,5%. Konačno, Fimland i suradnici (2009.) pokazali su da trening jakosti plantarnih fleksora u trajanju od 4 tjedna (16 trenažnih jedinica) poboljšava jakost navedene mišićne skupine za čak 48%. Ovi rezultati ukazuju na to da su zabilježene promjene u jakosti plantarnih i dorzalnih fleksora trenirane noge unutar raspona rezultata zabilježenih u prethodnim istraživanjima.

Zabilježene promjene u jakosti treniranih mišićnih skupina nisu sustavno pokazivale specifičnost s obzirom na brzinu treniranja i testiranja. Točnije, samo je u ekstenziji i fleksiji koljena pri manjoj kutnoj brzini zabilježen fenomen specifičnosti treninga jakosti s obzirom na brzinu kontrakcije. Naime, SPORA je skupina proizvela statistički značajno veći ITU u jakosti ekstenzora i fleksora koljena pri sporim brzinama kontrakcije u odnosu na BRZU skupinu (slika 4 i 5). Obrnut slučaj nije zabilježen. Također, nije bilo dokaza o postojanju fenomena specifičnosti brzine treniranja i testiranja kod plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba. U prosjeku, obje su trenažne skupine proizvele sličan ITU i prostor jakosti, a on se kretao između 27 i 28%. Kao jedan od mogućih razloga generalnog odsustva specifičnosti treninga jakosti s obzirom na brzinu kontrakcije može biti i relativno mala razlika u primijenjenim kutnim brzinama, posebice kod plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba.

No, rezultati prijašnjih istraživanja također su konfliktni u ovom području. Naime, jedan dio istraživača pokazao je postojanje specifičnosti izokinetičkog treninga s obzirom na brzinu kontrakcije u treningu i testiranju (za pregled, vidi Behm i Sale, 1993.). S druge strane, brojni su istraživači pokazali kako nema specifičnih učinaka unilateralnog izokinetičkog treninga jakosti s obzirom na brzinu kontrakcije, odnosno brzinu pokreta (Housh i Housh, 1993., Duncan i sur., 1989., Farthing i Chilibeck, 2003.). Primjerice, u istraživanju Housha i Housha (1993.), gdje su ispitanici trenirali unilateralne izokinetičke koncentrične kontrakcije ekstenzora i fleksora koljena pri brzini od 120°/s u trajanju od 8 tjedana, došlo je do statistički značajnog povećanja vršnog momenta sile u obje mišićne grupe pri većim i manjim kutnim brzinama od one primijenjene u treningu. Autori su zaključili (Housh i Housh, 1993.) da nije potrebno trenirati jakost pri različitim brzinama kontrakcije radi postizanja povećanja jakosti pri sporijim i bržim pokretima. Istraživanja Petersena i sur. (1990.), Weira i sur. (1997.) te Segera i sur. (1998.) također su pokazala da koncentrični trening jakosti donjih ekstremiteta ne proizvodi specifične trenažne učinke s obzirom na brzinu pokreta u treningu i testiranju.

U ovom istraživanju nisu bili proučavani mehanizmi u pozadini povećanja jakosti treniranih mišićnih skupina, proizvedenoj sporim i brzim izokinetičkim koncentričnim treningom,

stoga i nije moguće egzaktno ustvrditi jesu li zabilježene promjene jakosti mišića donjih ekstremiteta rezultat mišićne ili živčane prilagodbe ili, pak, njihove kombinacije.

Tradicionalno se vjerovalo da su učinci treninga jakosti u prvih nekoliko tjedana ponajviše rezultat živčane prilagodbe (Moritani i De Vries, 1979.), no novije su studije pokazale mogućnost značajne mišićne prilagodbe u obliku hipertrofije mišićnih vlakana već u prva 3 tjedna intenzivnog treninga jakosti (Enoka, 2008.). Narici i sur., (1989.) i Kannus i sur., (1992.) pokazali su kako su zabilježene promjene u jakosti treniranih mišićnih skupina, uslijed unilateralnog izokinetičkog treninga jakosti, bile rezultat i mišićne (povećanje poprečnog presjeka mišića) i živčane prilagodbe (povećanje voljne aktivacije mišića). Treba, međutim, naglasiti da su navedene studije trajale značajno dulje od ove studije (8 do 12 tjedana, nasuprot 4 tjedna). S druge strane, Fimland i suradnici (2009.) zabilježili su značajne promjene u jakosti plantarnih fleksora nakon 4 tjedna treniranja (16 trenažnih jedinica), a bile su ponajviše rezultat živčane prilagodbe (povećanje živčane aktivacije). Uvažavajući sve navedeno, kao i činjenicu da se tjelesna masa kod ispitanica u trenažnim skupinama nije mijenjala, moguće je pretpostaviti da su uočene promjene u jakosti treniranih mišića donjih ekstremiteta rezultat dominantno živčane prilagodbe na trening jakosti. Postoji li pritom razlika u živčanoj prilagodbi na spori i brzi izokinetički trening jakosti, tek treba utvrditi u budućim studijama.

Sveukupno gledajući, dobiveni rezultati vezani uz ITU unilateralnoga treninga jakosti nogu s dvjema različitim brzinama kontrakcije potvrdila su nalaze prethodnih istraživanja te učvrstila dokaze o mogućnosti izazivanja velikih kvantitativnih pomaka u jakosti nogu kod mladih i tjelesno aktivnih žena u samo 12 trenažnih jedinica.

5.1.2. Kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na mišićnu jakost donjih ekstremiteta

Fenomen kontralateralnih trenažnih učinaka (KTU) u prostoru jakosti poznat je već više od 100 godina (vidi Uvod). Rezultati ovog istraživanja generalno potvrđuju nalaze većine prethodnih studija o postojanju značajnih kontralateralnih trenažnih učinaka u jakosti donjih

ekstremiteta. Pritom treba naglasiti da je ovo istraživanje jedno od rijetkih koje je ovaj fenomen motoričke kontrole proučavalo na čak četirima funkcionalno i strukturalno različitim mišićnim skupinama. Uglavnom je ovaj fenomen do sada proučavan u jednoj ili dvjema mišićnim skupinama po studiji. Također, ovo je jedno od rijetkih istraživanja koje je kompariralo KTU koncentričnog treninga jakosti s različitim kutnim brzinama. Promatrajući s općenitog stajališta, dobiveni rezultati ukazuju na to da oba proučavana treninga jakosti (spori i brzi izokinetički koncentrični trening) proizvode značajan KTU u jakosti mišića nogu.

Detaljnijim uvidom u veličine KTU moguće je uočiti da su isti u statistički značajnoj mjeri prisutni kod svih mišićnih skupina te pri svim brzinama kontrakcije samo kod skupine koja je provodila spori koncentrični izokinetički trening. Konkretno, SPORA skupina izazvala je značajne KTU koji su se kod ekstenzora i fleksora koljena kretali između između 7,7% i 11%, dok su isti kod plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba varirali između 9% i 16%. Kod BRZE trenažne skupine prosječni KTU kod ekstenzora i fleksora koljena bili su između 3% i 10% te nisu bili statistički značajno veći od kontrolne skupine pri sporim izokinetičkim kontrakcijama. Nasuprot tome, KTU brzog izokinetičkog treninga jakosti bili su komparabilni onom zabilježenim kod sporog koncentričnog izokinetičkog treninga za plantarne i dorzalne fleksore skočnog zgloba. Konkretno, u prosjeku su se ti KTU kretali u rasponu od 8% i 14%.

Zabilježeni KTU unilateralnog treninga jakosti s različitim kutnim brzinama za ekstenzore i fleksore koljena veličinom su slični onima zabilježenim i u prethodnim istraživanjima. Primjerice, Jones i Rutherford (1987.) nakon 12 tjedana unilateralnog treninga jakosti ekstenzora koljena utvrdili su prosječne KTU u rasponu od 6% do 8%. Kannus i sur., (1991.) proučavali su KTU 7-tjednog unilateralnog izokinetičkog treninga jakosti ekstenzora i fleksora koljena i zabilježili značajne učinke koji su se kretali između 5% i 11%. Slični ili nešto veći učinci zabilježeni su i u istraživanjima Housha i Housha (1993.) (6 % do 21 %) te Ploutza i sur. (1994.) (7%).

Kada je riječ o KTU u prostoru jakosti plantarnih i dorzalnih fleksora, dobiveni su rezultati uglavom veći od onih zabilježenih u prethodnim studijama. Konkretno, Benjamin i suradnici (2000.) utvrdili su relativno male KTU u jakosti plantarnih i dorzalnih fleksora (1,5%

do 3,5%). Nešto veće KTU (7,3%), ali još uvijek manji nego u ovom istraživanju, zabilježili su Shima i suradnici (2002.) na uzorku netreniranih muškaraca. Suprotno navedenim rezultatima, u nedavno provedenom istraživanju, Fimland i suradnici (2009.) utvrdili su 32%-tno povećanje jakosti plantarnih fleksora netrenirane noge nakon samo 4 tjedna unilateralnog treninga jakosti (16 treninga). Konačno, dobiveni KTU u jakosti donjih ekstremiteta komparabilni su s rezultatima metaanalize (Munn i sur., 2005.) randomiziranih kontroliranih studija vezanih uz KTU u prostoru jakosti.

Dakle, moguće je zaključiti kako su zabilježeni KTU unilateralnog treninga jakosti donjih ekstremiteta slični onima dobivenim u prethodnim istraživanjima, premda je ukupan broj treninga u ovom istraživanju bio bitno manji nego u većini prethodnih istraživanja (vidi prethodni paragraf). Dakako, treba naglasiti da je ovo istraživanje pokazalo da KTU nisu specifični s obzirom na mišićnu skupinu u donjim ekstremitetima te da, uglavnom, ne ovise o brzini izvedbe koncentrične kontrakcije. Izuzetak su spore kontrakcije ekstenzora i fleksora koljena (vidi prethodni tekst). No, može se očekivati da bi primijenjeni trening s brzim koncentričnim izokinetičkim kontrakcijama proizveo značajan KTU i u tom prostoru kad bi se broj treninga povećao.

Na temelju ovih rezultata nužno je odbaciti postavljenu hipotezu H1 da unilateralni trening jakosti s velikim brzinama kontrakcije proizvodi statistički značajno veće KTU u području jakosti u odnosu na trening jakosti s malim brzinama kontrakcije jednakog volumena. Ti su rezultati kontradiktorni onima dobivenim kod unilateralnog ekscentričnog treninga jakosti (Paddon-Jones i sur., 2001., Farthing i Chilibeck, 2003., Munn i sur., 2005.).

Primjerice, u istraživanju Paddon-Jonesa i sur. (2001.) skupina mladih netreniranih muškaraca i žena koja je 10 tjedana trenirala izokinetičke ekscentrične brze ($180^{\circ}/s$) kontrakcije pregibača lakta, pokazala je značajna povećanja jakosti u brzim ($180^{\circ}/s$) ekscentričnim i koncentričnim kontrakcijama te pri sporim ($30^{\circ}/s$) izometričnim i koncentričnim kontrakcijama. Nasuprot tome, skupina koja je provodila ekscentrični trening jakosti pregibača lakta pri sporoj brzini ($30^{\circ}/s$) nije značajno poboljšala jakost navedene mišićne skupine ni u jednom režimu rada, odnosno primijenjenoj brzini pokreta.

Nadalje, istraživanje Farthinga i Chilibecka (2003.) pokazalo je da su KTU specifični u odnosu na brzinu treniranih ekscentričnih kontrakcija. Drugim riječima, uslijed unilateralnog izokinetičkog ekscentričnog treninga dolazi do značajnih KTU, ali samo ako se treniraju brze kontrakcije i to samo pri velikim brzinama kontrakcije. Nema značajnih KTU nakon treninga koji se sastoji od sporih unilateralnih izokinetičkih ekscentričnih kontrakcija, bez obzira na brzinu i vrstu kontrakcija (Farthing i Chilibeck, 2003.).

Konačno, istraživanje Munna i sur. (2005.) pokazalo je veće KTU u maksimalnoj jakosti prilikom treninga jakosti velikom brzinom ako se trening sastoji od samo jedne radne serije po treningu. Ako se provodi više od jedne radne serije po treningu, onda trening jakosti s malim brzinama pokreta proizvodi veće KTU (Munn i sur., 2005.).

Sveukupno gledajući, dobiveni rezultati prethodnih istraživanja, vezani uz KTU ekscentričnog treninga jakosti različitim brzinama, nisu iznenađujući, posebice ako se uzme u obzir da s povećanjem brzine u ekscentričnim kontrakcijama raste i proizvedena mišićna sila (Enoka, 2003.). Također treba istaknuti važan nedostatak prethodnih studija koje su uspoređivale KTU treninga jakosti (ponajprije ekscentričnog karaktera) različitom brzinom, a vezan uz izjednačavanje volumena treninga jakosti različitom brzinom. Koliko je autorici poznato, ovo je prvo istraživanje koje je kompariralo KTU dvaju treninga jakosti izjednačenih po volumenu rada. Taj čimbenik također može biti odgovoran za potencijalno veće KTU u ekscentričnom treningu jakosti s velikim brzinama pokreta u odnosu na isti trening izveden s manjim brzinama pokreta. Konačno, treba naglasiti da su i ipsilateralni učinci treninga jakosti veći ako se trening provodi u ekscentričnom režimu rada mišića u odnosu na koncentrični (Hortobágyi, Lambert i Hill, 1997., Duncan i sur., 1989., Farthing i Chilibeck, 2003., Miller i sur., 2006.).

Jedna od važnih informacija u proučavanju KTU u treningu jakosti odnosi se na samu veličinu učinka u usporedbi s ITU-om. Naime, veličina KTU u treningu jakosti može iznositi čak do 60% ITU (Houston i sur., 1983., Enoka, 2003.). Ipak, u većini slučajeva KTU iznosi oko jedne trećine (~30%) ITU-a (Munn i sur., 2005.). Ako se KTU, zabilježen u ovom istraživanju,

uspoređi s odgovarajućim ITU, uočiti ćemo da prosječno iznosi 35 – 40% ITU u objema trenažnim skupinama, slično kao i u većini prethodnih studija.

Nadalje, pomnijom usporedbom KTU i ITU moguće je uočiti paralelizam u njihovoj veličini. Primjerice, SPORA je trenažna skupina u značajno većoj mjeri poboljšala jakost ekstenzora i fleksora koljena trenirane noge, a taj se trend zadržao i kod KTU za iste mišićne grupe i kutne brzine pokreta. Te činjenice sugeriraju postojanje paralelnosti u specifičnosti ITU i KTU s obzirom na brzinu kontrakcije u treningu i testiranju. Drugim riječima, dobiveni rezultati sugeriraju da bi se postojanje specifičnosti u ITU u treningu jakosti s obzirom na brzinu kontrakcije trebalo ogledati i u KTU. I obrnuto. Dakako, ovu hipotezu trebaju potvrditi daljnja istraživanja.

Usprkos brojnim dosadašnjim istraživanjima o kontralateralnim učincima treninga jakosti, mehanizmi koji leže u pozadini ovog fenomena nisu razjašnjeni. Premda cilj ovog istraživanja nije bilo istraživanje pozadinskih živčano-mišićnih mehanizama, pretpostavlja se kako su uočeni KTU ponajprije rezultat živčane prilagodbe na trening jakosti (Enoka, 2003.). Primjerice, u nedavno provedenom istraživanju Fimlanda i sur. (2009.) zabilježeni su značajni KTU u jakosti plantarnih fleksora nakon 4 tjedna treniranja (16 trenažnih jedinica), praćeni povećanom živčanom aktivacijom plantarnih fleksora netrenirane noge. Autori su također pokazali da je voljna aktivacija plantarnih fleksora netrenirane noge značajno veća nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti. Rezultati navedenog istraživanja, po trajanju i broju treninga komparabilnog ovom istraživanju, jasno sugeriraju na činjenicu da su promjene u jakosti netrenirane homologne mišićne skupine praćene odgovarajućim živčanim adaptacijskim promjenama. Dakako, točna mjesta prilagodbe u živčanom sustavu nisu poznata ni dovoljno istražena te mogu uključivati i supraspinalnu i spinalnu razinu (Hortobagyi, 2005., Lee i Carrol, 2008.).

Zaključno, rezultati ovog istraživanja pokazali su: 1) da i spori i brzi unilateralni koncentrični treninzi jakosti mišića donjih ekstremiteta jednakog volumena proizvode i statistički i praktično značajne KTU slične veličine te 2) da ti KTU nisu (općenito) specifični s obzirom na brzinu pokreta u treningu i testiranju jakosti. Dobiveni rezultati također naglašavaju potencijal

kratkotrajnog unilateralnog treninga jakosti nogu u izazivanju KTU kod mladih i tjelesno aktivnih žena, što može imati značajne praktične implikacije u rehabilitaciji akutnih mišićno-skeletnih ozljeda donjih ekstremiteta. Potrebna su daljnja istraživanja radi produbljivanja spoznaja o specifičnim učincima brzine i vrste mišićne kontrakcije u treningu jakosti, s obzirom na veličinu KTU.

5.2. Ipsilateralni i kontralateralni učinci unilateralnog treninga jakosti na ravnotežu

Naše trenutačne spoznaje, vezane uz primjenu treninga jakosti u poboljšanju ravnoteže ponajviše su vezane uz ITU, i to na prije svega na starijoj populaciji (Judge i sur., 1993., Islam i sur., 2004., Hess i Woollacott, 2005., Tsang i Hui-Chan, 2005., Holviala i sur., 2006., Horlings i sur., 2008., Pijnappels i sur., 2008., Orr i sur., 2008., Onambélé i sur., 2008.). Rezultati tih istraživanja nisu konzistenti, ali sugeriraju da bi jačanje donjih ekstremiteta moglo dovesti do poboljšanja ravnoteže starijih ljudi. To je važna informacija jer slabost mišića donjih ekstremiteta predstavlja važan čimbenik rizika za padove starijih osoba (Horlings i sur., 2008., Moreland i sur., 2004., Pijnappels i sur., 2008.).

Zanimljivo, neke od tih trenažnih studija, provedene na starijim osobama, sugeriraju da bi trening jakosti u kojem se koriste brze (eksplozivne) kontrakcije mogao biti osobito učinkovit u poboljšanju ravnoteže (Holviala i sur., 2006., Orr i sur., 2006.). Također je utvrđeno je da su eksplozivna jakost i snaga donjih ekstremiteta u značajnoj mjeri povezane s ravnotežom srednjovječnih i starijih odraslih osoba (Izquierdo i sur., 1999.). Ovi rezultati općenito sugeriraju da bi trening jakosti nogu s manjih otporom i velikom brzinom pokreta mogao biti osobito učinkovit u poboljšanju ravnoteže sredovječnih i starijih osoba.

Na tragu tih rezultata, pretpostavka ovog istraživanja bila je da će unilateralni koncentrični trening jakosti nogu s velikom brzinom kontrakcije proizvesti statistički značajno veće ITU i KTU u prostoru ravnoteže u odnosu na unilateralni koncentrični trening jakosti nogu s malom brzinom kontrakcije jednakog volumena rada. No, za razliku od većine prethodnih studija, ova je pretpostavka testirana na uzorku mladih, tjelesno aktivnih žena. Najvažniji nalaz ovog istraživanja predstavlja spoznaja da unilateralni koncentrični trening jakosti proizvodi statistički i praktično značajne ITU i, osobito, KTU u prostoru ravnoteže kod mladih i tjelesno aktivnih žena, pri čemu su ti učinci nezavisni od brzine pokreta u treningu jakosti. Na temelju ovih nalaza potrebno je odbaciti postavljenu hipotezu o superiornosti „brzog“ unilateralnog koncentričnog

treninga jakosti nogu u odnosu na „spori“ unilateralni koncentrični trening jakosti nogu u veličini ITU i KTU u prostoru ravnoteže.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da unilateralni koncentrični trening jakosti donjih ekstremiteta poboljšava ravnotežu trenirane noge za prosječno 19% (BRZA skupina), odnosno 35% (SPORA skupina). Veličina tih promjena (posebice u SPOROJ skupini) veća je u odnosu na treningom izazvane promjene u ravnoteži, zabilježene u prethodnim studijama jakosti (Judge i sur., 1993., Kollmitzer i sur., 2000., Onambele i sur., 2008., Orr i sur., 2006.), odnosno drugim oblicima vježbanja poput kombiniranog pliometrijskog treninga i treninga ravnoteže (Paterno i sur., 2004.). Mogući razlog tome leži u činjenici da su u ovom istraživanju ciljano trenirani mišići koji okružuju zglobove relevantne u uspostavljanju i zadržavanju jednonožne ravnoteže. Primjerice, jedna od važnih posturalnih strategija u očuvanju ravnoteže jest tzv. strategija skočnog zgloba (Gage i sur., 2004.). Prema toj strategiji, tijelo čovjeka rotira se oko skočnog zgloba po principu obrnutog klatna, stoga je razumno pretpostaviti da bi poboljšanje funkcije mišića koji okružuju skočni zglob moglo u značajnoj mjeri unaprijediti stabilnost i ravnotežu pri uspravnom stajanju.

Zanimljivo, veličina ITU unilateralnog koncentričnog treninga jakosti u prostoru ravnoteže slična je ili čak veća od veličine ITU u prostoru jakosti. Može se pretpostaviti da je povećanje jakosti glavnih agonista i antagonista u pokretima koljena i skočnog zgloba ujedno i osnovni mehanizam putem kojega je došlo do povećanja ravnoteže u treniranoj nozi. Naime, kao što je već navedeno, povećanje jakosti agonističke i antagonističke mišićne skupine može poboljšati segmentalnu stabilnost zgloba koji okružuje te time doprinijeti boljoj stabilnosti i ravnoteži cijelog tijela u uspravnom stajanju. Koliki je relativan doprinos poboljšane funkcije mišića koljena i mišića skočnog zgloba boljoj ravnoteži, u ovom trenutku nije moguće utvrditi.

Pored povećanja jakosti mišića nogu, postoje i drugi mehanizmi koji bi mogli objasniti poboljšanje ravnoteže izazvano treningom jakosti, poput unapređenja senzorno-motoričke kontrole i koordinacije te promjene posturalne strategije uspostavljanja i zadržavanja ravnoteže. Dobro je poznato da trening jakosti može utjecati na senzorno- -motoričku kontrolu i

koordinaciju mišića (Enoka, 2003.). U ovom slučaju to bi se posebice odnosilo na posturalne mišiće *m. tibialis anterior* i *m. soleus*. Ti su mišići u značajnoj mjeri uključeni u uspostavljanje i zadržavanje čovjekove ravnoteže. Potrebna su daljnja istraživanja u ovom području radi provjere navedenih pretpostavki.

Osim poboljšane jednonožne ravnoteže na treniranoj nozi, oba su programa treninga jakosti statistički značajno unaprijedila jednonožnu ravnotežu i na netreniranoj nozi. Ti su se KTU kretali između 16% (SPORA trenažna skupina) i 19% (BRZA trenažna skupina). Ovi rezultati predstavljaju originalan doprinos kineziološkoj znanosti jer po prvi put pokazuju da unilateralni koncentrični trening mišića koji okružuju koljeni i skočni zglob, bez obzira na brzinu kontrakcije u treningu, unaprjeđuje ravnotežu netrenirane noge. Taj nalaz ide u prilog pretpostavci da su KTU unilateralnog treninga jakosti vidljivi i u drugim motoričkim funkcijama čovjeka. Zaista, nekoliko je prethodnih istraživanja potvrdilo da KTU postoje i u prostoru unaprjeđenja motoričke vještine (Latash, 1999., Teixeira, 2000.).

Zapaženo poboljšanje ravnoteže na netreniranoj nozi nakon 4-tjednog unilateralnog treninga jakosti vjerojatno je rezultat promjena u funkciji analiziranih mišićnih skupina. Prisjetimo se, oba modaliteta unilateralnog koncentričnog treninga jakosti dovela su do značajnih KTU u jakosti ekstenzora i fleksora koljena te plantarnih i dorzalnih fleksora stopala. Budući da se pretpostavlja da su KTU provedenih modaliteta treninga jakosti u prostoru mišićne jakosti ponajprije rezultat živčane prilagodbe, i promjene u ravnoteži netrenirane noge vjerojatno su posljedica promjena u radu živčanog sustava.

Istraživanja na području ravnoteže pokazala su da, osim treninga jakosti, postoje i drugi modaliteti treninga koji mogu unaprijediti ravnotežu čovjeka, poput treninga ravnoteže, treninga agilnosti, pliometrijskog treninga, tai-chija i sl. Nije, međutim, poznato mogu li navedenih modaliteti treninga također proizvesti i KTU u prostoru ravnoteže. Bilo bi od značajnog znanstvenog interesa utvrditi proizvode li i drugi tipični modaliteti treninga koji poboljšavaju čovjekovu ravnotežu i KTU, kao što je to slučaj s treningom jakosti donjih ekstremiteta. Potrebna

su, dakle, daljnja istraživala koja će usporediti ITU i KTU različitih modaliteta treninga u prostoru ravnoteže.

Sveukupno gledajući, dobiveni rezultati pokazuju da unilateralni koncentrični trening jakosti donjih ekstremiteta, bez obzira na brzinu izvedbe pokreta, proizvodi statistički i praktično značajne ITU i KTU u prostoru jednonožne ravnoteže mladih i tjelesno aktivnih žena. Ti nalazi produbljuju naše spoznaje o fenomenu KTU te pokazuju njegovo postojanje i u drugim motoričkim funkcijama osim mišićne jakosti. Dobiveni bi rezultati mogli također imati i značajnu praktičnu primjenu u prevenciji i rehabilitaciji živčano-mišićnih i mišićno-skeletih ozljeda i oštećenja. Dakako, za to su potrebna daljnja istraživanja. Konkretno, dobiveni nalazi o značajnom ITU i KTU unilateralnog koncentričnog treninga jakosti donjih ekstremiteta u prostoru ravnoteže zahtijevaju daljnju provjeru. To se prije svega odnosi na populacije čija je ravnoteža narušena, poput starijih osoba te osoba s narušenom živčano-mišićnom kontrolom i ravnotežom.

5.3. Povezanost jakosti mišića donjih ekstremiteta i ravnoteže

Posljednji cilj ovog istraživanja bio je utvrditi stupanj povezanosti jakosti mišića donjih ekstremiteta i jednonožne ravnoteže. Taj je cilj istražen primjenom dviju zasebnih multiplih regresijskih analiza, jedne na apsolutnim, a druge na normaliziranim (relativnim) mjerama mišićne jakosti. Rezultati obje regresijskih analiza pokazuju postojanje statistički značajne umjerene povezanosti jakosti mišića donjih ekstremiteta i jednonožne ravnoteže. Konkretno, postotak varijance koji dijele ta dva skupa varijabli kreće se između 35% (relativne mjere jakosti) i 40% (apsolutne mjere jakosti). Ovi rezultati omogućuju prihvaćanje treće postavljene hipoteze (H3) o postojanju statistički značajne povezanosti jakosti donjih ekstremiteta i ravnoteže kod mladih i tjelesno aktivnih žena.

U nekoliko je prethodnih istraživanja, provedenih na mlađoj populaciji (Thorpe i Ebersole, 2008.) ili, pak, populaciji srednje i starije dobi (Izquierdo i sur., 1999.) utvrđena značajna pozitivna veza između mišićne jakosti nogu i sposobnosti ravnoteže. No, te su studije uglavnom promatrale izolirane veze između pojedine varijable jakosti i indeksa ravnoteže. U ovom je istraživanju u regresijski model uključeno ukupno 8 varijabli jakosti koje opisuju funkciju četiri funkcionalno i strukturalno različite mišićne grupe donjih ekstremiteta. Stupnjevitim modelom regresijske analize taj je broj reduciran na 6 (apsolutne mjere jakosti), odnosno 4 varijable jakosti (relativne mjere jakosti).

Zanimljivo, dobiveni regresijski modeli na prvi pogled stvaraju zbunjujuću sliku o povezanosti jakosti donjih ekstremiteta i sposobnosti ravnoteže. Primjerice, rezultati regresijskih analiza sugeriraju da je utjecaj ekstenzora i fleksora koljena na ravnotežu veći u odnosu na utjecaj plantarnih i dorzalnih fleksora stočnog zgloba. Uzimajući u obzir strategiju skočnog zgloba kao relevantnu za održavanje ravnoteže u uspravnom stavu, ovi su rezultati neočekivani. Međutim, pokazalo se da ispitanice prilikom balansiranja na pomičnoj, računalno kontroliranoj platformi ne stoje s ispruženim koljenom, već je ono blago zgrčeno. To je ponajviše stoga što je uspravno stajanje i balansiranje na jednoj nozi, opruženoj u koljenom zglobu, moguće samo na stabilnoj podlozi. Ako je podloga nestabilna (kao što je bila nestabilna ravnotežna platforma u ovom istraživanju), uspravno stajanje na jednoj nozi moguće je samo ako je noga lagano zgrčena u

zglobovima koljena i kuka. U uspravnom, lagano zgrčenom stavu, ko-kontrakcija ekstenzora i fleksora koljena značajno pridonosi stabilnosti koljena (Lloyd i Buchanan, 2001.). To bi mogao biti razlog relativno većem utjecaju ekstenzora i fleksora koljena na ravnotežu u odnosu na plantarne i dorzalne fleksore skočnog zgloba.

Nadalje, uočen je numerički pozitivan, ali logički negativan utjecaj apsolutne i relativne jakosti ekstenzora koljena pri sporoj brzini na ravnotežu, dok je utjecaj apsolutne i relativne jakosti ekstenzora koljena pri velikoj brzini na ravnotežu suprotnog karaktera. Mogući razlog ovim, naoko nelogičnim rezultatima, vezan je uz veličinu i smještaj mišića. Naime, veličina ekstenzora koljena (točnije, njegov fiziološki poprečni presjek), ali i svakog drugog skeletnog mišića, u izravnoj je pozitivnoj vezi s njegovom maksimalnom jakosti u izometričnim i sporim koncentričnim uvjetima. Nasuprot tome, povezanost veličine mišića i njegove jakosti pri velikim brzinama kontrakcije znatno je niža. U tim je slučajevima puno bolji prediktor mišićne jakosti udio brzih mišićnih vlakana, a ne njegova veličina (Thorstensson, Sjödin, Karlsson, 1975.). Budući da se ekstenzor koljena nalazi proksimalno (tj. udaljen je) od osi rotacije oko koje tijelo oscilira u uspravnom stajanju (skočni zglob), veličina tog mišića, a time i njegova maksimalna jakost pri sporim brzinama, trebala bi negativno utjecati na ravnotežu u uspravnom stajanju. Da bi ova pretpostavka bila dijelom potvrđena, naknadno su izračunate korelacije između tjelesne visine i ravnoteže ($r = -0,21$) te tjelesne mase i ravnoteže ($r = -0,35$). Vidljivo je kako veličina tijela negativno utječe na ravnotežu. Također su naknadno izračunate korelacije između nemasne mase tijela i jakosti ekstenzora koljena pri sporoj ($r = 0,63$) i brzoj kontrakciji ($r = 0,13$). Uočeni naglašeni pad povezanosti između voluminoznosti tijela i jakosti mišića u sporim vs. brzim kontrakcijama ide u prilog predloženom objašnjenju. Premda su potrebna daljnja istraživanja u ovom području, ovi nalazi idu u prilog rezultatima Izquierda i sur. (1999.), kao i njihovom zaključku o naglašenoj važnosti jakosti mišića nogu pri velikim brzinama kontrakcije (eksplozivna jakost i snaga) u uspostavljanju i zadržavanju ravnoteže u uspravnom stajanju.

Zaključno, rezultati ovog potpoglavlja pokazali su značajnu povezanost jakosti mišića donjih ekstremiteta i jednonožne ravnoteže kod mladih tjelesno aktivnih žena. Konkretno, jakost testiranih mišićnih skupina donjih ekstremiteta objašnjava između 35% i 40% varijabiliteta

jednonožne dinamične ravnoteže kod odraslih žena. Ti nalazi potvrđuju rezultate prethodnih studija o važnosti mišićne jakosti donjih ekstremiteta pri uspostavljanju i zadržavanju ravnoteže.

6. ZAKLJUČAK

Temeljni cilj ovog istraživanja bilo je utvrđivanje ipsilateralnih i, osobito, kontralateralnih učinaka „sporog“ i „brzog“ izoliranog treninga jakosti donjih ekstremiteta na mišićnu funkciju i unilateralnu ravnotežu mladih i tjelesno aktivnih žena. Pored temeljnog cilja, posebni je cilj ovog istraživanja utvrđivanje stupnja povezanosti jakosti izoliranih mišića donjih ekstremiteta s unilateralnom ravnotežom.

Rezultati istraživanja pokazali su sljedeće:

- „Spori“ i „brzi“ unilateralni koncentrični trening jakosti donjih ekstremiteta proizvode slične, statistički značajne ipsilateralne trenažne učinke u prostoru jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena te plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba. Nije utvrđena specifičnost u treningu jakosti s obzirom na brzinu mišićne kontrakcije u treningu i testiranju. Ipak, uočeni su nešto veći učinci „sporog“ unilateralnog koncentričnog treninga na jakost ekstenzora i fleksora koljena pri sporij brzini u odnosu na „brzi“ sustav treninga.
- „Spori“ i „brzi“ unilateralni koncentrični trening jakosti donjih ekstremiteta proizvode slične, statistički značajne kontralateralne trenažne učinke u prostoru jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena te plantarnih i dorzalnih fleksora skočnog zgloba. Veličina kontralateralnih trenažnih učinaka kretala se u rasponu od 3% do 15%, i iznosila je između 35% i 40% ipsilateralnih trenažnih učinaka. Nije utvrđena specifičnost u treningu jakosti s obzirom na brzinu mišićne kontrakcije u treningu i testiranju, no uočeni su nešto veći kontralateralni učinci „sporog“ unilateralnog koncentričnog treninga na jakost ekstenzora i fleksora koljena pri sporij brzini u odnosu na „brzi“ sustav treninga.

- Osim jakosti mišića donjih ekstremiteta, oba unilateralna koncentrična treninga jakosti („spori“ i „brzi“ sustav treninga) značajno su poboljšala i ravnotežu trenirane i netrenirane noge. Veličina promjena u ravnoteži trenirane noge kretala se između 19% („brza“ skupina) i čak 35% („spora“ skupina). Veličina promjena u ravnoteži netrenirane noge kretala se između 16% i 19%. Ovo je prvo istraživanje koje je pokazalo da unilateralni koncentrični trening jakosti proizvodi značajne KTU u prostoru ravnoteže.
- Utvrđena je statistički značajna linearna povezanost između apsolutne/relativne jakosti mišića donjih ekstremiteta i jednonožne ravnoteže ($R = 0,59 - 0,63$; $p < 0,01$). Drugim riječima, jakost mišića donjih ekstremiteta može objasniti 35% do 40% varijabiliteta u dinamičnoj ravnoteži kod mladih i tjelesno aktivnih žena.

Dobiveni rezultati u značajnoj mjeri produbljuju naše spoznaje o fenomenu ukrižene edukacije, odnosno fenomenu kontralateralnih učinaka treninga jakosti. Konkretno, nalazi ovog istraživanja ukazuju na to da kratkotrajni unilateralni koncentrični trening jakosti, bez obzira na brzinu kontrakcije, proizvodi višestruke ipsilateralne i kontralateralne učinke u prostoru motoričke i lokomotorne funkcije čovjeka. Ti su učinci praktično relevantni i otvaraju mogućnost primjene rezultata ovog istraživanja u brojnim područjima, a posebice u području fizikalne medicine i rehabilitacije te prevencije ozljeda i padova.

Premda nisu bili predmetom ovog istraživanja, mehanizmi koji se nalaze u pozadini uočenih ipsilateralnih i kontralateralnih trenažnih učinaka vjerojatno imaju živčano izvorište. Potrebna su daljnja istraživanja u ovom području kako bi provjerila generalizabilnost ovih rezultata na druge populacije, posebice na populacije starijih osoba te osoba koje pate od živčano-mišićno-skeletnih bolesti ili oštećenja koja narušavaju ravnotežu i motoričku funkciju. Također, buduća bi istraživanja u ovom području trebala biti usmjerena prema utvrđivanju mišićnih i živčanih mehanizama koji se nalaze u pozadini ipsilateralnih i kontralateralnih promjena u jakosti i ravnoteži, izazvanih progresivnim treningom jakosti.

LITERATURA

1. Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercises and Sports Sciences Reviews*, 31:61 – 67.
2. Adamson, M., Macquaide, N., Helgerud, J., Hoff, J., Kemi, O. J. (2008.). Unilateral arm strength training improves contralateral peak force and rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 103(5):553 – 559.
3. Arnold, B. L., Schmitz R. J. (1998.). Examination of balance measures produced by the Biodex Stability System. *Journal of athletic training*, 33(4):323 – 327.
4. Behm, D. G., Sale, D. G. (1993.). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine*, 15(6):374-388.
5. Bezerra, P., Zhou, S., Crowley, Z., Brooks, L., Hooper, A. (2009.). Effects of unilateral electromyostimulation superimposed on voluntary training on strength and cross-sectional area. *Muscle and Nerve*, 40 (3):430 – 437.
6. Blackburn, T., Guskiewicz, K. M., Petscgauer, M. A., Prentice, W. E. (2000.). Balance and joint stability: The relative contributions of proprioception and muscular strength. *Journal of sport rehabilitation*, 9(4):315 – 328.
7. Brent, V., Stromberg, M. D. (1985.). Contralateral therapy in upper extremity rehabilitation. *American Journal of Physical Medicine*, 65(3):135 – 143.
8. Brent, V., Stromberg, M. D., Charleston, S. C. (1988.). Influence of cross – education training in postoperative hand therapy. *Southern Medical Journal*, 81(8): 989 – 991.
9. Cabric, M., Appell, H. J. (198.). Effect of electrical stimulation of high and low frequency on maximum isometric force and some morphological characteristics in men. *International Journal of Sport Medicine*, 8(4):256 – 260.
10. Cannon, R. J., Cafarelli, E. (1987.). Neuromuscular adaptations to training. *Journal of applied physiology*, 63(6):2396 – 2402.
11. Carroll, T. J., Herbert, R. D., Munn, J., Lee, M., Gandevia, S. C. (2006.). Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physiology*, 101(5):1514 – 1522.

12. Carroll, T. J., Lee, M., Hsu, M., Sayde, J. (2008.). Unilateral practice of a ballistic movement causes bilateral increases in performance and corticospinal excitability. *Journal of Applied Physiology*, 104(6):1656 – 1664.
13. Cohen, J. (1977.). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Academic Press.
14. Devine, K. L., LeVeau, B. F., Yack, H. J. (1981.). Electromyographic activity recorded from an unexercised muscle during maximal isometric exercise of the contralateral agonists and antagonists. *Physical therapy*, 61(6):898 – 903.
15. Drouin, J. M., Valovich-McLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., Perrin, D. H. (2004.). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1):22 – 29.
16. Duncan, P. W., Chandler, J. M., Cavanaugh, D. K., Johnson, K. R., Buehler, A. G. (1989.). Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 11(2):70 – 75.
17. Ebersole, K. T., Housh, T. J., Johnson, G. O., Perry, S. R., Bull, A. J., Cramer, J. T. (2002.). Mechanomyographic and electromyographic responses to unilateral isometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2):192 – 201.
18. Enoka, R. (2003.). *Neuromechanics of human movement*, Human Kinetics, Champaign, IL.
19. Evetovich, T. K., Housh, T. J., Housh, D. J., Johnson, G. O., Smith, D. B., Ebersole, K. T. (2001.). The effect of concentric isokinetic strength training of the quadriceps femoris on electromyography and muscle strength in the trained and untrained limb. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(4):439 – 345.
20. Farthing, J. P., Chilibeck, P. D. (2003.). The effect of eccentric training at different velocities on cross-education. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6):570 – 577.
21. Farthing, J. P., Chilibeck, P. D., Binsted, G. (2005.). Cross-education of arm muscular strength is unidirectional in right-handed individuals. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(9):1594 – 1600.

22. Farthing, J. P., Chilibeck, P. D., Binsted, G., Sarty, G. E. (2007.). Neuro-physiological adaptations associated with cross-education of strength. *Medicine & science in Sport & Exercise*, 37(9):1594 – 1600.
23. Fimland, M. S., Helgerud, J., Solstad, G. M., Iversen, V. M., Leivseth, G., Hoff, J. (2009.). Neural adaptations underlying cross-education after unilateral strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 107(6):723 – 730.
24. Gage, W.H., Winter, D.A., Frank, J.S., Adkin, A.L. (2004). Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait and posture*, 19(2):124,132.
25. Garfinkel, S., Cafarelli, E. (1992.). Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 24(11):1220 – 1227.
26. Goldenberg, L., Twist, P. (2002.). *Strength ball training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
27. Häkkinen, K., Keskinen, K. L. (1989.). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(3):215 – 220.
28. Häkkinen, K., Komi, P. V., Alen, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4): 587 – 600.
29. Hellebrandt, F. A. (1951.). Cross education: Ipsilateral and contralateral effects of unimanual training. *Journal of Applied Physiology*, 4(2):136 – 144.
30. Hellebrandt, F. A., Parrish, A. M., Houtz, S. J. (1947.). The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 28:76 – 85.
31. Herbert, R. D., Dean, C., Gandevia, S. C. (1998.). Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163(4):361 – 368.
32. Hess, J. A., Woollacott, M. (2005.). Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance impaired older adults. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 28(8):582 – 590.

33. Hof, At. L. (2008.). The „extrapolated center of mass“ concept suggests a simple control of balance in walking. *Human Movement Science*, 27:112 – 125.
34. Holviala, J. H. S., Sallinen, W. J., Kraemer, W. J., Alen, M. J. Häkkinen, K. K. T. (2006.). Effects of strength training on muscle strength characteristics, functional capabilities, and balance in middle-aged and older women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2):336 – 344.
35. Horlings, C. G. C., Engelen, G. M. B., Allum J. J. H., Bloem, R. B. (2008.). A weak balance: the contribution of muscle weakness to postural instability and falls. *Nature Clinical Practice Neurology*, 4(9):504 – 515.
36. Hortobágyi, T. (2005.). Cross education and the human central nervous system. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 24(1):22 – 28.
37. Hortobágyi, T., Lambert, N. J., Hill, J. P. (1997.). Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, (1):107 – 112.
38. Hortobágyi, T., Scott, K., Lambert, J., Hamilton, G., Tracy, J. (1999.). Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control*, 3(2):205 – 219.
39. Housh, D. J., Housh, T. J. (1993.). The effects of unilateral velocity-specific concentric strength training. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17(5):252 – 256.
40. Housh, D. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., Chu, W. K. (1992.). Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(1):65 – 70.
41. Houston, M. E., Froese, E. A., Valeriote, S. P., Green, H. J., Ranney, D. A. (1983.). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength training and detraining: a one leg model. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(1):25 – 35.
42. Howard, J. D., Enoka, R. M. (1991.). (Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of applied physiology*, 70(1):306 – 316.
43. Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., Gordon, P. M., Moyna, N. M., Pescatello, L. S., Visich, P. S., Zoeller, R. F., Seip, R. L., Clarkson, P. M. (2005.). Variability in muscle size and strength

- gain after unilateral resistance training. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(6):964 – 972.
44. Islam, M. M., Nasu, E., Rogers, M. E., Koizumi, D., Rogers, N. L., Takeshima N. (2004.). Effects of combined sensory and muscular training on balance in Japanese older adults. *Preventive medicine*, 39(6):1148 – 1155.
45. Izquierdo, M., Aguado, X., Gonzalez, R., López, J. L., Häkkinen, K. (1999.). Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(3):260 – 267.
46. Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D., Appleton, D. (1973.). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles, an autopsy study. *Journal of the neurological sciences*, 18:111 - 129.
47. Jones, D. A. i Rutherford, O. M. (1987.). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *The Journal of Physiology*, 391:1 - 11.
48. Judge, J. O., Lindsey, C., Underwood, M., Winsemius, D. (1993.). Balance improvements in older women: effects of exercise training. *Physical Therapy*, 73(4):254 - 262 i 263 - 265.
49. Kannus, P., Alosa, D., Cook, L., Johnson, R. J., Renström, P., Pope, M., Beynnon, B., Yasuda, K., Nichols, C., Kaplan, M. (1992.). Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. A randomized, controlled study using isometric and concentric isokinetic training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(2):117 - 126.
50. Koenke, S., Lutz, K., Herwig, U., Ziemann, U., Jäncke, L. (2006.). Extensive training of elementary finger tapping movements changes the pattern of motor cortex excitability. *Experimental Brain Research*, 174(2):199 – 209.
51. Kollmitzer, J., Ebenbichler, G. R., Sabo, A., Kersch, K., Bochsansky, T. (2000.). Effects of back extensor strength training versus balance training on postural control. *Medicine & science in Sport & Exercise*, 32(10):1770 – 1776.

52. Komi, P. V., Vitasalo, J. T., Rauramaa, R., Vihko, V. (1978.). Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(1):45 – 55.
53. Lacerte, M., DeLateur, B. J., Alquist, A. D., Questad, K. A. (1992.). Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training programs:effect on peak torque of human quadriceps femoris muscle. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73(11):1059 – 1062.
54. Latash, M. L. (1999.). Mirror writing: learning, transfer, and implications for internal inverse models. *Journal of Motor Behavior*, 31(2):107 – 111.
55. Laughman, R. K., Youdas, J. W., Garrett, T. R., Chao, E. Y. S. (1983.). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Physical therapy*, 63(4):495 – 499.
56. Lee, L., Siebner, H. R., Rowe, J. B., Rizzo, V., Rothwell, J. C., Frackowiak, R. S., Friston, K. J. (2003.). Acute remapping within the motor system induced by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation. *The Journal of Neuroscience*, 23(12):5308 – 5318.
57. Lee, M., Carroll, T. J. (2007.). Cross education: possible mechanisms for the contralateral effects of unilateral resistance training. *Sports Medicine*, 37(1):1 – 14.
58. Lee, M., Gandevia, S. C., Carroll, T. J. (2009.). Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clinical Neurophysiology*, 120(4):802 – 808.
59. Lee, M., Hinder, M. R., Gandevia, S. C., Carroll, T. J. (2010.). The ipsilateral motor cortex contributes to cross-limb transfer of performance gains after ballistic motor practice. *The Journal of Physiology*, 588(1):201–212.
60. Lloyd, D.G., Buchanan, T.S. (2001). Strategies of muscular support of varus and valgus isometric loads at the human knee. *Journal of biomechanics*, 34(10):1257-1267.
61. Malacko, J., Rado, I. (2004.). *Tehnologija sporta i sportskog treninga*. Sarajevo: Fakultet sporta i tjelesnog odgoja.
62. Marković, G. (2004.). *Utjecaj skakačkog i sprinterskog treninga na kvantitativne i kvalitativne promjene u nekim motoričkim i morfološkim obilježjima*. (Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

63. Marković, G. (2008.). Jakost i snaga u sportu: definicija, determinante, mehanizmi prilagodbe i trening. U I. Jukić, D. Milanović i C. Gregov (ur), Zbornik radova 6. godišnje međunarodne konferencije „Kondicijska priprema sportaša“, Zagreb, 2008. (str. 15 – 22). Zagreb, Kineziološki fakultet.
64. Milanović, D. (2007.). *Teorija treninga*. Zagreb: Kineziološki fakultet.
65. Miller, L. E., Pierson, L. M., Nickols-Richardson, S. M., Wootten, D. F., Selmon, S. E., Ramp, W. K., Herbert, W. G. (2006.). Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 77(1):58 – 63.
66. Mišigoj-Duraković, M. (2008.). *Kinantropologija – biološki aspekti tjelesnog vježbanja*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
67. Moritani, T., DeVries, H. A. (1978.). Reexamination of the relationship between the surface integrated electromyogram (IEMG) and force of isometric contraction. *American Journal of Physical Medicine*, 57(6):263 – 277.
68. Moritani, T., DeVries, H. A. (1979.). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3):115 – 130.
69. Munn J, Herbert R. D., Gandevia, S. C. (2004.). Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 96(5):1861 – 1866.
70. Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., Gandevia, S. C. (2005.). Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 37(9):1622 – 1626.
71. Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., Hewett, T. E. (2006.). The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2):345 – 353.
72. Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., Cerretelli, P. (1989.). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4):310 – 319.
73. Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., Narici, M. V. (2008.). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*, 41(15):3133 – 3138.

74. Orr, R., Raymond, J., Singh, F. M. (2008.). Efficacy of Progressive Resistance Training on Balance Performance in Older Adults – A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Sports Medicine*, 38(4):317 – 343.
75. Paddon-Jones, D., Leveritt, M., Lonergan, A., Abernethy, P. (2001.). Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *European Journal of Applied Physiology*, 85(5):466 – 471.
76. Parker, R. H. (1985.). The effects of mild one-legged isometric or dynamic training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(3):362 – 368.
77. Paterno, M. V., Myer, G. D., Ford, K. R., Hewitt, T. E. (2004.). Neuromuscular training improves single limb stability in young female athletes. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34 (6):305 – 316.
78. Petersen, S., Wessel, J., Bagnall, K., Wilkins, H., Quinney, A., Wenger, H. (1990.). Influence of concentric resistance training on concentric and eccentric strength. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71(2):101 – 105.
79. Pijnappels, M., Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Dieën, J. H. (2008.). Tripping without falling; lower limb strength, a limitation for balance recovery and a target for training in the elderly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(2):188 – 196.
80. Ploutz, L. L., Tesch, P. A., Biro, R. L., Dudley, G. A. (1994.). Effect of resistance training on muscle use during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76(4):1675 – 1681.
81. Rein, S., Fabian, T., Weindel, S., Schneiders, W. i Zwipp, H. (2011.a). The influence of playing level on functional ankle stability in soccer players. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, Feb 18. [Epub ahead of print].
82. Rein, S., Fabian, T., Zwipp, H., Rammelt, S., Weindel, S. (2011.b). Postural control and functional ankle stability in professional and amateur dancers. *Clinical Neurophysiology*, Mar 22. [Epub ahead of print].
83. Sale, D. G. (1988.). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(5):135 – 145.
84. Schmitz, R., Arnold, B. (1998.). Intertester and intratester reliability of the Biodex Stability System. *Journal of sport rehabilitation*, 9:95 – 101.

85. Seger, J. Y., Arvidsson, B., Thorstensson, A. (1998.). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(1):49 – 57.
86. Sekir, U., Yildiz, Y., Hazneci, B., Ors, F., Aydin, T. (2007.). Effect of isokinetic training on strength, functionality and proprioception in athletes with functional ankle instability. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 15(5):654 – 664.
87. Shields, R. K., Leo, K. C., Messaros, A. J., Somers, V. K. (1999.). Effects of repetitive handgrip training on endurance, specificity, and cross-education. *Physical Therapy*, 79(5):467 – 475.
88. Shima, N., Ishida, K., Katayama, K., Morotome, Y., Sato, Y., Miyamura, M. (2002.). Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4):287 – 294.
89. Shumway-Cook, A., Anson, D., Haller, S. (1988.). Postural sway biofeedback: its effect on reestablishing stance stability in hemiplegic patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69(6):395 – 400.
90. Signorile, J. F., Carmel, M. P., Lai, S., Roos, B. A. (2005.). Early plateaus of power and torque gains during high- and low-speed resistance training of older women. *Journal of Applied Physiology*, 98(4):1213 – 1220.
91. Teixeira, L. A. (2000.). Timing and force components in bilateral transfer of learning. *Brain and Cognition*, 44(3):455 – 469.
92. Tesch, P. A., Karlsson, J. (1984.). Effects of exhaustive, isometric training on lactate accumulation in different muscle fiber types. *International Journal of Sport Medicine*, Apr 5(2):89 – 91.
93. Thorpe, J. L., Ebersole, K. (2008.). Unilateral balance performance in female collegiate soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5):1429 – 1433.
94. Thorstensson, H.B.A, Sjödin, B., Karlsson, J. (1975). Relationship between isometric endurance and fibre types in human leg muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 93(1): 135 - 138.
95. Tihanyi, J. (1989.). Prinzipien individualisierter trainingsprotokolle auf der basis der muskelfaserzusammensetzung und mechanischer merkmale. *Leistungssport*, 19(2): 41 – 45.

96. Tsang, W. W. N., Hui-Chan, C. W. Y. (2005.). Comparison of muscle torque, balance, and confidence in older tai chi and healthy adults. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(2):280 – 289.
97. Uh, B. S., Beynnon, B. D., Helie, B. V., Alosa, D. M., Renstrom, P. A. (2000.). The benefit of a single-leg strength training program for the muscles around the untrained ankle. *American Journal of Sports Medicine*, 28(4):568 – 573.
98. Weir, J. P., Housh, D. J., Housh, T. J., Weir, L. L. (1995.). The effect of unilateral eccentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(5), 207 – 215.
99. Weir, J. P., Housh, D. J., Housh, T. J., Weir, L. L. (1997.). The effect of unilateral concentric weight training and detraining on joint angle specificity, cross-training, and the bilateral deficit. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 25(4), 264 – 270.
100. Weir, J. P., Housh, T. J., Weir, L. L. (1994.). Electromyographic evaluation of joint angle specificity and cross-training after isometric training. *Journal of Applied Physiology*, 77(1):197 – 201.
101. Weir, J. P., Housh, T. J., Weir, L. L., Johnson, G. O. (1995.). Effects of unilateral isometric strength training on joint angle specificity and cross-training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4):337 – 343.
102. Willems, T., Witvrouw, E., Verstuyft, J., Vaes, P., De Clercq, D. (2002.). Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability. *Journal of Athletic Training*, 37(4):487 – 493.
103. Yue, G., Cole, K. J. (1992.). Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67(5):1114 – 1123.
104. Zelisko, J. A., Noble, H. B., Porter, M. (1982.). A comparison of men's and women's professional basketball injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 10(5):297 – 299.
105. Zhou, S. (2000.). Chronic neural adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(4):177 - 184.

ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORICE

Josipa Bradić (rođ. Nakić) rođena je 08.10.1976. u Šibeniku, gdje je završila osnovnu i srednju medicinsku školu. 1996. godine upisala je (tadašnji) Fakultet za fizičku kulturu. Tijekom studija je radila kao demonstrator na predmetu Sportska gimnastika. 2001. godine je diplomirala, a 2004. godine magistrirala na Kineziološkom fakultetu. Od 2005. godine radi na Kineziološkom fakultetu kao znanstveni novak – asistent na predmetu Osnovne kineziološke transformacije (Ž).

Aktivno se bavila sportskom gimnastikom i košarkom, te bila članica hrvatske kadetske košarkaške nacionalne selekcije.

Od 2001. je radila kao kondicijski trener u kadetskim, juniorskim i mlađim seniorskim ženskim nacionalnim košarkaškim selekcijama s kojima je ostvarila brojne uspjehe, od kojih se posebno ističe treće mjesto na EP u Bugarskoj 2001. – kadetkinje, te osvojeno četvrto mjesto na Svjetskom prvenstvu za mlađe seniorke, 2003. godine. Radila je i kao programski savjetnik za kondicijsku pripremu ženske seniorske košarkaške nacionalne selekcije.

Dobitnica je Rektorove nagrade za rad pod naslovom: "Praćenje nekih pokazatelja kondicijske pripremljenosti u polugodišnjem makrociklusu treninga vrhunskih košarkaša.". Napisala je 13 znanstvenih radova, 24 stručna rada, te 4 sažetka.

REKTOROVA NAGRADA (1999/2000)

"Praćenje nekih pokazatelja kondicijske pripremljenosti u polugodišnjem makrociklusu treninga vrhunskih košarkaša."

DIPLOMSKI RAD (2001)

"Praćenje promjena u rezultatima motoričkih i funkcionalnih testova kod vrhunskih mladih košarkašica."

MAGISTARSKI RAD (2004)

"Razlike u standardnim i izvedenim parametrima situacijske učinkovitosti između muških i ženskih košarkaških ekipa na seniorskim košarkaškim Europskim prvenstvima 2003."

ZNANSTVENI RADOVI OBJAVLJENI U ZNANSTVENIM ČASOPISIMA

1. Bradić, J., Bradić, A., Pašalić E. (2006.). Razlike u standardnim parametrima situacijske učinkovitosti između pobjedničkih i poraženih ekipa na Seniorskim košarkaškim europskim prvenstvima 2003. godine. *Homosporticus*, 9(2):64-69.
2. Bradić, A., Bradić, J., Pašalić, E., Marković, G. (2009.). Isokinetic leg strength profile of elite male basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4):1332-1337.
3. Kovačević, E., Bradić, J., Bejdlić A., Abazović E. i Bradić A. (2010). Unilateral profile of dynamic balance of female students of faculty of sport and physical education. *Homosporticus*, 14(1):25-30.

ZNANSTVENI RADOVI OBJAVLJENI U OSTALIM PUBLIKACIJAMA

1. Nakić, J., Maršić, T. (2000.) Praćenje nekih pokazatelja kondicijske pripremljenosti u polugodišnjem makrociklusu treninga vrhunskih košarkaša. *Zbornik radova 9. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Poreč*, 175 – 177.
2. Jukić, I., Nakić, J., Milanović, L. (2003.). Primjena homogenih grupa u kondicijskoj pripremi košarkaša/ica. U *Zbornik radova 12. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, Poreč*, 66 – 69.
3. Čustonja, Z., Nakić, J., Milanović, L. (2003.). Intervalna metoda rada. U *Zbornik radova 12. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Poreč*, 128 – 130.
4. Nakić, J., Tkalčić, S., Jukić, I. (2005.). Differences in standard performance indicators between male and female basketball senior teams participating in the 2003 european championships. *Proceedings book of 4th International scientific Conference on Kinesiology „Science and proffesion - Challenge for the future“*. Opatija, 526 - 528.
5. Tkalčić, S., Nakić, J., Šimek, S. (2005.). Differences in motor abilities between "young-senior" and "cadet" female basketball players. *Proceedings book of 4th International scientific Conference on Kinesiology „Science and proffesion - Challenge for the future“*. Opatija, 385 - 386.
6. Trošt, T., Jukić, I., Milanović, L., Šimek, S., Nakić, J. (2005). Učestalost ozljeđivanja članova Hrvatske košarkaške reprezentacije. *Nove tehnologije u sportu*. Sarajevo, 450 - 452.
7. Tkalčić, S., Bradić, J., Gregov, C. (2007.). Utjecaj šuterskih koeficijenata na ukupnu uspješnost košarkašica juniorske dobi. *Zbornik naučnih i stručnih radova, Nove tehnologije u sportu*. Sarajevo, 184 - 188.
8. Tkalčić, S., Bradić, J., Bradić, A., Gregov, C. (2007). Relacije količine potkožnog masnog tkiva i standardnih parametara situacijske efikasnosti košarkašica juniorske dobi. U *Zbornik radova 16. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske. Opatija*, 238 - 243.

9. Bradić, J., Kovačević, E., Babajić, F. (2011). Effects of unilateral strength training on balance performance. *Proceedings book of 4th International scientific Conference on Kinesiology „Integrative power of kinesiology“*. Opatija, prihvaćeno za objavu.
10. Bradić, A., Kovačević, E., Bradić, J. (2011). Differences in the size of unilateral isokinetic effects in regard to angular speed of training. *Proceedings book of 4th International scientific Conference on Kinesiology „Integrative power of kinesiology“*. Opatija, prihvaćeno za objavu.

STRUČNI RADOVI OBJAVLJENI U STRUČNIM ČASOPISIMA

1. Nakić, J. (2003.). Dinamičko istezanje. *Kondicijski trening*, 1(1): 18 – 21.
2. Nakić, J. (2004.). Plan i program priprema hrvatske mlade ženske košarkaške selekcije za Svjetsko prvenstvo u Šibeniku 2003. godine, (2004). *Kondicijski trening*, 2(2): 59 – 64.

STRUČNI RADOVI OBJAVLJENI U OSTALIM PUBLIKACIJAMA

1. Jukić, I., Milanović, D., Jandrić, B., Puhak, S., Šimek, S., Nakić, J., Milanović, L. (2001). Sportaši u zagrebačkom sportu. *Zbornik radova sa stručnog skupa Stanje i perspektive zagrebačkog sporta*, Fakultet za fizičku kulturu i Zagrebački športski savez, Zagreb, 49-59.
2. Jukić, I., Milanović, D., Varvodić, I., Antekolović, Lj., Belušić, H., Čustonja, Z., Matić, M., Milanović, L., Nakić, J., Rukavina, D., Sekovanić, Z., Šimek, S. (2001.). Tehnologija sportske pripreme zagrebačkih sportaša. *Zbornik radova sa stručnog skupa Stanje i perspektive zagrebačkog sporta*. Zagreb, 104-112.
3. Jukić, I., Milanović, D., Vuleta, D., Harasin, D., Komes, Z., Nakić, J., Milanović, L. (2001, 2002.). Preventivni kondicijski trening u rukometu. *Zbornik radova sa 25. i 26. seminara za rukometne trenere*. Pula, 119 - 124.

4. Harasin, D., Antekolović, Lj., Milanović, L., Nakić J. (2001.). Sustavi treninga s teretom. U *Zbornik radova 10. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske*. 239 – 241.
5. Jukić, I., Vuleta, D., Komes, Z., Harasin, D., Nakić, J., Milanović, L. (2002.). Individualni dopunski trening. Zbornik radova znanstveno stručnog skupa “*Dopunski sadržaji sportske pripreme*”, Zagreb, 16 - 21.
6. Jukić, I., Milanović, D., Vuleta, D., Komes, Z., Harasin, D., Nakić, J. (2002.). Preventivski kondicijski trening. Zbornik radova znanstveno stručnog skupa “*Dopunski sadržaji sportske pripreme*”, Zagreb, 22 - 28.
7. Šimek, S., Čustonja, Z., Nakić, J. (2002.). Programiranje treninga s opterećenjima kod žena. U *Zbornik radova 11. ljetnoj školi kineziologa Republike Hrvatske*. Rovinj, 93 – 95.
8. Milanović, L., Jukić, I., Nakić, J., Čustonja, Z. (2003.). Kondicijski trening mlađih dobnih skupina. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 54 - 61.
9. Šimek, S., Nakić, J., Trošt, T. (2003.). Specifičnosti kondicijskoga treninga sportašica. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 64 - 72.
10. Nakić, J. (2003.). Metodika treninga fleksibilnosti. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 256-263.
11. Jukić, I., Nakić, J., Milanović, L., Marković, G. (2003.). Metodika treninga agilnosti. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 271 - 277.
12. Jukić, I., Komes, Z., Šimek, S., Milanović, L., Nakić, J., Trošt, T. (2003.). Metodika proprioceptivnog treninga. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 289-295.

13. Jukić, I., Nakić, J., Milanović, L. (2003.). Kondicijska priprema u košarci. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 380-389.
14. Nakić, J. (2003.). Obrada i interpretacija rezultata dobivenih dijagnostičkim postupcima u košarci. Zbornik radova s međunarodnog znanstveno-stručnog skupa *Kondicijska priprema sportaša*, 395-399.
15. Jukić, I., Šimek, S., Čustonja, Z., Milanović, L., Nakić, J. (2003.). Kondicijski trening u vodi. Zbornik radova V. konferencije o sportu Alpe-Jadran, 143-153.
16. Vuleta, D., Gruić, I., Milanović, L., Nakić, J., Harasin, D. (2003.). Modeliranje pojedinačnog treninga kompleksne usmjerenosti u rukometu. Zbornik radova 27 seminara rukometnih trenera, 99-109.
17. Nakić, J. (2004.). Metodika treninga fleksibilnosti mladih dobnih kategorija u rukometu. Zbornik radova sa 28-og seminara za rukometne trenere, 71-77.
18. Rak, M., Nakić, J. (2005.) Oporavak sportaša nakon treninga i natjecanja-praktična iskustva. Zbornik radova *Kondicijska priprema sportaša: Oporavak u sportu*, 155 – 162.
19. Tkalčić, S., Nakić, J., Jukić, I. (2005.). Korištenje kompjuterske obrade podataka u programiranju trenažnog rada. U Zbornik radova 14. ljetnoj školi kineziologa Republike Hrvatske. Rovinj, 378 – 380.
20. Bradić, J., Bradić, A., Tkalčić, S., Šebić-Zuhrić, L. (2006.). Istezanje i prevencija ozljeda. Zbornik radova *Kondicijska priprema sportaša: Prevencija ozljeda u sportu*, 107 – 115.
21. Tkalčić, S., Gregov, C., Bradić, J. (2007). Proprioceptivna neuromuskularna facilitacija-metoda unapređenja učinkovitosti živčano-mišićnog sustava. *Međunarodna znanstveno-stručna konferencija: Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života*, 337-343.
22. Bradić A., Rađo, I., Pašalić, E., Bradić, J., Marković, G. (2008). Trening jakosti u natjecateljskom razdoblju: praktični primjeri iz individualnih i timskih sportova. Zbornik radova *Kondicijska priprema sportaša*: 59 - 61.

OBJAVLJENI SAŽECI

1. Jukić, I., Nakić, J., Milanović, L., Čustonja, Z. (2003). Monitoring of some indicators of physical fitness in a half-year cycle of training of top basketball players. *Book of Abstracts of 8th Annual Congress European College of Sport Science*, Institute of Sport Science University of Salzburg, Austria.
2. Nakić, J., Jukic, I., Šimek, S., Čustonja, Z., Bradić A., Pašalić, E. (2005.) Differences in standard performance indicators between male and female basketball senior teams partipating in the 2003 European Championships. *European College of Sport Science*, Belgrade, 347.
3. Bradić, A., Jukić, I., Pašalić, E., Bradić, J. (2007). Program suplementacije prema usmjerenosti kondicijskih treninga košarkaške reprezentacije BiH u kvalifikacijama za europsko prvenstvu u košarci (Španjolska 2007. godine). Zbornik radova s I. Međunarodnog kongresa sportske prehrane i suplementacije. Beograd, 63-65.
4. Bradić. J., Bradić, A., Kovačević, E., (2011). The effects of unilateral strength training on contralateral balance performance. *European College of Sport Science*, Liverpool, prihvaćeno za objavu.