

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet

Ivan Ljubičić

**Lateralna simetrija kod zdravih osoba i osoba s lumbalnim
bolnim sindromom**

Zagreb, 2024.

Ovaj rad izrađen je u prostorijama Kineziološkog fakulteta pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Marija Bakovića i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2023/2024.

Popis kratica korištenih u radu

AS - aritmetička sredina

SD - standardna devijacija

TMG - tenziomiografija

Min - minimum

Max - maksimum

N - broj ispitanika

ICC - interklasni koeficijent korelacije

LBS - lumbalni bolni sindrom

LS - lateralna simetrija

EMG - elektromiografija

ITM - indeks tjelesne mase

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. CILJ RADA I HIPOTEZE.....	3
3. METODE RADA.....	4
3.1. Uzorak ispitanika	4
3.2. Uzorak varijabli.....	4
3.3. Opis eksperimentalnog postupka.....	5
3.4. Metoda obrade podatka.....	7
4. REZULTATI	8
5. RASPRAVA	12
6. ZAKLJUČAK.....	15
7. ZAHVALA	16
8. LITERATURA	17
9. SAŽETAK.....	21
10. SUMMARY.....	22

1. UVOD

U području procjene kontraktilnih svojstava mišića, tenziomiografija (TMG) se u posljednja dva desetljeća pokazala kao obećavajući alat. TMG je neinvazivni, mehanomiografski dijagnostički alat koji koristi kontroliranu električnu stimulaciju za procjenu kontraktilnih svojstava i amplitude mišićnog tonusa površinskih skeletnih mišića u izometrijskim uvjetima (Dahmane i sur., 2001; Pišot i sur., 2008; Šimunič i sur., 2011; Abazović i sur., 2018; Park, 2020). Tenziomiografija osim procjene mehaničkih i kontraktilnih svojstava mišića daje informacije o brzini kontrakcije, krutosti mišića, tipu dominantnih mišićnih vlakana (Rey i sur., 2012; Rusu i sur., 2013). U dosadašnjim istraživanjima TMG je korišten u rehabilitaciji nakon rekonstrukcije prednjih križnih ligamenata (Alvarez-Diaz i sur., 2016; Alentorn-Geli i sur., 2015; DeMont i sur., 1999) korelaciji između kontraktilnih svojstava mišića kvadricepsa i funkcionalne izvedbe u trkača s patelofemoralnim bolnim sindromom (Elmahdy i sur., 2023), identifikacije i razvoja talenata (Čular i sur., 2023), te treningu i sportskoj izvedbi (Alvarez-Diaz i sur., 2016; Bušljeta, 2022; García-García i sur., 2019; García-Manso i sur., 2011; Hunter i sur., 2012; Muñoz-López i sur., 2022). TMG se pokazala kao jako pouzdana metoda mjerenja skeletnih mišića. U svom radu Šimunič (2012) je imao za cilj ustanoviti pouzdanost TMG testiranja u tri skeletna mišića (vastus medialis, vastus lateralis i biceps femoris). Tri uzastopna dana, 10 zdravih muških dobrovoljaca (prosjeak \pm SD: dob $24,6 \pm 3,0$ godine; visina $177,9 \pm 3,9$ cm; težina $72,4 \pm 5,2$ kg) ispitani su u ležećem položaju. Provedena je analiza pouzdanosti s izračunima pristranosti, slučajne pogreške, koeficijenta varijacije (CV), standardne pogreške mjerenja i koeficijenta korelacije unutar klase (ICC) s intervalom pouzdanosti od 95%. Analiza ICC-a pokazala je izvrsno slaganje (ICC je bio preko 0,94 u 14 od 15 testiranih parametara).

Bol u donjem dijelu leđa pokriva spektar različitih vrsta boli (nociceptivnu, neuropatsku i nociplastičnu ili nespecifičnu) koje se često preklapaju (Knežević, 2021) i vodeći je uzrok invaliditeta u svijetu (James i sur., 2018; Hartvigsen i sur., 2018). Ovaj mišićno-koštani poremećaj također je povezan s visokim socioekonomskim troškovima (osobito kroničnim LBS) i dugoročnim posljedicama, uključujući smanjenu sposobnost obavljanja svakodnevnih životnih aktivnosti (Dieleman i sur., 2016; Itz i sur., 2013). Prema (Hartvigsen i sur., 2018) na globalnoj razini invalidnost uzrokovana lumbalnim bolnim sindromom povećala se za 54% između 1990. i 2015., uglavnom zbog porasta broja stanovništva i starenja, s najvećim povećanjem u zemljama s niskim i srednjim prihodima.

S obzirom na veliku prevalenciju i troškove liječenja veliki broj znanstvenih radova je objavljen upravo na ovu temu. Prilikom pretraživanja literature koja se odnosi na lumbalni bolni sindrom (eng. *low back pain*) na dan 23. kolovoza 2024. objavljeno je 50,861 radova na PubMed stranici. Nekoliko studija je objavljeno u kojima se koristio TMG uređaj kao dijagnostiku stanja mišića kod LBS (Park, 2022; Deodato i sur., 2024; Lohr i Medina-Porqueres, 2021) te procjenu funkcionalnog stanja leđnih mišića u djevojčica sa skoliozom niskog stupnja (Szurmik i sur., 2023).

Elementi koji čine lumbalnu kralježnicu (npr. meko tkivo, kralješci i sakroilijakalni zglobovi, intervertebralni diskovi i neurovaskularne strukture) skloni su različitim stresorima, a svaki od njih, sam ili u kombinaciji, može doprinijeti bolu u donjem dijelu leđa. Lumbalni bolni sindrom može se definirati kao nelagodnost ili bol koju bolesnik osjeća u području lumbalne regije, donjih rebrenih lukova te glutealne brazde sa boli koja se širi niz nogu ili ne (Schnurrer-Luke Vrbanić, 2011). U većini studija se pokazuje da se pojavljuje između 30. i 50. godine života te jednako pogađa muškarce i žene, a procjene su da 50-80% osoba doživi bar jednu epizodu križobolje u životu. Više od 85% slučajeva LBS kategorizirano je kao nespecifični LBS (NSLBP), bez prepoznatljivog uzroka ili patologije dok je 15% specifična uzrokovana infekcijama ili tumorom te je bolest povezana velikim neurološkim deficitom uzrokovanim (npr. zbog spinalne stenoze ili hernije diska) (Deyo i sur., 1996; Deyo i sur., 2015; Ehrlich i sur., 1999.). Posturalna kontrola, koja je bitna za izvršavanje funkcionalnih aktivnosti, smanjena je u bolesnika s NSLBP (Shumway-Cook i sur., 1986) te je složen neuromuskularni proces koji ovisi o senzornom unosu iz vidnog, vestibularnog i somatosenzornog sustava.

S obzirom na trajanje bolova, LBS može se podijeliti na akutnu, subakutnu i kroničnu fazu. Prema Furlan i sur. 2015 trajanje akutne faze je manje od 4 tjedna, subakutne 4-12 tjedana a kronične faze 12 tjedana i više. Neki autori navode trajanje kronične faze više od 6 mjeseci (Patrick i sur., 2016).

Jedna od metoda korištenih kod osoba s LBS-om u procjeni jakosti i disbalansa mišića su: elektromiografija (HDEMG) koja uz pomoć elektroda mjeri aktivaciju mišića (Serafino i sur., 2021), ultrazvuk koja na osnovu zvučnih valova mjeri debljinu mišića (Rostami i sur., 2015) te funkcionalni testovi za procjenu mišića trupa (Deodato i sur., 2024).

2. CILJ RADA I HIPOTEZE

Cilj ovog rada je istražiti razlike u lateralnoj simetriji kontraktilnih svojstava mišića *m. erector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis* između zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom, koristeći tenziomiografiju (TMG) kao dijagnostički alat.

H0: Ne postoji statistički značajna razlika u lateralnoj simetriji kontraktilnih svojstava mišića (*m. erector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis*) između zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom.

H1: Postoji statistički značajna razlika u lateralnoj simetriji kontraktilnih svojstava mišića (*m. erector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis*) između zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom.

3. METODE RADA

3.1. Uzorak ispitanika

Populacija iz koje je izvučen uzorak ispitanika predstavlja sve mlade osobe muškog i ženskog spola u rasponu od 19 do 29 godina s indeksom tjelesne mase (ITM) manjim od 30. Uzorak ispitanika ($N = 40$) podijeljen je u 2 skupine po 20 ispitanika u dobi od $23,27 \pm 2,71$ godine, visine $179,9 \pm 10,25$ cm i tjelesne mase $80,65 \pm 13,63$ kg. Prvu skupinu čine zdravi ispitanici bez bolova u lumbalnom dijelu leđa zadnjih 6 mjeseci. Drugu skupinu čine ispitanici s kroničnim lumbalnim bolnim sindromom dužim od 6 mjeseci. Isključeni su sudionici sa specifičnim uzrokom LBS-a (npr. hernija diska, spinalna stenoza, sindrom cauda equina, infekcija, prijelom, tumor). Sudionici su bili isključeni iz obje skupine ako su bili ili su nedavno bili trudni, ili ako su imali bilo kakve veće neurološke ili respiratorne poremećaje, prethodne operacije kralježnice, neurološke znakove (npr. slabost, parestezije), bol u donjim udovima ili ozljedu koja je ograničavala njihovu funkciju. Svi ispitanici su bili informirani o predmetu i cilju istraživanja kao i o mogućim rizicima istraživanja.

3.2. Uzorak varijabli

Uzorak varijabli korištenih u ovome istraživanju sastoji se od 4 parametra morfoloških karakteristika i 6 parametara izmjerenih na TMG uređaju.

Morfološke karakteristike

- Visina
- Težina
- Dob
- Spol

Varijable tenziomiografije

- T_c (ms) – vrijeme kotrakcije
- T_s (ms) – vrijeme održavanja
- T_r (ms) – vrijeme relaksacije
- D_m (mm) – maksimalni radijalni pomak

- *Td (ms)* – vrijeme kašnjenja
- *LS%* - lateralna simetrija

Izmjereni mišići:

- *m.erector spinae* (ES)
- *m.gluteus maximus* (GT)
- *m.obliquus externus* (OE)
- *m.rectus abdominis* (RA)

3.3. Opis eksperimentalnog postupka

Mjerenja su provedena u lipnju i srpnju 2024. godine na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu u Laboratoriju za audiovizualne tehnologije u kineziologiji. Ispitanik je postavljen u ležeći položaj prema unaprijed određenom položaju u zglobu 5-30° u zavisno od odabranog mišića koji se mjeri (Slika 1). Elektrode su postavljene bipolarno na kožu iznad svake strane trbuha mišića, anoda se nalazi distalno, a katoda proksimalno, 20-50 mm međusobno razmaknute. Trajanje impulsa je 1 ms, a početna amplituda je bila 50 mA. Za svaki test, amplituda je progresivno povećavana za po 10 mA sve dok nije postignut maksimalni pomak mišića. Odmor između svakoga impulsa je trajao 10 sekundi.



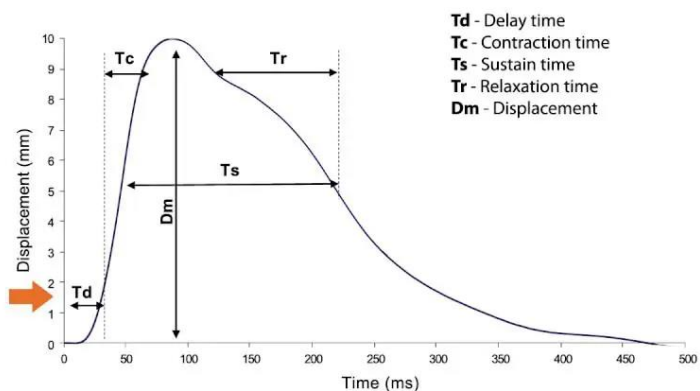
Slika 1. TMG dijagnostika (izvor: privatna arhiva)

Analizom TMG moguće je izmjeriti sljedeće parametre:

1. vrijeme odgode (kašnjenja) (T_d) – koje predstavlja 10% od ukupnog vremena kontrakcije
2. vrijeme kontrakcije (T_c) – vrijeme između 10 – 90 % od D_m -a
3. maksimalni pomak mišića (D_m) – maksimalni radijalni pomak mišića od opuštenog mišića do maksimalne kontrakcije
4. vrijeme trajanja kontrakcije (T_s) – vrijeme trajanja od 50% kontrakcije do 50% relaksacije
5. vrijeme relaksacije (T_r) – vrijeme trajanja relaksacije mišića od maksimalne kontrakcije do 50 % od ukupnog D_m -a



TMG Parameters



Td - Delay time
Tc - Contraction time
Ts - Sustain time
Tr - Relaxation time
Dm - Displacement



Slika 2. Parametri dobiveni testiranjem TMG uređaja

3.4. Metoda obrade podatka

Prikupljeni podaci su uneseni u MS Excel bazu podataka, a za statističku obradu podataka korišten je program Statistica 13.4. Za sve varijable izračunati su centralni i disperzivni parametri: aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), minimum (MIN), maksimum (MAX) i raspon rezultata (RAS). Normalnost distribucije varijabli testirana je Shapiro-Wilk test. T- testom je utvrđeno postoji li statistički značajna razlika u lateralnoj simetriji kod zdravih u odnosu na osobe s LBS. Postotak lateralne simetrije je izračunat pomoću formule (Slika 3.) na osnovu lijevih i desnih strana odabranih mišića i njihovih parametara Dm , Tc , Tr i Ts .

$$LS = 100 \cdot \left(0.1 \cdot \frac{\min(Td_R Td_L)}{\max(Td_R Td_L)} + 0.6 \cdot \frac{\min(Tc_R Tc_L)}{\max(Tc_R Tc_L)} + 0.1 \cdot \frac{\min(Ts_R Ts_L)}{\max(Ts_R Ts_L)} + 0.2 \cdot \frac{\min(Dm_R Dm_L)}{\max(Dm_R Dm_L)} \right)$$

Slika 3. Formula lateralne simetrije

4. REZULTATI

Dobiveni rezultati prikazuju statistički obrađene varijable na osnovu kojih je utvrđivana razlika između LS kod zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom te razlika lijeve i desne strane opisanih mišića

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji lijeve i desne strane mišića kod zdravih osoba

		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>t</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
		<i>AS±SD</i>	<i>AS±SD</i>			
ES	<i>Tc (ms)</i>	15,42±2,04	15,69±2,70	-0,354	1,749	0,725
	<i>Ts (ms)</i>	45,34±69,30	75,41±98,09	-1,119	2,003	0,269
	<i>Tr (ms)</i>	17,95±24,45	47,23±77,48	-1,611	10,038	0,115
	<i>Dm (mm)</i>	5,33±1,86	5,43±1,78	-0,172	1,094	0,864
	<i>Td (ms)</i>	19,44±2,26	18,97±2,90	0,571	1,648	0,571
GT	<i>Tc (ms)</i>	57,07±33,74	54,78±32,60	0,219	1,071	0,828
	<i>Ts (ms)</i>	213,50±34,02	214,03±48,99	-0,039	2,073	0,069
	<i>Tr (ms)</i>	95,27±50,59	90,03±40,50	0,362	1,561	0,340
	<i>Dm (mm)</i>	11,80±2,81	11,70±2,86	0,113	1,034	0,911
	<i>Td (ms)</i>	33,15±4,95	32,75±5,00	0,247	1,233	0,807
OE	<i>Tc (ms)</i>	21,25±7,01	20,07±3,04	0,691	5,328	0,493
	<i>Ts (ms)</i>	174,46±219,40	145,10±150,61	0,493	2,122	0,625
	<i>Tr (ms)</i>	103,18±144,54	88,01±124,58	0,355	1,346	0,724
	<i>Dm (mm)</i>	3,93±1,57	3,99±1,72	-0,104	1,201	0,918
	<i>Td (ms)</i>	21,85±1,08	21,93±1,53	-0,193	2,000	0,848
RA	<i>Tc (ms)</i>	44,94±9,54	43,48±5,93	0,581	2,589	0,565
	<i>Ts (ms)</i>	45,35±69,30	75,42±98,09	-1,120	2,003	0,270
	<i>Tr (ms)</i>	154,15±185,04	193,20±194,22	-0,651	1,102	0,519
	<i>Dm (mm)</i>	10,01±2,91	9,50±2,72	0,579	1,150	0,566
	<i>Td (ms)</i>	30,09±5,56	27,88±3,68	1,481	2,283	0,147

AS-aritmetička sredina, SD-standardna devijacija, t-vrijednost, F- vrijednost p- razina značajnosti(p≤0,05)

Tablica 2. Deskriptivni pokazatelji lijeve i desne strane mišića kod osoba s LBS

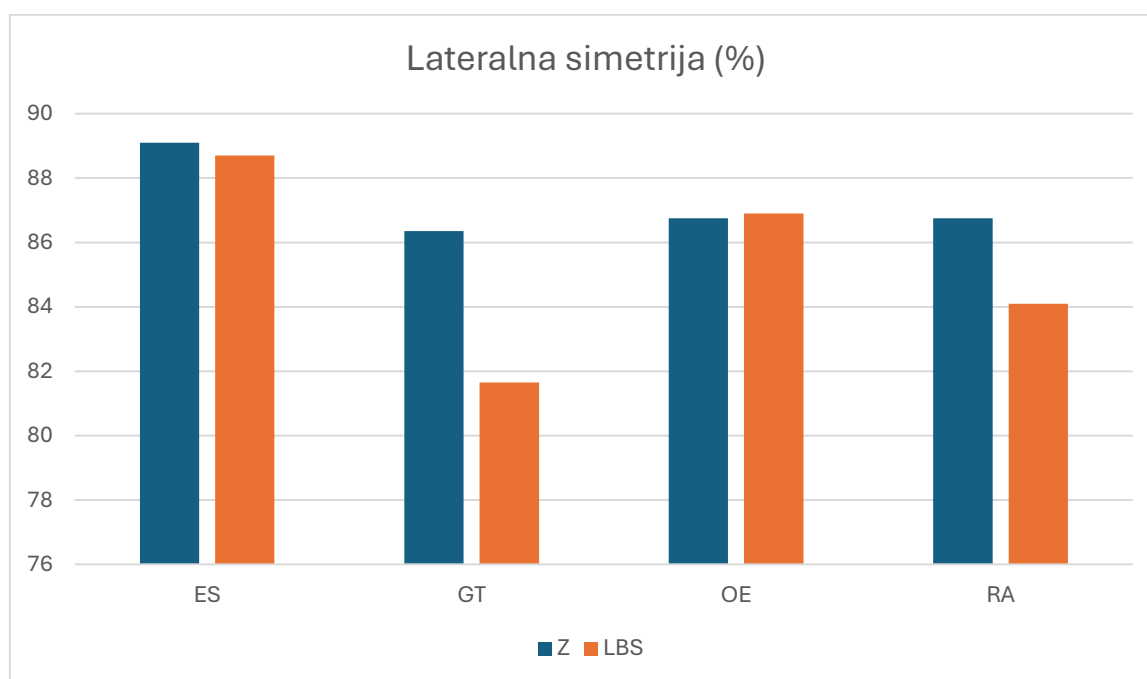
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>t</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
		<i>AS±SD</i>	<i>AS±SD</i>			
ES	<i>Tc (ms)</i>	15,07±2,97	15,11±2,76	-0,445	1,156	0,965
	<i>Ts (ms)</i>	56,41±89,32	80,25±129,78	-0,677	2,110	0,503
	<i>Tr (ms)</i>	39,11±86,73	44,35±102,12	-0,175	1,386	0,862
	<i>Dm (mm)</i>	4,54±2,47	4,47±2,27	0,099	1,192	0,922
	<i>Td (ms)</i>	20,47±3,63	20,01±3,04	0,438	1,425	0,664
GT	<i>Tc (ms)</i>	51,60±22,30	48,79±24,38	0,381	1,195	0,706
	<i>Ts (ms)</i>	222,11±65,13	265,73±170,06	-1,022	6,817	0,313
	<i>Tr (ms)</i>	76,04±46,47	72,71±35,04	0,256	1,759	0,800
	<i>Dm (mm)</i>	11,19±4,02	10,48±4,83	0,503	1,442	0,618
	<i>Td (ms)</i>	34,30±6,59	32,52±6,27	0,875	1,105	0,387
OE	<i>Tc (ms)</i>	18,98±2,13	18,85±2,77	0,172	1,691	0,864
	<i>Ts (ms)</i>	83,92±160,17	62,26±79,78	0,541	4,031	0,591
	<i>Tr (ms)</i>	30,68±51,83	33,14±46,47	-0,158	1,244	0,875
	<i>Dm (mm)</i>	2,80±1,51	2,79±1,62	0,034	1,156	0,973
	<i>Td (ms)</i>	21,96±1,70	21,37±2,16	0,967	1,608	0,340
RA	<i>Tc (ms)</i>	52,87±8,90	53,30±10,03	-0,886	1,270	0,886
	<i>Ts (ms)</i>	285,95±160,61	287,82±202,50	-0,032	1,590	0,974
	<i>Tr (ms)</i>	175,41±135,54	175,19±142,19	0,005	1,100	0,996
	<i>Dm (mm)</i>	7,36±1,62	7,17±1,39	0,395	1,348	0,695
	<i>Td (ms)</i>	32,84±7,04	34,89±10,73	-0,715	2,32	0,479

AS-aritmetička sredina, SD-standardna devijacija, t-vrijednost, F- vrijednost p- razina značajnosti($p \leq 0,05$)

Tablica 3. Deskriptivni pokazatelji lateralne simetrije

		<i>Z</i>	<i>LBS</i>	<i>t</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
		<i>AS±SD</i>	<i>AS±SD</i>			
<i>LS%</i>	<i>ES</i>	89,1±5,29	88,7±6,30	0,217	1,418	0,829
	<i>GT</i>	86,35±10,27	81,65±14,77	1,168	2,069	0,250
	<i>OE</i>	86,75±7,81	86,9±7,25	-0,063	1,162	0,950
	<i>RA</i>	86,75±7,09	84,1±9,23	1,018	1,698	0,315

AS-aritmetička sredina, SD-standardna devijacija, t-vrijednost, F-vrijednost, p- razina značajnosti($p \leq 0,05$)



Graf 1. Lateralne simetrije između zdravih (Z) osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom (LBS)

Prikazani rezultati u tablicama 1. i 2. pokazuju kako nema statistički značajne razlike između lijeve i desne strane u parametrima T_c , T_s , T_r , D_m i T_d mjerenih kod mišića ES, GT, OE i RA. Gledajući aritmetičke sredine za pojedine vrijednosti varijabli kod zdravih (Tablica 1.) i bolesnih (Tablica 2.) postoji nešto veća razlika u varijabli T_s kod mišića ES (GT, OE i RA te u varijabli T_s kod mišića ES, GT, OE i RA (Tablica 2).

Tablica 3. prikazuje razliku između lateralne simetrije kod zdravih osoba i osoba s LBS izražena u postocima. Nije pronađena statistički značajna razlika u lateralnoj simetriji između ove dvije skupine iako aritmetičke sredine pokazuju bolje rezultate u lateralnoj asimetriji kod zdravih u tri mišića (ES,GT i RA) i osoba s LBS OE.

U grafikonu 1. mogu se vidjeti veće vrijednosti kod zdravih osoba (ES,GT i RA) i kod osoba s LBS-om (OE). Veće vrijednosti lateralne simetrije pokazuju da nema razlike između lijeve i desne strane.

5. RASPRAVA

Cilj ovoga istraživanja bio je istražiti postoji li razlika u lateralnoj simetriji (LS) između zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom te istražiti razlike između lijeve i desne strane kod mišića *m. errector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis*. U tablici 3. prikazani su rezultati LS između zdravih osoba i osoba s LBS za mišiće ES ($89,1 \pm 5,29\%$ vs $88,7 \pm 6,30\%$, $p=0,829$), GT ($86,35 \pm 10,27\%$ vs $81,65 \pm 14,77\%$, $p=0,250$), OE ($86,75 \pm 7,81\%$ vs $86,9 \pm 7,25\%$, $p=0,950$) i RA ($86,75 \pm 7,09\%$ vs $84,1 \pm 9,23\%$, $p=0,315$). Međutim, nije pronađena razlika na razini statističke značajnosti ($p \leq 0,05$) između ove dvije varijable čime je potvrđena hipoteza H0. Prema Paravlić (2022) granične vrijednosti LS uzete su na 80 %, a sve vrijednosti ispod tih rezultata smatrane su značajne, to jest sve vrijednosti ispod 80 % ukazuju na to da postoji značajnija razlika između lijeve i desne strane mišića. Lateralna simetrija vrlo često je korištena metoda u procjeni dominantne i nedominantne strane (Lenková i Lukáčová, 2022) gdje su pronađene razlike u LS *m. triceps brachii* kod badminton igrača. Zanimljivo je da su vrijednosti *Tc* i *Dm* bile više u nedominantnom ekstremitetu u *m. triceps brachii* u usporedbi s dominantnim udom za sve igrače badmintona. Prema Deodato i sur. 2024 gimnastičari s LBS nisu pokazali razliku između LS kod mišića RA i ES, ali je utvrđeno da gimnastičari s LBS imaju manji lijevi i desni ES *Dm* u usporedbi s zdravim sportašima. Iz iste studije dolazi da gimnastičari s LBS mjereni ultrazvukom imaju manju debljinu lijevog i desnog lumbalnog multifidisa, desnog unutarnjeg kosog mišića kao i manji lijevi i desni vanjski kosi mišić što ukazuje na krutost mišića osoba s LBS.

Iz ovog istraživanja može se vidjeti da ne postoji razlika između debljine (*Dm*) lijevog i desnog ES zdravog mišića ($5,33 \pm 1,86$ vs $5,43 \pm 1,78$ $p=0,864$) i ES kod osoba s LBS ($4,54 \pm 2,47$ vs $4,47 \pm 2,27$ $p=0,922$), ali se može primijetiti da kod osoba s LBS-om postoji manja debljina mišića (*Dm*) u odnosu na zdrave ispitanike. *Dm* ili maksimalni radijalni pomak mišića označava apsolutnu prostornu transverzalnu deformaciju mišića, a smanjeni *Dm* tumači se kao povećanje ukočenosti mišića (Šimunić, 2012).

Iako se većina studija bazirala na procjenu mišića trupa, mali broj istraživanja se bazirao na ostalim mišićima kod osoba s LBS-om. Moguća uloga *m. gluteus maximus* (GM) je minimalno ispitana. GM je najvažniji tijekom prvih 50 % ekstenzije trupa od pune fleksije, kada je poznato da intervertebralni diskovi imaju najveći rizik u hernaciji (Leinonen i sur., 2000). Prema tome slab GM može dovesti do nepravilne tehnike podizanja tereta. Također postoje dokazi da GM kompenzira mišiće ES tako što postaje aktivniji kada ES postaje umoran što bi moglo pomoći

u zaštiti od određenih ozljeda leđa. Površina poprečnog presjeka mišića kod osoba s LBS bila je značajno manja nego kod zdravih osoba, ali nije pronađena statistički značajna razlika između lijeve i desne strane GM kod obje skupine (Amabile i sur., 2018). Ova studija pokazuje da postoje razlike u lijevoj i desnoj strani kod osoba s LBS-om u odnosu na zdrave ispitanika, to jest u LS koja objedinjuje sve minimalne i maksimalne vrijednosti TMG parametara. Iako nije statistički značajna razlika ipak se može zaključiti postojanost razlika između ove dvije skupine ispitanika. Sve više se pozornosti daje na važnost snage kuka u rehabilitaciji ne samo u pacijenata s LBS-om već i patologijom donjih ekstremiteta. Stoga je od iznimne važnosti snaga stražnjeg kinetičkog lanca za zdravlje kralježnice.

S obzirom na prethodna istraživanja koja su koristila TMG za procjenu kontraktilnih svojstava mišića kod osoba s LBS, dokazano je da su promjene u mišićnom tonusu i kontraktilnim svojstvima povezane s prisutnošću boli i ograničavanjima u funkcionalnoj sposobnosti (Rusu i sur., 2013; Park, 2020). Međutim rezultati ovog istraživanja nisu pokazali statistički značajnu razliku u lateralnoj simetriji između zdravih osoba i osoba s LBS, iako su aritmetičke sredine pokazale tendenciju prema većoj simetriji kod zdravih osoba. Osim toga, različite razine tjelesne aktivnosti ispitanika mogle su utjecati na rezultate, budući da tjelesna aktivnost može imati značajan utjecaj na mišićnu asimetriju i tonus mišića (García-García i sur., 2019). Kod zdravih osoba, redovita tjelesna aktivnost može pridonijeti boljoj lateralnoj simetriji mišića, dok kod osoba s LBS-om smanjena aktivnost zbog boli može dovesti do povećanog disbalansa. S obzirom na uzorak ispitanika koji su većinom sportaši, uzrok disbalansa može biti tjelesna aktivnost ili posljedica. Također većina sportaša se bavi sportom koji uključuje rad samo dominantne strane koji može imati utjecaj na asimetriju kako zdravih osoba tako i kod osoba s LBS-om.

Dodatno, TMG je pokazao da, iako nema značajne razlike u debljini mišića između lijeve i desne strane, kod osoba s LBS može doći do promjena u kontraktilnim svojstvima mišića, kao što su smanjeni maksimalni radijalni pomak (Dm) i vrijeme kontrakcije (Tc). Ovi rezultati su u skladu s istraživanjima drugih istraživača koja su pokazala smanjenu mišićnu funkciju i povećanu ukočenost mišića kod osoba s LBS (Šimunič, 2012; Deodato i sur., 2024). To bi moglo ukazivati na promjene u mišićnom tonusu i funkcionalnom stanju koje nisu nužno povezane s promjenama u mišićnoj debljini, već s drugim biomehaničkim ili neurološkim čimbenicima. Iako ova studija nije pokazala statistički značajnu razliku lijeve i desne između zdravih osoba i osoba s LBS kod mišića ES,GT,OE i RA, neke studije su pokazale slabosti m.

transverzusa abdominisa kod osoba s LBS (Critchley i Coutts, 2002) i m. multifidisa (Deodato i sur., 2024).

Također važno je napomenuti da je s obzirom na manjak istraživanja na TMG uređaju, a posebno s osobama koje imaju LBS, potrebno je provesti daljnja istraživanja koja će pokazati utjecaj asimetrije na bolove u leđima kao i posljedicu istih. S obzirom da je ova studija rađena na malom broju ispitanika, buduće studije bi se trebale bazirati na većem broju ispitanika iako postoji tendencija veće razlike između lijeve i desne strane mišića kod osoba s LBS-om nego kod zdravih osoba. Važno je reći da je ova studija rađena na uzorku većinski studentske populacije Kineziološkog fakulteta te da studenti pripadaju u populaciju zdravijih osoba koje imaju iznad prosječnu naviku tjelesnog vježbanja. Stoga bi se buduće studije trebale bazirati na općoj populaciju koja je prosječno tjelesno aktivna i kod koje je LBS značajniji problem koji ometa svakodnevno normalno funkcioniranje.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati ovoga istraživanja pokazuju da ne postoji statistički značajna ($p \leq 0,05$) razlika u lateralnoj simetriji između zdravih osoba u odnosu na osobe s lumbanim bolnim sindromom u mišićima *m. errector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis*. Dobiveni rezultati pokazali su da nema statistički značajnih razlika u lateralnoj simetriji između ovih dviju skupina, što upućuje na zaključak da prisutnost LBS-a ne uzrokuje značajne promjene u simetriji kontraktilnih svojstava mišića. Iako su aritmetičke sredine pokazale tendenciju prema boljoj lateralnoj simetriji kod zdravih osoba, ove razlike nisu bile dovoljno izražene da bi bile statistički značajne. Ovo može ukazivati na to da, iako bol i smanjena funkcionalnost povezani s LBS-om mogu utjecati na mišićnu funkciju, oni ne uzrokuju asimetriju u analiziranim mišićima. Dodatno, smanjena tjelesna aktivnost kod osoba s LBS-om mogla bi doprinijeti povećanom disbalansu mišića. Iako nije dokazana razlika lateralne simetrije svi rezultati i kod zdravih osoba i osoba s LBS-om nisu imali rezultate ispod 80% što se smatra dobrim rezultatima.

Daljnja istraživanja s većim uzorcima i dodatnim varijablama, kao što su razina tjelesne aktivnosti i mišićna masa, mogla bi pružiti dublji uvid u ulogu lateralne asimetrije u patofiziologiji LBS-a. Unatoč ograničenjima, ovo istraživanje potvrđuje vrijednost TMG-a kao alata za procjenu mišićne funkcije te doprinosi boljem razumijevanju mišićne simetrije kod osoba s LBS-om.

7. ZAHVALA

Prije svega hvala dragom Bogu bez kojega ovo ništa ne bi bilo moguće.

Hvala mentoru doc. dr. sc Mariju Bakoviću na uloženom trudu.

Želio bih se zahvaliti obitelji, curi i prijateljima koji su mi uvijek bili potpora.

Hvala Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na korištenju opreme i laboratorija.

Na kraju želim zahvaliti svim ispitanicima, prijateljima i kolegama koji su sudjelovali u ovome istraživanju.

8. LITERATURA

1. Abazović, E., Kazazović, E., Kovačević, E., Vrcić, M., Nakić, J., & Paravlić, A. (2018). TENZIOMIOGRAFIJA I NJENA UPORABA. In 16. godišnja međunarodna konferencija "Kondicijska priprema sportaša 2018." (pp. 70-74).
2. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J. J., Cuscó, X., Ares, O., Ballester, J., & Cugat, R. (2016). Effects of anterior cruciate ligament injury on neuromuscular tensiomyographic characteristics of the lower extremity in competitive male soccer players. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 24(7), 2264–2270. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3319-4>
3. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., Seijas, R., Ballester, J., & Cugat, R. (2016). Comparison of tensiomyographic neuromuscular characteristics between muscles of the dominant and non-dominant lower extremity in male soccer players. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 24(7), 2259–2263. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3298-5>
4. Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J. J., Cuscó, X., Ballester, J., & Cugat, R. (2015). Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 23(9), 2508–2513. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3018-1>
5. Amabile, A. H., Bolte, J. H., & Richter, S. D. (2017). Atrophy of gluteus maximus among women with a history of chronic low back pain. *PloS one*, 12(7), e0177008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177008>
6. Bušljeta, D. (2022). FUNKCIONALNI DISBALANS STRAŽNJEG KINETIČKOG LANCA KOD PROFESIONALNIH NOGOMETAŠA (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Kinesiology).
7. Critchley, D. J., & Coutts, F. J. (2002). Abdominal muscle function in chronic low back pain patients: measurement with real-time ultrasound scanning. *Physiotherapy*, 88(6), 322-332.
8. Čular, D., Babić, M., Zubac, D., Kezić, A., Macan, I., Peyré-Tartaruga, L. A., Ceccarini, F., & Padulo, J. (2023). Tensiomyography: from muscle assessment to talent identification tool. *Frontiers in physiology*, 14, 1163078. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1163078>
9. Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B., & Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of biomechanics*, 38(12), 2451–2459. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.020>

10. Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N., & Eržen, I. (2001). Evaluation of the ability to make noninvasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 39(1), 51-55.
11. DeMont, R. G., Lephart, S. M., Giraldo, J. L., Swanik, C. B., & Fu, F. H. (1999). Muscle preactivity of anterior cruciate ligament-deficient and-reconstructed females during functional activities. *Journal of athletic training*, 34(2), 115.
12. Deodato, M., Saponaro, S., Šimunič, B., Martini, M., Murena, L., & Buoite Stella, A. (2024). Trunk muscles' characteristics in adolescent gymnasts with low back pain: a pilot study on the effects of a physiotherapy intervention including a postural reeducation program. *The Journal of manual & manipulative therapy*, 32(3), 310–324.
13. Deyo, R. A., & Phillips, W. R. (1996). Low back pain: a primary care challenge. *Spine*, 21(24), 2826-2832.
14. Dieleman, J. L., Baral, R., Birger, M., Bui, A. L., Bulchis, A., Chapin, A., ... & Murray, C. J. (2016). US spending on personal health care and public health, 1996-2013. *Jama*, 316(24), 2627-2646.
15. Elmahdy, M. A., Ayad, K. ., Metwally Abdelrahman, A. ., & Shawki Abdelsalam, M. . (2023). Correlation between contractile properties of quadriceps muscle and functional performance in runners with patellofemoral pain syndrome. *SPORT TK-Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*, 12, 32. <https://doi.org/10.6018/sportk.587421>
16. Ehrlich, G. E., Khaltayev, N. G., & World Health Organization. (1999). Low back pain initiative (No. WHO/NCD/NCM/CRA/99.1). World Health Organization.
17. Furlan, A. D., Giraldo, M., Baskwill, A., Irvin, E., & Imamura, M. (2015). Massage for low-back pain. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2015(9), CD001929. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001929.pub3>
18. García-García, O., Cuba-Dorado, A., Álvarez-Yates, T., Carballo-López, J., & Iglesias-Caamaño, M. (2019). Clinical utility of tensiomyography for muscle function analysis in athletes. *Open access journal of sports medicine*, 10, 49–69. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S161485>
19. García-Manso, J. M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S., & Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of sports sciences*, 29(6), 619–625. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.548822>
20. Hartvigsen, J., Hancock, M. J., Kongsted, A., Louw, Q., Ferreira, M. L., Genevay, S., Hoy, D., Karppinen, J., Pransky, G., Sieper, J., Smeets, R. J., Underwood, M., & Lancet Low Back Pain Series Working Group (2018). What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet* (London, England), 391(10137), 2356–2367. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30480-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X)
21. Hunter, A. M., Galloway, S. D., Smith, I. J., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M. M., & Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the*

- International Society of Electrophysiological Kinesiology, 22(3), 334–341.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.01.009>
22. Itz, C. J., Geurts, J. W., Van Kleef, M., & Nelemans, P. (2013). Clinical course of non-specific low back pain: A systematic review of prospective cohort studies set in primary care. *European journal of pain*, 17(1), 5-15.
 23. James, S. L., Abate, D., Abate, K. H., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., ... & Briggs, A. M. (2018). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1789-1858.
 24. Križaj, D., Šimunič, B., & Žagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 645-651.
 25. Leinonen, V., Kankaanpää, M., Airaksinen, O., & Hänninen, O. (2000). Back and hip extensor activities during trunk flexion/extension: effects of low back pain and rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(1), 32-37.
 26. Lenková, R., & Lukáčová, T. (2022). Tensiomyography of Selected Upper-Limb Muscles in Crossminton Players. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comenianae*, 62(2), 142-153.
 27. Lohr, C., & Medina-Porqueres, I. (2021). Immediate effects of myofascial release on neuromechanical characteristics in female and male patients with low back pain and healthy controls as assessed by tensiomyography: A controlled matched-pair study. *Clinical Biomechanics*, 84, 105358. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105358>
 28. Muñoz-López, A., De Hoyo, M., Nuñez, F. J., & Sañudo, B. (2022). Using Tensiomyography to Assess Changes in Knee Muscle Contraction Properties After Concentric and Eccentric Fatiguing Muscle Actions. *Journal of strength and conditioning research*, 36(4), 935–940.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003562>
 29. Patrick, N., Emanski, E., & Knaub, M. A. (2016). Acute and Chronic Low Back Pain. *The Medical clinics of North America*, 100(1), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2015.08.015>
 30. Paravlic, A. H., Milanović, Z., Abazović, E., Vučković, G., Spudić, D., Majcen Rošker, Z., Pajek, M., & Vodičar, J. (2022). The muscle contractile properties in female soccer players: inter-limb comparison using tensiomyography. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 22(2), 179–192.
 31. Park S. (2020). Theory and usage of tensiomyography and the analysis method for the patient with low back pain. *Journal of exercise rehabilitation*, 16(4), 325–331.
<https://doi.org/10.12965/jer.2040420.210>
 32. Pišot, R., Narici, M. V., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., et al. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *Eur. J. Appl. Physiol.* 104 (2), 409–414. doi:10.1007/s00421-008-0698-6

33. Rey, E., Lago-Penas, C., & Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6), 866-872.
34. Deodato, M., Saponaro, S., Šimunič, B., Martini, M., Murena, L., & Buoite Stella, A. (2024). Trunk muscles' characteristics in adolescent gymnasts with low back pain: a pilot study on the effects of a physiotherapy intervention including a postural reeducation program. *The Journal of manual & manipulative therapy*, 32(3), 310–324.
35. Rusu, L. D., Cosma, G. G., Cernaianu, S. M., Marin, M. N., Rusu, P. A., Ciocănescu, D. P., & Neferu, F. N. (2013). Tensiomyography method used for neuromuscular assessment of muscle training. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10, 1-8.
36. Shumway-Cook, A., & Horak, F. B. (1986). Assessing the influence of sensory interaction on balance: suggestion from the field. *Physical therapy*, 66(10), 1548-1550.
37. Schnurrer-Luke Vrbanić, T. (2011). Križobolja - od definicije do dijagnoze. *Reumatizam*, 58 (2), 105-107. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/124413>
38. Serafino, F., Trucco, M., Occhionero, A. et al. Understanding regional activation of thoraco-lumbar muscles in chronic low back pain and its relationship to clinically relevant domains. *BMC Musculoskelet Disord* 22, 432 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04287-5>
39. Simunič B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(4), 527–530. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.04.003>
40. Szurmik, T., Ogrodzka-Ciechanowicz, K., Kurzeja, P., Gašienica-Walczak, B., Prusak, J., & Bibrowicz, K. (2023). Assessment of the functional state of the back muscles in girls with C-shaped low-grade scoliosis in a tensiomyographic image: An observational cross-sectional study. *PloS one*, 18(10), e0292555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292555>
41. Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavić, I., and Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (9), 1619–1625. doi:10.1249/MSS.0b013e31821522d0
42. Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D. M., & Maffiuletti, N. A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 20(4), 761–766. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.02.008>

9. SAŽETAK

Ivan Ljubičić

LATERALNA SIMETRIJA KOD ZDRAVIH OSOBA I OSOBA S LUMBALNIM BOLNIM SINDROMOM

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati lateralnu simetriju kontraktilnih svojstava mišića *m. erector spinae*, *m. gluteus maximus*, *m. obliquus externus* i *m. rectus abdominis* kod zdravih osoba i osoba s lumbalnim bolnim sindromom (LBS) koristeći tenziomiografiju (TMG). Istraživanje je obuhvatilo 40 ispitanika (dob $23,27 \pm 2,71$ godine, visina $179,9 \pm 10,25$ cm i težina $80,65 \pm 13,63$ kg) podijeljenih u dvije skupine: 20 zdravih osoba i 20 osoba s LBS-om. Mjerenja su provedena na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu, a analizirano je vrijeme kontrakcije (T_c), vrijeme održavanja (T_s), vrijeme relaksacije (T_r), maksimalni radialni pomak (D_m), vrijeme kašnjenja kontrakcije (T_d) i lateralna simetrija (LS). Rezultati istraživanja pokazali su da nema statistički značajnih razlika u lateralnoj asimetriji između lijeve i desne strane mišića kod zdravih osoba i osoba s LBS-om za mišiće ES ($89,1 \pm 5,29\%$ vs $88,7 \pm 6,30\%$, $p=0,829$), GT ($86,35 \pm 10,27\%$ vs $81,65 \pm 14,77\%$, $p=0,250$), OE ($86,75 \pm 7,81\%$ vs $86,9 \pm 7,25\%$, $p=0,950$) i RA ($86,75 \pm 7,09\%$ vs $84,1 \pm 9,23\%$, $p=0,315$). Aritmetičke sredine pokazale su tendenciju prema boljoj lateralnoj simetriji kod zdravih osoba, no te razlike nisu bile dovoljno izražene da bi bile statistički značajne. Zaključeno je da prisutnost LBS-a ne uzrokuje značajne promjene u lateralnoj asimetriji kontraktilnih svojstava ispitivanih mišića. Ovi rezultati sugeriraju da, iako bol i smanjena funkcionalnost povezani s LBS-om mogu utjecati na mišićnu funkciju, oni ne uzrokuju značajnu asimetriju u analiziranim mišićima. Potrebna su daljnja istraživanja s većim uzorcima ispitanika koji su različite dobi i navika tjelesnog vježbanja kako bi se bolje razumjela uloga lateralne asimetrije u patofiziologiji LBS-a.

Ključne riječi: *tenziomiografija, lateralna simetrija, lumbalni bolni sindrom, kontraktilna svojstva mišića*

10. SUMMARY

Ivan Ljubičić

LATERAL SYMMETRY IN HEALTHY INDIVIDUALS AND INDIVIDUALS WITH LOW BACK PAIN

The aim of this study was to investigate the lateral symmetry of the contractile properties of the m. erector spinae, m. gluteus maximus, m. obliquus externus, and m. rectus abdominis muscles in healthy individuals and those with low back pain (LBP) using tensiomyography (TMG). The study included 40 participants (age 23.27 ± 2.71 years, height 179.9 ± 10.25 cm, and weight 80.65 ± 13.63 kg), divided into two groups: 20 healthy individuals and 20 individuals with LBP. Measurements were conducted at the Faculty of Kinesiology, University of Zagreb, and the parameters analyzed included contraction time (T_c), sustain time (T_s), relaxation time (T_r), maximal radial displacement (D_m), delay time (T_d), and lateral symmetry (LS). The results showed no statistically significant differences in lateral asymmetry between the left and right sides of the muscles in healthy individuals and those with LBP for the muscles ES ($89.1 \pm 5.29\%$ vs $88.7 \pm 6.30\%$, $p=0.829$), GT ($86.35 \pm 10.27\%$ vs $81.65 \pm 14.77\%$, $p=0.250$), OE ($86.75 \pm 7.81\%$ vs $86.9 \pm 7.25\%$, $p=0.950$), and RA ($86.75 \pm 7.09\%$ vs $84.1 \pm 9.23\%$, $p=0.315$). The arithmetic means indicated a tendency towards better lateral symmetry in healthy individuals, but these differences were not statistically significant. It was concluded that the presence of LBP does not cause significant changes in the lateral asymmetry of the contractile properties of the examined muscles. These results suggest that while pain and reduced functionality associated with LBP may affect muscle function, they do not lead to significant asymmetry in the analyzed muscles. Further research with larger sample sizes of entities which are different age and physical activity habits. It is needed to better understand the role of lateral asymmetry in the pathophysiology of LBP.

Keywords: *tensiomyography, lateral symmetry, low back pain, contractile muscle properties*