

ELEKTROKINEZIOLOŠKA ANALIZA U DIJAGNOSTICI KRIŽOBOLJE: METODOLOŠKI PRIKAZ TESTIRANJA

Electrokinesiological analysis in the diagnosis of low back pain: a methodological overview of testing

DUNJA LAPOV¹,
SAŠA ČABRAJA¹,
SANDA DUBRAVČIĆ-ŠIMUNJAK¹

¹ Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Kliničke bolnice „Sveti Duh“, Zagreb

PRIKAZ SLUČAJA / CASE REPORT

e-mail adresa autora: dunja.lapov@gmail.com

Sažetak

Uvod: Križobolja je jedan od vodećih uzroka onesposobljenosti i čest razlog korištenja zdravstvene skrbi, a uobičajeni dijagnostički postupci često nemaju dovoljnu osjetljivost za procjenu funkcionalnih poremećaja lumbalne kralježnice. Elektrokineziološka analiza (EKA) predstavlja objektivnu metodu koja objedinjuje površinsku elektromiografiju i inklinometriju te omogućuje istodobno bilježenje mišićne aktivnosti i opsega pokreta. Cilj ovog rada bio je prikazati metodološki standardiziran protokol testiranja lumbalne kralježnice primjenom EKA-e i usporediti nalaze zdrave i bolesne osobe.

Materijali i metode: Rad prikazuje dvije ispitanice: zdravu ženu u dobi od 24 godine i pacijenticu u dobi od 50 godina s akutnom križoboljom. Elektrode su postavljene na mišić erector spinae paravertebralno u razini L3, a dualni inklinometri na razini T12 i S1. Standardizirani protokol obuhvaćao je pretklon trupa i povratak u neutralni položaj, uz bilježenje maksimalne izometričke kontrakcije (MIK) radi normalizacije podataka.

Rezultati: Kod zdrave ispitanice zabilježena je uredna simetrija mišićne aktivacije, prisutan fleksijsko-relaksacijski fenomen, uredan omjer re-ekstenzija/fleksija, niska bazalna aktivnost i očuvan opseg pokreta. Kod pacijentice s akutnom križoboljom utvrđena je izražena asimetrija aktivacije, odsutnost fleksijsko-relaksacijskog fenomena,

povišena bazalna aktivnost, smanjeni omjeri re-ekstenzija i fleksije te ograničen opseg pokreta.

Zaključak: Dobiveni nalazi potvrđuju da EKA omogućuje razlikovanje funkcionalnih obrazaca zdrave i bolesne osobe te predstavlja vrijedan alat u dijagnostici i praćenju bolesnika s križoboljom.

Ključne riječi: križobolja, površinska elektromiografija, elektrogoniometrija, elektrokineziološka analiza

Abstract

Introduction: Low back pain is one of the leading causes of disability worldwide and a frequent reason for medical intervention. Conventional diagnostic procedures often lack sufficient sensitivity to assess functional disorders of the lumbar spine, which creates a need for objective and quantitative assessment methods. Electro kinesiological analysis (EKA) is an objective method that combines surface electromyography and inclinometry, enabling the simultaneous recording of muscle activity and range of motion. The aim of this paper was to present a methodologically standardized protocol for lumbar spine testing using EKA and to compare the findings of a healthy and a symptomatic subject.

Materials and methods: The paper presents two female participants: a healthy 24-year-old and a 50-year-old patient with acute low back pain. Surface electrodes were placed paravertebrally on the erector spinae muscle at the L3 level, while dual inclinometers were positioned at T12 and S1. The standardized protocol included trunk flexion and return to a neutral position in the sagittal plane, along with maximal isometric contraction (MIC) testing for data normalization. The analyzed parameters comprised baseline activity, activation symmetry, time to peak values, the flexion-relaxation phenomenon, amplitude and contraction ratios, and range of motion.

Results: In the healthy subject, symmetrical muscle activation, presence of the flexion-relaxation phenomenon, normal re-extension/flexion ratio, low baseline activity, and preserved range of motion were recorded. In contrast, the patient with acute low back pain exhibited marked asymmetry of activation, absence of the flexion-relaxation phenomenon, elevated baseline activity, reduced re-extension/flexion ratios, and restricted range of motion.

Conclusion: The findings confirm that EKA distinguishes functional patterns between healthy and symptomatic individuals. This method provides objective and reproducible data and represents a valuable tool in the diagnosis and follow-up of patients with low back pain

Key words: low back pain, surface electromyography, electrogoniometry, electrokinesiological analysis

Uvod

Bol u donjem dijelu leđa (LBP, low back pain) danas je jedan od najčešćih i najskupljih zdravstvenih problema. Njezin intenzitet može varirati od blage, tupe i povremene do jake, uporne i onesposobljavajuće boli, pri čemu često ograničava pokretljivost i narušava svakodnevno funkcioniranje (1,2). Globalna studija opterećenja bolestima dosljedno svrstava križobolju među najteža nefatalna stanja; definira se kao bol lokalizirana između donjeg ruba dvanaestog rebra i glutealnih nabora, s mogućim širenjem u jednu ili obje noge, koja traje ≥ 1 dan (3). Prema trajanju simptoma razlikujemo akutnu (< 6 tjedana), subakutnu (6–12 tjedana) i kroničnu (> 12 tjedana) križobolju (4); kronična križobolja prema smjernicama NIH-a traje ≥ 3 mjeseca i prisutna je barem polovicu dana tijekom posljednjih šest mjeseci (5).

Teret LBP-a kontinuirano raste: broj godina života s onesposobljenjem (YLD) porastao je od 1990. do 2015. za 54 %, (6), u 2020. zabilježeno je pola milijardi slučajeva (7,7 % svih YLD), a do 2050. očekuje se daljnji porast broja slučajeva LBP-a za 36,4 % (3). Prevalencija u odraslih doseže do 23 %, recidivi su česti, a doživotna prevalencija približava se 84 %; u djece i adolescenata prevalencija je niža, ali raste s dobi (7,8). Rana identifikacija ozbiljne

patologije temelji se na crvenim zastavicama (npr. pojavu simptoma prije 20. ili nakon 55. godine života, trauma, nemehanička/progresivna bol, torakalna bol, anamneza maligne bolesti, dugotrajni kortikosteroidi, imunosupresija, sustavni simptomi, rašireni neurološki ispadi, deformitete kralježnice, povišena temperatura) (9). Žute zastavice označuju psihosocijalne čimbenike koji povećavaju rizik kronifikacije (katastrofična uvjerenja, strah-izbjegavanje, depresija/anksioznost, poteškoće na poslu) (10). Različiti čimbenici životnog stila doprinose razvoju i pogoršanju križobolje. Biomehanička opterećenja, poput lošeg držanja, nepravilnog podizanja tereta i sjedilačkog načina života, kao i tjelesna neaktivnost, pušenje i pretilost dodatno opterećuju kralježnicu i potporne strukture, što dovodi do mišićno-koštanih disbalansa i boli. Povećani rizik prisutan je i u zanimanjima koja uključuju podizanje teških tereta, ponavljajuće pokrete ili dugotrajno sjedenje i stajanje. Psihosocijalni čimbenici, uključujući stres, anksioznost, depresiju i nepovoljan socioekonomski status, također snažno utječu na percepciju i upravljanje bolom. Kronični stres može pogoršati simptome i usporiti oporavak, dok socijalne nejednakosti dodatno ograničavaju pristup učinkovitim oblicima liječenja (11). Prema europskim smjernicama, kod većine bolesnika s akutnom nespecifičnom križoboljom dovoljni su anamneza i osnovni klinički pregled radi prepoznavanja crvenih zastavica i procjene težine kliničkog stanja. Međunarodno prihvaćen dijagnostički okvir križobolju dijeli u tri skupine: specifičnu patološku, radikularnu i nespecifičnu (12), pri čemu oko 90 % bolesnika pripada nespecifičnoj skupini. Takav oblik obično ima povoljan tijek, s oporavkom unutar šest tjedana, dok se u 2–7 % slučajeva razvija kronična križobolja (13). Graberski Matasović u knjizi Mehanički uzrokovana križobolja ističe da klasične dijagnostičke pretrage – laboratorijske, radiološke, elektromiografske i mijelografske – nemaju dovoljnu osjetljivost za funkcionalnu dijagnozu i prognozu. Stoga je razvijena elektrokineziološka analiza (EKA), koja kombinira površinsku elektromiografiju (sEMG) i elektrogoniometriju u procjeni izometričke i dinamičke aktivacije mišića važnih za dijagnostiku križobolje (14). sEMG u sklopu EKA-e omogućuje objektivno praćenje mišićne aktivnosti, osobito u uvjetima narušene koordinacije, prekomjerne aktivacije ili nepravilne raspodjele aktivnosti tijekom funkcionalnih pokreta.

Metoda se primjenjuje i u inicijalnoj procjeni i u praćenju terapijskih ishoda (15). Uz to, sve se češće ističe važnost mjerenja opsega pokreta lumbalne kralježnice, gdje se, osim klasičnih goniometara, koriste sofisticiraniji alati poput fleksibilnog ravnala, inklinometra ili računalnih sustava (16). Razumijevanje uloge sEMG-a u evaluaciji križobolje zahtijeva i povijesni pregled istraživanja. Prva klinički relevantna istraživanja elektromiografske aktivnosti lumbalne muskulature započela su 1940-ih godina, a Price ih je prvi opisao 1948. Shirado i suradnici (1995) opisali

su fleksijsko-relaksacijski fenomen, dok su Ahern (1988), Triano i Schulz (1997) te Watson i suradnici (1997) pokazali da je ovaj fiziološki odgovor često smanjen ili u potpunosti odsutan kod bolesnika s kroničnom križoboljom. Tijekom 1990-ih godina Sihvonen (1991) i Ambroz sa suradnicima (2000) opisali su promjene u omjerima koncentrične i ekscentrične aktivnosti, a Cram i Kasman (1998) naglasili povišenu bazalnu aktivnost kod oboljelih. Donaldson (1988) je istaknuo da asimetrija vršnih vrijednosti između lijeve i desne strane veća od približno 20 % može poslužiti kao kriterij za razlikovanje pacijenata s križoboljom, a Sihvonen (1998) je povezao izmijenjene obrasce aktivnosti s bolovima u donjem dijelu leđa tijekom trudnoće. Unatoč pojedinim kontroverzama u literaturi – primjerice, Nouwen i Bush (1984) smatrali su da je aktivnost lumbalnih mišića nepromijenjena, dok su Sherman i Arena (1993) izvijestili da može biti i povećana – Wolf i suradnici (1989) objašnjavali su ove razlike nedostatkom standardiziranih klasifikacijskih sustava i varijacijama u protokolima. Ipak, većina istraživanja pokazuje da bolesnici s kroničnom križoboljom imaju prepoznatljive obrasce neuromišićne aktivnosti, dok su odstupanja poput odsutnosti fleksijsko-relaksacijskog fenomena, smanjenog koncentrično-ekscentričnog omjera, izraženih asimetrija ili povišene bazalne aktivnosti rijetka u zdravih ispitanika (17). Ambroz i suradnici istraživali su primjenu sEMG-a kao dopunskog alata u sveobuhvatnoj kliničkoj procjeni bolesnika s CLBP-om. Njihovi nalazi upućuju na to da sEMG može predstavljati vrijedan objektivni dijagnostički instrument u evaluaciji CLBP-a. Iako trenutačno ne postoji mjerni instrument koji bi s visokom preciznošću mogao objektivizirati bol, osobito u kvantitativnom smislu, elektrofiziološki parametri pokazuju određenu korelaciju sa subjektivnim procjenama pacijenata. Još uvijek ne postoji jasna suglasnost među kliničarima o tome koji su dijagnostički testovi najprikladniji za procjenu bolesnika s CLBP-om. Magnetska rezonancija (MR), kao i druge često korištene dijagnostičke pretrage lumbalne kralježnice (npr. kompjutorizirana tomografija, mijelogrami), pokazuju visoku stopu lažno pozitivnih nalaza te su skupe i/ili invazivne. Značajan postotak osoba koje nikada nisu imale križobolju ima patološke nalaze mijelograma (24 %), kompjutorizirane tomografije (36 %), MR-a (30 %) ili diskograma (37 %). U jednoj studiji uočeno je da je 64 % ispitanika u skupini od 98 osoba starijih od 60 godina, koje nisu imale križobolju, imalo pozitivan nalaz na MR-u. Autori napominju da takvi nalazi mogu pridonositi rastućim stopama kirurških zahvata na kralježnici. Ambroz i suradnici dodatno naglašavaju da se u kliničkoj evaluaciji kronične boli koriste i standardizirani upitnici te iako su korisni u procjeni psiholoških čimbenika i stavova vezanih uz bol, svi ti testovi ostaju subjektivne prirode i ne mogu poslužiti kao objektivna potvrda ili opovrgavanje pacijentovih tegoba (18).

Na tim spoznajama temelji se i višedesetljetna primjena EKA-e u Kliničkoj bolnici „Sveti Duh“, gdje je metoda prisutna od 1980-ih, a rezultati istraživanja dokumentirani su u relevantnoj literaturi te danas služe kao osnova za integraciju suvremenih tehnoloških dostignuća u kliničku praksu i istraživački rad Zavoda za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju (19). Na temelju tih saznanja oblikovan je i cilj ovoga rada, a to je prikazati slučaj zdrave ispitanice i bolesnice s akutnom križoboljom te postupke elektrokinziološkog testiranja primjenom površinske elektromiografije i inklinometrije, uz normalizaciju podataka na maksimalnu izometričku kontrakciju (MIK).

Metode i materijali

Prikazana su dva slučaja: zdrava ispitanica u dobi od 24 godine bez anamneze križobolje te pacijentica u dobi od 50 godina s akutnom križoboljom.

Priprema i postavljanje elektroda:

Kvaliteta snimanja ovisi o pažljivoj pripremi kože i odabiru vrste elektrode, položaja i konfiguracije snimanja, uključujući postavke filtera i pojačala. Jedan od ključnih koraka u optimizaciji kvalitete je priprema kože: potrebno ju je očistiti, abrazirati kako bi se uklonile mrtve stanice, a po potrebi i obrijati. Orijentacija elektrode duž smjera mišićnih vlakana dodatno povećava selektivnost sEMG signala. Snimke elektroda postavljenih iznad većih količina potkožnog masnog tkiva povećava udaljenost između elektroda i mišića te su podložnije preslušavanju signala (20). Za lokalizaciju elektroda palpira se *crista iliaca*, koja može poslužiti kao orijentir za određivanje razine kralješka L3. Dvije aktivne elektrode postavljaju se paralelno uz kralježnicu, međusobno udaljene približno 2 cm, te ujedno oko 2 cm lateralno od spinoznog nastavka, iznad mase paravertebralne muskulature erectora spinae. Optimalno je postavljanje elektroda dok ispitanik zauzima položaj blage savijenosti trupa, s rukama oslonjenim na koljena radi stabilizacije trupa (17). Smjernice SENIAM-a (Površinska elektromiografija za neinvazivnu procjenu mišića) daju opću preporuku za veličine i pozicije elektroda za niz mišića (21). Amplituda signala izražava se u mikrovoltima (μV), a podatci se mogu prikazati kao trenutačna mjerenja, prosječne vrijednosti ili integrirani zapisi tijekom klinički relevantnog razdoblja. Analiza amplitude omogućuje procjenu razine mišićne aktivnosti („koliko aktivnosti“) i vremenskih obrazaca njezina pojavljivanja („kada se aktivnost događa“), čime se izvode zaključci o ulozi mišića u održavanju posture, izvođenju pokreta te o promjenama uzrokovanim patološkim procesima (15).



Slika 1. Lokacija za postavljanje elektroda na mm erector spinae i inklinometara

Mjerenje opsega pokreta (range of motion, ROM): Dvostruki inklinometar koristi se za mjerenje kuta između neutralnog uspravnog stojećeg položaja i maksimalne fleksije trupa bez savijanja koljena, koju ispitanik može postići do pojave ograničenja, zategnutosti ili nelagode. Primarni inklinometar postavlja se u razini S1–S2 kralježaka, a sekundarni na razini T12, pri čemu su oba orijentirana paralelno s kralježnicom (22). Standardizirani test uključuje pretklon trupa iz stojećeg položaja i povratak u neutralnu poziciju. Ispitanik stoji uspravno, stopala su u širini kukova, a ruke opuštene uz tijelo. Prije mjerenja izvodi nekoliko probnih pretklona, a zatim maksimalnu fleksiju trupa s ispruženim koljenima, pri čemu se bilježi amplituda pokreta u sagitalnoj ravnini. Mjerenje se može provesti i kroz strukturirani programski test koji istodobno registrira sEMG i ROM vrijednosti. Metodološki protokol temelji se na službenom priručniku (Rehab Suite, TT) proizvođača softverskog sustava (23,24). Na rezultate ROM mjerenja mogu utjecati varijacije u stabilizaciji i pozicioniranju ispitanika te odabrana metoda mjerenja (16)

Dinamičko sEMG testiranje: Testiranje prema standardiziranom protokolu (Rehab Suite, TT) provodi se tako da ispitanik stoji u neutralnom položaju, sa stopalima u širini kukova i rukama opuštenim uz tijelo. Pokret je softverski navođen glasovnom instrukcijom, a ispitanik izvodi fleksiju (inklinaciju) trupa u sagitalnoj ravnini (Slika 2), s potpuno ispruženim koljenima i bez nagiba zdjelice. U krajnjoj točki fleksije ispitanik zadržava položaj do glasovne instrukcije za povratak (re-ekstenzija) u neutralni (uspravni) stav. Cijeli se raspon pokreta izvodi tri puta.



Slika 2. Standardizirani protokol dinamičkog sEMG testiranja fleksije i re-ekstenzije trupa u sagitalnoj ravnini.

Klinička interpretacija nalaza obuhvaća statističku analizu podataka računalno obrađenih u programu Rehab Suite. Analiza uključuje procjenu bazalne aktivnosti i njezine varijabilnosti, simetrije aktivacije, vremena do postizanja vršnih vrijednosti, fleksijsko-relaksacijskog fenomena te opsega pokreta. Dodatno se izračunavaju omjeri re-ekstenzija/fleksija te postotci normalizacije podataka prema MIK-u (Tablica 1).

Maksimalna izometrička kontrakcija (MIK):

Budući da je interpretacija amplitude sirovog sEMG signala nepouzdana bez provedene normalizacije, signal je potrebno pretvoriti u skalu u odnosu na poznatu i ponovljivu referentnu vrijednost, čime se omogućuje usporedivost među ponovljenim mjerenjima kod istog ispitanika te između različitih mišića i ispitanika (25). Najčešća metoda normalizacije sEMG signala temelji se na vrijednostima zabilježenima tijekom maksimalne izometričke kontrakcije (MIK), koja služi kao referentna vrijednost (26). MIK predstavlja kvantificirani podatak, pri čemu izmjerena vrijednost odgovara 100 % mišićne kontrakcije zasebno za lijevi i za desni m. erector spinae (15). Test se izvodi najmanje tri puta, uz pauze od dvije minute radi sprječavanja zamora, a najveća vrijednost dobivena iz obrađenih signala tijekom svih ponavljanja koristi se kao referentna vrijednost za normalizaciju sEMG signala istog mišića. Time se omogućuje procjena razine mišićne aktivnosti tijekom izvođenja zadatka u odnosu na njegov maksimalni kapacitet izometričke aktivacije (25).

Test se provodi u ležećem proniranom položaju, uz stabilizaciju donjeg dijela tijela trakama radi sprječavanja kompenzacijskih pokreta. Fiksni otpor postavlja se preko lopatica, dok ispitanik izvodi maksimalnu izometričku kontrakciju (pokušaj podizanja trupa) (15).

Tablica 1. Rezultati elektrokineziološkog testiranja kod ispitanice bez i s križoboljom (podaci iz softverskog sustava)

<



Slika 3. Testiranje maksimalne izometričke kontrakcije (MIK) m. erector spinae

Rezultati ispitanica bez i s križoboljom

Elektrokineziološka analiza lumbalne kralježnice, koja kombinira sEMG i elektrogoniometriju, omogućila je istodobno praćenje mišićne aktivnosti i opsega pokreta u sagitalnoj ravnini, čime se dobiva uvid u neuromuskularnu funkciju i mehaniku pokreta tijekom dinamičkih zadataka. Metoda je validirana u standardiziranim uvjetima testiranja (20). Rezultati kombiniranog mjerenja sEMG-a i dualnih inklinometara prikazani su u Tablici 1, dok Tablica 2 sadrži njihovu analizu i interpretaciju, uključujući simptome, bazalnu aktivnost, simetriju aktivacije, vremenske parametre, fleksijsko-relaksacijski fenomen, MIK-normalizaciju, omjere fleksije i re-ekstenzije te opseg pokreta. Na temelju tih parametara omogućena je jasna diferencijacija urednih i patoloških obrazaca neuromuskularne funkcije i kinematike kralježnice. (15,18).

Usporedba rezultata pokazuje da ispitanica bez križobolje ima normalnu bazalnu aktivnost, uredan fleksijsko-relaksacijski fenomen, primjeren omjer re-ekstenzije/fleksije, simetričnu aktivaciju i očuvanu pokretljivost, dok pacijentica s križoboljom pokazuje izraženu asimetriju, povišenu bazalnu aktivnost, odsutnost relaksacije tijekom fleksije, smanjen omjer re-ekstenzije/fleksije te granično smanjen opseg pokreta.

Rasprava

EKA lumbalne kralježnice spaja mjerenje mišićne aktivnosti i opsega pokreta, čime se dobiva objektivna slika funkcionalnog stanja kod bolesnika s križoboljom (14). Rezultati prikaza slučajeva pokazali su jasnu razliku između zdrave ispitanice i pacijentice s akutnim tegobama. Kod zdrave ispitanice zabilježen je fiziološki obrazac aktivacije, dok su kod pacijentice uočene promjene tipične za akutnu križobolju, uključujući poremećenu relaksaciju, asimetriju aktivacije, smanjen opseg pokreta i sniženi omjer re-ekstenzija/fleksija, što je u skladu s ranijim istraživanjima (15,22). Vremenska analiza dodatno je potvrdila neuro-

muskularnu diskoordinaciju tijekom re-ekstenzije kod pacijentice, a vrijednosti normalizirane prema MIK-u ukazale su na submaksimalnu izvedbu povezanu sa strahom od boli i smanjenim angažmanom (11,24). Unatoč jasnim prednostima, važno je istaknuti da metodama i određena ograničenja. U prošlosti su tehnička ograničenja uređaja starije generacije i nedostatak standardiziranih metoda bili prepreka široj kliničkoj primjeni. Međutim, novi tehnološki napreci u obradi podataka i akviziciji signala omogućili su prevladavanje dijela tih ograničenja (18). Na temelju dosadašnjih istraživanja i iskustva u kliničkoj praksi moguće je izdvojiti glavne prednosti i ograničenja elektrokineziološke analize:

Prednosti elektrokineziološke analize (21,28,29)

- neinvazivna metoda koja kombinira sEMG (aktivaciju paraspinalnih mišića) i inklinometriju (opsege pokreta)
- omogućuje objektivnu i reproducibilnu procjenu mišićne funkcije i kinematike kralježnice
- bilježi amplitudu i vremenske parametre kontrakcije te povezuje mišićnu aktivaciju s opsegom pokreta
- otkriva obrasce neučinkovite aktivacije, poput povišene bazalne aktivnosti, asimetrije ili izostanka fleksijsko-relaksacijskog fenomena
- korisna u praćenju učinaka rehabilitacijskih intervencija i funkcionalnih promjena tijekom oporavka

Ograničenja elektrokineziološke analize (21,28,29)

- interpretacija podataka zahtijeva znanje iz područja biomehanike i elektrofiziologije
- tehnički čimbenici poput pozicioniranja elektroda, izbora filtara, kalibracije inklinometra i metode normalizacije mogu značajno utjecati na rezultate i njihovu usporedivost
- nedovoljno zastupljena u obrazovanju fizioterapeuta i stoga se često percipira kao specijalizirana metoda
- nedostatak dosljednih standardiziranih protokola otežava usporedbu između različitih studija i kliničkih centara

Zaključak

Elektrokineziološka analiza lumbalne kralježnice (EKA), koja kombinira sEMG i inklinometriju, pokazala se korisnom u diferencijaciji urednih od patoloških obrazaca mišićne aktivacije i pokreta. Nalazi dobiveni kod zdrave ispitanice i pacijentice s križoboljom potvrđuju njezinu vrijednost kao objektivne metode koja dopunjuje klinički pregled te omogućuje kvantitativne i reproducibilne podatke za preciznije planiranje i individualizaciju fizioterapijskog postupka, kao i objektivnu evaluaciju terapijskih učinaka. Unatoč jasnim prednostima, EKA je još uvijek nedovoljno zastupljena u kliničkoj praksi, pa bi njezino sustavno uključivanje u obrazovne programe fizioterapije i šira primjena u rehabilitacijskim ustanovama mogli značajno unaprijediti kvalitetu dijagnostike i praćenja učinkovitosti fizioterapijskog tretmana bolesnika s križoboljom.

Tablica 2. Interpretacija nalaza elektrokineziološke analize funkcionalne procjene lumbalne kralježnice

Primjer interpretacije nalaza bez križobolje	Primjer interpretacije nalaza s križoboljom
Opis tegoba: Ispitanica, 24 godine starosti, žena. Bez bolova u trenutku testiranja, bez anamneze križobolje. Tjelesno aktivna, bavi se rekreativnim sportom. Zaposlena na radnom mjestu pretežito sjedilačkog karaktera. Simetrija aktivacije: Usporedbom vršnih vrijednosti tijekom re-ekstenzije (165,1 μV lijevo, 155,8 μV desno) i fleksije (59,8 μV lijevo, 62,5 μV desno) nije utvrđena značajna asimetrija. Vrijeme do vršnih vrijednosti (temporalna analiza): Vrijeme do vršne fleksijske vrijednosti iznosilo je 0,46 s lijevo i 0,49 s desno, uz razliku od 0,03 s, što ukazuje na urednu simetriju. Vrijeme do vršne re-ekstenzijske vrijednosti bilo je 1,11 s lijevo i 1,39 s desno, uz razliku od 0,28 s. Fleksijsko-relaksacijski fenomen: Relaksacija mišića u fleksiji je uredna, što potvrđuje prisutnost fleksijsko-relaksacijskog fenomena. Niska bazalna aktivnost tijekom fleksije ukazuje na funkcionalnu inhibiciju erektor spinae mišića, što je očekivano za obrazac pokreta kod zdravih ispitanika. Bazalna aktivnost i varijabilnost: Bazalne vrijednosti (Pre-baseline i Post-baseline): lijevo 2,0/3,3 μV; desno 2,2/2,1 μV. Varijabilnost prije pokreta veća na lijevoj strani (0,49 vs. 0,31), što može ukazivati na blagu nestabilnost. MIK-normalizacija: Referentne vrijednosti maksimalne izometričke kontrakcije (MIK): 304 μV lijevo, 238 μV desno. Postotak MIK-a tijekom fleksije: 15,67 % lijevo, 26,26 % desno. Tijekom re-ekstenzije: 54,31 % lijevo, 65,46 % desno. Omjeri re-ekstenzija/fleksija: Lijevo: 2,76; Desno: 2,49. Oba omjera upućuju na očuvanu mišićnu kontrolu s blagom lateralizacijom u lijevu stranu. Opseg pokreta: Izmjeren opseg fleksije trupa iznosi 76°, mjereno s pomoću dualnih inklinometara na Th12 i S1. Vrijednost ukazuje na očuvanu pokretljivost u lumbalnoj regiji. ZAKLJUČAK: Nalaz ukazuje na očuvanu neuromuskularnu funkciju lumbalnih mišića, s urednim fleksijsko-relaksacijskim odgovorom i pravilnim obrascem aktivacije u fazi re-ekstenzije. Prisutna je fiziološka asimetrija aktivacije testiranih mišića. Varijabilnost i bazalna aktivnost nalaze u fiziološkom rasponu. Opseg pokreta i omjeri aktivacije dodatno potvrđuju funkcionalnu stabilnost.	Opis tegoba: Pacijentica, 50 godina starosti, žena. Sjedilački način života, nedovoljno tjelesno aktivna. Bolovi u lumbalnom području prisutni zadnjih 15 dana, izraženiji desno, bez znakova radikulopatije. Nakon provedene medikamentozne terapije intenzitet bolova smanjen je s 90/100 na 40/100 (VAS). I dalje je prisutna izražena mišićna napetost te osjećaj nesigurnosti i straha pri kretanju, unatoč smanjenju intenziteta akutne boli. Simetrija aktivacije: Kod pacijentice je utvrđena izražena asimetrija mišićne aktivacije, s razlikama većim od 20 % u fazama fleksije (30,76 %), pune fleksije (38,10 %), re-ekstenzije (25,99 %) i neutralne pozicije (28,70 %). Vrijeme do vršnih vrijednosti (temporalna analiza): Vrijeme do vršne fleksijske vrijednosti iznosilo je 1,00 s lijevo i 1,00 s desno, bez razlike, što ukazuje na urednu simetriju. Vrijeme do vršne re-ekstenzijske vrijednosti bilo je 1,09 s lijevo i 1,78 s desno, uz razliku od 0,70 s, što ukazuje na vremensku asimetriju u fazi re-ekstenzije, gdje desna strana doseže vršnu vrijednost 0,70 s kasnije. Fleksijsko-relaksacijski fenomen: je odsutan, što potvrđuje izostalo smanjenje aktivnosti m. erector spinae tijekom pune fleksije trupa. Vrijednosti tijekom full fleksije (53,5 μV lijevo; 33,1 μV desno) ostaju povišene i ne ukazuju na fiziološko opuštanje. Bazalna aktivnost: Bazalna aktivnost u početnoj fazi (pre-baseline) bila je povišena, s vrijednostima 12,6 μV lijevo i 11,5 μV desno. U završnoj fazi (post-baseline) vrijednosti su ostale povišene, 16,9 μV lijevo i 14,5 μV desno. Ovi nalazi ukazuju na povišenu tonusnu aktivnost mišića erector spinae, što je u skladu s kliničkom slikom križobolje. MIK-normalizacija: Referentne vrijednosti maksimalne izometričke kontrakcije (MIK): 96,68 μV lijevo, 97,05 μV desno. Postotak MIK-a tijekom fleksije: 52,96% lijevo, 36,72% desno. Tijekom re-ekstenzije: 77,07% lijevo, 57,08% desno. MIK ukazuje na asimetričan i sniženu aktivacije izometričkog kapaciteta. Omjeri re-ekstenzija/fleksija su smanjeni: 1,46 lijevo, 1,56 desno. Opseg pokreta: Izmjeren opseg fleksije trupa iznosi 57°, mjerena pomoću dualnih inklinometara na Th12 i S1. Vrijednost ukazuje na granično smanjenu pokretljivost u lumbalnoj regiji. ZAKLJUČAK: Nalaz ukazuje na izraženi disbalans u simetriji aktivacije, izostanak relaksacije mišića tijekom pune fleksije, funkcionalno granično očuvan opseg pokreta, urednu vremensku dinamiku aktivacije te izraženo asimetričan obrazac s povišenom bazalnom aktivnošću i većom angažiranošću lijeve strane. MIK test proveden je uz izražen strah od boli, zbog čega izmjerene vrijednosti vjerojatno ne odražavaju stvarni maksimalni kapacitet voljne kontrakcije. Dobivene rezultate stoga treba tumačiti s oprezom, uz mogućnost da su submaksimalni. Nalaz je u skladu s akutnom kliničkom slikom i antalgicnim obrascima pokreta te se preporučuje ponoviti testiranje nakon provedene fizikalne terapije, za 10–12 tjedana.

Literatura

- Castillo ER, Lieberman DE. Lower back pain. *Evolution, Medicine, and Public Health*. 2015;2015(1):2–3.
- University of Rochester Medical Center. *Health Encyclopedia: Low back pain*. Rochester (NY): University of Rochester Medical Center; 2025.
- Ferreira ML, de Luca K, Haile LM, Steinmetz JD, Culbreth GT, Cross M, et al. Global, regional, and national burden of low back pain, 1990–2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol*. 2023;5(6):e316–29.
- Wallwork SB, Braithwaite FA, O’Keeffe M, Travers MJ, Summers SJ, Lange B, et al. The clinical course of acute, subacute and persistent low back pain: a systematic review and meta-analysis. *CMAJ*. 2024;196(2):E29–46.
- Deyo RA, Dworkin SF, Amtmann D, Andersson G, Borenstein D, Carragee E, et al. Report of the NIH Task Force on Research Standards for Chronic Low Back Pain. *Spine J*. 2014;14(8):1375–91.
- Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *Lancet*. 2018;391(10137):2356–67.
- Casiano VE, Sarwan G, Dydyk AM, Varacallo MA. *Back pain*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
- Wang S, Zhang S, Li M, Chen S, Chen Y, Song Y, et al. Global, regional and national burden of low back pain in adolescents aged 10–19 years, 1990–2021: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *J Pain Res*. 2025;18:3171–83.
- DePalma MG. Red flags of low back pain. *JAAPA*. 2020;33(8):8–11.
- Samanta J, Kendall J, Samanta A. 10-minute consultation: Chronic low back pain. *BMJ*. 2003;326(7388):535.
- Guan J, Liu T, Gao G, Yang K, Liang H. Associations between lifestyle-related risk factors and back pain: a systematic review and meta-analysis of Mendelian randomization studies. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2024;25(1).
- van Tulder M, Becker A, Bekkering T, Breen A, Mota TF, Hutchinson A, et al. Chapter 3. European guidelines for the management of acute nonspecific low back pain in primary care. *Eur Spine J*. 2006;15(Suppl 2):S169–91.
- IJzelenberg W, Oosterhuis T, Hayden JA, Koes BW, van Tulder M, Rubinstein SM, et al. Exercise therapy for treatment of acute non-specific low back pain: a Cochrane systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Phys Med Rehabil*. 2024;105(8):1571–84.
- Jurinić A. *Mehanički uzrokovana križobolja*. Zagreb: Hrvatski zbor fizioterapeuta; 2001.
- Shewman T, Konrad P. *Surface electromyography (sEMG): clinical sequence assessments and sEMG feedback. A beginner’s guide. Version 1.0*. Scottsdale (AZ): Noraxon U.S.A., Inc.; 2011.
- Apti A, Kuru Çolak T, Akçay B. Normative values for cervical and lumbar range of motion in healthy young adults. *J Turk Spinal Surg*. 2023;34(3):113–7.
- Kasman GS, Cram JR, Wolf SL. *Surface EMG Made Easy: A Beginner’s Guide for Health and Rehabilitation*. Scottsdale, AZ: Noraxon Inc.; 2002.
- Ambroz C, Scott A, Ambroz A, Talbott EO. Chronic low back pain assessment using surface electromyography. *J Occup Environ Med*. 2000;42(6):660–9.
- Dubravčić-Šimunjak S. *Fizikalni čimbenici u fizioterapiji*. Zagreb: Hrvatski zbor fizioterapeuta; 2023.
- McManus L, De Vito G, Lowery MM. Analysis and biophysics of surface EMG for physiotherapists and kinesiologists: toward a common language with rehabilitation engineers. *Front Neurol*. 2020;11:576729.
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for sEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10(5):361–74.
- MacDermid JC, Arumugam V, Vincent JI, Carroll KL. The reliability and validity of the computerized double inclinometer in measuring lumbar mobility. *Open Orthop J*. 2014;8:355–60.
- Criswell E, editor. *Cram’s introduction to surface electromyography*. 2nd ed. Sudbury (MA): Jones and Bartlett Publishers; 2011.
- Thought Technology Ltd. *Rehab Suite Software User Manual*. Montreal: Thought Technology Ltd; 2020.
- Halaki M, Ginn K. Normalization of EMG signals: to normalize or not to normalize and what to normalize to? In: Naik GR, editor. *Computational intelligence in electromyography analysis: a perspective on current applications and future challenges*. Rijeka: InTech; 2012. p. 175–94.
- Konrad P. *The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography*. Scottsdale (AZ): Noraxon USA Inc.; 2005.
- Hug F, Tucker K, Dorel S. Surface electromyography and muscle function: facts and delusions. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23(4):784–90.
- Clarys JP, Scafoglieri A, Tresignie J, Reilly T, Roy PV. Critical appraisal and hazards of surface electromyography data acquisition in sport and exercise. *Asian J Sports Med*. 2010;1(2):69–80.