

# Funkcionalna procjena u pacijenata s nespecifičnom križoboljom

## Functional assessment in patients with non-specific low back pain

Stanislav Peharec<sup>1\*</sup>, Romana Jerković<sup>2</sup>

**Sažetak.** Nespecifična križobolja (NK) predstavlja značajni zdravstveni i socijalno-ekonomski problem zbog svoje velike učestalosti, dugotrajnosti smetnji, rekurentnosti te funkcionalne i radne ograničenosti oboljelih. Čest izostanak određivanja uzroka križobolje i slaba korelacija kliničke slike i dijagnostike pomoću slikovnih prikaza, prvenstveno magnetske rezonancije i rendgena ukazuju na potrebu funkcionalnih mjerenja u pacijenata s NK-om. Funkcionalna mjerenja omogućavaju kvantitativno mjerenje funkcionalnih promjena koje mogu biti uzrokom i posljedicom NK-a te razlogom rekurentnosti i radne ograničenosti. Na temelju podataka funkcionalne procjene mogu se programirati i planirati postupci prevencije NK-a te individualizirati terapijski i rehabilitacijski postupci. Isto tako, funkcionalna mjerenja tijekom liječenja i rehabilitacije omogućavaju praćenje učinkovitosti pojedinih postupaka, a po završetku rehabilitacije i procjenu radne sposobnosti. Premda je značaj funkcionalnih mjerenja za uspješnost rehabilitacije pacijenata s NK-om nedvojben, ne postoji konsenzus o standardizaciji protokola funkcionalnih mjerenja. Definiranje valjanih protokola predstavlja nužnost i važna je pretpostavka uspješnog izlječenja, prevencije rekurentnosti i razvoja kroniciteta nespecifične križobolje.

**Ključne riječi:** biomehanika; funkcionalna procjena; kinematika; križobolja; površinska elektromiografija

**Abstract.** Non-specific low back pain is a serious health and socioeconomic problem because of its frequency, chronicity, recurrence and functional and work restrictions in patients. Frequent absence of cause determination and poor correlation of the symptoms and diagnostics with imaging techniques, primarily magnetic resonance imaging and X-ray, indicate that there is a need for functional assessment in low back pain patients. Functional assessment enables quantitative measurement of functional changes which can be the cause and effect of low back pain and the reason of recurrence and work restrictions. Based on the information gathered by functional evaluation, low back pain prevention procedures can be planned and programmed and therapeutic and rehabilitation procedures can be individualised. Furthermore, functional assessment during the treatment and rehabilitation enable monitoring of the efficacy of different procedures and once the rehabilitation has been completed the evaluation of work ability. Although the significance of functional assessment for successful rehabilitation of patients with low back pain is undeniable, there is no consensus on standardisation of protocol for functional assessment. Defining valid protocols is necessary and an important precondition for a successful treatment and prevention of recurrence and development of chronic non-specific low back pain.

**Key words:** functional evaluation; biomechanics; kinematics; low back pain; surface electromyography

<sup>1</sup>Poliklinika za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, Pula

<sup>2</sup>Zavod za anatomiju, Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

Primljeno: 6. 8. 2013.

Prihvaćeno: 19. 9. 2013.

\* **Dopisni autor:**

Stanislav Peharec  
Poliklinika za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Pula  
Rizzijska 101, 52 100 Pula, Hrvatska  
e-mail: stanislav@peharec.com

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

## UVOD

Nespecifična križobolja (NK) zbog velike učestalosti u populaciji i trenda porasta predstavlja značajan socioekonomski i javno zdravstveni problem. Vjerojatnost da će osoba u svom životnom vijeku doživjeti barem jednu epizodu NK-a iznosi 58 % do 84 %<sup>1</sup>. Najčešće se javlja u radno aktivne populacije u dobi od 25 do 64 godine starosti<sup>1</sup>. Posebnu pažnju privlači podatak da nakon početne epizode NK-a 44 – 78 % pacijenata u godinu dana

Prisutnost i značajnost funkcionalnih promjena u pacijenata s nespecifičnom križoboljom ukazuju na potrebu funkcionalnih mjerenja takvih pacijenata.

Funkcionalna mjerenja zajedno s ostalim dijagnostičkim procjenama i kliničkom slikom pretpostavka su sačinjavanja individualnog plana i programa liječenja i rehabilitacije pacijenata s NK-om.

ima relaps jedne ili više epizoda križbolje<sup>2-5</sup>. Pored toga, odsustvo s radnog mjesta zbog NK-a javlja se u 26 – 37 % pacijenata<sup>5</sup>. U približno 80 – 90 % slučajeva mišićno-skeletnih bolova i križobolja ne može se odrediti točan uzrok nastanka bola<sup>1,6-8</sup>. Razlog tome je ograničenost postojećih metoda dijagnostike i nedostatan korištenje ili izostanak korištenja funkcionalnih analiza.

Sve učestalija pojava NK-a, razvoj kroniciteta i velik utjecaj na radnu sposobnost ukazuju na potrebu poboljšanja sustava za preciznu dijagnostiku, tako da je pored preciznog utvrđivanja strukturalnih promjena slikovnim tehnikama potrebno i utvrđivanje funkcionalnih promjena. Brojna klinička, eksperimentalna biomehanička i neurofiziološka istraživanja u pacijenata s NK-om ukazuju na postojanje funkcionalnih promjena u neuro-mišićnoj kontroli, obimu pokreta, fleksibilnosti mišića, mišićnoj aktivnosti, mišićnoj izdržljivosti i snazi. Stoga se razvijaju različiti protokoli i primjenjuju različite tehnologije za mjerenje mišićne aktivnosti, snage, izdržljivosti i fleksibilnosti, obima i koordinacije pokreta kralježnice, stabilnosti kralježnice, fleksibilnosti fascija i posture tijela.

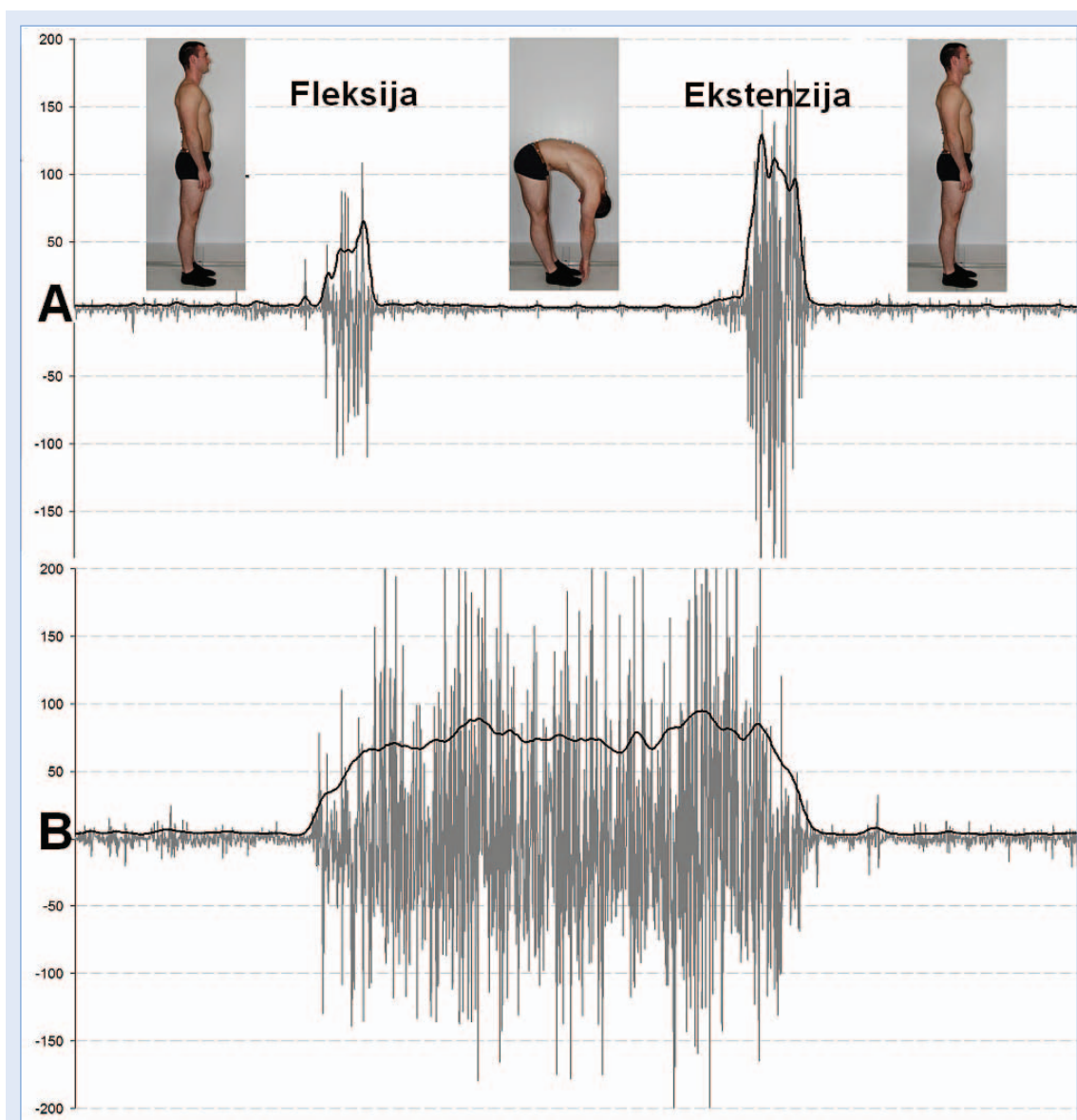
U kliničkoj praksi najčešće se koriste jednostavna mjerenja obima pokreta lumbalne kralježnice, mišićne snage i izdržljivosti. Za mjerenje pokreta

lumbalne kralježnice koriste se različite metode i tehnologije kao što je video, goniometar i inklinometar (mehanički i elektronski), invazivna radiološka metoda i kinematika. Kinematska mjerenja su u sve češćoj uporabi u odnosu na ostale metode jer omogućuju mjerenje jednostavnih i složenih pokreta, ali jednako tako i zbog mogućnosti preciznog mjerenja položaja, kutova, brzine i akceleracije.

Mjerenja fleksije lumbalne kralježnice u pacijenata s NK-om pokazala su smanjenu pokretljivost<sup>9-14</sup>, a mjerenja složenih motoričkih aktivnosti pokazuju izmijenjenu lumbo-pelvičku koordinaciju pokreta prilikom izvođenja složenijih motoričkih aktivnosti kao što su hodanje, ustajanje-sjedenje i podizanje tereta<sup>15-19</sup>.

Za mjerenje mišićne aktivnosti u pacijenata s NK-om najčešće se koristi površinska elektromiografija (PEMG). Mjerenja PEMG-om mogu se vršiti tijekom statičkih i dinamičkih aktivnosti. Statička mjerenja pogodna su za istraživanja utjecaja bola na mišićnu aktivnost, posturalnu aktivnost mišića i za mjerenje fiziologije mišićnog zamora. Dinamička mjerenja PEMG-a u pacijenata s NK-om omogućavaju mjerenje mišićne aktivnosti i međumišićne koordinacije prilikom izvođenja jednostavnih ili složenih motoričkih aktivnosti. U pacijenata s NK-om PEMG se često koristi za mjerenje „fleksijsko relaksacijskog fenomena“ (FRF). Pojam „fleksijsko relaksacijski fenomen“ uveli su Floyd i Silver, a opisuju ga kao značajni ili potpuni prestanak elektromiografske aktivnosti površinskih paraspinalnih mišića lumbalne regije neposredno prije postizanja ili tijekom potpune fleksije trupa<sup>20</sup>. Na mišićnu aktivnost tijekom fleksije utječu različiti čimbenici kao što su kut lumbalne lordoze, konstitucionalna hipomobilnost ili hiperomobilnost, fleksibilnost, mišićna snaga, zamor, psihološke osobitosti, koordinacija i brzina pokreta tijekom fleksije<sup>21-25</sup>.

U kliničkoj praksi prisutnost elektromiografske aktivnosti prilikom potpune fleksije trupa omogućava diskriminaciju pacijenata s NK-om od zdravih<sup>26,27</sup>. Izostanak relaksacije mišića erektora spine u fleksiji tumači se neurofiziološkom hiperekscitabilnošću paravertebralnih lumbalnih mišića radi ograničenja pokreta lumbalne kralježnice i smanjenja opterećenja struktura lumbalne regije. U



**Slika 1.** Primjer elektromiografskih signala u zdravog ispitanika i pacijenta s nespecifičnom križoboljom. A) U zdravog ispitanika prisutna je elektromiografska aktivnost tijekom fleksije i ekstenzije, a izostaje u položaju fleksije trupa; B) U pacijenta s nespecifičnom križoboljom prisutna je elektromiografska aktivnost tijekom fleksije, ekstenzije i izostaje mišićna relaksacija u položaju fleksije.

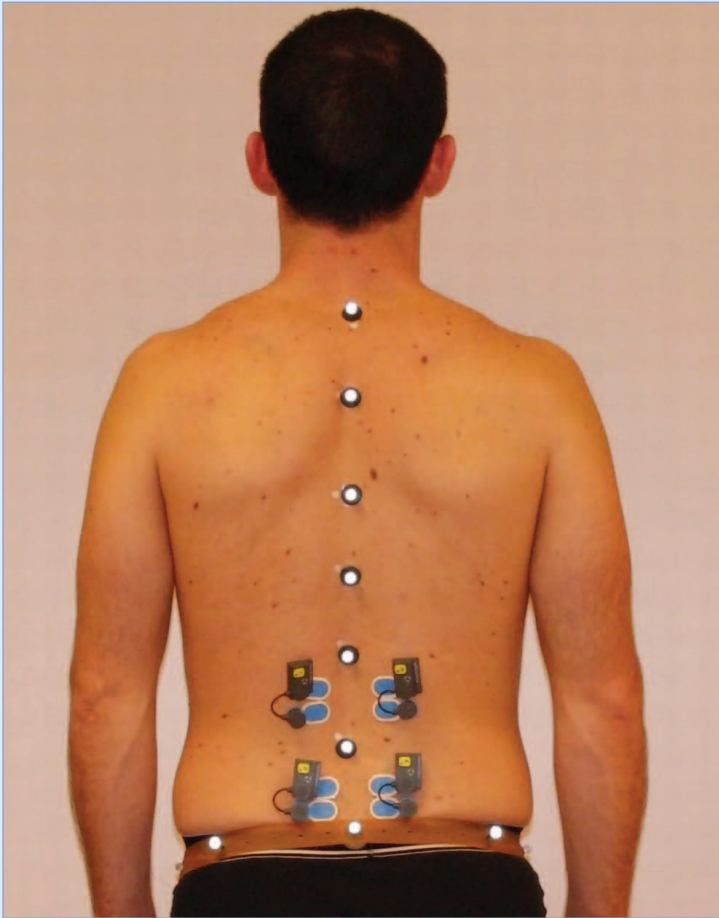
nekim istraživanjima mjerenje FRF-a korišteno je i u procjeni učinkovitosti pojedinih terapijskih i rehabilitacijskih postupaka<sup>28-32</sup>.

Mjerenje pokreta i mjerenje mišićne aktivnosti pomoću kinematike i PEMG-a pokazala su se korisnim za funkcionalnu procjenu promjena koje se povezuju s NK-om. Dobiveni kvantitativni podaci omogućavaju individualno planiranje programa rehabilitacije, praćenje tijeka i učinkovitosti rehabilitacije te procjenu radne sposobnosti pacijenta prilikom povratka radnim aktivnostima. Potpu-

ni funkcionalni oporavak smanjuje mogućnost rekurentnosti, kroniciteta i razvoja degenerativnih promjena te omogućava očuvanje radne sposobnosti.

#### FUNKCIONALNE PROMJENE U PACIJENATA S AKUTNOM NESPECIFIČNOM KRIŽOBOLJOM

Bol je primarni subjektivni simptom na koji se pacijent žali ili zbog kojega posjećuje liječnika. U pacijenata s NK-om bol nastaje zbog akutnog oštećenja i patofizioloških promjena u mišićima, fasci-



**Slika 2.** Pozicioniranje elektroda za površinsku elektromiografiju lumbalne paravertebralne muskulature i pozicioniranje markera za kinematsko pokretanje kralježnice i zdjelice.

Individualizacija plana rehabilitacije, kao i praćenje tijeka rehabilitacije, važna je pretpostavka njene uspješnosti, smanjenja rekurentnosti i kroniciteta, kao i uspješnog povratka radnim aktivnostima.

jama, ligamenatima, kralješcima, intervertebralnim diskovima, živcima, hrskavicama i zglobnim čahurama. Percepcija bola izaziva značajne neurofiziološke promjene mišićne aktivnosti koje uključuju brojne periferne i centralne neurološke mehanizme<sup>33,34</sup>. Neurofiziološke promjene ovise o intenzitetu i vremenu trajanja bola. U pojašnjenju bolom uzrokovanih promjena mišićne aktivnosti najčešće se koriste dvije relativno pojednostavljene teorije: „bol-adaptacija“ i „bol-spazam-bol“<sup>35,36</sup>. Prema teoriji „bol-adaptacija“ tijekom dinamičke mišićne kontrakcije bol izaziva smanjenje aktivno-

sti mišića agonista i povećanje aktivnosti mišića antagonista. Prema teoriji „bol-spazam-bol“, koja se još zove i teorija začaranog kruga, bolna stimulacija izaziva pojačanu mišićnu aktivnost koja dovodi do lokalne ishemije i posljedičnih patofizioloških promjena koje izazivaju bol. Hodges ukazuje na složenost reakcije mišića na bol u odnosu na pojednostavljene modele reakcije na bol<sup>37</sup>. Mišićna aktivnost koja nastaje zbog bolne stimulacije odvija se pod kontrolom neurofizioloških mehanizama inhibicije i ekscitacije s ciljem ograničenja pokreta, izmjene posture ili motorne organizacije radi rasterećenja dijelova tijela koja su izvor bola<sup>38,39</sup>. U pacijenata s akutnim NK-om dominantno je ograničenje pokreta lumbo-pelvičke regije<sup>40</sup>. Pokret ograničava pojačana mišićna aktivnost mišića erektora spine i mišića fleksora koljena<sup>41</sup>. Svrha ograničenja pokreta je zaštita struktura lumbalne kralježnice od mogućih daljnjih oštećenja<sup>42</sup>. Istraživanja koja su se bavila mjerenjem pokreta lumbalne kralježnice u pacijenata s bolom u lumbalnom djelu pokazala su da se smanjenjem bola povećao opseg pokreta<sup>43,44</sup>.

Mjerenja PEMG-om pokazala su da zbog bola mišići pokazuju fokalno izmijenjenu intramuskularnu i intermuskularnu aktivnost<sup>45</sup>. Promjene mišićne aktivnosti u posturalnoj organizaciji omogućavaju prilagodbu posture radi smanjenja opterećenja oštećenog ili bolnog dijela tijela. Spomenute promjene posture mogu biti lokalne (lumbalne) ili globalne, koje se odnose na posturu tijela. Antalgična postura i ograničenje pokreta u pacijenata s NK-om, kao i oporavak nakon smanjenja bola, objašnjava se prvenstveno promjenom mišićne aktivnosti. Promjene mišićne aktivnosti pokazuju razlike između pacijenata s NK-om, što ukazuje na potrebu individualizacije programa rehabilitacije<sup>45</sup>. Funkcionalne procjene primjenjive u akutnoj fazi NK-a su mjerenja posturalne organizacije tijela, pokreta kralježnice i zdjelice, neurodinamički testovi perifernih živaca donjih ekstremiteta i aktivacija paravertebralnih mišića u statičkoj kontrakciji. Subjektivna procjena bola i funkcionalna mjerenja koriste se radi procjene učinkovitosti pojedinih terapijskih postupaka, tijekom liječenja i rehabilitacije. Funkcionalna mjerenja moraju biti pojednostavljena radi zaštite pacijenata od moguće daljnje provokacije bola ili oštećenja. Radi

kliničke primjene neophodno je utvrditi kvantitativne parametre funkcionalnog oporavka koji govore u prilog uspješnosti pojedinih terapijskih postupaka i oporavka pacijenata.

#### FUNKCIONALNE PROMJENE U PACIJENATA S KRONIČNOM NESPECIFIČNOM KRIŽOBOLJOM

U pacijenata s kroničnim NK-om funkcionalne promjene posljedica su strukturalnih i neurofizioloških promjena. Strukturalne promjene prvenstveno se odnose na atrofičke i degenerativne promjene mišića, ligamenata, fascija, intervertebralnih diskova, hrskavica i kralježaka. Zbog nastalih strukturalnih promjena pojedinih tkiva dolazi do funkcionalnih statičkih i dinamičkih promjena prvenstveno lokalnog vertebro-dinamičkog segmenta (VDS), lumbalne regije, ali i tijela u cjelini. Statičke funkcionalne promjene u pacijenata s kroničnim NK-om mogu biti lokalne lumbalne i globalne posturalne promjene<sup>46,47</sup>. Dinamičke funkcionalne promjene su promjene pokretljivosti lumbalne kralježnice ili zdjelice i lumbopelvičke koordinacije, povećanje rigidnosti lumbalne kralježnice, intervertebralni instabilitet, izmjena neuromotorne kontrole, smanjenje mišićne snage i izdržljivosti<sup>13,15,48-52</sup>. Funkcionalne promjene ovise o individualnim fiziološkim, biomehaničkim i psiho-socijalnim osobitostima pacijenata, vremenu trajanja, intenzitetu i učestalosti bolova. Nastale promjene pojedina tkiva mogu rasteretiti, a druga pojačano opteretiti, što može biti uzrokom novih oštećenja, rekurentnosti i potpune ili djelomične radne nesposobnosti.

Najčešće korištena funkcionalna mjerenja u pacijenata s NK-om su mjerenje mišićne jakosti i izdržljivosti, mjerenje pokreta lumbalne kralježnice, koordinacije pokreta pojedinih segmenata prilikom izvođenja složenih motoričkih aktivnosti, kao i statička i dinamička mjerenja elektromiografske aktivnosti mišića lumbalne regije. Funkcionalna mjerenja omogućavaju uvid u funkcionalne promjene pojedinačno za svakog pacijenta. Temeljem individualnih funkcionalnih parametara uz psiho-socijalne i genetske karakteristike može se sačiniti individualni plan i program rehabilitacije.

Tijekom postupka rehabilitacije funkcionalna mjerenja omogućavaju monitoriranje i fino usmjerava-

nje rehabilitacije. Subjektivna procjena poboljšanja stanja praćena je uglavnom i funkcionalnim oporavkom, a u pacijenata u kojih je nakon rehabilitacije i dalje prisutan subjektivni bol dokazana je i dalje prisutnost funkcionalnih promjena<sup>45</sup>. Po završetku rehabilitacije u svrhu smanjenja moguće rekurentnosti ili kroniciteta važna je procjena konačnog funkcionalnog oporavka svakog pojedinca, kao i njegove radne sposobnosti. Istraživanja su pokazala veću uspješnost individualiziranog, multidimenzionalnog pristupa u rehabilitaciji, nasuprot jednostranog pristupa, koji se danas najčešće primjenjuje u svakodnevnoj kliničkoj i rehabilitacijskoj praksi<sup>53-55</sup>. Funkcionalna mjerenja zajedno s ostalim dijagnostičkim procjenama i kliničkom slikom ukazuju na značaj i potrebu individualizacije liječenja i rehabilitacije pacijenata s NK-om. Potpuni funkcionalni oporavak u oboljelih od NK-a omogućit će smanjenje rekurentnosti, kroniciteta te smanjiti odsustvo s radnog mjesta.

#### ZAKLJUČAK

Objektivna procjena pacijenata s NK-om temelji se na kliničkoj, radiološkoj, funkcionalnoj, neurofiziološkoj i psihosocijalnoj procjeni. Zbog značajnih funkcionalnih promjena u pacijenata s NK-om potrebna su funkcionalna mjerenja posture, mišićne jakosti i izdržljivosti, mjerenje pokreta lumbalne kralježnice, mjerenje koordinacije pokreta i neuromotorne kontrole s ciljem individualizacije rehabilitacije pacijenata s NK-om. Individualizacija plana rehabilitacije, kao i praćenje njena tijekom važna je pretpostavka uspješnosti rehabilitacije, smanjenja rekurentnosti i kroniciteta, kao i uspješnog povratka radnim aktivnostima.

#### LITERATURA

1. Woolf AD, Pfleger B. Burden of major musculoskeletal conditions. *Bull World Health Organ* 2003;81:646–56.
2. Garcy P, Mayer T, Gatchel R. Recurrent or new injury outcomes after return to work in chronic disabling spinal disorders. *Spine* 1996;21:952–9.
3. van den Hoogen H, Koes B, Devillé W, van Eijk J, Bouter L. The prognosis of low back pain in general practice. *Spine* 1997;22:1515–21.
4. von Korff M, Deyo R, Cherkin D, Barlow W. Back pain in primary care- Outcomes at 1 year. *Spine* 1993;18: 855–62.
5. Hestbaek L, Leboeuf-Yde C, Manniche C. Low back pain: what is the long-term course? A review of studies of general patient populations. *Eur Spine J* 2003;12:149–65.

6. Manek NJ, MacGregor AJ. Epidemiology of back disorders: prevalence, risk factors, and prognosis. *Current Opinion in Rheumatology* 2005;17:134-40.
7. Spratt KF, Lehmann TR, Weinstein JN, Sayre HA. A new approach to the low-back physical examination. Behavioral assessment of mechanical signs. *Spine* 1990;15:96-102.
8. Nachemson AL. Advances in low-back pain. *Clin Orthop Relat Res* 1985;200:266-78.
9. Ho CW, Chen LC, Hsu HH, Chiang SL, Li MH, Jiang SH et al. Isokinetic muscle strength of the trunk and bilateral knees in young subjects with lumbar disc herniation. *Spine* 2005;18:528-33.
10. Salminen JJ, Maki P, Oksanen A, Pentti J. Spinal mobility and trunk muscle strength in 15 year-old schoolchildren with and without low-back pain. *Spine* 1992;17:405-11.
11. Sjolje AN. Low-back pain in adolescents is associated with poor hip mobility and high body mass index. *Scand J Med Sci Sports* 2004;14:168-75.
12. Mierau D, Cassidy JD, Yong-Hing K. Low-back pain and straight leg raising in children and adolescents. *Spine* 1989;14:526-8.
13. Wong TKT, Lee RYW. Effects of low back pain on the relationship between the movements of the lumbar spine and hip. *Hum Mov Sci* 2004;23:21-34.
14. Cholewicki J, Silfies SP, Shah RA, Greene HS, Reeves NP, Alvi K et al. Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine* 2005;30:2614-20.
15. Sánchez-Zuriaga D, López-Pascual J, Garrido-Jaén D, de Moya MF, Prat-Pastor J. Reliability and validity of a new objective tool for low back pain functional assessment. *Spine* 2011;36:1279-88.
16. Shum GLK, Crosbie J, Lee RYW. Effect of low back pain on the kinematics and joint coordination of the lumbar spine and hip during sit-to-stand and stand-to-sit. *Spine* 2005;30:1998-2004.
17. van den Hoorn W, Bruijn SM, Meijer OG, Hodges PW, van Dieën JH. Mechanical coupling between transverse plane pelvis and thorax rotations during gait is higher in people with low back pain. *J Biomech* 2012;45:342-7.
18. Seay JF, Van Emmerik RE, Hamill J. Influence of low back pain status on pelvis-trunk coordination during walking and running. *Spine* 2011;36:1070-9.
19. Huang Y, Meijer OG, Lin J, Bruijn SM, Wu W, Lin X et al. The effects of stride length and stride frequency on trunk coordination in human walking. *Gait Posture* 2010;31:444-9.
20. Floyd WF, Silver PHS. Function of the erector spinae in flexion of the trunk. *Lancet* 1951;1:133-4.
21. Gupta A. Analyses of myo-electrical silence of erector spinae. *J Biomech* 2001;34:491-6.
22. Sarti MA, Lisón JF, Monfort M, Fuster MA. Response of the flexion-relaxation phenomenon relative to the lumbar motion to load and speed. *Spine J* 2001;26:421-6.
23. Hashemirad F, Talebian S, Hatef B, Kahlaee AH. The relationship between flexibility and EMG activity pattern of the erector spinae muscles during trunk flexion-extension. *J Electromyogr Kinesiol* 2009;19:746-53.
24. Geisser ME. Surface electromyography and low back pain. *Biofeedback* 2007;35:13-6.
25. Descarreaux M, Lafond D, Cantin V. Changes in the flexion-relaxation response induced by hip extensor and erector spinae muscle fatigue. *BMC Musculoskelet Disord* 2010;11:112.
26. Geisser ME, Ranavava M, Haig AJ, Roth RS, Zucker R, Ambroz C et al. A meta-analytic review of surface electromyography among persons with low back pain and normal, healthy controls. *J Pain* 2005;6:711-26.
27. Neblett R, Mayer TG, Gatchel RJ, Keeley J, Proctor T, Anagnostis C. Quantifying the lumbar flexion-relaxation phenomenon: theory, normative data, and clinical applications. *Spine* 2003;28:1435-46.
28. Neblett R, Mayer TG, Gatchel RJ. Theory and rationale for surface EMG-Assisted stretching as an adjunct to chronic musculoskeletal pain rehabilitation. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 2003;28:139-46.
29. Watson PJ, Booker CK, Main CJ, Chen AC. Surface electromyography in the identification of chronic low back pain patients: the development of the flexion relaxation ratio. *Clin Biomech* 1997;2:165-71.
30. Ritvanen T, Zaproudina N, Nissen M, Leinonen V, Hänninen O. Dynamic surface electromyographic responses in chronic low back pain treated by traditional bone setting and conventional physical therapy. *J Manipulative Physiol Ther* 2007;30:31-7.
31. Wallbom AS, Geisser ME, Koch J, Haig AJ, Guido C, Hoff JT. Lumbar flexion and dynamic EMG among persons with single level disk herniation pre-and postsurgery with radicular low-back pain. *Am J Phys Med Rehabil* 2009;88:302-7.
32. Marshall PW, Murphy BA. Evaluation of functional and neuromuscular changes after exercise rehabilitation for low back pain using a Swiss ball: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther* 2006;29:550-60.
33. Le Pera D, Graven-Nielsen T, Valeriani M, Oliviero A, Di Lazzaro V, Tonali PA et al. Inhibition of motor system excitability at cortical and spinal level by tonic muscle pain. *Clin Neurophysiol* 2001;112:1633-41.
34. Falla D, Farina D. Neuromuscular adaptation in experimental and clinical neck pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2008;18:255-61.
35. Lund JP, Donga R, Widmer CG, Stohler CS. The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can J Physiol Pharmacol* 1991;69:683-94.
36. Roland M. A critical review of the evidence for a pain-spasm-pain cycle in spinal disorders. *Clin Biomech* 1986;1:102-9.
37. Hodges PW. Pain and motor control: From the laboratory to rehabilitation. *J Electromyogr Kinesiol* 2011;21:220-8.
38. Lee T, Yang L. Straight leg raising test for detection of a herniated disc at the slipped segment of a spondylolisthesis. *Acta Neurol Taiwan* 1998;7:95-103.
39. Zedka M, Prochazka A, Knight B, Gillard D, Gauthier M. Voluntary and reflex control of human back muscles during induced pain. *J Physiol* 1999;520:591-604.
40. Paquet N, Malouin F, Richards CL. Hip-spine movement interaction and muscle activation patterns during sagittal trunk movements in low back patients. *Spine* 1994;19:596-603.
41. Sihvonen T. Flexion relaxation of the hamstring muscles during lumbar-pelvic rhythm. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:486-90.

42. van Dieën JH, Selen LP, Cholewicki J. Trunk muscle activation in low-back pain patients, an analysis of the literature. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13:333-51.
43. Pearcy M, Portek I, Shepherd J. The Effect of Low-Back Pain on Lumbar Spinal Movements Measured by Three-Dimensional X-Ray Analysis. *Spine J* 1985;10:150-3.
44. Mayer TG, Robinson R, Pegues P, Kohles S, Gatchel RJ. Lumbar segmental rigidity: can its identification with facet injections and stretching exercises be useful? *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:1143-50.
45. Finneran MT, Mazanec D, Marsolais ME, Marsolais EB, Pease WS. Large-array surface electromyography in low back pain: a pilot study. *Spine* 2003;28:1447-54.
46. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine* 1994;19:1611-8.
47. Harrison DD, Cailliet R, Janik TJ, Troyanovich SJ, Harrison DE, Holland B. Elliptical modeling of the sagittal lumbar lordosis and segmental rotation angles as a method to discriminate between normal and low back pain subjects. *J Spinal Disord* 1998;11:430-9.
48. Latimer J, Lee M, Adams R, Moran CM. An investigation of the relationship between low back pain and lumbar posteroanterior stiffness. *J Manipulative Physiol Ther* 1996;19:587-91.
49. Kulig K, Powers CM, Landel RF, Chen H, Fredericson M, Guillet M et al. Segmental lumbar mobility in individuals with low back pain: in vivo assessment during manual and self-imposed motion using dynamic MRI. *BMC Musculoskelet Disord* 2007;8:8.
50. Dankaerts W, O'Sullivan P, Burnett A, Straker L, Davey P, Gupta R. Discriminating healthy controls and two clinical subgroups of nonspecific chronic low back pain patients using trunk muscle activation and lumbosacral kinematics of postures and movements: a statistical classification model. *Spine* 2009;34:1610-8.
51. Süüden E, Erelina J, Gapeyeva H, Pääsuke M. Low back muscle fatigue during Sørensen endurance test in patients with chronic low back pain: relationship between electromyographic spectral compression and anthropometric characteristics. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2008;48:185-92.
52. Bayramoğlu M, Akman MN, Kiliç S, Cetin N, Yavuz N, Ozker R. Isokinetic measurement of trunk muscle strength in women with chronic low-back pain. *Am J Phys Med Rehabil* 2001;80:650-5.
53. Slater MA, Weickgenant AL, Greenberg MA, Wahlgren DR, Williams RA, Carter C et al. Preventing progression to chronicity in first onset, subacute low back pain: an exploratory study. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90:545-52.
54. Asenlöf P, Denison E, Lindberg P. Individually tailored treatment targeting activity, motor behavior, and cognition reduces pain-related disability: a randomized controlled trial in patients with musculoskeletal pain. *J Pain* 2005;6:588-603.
55. Asenlöf P, Denison E, Lindberg P. Long-term follow-up of tailored behavioural treatment and exercise based physical therapy in persistent musculoskeletal pain: a randomized controlled trial in primary care. *Eur J Pain* 2009;13:1080-8.