

A. Sušić, M. Žokalj, M. Kasović\*

# NESTABILNOST SLABINSKE KRALJEŽNICE KAO FAKTOR RIZIKA PRI DIZANJU GABARITNOG TERETA

UDK 616.711:613.65  
PRIMLJENO: 17.3.2014.  
PRIHVAĆENO: 7.1.2015.

**SAŽETAK:** Cilj rada je utvrditi na koji način prepoznati da postoje uvjeti koji narušavaju ili čak i ugrožavaju zdravlje kralježnice, što je nedvojbeno ugrožavanje sigurnosti izvršioca radnog zadatka, s fokusom na manualno dizanje i rukovanje gabaritnim teretima. Kako bi se zadržala razina učinkovitosti dizanja, odnosno rukovanja teretom uz istodobno sprečavanje nastanka ozljeda slabinske kralježnice, faktori rizika trebaju biti svedeni na minimum.

Imajući u vidu činjenicu da se ozljede slabinske kralježnice najčešće javljaju pri nekontroliranim kretnjama, kao i uvjetima nedostavno kondicionirane ili/aktivirane muskulature leđa, praćenje promjena slabinskog momenta prepoznato je kao iznimno važna veličina. Za provedbu odgovarajuće biomehaničke analize kreiran je protokol koji daje mogućnost praćenja promjena odgovarajućih biomehaničkih veličina u ovisnosti o stvarnim pokretima i položajima tijela.

Rezultati provedene analize ukazuju da, iako je poznato teoretski ispravno podizanje tereta, utjecaj geometrije i položaja težišta tereta, antropometrijski parametri subjekta – izvršioca zadatka i njegovih sposobnosti i vještina, trebaju biti provjereni prije nego se takav radni zadatak dodijeli. Isto tako, kao vrlo važan podatak proizlazi i to da je stabilnost kralježnice tijekom dizanja uvelike pod utjecajem svih navedenih veličina. Ovu veličinu moguće je pratiti primarno putem krivulje promjene slabinskog momenta, međutim ne isključujući i druge pokazatelje. Zaključno, ako tijekom dizanja postoji nestabilnost kralježnice, rizik za pojavu ozljeda značajno se povećava, čak i ako druge veličine opterećenja kralježnice nisu tako velikog intenziteta.

**Ključne riječi:** stabilnost slabinske kralježnice, dizanje tereta, faktori rizika, slabinski moment

## UVOD

Zaštita zdravlja i funkcionalnosti slabinske kralježnice je osnovna svrha brojnih znanstvenih i stručnih studija zbog uspostave konačne suglasnosti o prihvatljivim oblicima i intenzitetu opterećenja slabinske kralježnice, neovisno o vrsti opterećenja kojemu je kralježnica izložena, za simetrične i asimetrične kretnje (Rohlmann i sur., 2009., Gagnon i sur., 2011., Marras i sur., 2009.,

Parkinson, Callaghan, 2009., Ledet i sur., 2005., Parkinson i sur., 2004., Davis, Marras, 2000.). Osim toga, studije su provedene ciljano kako bi s jedne strane objasnile i dovele do potpunog razumijevanja mehanizma slabinske kralježnice kao i ponašanja u raznim analiziranim slučajevima (Marras i sur., 2009., Parkinson, Callaghan, 2009., Parkinson i sur., 2004.), a s druge utvrdile ulogu i značaj mehaničke stabilnosti kralježnice (Izzo i sur., 2013., Wagner i sur., 2005., Cholewicki i sur., 1999., 2000., Cholewicki, McGill, 1996.). Preporuke tako sveobuhvatnih istraživanja kralježnice kao i razumijevanje njezinih biomehaničkih mehanizama možemo istaknuti kao temelj za primjenu u ergonomijske svrhe, medicinu rada

\*Dr. sc. Aleksandar Sušić (asusic@fsb.hr), Martina Žokalj, mag. ing. stroj., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, doc. dr. sc. Mario Kasović, prof. (mario.kasovic@kif.hr), Kineziološki fakultet, Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb.

i zaštitu na radu, gdje predložene nove metode, postupci i dostupne tehnologije mogu značajno pridonijeti unapređivanju saznanja i razumijevanja utjecaja na slabinsku kralježnicu izazvanih vanjskim nametnutim uvjetima kakvi se javljaju pri rukovanju teretima (*Wagner i sur., 2005., Cholewicki i sur., 1999., 2000., Stokes, Gardner-Morse, 2003., McGill i sur., 2003., Hodges i sur., 2005., Gardner-Morse, Stokes, 2001.*).

Nadalje, iako su provedena brojna, raznovrsna i sveobuhvatna istraživanja, nije ostvarena konačna i jednoznačna suglasnost o sigurnim i pouzdanim preporukama u rukovanju teretima, neovisno radi li se o dizanju, premještanju, guranju ili povlačenju tereta. Moguće obrazloženje za ovo stanje krije se u činjenici da je kralježnica vrlo složeni regulacijski i mehanički sustav koji je gotovo uvijek izložen uvjetima u kojima je nemoguće kontrolirati i uzeti u obzir sve utjecajne veličine, kao niti pouzdano odrediti nedvojbene uvjete njihove promjene. Isto tako, mjerenja i analize provedene u kontroliranim laboratorijskim uvjetima uvelike uvjetuju pouzdanost i vjerodostojnost rezultata, tim više jer se provode uz brojna ograničenja, a ponekad i izolaciju, što u stvarnim okolnostima nije slučaj. Nadalje, kretnje u manualnom rukovanju teretima su, u pravilu, nesimetrične, često uvjetovane opisom radnog zadatka i u neskladu s teoretski ispravnim. To ima za posljedicu da se aktiviraju autonomni mehanizmi zaštite od narušavanja integriteta i funkcionalnosti kralježnice, posebice slabinske, na takav način da nastoje raspodijeliti opterećenje i reaktivno djelovanje na mišićnu i skeletnu strukturu, a da bi se koordinirano i precizno reducirala izloženost prekomjernom opterećenju svakog člana sustava zasebno. Međutim, radni zadatak može biti takav da subjekt koji ga obavlja nije u mogućnosti udovoljiti temeljnim pretpostavkama neophodnim da se zadatak obavi sigurno, kojom prigodom autonomni zaštitni mehanizam slabinske kralježnice nije u mogućnosti osigurati nužne biomehaničke međudnose. Zbog toga rizik za pojavu ozljede raste proporcionalno s intenzitetom radnog zadatka, osobito u slučaju višestrukog ponavljanja kada nastupa i zamor subjekta.

Iz ovih razmatranja proizlazi da najvažnija svrha biomehaničkih analiza vezanih uz rukovanje teretima treba biti usmjerena na utvrđivanje

uvjeta i okolnosti koje dovode ili mogu dovesti do nepoželjne uzbude, odnosno oštećenja živčanog sustava, prekomjernog opterećenja ili čak i oštećenja koštane, mišićne ili vezivne mase slabinske kralježnice. Upravo ovako provedene analize mogu pridonijeti razumijevanju i prepoznavanju rizičnih međukralježničnih pomaka i deformacija, kao posljedice rukovanja teretom nametnutih opterećenja svedenih na strukturu i mehanizam kralježnice. Umjesto opsežnog pregleda literature i etiologije sposobnosti, odnosno s druge strane uzroka ozljeda kralježnice, cilj ovog rada je utvrđivanje odnosa između subjekta i tereta kojime treba rukovati, kao i uzrokovanih posljedica na opterećenje kralježnice. Na ovaj način želimo istražiti utjecaj relativnog odnosa antropometrijskih i mehaničkih osobina subjekta s jedne, te gabaritnog tereta i njegovih značajki s druge strane, a kako bi se utvrdili uvjeti kada nije moguće poštovati zaštitne mjere.

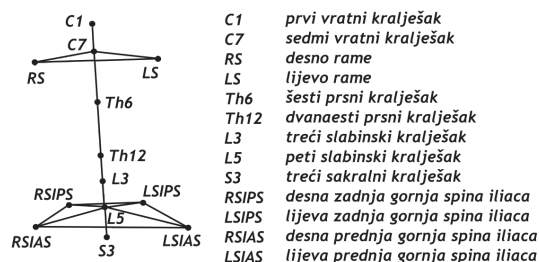
Iz literature koja se bavi mehaničkom stabilnosti kralježnice (*Izzo i sur., 2013., Wagner i sur., 2005., Cholewicki i sur., 1999., 2000., Cholewicki, McGill, 1996.*) može se zaključiti da se kao jedna od najčešćih mjera u zaštiti od ozljeda kralježnice preporuča upravo povećanje njezine stabilnosti, odnosno krutosti putem zaštitnog remena kojega subjekt treba nositi za vrijeme rukovanja teretom. Iz svega dosad navedenog proizlazi da bi kao jedan od temeljnih kriterija za procjenu rizika pri rukovanju gabaritnim, ali i svakim drugim teretom, svakako trebao biti mehanička stabilnost, odnosno nestabilnost kralježnice.

Žarište ovog istraživanja je na utvrđivanju pojave nestabilnosti slabinske kralježnice koja je uvjetovana, odnosno uzrokovana nepravilnostima pri dizanju tereta koje su očekivana pojava u okolnostima kada je prihvat i podizanje gabaritnog tereta spram antropometrijskih osobina subjekta takav da je otežano zauzimanje ispravnog stava za podizanje. Tereti kojima se često rukuje obično imaju takve dimenzije, odnosno proporcije da ih se može smatrati velikim i neprikladnim, što nadalje uvjetuje odstupanje u tehnici, načinu i položaju tijela subjekta prilikom prihvata i rukovanja. To izravno ugrožava sigurnost subjekta, a istodobno ukazuje kako radni zadatak treba biti antropometrijski prikladan.

## METODA RADA

### Postupak prikupljanja mjernih podataka

Mjerni postupak proveden je snimanjem ispitanika putem tehnologije MOCAP (MOtion CAPture – praćenje gibanja) uporabom sustava BTS Elite (Italija) u biomehaničkom laboratoriju Kineziološkog fakulteta u Zagrebu. Radi se o sustavu koji pomoću 8 IC (infracrvenih) kamera raspoređenih u prostoru oko ispitanika prati pomicanje pasivnih reflektirajućih markera postavljenih na tijelo ispitanika, frekvencijom od 100 Hz. Pasivni reflektirajući markeri postavljaju se na tijelo ispitanika na karakteristična anatomska mjesta, obično slijedeći neki od protokola za postavljanje markera. Za potrebe ovog istraživanja nije primijenjen unaprijed definirani protokol, već su reflektirajući markeri postavljeni na tijelo ispitanika na anatomske lokacije kao što je prikazano na slici 1. Osim rasporeda markera po tijelu ispitanika na točke koje su opisane anatomskom pozicijom (slika 1), predstavlja pojednostavljeni žičani model nužan za daljnji tijek analize.



Slika 1. Prikaz žičanog modela s rasporedom pasivnih reflektirajućih markera

Figure 1. Wire model showing passive reflective markers

Od ispitanika se traži da spontano i bez posebnih uputa podignu praznu kutiju (50 cm visoku, 40 cm široku i 50 cm dugu) bez ikakvih ručica ili hvatišta. Kutija se nalazi na podu, postavljena ispred ispitanika, a ispitanik kreće iz stojećeg stava u kojemu miruje, zatim se spusti na takav način da može prihvatiti kutiju, te se s njom diže u početni, uspravni stav. Kutija je namjerno ostavljena prazna kako utjecaj mase i težišta ne bi prikrio utjecaj dimenzija kutije na izvođenje podizanja, s namjerom da se istraže

posljedice opisanog dizanja tereta na ispitanike različitih antropometrijskih izmjera. Dimenzije kutije odabrane su tako da mogu stvarati poteškoću za zauzimanje pravilnog stava i pokrete prilikom rukovanja, odnosno podizanja, što bi u slučaju većih dimenzija kutije bilo još izraženije. Treba napomenuti kako je iz tehničkih razloga kutija manjih dimenzija od izvorno predviđenih (kutija perilice rublja, kuhinjskog hladnjaka, zamrzivača itd.), jer prilikom praćenja kretnji primjenom većine MOCAP tehnologija nestaju markeri postavljeni na tijelo ispitanika, a osobito kada postoje zaklanjanja, što onemogućava praćenje pokreta u čitavom rasponu kretnji. Ispitanicima je prije početka mjerenja napomenut cilj i svrha istraživanja, odnosno analize opisanih kretnji pri rukovanju teretom, u prvom redu zbog dobivanja usporedivih rezultata. Radni zadatak je istovjetan neovisno o tome tko ga i kojih osobina treba izvršiti. To podrazumijeva da svi ispitanici trebaju započeti izvršavanje radnog zadatka s istog mjesta, iz istog početnog stava tijela i trebaju rukovati istim teretom, te se nakon izvršenja zadatka zaustaviti u uspravnom stavu.

Nakon mjerenja provedenih tijekom izvršenja zadanog radnog zadatka, podizanja tereta prema već opisanom postupku, izrađen je protokol za biomehaničku analizu pomoću BTS Smart Analyzer računalnog programa, kako bi se rezultati mjerenja mogli transformirati u stvarne fizikalne veličine, odnosno njihove komponente koje želimo analizirati. Izrađeni protokol omogućava da se za svaki marker utvrdi sila i moment, međutim, isključivo putem njihovih komponenti paralelnih s osima nepomičnog koordinatnog sustava.

### Kriterij procjene nestabilnosti kralježnice

Iz pregleda relevantne dostupne literature (Rohmann i sur., 2009., Gagnon i sur., 2011., Marras i sur., 2009., Parkinson, Callaghan, 2009., Ledet i sur., 2005., Parkinson i sur., 2004., Davis, Marras, 2000.) moguće je uočiti nekoliko mogućih kriterija za procjenu rizika od nastanka ozljeda kralježnice. Iako se često ističu vrijednosti pojedinih fizikalnih veličina, primarno sila i momenata, kao najpotpuniji kriterij može se odabrati krutost, odnosno stabilnost kralježnice (Izzo i sur., 2013., Wagner i sur., 2005., Cholewicki i sur., 1999., 2000., Cholewicki, McGill, 1996., Stokes, Gardner-Morse, 2003., McGill i sur.,

2003., Hodges i sur., 2005.). Iako nije prihvaćena konačna suglasnost o definiciji stabilnosti kralježnice (Izzo i sur., 2013.), autori ovog rada smatraju je precizno sinkroniziranom koordinacijom neuromuskularnog sustava mehanizma slabinske kralježnice, pobuđenom položajem tijela i značajkama nametnutog opterećenja, kako bi se osiguralo kontrolirano pomicanje segmenata kralježnice, što je sukladno zaključcima iz drugih istraživanja (Izzo i sur., 2013., Wagner i sur., 2005., Cholewicki i sur., 1999., 2000., McGill i sur., 2003.). Izostanak dostatnog odziva mehanizma slabinske kralježnice, odnosno ostvarene razine stabilnosti kralježnice odgovarajućom aktivacijom mišića sustava, uzrokovat će oscilacije vrijednosti momenta slabinske kralježnice, što zajedno s promjenama vrijednosti smičnih i tlačnih sila može ukazivati na ugroženu stabilnost slabinske kralježnice, otkrivajući stvarne rizike ozljeđivanja (Cholewicki, McGill, 1996., Stokes, Gardner-Morse, 2003., McGill i sur., 2003., Hodges i sur., 2005., Gardner-Morse, Stokes, 2001., 2004., Morl i sur., 2005.). Nadalje, iako je moguće da intenziteti promatranih sila, odnosno momenata ne dosežu granične vrijednosti, ovi pokazatelji ne jamče sigurnost od izostanka pojave ozljeda. Napomenimo samo da su se u istraživanjima kao mjerodavne često primjenjivale preporučene vrijednosti raznih mjerljivih veličina za procjenu dopustivih vanjskih opterećenja (poput tlaka u trbušnoj šupljini, vrijednosti slabinskog momenta, granične smične, odnosno tlačne sile koje djeluju na međukralježnične diskove itd.). Unatoč važnosti i opravdanosti zadržavanja u području ispod graničnih, isključiva pozornost usmjerena na izbjegavanje dosezanja graničnih vrijednosti fizikalnih veličina nije opravdana jer zanemaruje dinamiku promjena tih istih veličina kao i posljedice promjena uvjeta i opterećenja pri izvođenju pokreta, tim više jer su ozljede nastajale iako preporučene granične vrijednosti nisu bile dosegnute.

Izrađeni protokol biomehaničke analize uporabom BTS Smart Analyzer računalnog programa omogućava utvrđivanje vrijednosti vektorskih komponenti sila i momenata. Međutim, raspoloživa mjerna tehnika uskraćuje mogućnost praćenja i razdvajanja podataka blisko postavljenih markera na tijelo ispitanika, čime je onemogućeno precizno utvrđivanje praćenih veličina za sve uključene segmente kralježnice kao važnog čimbenika analize (Gardner-Morse, Stokes, 2004., Morl i sur., 2005.). Nažalost, iako se protokolom mogu utvrditi komponente vektora sila i momenata,

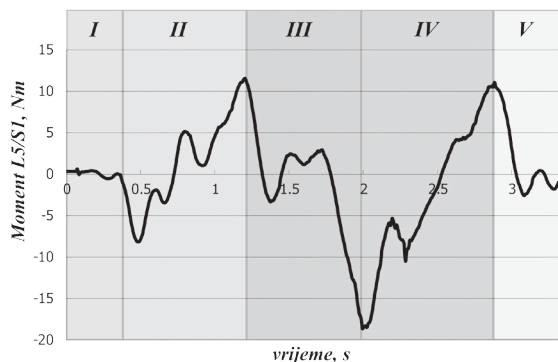
one su vezane uz nepomični desni Kartezijev koordinatni sustav, dok se segmenti tijela ispitanika neprestano prostorno gibaju, kao i njihov lokalni koordinatni sustav. To se u prvom redu odnosi na sile koje bi se za potrebe analize trebale prikazati kao uzdužna (sila uzduž trenutne osi kralježnice), odnosno smične sile (sile koje djeluju poprečno na trenutnu os kralježnice) koje djeluju na segmente kralježnice. S obzirom da je primjenom ovog mjernog postupka vrlo nepouzdana određivanje orijentacije lokalnog koordinatnog sustava segmenata kralježnice, te uz činjenicu da postavljanjem markera dovoljno blizu kako bi na svakom kralježničnom segmentu bio barem jedan marker uzrokuje preklapanje signala, nastupaju ograničenja koja uvelike utječu na svrsishodnost dobivenih rezultata. Iako je žarište provedenog istraživanja na utvrđivanju ljudskih faktora uvjetovanih odnosom subjekta i objekta tijekom simetričnog podizanja gabaritnog tereta, najznačajniji rezultati mogu se očekivati u sagitalnoj, odnosno središnjoj bočnoj ravnini tijela. Nadalje, iako se uzdužne i poprečne sile koje djeluju na kralježnicu smatraju važnim i utjecajnim veličinama, njihovo utvrđivanje nije moguće provesti na pouzdan način, a osim toga one ne ukazuju izravno na pojavu nestabilnosti kralježnice.

Konačno, imajući u vidu sve navedeno, najprikladnija veličina za praćenje promjena i stanja smatra se moment slabinske kralježnice sveden na zglob L5/S1, oko poprečne osi kralježnice okomite na sagitalnu ravninu u kojoj nastaje najveći dio kretnji. Ovom veličinom moguće je pratiti savijanje i ispravljanje kralježnice za čitav raspon kretnji, kao i utvrditi intenzitet uzrokovanog opterećenja.

## REZULTATI

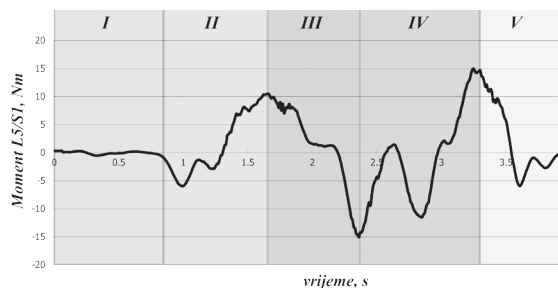
Mjerni rezultati uspješno su prikupljeni za dva zdrava asimptomatična muška ispitanika, i to: Ispitanika 1, starog 22 godine, visokog 1.92 m, mase 102 kg i indeksa tjelesne mase 28, te Ispitanika 2, starog 23 godine, visokog 1.70 m, mase 75 kg i indeksa tjelesne mase 26. Provođenjem analize mjernih podataka putem izrađenog protokola u BTS Smart Analyzer programu ostvaren je uvid u promjene momenta slabinske kralježnice svedenog na zglob L5/S1 za čitavo vrijeme trajanja kretnji dizanja tereta za Ispitanika 1 (slika 2), odnosno za Ispitanika 2 (slika 3).

Mjerni, odnosno utvrđeni rezultati prikazani su kao dijagrami promjene momenta slabinske kralježnice svedenog na zglob L5/S1 u ovisnosti o vremenu, no istodobno su promjene momenta razdijeljene po fazama pokreta dizanja tereta. Na taj se način dobiveni rezultati mogu izravno uspoređivati, iz čega se lako mogu uočiti razlike koje su posljedica uvjeta u kojima su promjene nastale. Također, na prvi pogled je očito da iako je trajanje čitavog raspona kretanja ispitanika gotovo jednakog trajanja, očevidne su razlike u krivuljama promjena momenta kao posljedice razlika u sposobnostima i vještinama, odnosno antropometrijskih razlika među ispitanicima. Kao važni pokazatelji u analizi i tumačenju dobivenih rezultata razmatrani su nagib tangente krivulje, promjene momenta kao i trenutni iznos momenta slabinske kralježnice. U tom smislu pozitivna trenutna vrijednost momenta predstavlja ispravljanje kralježnice, negativna vrijednost predstavlja njezino savijanje, a nulti intenzitet predstavlja neutralni položaj koji je karakterističan za mirovanje u uspravnom stavu.



Slika 2. Dijagram promjene momenta slabinske kralježnice u L5/S1 za Ispitanika 1

Figure 2. Changing lumbar spine momentum in L5/S1 for Participant 1



Slika 3. Dijagram promjene momenta slabinske kralježnice u L5/S1 za Ispitanika 2

Figure 3. Changing lumbar spine momentum in L5/S1 for Participant 2

## RASPRAVA

Kako je raspon pokreta podijeljen u faze, za svaku fazu pokreta, odnosno dizanje gabaritnog tereta, osim njezinog naziva, navest ćemo i najznačajnije razlike među dijagramima na slikama 2 i 3, i to:

- **Faza I – mirovanje u uspravnom stavu.** Lako je uočiti kako je u ovoj fazi izrazito malo oscilacija vrijednosti momenta, odnosno nisu uočene bitne razlike važne za ovaj rad.
- **Faza II – priprema za početak spuštanja.** Prije početka spuštanja prema teretu, ispitanici su aktivirali leđnu muskulaturu kako bi osigurali stabilnost kralježnice i ispravan položaj tijela, što je vidljivo iz promjena momenata u ovoj fazi. Krivulje promjene momenta nisu podudarne, iako su u krajnjem položaju intenziteti gotovo identični, oko 12 Nm, ukazujući da je Ispitanik 2 spram njegovih antropometrijskih značajki inducirao viši intenzitet u mehanizmu stabilizacije kralježnice. Nadalje, slika 2 prikazuje vidljivo izraženije oscilacije momenta ukazujući na to da je prisutna značajnija nestabilnost slabinske kralježnice, iako još nije započelo podizanje tereta, što dovodi u pitanje kontrolu i vještinu izvođenja zadanih pokreta Ispitanika 1.
- **Faza III – spuštanje u stav za podizanje.** Spuštajući se u stav za podizanje tereta oba ispitanika su taj pokret obavila uz dosta nestabilan položaj trupa, što se može uočiti iz velikih oscilacija vrijednosti momenta, iako bi se moglo zaključiti kako je Ispitanik 2 ovaj pokret izveo značajno vještije i sigurnije. Unatoč tome se sposobnost stabilizacije trupa ispitanika za ovu fazu pokreta treba poboljšati, jer se može pojaviti zahtjev za rukovanjem teretom i pri spuštanju na podlogu, kada bi prema dijagramima promjene momenta, rizik ozljeđivanja bio visok. S obzirom da to nije bio slučaj, za zadani pokret se ne očekuje pojava ozljede slabinske kralježnice, te se kao najrizičnija faza procjenjuje faza IV.
- **Faza IV – prihvat i podizanje tereta.** Razmatrajući antropometrijske osobine oba ispitanika, očekivano je da će Ispitanik 2 imati

više teškoća s prihvatom gabaritnog tereta spram Ispitanika 1, te se prema tome očekuju i značajnije oscilacije vrijednosti momenta. Dijagrami promjena upravo na to i ukazuju, a iz čega je očito da na izvođenje pokreta pri zahvatu, ali i podizanju utječu oblik i dimenzije tereta, uvjetujući potrebu da ispitanik – izvršilac pokreta obavi neophodne prilagodbe kako bi obavio zadatak. To je razlog zašto je u dijagramu promjene momenta na slici 3 promjena vrijednosti značajno veća nego na slici 2, gdje su očite izmjene savijanja i ispravljanja kralježnice kao bitan pokazatelj. Ovakvi razmjeri promjena vrijednosti slabinskog momenta su očita potvrda da stabilnost slabinske kralježnice može biti ugrožena ako su uvjeti podizanja tereta takvi da narušavaju ili čak onemogućavaju primjenu preporučene tehnike podizanja, pogotovo ako ona nije usvojena i uvježbana. Nadalje, Ispitanik 2 je bržim pokretom podigao teret, što se vidi iz većeg nagiba krivulje momenta, a to je još jedan od indikatora rizika ozljeđivanja (Marras i sur., 2009., Parkinson, Callaghan, 2009., Parkinson i sur., 2004.). Konačno, Ispitanik 2 je u krajnjem gornjem položaju tijela, kada se uspravio s teretom, ostvario oko 30 % veći iznos momenta, što je još jedan pokazatelj kako je dizanje gabaritnog tereta doista pod utjecajem antropometrije ispitanika, a o čemu treba voditi računa, jer podsjetimo se, podizao je praznu kutiju.

- **Faza V – držanje tereta u uspravnom stavu.** U ovoj fazi ispitanici drže teret u uspravnom stavu, što uvjetuje uočljive oscilacije slabinskog momenta, kako bi se stabilnost kralježnice održala, te u usporedbi s fazom I ne možemo govoriti o sigurnom stavu. Ako bi, uz uočene oscilacije momenta, ispitanici trebali teret prenositi ili premjestiti na neko drugo mjesto, tada bi i ova faza također bila rizična za pojavu ozljeda.

Konačno, oba ispitanika pokazala su slabosti u vještini i sposobnosti pri rukovanju gabaritnim teretom, što je dijelom uvjetovano uvjetima i opisom radnog zadatka, a drugim dijelom nevjешtim rukovanjem teretom.

Ovaj nalaz ima za posljedicu preporuku da se izrađeni protokol za analizu nestabilnosti sla-

binske kralježnice kao faktora rizika od pojave ozljeda primjenjuje za provjeru sposobnosti i vještina rukovanja teretima, te odabere one kojima se radni zadatak može povjeriti. Također, na ovaj način mogu se uočiti nedostaci u vještini rukovanja teretom, te se mogu uz uočene nedostatke i njihove posljedice korigirati i poboljšati vještine rukovanja teretima, kao i poduzeti prikladne mjere zaštite na radu.

## ZAKLJUČAK

Na osnovi provedene analize mogu se, iako je uzorak, odnosno broj ispitanika malen za donošenje pouzdanih i nedvojbenih zaključaka, istaknuti važna razmatranja i saznanja koji imaju značajnu ulogu u području ergonomije, zaštite na radu i općenito sigurnosti svih koji se susreću s rukovanjem teretima, posebno zato jer ukazuju na stvarna, teško uočljiva i predvidiva odstupanja u načinu na koji se takvi zadaci izvršavaju. Dakle, iako su poznate i dostupne preporuke i saznanja o ispravnim stavovima i položajima tijela za rukovanje teretima, njihova je primjena u stvarnim radnim uvjetima vrlo neizvjesna, a još važnije, iznimno je podcijenjena ljudska greška u obliku manjka sposobnosti ili potrebnih vještina i mogućnosti njihove primjene. Jednostavan radni zadatak koji je poslužio za provedbu analize i uočavanje pojave nestabilnosti slabinske kralježnice s praznom, glomaznom kutijom uzrokovao je značajna odstupanja od željene forme podizanja tereta, ukazujući na to da bez obzira tko izvodio radni zadatak, individualne osobine, vještine, sposobnosti i predispozicije ne smiju biti zanemarene. Dakle, možemo istaknuti sljedeće:

- utvrđivanje promjena, odnosno oscilacija stabilnosti slabinske kralježnice može poslužiti u svrhu analize kojom se mogu uočiti i otkloniti rizici od pojave ozljeda slabinske kralježnice;
- nestabilnost kralježnice, iskazana putem oscilacija slabinskog momenta, može biti prihvaćena kao faktor rizika od pojave ozljeda ukazujući na brojna odstupanja od željene forme podizanja i rukovanja tere-

tima, jer se zahvaljujući inverznoj dinamici kojom se utvrđuju promjene momenta u slabinskoj kralježnici, zapravo uočavaju neželjeni, ali uvjetovani pomaci segmenata kralježnice, obuhvaćajući sve utjecajne veličine;

- praćenjem promjena momenta slabinske kralježnice oko zgloba L5/S1 uočene su nagle i brze promjene iz savijanja u ispravljanje kralježnice i obrnuto, a uočena dinamika prilagodbi mehanizma slabinske kralježnice ukazuje na razinu potrebe da se aktivira sustav stabilnosti kralježnice, gdje izvana nametnute prilagodbe za obavljanje radnog zadatka očito utječu na pojavu slabih točaka u rasponu potrebnih kretnji za njegovo izvršenje kao ozbiljne prijetnje uvjetima sigurnosti na radu;
- utjecaj gabarita i uvjeta podizanja tereta, koji uzrokuju neprestane korekcije i prilagodbe položaja i stava ispitanika tijekom obavljanja radnog zadatka, značajno utječu na pojavu nestabilnosti slabinske kralježnice kao faktora rizika od pojave ozljeda;
- rizici ozljeđivanja su veći ako je sposobnost i vještina izvođenja zadanih pokreta upitna, u uvjetima asimetričnog i uz to još i naglog izvođenja kretnji te ako nastupi zamor u višestrukom ponavljanju izvršenja radnih operacija (*Parkinson i sur., 2004., Cholewicki, McGill, 1996.*), gdje svi pokazatelji nestabilnosti slabinske kralježnice mogu biti još izraženiji;
- iako sposobnosti pojedinca mogu biti više nego dostatne, nisu jamstvo sigurnosti, te se preporuča da se u obzir uzimaju vještine i uvjeti u kojima se radni zadatak obavlja.

Zaključno, vještina i sposobnost rukovanja gabaritim teretima, osobne antropometrijske značajke i uvjeti obavljanja srodnih radnih zadataka trebaju biti uzeti u obzir prilikom izbora za izvođenje radnog zadatka rukovanja teretima, provjereni na pouzdan način, a uočene slabosti otklonjene, pri čemu se može upotrijebiti primijenjeni protokol za biomehaničku analizu kao jedan od načina.

## ZAHVALA

Rad je dio provedenih istraživanja u sklopu projekta 120-1962766-3109 koji je financiralo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske.

## LITERATURA

Cholewicki, J., Juluru, K., McGill, S.M.: Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, 32, 1999., 1, 13-17.

Cholewicki, J., McGill, S.M.: Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain, *Clinical Biomechanics*, 11, 1996., 1, 1-15.

Cholewicki, J., Simons, A.P.D., Radebold, A.: Effects of external trunk loads on lumbar spine stability, *Journal of Biomechanics*, 33, 2000., 1377-1385.

Davis, K.G., Marras, W.S.: The effects of motion on trunk biomechanics, *Clinical Biomechanics*, 15, 2000., 703-717.

Gagnon, D., Arjmand, N., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A., Lariviere, C.: An improved multi-joint EMG-assisted optimization approach to estimate joint and muscle forces in a musculoskeletal model of the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, 44, 2011., 1521-1529.

Gardner-Morse, M.G., Stokes, I.A.F.: Trunk stiffness increases with steady-state effort, *Journal of Biomechanics*, 34, 2001., 457-463.

Gardner-Morse, M.G., Stokes, I.A.F.: Structural behavior of human lumbar spinal motion segments, *Journal of Biomechanics*, 37, 2004., 205-212.

Hodges, P.W., Eriksson, M.A.E., Shirley, D., Gandevia, S.C.: Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, 38, 2005., 1873-1880.

Izzo, R., Guarnieri, G., Guglielmi, G., Muto, M.: Biomechanics of the spine. Part I: Spinal stability, *European Journal of Radiology*, 82, 2013., 118-126.

Ledet, E.H., Tymeson, M.P., DiRisio, D.J., Cohen, B., Uhl, R.L.: Direct real-time measurement of in vivo forces in the lumbar spine, *The Spine Journal*, 5, 2005., 85–94.

Marras, W. S., Knapik, G. G., Ferguson, S.: Loading along the lumbar spine as influence by speed, control, load magnitude, and handle height during pushing, *Clinical Biomechanics*, 24, 2009., 155–163.

McGill, S.M., Grenier, S., Kavcic, N., Cholewicki, J.: Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13, 2003., 353–359.

Morl, F., Wagner, H., Blickhan, R.: Lumbar spine intersegmental motion analysis during lifting, *Pathophysiology*, 12, 2005., 295–302.

Parkinson, R.J., Callaghan, J. P.: The role of dynamic flexion in spine injury is altered by

increasing dynamic load magnitude, *Clinical Biomechanics*, 24, 2009., 148–154.

Parkinson, R.J., Beach, T.A.C., Callaghan, J.P.: The time-varying response of the in vivo lumbar spine to dynamic repetitive flexion, *Clinical Biomechanics*, 19, 2004., 330–336.

Rohlmann, A., Zander, T., Rao, M., Bergmann, G.: Realistic loading conditions for upper body bending, *Journal of Biomechanics*, 42, 2009., 884–890.

Stokes, I.A.F., Gardner-Morse, M.: Spinal stiffness increases with axial load: another stabilizing consequence of muscle action, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13, 2003., 397–402.

Wagner, H., Anders, Ch., Puta, Ch., Petrovitch, A., Morl, F., Schilling, N., Witte, H., Blickhan, R.: Musculoskeletal support of lumbar spine stability, *Pathophysiology*, 12, 2005., 257–265.



## **LUMBAR SPINE INSTABILITY AS RISK FACTOR IN LIFTING HEAVY WEIGHTS**

*SUMMARY: The focus of interest is on the manual lifting and handling of heavy weights. The paper aims to establish how to ascertain the existence of conditions that impair or threaten spinal health, thus representing a health hazard to workers. To maintain the required level of efficiency in lifting and handling weights and to prevent lumbar spine injuries at work, risk factors need to be reduced to a minimum.*

*In view of the fact that lumbar spine injuries most frequently occur during uncontrolled motions and may also be caused by insufficiently conditioned or/and activated back musculature, monitoring of the changes in the lumbar momentum has been recognised as an exceptionally important source of information. Biomechanical analysis relies on the protocol especially developed to monitor the changes in biomechanical values recorded for different body movements and postures. The results indicate that although in theory there is a proper method for carrying out of weight lifting tasks, the geometry of a weight and the position of its centre of gravity, the anthropometric parameters of the worker and his skills and capabilities all need to be examined prior to assigning a particular weight lifting task to a worker. Recognised also as a factor of paramount importance is that spine stability during lifting is greatly affected by all of the above parameters. Spine stability may be monitored primarily via changes in the lumbar momentum curve, but other indicators ought not to be excluded. Thus, in the event of spine instability during a weight lifting task, the risk of injury rises significantly even when other parameters affecting spinal load are of low intensity.*

**Key words:** lumbar spine stability, weight lifting, risk factors, lumbar spine momentum

*Original scientific paper*

*Received: 2014-03-17*

*Accepted: 2015-01-07*