

Zalika Klemenc - Ketiš¹

Biomehanika upogibnih obremenitev ledvenega dela hrbtenice²

Biomechanics of the Loading of Flexed Lumbar Spine

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: ledvena vretenca, biomehanika, breme dvigovanje, hrbtenica poškodbe

Vretenca, medvretenčne ploščice in vezi tvorijo močno, odporno in zelo elastično os telesa – hrbtenico. Njena zgradba je prilagojena statičnim in dinamičnim funkcijam. Študije kažejo, da so izvori kronične bolečine v križu najpogosteje medvretenčne ploščice, fasetni in križničnočrevnični sklepi. Silo, ki deluje na hrbtenico, lahko razstavimo na dva sestavna dela. Kompresijski del deluje pravokotno, strižni pa prečno na ploskev vretenca. Telo vretenca se s pomočjo medvretenčne ploščice upira večini kompresijske sile, fasetni sklepi pa se upirajo horizontalnim silam. Upogibanje ledvenega dela hrbtenice preprečujejo vezi loka vretenca in hrbtne mišice. Nenehno (statično) in ponavljajoče se (ciklično) ledveno upogibanje povzroča različno stopnjo poškodb ledvene hrbtenice. Ugotovili pa so, da pri upognjenem položaju ledvene hrbtenice pride do manjšega pritiska na fasetne sklepe, na zadajšnji del trdnega zunanjega prstana medvretenčne ploščice deluje manjša kompresijska sila, hkrati pa sta boljša prenos presnovkov in kompresijska moč hrbtenice. Tako naj bi rahlo upognjen položaj ledvene hrbtenice med sedenjem oziroma dvigovanjem bremen ščitil pred poškodbami hrbtenice.

ABSTRACT

KEY WORDS: lumbar vertebrae, biomechanics, weight lifting, spinal injuries

The vertebrae, along with intervertebral discs and ligaments are part of a strong, resistant and very elastic axis of the body – the spine. Its structure is adjusted to its static and dynamic functions. Previous studies have revealed the most common sites of chronic back pain: intervertebral discs, apophyseal joints and sacroiliacal joints. The force that acts upon the surface of the vertebrae and causing compression, and the second one acting directly onto the surface of the vertebrae and causing shear. The body of the vertebrae and the intervertebral discs together resist most of the compression force, while the apophyseal joints resist the horizontal forces. The ligaments of the vertebral arcs and spinal muscles prevent flexion of the lumbar spine. Continuous (static) and repetitive (cyclic) lumbar flexion are the causes of different degrees of spinal injuries. Researchers have established that the flexed position of the lumbar spine produces less pressure on the apophyseal joints, less compression on the posterior part of the annulus fibrosus, the diffusion of the metabolites into the intervertebral disc is better and the compressive power of the spine is stronger. Therefore, a slightly flexed position of the lumbar spine should protect against spinal injuries during sitting or weight lifting.

¹ Asist. Zalika Klemenc - Ketiš, dr. med., Naravno zdravilišče Topolšica, Topolšica 77, 3326 Topolšica.

² Delo je bilo opravljeno na Medicinski fakulteti Univerze v Mariboru v okviru podiplomskega doktorskega študija pri predmetu Biomehanske obremenitve križnega dela hrbtenice.

UVOD

Kronična bolečina v križu je pogosta in neprijetna težava, zaradi katere mnogo ljudi obišče zdravnika, in eden od najpogostejših vzrokov za odsotnost z dela (1, 2). Študije kažejo, da so izvori kronične bolečine v križu najpogosteje medvretenčne ploščice, fasetni in križničnočrevnični sklepi (2, 3). Obstaja veliko dokazov za povezanost med kronično bolečino v križu in poklici, kjer sta prisotni nenehna in/ali ponavljajoča se ledvena upoginjenost (4). Biomehanika nam omogoča meritve obremenitev hrbtenice, analizo njihovih porazdelitev, določitev mehanizmov poškodb in razvoj terapevtskih ukrepov (5).

FUNKCIONALNA ANATOMIJA LEDVENEGA DELA HRBTENICE

Sklepi in vezi ledvenega dela hrbtenice

Ledveno vretenca je sestavljeno iz telesa in loka (2). Dve ledveni vretenci sta med seboj povezani preko telesa, loka, sklepnih odrastkov, trnov in obstranskih odrastkov (6).

Zveze med telesi ledvenih vretenc

Telesa ledvenih vretenc so med seboj povezana z medvretenčnimi ploščicami in sprednjo ter zadnjo vezjo.

Medvretenčna ploščica (lat. *discus intervertebralis*) je bikonveksna ploščica, ki se nahaja med telesoma dveh sosednjih vretenc. Sestavljena je iz trdnega zunanjšega prstana – fibrozni anulus (lat. *annulus fibrosus*) in zdri-zastega notranjšega dela – pulpozno jedro (lat. *nucleus pulposus*). Fibrozni anulus je sestavljen iz fibroznih vlaken, ki se med seboj križajo in oblikujejo koncentrične kroge. Predstavlja močno vez med telesi vretenc in preprečuje prekomerne premike hrbtenice. Pulpozno jedro je sestavljeno iz zdri-zastega tkiva, ki vsebuje veliko vode. Je elastično, čvrsto in odporno. Nosi težo telesa in obremenitve, ki delujejo na vzdolžno os hrbtenice. Daje ji tudi elastičnost in blaži udarce ter pretrese, ki se nanjo prenašajo preko glave, saj obremenitve razprši na vse strani. Deluje kot

elastična krogla, na katero se vretenca naslanjajo in nagibajo v vse smeri.

Sprednja vez (lat. *ligamentum (lig.) longitudinale anterius*) se razteza na sprednji strani teles vretenc in medvretenčnih ploščic. Omejuje iztegovanje hrbtenice.

Zadnja vez (lat. *lig. longitudinale posterius*) se nahaja v hrbteničnem kanalu ob zadnjih delih vretenc in medvretenčnih ploščic. Prav tako omejuje upogibanje hrbtenice (6).

Zveze med loki ledvenih vretenc

Loke vretenc spajajo debele in močne vezi iz elastičnega tkiva, ki jim dajejo rumeno barvo; to so rumene vezi (lat. *ligg. flava*). Zaradi počasnejše rasti glede na hrbtenico so precej napete. Velik pomen imajo pri raztezanju hrbtenice. Prenašajo težo telesa z medvretenčnih ploščic navzdol na sklepne odrastke. Če hrbtenico upognemo, jo rumene vezi s pomočjo svoje elastičnosti vrnejo v prvotni položaj. Pri tem zadržijo svojo osnovno obliko in se ne izbočijo v hrbtenični kanal (6).

Zveze med sklepnimi odrastki ledvenih vretenc

Sklepni odrastki vretenc so med seboj spojeni preko drsnih sklepov (lat. *articulationes intervertebrales*) in so le malo gibljivi. Njihova oblika in položaj opredeljujeta smer in razpon gibanja hrbtenice. V ledvenem delu hrbtenice so postavljeni v sagitalni ravnini. Zgornje sklepne površine so usmerjene medialno, spodnje pa lateralno. Tako je obseg gibanja v ledvenem delu hrbtenice okoli prečne osi velik, saj se sklepni nastavki zgornjega vretenca lahko vrinejo med sklepne nastavke sosednjega spodnjega vretenca. Gibanje okoli sagitalne osi je manjšega obsega, vrtenje pa je zelo omejeno (6).

Zveze med trni ledvenih vretenc

Trni vretenc so med seboj povezani s pomočjo dveh vrst zvez: interspinalnih in supraspinalnih.

Interspinalna vez (lat. *lig. interspinale*) je fibrozni snop, ki vsebuje tudi nekaj elastičnih vlaken in se razteza od spodnjega roba zgornjega trna do zgornjega roba sosednjega

spodnjega trna. Njeni snopi tvorijo pentlje, ki so usmerjene naprej, kar omogoča razširitev trnov pri upogibanju. Najmočnejše so v ledvenem delu.

Supraspinalna vez (lat. *lig. supraspinale*) je snop večinoma fibroznih vlaken, ki se kot trak razteza vzdolž celotne hrbtenice in povezuje vrhove trnov. Najmočnejša je v ledvenem predelu (6).

Zveze med obstranskimi odrastki ledvenih vretenc

Obstranske odrastke vretenc spajajo intertransverzalne vezi (lat. *ligg. intertransversarii*). To so fibrozni snopi, ki so v ledvenem delu slabše razviti (6).

Zveze med petim ledvenim vretencem in križnico

Baza križnice je povezana s petim ledvenim vretencem na enak način kakor ledvena vretenca. Medvretenčna ploščica v tem delu ima obliko klina in je spredaj višja kot zadaj. Zato trup petega ledvenega vretenca in križnice pri vzravnem položaju telesa tvorita topi kot (lat. *promontorium*). Kot promontorija ima pomembno vlogo v biomehaniki. Pri odraslih meri od 117° do 140° (6).

Mišice ledvenega dela hrbtenice

Hrbtne mišice (lat. *musculi (mm.) dorsi*) delimo v povrhnjo in globoko plast. Trupu in hrbtenici je namenjena globoka plast, ki se deli na dve skupini (dolge in kratke hrbtne mišice). Globoke hrbtne mišice pričvrstijo hrbtenico na medenico kakor močan elastičen trak. Z medsebojno usklajenimi krčenji omogočajo stabilnost in položaj hrbtenice pri različnih gibih oziroma položajih telesa. S svojo napetostjo nevtralizirajo delovanje zunanjih sil, bremen in sile teže pa tudi delovanje mišic sprednjega dela trupa (7).

M. erector spinae

Je najdaljša in najmočnejša skupina hrbtnih mišic. Nahaja se v koščeni brazdi hrbtenice in med listoma hrbtne mišične ovojnice vzdolž celega hrbta. V ledvenem predelu se deli na *m. iliocostalis* in *m. longissimus*. Njihovo delo-

vanje je zapleteno. Obojestransko skrčene močno iztegnejo hrbtenico in tako vzdržujejo ravnotežje. Njihovo enostransko skrčenje nagiba hrbtenico vstran in jo zavrti na svojo stran. Njihova napetost je pomembna pri vsakem premiku telesa (7).

M. transversospinalis

Nahaja se med trni in obstranskimi odrastki vretenc. Poteka vzdolž celotne hrbtenice. V ledvenem delu je sestavljen iz:

- *m. multifidus* in
- *mm. rotatores lumborum*.

Z obojestranskim skrčenjem iztegne hrbtenico in glavo. Enostransko skrčenje nagne hrbtenico in glavo na svojo in ju zavrti na nasprotno stran (7).

Mm. interspinales lumborum

To so kratke parne mišice, ki povezujejo trne vretenc. Sodelujejo pri nagibanju hrbtenice vstran (7).

Mm. intertransversarii

To so kratke parne mišice, ki povezujejo obstranske odrastke vretenc med seboj. V ledvenem delu hrbtenice jih delimo v *mm. intertransversarii mediales lumborum* in *mm. intertransversarii lateralis lumborum*. Sodelujejo pri nagibanju hrbtenice vstran (7).

BIOMEHANIKA HRBTENICE

Vretenca, medvretenčne ploščice in vezi tvorijo močno, odporno in zelo elastično os telesa – hrbtenico. Njena zgradba je prilagojena statičnim in dinamičnim funkcijam (6).

Statika hrbtenice

Pri vzravnani drži telesa je hrbtenica pod neprestanim delovanjem sile teže, kar privlači telesa vretenc enega k drugemu. Tako je hrbtenica čvrsta in močna ter zmožna nositi težo glave, zgornjih udov in trupa. Delovanju sile teže in teži telesa se upirajo rumene vezi in medvretenčne ploščice. Rumene vezi so nepretrgoma zategnjene med loki sosednjih vretenc in jih medsebojno privlačijo. Tako težijo k njihovi čim manjši

razmaknitvi, medvretenčne ploščice pa jim pri tem pomagajo. Pulpozno jedro je aktivni del medvretenčne ploščice, ki z enakomerno silo razmika telesa vretenc, fibrozni anulus pa omogoča čvrstost povezav med vretenci in preprečuje njihovo prekomerno premikanje (6).

Dinamika hrbtenice

Gibanja med samimi vretenci so zelo majhna. Vendar pa je gibljivost hrbtenice kot celote precej velika, saj se obnaša kot kroglast sklep (sklep s tremi ali več osmi gibanja). Osi gibanja vedno potekajo tako, da hrbtenjača leži v nevtralnem področju in nanjo gibi praktično ne vplivajo (6).

Dinamika ledvenega dela hrbtenice

Ledveni del je drugi najbolj gibljiv del hrbtenice. Mogoči so upogibanje, iztegovanje, nagibanje vstran in zelo majhno vrtenje okrog osi. Posebnost je peto ledveno vretenca, kjer je zaradi prečne usmerjenosti sklepnih površin in debele medvretenčne ploščice mogoče izvajati obsežne gibe v vseh smereh (6).

V vsakem ledvenem intersegmentalnem nivoju dve sosednji vretenci, medvretenčna ploščica in fasetni sklepi tvorijo ledveni gibalni segment hrbtenice. Silo, ki deluje na hrbtenico, lahko razstavimo na dva sestavna dela. Kompresijski del deluje pravokotno, strižni pa prečno na ploskev vretenca (8).

Telo vretenca se s pomočjo medvretenčne ploščice upira večini kompresijske sile, fasetni sklepi pa se upirajo horizontalnim silam, ki delujejo na hrbtenico. V položaju ukrivljenosti hrbtenice v trebušni smeri (lat. *lordosis*) se loki vretenc upirajo več kot polovici kompresijske sile, ki deluje na hrbtenico, in tako varujejo medvretenčne ploščice pred prekomernim zasukom ter raztrganjem (2).

Težišče človeškega telesa v vzravnani drži (stopali sta skupaj, roki ob telesu) je v medeniči. V upognjenem položaju ledvene hrbtenice (če se nagnemo naprej, da bi pobrali predmet s tal) se težišče pomakne v točko, ki ni več v telesu, ampak pred njim (9).

Poskusi na truplih so pokazali, kako lahko različne vrste mehanskih obremenitev povzročijo značilne poškodbe tkiva hrbtenice. Ti

mehanizmi so: kompresija, upogib, vrtenje okoli navpične osi in skupni učinek kompresije ter upogiba (2). V nadaljevanju članka je opisan vpliv upogibnega mehanizma obremenitev na ledveni del hrbtenice.

VPLIV UPOGIBNIH OBREMNITEV NA LEDVENI DEL HRBTENICE

Ločimo nenehno (statično) in ponavljajočo se (ciklično) ledveno upogibanje, ki povzročata različno stopnjo poškodb ledvene hrbtenice (4).

Z upogibanjem ledvene hrbtenice v sagitalni ravnini se poveča aktivnost erektorjev trupa, spinalnih in rotatornih mišic, medtem ko transverzospinalne vezi delujejo kot dinamične vezi in skupaj z multifidusi stabilizirajo kostne strukture. Mišična aktivnost preneha pri nagibu nad 90°. Trup takrat obvisi na vezeh (10). Po principu nepretrgane koordinacije gibi, ki zahtevajo nastanek velikih sil, izkoristijo hkratne premike segmentov. Oseba, ki dviguje težko breme, istočasno iztegne kolka, kolena in zapestji (11). V sklonjenem položaju se poveča težnostni navor telesa, ker se poveča ročica težišča telesnih mas nad kolčno osjo. Ob nespremenjeni ročici mišičnega navora se mora povečati sila zadajšnjih erektorjev, da bi se obdržalo ravnotežje. Prvih 27° upogiba se dogaja v ledveni hrbtenici, pri večjem upogibu pa ena tretjina v hrbtenici in dve tretjini v kolkih. Ko dvigamo breme, zavrtimo kolke in ledvenokrižnične segmente hrbtenice, pri čemer se kolena lahko upogneta ali pa ostaneta iztegnjena. Na ta način nastanejo trije položaji:

- hrbtni tip dviganja (kolena sta iztegnjena, kolka in ledvenokrižnična hrbtenica pa upognjena),
- kolenski tip dviganja (kolena in kolka so upognjena, ledvenokrižnična hrbtenica pa je vzravnana),
- hrbtno-kolenski tip dviganja (kolena, kolka in ledvenokrižnična hrbtenica so upognjena).

Med dviganjem bremena oziroma med sklonjenim položajem hrbtenico utrdi tudi tlak znotraj trebuha. Učinkovitost tega mehaniz-

ma je odvisna od moči mišic trebušne stene (10).

Upogibu ledvenega dela hrbtenice se upirajo vezi loka vretenca (2). Pri polnem upogibu nudijo ovojnične vezi in medvretenčna ploščica veliko več upora kot rumene vezi in supraspinozne ter interspinozne vezi. Ugotovili so, da je medvretenčni sklep dovolj močan, da se upira približno polovici upogibne sile, ko je telo v polnem upogibu (12). Upogib ledvene hrbtenice preprečujejo tudi hrbtnne mišice, vendar se njihov zaščitni učinek lahko izgubi, še posebej takrat, ko gre za nenehen in/ali ponavljajoč se upogib (2, 4).

Kljub temu, da poznamo vzročno povezavo med dvigovanjem bremen in poškodbami hrbtenice, še vedno ni jasno, ali naj pri tem ledveno lordozo ohranimo ali pa jo nekoliko upognemo (13). Ugotovili so, da je tlak v medvretenčni ploščici pri dviganju bremena od 45° do vzravnane drže enak pri dviganju po hrbtnem in po kolenskem tipu (10). V primerjavi z ukrivljenostjo ledvene hrbtenice navzad (lat. *kifosis*) lordoza z zmanjšanjem pasivnih mišičnih sil in segmentalnih upogibnih momentov poveča medenično vrtenje, aktivni del sile mišic iztegovalk, navpično uravnoveženost segmentov, strižne sile na nivoju L5/S1 in mejo stabilnosti hrbtenice (13). Raziskave so pokazale tudi, da se degeneracija medvretenčne ploščice manjkrat pojavi pri tistih ljudeh, ki imajo med sedenjem ledveno lordozo nekoliko upognjeno (14).

V nadaljevanju je podrobneje opisan vpliv upogibnih obremenitev na posamezne segmente ledvene hrbtenice.

Vpliv upogibnih obremenitev na gibalni segment ledvenega dela hrbtenice

Vpliv večjih obremenitev (8000–9000 N) so proučevali pri poskusih na truplih. Ugotovili so, da je izid v veliki meri odvisen od drže telesa. Če je gibalni segment obremenjen v vzravnem položaju hrbtenice, lahko pride do poškodbe telesa vretenca. Če je obremenjen v rahlo upognjenem položaju, do poškodbe ne bi smelo priti. Če pa je obremenjen v čezmerno upognjenem položaju, pri čemer pride do prevelikega raztezanja zadajšnjih medvretenčnih vezi, pa lahko pride do zloma srednjega dela telesa vretenca ali do zadajš-

njega zdrsa medvretenčne ploščice. Aktivnosti, kot so kopanje ali ponavljajoče se dvigovanje težkih bremen, lahko povzročijo poškodbo gibalnega segmenta, ki je odvisna tudi od drže telesa. Tako pride pri iztegnjenem položaju gibalnega segmenta do poškodbe telesa vretenca. Če pa je gibalni segment med obremenitvijo upognjen, pride do poškodb fibroznega anulusa, kar lahko vodi v nastanek radialnih razpok na medvretenčni ploščici (14).

Vpliv upogibnih obremenitev na hrbtnične vezi in mišičje

Raziskave so pokazale, da daljše obremenitve ledvene hrbtenice s statičnim in/ali cikličnim upogibanjem povzročajo postopno, vendar trajno deformacijo viskozno-elastičnih ledvenih tkiv in krč paraspinalnega mišičja (4), kar vodi v ohlapnost medvretenčnega sklepa (15–17) in postopno zmanjšanje občutljivosti vezi, ovojníc ter medvretenčnih ploščic. Ugotovili so tudi, da statični ledveni upogib povzroča hitrejšo deformacijo viskozno-elastičnih tkiv kot ciklični ledveni upogib (4). Ob preseženih fizioloških mejah upogiba so najprej prizadete supraspinozne in interspinozne vezi. Sledi jim raztrganje vezi ovojníc fasetnih sklepov. Skrajni prekomerni upogib pa lahko raztrga zadajšnji del fibroznega anulusa (2).

Raziskava, kjer so ugotavljali vpliv ponavljajočih se obremenitev ledvene hrbtenice s statičnim upogibanjem, je pokazala, da po vsakokratnem desetminutnem statičnem upogibu, ki mu je sledil desetminutni odmor, ne pride do popolne obnovitve med obremenitvijo nastalih deformacij. To vodi v obsežne poškodbe vezi viskozno-elastičnih tkiv ledvene hrbtenice (18). Podobna raziskava, kjer so s cikličnim pasivnim upogibom ledvene hrbtenice obremenili hrbtnico kadavra mačke, je pokazala, da desetminutni odmor po petdesetminutni obremenitvi za le 20 do 25 odstotkov normalizira elektromiografsko aktivnost, kar pa se izniči že v prvi minuti ponovne obremenitve (19). Popolna povrnitev funkcije vezi in mišic ni mogoča tudi po dobi počitka, ki je dvakrat daljša od dobe obremenitve, kar lahko povzroča povečano tveganje za razvoj nestabilnosti in poškodbe hrbtnice ter pojav bolečine (20).

Vpliv upogibnih obremenitev na fasetne sklepe

Fasetni sklepi stabilizirajo hrbtenico in ščitijo medvretenčne ploščice pred prekomernim upogibanjem (12) in vrtenjem okoli navpične osi (21). V odvisnosti od drže telesa pa sodelujejo tudi pri upiranju strižnim in kompresijskim silam.

Ovojnica fasetnega sklepa je oživčena z receptorji za bolečinske in mehanske dražljaje (22). Slednji se aktivirajo, če se ovojnica raztegne ali je izpostavljena lokaliziranim kompresijskim silam. Fasetni sklep je torej visoko oživčena struktura, ki je izpostavljena obremenitvam in natezanju. Posledična poškodba tkiva ali vnetje verjetno povzročita sproščanje kemičnih dražljivcev, kar povzroča bolečino v križu (23). Predvideva se, da lahko od 15 do 40 odstotkov bolečine v križu pripišemo fasetnim sklepom (24). Kapsula fasetnega sklepa je sestavljena iz elastičnih in kolagenskih vlaken. Pri mehanskih obremenitvah se obnaša viskozno-elastično (razmerje med obremenitvijo in raztezanjem je nelinearno viskozno-elastično) in anizotropno (podobno kot kita, vez ali koža). Največjo moč ima, če jo raztegujemo vzporedno glede na potek kolagenskih vlaken. Na začetku raztegovanja je glavni nosilec obremenitve elastiin, bolj ko pa se kapsula razteguje, več bremena prevzemajo kolagenska vlakna (25).

Pri vzravnani drži telesa se fasetni sklepi upirajo večini strižne (26) in okoli 16 odstotkom kompresijske sile (12). Pritisk, ki tako nastane med sklepnimi površinami, je zgoščen na spodnjih robovih sklepa (8). Če je medvretenčna ploščica neobičajno ozka in degenerirana, se lahko fasetni sklepi postavijo tesno v apozicijo in se upirajo skoraj 70 odstotkom kompresijske sile. V teh primerih najdemo na njih velike osteoartritične spremembe (27, 28). Predvideva se, da katera koli sprememba v lastnostih medvretenčne ploščice, ki nastane zaradi spremembe delovanja sil, vedno vpliva na fasetni sklep. Pri oženju medvretenčne ploščice, ki je pogosto, pride do povečane obremenitve fasetnega sklepa, kar lahko vodi do pojava bolečine. Pri sklonjeni drži telesa se fasetni sklepi upirajo le strižnim silam, pritisk med sklepnimi površinami pa je nižji in zbran v srednjih ter zgornjih delih sklepa (8). Tako se zmanjša pri-

tisk na fasetne sklepe in na zadajšnji anulus (28). Med statičnimi in cikličnimi upogibnimi obremenitvami ledvene hrbtenice pride do ohlapnosti fasetnega sklepa, kar lahko povzroči krč multifidusa. Ob njegovem dolgotrajnem spazmu se lahko pojavi bolečina v križu (4).

Vpliv upogibnih obremenitev na medvretenčno ploščico

Medvretenčna ploščica in telesa vretenc so najpomembnejši nosilci obremenitev ledvene hrbtenice. Drža vpliva na način upiranja obremenitvam, nima pa večjega vpliva na obseg teh obremenitev. Pri vzravnani drži se zrela medvretenčna ploščica (ki je tudi že do neke mere degenerirana) obnaša tako, da se največja kompresijska obremenitev (ki deluje pravokotno na medvretenčno ploščico) prenaša preko zadajšnjega dela anulusa (ki je začetno mesto degeneracije), najmanjša pa preko njegovega sprednjega dela. Pri upognjenem položaju hrbtenice pa se največja kompresijska obremenitev prenaša preko sprednjega dela anulusa in najmanjša preko njegovega zadajšnjega dela. Ob rahlem upogibu ledvene hrbtenice (npr. pri sproščenem sedenju ali stoju) je pritisk na pulpozno jedro za polovico večji pri upognjeni kot pri vzravnani drži telesa, hrbtenica v upognjeni drži pa prenaša večje obremenitve. Vzrok za to je v nelinearnem elastičnem obnašanju pulpoznega jedra, saj med kompresijo in upogibom večino sile nosi sprednji anulus, ki postane tog in na ta način preprečuje prelom šibkega osrednjega dela. Če obremenimo ledveno hrbtenico v vzravnani drži, do tega mehanizma ne pride in posledično je hrbtenica šibkejša (14).

Navpična kompresija poveča pritisk in natezanje vlaken v medvretenčni ploščici ter obremenitev fasetnih sklepov. Rahel upogib ledvene hrbtenice med kompresijo zmanjša natezanje vlaken v medvretenčni ploščici in ravnotežne momente, na napetost v medvretenčni ploščici in sile v vezeh pa ne vpliva. Tako so potrebne manjše sile v lokalnih ledvenih mišicah (29).

Več raziskav je pokazalo, da obstaja povezava med zdrsom medvretenčne ploščice in poklicem. Predvsem je ta povezava jasna pri dvigovanju bremen, ki so težja od 11,3 kg, vsaj 25-krat na dan (30, 31). Da do zdrsa medvre-

tenčne ploščice pride med enim samim ciklusom dvigovanja, morata teža bremena ali upogib ledvene hrbtenice presežati normalne vrednosti. Ponavljajoče se obremenitve ledvene hrbtenice s sklanjanjem ali z dvigovanjem težkih bremen pa lahko povzročijo razširitev radialnih razpok v zadajšnji del medvretenčne ploščice, kar vodi v postopen izpad pulpoznega jedra (2). Podobno je pokazal poskus, pri katerem so močno obremenili enainštirideset popolnoma upognjenih kladarskih ledvenih medvretenčnih sklepov in jih po končanem testiranju pregledali. Pri trindvajsetih je prišlo do poškodb platic (lat. *lamella*) fibroznega anulusa, pri nekaterih od teh pa tudi do popolnih radialnih razpok zadajšnjega anulusa (32). Več kot petdeset let je veljalo, da lahko pride do zdrsa medvretenčne ploščice le pri starostno degeneriranih ploščicah. Sedaj pa vemo, da lahko degeneracija nastane tudi kot posledica poškodbe (dolgotrajne upogibne obremenitve), ki postopno vodi do nezadostne presnove in posledično do degeneracije.

Medvretenčna ploščica je največja neožiljena struktura v telesu. Prehranjuje se s pomočjo pretoka tekočine in difuzije. Na oba načina prehrane pa vpliva drža hrbtenice. Pretok tekočine nastane zaradi razlik v pritisku v medvretenčni ploščici. Visok pritisk povzroča izhajanje tekočine iz nje, nizek pritisk (npr. med ležanjem) pa omogoča vnos tekočine. Upognjen položaj poveča izmenjavo tekočine, ker povzroči njeno večje iztekanje kot med vzravnanim položajem (33). Ta vpliv je še posebej viden v pulpoznem jedru (14). Raziskava na truplih je pokazala, da upognjen položaj ledvene hrbtenice med sedenjem poveča difuzijo presnovkov v zadajšnji fibrozni anulus in tako popravi porušeno ravnotežje, ki je nastalo med vzravnano držo. Tako lahko s precejšnjo gotovostjo trdimo, da je prehrana medvretenčne ploščice v upognjenem položaju ledvene hrbtenice večja kot v vzravnani drži (33). Ker pa je nezadosten prenos

presnovkov povezan z degeneracijo medvretenčne plošče (28, 34), ne presenečajo podatki o nižji pojavnosti boleznih ledvene medvretenčne ploščice pri populaciji, ki sedi v rahlo upognjenem položaju (35).

Dolgotrajno sedenje v katerem koli položaju pospešuje degenerativne spremembe hrbtenice. Sprememba položaja iz sedečega v ležeči ali stoječi ali pa v hojo zagotavlja pretok tekočine in difuzijo v medvretenčno ploščico in iz nje ter tako preprečuje degenerativne spremembe medvretenčnih ploščic in posledično drugih delov hrbtenice. Najugodnejše je, če položaj spremenimo vsakih 30 minut. Če pa že sedimo, naj bo ledvena hrbtenica upognjena.

ZAKLJUČEK

Prednosti upognjenega položaja ledvene hrbtenice so v manjšem pritisku na fasetne sklepe, manjši pritiski sili na zadajšnji del anulusa, boljšem prenosu presnovkov in s tem v večji kompresijski moči hrbtenice. Slabosti upognjenega položaja ledvene hrbtenice pa so v večji pritiski sili na sprednji anulus in v večjem hidrostatičnem pritisku na pulpozno jedro pri nizkih obremenitvah (14). Tako je z vidika biomehanike bolje, da je ledvena hrbtenica pri sedenju, sklanjanju in dvigovanju bremen rahlo upognjena.

V zadnjih 35 letih je bil na področju razumevanja biomehanike ledvene hrbtenice narejen velik napredek (23). Obstajajo računalniški modeli (angl. *finite element models – FEM*), s pomočjo katerih lahko učinkovito preučujemo ledveno hrbtenico in tiste njene elemente, ki vplivajo na pojav bolečine v križu. Ti modeli so uporabni v napovedovanju reakcije hrbtenice in njenih oživčenih struktur na različne vzorce obremenitve (25). Obstaja pa še veliko neznank, ki jih bo treba razjasniti, saj bo le na ta način mogoče delavcem omogočiti varno okolje za njihovo hrbtenico.

LITERATURA

1. Zupanc U, Burger H. Učinkovitost fizikalnega zdravljenja in pomen aktivnosti pri bolnikih z nespecifično bolečino v križu. *Rehabilitacija* 2002; 3-4: 43-53.
2. Adams MA. Biomechanics of back pain. *Acupunct Med* 2004; 22 (4): 178-88.
3. Young S, Aprill C, Laslett M. Correlation of clinical examination characteristics with three sources of chronic low back pain. *Spine J* 2003; 3 (6): 460-5.

4. Little JS, Khalsa PS. Human lumbar spine creep during cyclic and static flexion: creep rate, biomechanics, and facet joint capsule strain. *Ann Biomed Eng* 2005; 33 (3): 391-401.
5. Adams MA, Dolan P. Spine biomechanics. *Biomech* 2005; 38 (10): 1972-83.
6. Keros P. Nauka o spojevima kostiju. In: Krmpotić-Nemanić J, ed. *Funkcionalna anatomija lokomotornog sustava*. Zagreb: Medicinska naklada, 1974: 101-12.
7. Keros P. Nauka o mišićima. In: Krmpotić-Nemanić J, ed. *Funkcionalna anatomija lokomotornog sustava*. Zagreb: Medicinska naklada, 1974: 197-205.
8. Dunlop RB, Adams MA, Hutton WC. Disc space narrowing and the lumbar facet joints. *J Bone Joint Surg Br* 1984; 66 (5): 706-10.
9. Williams M, Lissner H. *Biomechanics of human motion*. Philadelphia: Saunders, 1962.
10. Sušnik J. *Ergonomska fiziologija*. Radovljica: Didakta, 1992.
11. Knudson D. *Fundamentals of biomechanics*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003.
12. Adams MA, Hutton WC, Stott JR. The resistance to flexion of the lumbar intervertebral joint. *Spine* 1980; 5 (3): 245-53.
13. Arjmand N, Shirazi-Adl A. Biomechanics of changes in lumbar posture in static lifting. *Spine* 2005; 30 (23): 2637-48.
14. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Br* 1985; 67 (4): 625-9.
15. Claude LN, Solomonow M, Zhou BH, et al. Neuromuscular dysfunction elicited by cyclic lumbar flexion. *Muscle Nerve* 2003; 27 (3): 348-58.
16. Lu D, Solomonow M, Zhou B, et al. Frequency-dependent changes in neuromuscular responses to cyclic lumbar flexion. *J Biomech* 2004; 37 (6): 845-55.
17. Williams M, Solomonow M, Zhou BH, et al. Multifidus spasm elicited by prolonged lumbar flexion. *Spine* 2000; 25 (22): 2916-24.
18. Solomonow M, Zhou BH, Baratta RV, et al. Biomechanics and electromyography of a cumulative lumbar disorder: response to static flexion. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2003; 18 (10): 890-8.
19. Solomonow M, Zhou BH, Baratta RV, et al. Biomechanics of increased exposure to lumbar injury caused by cyclic loading: Part 1. Loss of reflexive muscular stabilization. *Spine* 1999; 24 (23): 2426-34.
20. Gedalia U, Solomonow M, Zhou BH, et al. Biomechanics of increased exposure to lumbar injury caused by cyclic loading: Part 2. Recovery of reflexive muscular stability with rest. *Spine* 1999; 24 (23): 2461-7.
21. Adams MA, Hutton WC. The relevance of torsion to the mechanical derangement of the lumbar spine. *Spine* 1981; 6 (3): 241-8.
22. Ianuzzi A, Little JS, Chiu JB, et al. Human lumbar facet joint capsule strains: I. During physiological motions. *Spine J* 2004; 4 (2): 141-52.
23. Cavanaugh JM, Ozaktav AC, Yamashita HT, et al. Lumbar facet pain: biomechanics, neuroanatomy and neurophysiology. *J Biomech* 1996; 29 (9): 1117-29.
24. Dreyer SJ, Dreyfuss PH. Low back pain and the zygapophysial (facet) joints. *Arch Phys Med Rehabil* 1996; 77 (3): 290-300.
25. Little JS, Khalsa PS. Material properties of the human lumbar facet joint capsule. *J Biomech Eng* 2005; 127 (1): 15-24.
26. Hutton WC, Stott JRR, Cyron BM. Is spondylolysis a fatigue fracture? *Spine* 1977; 2: 202-9.
27. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br* 1980; 62 (3): 358-62.
28. Setton LA, Chen J. Mechanobiology of the intervertebral disc and relevance to disc degeneration. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: Suppl 2: 52-7.
29. Shirazi-Adl A, Parnianpour M. Effect of changes in lordosis on mechanics of the lumbar spine-lumbar curvature in lifting. *J Spinal Disord* 1999; 12 (5): 436-47.
30. Seidler A, Bolm-Audorff U, Siol T, et al. Occupational risk factors for symptomatic lumbar disc herniation; a case-control study. *Occup Environ Med* 2003; 60 (11): 821-30.
31. Kelsey JL, Githens PB, White AA 3rd, et al. An epidemiologic study of lifting and twisting on the job and risk for acute prolapsed lumbar intervertebral disc. *J Orthop Res* 1984; 2 (1): 61-6.
32. Adams MA, Hutton WC. The effect of fatigue on the lumbar intervertebral disc. *J Bone Joint Surg Br* 1983; 65 (2): 199-203.
33. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the fluid content of the lumbar intervertebral discs. *Spine* 1983; 8 (6): 665-71.
34. Holm S, Nachemson A. Nutritional changes in the canine intervertebral disc after spinal fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1982; (169): 243-58.
35. Fahni WH, Trueman GE. Comparative radiological study of the spines of a primitive population with North Americans and Northern Europeans. *J Bone Joint Surg Br* 1965; 47: 552-5.