

ENTROPIJA I GRAVITACIONA SILA U SISTEMU KIČMENOG STUBA

Aleksandar Dejanović¹, Bojana Petrovački², Franja Fratrić³,
Kosta Goranović⁴

¹ DUNP, Departman za Biomedicinske nauke, Novi Pazar

² IZZZDOV Novi Sad, Klinika za rehabilitaciju i rehabilitaciju, Novi Sad, Srbija

³ EDUCONS Univerzitet, Sremska Kamenica, Novi Sad

⁴ FSFV, Nikšić, Crna Gora

Apstrakt

Razvoj kičmenog stuba podleže istim zakonima koji su uticali na razvoj Vaseljene. Radi sticanja drugačijeg ugla tj., pogleda kroz kliničku prizmu, smatramo da je potrebno izaći izvan svakodnevnih okvira našeg šablonskih razmišljanja. Promene na makro sistemima su reflektujuće reakcije različitih procesa na mikro sistemima. Da bi imali tu moć promene posmatranja ugla neophodno je izvesti „mentalni kvantni skok“ iz jednog mentalnog prostora u drugi. Ovaj rad predstavlja hipotetski i sasvim drugačiji pogled na već do sada poznate procese koji se odvijaju u sistemu kičme a posledično su uslovljeni silama različitog porekla i magnitude.

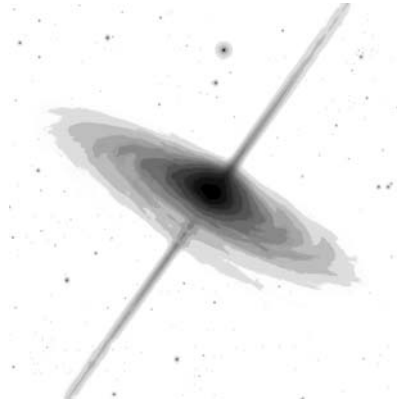
Ključne reči: kičmeni stub / makro sistem / mikro sistem / gravitaciona sila

Uvod

Entropija (grč. *έντροπή*, „obrt ka unutra“), uveo Rudolf Julijus Emanuel Klauzijus 1865; veličina stanja koja se može posmatrati kao mera za „vezanu“ energiju nekog zatvorenog materijalnog sistema, tj. za energiju koja se, nasuprot „slobodnoj“, više ne može pretvoriti u rad. Suprotni pojam je ektropija. Od Bolcmana (*Predavanja o principima mehanike*, 1897. do 1904) entropijom se u smislu „kinetičke teorije gasova“ označava toplotni sadržaj nekog sistema kao energija kretanja njegovih molekula.

Entropija je težnja sistema da spontano pređe u stanje veće neuređenosti, dakle, entropija je merilo neuređenosti sistema. Najveća uređenost sistema je temperatura apsolutna nula. Pošto ona ne može da se postigne, prema Trećem principu termodinamike (Nernstova teorema) uzima se da entropija asimptotski teži nuli kada temperatura sistema prilazi apsolutnoj nuli. Svi spontani procesi (razvoj organizma u celosti) se odigravaju u smeru porasta entropije.

Uloga entropije i gravitacione sile u spinalnom sistemu



Slika 1. Gravitaciono dejstvo crne rupe i spiralni vir pomoću kojeg usisava svemirska tela

Prema drugom zakonu termodinamike, entropija zatvorenog sistema može samo rasti do maksimuma ili ostati konstantna. To znači da sistem postaje 'neuređeniji' s protokom vremena i sve manje koristan i stabilan s obzirom na izvlačenje korisnog rada iz sistema, tj. na pravilnost funkcionisanja kičmenog stuba u celosti.

Entropija (E_{nt}) kao mera tj. količina neuređenosti sistema, se može shodno gore navedenim razmatranjima posmatrati kao težnja tela ili sistema da se razvija i prelazi u novo više stanje neuređenosti. Bez nje svakako da nema ni razvoja, niti formiranja života, planeta, galaksija, pa ni spinalnog sistema tj. kičmenog stuba. S druge strane, ako se spinalni sistem razvija bez kontrole odnosno, ako se entropija veoma brzo odvija (nekontrolisani proces pri čemu je $G_f \ll E_{nt}$), tada sasvim izvesna mogućnost da će se formirati spinalni sistem sa poremećajima i deformitetima. Faktor koji u najvećoj mери kontroliše entropiju, je **gravitaciona sila** (G_f). Bez njenog dejstva, entropija bi u potpunosti „uništila“ svaku strukturu, ali i obrnuto.

Stoga možemo pretpostaviti, da su osnovni spinalni poremećaji: kifoza, lordoza i skolioza, svojevrsni oblici nekontrolisane entropije.

Da preciziramo, kifoza i lordoza su entropije u sagitalnoj ili 2D ravni, dok je skolioza neuređeni sistem u 3D ravni i predstavlja jedan od najtežih oblika spinalnih deformiteta tj., specifičnog oblika entropije. Skolioze se u gruboj podeli dele na funkcionalne i strukturalne tipove. Shodno toj podeli i entropije možemo slično klasifikovati. Funkcionalne skolioze su spinalni sistemi manje neuređenosti, a strukturalne skolioze predstavljaju entropije visokog stepena.

Normalan razvoj čovekovog organizma a samim tim i kičmenog stuba, je proces usklađivanja međusobnog dejstva (ravnoteže) gravitacione sile i entropije. U principu, normalan rast i razvoj spinalnog sistema tj. njegovu težnju za razvojem, „kontrolise“ gravitaciona sila koja po svojoj prirodi teži da sve čestice „uvuče“ u centar strukture i time kontroliše nivo „ne – uređenosti“ sistema.

Bez suprotstavljene sile, gravitacija bi brzo sažela koštanu masu npr. pršljensko telo u „crnu rupu“ malog prečnika. U tom kontekstu, pojavu hemivertebre možemo posmatrati kao proizvod dejstva jake gravitacione sile koju entropija nije mogla da savlada u potpunosti. Ovakav deformitet predstavlja neravnotežu između gravitacione sile i entropije u korist prve.

Međutim, kod normalnog razvoja pršljenkog tela, pritisak koji deluje ka spolja i potire gravitacionu silu, sprečava kolaps i tako održava telo u normalnim morfo-funkcionalnim uslovima.

Pritisak koji „spasava“ pršljensko telo od sopstvenog kolapsa, vodi poreklo od entropije osteogeneričkih sila i procesa¹, koje se odvijaju unutar ove strukture uzrokujući kretanje čestica unutar jezgra tela sa tendencijom udaljavanja od centra (sa minimalni nivoom entropije), održavajući navedenu strukturu u ravnoteži.

Ove reakcije proizvode energiju potrebnu za rast entropije kao i energiju za savladavanje gravitacione sile. Rast i razvoj pršljenkog tela zahteva veliku količinu energije kako bi se suprotstavile gravitacionoj sili i omogućile nesmetan razvoj navedenoj strukturi. Pored ove, sile drugog porekla (kompresione, torzione, smicajne) takođe ometaju pravilan razvoj pršljena i ostalih tela spinalnog sistema.

Ali, mi prvenstveno govorimo o kontrolisanoj ili pozitivnoj entropiji (kada se spinalno telo², razvija u zdravim okvirima) odnosno, kada gravitaciona sila prati porast entropije pri čemu se neugrožava nivo uredenosti sistema.

Kad govorimo o gore navedenim silama, mi polazimo od dve pretpostavke:

- Prvo, u kojoj meri gravitaciona sila savladava entropiju, u toj meri će i entropija biti izražena i,
- Drugo: gravitaciona sila srazmerno utiče na ispoljavanje entropije i obrnuto.

Podela entropije u spinalnom sistemu

Pre svega, entropija prema svojoj prirodi ispoljavanja može imati pozitivno i negativno dejstvo na spinalni sistem.

Ako pretpostavimo da nekontrolisana ili negativna entropija³ sprečava pravilan razvoj spinalnog sistema (uravnotežen odnos predstavlja stanje kada je $G_f \approx E_{nt}$ – pozitivno dejstvo entropije), tada možemo u načelu prihvatiti sledeće:

Entropije niskog stepena neuređenosti omogućuju pravilan razvoj spinalnog sistema u celosti, bez štetnih posledica po strukturu i funkcionalnost kičme; Entropije ovog stepena su reduktibilne i uspešno se kontrolišu redovnim preventivnim vežbanjem. Međutim, u slučaju da ustanovimo da je entropija nekontrolisana i ugrožava pravilan razvoj spinalnog sistema ($G_f < E_{nt}$ – negativno dejstvo entropije), tada govorimo o sledećim strukturalnim i funkcionalnim poremećajima i predložimo dve podele:

- Entropije slabog i umerenog stepena uzrokuju: nagli rast i razvoj kičmenog stuba, stvarajući (omogućavajući) uslove za razvoj opšteg ili lokalnog mišićnog disbalansa između agonista i antagonista koji imaju za posledicu formiranje kifotičnog, lordotičnog i blažeg oblika skioitičnog tipa spinalnog sistema⁴ (poremećaj u 2D i 3D ravni);
- statičku nestabilnost spinalnog sistema u celosti ili pojedinih spinalnih jedinica, ugrožavajući pravilno funkcionisanje i morfološku strukturu u manjoj meri. Kontrola i reduktibilnost ovakvih neuređenih sistema je moguća redovnim korektivnim programima specifične usmerenosti u većoj ili potpunoj meri (u zavisnosti od stepena neuređenosti spinalnog sistema⁵). Ovakav oblik entropije se ispoljava uglavnom u predpubertetskom i pubertetskom periodu.

¹ Osteogeneričke sile – procesi razvoja koštane srži i koštane mase u celosti.

² Spinalna tela su: intervertebralni disk, epifizna ploča i pršljensko telo.

³ Neuravnotežen odnos predstavlja stanje kada je $G_f < E_{nt}$ – negativno dejstvo entropije i vice versa.

⁴ Spinalni sistem se sastoji od aktivne, pasivne i CNS komponente (Panjabi, 1992).

⁵ Stepene neuređenosti spinalnog sistema je nivo entropije u CNS, pasivnoj i aktivnoj komponenti, odnosno njihova pojedinačna i grupna neuređenost sistema.

- Entropije velikog stepena, uzrokuju: Nekontrolisani rast, razvoj i ponašanje spinalnog sistema omogućavajući razvoj opšteg ili lokalnog mišićnog disbalansa između agonista i antagonista kičmenog stuba i nastanak težih oblika kifotičnog, lordotičnog i skoliotičnog tipa kičmenog stuba (poremećaj i deformiteti u 2D i 3D ravni). Ovakve spinalne jedinice su u potpunosti nestabilne a njihova funkcionalnost je drastično smanjena u odnosu na normalno stanje. Kod ovakvih neuređenih sistema, javlja se formiranje spinalnih deformiteta i poremećaja bez mogućnosti korekcije sistemom vežbi i ortopedskih pomagala. Entropije ovog tipa se mogu redukovati isključivo operativnim putem u manjoj, većoj ili u potpunoj meri. Entropije poput ove se kao i prethodno navedene, ispoljavaju uglavnom u dečijem i predpubertetskom periodu.

Kompresione sile i entropija intervertebralnog diska (discus intervertebralis)

Sa morfo-funkcionalnog aspekta, intervertebralni disk je specifično spinalno telo koje je svakodnevno pod uticajem kompresione, torziona i smicajne sile u manjem ili većem obliku, i kao takvo telo ima višestruku ulogu u spinalnom sistemu. U narednom delu teksta objasnićemo vezu između kompresione sile i entropije IVD.

Kad je kompresiona sila minimalna, možemo reći da postoji **pozitivan efekat** kompresione sile i entropije na IVD koji se ogleda u sledećem:

- Kad su kompresione sile niskog intenziteta, shodno tome entropije imaju nizak stepen neuređenosti i time omogućavaju pravilno i nesmetano funkcionisanje (razvoj) intervertebralnog diska (uravnotežen odnos $C_f \approx E_{nt}$ – pozitivno dejstvo entropije). Navedene sile na ovom nivou izazivaju pozitivne adaptacione promene koje rezultuju pravilnim funkcionisanjem (i razvoju) IVD.

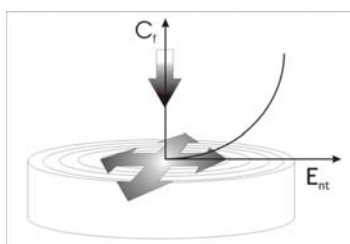
Međutim, povećavanjem intenziteta kompresione sile (C_f), srazmerno tom opterećenju IVD, povećava se i entropija navedenog sistema. U tom slučaju, mi govorimo o negativnom dejstvu kompresione sile koje se ogleda u sledećem:

- Kompresione sile slabog intenziteta uzrokuju stanje nižeg stepena neuređenosti sistema, u kojima se formiraju fibrozne transformacije, delaminacije, mikro pukotine (eng. – cleft formation), male braunove kolorizacije, itd. Uočavaju se početne degenerativne promene⁶ na disku. Neophodno je rasteretiti zahvaćene spinalne jedinice, radi smanjenja entropije. Kod ovako nastalih stanja, neophodno je obezbediti stabilizaciju spinalnog sistema (ili ugrožene spinalne jedinice najčešće na nivou L4 – L5 – S1), konstituisati mišićnu izdržljivost spinalnog sistema, lumbalno – abdominalne regije i pravilni lumbo-pelvični ritam i funkcionalnost.
- Kompresione sile umerenog intenziteta uzrokuju stepen umerene neuređenosti sistema koje karakterišu baldžing stanja sa većim rupturama i delaminacijom anulusa (prouzrokovane torzionom silom) i vidnom migracijom sadržaja jezgra IVD – hernijacije, ka periferiji anulusa fibrosusa tj. ka mestu najmanjeg otpora (uglavnom u posteriorno – lateralnom delu). U ovoj kategoriji su moguće i veće protruzije IVD sa blažim lezijama neuralne strukture (radikulopatije blažeg i umerenog tipa). Vidno uočljive degenerativne promene na disku (rim lezije, radijalne fisure, kalcifikacije velikog tipa, frakture epifizne ploče umerenog tipa itd). U pojedinim slučajevima se preporučuje operativni tretman. Neophodno rasterećenje zahvaćene spinalne jedinice, radi smanjenja entropije. U ovakvim slučajevima, potrebno kao i u prethodnom slučaju obezbediti stabilizaciju spinalnog sistema (ili ugrožene spinalne

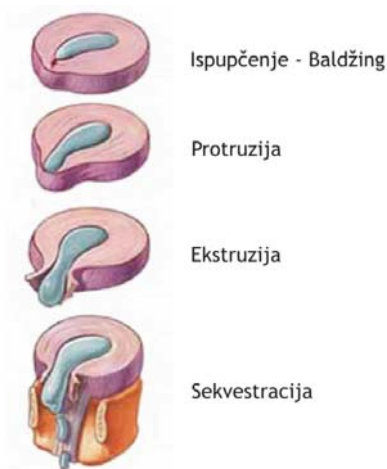
⁶ Degenerativne promene uključuju biohemijske, histološke, metaboličke i funkcionalne promene na IVD.

jedinice najčešće na nivou L4-L5-S1), obezbediti mišićnu izdržljivost spinalnog sistema, lumbalno - abdominalne regije i pravilnu lumbo-pelvičnu funkcionalnost.

- Kompresione sile velikog stepena izazivaju entropije velike neuređenosti i haotičnosti sistema sa masivnim ekstruzijama i sekvestracijama nukleusa IVD u spinalni kanal, narušavanje strukture i funkcionalnosti IVD sa posteriorno – lateralnim i centralnim lezijama neuralne strukture i funkcionalnim ispadima. Ovakvu kliničku sliku obeležava visok nivo ugroženosti spinalne jedinice i njene funkcionalnosti, uslovljen statičkom nestabilnošću i poodmaklim degenerativnim procesima na IVD, spinalnim telima i fasetnim zglobovima i ujedno delimičnom ili opštom telesnom ugroženošću u smislu normalnog lokomotornog funkcionisanja (kretanja). Regulacija (zaustavljanje) ovakvih entropija sa motoričko – funkcionalnim ispadima moguća je samo specijalno dizajniranim vežbama i operativnim putem u posebnim slučajevima.

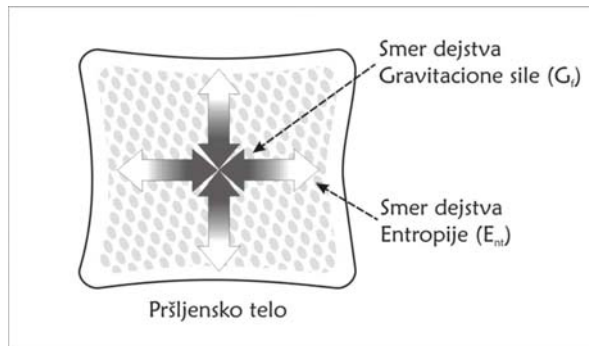


Slika 2. Dejstvo kompresione sile (C_f) na intervertebralni disk stvara novonastalno neuređeno stanje. U zavisnosti od veličine C_f , ispoljiće se i stepen entropije. Ovo upućuje na pretpostavku da veličina entropija sistema (E_{nt}) zavisi veličine kompresione sile (C_f).



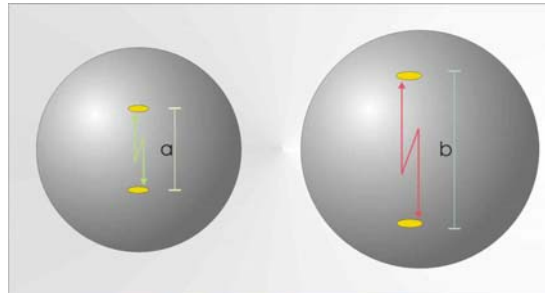
Slika 3. U zavisnosti od veličine C_p ispoljava se i stepen entropije IVD.

Uloga entropije i gravitacione sile na nivou pršljenkog tela (corpus vertebrae)



Slika 4. Večni „rat“ između gravitacione sile i entropije se odigrava ne samo na nivou pršljenkog tela, već i na Suncu. Težnja entropije da savlada gravitacionu silu, omogućava rast pršljenkog tela i razvoj celokupne koštane strukture kičmenog stuba.

Astrofizika je utvrdila da se svemir širi zahvaljujući entropiji, ali i da se galaksije ne šire, već međusobno udaljavaju u tom procesu. Analogno ovoj činjenici, na mikro nivou, možemo konstatovati da se na strukturi kičmenog stuba (mikro svet u odnosu na Vaseljenu i njene procese) odvija potpuno isti scenario.



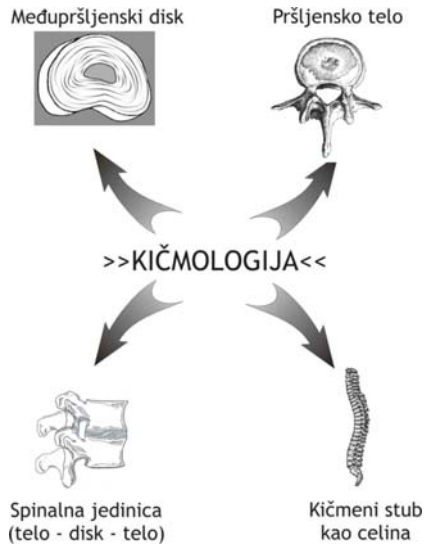
Naime, pršljenka tela (Svemir) rapidno rastu u periodu adolescencije uvećavajući njihovu zapreminu. Shodno promenama u veličini pršljenkog tela, mesta za pripajanje (Galaksije) mišića (dubokog sloja) se udaljavaju. U takvim uslova akcelarantnog dejstva imamo nekoliko stadijuma:

- Povećavanje mase i visine pršljenkog tela;
- Privremeno smanjenje volumena mišića dubokog sloja koji su odgovorni za pravilnu statiku posture i njeno pozicioniranje u sistemu prostor-vreme;
- Hipofunkcija muskulature, ligamenata i zglobnih kapsula smislu mogućnosti pružanja reakcije (smanjenje odgovora) na zahteve pomeranja i održavanja kičmenog stuba, stabilnosti zglobova i spinalnih jedinica.

Celokupna biografija kičme („kičmologija“ = patološko – fiziološko – funkcionalni scenario“) odigrava se na četiri značajna nivoa:

- Nivo intervertebralnog diska (IVD),
- Nivo pršljenkog tela (CV),

- Nivo spinalne jedinice⁷ (SpJ) i
- Nivo spinalnog sistema u celosti.



Slika 5. „Kičmologija“ – celokupni patološko – fiziološko – funkcionalni scenario kičmenog stuba se može odigrati na nivou međupršljenskog diska, pršljenskog tela, spinalne jedinice ili kičmenog stuba u celini.

Narušavanje homeostaze bilo kog nivoa, odnosno dela kičme, ugrožava celokupnu strukturu. Ugrožavanje homeostaze može da se odigra u dva osnovna slučaja:

- Iznadne sile velikog intenziteta koje momentalno narušavaju strukturu (sile velike magnitude, različite prirode i porekla) i
- kumulativne sile manjeg intenziteta ali, uz duže vremensko izlaganje, koje u početku nemoraju inicirati negativne efekte na spinalna tela.

Dokle god spinalni sistem raste i razvija, za njega kažemo da je otvorenog tipa. Onog momenta, kad je proces rasta i razvoja završen, tad kažemo da je spinalni sistem ravan, a u trenutku procesa starenja postaje zatvoren.

Periodi rasta, razvoja i starenja kičmenog stuba odvijaju se u više spinalnih dekada.

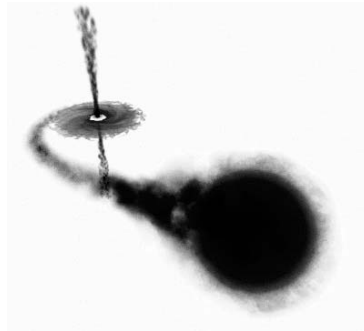
Pozitivno dejstvo entropije na genuzu morfološkog statusa pršljenskog tela rezultuje u sledećem:

- Entropije niskog stepena omogućavaju pravilan i nesmetan razvoj pršljenskog tela (uravnotežen odnos $G_f \approx E_{nt}$ – pozitivno dejstvo entropije). Udruženim dejstvom gravitacione sile i entropije na ovom nivou izazivaju se adaptacione promene koje rezultuju pravilnim razvojem i funkcionisanjem pršljenskih tela.

Negativno dejstvo aspekt se ogleda u nekontrolisanoj entropiji koju karakteriše smanjena gustina pršljenskog tela i tendencija ka osteoporozi.

Međutim, u slučaju kad je gravitaciona sila veća od dejstva entropije $G_f > E_{nt}$ odigrava se sličan scenario prikazan na slici:

⁷ Spinalna jedinica je sistem sačinjen od dva susedna pršljenska tela međusobno povezana intervertebralnim diskom, sa pratećom ligamentarnom i mišićnom strukturom.



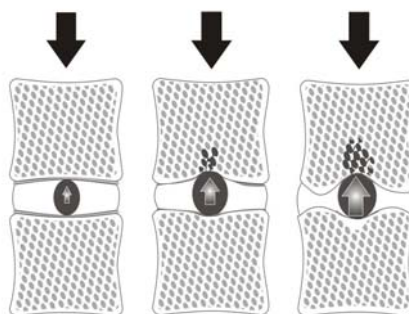
Slika 6. Gravitaciono dejstvo crne rupe „guta“ obližnju zvezdu, zahvaljujuci jakoj sili i time onemogućava putanju (entropiju Svemira) same zvezde. Isti scenario se odvija u procesu razvoja pršljenkog tela pri čemu nastaje hemivertebrata kao nepotpuno razvijeno pršljensko telo, spina bifida itd.

Uticaj kompresione sile na entropiju epifizne ploče (hyaline cartilage)

Narušavanje homeostaze bilo kog od gore navedenog nivoa ugrožava celokupnu spinalnu strukturu. Ugrožavanje homeostaze može da se odigra u dva osnovna scenarija (slučaja):

- Iznenaadne i kompresione sile velikog intenziteta koje momentalno narušavaju strukturu (sile velike magnitude i
- kumulativne i kompresione sile malog intenziteta ($C_f \approx E_{nt}$) a dužeg vremenskog izlaganja, koje u početku nemoraju da uzrokuju vidljive i negativne efekte na spinalna tela.

I nivo entropije su frakture epifiznih pločica.



Slika 7. Šematski prikaz rupture epifizne ploče (EP) i formiranje Šmorlovog čvora. Usled velike kompresione sile jezgro međupršljenkog diska oštećuje epifiznu ploču i svojom sadržinom prodire u nastalu pukotinu pršljenkog tela formirajući Šmorlov čvor (Schmorl node). Prikaz novonastalog stanja. Entropija slabog stepena neuređenosti (Dejanović & Fratrić, 2007).

Zaključak

Kičma je specifična struktura u lokomotornom sistemu, koji poseduje mogućnost da se samoreguliše i pored velikih trauma i onesposobljenosti. Za njegovo normalno funkcionisanje su potrebni minimalni svakodnevni pozitivni koraci koji čak ne zahtevaju ni velike promene u navikama. Na nama ostaje da shvatimo koliko ćemo produžiti funkcionalnost lokomotornog sistema ako u svakom danu dodamo jednu malu dozu pozitivizma u svakoj dimenziji.

Literatura

1. Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part 1. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *Journal Spinal Disorders*, 5, 383-389.
2. Dejanović, A.; Fratrić, F. (2007). Kičma, (ne) trening i deca. *Naučna monografija*. Novi Sad: ABM Ekonomik.