

## FIZIOLOŠKE I FIZIOTERAPIJSKE OSNOVE BOLA

Milorad R. Jevtić,<sup>1</sup> Dragan Milovanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>-Centar za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, Klinički centar Kragujevac

<sup>2</sup>-Institut za farmakologiju, Medicinski fakultet u Kragujevcu

## PHYSIOLOGICAL AND PHYSIOTHERAPEUTIC BASIS OF PAIN

Milorad R. Jevtic,<sup>1</sup> Dragan Milovanovic<sup>2</sup>

<sup>1</sup>-Center for Physical Medicine and Rehabilitation, Clinical Center Kragujevac

<sup>2</sup>-Department of Pharmacology, Medical Faculty Kragujevac

### SAŽETAK

Bol je jedan od najčešćih razloga zbog koga se pacijenti javljaju lekaru. Najnovija istraživanja neurobiologije bola omogućila su uvođenje novih terapijskih pristupa, posebno sa aspekta primene fizikalnih analgetskih procedura. Nova saznanja u vezi sa psihološkim i socijalnim aspektima bola otvaraju mogućnost dodatnih terapijskih intervencija, naročito kod hroničnog bola. Pacijent se stavlja u odnos saradnika i zajedno sa lekarom procenjuje bol i učestvuje u planiranju i sprovodjenju terapijskog programa. U ovom (preglednom) radu dat je prikaz patofizioloških mehanizama nocicepcije, postupaka u kliničkoj evaluaciji bola i najvažnijih analgetskih procedura u fizikalnoj medicini.

**Ključne reči:** bol, fizikalna terapija, vizuelno-analogna skala

### UVOD

Bol je neprijatno senzorno-emocionalno iskustvo nastalo stvarnim ili mogućim oštećenjima tkiva. Kod lezija perifernog nerva bol predstavlja ponekad i vodeći simptom (polyneuritis, plexitis, kompresivne lezije i dr.). Komponente koje učestvuju u formiranju subjektivnog doživljavanja bola su:

- bolni stimulus,
- sistem receptora,
- osjetljivost senzornog sistema,
- procesi prepoznavanja,
- emotivno-afektivne komponente,
- način ispoljavanja,
- uticaj okoline.

Bol signalizira potencijalnu opasnost koja može biti spoljašnja i unutrašnja. Stoga bol predstavlja osnovno i rano upozorenje kako bi čovek preduzeo mere zaštite daljeg oštećenja organizma. Prema trajanju bol se deli na akutni i hronični. Kod akutnog bol signal iz oštećenog tkiva primarno prenosi A-delta afferentnim vlaknima, a vremenski prostor (od nastanka bola) je manji od nedelju dana. Hronični bol nastaje kod obol-

### ABSTRACT

Pain represents one of the most frequent reasons for patients to visit a physician. The newest researches about the pain neurobiology enable the new therapeutic strategies to be introduced, it is particularly true of physical analgesic procedures. New findings concerning the psychological and social aspects of pain open the possibility for additional therapeutic interventions, especially for chronic pain. The patient becomes an associate and together with a physician assess the pain and participate in designing and conducting the therapeutic program. In this review, we describe the mechanism of nociception, courses of clinical examination of pain and the most important analgesic procedures used in physical medicine.

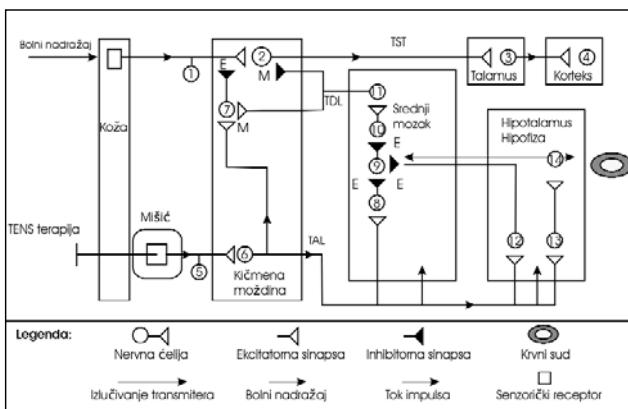
**Key words:** pain, physical therapy, visual analogue scale

jenja gde je signal preuzet uglavnom C- afferentnim vlaknima, a vremenski prostor je duži od tri meseca (1). Pored neurogene komponente, hronični bol indukuje i brojne humoralne odovore. Dugo trajanje bola dovodi do biohemiskih promena u nervnim ćelijama CNS-a i formiranja engramske promene koje karakterišu bolni osećaj (formiranje intracelularnog C-fos onkogenog proteina).

Iskustvo govori da i pored brojnih farmakoloških, fizikalnih i drugih terapijskih strategija terapija bola u svakodnevnoj praksi je daleko od optimalnog. Jedan od razloga je i nedovoljno poznavanje bazičnih neurobioloških mehanizama koji učestvuju u nastanku, modulaciji i hronificiranju bolnih implusa. Cilj ovog rada je da analizira rezultate novih studija koje su ispitivale patofiziološke aspekte bola i time stvori osnovu za poboljšanje efikasnosti terapijskih strategija u svakodnevnoj kliničkoj praksi.

### KARAKTERISTIKE BOLA

Bol se prenosi nadražajem receptora za bol, ali takođe i preko nadražaja polimodalnih receptora koji reaguju na različite nadražaje (Slika 1).



Slika 1. Prenos i modulacija bola na razlicitim nivoima nervnog sistema.

Bolni stimulusi se prenose sa C-vlaknima kao i A-d-vlaknima do zadnjih rogova kičmene moždine gde se ukopčavaju preko sinaptičkih prenosa ka višim nivoima. Pre svega, C vlakna su polimodalna, a A-δ-vlakna uglavnom reaguju na mehaničke i termoadražaje. A-β-vlakna prenose nadražaje iz mehanoreceptora, ali i bolnih impulsa ako je nadražaj za A-δ-vlakna prekoračen. A-β-vlakna prenose bol i to površni jasan bol, a C vlakna prenose tup bol uglavnom iz unutrašnjih organa. Prenos bolnih senzacija se odigrava kroz tractus spinoreticularis do retikularne supstancije što utiče na budnost i aktiviranje. Drugi deo vodi bolne impulse do talamus- tractus spinotalamicus. Tu, kroz obradu informacija u hipotalamusu i sulcus centralis, nastaje svesno opažanje bola. Dalja veza je od talamusa ka somatosenzoričkom korteksu gde se odigrava diskriminativna obrada bola. Iz formatio reticularis bolni impulsi se sprovode ka limbičnom sistemu. Tu se vrši emocionalna obrada bolnih impulsa gde je locus coeruleus značajan faktor modulacije bola u smislu smanjenja njegovog inteziteta. U novije vreme dokazano je da modulirajući ulogu imaju i nuclei amygdalae.

U organizmu su jasno dokazane odredjene supstance koje su odgovorne za pojačanje bola i opisuju se kao supstancije bola. Ovde spadaju prostaglandin E2, bradikinin, supstancija P i serotonin. Povećanje njihove koncentracije vodi povećanju sensibiliteta nocireceptora. Bradikinin i serotonin igraju značajnu ulogu kod zapaljenjskih reakcija kroz povećanje vazodilatacije. Kod migrene ove supstance uslovjavaju promenu koncentracije pH sredine u smislu kiselosti (primarno zbog ishemije). U drugoj fazi produkcija supstancije P uslovjava oslobadjanje histamina, a konsekutivno dolazi do vazodilatacije i povećanja propustljivosti membrane krvnih sudova.

Injekcija opijuma u predelu periakveduktalne sive supstance (PAG) dovodi do supresije bola. Takođe,

električni nadražaji u predelu PAG-a dovode do kočenja bola jer uslovjavaju oslobođanje endogenih opijata (endorfini, enkefalini i dinorfini). Ovaj mehanizam se može blokirati naloksonom (antagonist opioidnih receptora). Opioidni receptori se nalaze u svim putevima kojima se sprovodi bol sa periferije do CNS-a, a pre svega u locus coeruleus i nuclei raphe (2). Najgušća mreža opioidnih receptora nalazi se u limbičnom sistemu, što objašnjava euforizirajuće delovanje opijatnih supstanci. Zbog toga samo pravilno doziranje analgetika ne stvara euforiju, a takođe ne dovodi ni do zavisnosti .

## PATOFIZIOLOGIJA HRONIČNOG BOLA

U transmisiji akutnog bola uključen je, prema novim teorijama, jonotropni glutamatergički receptor AMPA, a u prenosu hroničnog bola jonotropni glutamatergički receptor NMDA (3,4). Jonotropni receptori za glutamat se nalaze u sinaptičkoj membrani ćelija zadnjih rogova kičmene moždine. Ponavljanja stimulacija AMPA receptora dovodi do oslobođanja toničke inhibicije NMDA receptora ionima magnezijuma. To dovodi do aktivacije NMDA receptora, tako da i slabiji stimulusi mogu usloviti bolna stanja (memorija bola). S obzirom da je većina NMDA propusna za jone kalcijuma, on ulazi u ćelije zadnjeg roga kičmene moždine i dovodi do aktiviranja protein kinaze C, koja je aktivator produkcije azot oksida (NO). NO difunduje u sinaptičku pukotinu i uslovjava preko gvanil sintetaze zatvaranje kalijum kanala i dovodi do redukcije delovanja opioda. NO indukuje i stvaranje supstancije P, koja se vezuje za neurokinin-1, uslovjavajući ekspreziju c-fos onkogenog proteina, koji se smatra biohemijskim otiskom hroničnog bola. C-fos onkogeni protein uslovjava centralnu stimulaciju i dovodi do pamćenja bola u moždanoj kori i talamusu. Tada je, po pravilu, hronični bol neizlečiv. U toj fazi stimulusi i iz drugih regija dovode do pojave bola, a bol se širi i u susedne dermatome.

Poznato je da dugotrajno trajanje bola može uslovit i antidiromni prenos bolnih signala, do nociceptora na periferiji. Pod tim stimulusima oslobođaja se supstancija P i faktor rasta. Ovi biohemijski poremećaji dovode do produkcije bradikinina, serotonina, azot oksida, histamina koji uslovjavaju inflamaciju i dovode do pojačanja aktivacije bolnih signala sa periferije. Tako se stvara začarani krug kod hroničnog bola koji ima elemente centralne i periferne senzibilizacije.

### Fantomski bol

Najstarija teorija fantomskog bola se povezuje sa prisustvom neurinoma u bolnoj regiji. Druga teorija

prepostavlja da se iz određenih mesta (projekcionala mesta odstranjenog ekstremiteta) u kičmenoj moždini može spontano izazvati radraženje. No ovim teorijama ne može se objasniti pojava fantomskog bola kod prekida kičmene moždine visoko iznad projekcionalih ulaza senzitivnih nerava u kičmenu moždinu. Takođe i nakon hordotomije dolazilo je do pojave fantomskog bola nakon amputacije noge. Melzack je na osnovu tih saznanja razvio teoriju fantomskog bola na sasvim drugom objašnjenju. On je prepostavio da se u mozgu nalaze formirani centri (neuromatriks) opažanja za svaki deo tela i da se formira karakteristična šema, koja bez obzira na impulse generiše jedinstvenost sopstvenog tela. To objašnjava da se senzorički impulsi mogu preko karakteristične šeme (neuromatriks) uklopiti u neurosignaturu, koja je ranije kao celina postojala i dati pojavu fantomskog bola. Kod lezije u parietalnoj regiji nakon CVI-a pacijent može negirati da je oduzeta noga njegova i pokušati da je odstrani kao tudju iz kreveta. Takođe u obrnutom smislu kada je noga amputirana, može spontani nadražaj usloviti fenomen fantomskog uda i fantomskog bola.

## OSOBITOSTI REAKCIJE NA BOL

Kod reakcije na bol mora se razlikovati trenutna refleksna reakcija koja je obično odbrambeni mehanizam ili reakcija mimike i stav odnosno ponašanje jedinke na bolni nadražaj, a što je izraz naučenih obrazaca reagovanja. Ovo ponašanje zavisi ne samo od jačine nadražaja nego i od socijalnih, kulturoloških i psiholoških mehanizama, koje je ličnost ugradila u svoj način ponašanja.

Muskularni bol dovodi do aktiviranja simpatičkog nervnog sistema i promene krvotoka u regionu bola. Većina receptora za bol su polimodalni i reaguju na više nadražajnih modaliteta. U kičmenoj moždini, nakon ukopčavanja perifernih nadražaja, impulsi se šalju preko lateralnih spinalnih puteva ka CNS-u, a preko prednjih rogova kičmene moždine i simpatičkih ganglija daju eference, što uslovjava promenu krvotoka u regionu bola. Ishemija koja je posledica simpatičke eferencije, uslovjava povećanu osetljivost nocireceptora i tako se uspostavlja "circulus viciosus". Aktivacija simpatičkih refleksa je osnovni uslov za nastanak simpatičke refleksne distrofije. Ovde još uvek nije razjašeno da li sensibilizacija nocireceptora uslovljena povećanim lučenjem adrenalina i noradrenalina ili kontrakcijama glatke muskulature krvnih sudova (5).

### *Psihološka obrada bola*

Motorička eferenca preko a i d motoneurona uključuje zaštitni refleks, koji se sastoji iz istovremene

izotonične kontrakcije - povećanja tonusa ekstenzora i fleksora, a što se manifestuje mirovanjem zgoba i smanjenjem bolova. U psihologiji se ovaj mehanizam naziva "negativno pojačanje".

Na osnovi disfunkcionalne obrade stresa dolazi do povećanog naprezanja-zatezanja muskulature. Normalno kod mišićne kontrakcije nema bola, ali se bolni nadražaj javlja kada je zatezanje mišića preko maksimalne kontrakcije. Tada se javlja ishemija i lošije snabdevanje kiseonikom. Ph vrednost krvi i intersticijalnog prostora se smanjuje, to uslovjava smanjenje praga za bol. Dolazi do oslobođanja zapaljenskih medijatora, koji preko hemijskih nociceptora uzrokuju bol. Takođe i mehaničko delovanje na receptore tetiva i mišića dovodi do povećanja bola. Kod pacijenata sa muskularnom glavoboljom i mala pomeranja odnosno kontrakcije do 25% mišićne snage izazivaju pojačanje bola. Zbog toga pacijent pokušava da grčenjem mišića uspostavi mirno držanje glave i redukuje bol.

Interakcija između straha i bola može se objasniti fiziološkim principima. Strah može modulisati bol pod uslovom da se aktivira locus coeruleus. Aktivitet locus coeruleus-a se upravo kroz nocicepciju može izazvati preko adrenergičnih stimulusa. Kako strah dovodi do pretrpe integritetu jedinke aktivira se odbranbeni sistem i to povećanom produkcijom adrenalina, koji podiže prag za bol na nivou razdvajanja noradrenergičnih puteva u prednjemoždanoj vezi. Povezano sa tim emotivno stanje osobe značajno utiče na jačinu bola. Osobe koje samo razmišljaju o bolu osećaju se bespomoćno i stalno im je sve lošije, a bolovi sve jači. No, osobe koje rade neke zanimljive i pozitivne stvari imaju manje bolova odnosno intezitet bola opada. Velika briga roditelja je značajan faktor u formiranju ličnosti koja će kasnije daleko teže savladjavati životne prepreke i bolovi će biti daleko intezivniji nego kod osoba koje su rasle u porodici koja je imala mnogo dece pa majka nije mogla da zauzima zaštitni stav, a i briga majke je bila, pojedinačno gledano, daleko manja. Bol koji dugi traje naziva se hronični bol. Ovakvo stanje dovodi do gubitka pozitivnog afektiviteata, depresije i povišenja osećaja bola. No, depresija takođe uslovjava jedan viši predikativ za hronificiranje bola. Iz tih razloga je neophodno kod hroničnog bola delovati u smislu redukcije depresije. Osnovni cilj je dobro planiranje aktivnosti dnevnog života i optimističko životno planiranje. Pored depresije značajan faktor je socijalni milje, gde treba raditi na stvaranju optimalnih socijalnih relacija i stvarati aktivan socijalni život. Osnovni faktor promene aktiviteta na psihičkom i socijalnom planu mora biti pacijent, odnosno on mora biti subjekt rehabilitacije i terapije hroničnog bola (6).

## MERENJE BOLA

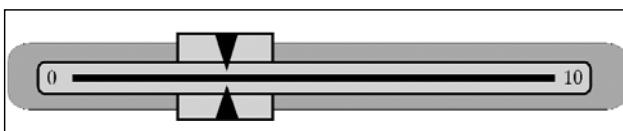
U kliničkoj praksi merenje bola se svodi na kvantifikaciju inteziteta bola. Ostale karakteristike (socijalni, kulturološki, psihološki i drugi aspekti) se ne mogu precizno izmeriti, iako postoje pokušaji da se kvalitativna svojstva bola urede kroz kvantitet. Melzack je 1991. godine razvio upitnik za bol (engl. "McGill Questionnaire-MPQ") gde se kroz psihometrijske ocene dolazi do kvantifikacije bola od 1-5.

### Vizuelno analogna skala za bol-VAS

Zbog svoje jednostavnosti u klinici se koriste jednodimenzionalne skale za bol:

- Skala verbalne procene (engl. Verbal Rating Scale - VRS)
- Skala numeričke procene (engl. Numerical Rating Scale - NRS)
- Vizuelno-analogna skala (VAS)

VAS skala pokazuje prednost jednog kontinuma, naročito kod praćenja i terapijske kontrole, u smislu finog graduiranja. VAS skala se sastoji od jedne linije dužine 10 cm koja je na početku obeležena sa "0" (bez bola), a na kraju sa "10" (maksimalni bol). Ispitanik treba da osećaj bola izrazi kroz numerizaciju izmedju ove dve krajnje tačke. Rastojanje od početka skale do markirane tačke se meri u milimetrima. Ovaj metod je usavršen kroz izradu "šiber-merača" koji imaju savremen dizajn (Slika 2).



Slika 2. Vizuelna analogna skala.

Za decu ispod 6 godina, osobe sa psihijatriskim poremećajima i osobe koje imaju smetnje govora koristimo tzv. "Smile" skalu. "Smile" skala umesto numeričkih oznaka ima predstavljene crteže koji odlikavaju bolno stanje pacijenta. Svaki crtež se može prevesti na numeričku vrednost i na taj način doći do kvantifikacije bola. Pravac VAS skale treba da odgovara pravcu pisanja. U zapadnom svetu to je sa leva na desno, a kod Kineza to je vertikalna linija odozgo na dole. Najpouzdanija skala je onda kada su samo obeleženi početak skale i kraj skale ("0"- "10"), a na toj liniji pacijent obeležava rastojanje koje odražava njegov bol. To rastojanje se meri u milimetrima. Objektivizacija se postiže i kroz dužinu osnovne linije. Ukoliko je linija duža to je objektivizacija bola veća. Skale od 1-5 su manje pouzdane. Individualne greške

na VAS skali, na osnovu statističkog praćenja, su od 2-7% (7,8). Uporedjivanja VAS skale sa VRS i NRS skalama su pokazala da postoji usaglašenost na nivou od 77-99% (8).

## OSNOVI FIZIKALNE TERAPIJE BOLA

Fizikalna terapija kod akutnog bola je praktično neposredna terapija, a kod hroničnog bola fizikalna terapija mora svojim delovanjem ukloniti - poništiti nastale engramske promene u nervnim ćelijama (Tabela 1).

Fizioterapijsko sredstvo	Fiziološko delovanje
Jednosmerna struja	Neuralno: Uticaj na C-afеренцу, promena jonskog miljea. Humoralno: Oslobođanje neuropeptidnih transmitera
Niskofrekventne impulsne struje	Neuralno: "gate control theory" segmentalna blokada; hiperstimulacija-suprasegmentalna blokada; zamor A-delta afereze (periferna aksonalna blokada). Humoralno: Oslobođanje neuropeptidnih transmitera
Viskokrekventne struje	Humoralno: toplotna- stres reakcija (izljučivanje kortisola) Neuralno: Toplotno uslovljeno aktiviranje mesencefalične blokade
Krioterapija (krioterapija do 3 min)	Neuralno: "gate control theory" - segmentalna kompetitivna blokada kroz aktiviranje A-delta afereze i blokiranje C- afereze
Krioterapija (20 minuta)	Neuralno: kao i kratka krioterapija Humoralno: redukcija metabolizma (redukcija bolnih i zapaljenskih medijatora)
Hidroterapija	Neuralno: "gate control theory" segmentalna kompetitivna blokada kroz razdraženje termoreceptora. Humoralno: Toplotni i hladni stres- lučenje kotrizola.
Laser	Neuralno: "gate control theory" - segmentalna kompetitivna blokada kroz aktiviranje A-delta afereze. Humoralno: Oslobođanje neuropeptidnih transmitera, stabilizacija ćelijskih membrane i redukcija stvaranja zapaljenskih medijatora.
Ultrazvuk terapija	Neuralno: Uticaj na bolne impulse kroz aktiviranje mesencefaličnog blokadnog sistema. Humoralno: toplotna reakcija i smanjenje algogenih produkata na nivou receptora.
Opšta masaža	Neuralno: "gate control theory"(segmentalna kompetitivna blokada kroz nadražaj mehanoreceptora) Humoralno: smanjenje bolnih medijatora (aksonrefleks, aktiviranje metabolizma i krvotoka) emocionalno: uticaj na limbični sistem.
Masaža vezivnog tkiva	Neuralno: specifična autonomna regulacija, promene vegetativnog tonusa.
Kineziterapija	aktiviranje segmentalne blokade, aktiviranje suprasegmentalne blokade povećanje psihotonusa: radost, samostalnost, komunikacija, doživljaj sopstvene sigurnosti, sadržaj i dr.

Tabela 1. Fizioterapijsko i fiziološko delovanje fizikalnih agenasa (1,9)

Neposredne indikacije za terapiju bola su nociceptivne afereze, mehanička i hemijska nocicepcija iz sistema za kretanje (nerv, mišić, tetiva, ligament, kapsula i periost), sistema za krvotok (loša regulacija) i viscerálnih organa (splahnicična diskinezija). Za ordiniranje adekvatne terapije potrebna je dobra dijagnostika bolnih stanja i precizno određivanje nociceptivnih struktura (3, 10).

Objašnjenje terapijskog delovanja primenjenih fizikalnih agenasa zasniva se na teoriji kontrole i mod-

ulacije bolnih impulsa na perifernom, spinalnom-segmentalno-presinaptičkom (enkefalin, endorfin, dinorfin) kao i supraspinalnom-centralnom blokiračem sistemu (primarni i sekundarni célijski glasnici). U fizioterapiji postoji pojam "proces zamora aference A-delta vlakna" kroz aksonalnu blokadu (repetitivni, visokofrekventni nadražaji), kao i oslobadjanje neuropeptidskih transmitera (jednosmerna modulisana struja) uz blokadu prenosa bola na perifernom i spinalnom nivou. Ovde treba napomenuti tzv. "gate control theory" (kompetitivna blokada A-delta i C-vlakana kroz interneuronske veze zadnjih rogova kičmene moždine). Hiperstimulaciona analgezija i analgezija kroz TENS terapiju pored već navedenih mehanizma deluje i na supraspinalnom nivou blokirajući prenos bola do svesnog saznanja (somatosezorični korteks). U čitavom procesu analgetskog delovanja fizičalne terapije pacijent treba da bude subjekat, a ne objekat delovanja. Pacijenti, posebno oni sa hroničnim bolom, moraju naučiti da žive sa bolom, da sami kontrolišu bol, da koriste pozitivne socijalne promene i da izgrade pozitivan životni stav prema svom oboljenju koje uzrokuje bol.

#### LITERATURA:

1. Jevtić RM. Fizičalna medicina i rehabilitacija. Kragujevac: Medicinski fakultet, 1999.
2. Stux G, Stiller F, Pomeranz B. Akupunktur - lehrbuch und atlas. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1999.
3. SchÎnle C. Die effektivit et konservativer therapien bei chronischen r ckenschmerzen in spiegel de literatur. Munchen: George Tieme Veralag, 1993.
4. Uhlemann Ch.: Physiotherapie als schmerztherapie. Krankengymnastik 1997; 49: 1867-76.
5. Nachemson AL. Newest knowledge of low back pain, a critical look. Clin Orthopaed Relat Res 1992; 279: 8-20.
6. Schreiber Wilnow K. Korper-selbst-und gruppen erleben in der stationaren konzentrativen bewegungstherapie. Bremen: Psychosocial Verlag, 1999.
7. Moll J. Integrative therapie bei chronischen Schmerzen. Krankengymnastik 2003; 55: 404-11.
8. Winkelmann C, Schreiber TU. Die Visuelle Analogskala (VAS) zur "Schmerzmessung" in der physiotherapie. Krankengymnastik 1997; 49: 1856-67.
9. Jevtić RM. Rehabilitacija neuroloških bolesnika. Kragujevac: Udruženje studenata Ekonomskog fakulteta, 1995.
10. Ray CHD. Elektrikal stimulation, new methodes for therapy and rehabilitation. Scan J Rehabil Med 1978; 10: 65.