

# UPORABA ROBOTSKÉ NAPRAVE LOKOMAT PRI PONOVNEM UČENJU HOJE PRI PACIENTIH Z OKVARO HRBTENJAČE

## THE USE OF THE LOKOMAT ROBOTIC DEVICE IN RELEARNING TO WALK IN PATIENTS WITH SPINAL CORD IMPAIRMENT

Pavla Obreza, dipl. fiziot., univ. dipl. soc. ped., Janez Špoljar, dipl. fiziot.  
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Izvleček

Robotizirana vadba hoje je lahko alternativni pristop k vadbi hoje na tekočem traku, pri kateri fizioterapevt pacientu pomaga pri izvedbi koraka. S pregledom razpoložljive literature smo želeli ugotoviti, katere spremenljivke so raziskovalci preučevali pri vadbi hoje s sistemom Lokomat pri ljudeh z nepopolno okvaro hrbtenjače in s katerimi merilnimi protokoli so jih ocenjevali. Pregledali smo članke, zbrane iz podatkovnih zbirk Medline, Cochrane in Pedro. Opravljene študije po eni strani raziskujejo učinke vadbe hoje s pomočjo naprave Lokomat, po drugi pa primerjajo učenje hoje na napravi Lokomat z drugimi postopki. Učinke vadbe hoje so v različnih prispevkih merili z vrsto različnih merilnih protokolov. Rezultati študij so pokazali, da se po taki vodeni vadbi pri posamezniku zniža srčni utrip, poveča se poraba kisika in zniža frekvenca dihanja. Vadba je pacientom omogočila izboljšanje mišične koordinacije in prispevala k plastičnosti živčevja na ravni hrbtenjače in v višjih centrih živčevja. Ni dokazov, da bi vadba z robotsko napravo Lokomat vplivala na boljši izid rehabilitacije v primerjavi z drugimi metodami učenja hoje.

### Ključne besede:

robotika, poškodbe hrbtenjače, hoja, pregled literature

### Abstract

*Robot assisted gait training can present an alternative to manual assisted treadmill training. The purpose of this literature review is to find out which variables did researchers investigate in the field of training with the Lokomat system in people with incomplete spinal cord impairments and with what protocols did they measure them. The reviewed articles were retrieved using Medline, Cochrane and Pedro database. The studies either explore the effects of walking on the Lokomat or compare walking on the Lokomat with other rehabilitation strategies. The effect of walking training was evaluated using different protocols. The results have shown reduced heart rate, increase of oxygen consumption and reduced breathing frequency after training with the Lokomat system. Training has caused improvement in muscular coordination and contributed to nerve plasticity in the spinal cord level and higher nerve centres. There is no proof that Lokomat training has a better influence on the rehabilitation outcome in comparison with other methods for relearning walking.*

### Keywords:

*robotics, spinal cord injuries, walking, review of literature*

### UVOD

Okvare hrbtenjače pri ljudeh delimo na tiste, ki so posledica poškodb, in na tiste, ki jih povzročajo različne bolezni. V

Prispelo /Received: 29. 5. 2012

Sprejeto /Accepted: 14. 9. 2012

E-naslov za dopisovanje /Email for correspondence (PO):

pavla.obreza@ir-rs.si

obeh primerih je okvara lahko popolna ali nepopolna. Pri popolnih okvarah hrbtenjače je fizioterapevtska obravnava pacienta usmerjena k optimalni izrabi preostalih mišičnih skupin za čim samostojnejše funkcioniranje posameznika glede na višino njegove poškodbe. Pri pacientih po nepopolnih okvarah je eden od najpomembnejših ciljev ponovna vzpostavitev hoje, pri čemer se skušamo izogniti

nadomestnim mehanizmom in z različnimi fizioterapevtskimi pristopi vplivati na vzpostavitev ali izboljšanje hoje. Za ponovno učenje hoje pri pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače uporabljamo različne fizioterapevtske pristope, kar je odvisno od ravni in kompleksnosti okvare ter psihofizičnih sposobnosti posameznika. Pri rehabilitacijski obravnavi pacientov je najučinkovitejša kombinirana uporaba različnih pristopov. Da bi dosegli čim boljši izid pri izboljšanju hoje, si med drugim pomagamo s funkcionalno električno stimulacijo (FES), pri kateri so sprva uporabljali bolj preproste sisteme. Kasneje so razvili in uporabljali različne večkanalne sisteme za FES za ponovno učenje in vzpostavljanje hoje po ravnem (1). FES skupaj z vadbo hoje po tekočem traku je eden od načinov vadbe hoje. Zaradi razvoja tehnologije, želje po olajšanju zahtevnega dela ob tekočem traku in skrajšanju obdobja vadbe so rehabilitacijske ustanove po vsem svetu začele robotizirano vadbo hoje uvajati v vsakodnevno obravnavo pacientov z okvaro hrbtenjače.

V zadnjih dvajsetih letih prejšnjega stoletja so se pri rehabilitaciji hoje uveljavila nova spoznanja o plastičnosti osrednjega živčnega sistema in novi pristopi učenja hoje pri pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače (2-4). Rehabilitacija pacientov z okvaro osrednjega živčevja temelji na treh principih motoričnega učenja: vadbi; vadbi specifične naloge, na primer hoje; prizadevanju posameznika in njegovem polnem sodelovanju pri izvedbi. Ti trije principi so bistvenega pomena za spodbujanje od aktivnosti odvisne plastičnosti osrednjega živčnega sistema.

Sledilo je obdobje uporabe tekočega traku, sistema za podporo telesni teži in pomoči pri izvedbi koraka – strategija, ki upošteva intenzivnost ponavljanja, k specifični nalogi usmerjeno vadbo (3). Ker pa je ta način vadbe omejen zaradi ergonomsko zahtevnega dela pomoči, ki jo fizioterapevt pri korakih nudi bolniku, zagotavljanja konsistentnosti in trajanja vadbe, so v Hocomi razvili robotsko napravo Lokomat (6, 7). Znanstveniki so in še razvijajo različne sisteme eksoskeletov, ki pri posamezniku nadomeščajo zmanjšano ali odsotno motorično funkcijo. K razvoju eksoskeletov je prispeval tudi razvoj tehnologije, in sicer sestavnih delov eksoskeleta. Razmišljajo o uporabi teh sistemov pri poklicih, ki zahtevajo veliko telesnih naporov in vzdržljivosti (vojaki, gasilci), in tudi na področju rehabilitacije hoje pri ljudeh z okvaro hrbtenjače (5).

## Sistem Lokomat

Sistem Lokomat je medicinska naprava, ki lahko delno ali v celoti nadomesti vadbo hoje z delno razbremenitvijo na tekočem traku, pri kateri fizioterapevt pacientu pomaga pri izvedbi koraka (slika 1). Napravo je razvila družba Hocoma iz Švice s sodelovanjem centra za poškodbe hrbtenjače Balgrist iz Züricha. Sistem smo na URI-Soča pričeli uporabljati konec leta 2010. O sistemu govorimo zato, ker je naprava

sestavljena iz treh delov. Sestavljena je iz naprave Levi ali Lokolift za nadzorovanje razbremenjevanja telesne teže pacienta, tekočega traku Woodway HC-Loko S55 in dveh robotiziranih ortoz za nadzor kolčnih in kolenskih sklepov. Ortoze so nameščene na vrtljivi paralelogram, ki omogoča gibanje v vertikalni smeri in s tem gibanje telesa navzgor in navzdol med hojo, obenem preprečuje gibanje nazaj, ki je posledica gibanja tekočega traku.



*Slika 1: Preiskovanec na napravi Lokomat pod nadzorom fizioterapevte.*

Pacient je med hojo vpet v pas, ki omogoča razbremenitev telesne teže, preko medenice in treh manšet na obeh spodnjih udih na ortoz. Za primeren dostop na koncu faze zamaha na stopala namestimo pasivni mehanizem. Pri prvem nameščanju ortoze prilagodimo anatomskim posebnostim posameznika in podatke shranimo v bazo podatkov. Dolžino ortoz določimo na osnovi dveh meritev: od velikega trohantra do sklepne špranje kolena, dolžine goleni od sklepne špranje do tal, vključno z obuvalom. S pomočjo različno velikih manšet spodnji ud vpnejo v ortozo in jo namestimo v optimalni položaj v antero-posteriorni (fleksija, ekstenzija) in medio-lateralni (širina koraka) smeri (7).

Vsaka obravnava na napravi Lokomat se začne in konča ob polni razbremenitvi. Za komunikacijo med ortozo in bolnikom, za razmerje pomoči in hotene aktivnosti pri izvedbi koraka skrbijo sistemi, ki s senzorji, vgrajenimi v kolčne in kolenske sklepe ortoz, prepoznajo bolnikovo gibanje, mišično-skeletni pasivni upor in prilagodijo pomoč robota pacientu pri hoji (8).

Dva računalnika nadzorujeta delovanje sistema. Fizioterapevt upravlja sistem prek monitorja, ki je uporabniški vmesnik, na drugem monitorju pa pacient dobiva povratne informa-

cije o lastni aktivnosti. Med hojo lahko fizioterapevt sproti prilagaja hitrost hoje med 1 km/h in 3,2 km/h, kilograme razbremenitve in odstotke vodenja od 0 do 100 %, pri čemer 100 % pomeni polno pomoč naprave, 0 % pa popolnoma brez pomoči le-te (8). Pacientov koeficient kaže sinhronost premikanja sistema ortoz in hitrosti tekočega traku. Pri nastavitvi vzorca hoje je možno spreminjati obsege gibov v kolkih in kolenih in zamik simetrično ali asimetrično. Prek programov za urjenje lahko izberemo različne hitrosti, ki se samodejno spreminjajo glede na izbrani program.

Pacient po monitorju, ki ga ima pred sabo, dobiva povratne informacije o izvedbi svojih korakov v treh oblikah: črtni diagrami, vodni stolpec s termometrom in smeško. Črtni diagrami prikazujejo podatke za kolčne in kolenske sklepe v fazi zamaha in fazi opore. Na horizontalni osi je prikazano število korakov (standardno je prikazanih osem korakov), na vertikalni osi so prikazani biometrični podatki, to je povprečje vrednosti signalov, ki so izmerjeni znotraj pogonov sistema Lokomat. Raven napolnjenosti vodnega stolpca na monitorju je skladna s pacientovo splošno učinkovitostjo (povprečje vseh biometričnih podatkov za zadnje korake). Prikaz v obliki rdečega termometra kaže pacientovo učinkovitost med korakom, ki ga trenutno izvaja, za izbrane lastnosti hoje. Smeško odraža splošno učinkovitost v enem koraku, čim bolj samostojno pacient hodi, s čim manjšo pomočjo naprave Lokomat, tem širši je smeškov nasmešek (9).

S pomočjo orodij za meritve je pred vadbo hoje in po njej s sistemom Lokomat mogoče pri pacientih izmeriti obseg gibljivosti v kolčnih in kolenskih sklepih, izometrično mišično silo flektornih in ekstenzornih mišic kolka in kolena ter togost (povišan mišični tonus) pri treh kotnih hitrostih (30, 60, 120°/s). Meritev maksimalne hotene izometrične mišične sile s pomočjo naprave Lokomat je primerna metoda za spremljanje pacientov, ki so vključeni v ta način učenja hoje (10).

## METODE DELA

Želeli smo pripraviti pregled literature o uporabi robotske naprave Lokomat za učenje hoje pri ljudeh z okvaro hrbtenjače. Članke smo izbrali iz seznama priporočene literature, ki smo jo dobili na tečaju za usposabljanje za delo s sistemom Lokomat, iz podatkovnih zbirk Medline, Cochrane in Pedro, s ključnimi besedami: hoja, lokomat, nepopolna okvara hrbtenjače.

## REZULTATI IN RAZPRAVA

### Pregledni prispevki

V podatkovni zbirki Cochrane review je s tega področja le en članek. Mehrholz (11, 12) je s soavtorji naredil obsežen

pregled literature in ugotovitve te študije kažejo, da ni zadostnih dokazov o večji učinkovitosti za izboljšanje hoje pri ljudeh z okvaro hrbtenjače, če primerjamo vadbo hoje na tekočem traku z razbremenjevanjem telesne teže skupaj z uporabo funkcionalne električne stimulacije ali brez nje ter vadbo hoje s pomočjo robotov. V podatkovni zbirki Pedro je osem zadetkov in le en članek je o učenju hoje pri pacientih po okvari hrbtenjače. Swinnen in sod. (13) so pregledali članke o uporabi naprave Lokomat za učenje hoje pri pacientih z okvaro hrbtenjače. Ni dokazov, da bi ta način bolj pripomogel k izboljšanju hoje kot drugi postopki učenja (13). Skupna slaba stran pregledanih prispevkov je majhno število preiskovancev in pomanjkanje kontrolnih skupin oziroma, da le-teh v študije sploh niso vključili.

### Primerjava različnih načinov vadbe hoje

Že vrsto let v več rehabilitacijskih ustanovah uporabljajo napravo Lokomat za ponovno učenje hoje pri pacientih po poškodbi hrbtenjače. V zadnjih desetih letih so naredili številne študije učinkov vadbe hoje na napravi Lokomat (8, 14-17 – tabela 1; 18-23 – tabela 1a) in študije, v katerih so primerjali učenje hoje na napravi Lokomat, na tekočem traku in hojo po ravnem (24-28 – tabela 2). Učenje hoje s pomočjo naprave Lokomat je eden od pomembnih pristopov ponovnega učenja hoje pri pacientih po poškodbi hrbtenjače. V primerjalnih študijah so avtorji pri tem načinu vadbe ugotavljali najmanj sprememb pri spremenljivkah, ki vrednotijo hojo (24, 25). Kar je razumljivo, saj hojo sestavlja niz zapletenih medsebojno povezanih periodičnih gibalnih funkcij. Field-Fotejeva in sod. (24) ter Nooijenova in sod. (25) so opazovali učinke učenja hoje med različnimi pristopi: hojo na tekočem traku s pomočjo fizioterapevta, hojo na tekočem traku skupaj z uporabo FES peronealnega živca v fazi zamaha, hojo po ravnem s pomočjo FES peronealnega živca v fazi zamaha in hojo s pomočjo naprave Lokomat. Vsi pristopi so pokazali značilno izboljšanje hitrosti hoje, večje izboljšanje pa se je pokazalo v skupinah, v katerih so uporabili tudi FES (24, 25). Primerjava med vadbo hoje na tekočem traku s pomočjo fizioterapevta in vadbo hoje na napravi Lokomat je pokazala, da je bila poraba energije in EMG aktivnost mišic pri pacientih nižja pri uporabi naprave Lokomat, ta razlika se je zmanjšala, ko je pacient aktivneje sodeloval pri hoji na napravi Lokomat (26). Med učenjem hoje na napravi Lokomat je pacient vpet v sistem za odvzem teže in robotske ortoze, ki omogočajo gibanje v sagitalni ravnini, vendar je to nenadomestljiv pripomoček pri začetnem učenju hoje, izvajanju in ponavljanju te gibalne naloge. Omenjeni študiji sta edini s kontrolnimi skupinami, vendar z majhnim številom preiskovancev. Rezultati študij so pričakovani, od vadbe hoje na napravi Lokomat ne pričakujemo čudežnih izidov. Razumeti ga je treba kot eno od orodij, ki znatno olajša delo s pacienti z zelo zmanjšanimi zmožnostmi za hojo, hkrati pa zagotavlja dolgotrajno, k nalogi usmerjeno vadbo, ki pacienta motivira.

**Tabela 1:** Prikaz učinkov učenja hoje s pomočjo naprave Lokomat.

Avtor in leto	Št. pacientov	Ocena ASIA*	Čas po poškodbi	Trajanje učenja hoje	Meritev	Rezultat
Wirz M. in sod., 2005 (14)	20	C, D	2-17 let	3-5-krat na teden, 8 tednov	Časovni testi hoje: 10 m, 6 min., test vstani in pojdi, WISCI*, MAS*; SCAT	↑Hitrost hoje ↑Vzdržljivost ↑T. vstani in pojdi, WISCI-ni sprememb
Duschau-Wicke A. in sod., 2010 (15)	11	B, C, D	Več kot eno leto – kronično stanje	1 poskus na enem izmed 4 modelov vadbe (POS*, SOFT*, COOP*, COOP+*)	EMG, EKG, variabilnost kinematike, interakcija navorov	↑variabilnost kinematike ↑srčni utrip ↑več miš.akt. pri aktivni vadbi
Hunt KJ. in sod., 2008 (16)	3	C, D	Ni podatka	2 poskusa	Obremenitve-ni test – pasivna in aktivna hoja na Lokomatu	Aktivno sodelovanje med hojo poveča metabolični odziv
Moreh E. in sod., 2009 (17)	1	C	3 tedne	18 serij	SCIIM*, Bergova lestvica ravnotežja, WISCI*	↑SCIIM ↑Bergova lestvica ravnotežja ↑WISCI
Špoljar J. in Obreza P., 2011 (8)	1	C	9 tednov	3-krat na teden, 7 tednov	Časovni testi hoje: 10 m, 6 min., WISCI*, Bergova lestvica ravnotežja	↑Hitrost hoje ↑Vzdržljivost ↑WISCI ↑Ravnotežje

\* ASIA (angl. American Spinal Injury Association Impairment Classification Scale) Lestvica prizadetosti Ameriškega združenja za paciente po poškodbi hrbtenjače; WISCI (angl. Walking Index for Spinal Cord Injury) Indeks hoje za paciente po poškodbi hrbtenjače; POS (angl. stiff position control mode) togo položajno vodenje; SOFT (angl. soft impedance control mode) mehko impedančno vodenje; COOP (angl. position control mode) vodenje z omejeno potjo – pot, omejena znotraj navideznega tunela; COOP+ (angl. path control mode with increased supportive flow) vodenje z omejeno potjo in podpornim tokom, tok pomaga gibanju nog vzdolž poti; SCIIM (angl. Spinal Cord Independence Measure) Lestvica neodvisnosti za bolnike po poškodbi hrbtenjače, MAS(angl. Modified Ashworth Scale) Modificirana Ashworthova lestvica; SCAT (angl. Spinal Cord Assessment Tools for Spasticity) Orodje za merjenje spastičnosti pri okvari hrbtenjače.

**Tabela 1a:** Vpliv vadbe hoje s pomočjo naprave Lokomat na refleksno dejavnost in supraspinalno aktivnost pri pacientih.

Avtor in leto	Št. pacientov	Ocena ASIA*	Čas po poškodbi	Trajanje učenja hoje	Meritev	Rezultat
Mirbagheri MM. in sod., 2005 (18)	5	Ni podatka –Nepopolne okvare	Ni podatka	3-krat na teden, 4 tedne	Tehnika vzporedne kaskadne identifikacije, hotena aktivnost, kinematika	Modifikacija nenormalne refleksne funkcije, izboljšanje hotene aktivnosti
Querry RG. in sod., 2008 (19)	22 26 zdravih	A, B, C, D	Ni podatka	Meritev pri 1,8 in 2,5 km/h	Refleks H m. soleus v srednji fazi opore in srednji fazi zamaha	Evalvacija nove metode
Kamibayashi K. in sod., 2010 (20)	3 10 zdravih	Ni podatka (2 popolna okvara, 1 nepopolna okvara)	Od 6 ± 83 mesecev	2 poskusa – vsak udeleženec 40 in 100 odstotna razbremenitev	Refleks H m. soleus	Inhibicija refleksa H v fazi zamaha – fazno odvisna modulacija
Dietz V. in sod., 2009 (21)	39 10 zdravih	A, B, C	3 ± 165 mesecev	10-15 minut hoje na napravi Lokomat	EMG akt. med hojo na napravi Lokomat + ES tibialnega živca	Upoštevanje sprememb spinalne refleksne aktivnosti pri načrtovanju rehabilitacije
Querry RG. in sod., 2008 (19)	22 26 zdravih	A, B, C, D	Ni podatka	Meritev pri 1,8 in 2,5 km/h	Refleks H m. soleus v srednji fazi opore in srednji fazi zamaha	Evalvacija nove metode
Kamibayashi K. in sod., 2010 (20)	3 10 zdravih	Ni podatka (2 popolna okvara, 1 nepopolna okvara)	Od 6 ± 83 mesecev	2 poskusa – vsak udeleženec 40 in 100 odstotna razbremenitev	Refleks H m. soleus	Inhibicija refleksa H v fazi zamaha – fazno odvisna modulacija

SCIIM (Spinal Cord Independence Measure) Lestvica neodvisnosti za bolnike po poškodbi hrbtenjače  
S1M1\* – primarna senzorično-motorična skorja; CMA\* (cingulate motor area) cingulatno motorično področje

**Tabela 2:** Učenje hoje na napravi Lokomat, kombinirano z drugimi načini učenja hoje.

Avtor in leto	Št. pacientov	Ocena ASIA*	Čas po poškodbi	Trajanje učenja hoje	Meritev	Rezultat
Field-Fote EC. in sod., 2005 (24)	27, naključno razvrščenih v 4 načine učenja hoje	Od 1 leta do 23 let	C	Tt* z asistenco Tt* in FES, hoja po ravnem s FES, Lokomat	5-krat na teden, 12 tednov	Časovni testi: 6 m, 2 minuti
Nooijen C.F. in sod., 2009 (25)	51+10 zdravih, naključno razvrščenih v 4 načine učenja hoje	Od 1 leta do 23 let	C	Tt* z asistenco, Tt* z FES* Hoja po ravnem s FES Lokomat	5-krat na teden, 12 tednov	Časovni test 10 m, kinematika hoje
Israel JF. in sod., 2006 (26)	12	Od 1 leta do 18 let	C, D	Tt* z asistenco, Lokomat	Eksperiment	Poraba energije in EMG
Hornby TG. in sod., 2005 (27)	3	Od 3 tednov do 18 mesecev	C, D	Lokomat, tekoči trak	3-krat na teden	FIM*, WISCI*, Časovni testi hoje: 10 m, 6 minut, test vstani in pojdi;
Winchester P. in sod., 2009 (28)	30	≤ 60 mesecev	C, D	Lokomat, tekoči trak, FES, hoja po ravnem	3-krat na teden, 3 mesece	Mišični test, MAS*, Senzibilnost, nadzor sfinktrskih mišic, sposobnost za hojo in hitrost hoje

\*Tt – tekoči trak; FES – funkcionalna električna stimulacija; FIM (Functional Independence Measure) Lestvica funkcijske neodvisnosti; WISCI (Walking Index for Spinal Cord Injury) Indeks hoje za paciente po poškodbi hrbtenjače; MAS (Modified Aschworth Scale) Modificirana Aschwortova lestvica.

## Trajanje vadbe, hitrost hoje, odvzem telesne teže

Čas trajanja učenja hoje je bil odvisen od namena raziskave: od vadbe samo enkrat (15) do večtedenske serije ponovitev (8, 14, 17, 18, 22, 23). V povprečju so pacienti vadili od dva do trikrat tedensko (8, 14, 18, 22, 23, 27, 30). V dveh primerih, ko so obravnavali paciente v kroničnem stanju (več kot eno leto po poškodbi), je vadba potekala petkrat tedensko (24, 25). Pri pacientih, ki so bili vključeni v serijo ponovitev učenja hoje na napravi Lokomat, je bil čas trajanja posamezne serije odvisen od posameznikove vzdržljivosti, vendar ni bil daljši kot eno uro, ob čemer so upoštevali tudi nameščanje pacienta v napravo. Pri vadbi so bile uporabljene različne hitrosti: 2 km/h, kot začetna (27) in kot konstantna hitrost pri eksperimentu (15), v dveh primerih je bila začetna hitrost 1.5 km/h (8, 17), končna hitrost pa 3,2 km/h (24, 25) glede na zmožnosti preiskovancev. Največji odvzem teže na začetku vadbe je bil 75 % (27). Pri obravnavi pacientov v akutnem stanju je bil začetni odvzem teže višji (8, 17, 27).

## Različni protokoli za merjenje izida

V zgoraj omenjene študije so bili vključeni pacienti z nepopolnimi okvarami hrbtenjače z ocenami B, C in D po Lestvici prizadetosti Ameriškega združenja za paciente po okvari hrbtenjače (angl. American Spinal Cord Injury Association Impairment Classification Scale – ASIA). Lestvica vsebuje pet stopenj: A, B, C, D, E (29). Do sprememb, prehoda v

funkcijsko boljše stopnjo, je prišlo pri obravnavi pacientov v akutnem stanju – do enega leta po okvari (8, 17, 21).

Z motoričnim delom Lestvice funkcijske neodvisnosti (angl. Functional Independence Measure – FIM-L) so ocenili pacientovo sposobnost za hojo po ravnem, uporabo invalidskega vozička in hojo po stopnicah. Lestvica ima sedem stopenj (ocene od 1 do 7), z njo ocenjujemo stopnjo pomoči pacientu in je standardizirano orodje za ocenjevanje izida rehabilitacije (30). Druga, podobna lestvica, je Lestvica neodvisnosti po poškodbi hrbtenjače (angl. Spinal Cord Independence Measure – SCIM) (31). Ocenjevali so pacientove funkcijske sposobnosti za gibanje, pomikanje v prostoru na kratke in dolge razdalje, zunaj prostora, premagovanje stopnic in premeščanje iz invalidskega vozička v avto (31) in pri tem uporabili motorični del lestvice.

Najbolj pogosto uporabljena ocenjevalna lestvica za oceno pacientove sposobnosti za hojo pred obravnavo in po njej je bil Indeks hoje za paciente po poškodbi hrbtenjače (angl. Walking Index for Spinal Cord Injury – WISCI) (32). Lestvica natančno opiše, katere pripomočke pacient uporablja med hojo in koliko pomoči potrebuje med hojo na razdalji desetih metrov. Lestvica je 20-stopenjska, pri čemer ocena 0 pomeni, da pacient ne more hoditi niti s pomočjo fizioterapevta, 20 pa pomeni, da hodi brez pripomočkov in brez pomoči (32). Wirz in sod. (14) glede na študijo učinkov učenja hoje s pomočjo naprave Lokomat pri dvajsetih bolnikih z nepopolno okvaro hrbtenjače menijo, da je ocenjevalna lestvica WISCI premalo občutljiva in ne odkrije majhnih sprememb pri hoji. Drugi avtorji menijo, da so časovni testi hoje bolj

občutljivi, test hoje na deset metrov, šestminutni test hoje ter test Vstani in pojdi (33, 34). Test hoje na deset metrov meri hitrost hoje, šestminutni test hoje pa meri vzdržljivost pacientov pri hoji (33), oba testa sta veljavni in zanesljivi merilni orodji za ocenjevanje hoje pri pacientih s poškodbo hrbtenjače (35). Mišični tonus pri pacientih so po Modificirani Aschworthovi lestvici (36) ocenjevali Wirz in sod. (14) ter Winchesterjeva in sod. (28). Wirz in sod. (14) so za oceno mišičnega tonusa uporabili tudi Orodje za meritev spastičnosti pri okvari hrbtenjače (angl. Spinal Cord Assessment Tools for Spasticity – SCAT) (37).

Poleg časovnih testov je pomemben dejavnik ocenjevanja hoje pri pacientih tudi kinematika hoje – obsegi gibov posameznih delov njihovega telesa in kinetika hoje – delovanje notranjih in zunanjih sil na hojo (38). Duschau-Wicke in sod. (15) so to opazovali med štirimi različnimi modeli hoje na napravi Lokomat. Pacienti, ki sta jim robotizirani ortozi dovolili več sprememb vzorca hoje, so pri hoji aktivneje sodelovali kot tisti, ki sta jim ortozi ostro začrtali vzorec hoje (15). Nooijenova in sod. (25) so s pomočjo kamere na razdalji šestih metrov pri pacientih opazovali dolžino koraka, dolžino dvojnega koraka, število korakov v eni minuti, simetrijo korakov, usklajenost med segmenti ene noge in časovno zaporedje iztegovanja kolena. Med skupinami ni bilo statistično pomembnih razlik. Pri vseh preiskovancih se je izboljšala kakovost hoje, pri skupini preiskovancev, ki so hojo vadili na napravi Lokomat, pa so ugotovili, da se je pri njih najmanj izboljšanja dolžina koraka in dolžina dvojnega koraka (25).

## Lokomat in EMG

Mišično dejavnost pri pacientih med hojo so analizirali s pomočjo površinske elektromiografije (EMG). Preiskava je potrdila sočasno dejavnost velikega števila mišic med hojo, kdaj in kako so mišice dejavne glede na posamezne faze in podfaze hoje (38). Duschau-Wicke in sod. (15) so merili EMG aktivnost pri štirih modelih vadbe na napravi Lokomat glede na obliko aktivnega sodelovanja oziroma uporabo vodilne sile (angl. guidance force). Ugotovili so, da pacienti z okvaro hrbtenjače uporabljajo več mišične aktivnosti med takšnim načinom vadbe z manj omejeno potjo in podpornim tokom, ki pomaga gibanju nog vzdolž poti. Ker so pacienti zares aktivno prispevali h gibom in niso nasprotovali uporabi robota, so dosegali tudi višje srčne utripe (15). Israel in sod. (26) so merili mišično aktivnost pri pacientih med učenjem hoje na tekočem traku in učenjem hoje na napravi Lokomat, ki je kazala odstopanja od običajne mišične aktivnosti med hojo. EMG aktivnost flektornih mišic kolka je bila nižja pri hoji na napravi Lokomat kot pa pri hoji na tekočem traku s pomočjo fizioterapevta. Ta razlika je bila manjša, ko so paciente prosili, naj aktivneje sodelujejo, torej da povečajo svoj napor pri hoji na napravi Lokomat. Pri hoji na napravi Lokomat se je povečala EMG aktivnost plantarnih flektornih mišic v fazi zamaha, ki je lahko generirana zaradi poveča-

nega raztega mišice med iztegnjenim kolonom in mehansko obremenitvijo, povzročeno s pasivnim mehanizmom za fiksacijo stopala (26).

Kljub temu da naprava Lokomat nadomesti pomoč dveh ali treh fizioterapevtov pacientu pri izvedbi korakov, mora tudi pri tem načinu vadbe en fizioterapevt spremljati, voditi in prilagajati razbremenitev pacientove teže, vodilno silo in hitrost njegove hoje ves čas vadbe. Med hojo nastanejo številni mišični vzorci aktivacij – sinergij, ki dopolnjujejo potrebno mišično koordinacijo za pomikanje. S študijo pri zdravih preiskovancih so ugotovili, da je mišična koordinacija med hojo z velikim odvzemom teže in višjo frekvenco dvojnega koraka ter hojo z majhnim odvzemom teže in nižjo frekvenco dvojnega koraka podobna (42). Glede na rezultate študij EMG opazovanja mišične aktivnosti med hojo na napravi Lokomat (14, 28) se ta aktivnost poveča z upoštevanjem povratnih informacij o izvedbi korakov, ki jih pacienti dobijo na monitorju, pri uporabi ogledala, pri hoji v navideznem okolju in z verbalnimi spodbudami. Ugotovitev je pričakovana, spodbude in povratne informacije s pridom uporabljamo tudi pri drugih fizioterapevtskih postopkih.

## Lokomat in refleksna aktivnost

Refleksna aktivnost ima pomembno vlogo pri vzpostavljanju pokončnega položaja. Prav tako je refleksna aktivnost večja med fazo opore pri hoji, ko le-ta pomaga vzdrževati pokončni položaj telesa proti težnosti telesa. Refleksna aktivnost se s položajem spreminja, drugačna je v pokončnem položaju (39). Učinek vadbe hoje na napravi Lokomat je v področju mišic gležnja pokazal zmanjšanje refleksne aktivnosti (18). Tudi povečana refleksna aktivnost se s položajem spreminja, drugačna je v pokončnem položaju obsega aktivnega giba, odvisna je od hitrosti in pospeševanja hotenega giba (18). Z eno od EMG preiskav ugotavljamo refleksni odziv vala H. Z električnim draženjem tibialnega živca v višini poplitealne kotanje se izvabi refleksni EMG odziv mišice soleus, ki se imenuje val H. To je električno izvajljivi oligosinaptični spinalni refleks, ki je analogen kitnemu refleksu. Z električnim draženjem se vzdružijo neposredno vlakna Ia in se tako obidejo receptorji na nateg (40). Modulacija refleksa H med hojo ni le pasivna posledica ravni vzdružjenja motoričnega nevrona  $\alpha$ , ampak je odvisna od centralnih mehanizmov in vse to skupaj oblikuje vzdružjenje motoričnega nevrona  $\alpha$  (30). Novo metodo merjenja refleksa H mišice soleus v srednji fazi zamaha in srednji fazi opore pri hoji na napravi Lokomat je ocenjeval Query s sod. (19). Stimulacija refleksa H mišice soleus je bila usklajena z goniometričnimi podatki o fazah koraka pri vadbi hoje na napravi Lokomat v srednji fazi opore in srednji fazi zamaha. Kamibayshi in sod. (20) so opazovali učinek senzoričnega priliva na amplitudo refleksa H mišice soleus pri 100 in 40 odstotni razbremenitvi telesa pri vadbi hoje na napravi Lokomat. Študija je dokazala, da ima periferni senzorični priliv pomembno vlogo pri fazno odvisni modulaciji refleksa H mišice soleus, njegovo

va vzdražljivost je manj odvisna od priliva, povezanega z obremenitvijo (20).

Dietz in sod. (21) so preučevali časovni potek razvoja sposobnosti za hojo in hrbtenjačnih refleksov (HR) pri pacientih po popolni poškodbi hrbtenjače. Osem tednov po poškodbi pride do zgodnje komponente HR (zakasnitev od 60 do 120 ms), ta je enaka vrednosti pri zdravih osebah in pri pacientih med vadbo hoje s fizioterapevtovo pomočjo. Okoli šest mesecev po poškodbi pride do pozne refleksne komponente (zakasnitev od 120 do 450 ms), ki ostane tudi še 15 let po okvari, medtem ko zgodnja komponenta HR znatno upade 18 mesecev po poškodbi. Te spremembe HR so bile združene z EMG aktivnostjo, z močnejšim EMG izčrpavanjem med hojo pacientov s fizioterapevtovo pomočjo. Pri pacientih s težko sliko nepopolne senzorično-motorične okvare, ki niso bili vključeni v redno učenje hoje, je bila prisotna pozna komponenta HR, združena z EMG izčrpavanjem (21). Hubli in sod. (22) so nadaljevali to delo v študiji o povezanosti odziva HR in sposobnosti za hojo pri ljudeh po okvari hrbtenjače. Hrbtenjačne reflekse lahko uporabimo kot označevalnik (znak) za sposobnost za hojo pri pacientih po okvari hrbtenjače. Plastičnost živčevja, ki je posledica funkcionalne vadbe hoje, se je kazala tako v izboljšanju funkcije hoje kot v spremembi ravnovesja komponent HR v prid zgodnje komponente (22).

## Lokomat in funkcionalna magnetna resonanca (fMRI)

fMRI je postopek, ki meri aktivnost možganov z ugotavljanjem sprememb krvnega pretoka (41). S to metodo so Winchesterjeva in sod. (23) opazovali učinke 12-tedenskega učenja hoje s pomočjo naprave Lokomat na supraspinalno reorganizacijo pri dveh pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače v akutni fazi in pri dveh pacientih z nepopolno okvaro hrbtenjače v kronični fazi (več kot eno leto po poškodbi). Opazovali so področja v možganih, ki pripadajo plantarnim flektornim mišicam in flektornim mišicam palca. K nalogi usmerjena vadba je povečala supraspinalno plastičnost. Spremembe so bile večje pri tistih preiskovancih, pri katerih je preteklo manj časa od poškodbe, hoja po ravnem je vplivala na večje spremembe v malih možganih (23). Ugotovitve raziskave so pričakovane, saj hojo upravljajo višji živčni centri s hotenimi funkcijami možganske skorje in programirani vzorci na ravni globokih možganskih jeder, pomembno pa je tudi sodelovanje hrbtenjačnih refleksov (36).

## Napovedovanje izida

Winchesterjeva in sod. (28) so pri oblikovanju napovednega modela za uspešen izid dolgotrajne vadbe hoje upoštevali naslednje spremenljivke: čas od poškodbe, ocene manualnega mišičnega testa za pet ključnih mišic (flektorne mišice kolka, ekstenzorne mišice kolena, dorzalna in plantarna

flektorna mišica stopala, ekstenzorna mišica palca), spastičnost, senzibilnost (površinska in vibracije), hoteni nadzor funkcij sfinktrskih mišic mehurja in črevesa, sposobnost hoje (WISCI), hitrost hoje in izbrali štiri ključne spremenljivke za napovedni model. To so: čas od poškodbe, ali pacient nadzoruje sfinktrske mišice, ocena povišanega mišičnega tonusa in sposobnost hoje po ravnem pred začetkom vadbe (28).

## Vključitveni in izključitveni dejavniki

Za katere paciente po poškodbi hrbtenjače je primerna te vrste vadba hoje in kdaj z njo začeti je odvisno od več dejavnikov. Ponovno učenje hoje pri pacientih z nepopolno poškodbo hrbtenjače je dolgotrajen proces. Veliko časa je potrebno, da bi pacient lahko samostojno hodil po ravnem. Winchesterjeva in sod. (28) svetujejo, da je treba pri vključitvi pacienta upoštevati klinične značilnosti z napovedno veljavnostjo. Pomemben pokazatelj za vključitev pacienta so značilnosti njegovih HR (22). Kot izključitveni kriterij za začetek uporabe naprave Lokomat za vadbo hoje pri pacientih je uporaba steznika (prevelik pritisk pasu za odvzem teže) in ortostatska hipotenzija – padec sistoličnega krvnega pritiska pri pacientih za več kot 20mmHg in diastoličnega za 10mmHg pri prehodu iz sedečega v stoječi položaj (28).

Prehod iz vadbe hoje na napravi Lokomat na vadbo hoje na tekočem traku z delno razbremenitvijo telesne teže je mogoč, ko je pacient sposoben generirati normalne korake in ko za vzdrževanje njegovega pokončnega položaja zadostuje en fizioterapevt (27). Tega načela se pri našem delu držimo tudi mi. Ko je pacient zmožen samostojno hoditi na tekočem traku in/ali po ravnem s pripomočki ali brez pomoči in/ali s pomočjo enega fizioterapevta, damo prednost tem oblikam vadbe. Hojo na tekočem traku z delno razbremenitvijo telesne teže so ukinili, ko so bolniki dosegali plato v ocenah funkcionalnih lestvic v obdobju vsaj štirih tednov (27).

## Študije metaboličnih učinkov in učinkov na delovanje srca

Pomemben del vsakega rehabilitacijskega programa je aerobna vadba (16, 43, 44). Aktivacija mišic ima pomembno vlogo pri metaboličnem odzivu pacientovega telesa (14, 20). Za boljše razumevanje srčno-žilnega odziva med hojo na napravi Lokomat so Magagnin in sod. (45) ocenjevali odziv avtonomnega živčevja pri zdravih osebah med sedenjem, pri stoji, med suspenzijo, med hojo pri 1.5 km/h in 2.5 km/h in pri počitku v stoječem položaju. Rezultati so pokazali izrazito tahikardijo z zmanjšanjem variance med fazo suspenzije v primerjavi s sedenjem, spektralna analiza ni pokazala statistično značilnega odziva avtonomnega živčevja v okviru protokola, simbolna analiza pa je zaznala povečano modulacijo simpatičnega živčevja med suspenzijo in povečano modulacijo vagusnega živca med hojo (45). Hidler in sod. (43) so predstavili predhodno študijo,

v kateri so opazovali metabolični in srčni odziv pri skupini pacientov po nepopolni poškodbi hrbtenjače v akutnem obdobju. Ker je bila skupina majhna (5 v vadbo vključenih preiskovancev in 4 v kontrolni skupini), ni bilo mogoče narediti statistične obdelave podatkov. Trend rezultatov kaže, da je po 72 serijah vadbe pri preiskovancih prišlo do znižanja srčnega utripa, povečane porabe kisika in nižje frekvence dihanja. Ta naprava omogoča dalj časa trajajočo vadbo v primerjavi z drugimi postopki ponovnega učenja hoje, zato je spremljanje srčno-žilnega in metaboličnega odziva priporočljivo.

## ZAKLJUČEK

Uporaba naprave Lokomat v zgodnji fazi motoričnega učenja in ponovnega vzpostavljanja hoje pri ljudeh z nepopolno okvaro hrbtenjače je pri rehabilitaciji le-teh velika pridobitev. Dobro vodenje postopka vadbe, uporaba biološke povratne zanke in verbalne spodbude prispevajo k večji mišični aktivnosti, boljši mišični koordinaciji, večjemu metaboličnemu odzivu in plastičnosti živčevja na ravni hrbtenjače in v višjih živčnih centrih. Kakor v vseh ustanovah v tujini, ki za vadbo hoje uporabljajo napravo Lokomat, bo tudi v prihodnje ta oblika vadbe le eno od dodatnih fizioterapevtskih orodij, ki jih ponujamo našim pacientov. Razumeti ga moramo namreč kot orodje, ki v nobenem primeru ne more nadomestiti fizioterapevta, mu pa delo močno olajša. Skupaj z drugimi fizioterapevtskimi tehnikami, ki jih uporabljamo, smo tako povsem enakovredni centrom v tujini, ki se ukvarjajo z rehabilitacijo teh oseb. Pri raziskavah se tudi v tujini srečujejo s težavo, da je število preiskovancev relativno majhno, kar pomeni majhne vzorce, ki niso reprezentativni in ne prinašajo statistično pomembnih rezultatov. Zato za namene študij združujejo podatke različnih centrov v eni raziskavi. Ena takih raziskav z vodilnim centrom v Švici ravnokar poteka (46).

## Literatura:

- Lam T, Eng JJ, Wolfe DL, Hsieh JT, Whittaker M; The SCIRE Research Team. A systematic review of the efficacy of gait rehabilitation strategies for spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2007; 13(1): 32-57.
- MacKay-Lyons M. Central pattern generation of locomotion: a review of the evidence. *Phys Ther* 2002; 82(1): 69-83.
- Behrman AL, Harkema SJ. Locomotor training after human spinal cord injury: a series of case studies. *Phys Ther* 2000; 80(7): 688-700.
- Dietz V, Harkema SJ. Locomotor activity in spinal cord-injured persons. *J Appl Physiol* 2004; 96(5): 1954-60. Dostopno na: [www.jap.org](http://www.jap.org)
- Ferris DP, Sawicki GS, Domingo A. Powered lower limb orthoses for gait rehabilitation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2005; 11(2): 34-49.
- Colombo G, Wirz M, Dietz V. Driven gait orthosis for improvement of locomotor training in paraplegic patients. *Spinal Cord* 2001; 39(5): 252-5.
- Colombo G, Joerg M, Schreier R, Dietz V. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev* 2000; 37(6): 693-700. Dostopno na: [www.vard.org](http://www.vard.org)
- Špoljar J, Obreza P. Ponovno učenje hoje pri pacientu z okvaro hrbtenjače v vratnem delu s sistemom Lokomat: poročilo o primeru. *Fizioterapija* 2011; 19(6): 27-34.
- Riener R, Lünenburger L, Colombo G. Human-centered robotics applied to gait training and assessment. *J Rehabil Res Dev* 2006; 43(5): 679-94.
- Bolliger M, Banz R, Dietz V, Lünenburger L. Standardized voluntary force measurement in a lower extremity rehabilitation robot. *J Neuroeng Rehabil* 2008; 8(10): 1135-45. Dostopno na: [www.jneuroengrehab.com/5/1/23](http://www.jneuroengrehab.com/5/1/23)
- Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2008; (4): CD006676. Dostopno na: [www.thecochranelibrary.com](http://www.thecochranelibrary.com)
- Puh U. Z dokazi podprta nevrofizioterapija. *Rehabilitacija* (Ljubljana) 2010; 9(supl.1): 19-26.
- Swinnen E, Duerinck S, Baeyens JP, Meeusen R, Kerkhofs E. Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury: a systematic review. *J Rehabil Med* 2010; 42(6): 520-6.
- Wirz M, Zemon DH, Rupp R, Scheel A, Colombo D, Dietz V, et al. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(4): 672-80.
- Duschau-Wicke A, Caprez A, Riener R. Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *J Neuroeng Rehabil* 2010; 7: 43. Dostopno na: [www.jneuroengrehab.com](http://www.jneuroengrehab.com)
- Hunt KJ, Jack LP, Pennycott A, Perret C, Baumberger M, Kakebeeke TH. Control of work rate-driven exercise facilitates cardiopulmonary training and assessment during robot-assisted gait in incomplete spinal cord injury.



- Biomed Signal Process Control 2008; 3(1): 19-28.  
Dostopno na: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
17. Moreh E, Meiner Z, Neeb M, Hiller N, Schwartz I. Spinal decompression sickness presenting as partial Brown-Sequard syndrome and treated with robotic-assisted body-weight support treadmill training. *J Rehabil Med* 2009; 41(1): 88-9.
  18. Mirbagheri MM, Tsao C, Pelosin E, Rymer WZ. Therapeutic effect of robotic-assisted locomotor training on neuromuscular properties. 2005. V: ICORR 2005: IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics: proceedings, Chicago, June 28 – July 1, 2005. [Elektronski vir]. [Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineering = IEEE], 2005: 561-4.
  19. Querry RG, Pacheco F, Annaswamy T, Goetz L, Winchester PK, Tansey KE. Synchronous stimulation and monitoring of soleus H reflex during robotic body weight-supported ambulation in subjects with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 2008; 45(1): 175-86.
  20. Kamibayashi K, Nakajima T, Fujita M, Takahashi M, Ogawa T, Akai M, et al. Effect of sensory inputs on the soleus H-reflex amplitude during robotic passive stepping in humans. *Exp Brain Res* 2010; 202(2): 385-95.
  21. Dietz V, Grillner S, Trepp A, Hubli M, Bolliger M. Changes in spinal reflex and locomotor activity after a complete spinal cord injury: a common mechanism? *Brain* 2009; 132(Pt 8): 2196-205.
  22. Hubli M, Volker D, Bolliger M. Spinal reflex activity: a marker for neuronal functionality after spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2012; 26(2): 188-96.
  23. Winchester P, McColl R, Querry R, Foreman N, Mosby J, Tansey K, et al. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2005; 19(4): 313-24.
  24. Field-Fote EC, Lindley SD, Sherman AL. Locomotor training approaches for individuals with spinal cord injury: a preliminary report of walking-related outcomes. *J Neurol Phys Ther* 2005; 29(3): 127-37.
  25. Nooijen CF, Ter Hoeve N, Field-Fote EC. Gait quality is improved by locomotor training in individuals with SCI regardless of training approach. *J Neuroeng Rehabil* 2009; 6: 36. Dostopno na: [www.jneuroengrehab.com](http://www.jneuroengrehab.com)
  26. Israel JF, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Metabolic costs and muscle activity patterns during robotic- and therapist-assisted treadmill walking in individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2006; 86(11): 1446-78.
  27. Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2005; 85(1): 52-66.
  28. Winchester P, Smith P, Foreman N, Mosby JM, Pacheco F, Querry R, et al. A prediction model for determining over ground walking speed after locomotor training in persons with motor incomplete spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2009; 32 (1): 63-71.
  29. Maynard FM Jr, Bracken MB, Creasey G, Ditunno JF Jr, Donovan WH, Ducker TB, et al. International Standards for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury. *Spinal Cord* 1997; 35(5): 266-74.
  30. Cohen ME, Marino RJ. The tools of disability outcomes research functional status measures. *Arch Phys Med Rehabil* 2000; 81(12 Suppl 2): S21-9.
  31. Itzkovich M, Tripolski M, Zeilig G, Ring H, Rosentul N, Ronen J, et al. Rasch analysis of the Catz-Itzkovich spinal cord independence measure. *Spinal Cord* 2002; 40(8): 396-407.
  32. Dittuno PL, Ditunno JF Jr. Walking index for spinal cord injury (WISCI II): scale revision. *Spinal Cord* 2001; 39(12): 654-6.
  33. Wade DT, Wood VA, Heller A, Maggs J, Langton Hewer R. Walking after stroke: measurement and recovery over the first 3 month. *Scand J Rehabil Med* 1987; 19(1): 25-30.
  34. Podsiadlo D, Richardson S. The timed »Up & Go«: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991; 39(2): 142-8.
  35. van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Assessing walking ability in subjects with spinal cord: validity and reliability of 3 walking tests. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(2): 190-6.
  36. Aschworth B. Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis. *Practitioner* 1964; 192: 540-2.
  37. Benz EN, Hornby TG, Bode RK, Scheidt RA, Schmit BD. A physiologically based clinical measure for spastic reflexes in spinal cord. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(1): 52-9.
  38. Gregorič M, Krajnik J. Elektrofiziološke preiskave hoje v nevrorehabilitaciji. V: Gregorič M, ur. Klinična nevrofiziologija in kineziologija v rehabilitaciji. 6. re-

- habilitacijski dnevi, Ljubljana, 14. in 15. oktober 1994. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, 1996: 233-76.
39. Capaday C, Stein RB. Amplitude modulation of soleus H-reflex in the human during walking and standing. *J Neurosci* 1986; 6(5): 1308-13.
40. Gregorič M. Osnove elektrodiagnostike. V: Gregorič M, ur. Klinična nevrofiziologija in kineziologija v rehabilitaciji. 6. rehabilitacijski dnevi, Ljubljana, 14. in 15. oktober 1994. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, 1996: 75-118.
41. Functional magnetic resonance imaging. Dostopno na: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
42. Klarner T, Chan HK, Wakeling JM, Lam T. Patterns of muscle coordination vary with stride frequency during weight assisted treadmill walking. *Gait Posture* 2010; 31(3): 360-5.
43. Hidler J, Hamm LF, Lichy A, Groah SL. Automating activity-based interventions: the role of robotics. *J Rehabil Res Dev* 2008; 45(2): 337-44.
44. Erjavec T. Zahtevnost gibanja in posebnosti vzdržljivostne vadbe pri trajni oviranosti zaradi bolezni ali poškodbe. V: Erjavec T, ur. Internistični bolnik v rehabilitaciji 2012: zbornik prispevkov seminarja, Ljubljana, 3. 3. 2012. Ljubljana: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije-Soča, 2012: 19-25.
45. Magagnin V, Porta A, Fusini L, Licari V, Bo I, Turiel M, et al. Evaluation of the autonomic response in healthy subjects during treadmill training with assistance of a robot-driven gait orthosis. *Gait Posture* 2009; 29(3): 504-8.
46. Wirz M, Bastiaenen C, de Bie R, Dietz V. Effectiveness of automated locomotor training in patients with acute incomplete spinal cord injury: a randomized controlled multicenter trial. *BMC Neurol* 2011; 11: 60-5.