

## NEUROREHABILITACIJA ROBOTIKOM U PEDIJATRIJI

STELA RUTOVIĆ<sup>1,2</sup>, NIKOLINA KRISTIĆ CVITANOVIĆ<sup>3</sup>, JOSIP GLAVIĆ<sup>4</sup>

*Cilj: Robotska neurorehabilitacija spada u novu tehnologiju koja pruža trening visoke doze i intenziteta i sve više se koristi u rehabilitaciji pacijenata s motoričkim deficitom nastalim kao posljedica bilo koje neurološke bolesti. S obzirom na visoku cijenu važno je znati kolika je njena učinkovitost i najoptimalniji način primjene.*

*Metode: Pretražene su baze podataka s eksperimentalnim studijama kako bi se utvrdio opseg i kvaliteta literature o robotski potpomognutoj neurorehabilitaciji u djece. Pretraživanje literature učinjeno je prema PRISMA protokolu.*

*Rezultati: Većina studija uključila je djecu s cerebralnom paralizom, te pokazala pozitivne učinke neurorehabilitacije robotikom na funkcionalnost gornjih i donjih ekstremiteta. Zbog heterogenosti terapijskih ciljeva i metodologije studija terapijski protokoli su varirali u trajanju i intenzitetu, a neželjeni događaji nisu bili prijavljeni ili su bili minimalni.*

*Zaključak: U nedostatku većeg broja kvalitetnih randomiziranih studija, liječnici bi trebali koristiti individualnu kliničku procjenu mogućnosti robotske rehabilitacije za svakog pojedinog bolesnika. Buduće studije trebaju imati kvalitetniji dizajn, veće uzorke, standardizirane metode, mjere ishoda i ispitati učinkovitost u različitim dobnim skupinama, populacijama i etiologijama.*

Deskriptori: ROBOTSKA NEUROREHABILITACIJA, DJECA

### Uvod

Motorički deficit u djece nastaje kao posljedica brojnih neuroloških poremećaja kao što su cerebralna paraliza, traumatska ozljeda mozga ili heredodegenerativne bolesti. Osim smanjene grube motoričke snage i pokretljivosti ekstremiteta, djeca mogu imati i ograničenje sudjelovanja u aktivnostima svakodnevnog života u školi, kući ili drugom okruženju.

Opravak senzomotornih funkcija nakon oštećenja središnjeg živčanog sustava temelji se na neuroplastičnosti. Robotska neurorehabilitacija omogućava visoke doze i intenzitete treninga čime snažno potiče neuroplastičnost mozga

pa se koristi u rehabilitaciji pacijenata s motoričkim deficitom nastalim kao posljedica bilo koje neurološke bolesti (1). Robotski uređaji za neurorehabilitaciju mogu biti egzoskeletoni koji sustavom opruga pružaju potporu cijelom udu i uređaji koji imaju učinak samo na distalnim dijelovima udova (engl. "end-effectors") (2). Robotski uređaji pružaju ekstremitetima dovoljnu potporu za izvođenje velikog broja ponavljanja fizioloških pokreta. Igranjem zabavnih video igara i pomoću feedbacka mladi pacijenti su motivirani čim jače aktivno sudjelovati što dovodi do boljeg ostvarivanja postavljenih terapijskih ciljeva.

Ova svojstva čine, ovisno o indikaciji, robotsku rehabilitaciju dokazanom ili obećavajućom novom tehnologijom za rehabilitaciju neuroloških bolesnika. Broj novih robotskih uređaja, kao i broj istraživanja u ovom području kontinuirano se povećava. Sve je više znanstvenih dokaza o učinkovitosti rehabilitacijske robotike u odraslih (3). Cilj je ovog članka dati pregled dokaza o učinkovitosti neurorehabilitacije robotikom u djece.

### Metode

Pretražene su baze podataka s eksperimentalnim studijama kako bi se utvrdio opseg i kvaliteta literature o robotski potpomognutoj neurorehabilitaciji u djece (5-17 godina). Uključene su studije o djeci s motoričkim deficitom kao posljedicom neurološke bolesti bilo koje etiologije, bilo kojeg perioda rehabilitacije s više od jednim terapijskim postupkom, koristeći bilo koji robotski uređaj za rehabilitaciju ruke ili noge čiji se učinak može razlučiti od standardne rehabilitacije.

### Strategija pretraživanja

Pretraživanje literature učinjeno je prema PRISMA protokolu (4). Pretraživanje je učinjeno s ključnim riječima (engl.): "pediatric or paediatric and rehabilitation", "child", "child\* or adolescent\*", "leg\* or arm\* rehabilitation", "lokomat or robotic assisted treadmill", "arneo or robotic assisted hand rehabilitation". Pretražene su sljedeće baze podataka: EMBASE (1980.-2018.); Cochra-

<sup>1</sup>Poliklinika Glavić Zagreb

<sup>2</sup>Medicinski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

<sup>3</sup>Klinika za dječje bolesti Zagreb

<sup>4</sup>Poliklinika Glavić Dubrovnik

Adresa za dopisivanje:

Stela Rutović, dr. med., specijalist neurolog  
10000 Zagreb, Radnička Cesta 54  
E-mail: stela.rutovic@gmail.com

ne Database of Systematic Reviews (1993.-2018.); MEDLINE (1980.-2018.); i Scopus (1960.-2018.). Skupina autora isključila je ponavljajuće članke, članke koji nisu bili na engleskom jeziku i one koji nisu bili originalna autorska istraživanja. Uključujući kriteriji bili su eksperimentalne randomizirane studije, prospektivne studije kontrolirane slučajem, provedene na uzorku djece stare 5 do 17 godina i kada je kao primarna intervencijska metoda korištena robotska rehabilitacija trajanja više od jednog postupka. Dijagram toka koji opisuje način probira radova prikazan je prema PRISMA kriterijima (Slika 1).

## Rezultati

U većini studija uključena su djeca s cerebralnom paralizom (bilateralni, unilateralni spastični i diskinetički oblik).

Učinak robotske neurorehabilitacije prikazan je i kod drugih kliničkih stanja kao što je traumatska ozljeda mozga, paraplegija, moždani udar, Guillain Barre sindrom i displazija kuka (5, 6). Zbog heterogenosti terapijskih ciljeva i metodologije studija ne postoji jasno definirani protokol treninga. Opisani su razni protokoli koji podrazumijevaju trajanje individualnog treninga od 25 do 60 minuta, 2-5 puta tjedno, a sveukupno trajanje od 2-12 tjedana (6-9).

Analizirane studije, u većini slučajeva, ishode su prikazale kao mjeru promjene kvantitete motoričke aktivnosti. Dvije randomizirane kliničke studije pokazale su bolji učinak robotske rehabilitacije na funkcionalnost gornjih ekstremiteta od klasične fizikalne terapije (10, 11). Nekoliko studija pokazalo je pozitivan učinak robotske terapije na

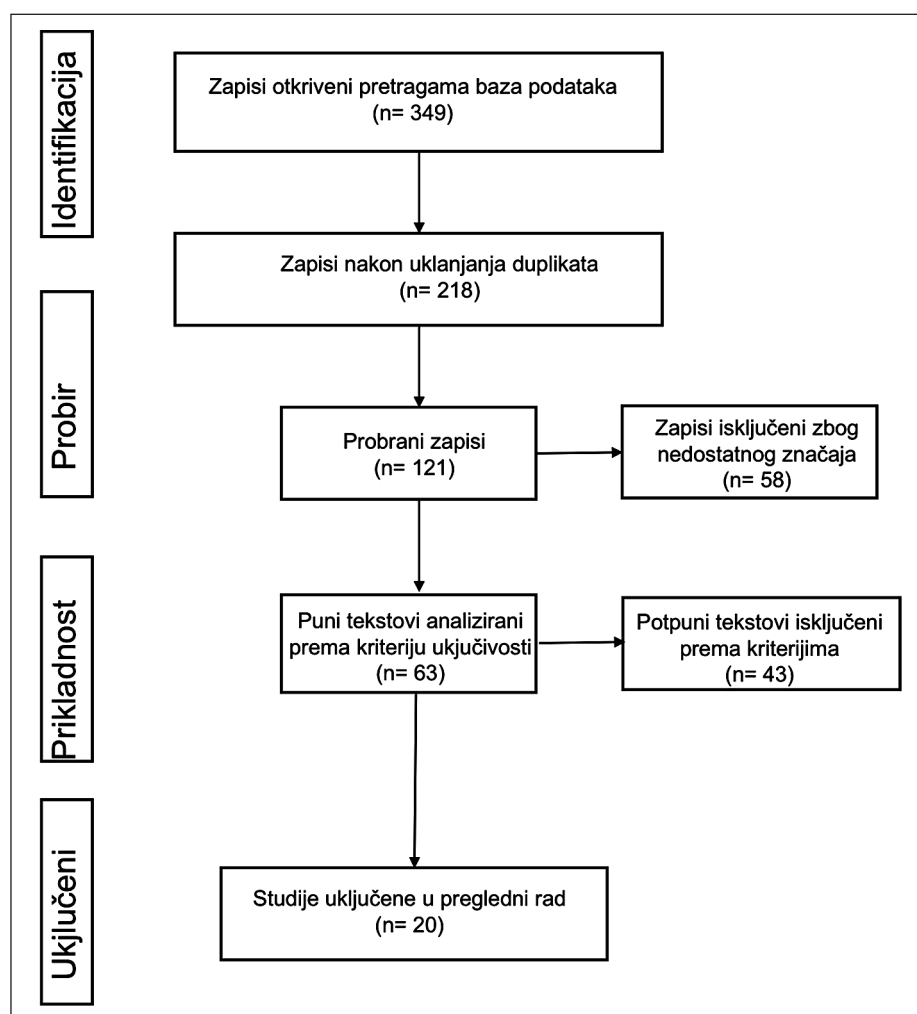
funkcionalna poboljšanja koordinacije i fluentnosti pokreta gornjih ekstremiteta (12-16). Dvije randomizirane kliničke studije pokazale su poboljšanje brzine hoda i ravnoteže kod robotske rehabilitacije donjih ekstremiteta nasuprot konvencionalne fizikalne terapije (17, 18). U jednoj studiji nije nađena značajna razlika između robotske rehabilitacije i klasične fizikalne terapije za poremećaje hoda (8).

Međutim, u preostalim studijama koje su kao mjeru ishoda koristile učinak na 10mWT testu, pokazan je napredak u periodima praćenja od 1, 3 i 6 mjeseci (9, 19, 20). U djece s cerebralnom paralizom korišteni su odjelci D ili E (stajanje ili hodanje) iz GMFM-66 testa. Sve su studije (osim studije van Hedela i sur.) pokazale napredak u D odjeljku (stajanju), a 6 studija pokazalo je statistički značajno poboljšanje u E odjeljku (hodanju) (6, 9, 20-24). U 3 studije dokazan je pozitivan učinak robotski potpomognute rehabilitacije na ustrajnost hodanja procijenjenu 6 minutnim testom hodanja (6mWT) (9, 17, 20).

U tri studije zamijećen je pojačani učinak na facilitaciju aktivnog sudjelovanja kroz pojačanu povratnu spregu (engl. "augmented feedback") primjenom video igara s virtualnom stvarnosti koje su dodatno motivirale djecu da pojačaju svoj odgovor na različite stupnjeve zahtjevnosti treninga tijekom rehabilitacije (7, 19, 25). Kako je cijena robotski potpomognute rehabilitacije jedan od značajnijih ograničavajućih čimbenika za širu dostupnost iste, zanimljivo je da niti u jednoj dostupnoj studiji nije učinjena analiza omjera cijene i koristi (engl. "cost-benefit") u odnosu na alternativne oblike terapije.

## Nuspojave

Samo su u studiji Borggarefe i sur. koja je istraživala rehabilitaciju nogu analizirane nuspojave metoda robotski potpomognute rehabilitacije. Prijavljeno je 47 nuspojava u 38 od 89 sudionika. Najčešće nuspojave bile su mišićna bol i eritem ili kožne lezije na mjestima kontakta sa suspenzorom. Ove nuspojave ispitanici su prijavili kao blage do



Slika 1. PRISMA dijagram toka s opisom načina probira uključenih studija.

umjerene, a vrlo malo je ispitanika zbog nuspojava isključeno iz terapijskog postupka (5).

### Diskusija

Deficiti u aktivnostima svakodnevnog života (engl. "activities of daily life, ADL") česti su u djece s poremećajima motorike gornjih i donjih udova. Posljednjih godina robotska neurorehabilitacija postaje novi alat za rehabilitaciju djece s cerebralnom paralizom i traumatskom ozljedom mozga, ali i u drugim neurološkim bolestima koje dovode do motoričkih hendikepa. Zbog heterogenosti terapijskih protokola još uvijek ne postoje prave preporuke za upotrebu robotske neurorehabilitacije u djece. Nije u potpunosti razjašnjeno koji su intenzitet i trajanje robotske rehabilitacije najprikladniji. Studija Borggraefe i sur. je pokazala da intenzivni trening od 12 tjedana pruža jako dobre rezultate nakon 6 mjeseci, ali uzimajući u obzir manjak kontrolne grupe, ne može se isključiti učinak vremena na terapijske ishode (12).

Kliničke skale standardna su metoda procjene učinka robotske rehabilitacije, a primjenjuju se prije i nakon završetka terapijskih protokola. Zanimljiva mogućnost korištenja kinematičkih senzora u robotskim uređajima kao mjere povećanja mišićne snage i opsega pokreta koja je potencijalno primjenjiva nakon ili tijekom svakog pojedinog terapijskog postupka rijetko je korištena u objavljenim studijama. Osim dobivanja informacija u stvarnom vremenu koje mogu pomoći optimizaciji postupka i planiranju daljnje rada, ova metoda može pomoći procjeni učinka različitih metoda i individualnom pristupu svakom bolesniku.

Gledano u cijelosti, dokazi o učinkovitosti robotske rehabilitacije u djece s poremećajima hoda i motorike ruku i dalje su nedostatno konzistentni i čvrsti. Većina studija uključivala je djecu s cerebralnom paralizom, a mjere ishoda nisu uključivale optimalne metode procjene. Objasnjenje leži u relativno malom broju studija i uključenih bolesnika što tumačimo ograničenom dostupnosti uređaja i visokom cijenom. Isto tako, intenzitet treninga varirao je značajno, a centri koji

su uključivali bolesnike raspolagali su samo s jednim ili najviše s nekoliko terapijskih robota.

### Zaključak

U nedostatku većeg broja kvalitetnih randomiziranih studija, liječnici bi trebali koristiti individualnu kliničku procjenu mogućnosti robotske rehabilitacije za svakog pojedinog bolesnika s poremećajem motorike ruku ili nogu. Svakom bolesniku potrebno je kontinuirano pratiti učinak robotske rehabilitacije i donositi odluke o načinu daljnjeg postupanja ovisno o postignutim ciljevima. Buduće studije trebaju imati kvalitetniji dizajn, veće uzorke, standardizirane metode, mjere ishoda i ispitati učinkovitost u različitim dobnim skupinama, populacijama i etiologijama.

Perspektiva robotske rehabilitacije, čemu u prilog govore rezultati pojedinih studija s kvalitetnijim protokolima, uključuje standardizaciju terapijskih protokola, istovremenu primjenu većeg broja različitih uređaja kako bi se postupak individualizirao te očekivani pad cijene uređaja kao posljedicu snižavanja troškova njihovog razvoja s napretkom tehnologije.

#### NOVČANA POTPORA/FUNDING

Nema/None

#### ETIČKO ODOBRENJE/ETHICAL APPROVAL

Nije potrebno/None

#### SUKOB INTERESA/CONFLICT OF INTEREST

Autori su popunili *the Unified Competing Interest form* na [www.icmje.org/coi\\_disclosure.pdf](http://www.icmje.org/coi_disclosure.pdf) (dostupno na zahtjev) obrazac i izjavljuju: nemaju potporu niti jedne organizacije za objavljeni rad; nemaju financijsku potporu niti jedne organizacije koja bi mogla imati interes za objavu ovog rada u posljednje 3 godine; nemaju drugih veza ili aktivnosti koje bi mogle utjecati na objavljeni rad./ *All authors have completed the Unified Competing Interest form at [www.icmje.org/coi\\_disclosure.pdf](http://www.icmje.org/coi_disclosure.pdf) (available on request from the corresponding author) and declare: no support from any organization for the submitted work; no financial relationships with any organizations that might have an interest in the submitted work in the previous 3 years; no other relationships or activities that could appear to have influenced the submitted work.*

### LITERATURA

- Mehrholz J, Pohl M, Platz T et al. Electro-mechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015; 11: CD006876.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, (The PRISMA Group) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med.* 2009; 6: e1000097.
- Borggraefe I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F et al. Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: A bi-centre survey. *Dev Neurorehabil.* 2010; 13: 114-9.
- Meyer-Heim A, Borggraefe I, Ammann-Reiffer C, Berweck S, Sennhauser FH, Colombo G et al. Feasibility of robotic-assisted locomotor training in children with central gait impairment. *Dev Med Child Neurol.* 2007; 49: 900-6.
- Brutsch K, Koenig A, Zimmerli L, Merrillat-Koeneke S, Riener R, Jancke L et al. Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with central gait disorders. *J Rehabil Med.* 2011; 43: 493-9.
- Druzbeck M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, Zak E et al. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *J Rehabil Med.* 2013; 45: 358-63.
- Borggraefe I, Kiwull L, Schaefer JS, Koerte I, Blaschek A, Meyer-Heim A et al. Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: an open, non-randomized baseline-treatment study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2010; 46: 125-31.
- El-Shamy SM. Efficacy of Armeo® Robotic Therapy Versus Conventional Therapy on Upper Limb Function in Children With Hemiplegic Cerebral Palsy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2018; 97 (3): 164-9.
- Gilliaux M, Renders A, Dispa D, Holvoet D, Sapin J, Dehez B, Detrembleur C, Lejeune TM, Stoquart G. Upper limb robot-assisted therapy in cerebral palsy: a single-blind randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2015; 29 (2): 183-92.
- Frascarelli F, Masia L, Di Rosa G, Cappa P, Petrarca M, Castelli E et al. The impact of robotic rehabilitation in children with acquired or congenital movement disorders. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine.* 2009; 45 (1): 135-41.
- Fasoli SE, Fragala-Pinkham M, Hughes R, Hogan N, Krebs HI, Stein J. Upper limb robotic therapy for children with hemiplegia. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation.* 2008; 87 (11): 929-36.

12. Ladenheim B, Altenburger P, Cardinal R et al. The effect of random or sequential presentation of targets during robot-assisted therapy on children. *NeuroRehabilitation*. 2013; 33 (1): 25-31.
13. Fluet GG, Qiu Q, Kelly D et al. Interfacing a haptic robotic system with complex virtual environments to treat impaired upper extremity motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Neurorehabilitation*. 2010; 13 (5): 335-45.
14. Turconi AC, Biffi E, Maghini C, Peri E, Servodio Iammarone F, Gagliardi C. May new technologies improve upper limb performance in grown up diplegic children? *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2016; 52 (5): 672-81.
15. Smania N, Bonetti P, Gandolfi M, Cosentino A, Waldner A, Hesse S et al. Improved gait after repetitive locomotor training in children with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2011; 90 (2): 137-49.
16. Druzbecki M, Rusek W, Szczepanik M, Dudek J, Snela S. Assessment of the impact of orthotic gait training on balance in children with cerebral palsy. *Acta Bioeng Biomech*. 2010; 12: 53-8.
17. Patritti B, Sicari M, Deming L, Romaguera F, Pelliccio MM, Kasi P et al. The role of augmented feedback in pediatric robotic-assisted gait training: A case series. *Technol Disabil*. 2010; 22: 215-27.
18. Borggraefe I, Meyer-Heim A, Kumar A, Schaefer JS, Berweck S, Heinen F. Improved gait parameters after robotic-assisted locomotor treadmill therapy in a six year old child with cerebral palsy. *Mov Disord*. 2008; 23: 280-2.
19. van Hedel HJA, Meyer-Heim A, Rüsçh-Bohtz C. Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy: Brief report. *Dev Neurorehabil*. 2015; 19: 1-6.
20. Schroeder AS, Homburg M, Warken B, Auffermann H, Koerte I, Berweck S et al. Prospective controlled cohort study to evaluate changes of function, activity and participation in patients with bilateral spastic cerebral palsy after Robot-enhanced repetitive treadmill therapy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2014; 18: 502-10.
21. Schroeder AS, von Kries R, Riedel C, Homburg M, Auffermann H, Blaschek A et al. Patient-specific determinants of responsiveness to robot-enhanced treadmill therapy in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2014; 56: 1172-9.
22. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Knecht B, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2010; 14: 496-502.
23. Koenig A, Wellner M, Köneke S, Meyer-Heim A, Lünenburger L, Riener R. Virtual gait training for children with cerebral palsy using the Lokomat gait orthosis. *Stud Health Technol Inform*. 2008; 132: 204-9.
24. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Knecht B, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol*. 2010; 14: 496-502.
25. Koenig A, Wellner M, Köneke S, Meyer-Heim A, Lünenburger L, Riener R. Virtual gait training for children with cerebral palsy using the Lokomat gait orthosis. *Stud Health Technol Inform*. 2008; 132: 204-9.

### Summary

#### ROBOT-ASSISTED NEUROREHABILITATION IN PEDIATRIC PATIENTS

Stela Rutović, Nikolina Kristić Cvitanović, Josip Glavić

*Aim:* Robotic neurorehabilitation is considered emerging new technologies which provides high intensity and dosage training and is being used as a rehabilitation tool in patients with motor deficit as a consequence of any neurological disease. Considering its high price, it is important to know its efficiency and the most optimal way of usage.

*Methods:* We searched databases with experimental studies in order to determine the amount and quality of evidence about robot-assisted neurorehabilitation in children. Literature search was done in accordance to PRISMA protocol.

*Results:* Most of the studies included children with cerebral palsy, and showed positive effects of robotic neurorehabilitation on upper and lower limb functionality. Due to heterogeneity of therapeutic goals and methodology therapy protocols varied in duration and intensity, and adverse events were not reported or were minimal.

*Conclusion:* In absence of larger number of high-quality randomized studies clinicians should use individual clinical assessment of therapeutical possibilities of robot-assisted training for every patient. Future studies should have higher quality design, larger sample sizes, standardized methods, outcome measures and test efficacy in different age groups, populations and etiologies.

Descriptors: ROBOTIC NEUROREHABILITATION, CHILDREN

Primljeno/Received: 3. 2. 2019.

Prihvaćeno/Accepted: 8. 3. 2019.