

## TRENING HODA UZ POMOĆ ROBOTIZOVANIH TRENAŽERA HODA KOD OSOBA NAKON MOŽDANOG UDARA

Ivana Marić<sup>1</sup>, Marija Trajkov<sup>2</sup>, Dragana Kljajić<sup>2</sup>, Milan Ilić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Specijalistička ordinacija “Drugi korak”, Beograd, Srbija

<sup>2</sup>Akademija strukovnih studija Beograd, Odsek Visoka zdravstvena škola, Srbija

## ROBOT-ASSISTED GAIT TRAINING AFTER A STROKE

Ivana Marić<sup>1</sup>, Marija Trajkov<sup>2</sup>, Dragana Kljajić<sup>2</sup>, Milan Ilić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Outpatient clinic “Drugi korak”, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup>Academy of Applied Studies Belgrade, The College of Health Sciences

### Sažetak

Poremećaj hoda, koji je nastao kao posledica moždanog udara, dovodi do značajne invalidnosti. Glavni cilj neurorehabilitacije je vraćanje funkcije samostalnog kretanja kroz konvencionalnu fizioterapiju, ali i primenu robotizovanih trenažera hoda. Cilj ovog rada je analiza dosadašnje primene robotizovanih trenažera hoda u rehabilitaciji hoda kod osoba nakon moždanog udara. U kliničkoj praksi u upotrebi su različiti tipovi uređaja koji su prilagođeni za osobe, kako u subakutnom, tako i u hroničnom stadijumu nakon moždanog udara. Promene u funkciji hoda nastale upotrebom robotizovanih trenažera hoda, kao što su povećanje brzine hoda, dužine koraka i prostorne simetrije evidentne su u kliničkoj praksi. Ipak, postoji nedostatak koji se tiče naknadnih evaluacija i dugoročnih efekata, kao i sagledavanja rizika primene ovih uređaja u rehabilitaciji hoda kod osoba nakon moždanog udara.

**Ključne reči:** trening hoda, neurorehabilitacija, egzoskelet, robotizovani uređaji, hemipareza

### Abstract

A gait disorder, which arose as a result of a stroke, leads to a significant disability. The main goal of neurorehabilitation is to restore the function of independent movement through conventional physiotherapy, but also the application of Robot-assisted Gait Training. The aim of this paper is to analyze the current use of robotic gait trainers in the rehabilitation of gait in people after a stroke. In clinical practice, there are different types of devices that are adapted for people, both in the subacute and chronic stages after suffering a stroke. Changes in gait function resulting from the use of robotic gait trainers, such as increases in gait speed, stride length, and spatial symmetry, are evident in clinical practice. However, there is a lack of follow-up evaluations and long-term effects, as well as risk assessment of the use of these devices in gait rehabilitation in people after a stroke.

**Key words:** gait training, neurorehabilitation, exoskeleton, robotic devices, hemiparesis

### Uvod

Moždani udar, kao učestali i ozbiljan globalni zdravstveni problem, dovodi do različitih funkcionalnih neuroloških deficita<sup>1</sup>. Konkretno, usled pojave motorne oduzetosti jedne polovine tela (hemipareza/hemiplegija) kao posledice moždanog udara, poremećaj hoda je dosta čest i ozbiljan invaliditet. Dosadašnje studije su pokazale da narušena funkcija hoda umanjuje socijalnu participaciju i kvalitet svakodnevnog života.<sup>2</sup> Glavni cilj neurorehabilitacije kod osoba nakon moždanog udara je vraćanje funkcije samostalnog kretanja. Konvencionalna fi-

zioterapija u okviru rehabilitacije hoda dovodi do poboljšanja brzine i izdržljivosti, posebno kada se sprovodi u ranoj fazi. Međutim, često opterećuje fizioterapeute<sup>3</sup> i onemogućava višečasovni rad na treningu hoda.

Potencijalno korisne opcije neurorehabilitacije podrazumevaju, pored konvencionalne rehabilitacije, primenu robotizovanih uređaja.<sup>4</sup> U skladu sa tim, strategije za rehabilitaciju hoda zasnovane na tehnologiji fokusirale su se na smanjenje fizičkog naprezanja fizioterapeuta uz povećanje dužine treninga hoda. Na primer, trening na traci za hod (dostiže brzinu od 0,5 km/h do 3,2 km/h, dok je opseg

pri kom se obično vrši terapija 0,7–1,3 km/h) uz suspenziju/sistem za oduzimanje stepena telesne mase (engl. *Body Weight Support – BWS*) omogućava fizioterapeutima da ručno pomeraju oduzet ekstremitet u cikličnom kretanju dok su trup i težina delimično podržani sistemom pojaseva iznad glave. Ovako izveden trening hoda doveo je do poboljšanja u brzini i izdržljivosti kod osoba nakon moždanog udara u poređenju sa konvencionalnim treningom hoda<sup>5</sup>, ali i ovakav trening je visoko fizički zahtevan za fizioterapeute.

Mnogi roboti, tipa egzoskeleta, razvijeni su da obezbede efikasniju obuku u hodu kako bi se trening vremenski produžio, a fizioterapeut maksimalno rasteretio. Robotizovani trenažeri hoda i pomagala podrazumevaju robote za pomoć (engl. *service robots*), nenosive robotizovane asistivne uređaje i trenažere, nosive robotizovane asistivne uređaje, neurostimulatore, robotizovane komunikatore i robotizovane uređaje za pružanje emocionalne podrške<sup>6</sup>. Robotizovani trenažeri hoda mogu se definisati kao tehnički uređaji namenjeni treningu hoda sa feedbackom iz grupe nenosivih robotizovanih asistivnih uređaja i trenažera. Robotizovane trenažere hoda čine egzoskelet ili ortotičke komponente i pokretna traka ili platforme za stopala (engl. *end effector*) koji se mogu programirati.<sup>7</sup> Robotizovani trenažeri hoda mogu i ne moraju imati suspenziju (za oduzimanje stepena telesne mase), kao i senzore za monitoring parametara hoda. Pored toga, mogu omogućavati različite stepene slobode i kao biofeedback, mogu i ne moraju koristiti ogledala, imerzivnu i neimerzivnu virtuelnu realnost i druge audiovizuelne signale i video igre.<sup>7</sup> Iako finansijski zahtevni, robotizovani trenažeri hoda omogućavaju individualizovani trening hoda, usmeren na izvođenje specijalizovanih zadataka, nametanje pravilne šeme hoda, monitoring i kontrolu parametara hoda u sigurnom okruženju za pacijente pružajući visoki stepen motivacije i povratnih informacija o kvalitetu izvedenog pokreta.<sup>8,9</sup> Neki od robotizovanih trenažera hoda omogućavaju tokom samog tretmana precizno merenje i objektivizaciju parametara te omogućavaju praćenje napretka i dalju individualizaciju programa rehabilitacije i treninga hoda.<sup>10</sup> Progresija programa treninga hoda i dalje prilagođavanje se može izvesti povećavajući slobodu samostalnog izvođenja pokreta, smanjenjem rasterećenja, odnosno procenta telesne mase u suspenziji ili povećanjem pređene distance ili brzine hoda. Uz oduzimanje telesne mase i delimičnu ili potpunu asistenciju (stepen sile usmeravanja pokreta, engl. *guidance force*) pri izvođenju pokreta, robotizovani trenažeri hoda nude mogućnost uvežbavanja svrsishodnih pokreta, orijentisanih ka cilju sa mogućnošću progresije treninga hoda.<sup>6</sup> Robotski egzoskeleti usmeravaju

udove duž fizioloških šema hodanja koji su modulirani, dok korisnik dobija proprioceptivnu povratnu informaciju, koja je skoro tipična nakon opterećenja udova.<sup>9</sup> Oni takođe omogućavaju da se izbegavaju padovi tokom treninga (padovi i podvrede uz pomoć bezbedonosnog sistema zaustavljanja hoda, čiji senzori prepoznaju veća odstupanja u hodu, naglo povećanje spasticiteta, zapinjanje, saplitanje ili veliko suprotstavljanje nametnutom pokretu).

Dokazi mnogih studija ukazuju kako ovakav trening hoda sačinjen od nametnutih ritmičnih, repetitivnih pokreta od strane trenažera kombinovano sa rasterećenjem i aktivnim pokretima korisnika utiče na neuralnu reorganizaciju i adaptaciju, poboljšava plasticitet na spinalnom i supraspinalnom nivou istovremeno facilitirajući pravilnu motornu šemu.<sup>11</sup> Upravo ovi dokazi o neuralnoj reorganizaciji mogu dovesti do razvoja novih terapijskih protokola koji promovišu rehabilitaciju nakon moždanog udara naročito uz pomoć robotizovanih trenažera hoda.

Rehabilitacija hoda pomoću robota prvi put se pojavila pre dve decenije kao opcija za manuelni trening hoda. Robotska rehabilitacija hoda, u poređenju sa konvencionalnim tretmanom, može obezbediti visoko regulisanu, ponovljivu i rigoroznu obuku u angažovanom okruženju, umanjiti fizičko opterećenje fizioterapeuta i dati objektivne i kvantitativne procene pojedinaca. Robotizovani uređaji su počeli da se upotrebljavaju u rehabilitaciji hoda nakon konstrukcije robota Lokomata 1994. godine (prvi put upotrebljen u Ciriškoj univerzitetškoj bolnici 2001. godine). Pored Lokomata razvilo se još nekoliko robota za trening hoda. Među njima, Welwalk je razvijen kao sistem hoda uz pomoć robota (engl. *Gait Exercise Assist Robot – GEAR*), koji je vrsta napredne ortoze za osobe sa hemiparezom nakon moždanog udara. Robot ovog tipa podrazumeva ortoza koleno-skočni zglobov-stopalo koja se postavlja na oduzeti donji ekstremitet. Trening se izvodi na traci za hod u sigurnosnom pojasu.<sup>12</sup> Pored toga, u upotrebi su i “meki” egzoskeleti (engl. *soft exoskeletons*) ili egzoodela (engl. *exosuits*). Kao revolucionarna tehnologija u porastu je upotreba nosivih egzoskeleta za obuku hodanja, zbog aktivnog učešća korisnika, koji podstiču vežbu, kao i mogućnost da se koriste kao pomoćna oprema u vankliničkim uslovima.<sup>13</sup> Dok je određen broj robota za rehabilitaciju hoda dobio odobrenje od FDA i/ili oznaku CE (engl. *Conformite Europeenne*) i nalazi se na tržištu u slobodnoj prodaji, drugi su još uvek u fazi ispitivanja i unapređivanja.<sup>14</sup>

Uprkos tehnološkom napretku najbolji rehabilitacioni robot u pogledu svih terapijskih parametara još uvek nije poznat. Pored toga, nisu do kraja ustanovljeni dugoročni efekti kao i sagledani svi mogući nedostaci i rizici primene robotizovanih

uređaja u rehabilitaciji hoda kod osoba nakon moždanog udara. Ekonomski zahtevni, ovi uređaji nisu zastupljeni u svim fizioterapeutskim praksama, a naročito u našem regionu. Stoga, cilj ovog rada je analiza dosadašnje primene robotizovanih tehničkih uređaja u rehabilitaciji hoda kod osoba nakon moždanog udara.

### Korisnici robotizovanih trenažera hoda

Kada su u pitanju osobe nakon moždanog udara korisnici robotizovanih trenažera hoda su osobe oba pola, u subakutnoj (manje od šest meseci nakon moždanog udara) i hroničnoj fazi, šest meseci i više od moždanog udara, u stacionarnim i ambulantskim uslovima. S obzirom na prirodu moždanog udara, korisnici su uglavnom osobe u starijem životnom dobu (između 50 i 70 godina). Robotizovani trenažeri hoda namenjeni su osobama sa različitim stepenom neuromišićne disfunkcije od onih koji su sposobni da hodaju bez fizičke pomoći fizioterapeuta, a uz pomoć pomagala (štapa, hodalice, pilot lifta i slično), do onih kojima je potrebna fizička podrška za kretanje.<sup>2,4,11, 12,15,16,17,18</sup>

### Robotizovani trenažeri hoda

U svetu robotike zastupljeni su robotizovani trenažeri hoda koji poseduju različite postavke i tehničke karakteristike. Robotizovani trenažeri hoda u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara podrazumevaju unilateralne egzoskelete<sup>15,18,19,20,21</sup> koji se postavljaju na zahvaćeni segment, kao i bilateralnu postavku za trening<sup>16,17,22,23,24</sup>. Dosta često korišćen egzoskelet je HAL<sup>15,16,17,19,20,23</sup> (eng. *Hybrid Assistive Limb*) koji može biti podrška ili svim zglobovima donjeg ekstremiteta (kuk, koleno, skočni zglob) ili jednom od većih zglobova (kuk, koleno/unilateralno ili bilateralno). Kontrola egzoskeleta je uz pomoć daljinskog upravljača kao i aktivne kontrole kretanja iskoračenja. Uređaji su u stanju da detektuju nameru pokreta praćenjem uglova zglobova i obrtnog momenta ekstremiteta<sup>18,20,21,22</sup> ili putem bio-električne signalizacije mišićne aktivnosti. Mnoge studije ispitivale su efekte robotizovanih trenažera hoda kod osoba nakon moždanog udara. Tako, u studiji Baronchelli i saradnika (2021)<sup>11</sup> selektovano je 13 studija koje su za trening hoda koristile robotizovani uređaj Lokomat (Hocoma AG, Volketswil, Switzerland). Lokomat je robotizovani trenažer hoda koji se sastoji od bilateralnih ortotičkih komponenti, trake za hod koja dostiže brzinu od 0,5 km/h do 3,2 km/h (Lokomat Pro) i sistema za oduzimanje telesne mase. Posедуje sposobnost merenja obima pokreta, nivoa spasticiteta kao i stepena aktivnosti korisnika, sistem za audiovizuelni biofeedback i kontrolnu tablu za terapeuta. Može se klasifikovati kao

nenosivi egzoskeletni robotizovani trenažer hoda. Kod ove vrste robota, koleno i kuk se pokreću linearnim električnim motorima koji vode spoljašnju ortozu postavljenu na telo, dok podizanje stopala izaziva pasivnu dorzalnu fleksiju skočnog zgloba tokom faza njihanja što olakšava bilateralni simetričan hod (uključuje sinhronizaciju ciklusa hoda, odgovarajuće opterećenje ekstremiteta)<sup>25</sup>. Rodríguez-Fernández i saradnici (2021)<sup>14</sup> su sistematskim odabirom analizirali 87 studija koje su fokusirane na robotizovane trenažere i kliničke aspekte njihove upotrebe. Identifikovano je 25 egzoskeleta od koji je samo mali broj bio odobren od strane FDA ili posedovao oznaku CE (Ekso, HAL, Indego, REX, ReWalk i SMA). U većini studija egzoskeleti su aktivno pomagali dva ili više zglobova (kuk, koleno, kuk-koleno skočni zglob) dok se manji broj studija fokusirao na jedan zglob. Nekoliko studija ispitivalo je sistem hoda uz pomoć robota (*GEAR*)<sup>4,26,27,28</sup> koji omogućava vežbanje hodanja bez prekomernih pokreta kompenzacije. Ovaj uređaj se sastoji od nosivog robota ortoze kolena-skočnog zgloba, trake za trčanje sa niskim podom, sigurnosnog uređaja za vešanje, tela robota, uređaja za podršku težine, monitora i kontrolne table. Robot za ortozu koleno-skočni zglob i stopalo ima motor za savijanje ili proširenje kolenog zgloba, sa jednim stepenom slobode za zglob kolena i jednim stepenom slobode za tačku skočnog zgloba. Obim pokreta skočnog zgloba se može podesiti između plantarne fleksije od 10 stepeni i dorzalne fleksije od 30 stepeni, bilo fiksno ili kao pokretno, dok ugao savijanja kolena u fazi zamaha može biti podešeno u obimu od 10 do 60 stepeni. Plantarni deo robota je opremljen senzorom za nošenje težine, a faza držanja i faza zamaha se procenjuju na osnovu podataka senzora za nošenje težine. Za ovaj tip robota dostupne su vizuelne i audio povratne informacije.<sup>26</sup>

### Procena efekata robotizovanih trenažera hoda

Kako bi se procenio efekat robotizovanih trenažera hoda koriste se standardizovane skale, instrumenti i testovi za procenu hoda i održavanja ravnoteže (balanse reakcije). Najčešće primenjivani instrumenti su:

- Bergova skala balansa je (engl. *Berg Balance Scale – BBS*) skala koja procenjuje sposobnost da se bezbedno održi ravnoteža tokom niza unapred određenih statičkih i dinamičkih funkcionalnih zadataka. Sastoji se od 14 ajtema koji se ocenjuju u rasponu od 0 (minimalni učinak) do 4 (najbolji učinak) sa maksimalnim ukupnim rezultatom od 56. Ukoliko je osvojen broj bodova manji od 45 to znači da je potrebna pomoć pri hodu. Bodovi 41–44

podrazumevaju mali rizik od pada, bodovi 21–40 se odnose na visok rizik, dok bodovi 0–20 predstavljaju veoma visok rizik od pada. Ova skala ne uključuje procenu hoda.

- Ustani i kreni test (engl. *Timed Up and Go – TUG*) je test koji određuje rizik od pada i meri napredak ravnoteže, sedenja za stajanje i hodanja. Skala meri vreme za izvršenje funkcionalnog zadatka (ustajanje i prelaženje razdaljine od 3 metra). Smatra se da su subjekti sa rezultatom preko 14 sekundi izloženi riziku od pada (što je veći rezultat, veći je rizik od pada).
- 10 metara test hodanja (engl. *10 Meter Walking Test – 10MWT*).

Pored navedenih koriste se i drugi instrumenti za ispitivanje balansnih reakcija i funkcije hoda: Fugl-Meyer Scale (za donji ekstremitet), Functional Independence Measure – FIM, Rivermead Mobility Index – RMI, Mobility Milestones – MM, Postural Assessment Scale for Stroke – PASS, Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment – POMA.

### Protokol treninga sa robotizovanim trenažerima hoda

Protokol treninga u uglavnom zavisi od tipa robotizovanih uređaja. U kliničkim uslovima fizioterapeuti učestvuju u terapijskom protokolu. Trening hoda sa robotima se uglavnom izvodi u kombinaciji sa konvencionalnom fizikalnom terapijom (terapijsko vežbanje u trajanju od 60 minuta po danu). Kada je u pitanju trening hoda sa HAL robotom, protokol podrazumeva trajanje dnevnog treninga hoda od 25 minuta, sa prosečnom pređenom razdaljinom od 200 do 800 metara, u nekim slučajevima i preko 1000 metara.<sup>22</sup> Broj treninga je različit i može varirati od 6 do preko 30. Učestalost na nedeljnom nivou može biti od 2 do 3 puta.<sup>20</sup> Podešavanje parametara za Lokomat u najvećem broju slučajeva se uglavnom bazira na podršku telesne težine. U početku je ta podrška 40–50%, zatim se smanjuje na 30–40%, sve do minimalnog mogućeg rasterećenja. Početna brzina hoda kreće se od 0,4/0,5 m/s i postepeno se povećavala do 0,7/0,8 m/s. Ponekad, u zavisnosti od tehničkih mogućnosti, trening se primenjuje uz fidbek putem ogledala ili monitora.<sup>29</sup> U proseku, protokol traje 5–6 nedelja, dok u manjem broju slučajeva traje više meseci. Trajanje svake pojedinačne sesije na Lokomatu u proseku iznosi 1 sat dnevno, tačnije 15 min za podešavanje parametara i 45 min za trening, a učestalost sesija je 3–5 puta nedeljno. Period treniga hoda uz pomoć robota (*GEAR*) u proseku traje 4 nedelje, 3 do 7 dana u nedelji, 40 minuta dnevno.<sup>26, 27, 28, 30</sup>

### Efekti treninga uz pomoć robotizovanih trenažera hoda

Ispitivanje efekata robotizovanih trenažera hoda vrše se eksperimentalnim putem, gde se uz trenažere koriste druge metode rehabilitacije za trening hoda (fizioterapija) i/ili se međusobno kombinuju, a u prilog tome postoje brojne studije. Trening hoda uz pomoć robotizovanih uređaja omogućava intenzivan trening hoda u ranoj fazi oporavka kod pacijenata nakon moždanog udara. Roboti su uglavnom bezbedni kada ga iskusni fizioterapeuti koriste kao deo programa kliničke rehabilitacije.<sup>22</sup> Upotreba robotizovanih uređaja na funkciju hoda u odnosu na standardnu fizioterapiju u većini korišćenih robota pokazala se superiorno. U sistematskom pregledu Baronchelli i saradnika (2021)<sup>11</sup> većina studija je pokazala korisne efekte Lokomata na oporavak ravnoteže kod osoba nakon moždanog udara. Međutim, zbog ograničenog broja studija i njihove visoke heterogenosti, autori su naglasili da su potrebna dalja istraživanja kako bi se izvukli čvršći i konačniji zaključci. Trening hoda pomoću *GEAR*-a tokom 4 nedelje poboljšao je sposobnost hodanja osoba sa subakutnim moždanim udarom. *GEAR* doprinosi ranom poboljšanju sposobnosti hodanja verovatno pomoću asistencije pri savijanju kolena tokom faze zamaha na paralizovanoj strani. Time se povećava obim treninga, dok fino podesivi mehanizam za pomoć pri držanju/zamahu za paralizovani ekstremitet optimizuje nivo težine treninga.<sup>26</sup> Takođe, upotreba robota (*RAGT*) doprinosi poboljšanju balansnih reakcija kod osoba sa lateropulzijom.<sup>31</sup> Međutim, nisu u svim studijama potvrđeni pozitivni efekti primene robota na funkciju hoda, kao na primer kod Hidlera i saradnika (2009).<sup>32</sup> Štaviše, pokazalo se da su konvencionalne intervencije treninga hoda čak i efikasnije od upotrebe robota, u ovom slučaju Lokomata, na brzinu hoda i pređenu razdaljinu. U studiji Hornbi i saradnika (2008)<sup>33</sup> takođe nije dokazano da je primena robota kod osoba u hroničnoj fazi nakon moždanog udara efikasnija u odnosu na trening sa fizioterapeutima.

### Diskusija

Slično klasičnoj fizioterapiji, trening hoda uz pomoć robotizovanih trenažera hoda može izazvati pozitivne efekte kod osoba nakon moždanog udara. Podaci nam ukazuju da su u upotrebi različiti tipovi uređaja koji su prilagođeni za osobe kako u subakutnom tako i u hroničnom stadijumu sa različitim nivoima oštećenja. U kliničkoj praksi trening hoda najčešće traje do sat vremena, uz kombinaciju sa fizioterapijom. Pojedini uređaji, kao što je na primer Lokomat, vode donji ekstremitet korisnika kroz

unapred programirani fiziološki model hoda koji potencira ekstenziju kuka, podstiče početak faze zamaha i promovira korak povećavajući opterećenje donjih ekstremiteta. Tako, tokom treninga korisnik doživljava skoro fiziološki proprioceptivni nadražaj tokom hodanja, prenoseći senzorno-motoričke informacije u centralni nervni sistem i izazivajući plastične promene. Istraživanja su pokazala da pored tipičnih motoričkih područja u centralnom nervnom sistemu, robotski vođeni pokreti aktiviraju i duboke neuronske centre kao što su insula i amigdala, koji su uključeni u memoriju pokreta i motivaciju za pokret. U skladu sa tim, istovremena aktivacija senzornih i motoričkih sistema bi mogla olakšati učenje perceptivno-motoričkih veština.<sup>34</sup> Rezultati većine studija potenciraju značajne promene u funkciji hoda, kao što je povećanje brzine hoda, dužine koraka i promene u prostornoj simetriji, što je u većini studija uočeno na osnovu procene hoda i balansa. Naročito su zapažena poboljšanja u onim studijama koji su u eksperimentalnoj grupi imali trening hoda uz pomoć robota u kombinaciji sa fizioterapijom. Ovakvi nalazi sugeriraju da rehabilitacija orijentisana na zadatak/ponavljanje uz pomoć robota u kombinaciji sa terapijskim vežbanjem tokom određenog perioda efikasno poboljšava sposobnost hoda i mobilnost.<sup>35</sup> U motornom učenju značajno je prisustvo povratnih informacija (fidbek)<sup>26</sup>. Povratna informacija u realnom vremenu kod pojedinih robota moguća je kroz vizuelnu potvrdu na monitoru koji je postavljen ispred korisnika (npr. stanja hoda) i audio potvrda (npr. količine opterećenja paralizovanog donjeg ekstremiteta i skočnog zgloba i kolena od strane robota za ortozu za koleno i stopalo). Ovi mehanizmi povratnih informacija se smatraju efikasnim za motorno učenje.<sup>26,36</sup> Kako bi korisnici razumeli rizik, ispratili naloge i uputstva koje dobijaju tokom treninga sa robotizovanim uređajima od strane fizioterapeuta, trebalo bi biti zadovoljavajućeg mentalnog statusa.

Kada je u pitanju rizik za upotrebu robotizovanih trenažera hoda u literaturi se ukazuje na teži stepen osteoporoze. Osteoporoza može biti faktor rizika za prelome kostiju kod pojedinaca koji koriste egzoskelete sa pogonom zbog potencijalno velikih spoljnih sila koje se primenjuju na udove korisnika.<sup>37</sup> Međutim, i dalje ne postoji konsenzus u smernicama koji nivo osteoporoze treba smatrati indikatorom za isključenje iz trenignog uz pomoć robotizovanih trenažera.<sup>38</sup>

Pored toga, u literaturi se navodi i rizik od pada. Naime, kada osoba hoda bez robota telo je u interakciji sa okolinom, što nije slučaj kada se koriste egzoskeleti gde je direktna interakcija smanjena ili izmenjena. Povratne informacije mogu biti promenjene i rizik od pada može biti prisutan naročito u

periodu adaptacije korisnika na uređaj. U pojedinim slučajevima, u zavisnosti od kontrolne šeme uređaja, egzoskelet može pogrešno da reaguje na kretanje tela, što rezultira pokretanjem neočekivane komande koja može doprineti nastanku pada. Neki uređaji (kao na primer *ReWalk*, *Indego* i *Ekso*) razvili su svoje strategije za smanjenje rizika od pada.<sup>38</sup> Na primer, Lokomat ima sistem za prepoznavanje pada, saplitanja i zapinjanja kao i sigurnosne alarme za korisnika i terapeuta pri čijoj aktivaciji automatski zaustavlja ortotičke komponente i trening hoda do ponovnog pokretanja od strane terapeuta. U manje učestalim slučajevima može doći do nestanka struje tokom treninga, kada je pad korisnika neizbežan, pojedini uređaji će polako korisnika spustiti u sedeći položaj (*ReWalk*), dok će drugi zaključati zglobove kolena (*Ekso locc*). Lokomat ima sistem za oslobađanje korisnika iz ortotičkih komponenti i suspenzije pri nestanku struje kao i pri sinkopi korisnika. Upravo je to razlog da je kod većine robotizovanih trenažera nepohodno prisustvo edukovane osobe koja je pored uređaja i nadgleda korisnika u svakom trenutku. Dok jedni proizvođači nude programe obuke i sertifikate pratiocima, drugi dozvoljavaju da korisnici budu nadgledani jedino od strane sertifikovanih fizioterapeuta iz rehabilitacionih ustanova. U većini kliničkih studija u kojima je prijavljen mali broj padova korisnici imaju kontinuirani stručni nadzor, a postavlja se pitanje šta je sa istraživanjima koje se rade van kliničkih uslova i bez nadzora stručnog osoblja.

Ono što je često prisutno u praksi, a slabo potencirano u većini kliničkih studija, odnosi se na povredu kože i mekih tkiva.<sup>39</sup> Ovo se dešava ukoliko se ortotičke komponente aplikuju na golu kožu, što je suprotno smernicama mnogih proizvođača. Savetuje se nošenje duge trenerke ili helanke, korišćenje zaštitnih sunđerica ispod manžetni kod osoba sa izrazito osetljivom kožom, kao i pažljivo i precizno merenje i određivanje veličine manžetni. Povrede kože i mekog tkiva gotovo da ne privlače pažnju kliničara i istraživača i uglavnom se spominju kao manji problemi, iako su učestali kod primene većine robotizovanih uređaja.

## Zaključak

Trening hoda uz pomoć robotizovanih trenažera hoda u trajanju do sat vremena sa prosečnim periodom trajanja treninga od 4 nedelje u kombinaciji sa konvencionalnom fizioterapijom u kliničkoj praksi su statistički značajno doveli do poboljšanja funkcije hoda u subakutnim i hroničnim fazama rehabilitacije kod osoba nakon moždanog udara. Robotizovani trenažeri hoda omogućavaju intenzivan i uglavnom bezbedan trening hoda. Trening hoda

uz pomoć robotizovanih trenažera hoda omogućava uvećavanje hoda sa velikim brojem ponavljanja pokreta u fiziološkom obrascu, usmeren na zadatak sa biofeedbackom, što kod korisnika obezbeđuje proprioceptivni doživljaj i aktivaciju senzorno-motoričkog sistema što doprinosi motornom učenju i omogućava stvaranje plastičnih promena u nervnom sistemu. Međutim, neophodno je uključiti veće homogene grupe u buduća istraživanja koja će biti usmerena na sve ustanove (primarnog, sekundarnog i tercijalnog tipa, manje i veće opšte bolnice) kao i vankliničke uslove. Takođe, neophodno je da se povećava broj visokokvalitetnih studija. Pored toga, neophodni su podaci o naknadnim evaluacijama rezultata i dugoročnim efektima primene robotizovanih trenažera hoda kod osoba nakon moždanog udara. Na kraju, sve dosadašnje studije predstavljaju polaznu tačku za razvoj novih, dobro osmišljenih i sveobuhvatnih istraživanja, nastavljajući tako da unapređuju kliničku primenu robotizovanih trenažera hoda.

#### Literatura

- Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet* 2011;14;377(9778):1693-702. doi: 10.1016/S0140-6736(11)60325-5.
- Blennerhassett JM, Dite W, Ramage ER, Richmond ME. Changes in balance and walking from stroke rehabilitation to the community: a follow-up observational study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(10):1782-7. doi:10.1016/j.apmr.2012.04.005.
- Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;8;13(1):53. doi:10.1186/s12984-016-0162-5.
- Ii T, Hirano S, Tanabe S, Saitoh E, Yamada J, Mukaino M, Watanabe M, Sonoda S, Otaka Y. Robot-assisted Gait Training Using Welwalk in Hemiparetic Stroke Patients: An Effectiveness Study with Matched Control. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020;29(12):105377. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105377.
- Mehrholz J, Pohl M, Elsner B. Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;1. CD002840. doi:10.1002/14651858.CD002840.pub4.
- Lazaro R, Reina-guerra S, Quiben M. *Umphred's Neurological Rehabilitation*. (7th Edition). St. Louis, Missouri: Elsevier – OHCE; 2020.
- Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in Lower-Limb Rehabilitation after Stroke. *Behav Neurol*. 2017;2017:3731802. doi:10.1155/2017/3731802.
- Aqueveque P, Ortega P, Pino E, Saavedra F, Germany E, Gómez B. After Stroke Movement Impairments: A Review of Current Technologies for Rehabilitation. In *Physical Disabilities – Therapeutic Implications*. InTech. 2017. doi:10.5772/67577.
- Molteni F, Gasperini G, Cannaviello G, Guanziroli E. Exoskeleton and end-effector robots for upper and lower limbs rehabilitation: narrative review. *PM R*. 2018;10(9 Suppl 2):174-188. doi:10.1016/j.pmrj.2018.06.005.
- Maggioni S, Melendez-Calderon A, van Asseldonk E, Klamroth-Marganska V, Lünenburger L, Riener R et al. Robot-aided assessment of lower extremity functions: a review. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;13(1):72. doi:10.1186/s12984-016-0180-3.
- Boronchelli F, Zucchella C, Serrao M, Intiso D, Bartolo M. The Effect of Robotic Assisted Gait Training With Lokomat on Balance Control After Stroke: Systematic Review and MetaAnalysis. *Front. Neurol*. 2021;12:661815. doi:10.3389/fneur.2021.661815.
- Ii T, Hirano S, Tanabe S, Saitoh E, Yamada J, Mukaino M, Watanabe M, Sonoda S, Otaka Y. Robot-assisted Gait Training Using Welwalk in Hemiparetic Stroke Patients: An Effectiveness Study with Matched Control. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020;29(12):105377. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105377.
- Warutkar V, Dadgal R, Mangulkar UR. Use of Robotics in Gait Rehabilitation Following Stroke: A Review. *Cureus*. 2022;4;14(11):e31075. doi:10.7759/cureus.31075.
- Rodríguez-Fernández A, Lobo-Prat J, Font-Llagunes JM. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. *J Neuroeng Rehabil*. 2021;18(1):22. doi:10.1186/s12984-021-00815-5.
- Maeshima S, Osawa A, Nishio D, Hirano Y, Takeda K, Kigawa H, et al. Efficacy of a hybrid assistive limb in post-stroke hemiplegic patients: a preliminary report. *BMC Neurol*. 2011;11:116. doi: 10.1186/1471-2377-11-116.
- Byl NN. Mobility training using a bionic knee orthosis in patients in a poststroke chronic state: a case series. *J Med Case Rep*. 2012;6:216. doi:10.1186/1752-1947-6-216.
- Kawamoto H, Kamibayashi K, Nakata Y, Yamawaki K, Ariyasu R, Sankai Y, et al. Pilot study of locomotion improvement using hybrid assistive limb in chronic stroke patients. *BMC Neurol*. 2013;13:141. doi:10.1186/1471-2377-13-141.

18. Stein J, Bishop L, Stein DJ, Wong CK. Gait training with a robotic leg brace after stroke: a randomized controlled pilot study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2014;93:987–94. doi:10.1097/PHM.000000000000119.
19. Watanabe H, Tanaka N, Inuta T, Saitou H, Yanagi H. Locomotion improvement using a hybrid assistive limb in recovery phase stroke patients: a randomized controlled pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014; 95:2006–12. doi:10.1016/j.apmr.2014.07.002.
20. Fukuda H, Samura K, Hamada O, Saita K, Ogata T, Shiota E, et al. Effectiveness of acute phase hybrid assistive limb rehabilitation in stroke patients classified by paralysis severity. *Neurol Med Chir. (Tokyo)* 2015;55:487–92. doi:10.2176/nmc.oa.2014-0431.
21. Yoshimoto T, Shimizu I, Hiroi Y, Kawaki M, Sato D, Nagasawa M. Feasibility and efficacy of high-speed gait training with a voluntary driven exoskeleton robot for gait and balance dysfunction in patients with chronic stroke: nonrandomized pilot study with concurrent control. *Int J Rehabil Res.* 2015;38:338–43. doi:10.1097/MRR.000000000000132.
22. Nilsson A, Vreede KS, Haglund V, Kawamoto H, Sankai Y, Borg J. Gait training early after stroke with a new exoskeleton – the hybrid assistive limb: a study of safety and feasibility. *J NeuroEng Rehabil.* 2014;11:92. doi:10.1186/1743-0003-11-92.
23. Bortole M, Venkatakrishnan A, Zhu F, Moreno JC, Francisco GE, Pons JL, et al. The H2 robotic exoskeleton for gait rehabilitation after stroke: early findings from a clinical study. *J NeuroEng Rehabil.* 2015;12:54. doi:10.1186/s12984-015-0048-y.
24. Buesing C, Fisch G, O'Donnell M, Shahidi I, Thomas L, Mummidisetty CK, et al. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial. *J NeuroEng Rehabil.* 2015;12:69. doi: 10.1186/s12984-015-0062-0.
25. Jezernik S, Colombo G, Keller T, Frueh H, Morari M. Robotic orthosis lokomat: a rehabilitation and research tool. *Neuromodulation* 2003;6:108–115. doi:10.1046/j.1525-1403.2003.03017.x.
26. Tomida K, Sonoda S, Hirano S, Suzuki A, Tanino G, Kawakami K, Saitoh E, Kagaya H. Randomized Controlled Trial of Gait Training Using Gait Exercise Assist Robot (GEAR) in Stroke Patients with Hemiplegia. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(9):2421–28. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.06.030.
27. Katoh D, Tanikawa H, Hirano S, Mukaino M, Yamada J, Sasaki S, Ohtsuka K, Katoh M, Saitoh E. The effect of using Gait Exercise Assist Robot (GEAR) on gait pattern in stroke patients: a cross-sectional pilot study. *Top Stroke Rehabil.* 2020;27(2):103–9. doi:10.1080/10749357.2019.1660080.
28. Ogino T, Kanata Y, Uegaki R, Yamaguchi T, Morisaki K, Nakano S, Domen K. Effects of gait exercise assist robot (GEAR) on subjects with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2020;29(8):104886. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104886.
29. Uçar DE, Paker N, Bugdayci D. Lokomat: a therapeutic chance for patients with chronic hemiplegia. *NeuroRehabilitation* 2014;34:447–53. doi:10.3233/NRE-141054.
30. Aimoto K, Matsui T, Asai Y, Tozawa T, Tsukada T, Kawamura K, Ozaki K, Kondo I. Gait improvement in stroke patients by Gait Exercise Assist Robot training is related to trunk verticality. *J Phys Ther Sci.* 2022;34(11):715-19. doi:10.1589/jpts.34.715.
31. Yun N, Joo MC, Kim SC, Kim MS. Robot-assisted gait training effectively improved lateropulsion in subacute stroke patients: a single-blinded randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018;54:827–36. doi:10.23736/S1973-9087.18.05077-3.
32. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JH, et al. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23:5–13. doi:10.1177/1545968308326632.
33. Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, Demott T, Moore JL, Roth HR. Enhanced gait-related improvements after therapist- versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study. *Stroke* 2008;39:1786–92. doi:10.1161/STROKEAHA.107.504779.
34. Müller S, Vallence AM, Winstein C. Investigation of perceptualmotor behavior across the expert athlete to disabled patient skill continuum can advance theory and practical application. *J Mot Behav.* 2018; 50:697–707. doi:10.1080/00222895.2017.1408557.
35. Ha Y, Park M. Effects of Stroke Rehabilitation Using Gait Robot-Assisted Training and Person-Centered Goal Setting: A Single

- Blinded Pilot Study. *Healthcare (Basel)* 2023;16:11(4):588. doi: 10.3390/healthcare11040588.
36. Schmidt R, Lee T. Human kinetics. In: *Motor Learning and Performance*, 5th ed. 2013.
37. Miller LE, Zimmermann AK, Herbert WG. Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Med Devices (Auckl)*. 2016;22;9:455–66. doi:10.2147/MDER.S103102.
38. He Y, Eguren D, Luu TP, Contreras-Vidal JL. Risk management and regulations for lower limb medical exoskeletons: a review. *Med Devices (Auckl)*. 2017;10:89–107. doi:10.2147/MDER.S107134.
39. Benson I, Hart K, Tussler D, van Middendorp JJ. Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury: findings from a feasibility study. *Clin Rehabil*. 2016;30(1):73–84. doi: 10.1177/0269215515575166.

Korespondent / Corresponding author: Ivana Marić, E-mail: [ivanamaric.pt@gmail.com](mailto:ivanamaric.pt@gmail.com)