

Neurorehabilitacija i robotika kod osoba s hemiparezom gornjeg ekstremiteta nakon moždanog udara

Neurorehabilitation and robotics in individuals with upper extremity hemiparesis after stroke

Viviana Avancini-Dobrović*, Ivanka Baniček-Šoša, Dunja Mršić, Tea Schnurrer-Luke-Vrbanić

Sažetak. Cilj: Neurorehabilitacija bolesnika nakon moždanog udara predstavlja velik izazov, a robotski sustavi kao nadogradnja konvencionalne rehabilitacije predmet su brojnih istraživanja. Tako je pri Zavodu za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu KBC-a Rijeka provedeno istraživanje u kojem je korišten robotski uređaj Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska) s ciljem procjene učinkovitosti njegove primjene. **Ispitanici i metode:** U istraživanje je uključeno 40 bolesnika koji su zadobili moždani udar s posljedičnom hemiparezom, a uključeni su u neurorehabilitaciju u subakutnoj fazi, prosječno 47,31 (\pm SD = 24,74) dana nakon moždanog udara. Bolesnici su podijeljeni u dvije skupine, od po 20 bolesnika i obje skupine provodile su vježbe dva puta dnevno. Ispitivana skupina bolesnika provela je konvencionalne postupke fizioterapije po Bobath konceptu uz dodatnu robotsku terapiju na uređaju Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska), a dvadeset bolesnika kontrolne skupine provodilo je konvencionalnu fizioterapiju po Bobath konceptu dva puta dnevno. Procjena učinkovitosti mjerena je funkcijskim indeksom onesposobljenosti (engl. *Functional Independent Measurement*; FIM) i ocjenskom ljestvicom motoričke procjene (engl. *Motor Assessment Scale*; MAS), a procjena je vršena prije i poslije provedene neurorehabilitacije. **Rezultati:** Praćenjem triju varijabli, cjelokupni FIM test, cjelokupni MAS test (MAS U) te MAS test za funkciju ruke (engl. *Motor Assessment Scale* za funkciju ruke; MAS FR), uočena je statistički značajna razlika ($P < 0,05$) između ispitivane i kontrolne skupine. **Zaključak:** Istraživanje je pokazalo da pokreti potpomognuti uređajem Armeo Spring® poboljšavaju ishod rehabilitacije i nadopunjuju konvencionalnu terapiju. Posebno je ohrabrujući podatak da smo svoje rezultate postigli kod bolesnika u subakutnoj fazi rehabilitacije nakon moždanog udara.

Ključne riječi: moždani udar; neurorehabilitacija; robotika

Abstract. Aim: Neurorehabilitation of patients after stroke is a major challenge, and robotic systems as an upgrade to conventional rehabilitation have been the subject of numerous studies. Thus, a research was conducted at the Department of Physical and Rehabilitation Medicine of the University Hospital Center Rijeka in which an Armeo Spring® (Hocoma, Switzerland) robotic device was used in order to evaluate the effectiveness of its application. **Subjects and methods:** The study included 40 patients after stroke with consequent hemiparesis and were involved in subacute phase neurorehabilitation, averaging 47.31 (\pm SD = 24.74) days after stroke. Patients were divided into two groups of 20 patients and both groups performed exercises twice a day. The examined group of patients performed conventional physiotherapy procedures according to the Bobath concept with additional robotic therapy on the Armeo Spring® device (Hocoma, Switzerland) and twenty patients of the control group performed conventional physiotherapy according to the Bobath concept twice a day. Performance assessment was measured by the Functional Independent Measurement (FIM) and the Motor Assessment Scale (MAS) and the assessment was performed before and after neurorehabilitation. **Results:** Monitoring three variables, the overall FIM test, the overall MAS test (MAS U) and the MAS test for upper extremity

Klinički bolnički centar Rijeka, Zavod za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu, Rijeka, Hrvatska

***Dopisni autor:**

Doc. dr. sc. Viviana Avancini-Dobrović, dr. med.
Klinički bolnički centar Rijeka, Zavod za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu
Ul. Tome Strišića 3, 51000 Rijeka, Hrvatska
E-mail: viviana.avancini@gmail.com

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

function (Motor Assessment Scale for upper extremity function; MAS UE) showed a statistically significant difference ($p < 0.05$) between the examined and control groups. **Conclusion:** The research has shown that Armeo Spring®-assisted movements improve the outcome of rehabilitation and complement conventional therapy. It is especially encouraging that we achieved our results in patients in the subacute phase of rehabilitation after stroke.

Keywords: neurological rehabilitation; robotics; stroke

Neurorehabilitacija kod osoba s hemiparezom gornjeg ekstremiteta nakon moždanog udara kompleksna je te podrazumijeva multidisciplinarni pristup, uključuje cijeli tim zdravstvenih profesionalaca koji kreiraju zajednički individualni rehabilitacijski program ovisno o kliničkoj slici bolesnika. Nadalje, za uspješnost rehabilitacije potrebna je intenzivna suradnja bolesnika i svih članova multidisciplinarnog tima.

UVOD

Moždani udar Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) definira kao „naglo razvijanje kliničkih znakova fokalnog (ili globalnog) poremećaja moždanih funkcija, sa simptomima koji traju 24 sata i duže ili dovode do smrtnog ishoda, bez drugog jasnog uzroka, osim znakova oštećenja krvnih žila”¹. Kliničke manifestacije moždanog udara jesu: oduzetost (pojedinih dijelova tijela, koja se najčešće javlja unilateralno), poremećaj govora, smanjenje koordinacije pokreta, razni psihički ispadi i poremećaji svijesti. Čak u trećini slučajeva moždani udar rezultira smrću². Liječenje nastalih deficita posebno je važno jer je njihova težina usko povezana s cjelokupnim srednjoročnim i dugoročnim funkcioniranjem bolesnika te utječe na njihovu kvalitetu života, a također predstavlja teret za pojedinca i društvo³.

Rehabilitacija osoba koje su pretrpjele moždani udar kompleksna je te podrazumijeva multidisciplinarni pristup, uključuje cijeli tim zdravstvenih profesionalaca koji kreiraju zajednički individualni rehabilitacijski program ovisno o kliničkoj slici bolesnika. Nadalje, za uspješnost rehabilitacije potrebna je intenzivna suradnja bolesnika i svih članova multidisciplinarnog tima. Proces neurorehabilitacije moguć je zbog neuroplastičnosti, tj.

reorganizacije koja omogućava stjecanje novih vještina. Osnovni princip neurorehabilitacije je unaprjeđenje procesa motoričkog učenja pružanjem dodatnih informacija i podražaja koji u uobičajenim okolnostima nisu na raspolaganju senzornom i motornom sustavu⁴. Cilj neurorehabilitacije temeljene na motoričkom učenju jest omogućiti aktivnu i intenzivnu izvedbu pokreta uključenih u važne zadatke koji čine aktivnosti dnevnog života. Prema tome, terapija podrazumijeva širok spektar rehabilitacijskih aktivnosti za koje se vjeruje da pospješuju senzomotoričko učenje i unaprjeđuje različite segmente senzorne i motoričke kontrole.

Brojna klinička ispitivanja pokazala su značajan napredak u oporavku gornjeg ekstremiteta uz korištenje različitih senzomotoričkih tehnika, uključujući forsirani uobičajeni pokret⁵, terapiju ograničavanjem izazvanog pokreta⁶, tretman funkcionalnom električnom stimulacijom⁷, korištenje virtualne stvarnosti⁸ i terapiju uz pomoć robotskih sustava⁹. Ovaj posljednji pristup postao je dio neurorehabilitacijskih algoritama u cilju stvaranja što povoljnijih uvjeta za motoričko učenje i predmet je brojnih istraživanja¹⁰.

Roboti i robotski sustavi često se koriste u kombinaciji s interaktivnim sučeljima virtualne stvarnosti kako bi osigurali velik broj ponavljanja u kontroliranim uvjetima s ciljem unaprjeđenja funkcije važne za aktivnosti dnevnog života. Virtualna stvarnost koristiti se kako bi se „prikazali“ zadatci koji zahtijevaju pokrete ekstremiteta ili nekog predmeta s kojim su ispitanici u interakciji. Funkcija ruke, osobito šake, širok je i složen pojam, pa projektiranje robotskih sustava za rehabilitaciju ruke mora poštovati više različitih čimbenika¹¹⁻¹⁴. Upravo je uvažavanje takvih čimbenika diktiralo pojavu različitih vrsta robotskih sustava dizajniranih za pojedine vrste funkcijskog oštećenja. Stoga je bitan izbor pravog robotskog sustava za pojedinog bolesnika i kontinuitet u rehabilitaciji uz prelazak s jednog na drugi robotski sustav. Ti se uređaji mogu razlikovati s obzirom na tehničke specifikacije te s obzirom na funkciju koja se želi postići djelujući pritom na zglobove cijelog gornjeg ekstremiteta ili samo na pojedini segment. Ukratko, robotski sustavi u koje su uključeni uređaji na kojima su implementirane

upravljačke strategije za olakšavanje izvođenja pokreta, pomažu bolesniku da tijekom izvođenja pokreta više aktivira oštećenu ruku na željeni način. Ovo je slično izvođenju pokreta kod aktivne asistencije (koju izvode terapeuti). Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska) ima pet stupnjeva slobode (tri u ramenu, jedan u laktu, jedan u šaci), a stupnjevi slobode odgovaraju anatomskim kretanjima zglobova u pojedinim ravninama, oko pojedinih osi. Ova prilagodljiva mehanička ruka omogućuje promjenjive razine kompenziranja gravitacije, odnosno smanjuje se broj stupnjeva slobode pomoću mehanizma ugrađenog u uređaj (opruge i utezi). Time se bolesnicima omogućuje da, koristeći preostalu funkciju gornjeg ekstremiteta, postignu veći aktivni opseg pokreta (engl. *active range of movement*; ROM) unutar trodimenzionalnog radnog prostora¹⁵. Senzor pritiska integriran u ručicu omogućuje dodatno treniranje i izvršavanje zadataka hvatanja i ispuštanja uz doziranu jačinu stiska šake. Zahvaljujući ugrađenim sensorima i softveru, Armeo Spring® može biti korišten kao uređaj pomoću kojega se bolesnik uči ostvarivanju smislenih funkcionalnih zadataka. Takvi se zadatci simuliraju u virtualnom okruženju za učenje na zaslonu računala. Kroz funkcije auditivnih i vizualnih povratnih informacija bolesnik ima kontrolu nad izvedbom za vrijeme treninga, a terapeut i liječnik uvid u napredak nakon treninga^{16, 17}. Armeo Spring® (Slika 1) sastoji se od prilagodljivog ovjesa za gornji ekstremitet koji se povezuje s uređajem koji se temelji na različito složenoj virtualnoj stvarnosti. Sustav ovjesa za gornji ekstremitet u biti je egzoskelet koji podržava gornji ekstremitet bolesnika od proksimalnog do distalnog kraja, te uvećava preostalu aktivnost hemiparetičnog uda. Na distalnom kraju sustava ovjesa nalazi se i sustav koji detektira jačinu pritiska šake. Osjetljivost sustava može se namjestiti ovisno o stanju bolesnika. Postavke virtualne stvarnosti dizajnirane su tako da predstavljaju različite razine „izazova“ (smjer kretanja, brzina, područje kretanja) i funkcionalni pristup zadatku. Sustav omogućuje ispitivaču prilagoditi radni prostor u skladu s bolesnikovom aktivnom pokretljivošću te pruža informacije o specifičnim parametrima pokreta (otpornost, čvrstoća, raspon i koordinacija pokreta). Time se omogućuje



Slika 1. Uređaj Armeo Spring® u KBC-u Rijeka – položaj bolesnika za vrijeme tretmana

1 – ovjes za ruku; 2 – zaslon uređaja na kojem se projicira virtualna stvarnost (izvor autora)

pravilno namještanje razina težine za svakog bolesnika tijekom cijelog procesa oporavka¹⁷.

Cilj ovog istraživanja bio je procijeniti učinkovitost tretmana uređajem Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska) u subakutnoj fazi rehabilitacije ruke nakon moždanog udara.

ISPITANICI I METODE

U istraživanje je bilo uključeno 40 bolesnika koji su preboljeli moždani udar s posljedičnom hemiparezom, a uključeni su u neurorehabilitaciju u subakutnoj fazi oporavka. Prikupljanje podataka o ispitanicima odobreno je i provedeno u sklopu diplomskog rada pri Fakultetu zdravstvenih studija na Diplomskom studiju fizioterapije 2016. godine. Istraživanje je provedeno u razdoblju od veljače 2014. do rujna 2015. godine. Kako bismo izbjegli pristranost u istraživanju i učinili istraživanje što objektivnijim, svi pacijenti koji su sudjelovali u programu stacionarne rehabilitacije gornjeg ekstremiteta jednostavnom randomizacijom bili su podijeljeni u dvije skupine od po 20 bolesnika. Ispitanici u objema skupinama provodili su vježbe dva puta dnevno. Ispitivana skupina bolesnika provela je konvencionalne postupke fizioterapije po Bobath konceptu uz dodatnu robotsku terapiju na uređaju Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska), a dvadeset bolesnika kontrolne skupine

provodilo je konvencionalnu fizioterapiju po Bobath konceptu dva puta dnevno.

Ispitivanu skupinu sačinjavalo je sedam žena (35 %) i 13 muškaraca (65 %). Prosječna dob ispitanika bila je 60,9 godina (\pm SD = 9,64), a uključeni su u neurorehabilitaciju prosječno 50,23 (\pm SD = 40,31) dana nakon moždanog udara koji je izazivao oštećenja uglavnom funkcije desne ruke (N = 11; 55 %).

Kontrolnu skupinu sačinjavalo je šest žena (30 %) i 14 (70 %) muškaraca, prosječne dobi 67,2 (\pm SD = 7,58) godina. Uključeni su u neurorehabilitaciju prosječno 48,75 (\pm SD = 21,31) dana nakon moždanog udara koji je, kao i u prvoj skupini, izazivao oštećenja uglavnom funkcije desne ruke (N = 11; 55 %).

Kriterij za uključivanje u istraživanje bilo je kognitivno stanje mjereno malim testom za procjenu mentalnog zdravlja MMSE (engl. *Mini-mental state examinatio*). Kako bi bili uključeni u studiju, bolesnici su morali postići rezultat veći od 24 boda. Naši ispitanici imali su prosječni rezultat MMSE 27,65 (\pm SD = 2,39). Izuzev minimalnog MMSE rezultata, bolesnici uključeni u ovo istraživanje morali su imati jednostrani motorički ispad ne stariji od šest mjeseci.

Fizioterapeutski tretman po Bobathu

Terapijski pristup orijentiran rješavanju problema putem procjene i tretiranja osoba s poremećajem funkcioniranja, pokretanja i posturalne kontrole nakon neurološke lezije, tzv. fizioterapeutski tretman po Bobathu, korišten je u tretmanu bolesnika u objema skupinama. Prema tom konceptu, položajni refleksni mehanizam, čije su sastavne reakcija uspravljanja i reakcija ravnoteže, preduvjet je normalnih kretanja i vještina. Taj je mehanizam u razvoju odgovoran za normalnu koordinaciju pokreta koja proizlazi iz normalne kvalitete položajnog tonusa i normalnih stupnjeva recipročne inervacije¹⁷.

U sklopu procjene, fizioterapeut zaključuje o odstupanju bolesnikovih motoričkih aktivnosti od normalnih, procjenjuje stanje i raspodjelu tonusa mišića (visok, nizak, kombiniran), automatsku posturalnu prilagodbu (APP), stanje ravnoteže, pokretljivost, funkcionalnu aktivnost, postojanje asociраних реакција i kompenzacija, utvrđuje i po-

stojanje eventualnih osjetljivih oštećenja te na osnovi toga planira i evaluira individualni terapijski program, pa tako i onaj koji se odnosi na pokrete asistirane robotskim sustavom¹⁸.

Važnost procjene prvenstveno je u tome što neurološki bolesnik pokazuje tipične patološke slike i sheme (obrasce) prema kojima ga se može svrstati u određeni fleksijski ili ekstenzijski tip, uz spazme, atetozе i ostale motoričke simptome koji ne pripadaju rasponu normalnog pokreta. U fizioterapeutskom tretmanu po Bobathu prvo inhibiramo patološke pokrete i položaje, a potom slijedi poticanje i olakšavanje (facilitacija) normalnih položaja i pokreta¹⁷⁻¹⁹.

Robotski sustav Armeo Spring

Neurološki bolesnici imaju vrlo specifične potrebe. Univerzalni cilj svih rehabilitacijskih programa jest optimalna funkcionalna neovisnost i maksimalna samostalnost u aktivnostima dnevnog života koja se postiže konvencionalnom fizioterapijom po Bobath konceptu, ali i nadgradnjom s vježbama preko robotskih sustava. Robotski sustav Armeo Spring®, kao i Bobath koncept, stvara otiske u senzomotoričkoj kori velikog mozga na temelju kojih se oblikuju nove sheme pokreta i položaja. Robotski sustav omogućuje pasivno postavljanje u određene položaje koji se ocijene poželjnima na temelju neurorehabilitacijske procjene, te se na temelju toga i ocijeni poželjnim za vršenje određenih pokreta uz brojna ponavljanja.

Položaj bolesnika je sjedeći (Slika 1). Egzoskelet se postavlja na stranu oštećene ruke. Individualno se za svakog bolesnika namješta prema dužini ruke. Također se individualno može namjestiti količina potpore koju egzoskelet daje ruci za vrijeme vježbanja, kao i sloboda pokreta u pojedinom zglobu, što terapeut određuje na temelju fizioterapeutske procjene. Ispitivanoj skupini tijekom 20 dana boravka na Zavodu za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu KBC-a Rijeka, uz 60 minuta fizikalne terapije po Bobath konceptu, primjenjivali smo i rad na uređaju Armeo Spring® u trajanju od 45 minuta.

Instrumenti funkcionalne procjene

Procjena učinkovitosti rehabilitacije mjerena je funkcijskim indeksom onesposobljenosti (engl.

Functional Independent Measurement; FIM) i ocjenskom ljestvicom motoričke procjene (engl. *Motor Assessment Scale*; MAS). Procjena je vršena prije i poslije provedene neurorehabilitacije. FIM mjeri funkcionalnu nezavisnost i funkcionalnu adaptaciju²⁰. On je osnovni indikator stupnja onesposobljenosti. FIM-om se ispituje 18 funkcija, a za svaku od njih su ocjene od 1 do 7 tako da se ukupni rezultat može kretati u rasponu od 18 do 126.

MAS se prvenstveno odnosi na bolesnike koji su preboljeli moždani udar te procjenjuje orijentiranost bolesnika u izvršenju pojedinog zadatka. MAS je razvijen kako bi pružio pouzdane, nove, objektivne informacije o bolesnicima temeljene na njihovoj medicinskoj dokumentaciji. Test je osmišljen kao lako primjenjiv test svakodnevnih motoričkih aktivnosti čiji se rezultat mijenja s oporavkom bolesnika. Osim toga, MAS lako razumiju stručnjaci različitih zdravstvenih profesija²¹. Motorička funkcija vrednuje se u osam područja djelovanja, tonus mišića na zahvaćenoj strani putem jednog pokazatelja. Svaka se stavka ocjenjuje sa sedam bodova na ljestvici, od 0 (tek zadovoljavajuće) do 6 (optimalan motorički odgovor). Motorički odgovor evaluira se kroz okretanje u ležećem položaju iz ležanja na leđima u bočni položaj, posjedanje preko ruba kreveta iz ležećeg položaja, samostalno sjedenje, ustajanje iz sjedećeg položaja, hodanje. Rezultat 4 po kriteriju općeg mišićnog tonusa indikativan je za normalan odgovor; više od 4 boda govori o hipertonusu, a manje od 4 boda ukazuje na različite stupnjeve hipotonusa.

Varijable koje se evaluiraju za gornje ekstremitete, odnose se na sljedeće:

- funkciju nadlaktice u ležećem, sjedećem i stojećem položaju
- pokrete šake kroz grubu i finu motoričku aktivnost
- napredne aktivnosti ruke, koje uključuju aktivnosti hranjenja i osobne higijene.

Statistička analiza

Statistička analiza provodila se uz pomoć računalnog programa Statistica verzija 12 (TIBCO Software INC.), na razini značajnosti $P < 0,05$. Za prikaz svih ispitivanih varijabli koristila se deskriptivna stati-

stika. Kolmogorov-Smirnovljev testom utvrđeno je da se ispitivani podaci raspodjeljuju u skladu s normalnom raspodjelom. Testiranje statističke značajnosti razlike između eksperimentalne i kontrolne skupine provedeno je t-testom za nezavisne uzorke. Usporedba rezultata prije i nakon terapije unutar iste grupe ispitanika provedena je t-testom za zavisne uzorke. Excel (Microsoft Corp.) korišten je za grafički prikaz podataka.

ETIČKI PRINCIPI

Istraživanje je provedeno uz pridržavanje etičkih principa i dobre kliničke prakse. Rezultati su prikupljeni u skladu s etičkim i bioetičkim principima. Svi su ispitanici potpisali informirani pristanak prema kojem će se osigurati privatnost (medicinska tajna) ispitanika/bolesnika uključenih u istraživanje te će se dobiveni rezultati koristiti isključivo u istraživačke svrhe.

REZULTATI

Kod dolaska u eksperimentalnoj skupini zabilježen je FIM indeks (FIM1) 97,65 (\pm SD = 15,33). FIM indeks (FIM 2) kod otpusta iznosio je 110,75 (\pm SD = 20,52). Između tih dviju vrijednosti postoji statistički značajna razlika ($P = 0,02$).

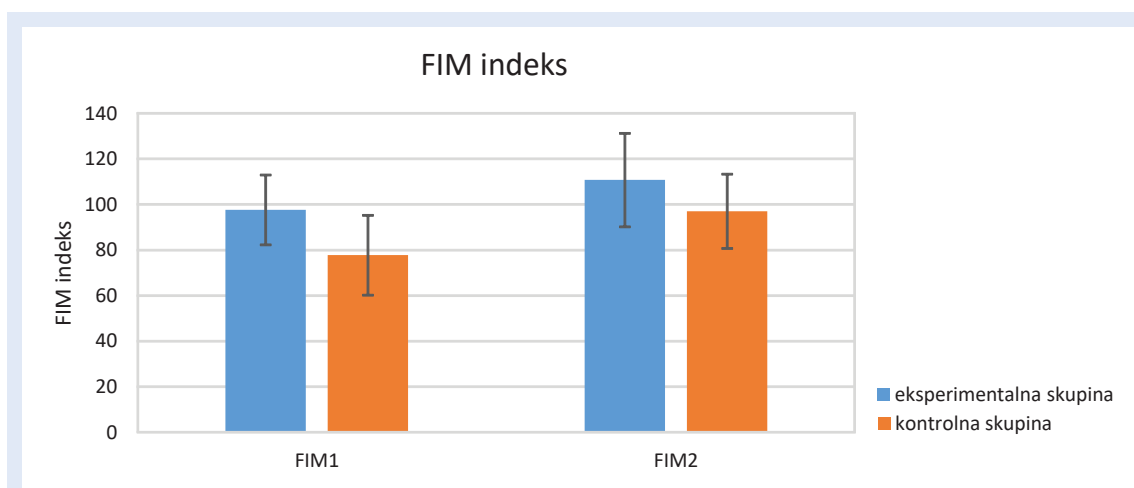
U kontrolnoj skupini zabilježen je kod dolaska FIM1 77,75 (\pm SD = 17,52), dok je kod otpusta FIM2 iznosio 97,05 (\pm SD = 16,31) te između tih dviju vrijednosti također postoji statistički značajna razlika ($P = 0,0009$) (Slika 2).

Razlika između srednjih vrijednosti završnog mjerenja eksperimentalne u odnosu na kontrolnu skupinu pokazala se statistički značajnom ($P = 0,04$).

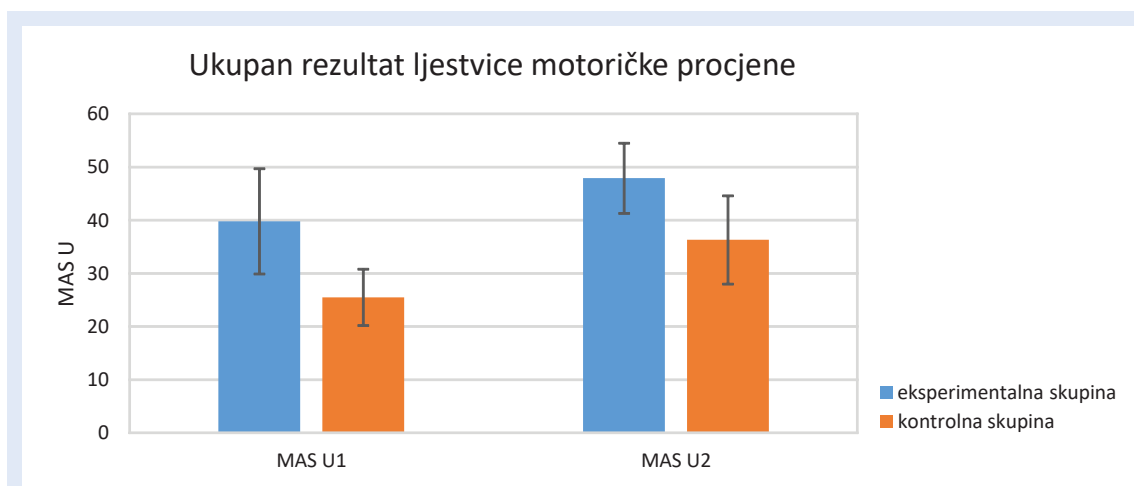
Ukupan rezultat ljestvice motoričke procjene (engl. *Motor Assessment Scale*; MAS U1) kod dolaska (MAS U1) u eksperimentalnoj skupini iznosi 39,8 (\pm SD = 9,9), a kod otpusta (MAS U2) iznosi 47,9 (\pm SD = 6,6) te između tih dviju vrijednosti postoji statistički značajna razlika ($P = 0,004$).

U kontrolnoj skupini MAS U1 iznosio je 25,5 (\pm SD = 5,34), a kod otpusta MAS U2 iznosio je 36,25 (\pm SD = 8,32) te između tih dviju vrijednosti također postoji statistički značajna razlika ($P = 0,000001$) (Slika 3).

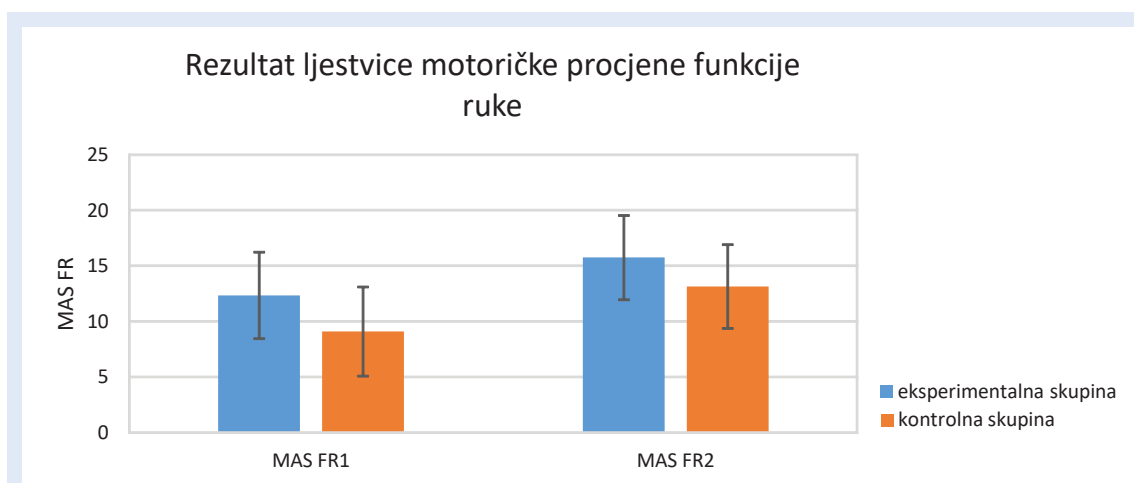
Utvrđena je statistički značajna razlika završnih mjerenja eksperimentalne u odnosu na kontrolnu skupinu ($P = 0,001$).



Slika 2. Grafički prikaz srednjih vrijednosti i standardnih devijacija rezultata FIM (engl. *Functional Independent Measurement*) upitnika eksperimentalne i kontrolne skupine kod prijema (FIM1) i otpusta (FIM2)



Slika 3. Grafički prikaz srednjih vrijednosti i standardnih devijacija rezultata MAS (engl. *Motor Assessment Scale*) ukupnog testa eksperimentalne i kontrolne skupine kod prijema (MAS U1) i otpusta (MAS U2)



Slika 4. Grafički prikaz srednjih vrijednosti i standardnih devijacija rezultata MAS (engl. *Motor Assessment Scale*) FR testa (funkcije ruke) eksperimentalne i kontrolne skupine kod prijema (MAS FR1) i otpusta (MAS FR2)

Ljestvica motoričke procjene (engl. Motor Assessment Scale; MAS) funkcije ruke MAS FR1 kod dolaska je u eksperimentalnoj skupini iznosila 12,35 (\pm SD = 3,89), indeks MAS FR2 kod otpusta je iznosio 15,75 (\pm SD = 3,79) te između tih dviju vrijednosti postoji statistički značajna razlika ($P = 0,008$). U kontrolnoj skupini MAS FR1 kod dolaska je iznosio 9,1 (\pm SD = 4,01), a MAS FR2 kod otpusta je iznosio 13,15 (\pm SD = 3,77) te između tih dviju vrijednosti također postoji statistički značajna razlika ($P = 0,002$) (Slika 4).

Razlika završnih mjerenja eksperimentalne u odnosu na kontrolnu skupinu je statistički značajna i u ovom slučaju ($P = 0,001$).

RASPRAVA

Ponovna uspostava funkcije gornjeg ekstremiteta jedan je od glavnih ciljeva rehabilitacije kod bolesnika nakon moždanog udara s posljedičnim razvojem hemipareze²². Rehabilitacijski algoritam bazira se na razvoju neuroplastičnosti mozga vježbom i stvaranjem motoričkih obrazaca pokreta pomoću konvencionalne fizioterapije. Bobath koncept jedna je od neurorazvojnih tehnika vježbanja i koristi se u rehabilitaciji bolesnika s hemiparezom. Uz konvencionalnu terapiju, uključivanjem robotskog uređaja u rehabilitaciju povećava se broj ponavljanja vježbe, uvjeti vježbe su kontrolirani, vježba je organizirana prema zadatku i cilju uz objektivne podatke o napretku bolesnika¹⁷. Rezultati našeg istraživanja pokazuju statistički značajno poboljšanje rezultata funkcionalnih testova, u objema skupinama. Naknadnom (*post hoc*) statističkom analizom ipak smo utvrdili da su kod odlaska sudionici u eksperimentalnoj skupini pokazali statistički značajno bolje rezultate u odnosu na kontrolnu skupinu.

Velik broj različitih terapijskih metoda zasigurno postoji i zbog velike heterogenosti pacijenata, stoga zaključujemo kako je neophodno razvijati metode koje omogućavaju individualan pristup svakom bolesniku, klinički su prihvatljive ispunjavaju zahtjeve jednostavnosti, prilagodljivosti i terapijske opravdanosti²³.

Budući da još uvijek nije potpuno jasno na koji način je potrebno koncipirati terapiju pacijenata tijekom rehabilitacije nakon moždanog udara, postoje studije koje zagovaraju izvođenje funkcionalnih

pokreta u okviru konkretnih zadataka, što dokazano unaprjeđuje oporavak pacijenata²⁴, te studije koje jasno govore kako je oporavak pozitivno koreliran s kvantitetom izvođenih pokreta²⁵. Kako bi se terapija uskladila s individualnim potrebama bolesnika, neophodno je kontinuirano pratiti stanje bolesnika, težinu oštećenja, napredak bolesnika itd., kao što smo i prikazali u ovom istraživanju.

Prema analizama objavljenima u nekoliko Cochrane studija (praksa temeljena na dokazima)^{8, 9, 26-29} s fokusom na izvođenje repetitivnih,

Robotski sustavi kao nadogradnja konvencionalne fizioterapije postali su terapija izbora u algoritmima neurorehabilitacije. No, izbor pravog robotskog sustava i kontinuitet u rehabilitaciji uz prelazak s jednog na drugi oblik robotskog uređaja od iznimne je važnosti. Armeo Spring® (Hocoma, Švicarska) prilagodljiva je mehanička ruka koja je pogodna je za sve razine hemipareze gornjeg ekstremiteta, no ne i za potpunu plegiju ruke.

facilitiranih pokreta i izvođenje pokreta korištenjem naprednih tehnologija, postoji velik broj različitih terapijskih metoda, od kojih se ni jedna ne izdvaja kao značajno superiorna. Sustavi poput robotskog uređaja Armeo Spring® napravljeni su kako bi minimalno ometali izvođenje pokreta, a nekada su opskrbljeni i sustavima opruga koje poništavaju djelovanje sile teže. Zanimljivo je napomenuti da su najčešće ponavljani zadatci doseganja/hvatanja. Ove kretnje najčešće se koriste u aktivnostima dnevnog života i u međuzglobnoj koordinaciji, a sposobnost potpunog izvršavanja ovih kretnji bitno je umanjena kod pacijenata s hemiparezom⁵. Primjena sustava opskrbljenog virtualnom stvarnošću u rehabilitaciji ima neke izravne koristi, između ostalog, pružanje stimulativnog i zabavnog okruženja koje utječe na povećanje motivacije pacijenata.

U svojim radovima Wagner i sur. i Colomer i sur.^{30, 31} uzimaju povećanje od 5 bodova unutar FIM ljestvice kao minimalan napredak koji je klinički vidljiv. I u našoj studiji klinička vrijednost robotskog sustava vidljiva je iz porasta rezultata FIM upitnika za 13 bodova u skupini koja je uz uobičajenu fizioterapiju tretirana i robotskim sustavom Armeo Spring®.

Kad usporedimo vrijeme koje je proteklo od moždanog udara, tj. od početka sadašnje bolesti kod pacijenata u našoj studiji s onima u literaturi³²⁻³⁴, u našoj studiji taj je period kraći, što bi dijelom također moglo objasniti naše rezultate.

Nesumnjivo, još jedna od neupitnih koristi sustava Armeo Spring® ogleda se u mogućnosti bolesnika da bude samostalan tijekom terapije, bez potrebe za nadzorom. Problem koji inače postoji kod samostalnih pacijenata tijekom terapije jest što bolesnik nije svjestan radi li ispravno zadani pokret, pogotovo u slučaju kada se radi velik broj ponavljanja. Međutim, tijekom samostalne terapije pomoću predstavljenog sistema bolesnik prati svoj učinak, odnosno kvalitetu izvođenja pokreta u vidu rezultata videoigre, što rasterećuje terapeuta, a bolesniku omogućava duže vrijeme upotrebe sustava. Rezultat u videoigri, odnosno uspjeh u virtualnoj stvarnosti oslikava trenutni učinak, a mogućnost njegova dugotrajnijeg praćenja je pokazatelj mogućnosti i potreba bolesnika³³.

Određeni problemi koji se javljaju u rehabilitaciji i procjeni stanja pacijenata svode se na ponovljivost, koja nije svojstvena ljudima. S druge strane, po definiciji, roboti su uređaji koji omogućavaju visok stupanj ponovljivosti izvršavanja određenih postupaka i u industriji se već desetljećima koriste da zamijene ljude u manualnim poslovima koji se monotono ponavljaju. Iz tog razloga, pred nepuna tri desetljeća javila se ideja da bi roboti mogli biti odgovarajući alat za unaprjeđenje nekih aspekata rehabilitacije. Od tada postoji težnja da se korištenjem naprednih tehnologija omogući pojednostavljenje terapijskih procesa, kao i estimacija stanja bolesnika³².

ZAKLJUČAK

Razlike među srednjim vrijednostima koje smo dobili testovima korištenima u ovom istraživanju ukazuju na to da korištenje robotskog sustava Armeo Spring® povećava funkcionalni oporavak gornjih ekstremiteta u ispitanika s hemiparezom nakon moždanog udara. Time smo, zapravo, odgovorili na sva znanstvena pitanja koja smo postavili. Iako su robotski sustavi već dugo prisutni u rehabilitaciji, zbog visoke cijene i složene terapijske procedure nisu dostupni široj populaciji pacijenata. Primjena ovakvih metoda još uvijek nije odgo-

vorila na sve zahtjeve rehabilitacije, ali postoje jasne indikacije da one mogu značajno unaprijediti rehabilitacijski proces.

Do našeg istraživanja ne postoje jasni dokazi koji bi govorili da je upotreba sofisticiranih robotskih sustava na bilo koji način efikasnija od primjene jednostavnih terapijskih procedura i uređaja. Osim upotrebe sofisticiranih robota, važno je uzeti u obzir i motivaciju bolesnika. Robotski su sustavi prepoznati kao pogodan medij za implementaciju virtualne stvarnosti i videoigara u proces rehabilitacije, što omogućuje povećanje motivacije pacijenata i povratnu informaciju o kvaliteti izvedenog pokreta i napretku, čime se poboljšava funkcionalni oporavak.

Izjava o sukobu interesa: Autorice izjavljuju kako ne postoji sukob interesa.

LITERATURA

1. World Health Organization [Internet]. Geneva: Neurological disorders: public health challenges. c2021 [cited 2021 Aug 1]. Available from: [file:///C:/Users/inaviduka/Downloads/9241563362_eng%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/inaviduka/Downloads/9241563362_eng%20(2).pdf).
2. Cumming TB, Marshall RS, Lazar RM. Stroke, cognitive deficits, and rehabilitation: still an incomplete picture. *Int J Stroke* 2013;8:38-45.
3. Patel AT, Duncan PW, Lai SM, Studenski S. The relation between impairments and functional outcomes post-stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81:1357-63.
4. Carvalho R, Azevedo E, Marques P, Dias N, Cerqueira JJ. Physiotherapy based on problem-solving in upper limb function and neuroplasticity in chronic stroke patients: A case series. *J Eval Clin Pract* 2018;24:552-560.
5. Van der Lee JH, Snels IA, Beckerman H, Lankhorst GJ, Wagenaar RC, Bouter LM. Exercise therapy for arm function in stroke patients: a systematic review of randomized controlled trials. *Clin Rehabil* 2001;15:20-31.
6. Butefisch C, Hummelsheim H, Denzler P, Mauritz KH. Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand. *J Neurol Sci* 1995;130:59-68.
7. Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E, Uswatte G, Morris D et al. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. *JAMA* 2006;296:2095-104.
8. Kirac-Unal Z, Gencay-Can A, Karaca-Umay E, Cakci FA. The effect of task-oriented electromyography-triggered electrical stimulation of the paretic wrist extensors on upper limb motor function early after stroke: a pilot randomized controlled trial. *Int J Rehabil Res* 2019;42:74-81.
9. Karamians R, Proffitt R, Kline D, Gauthier LV. Effectiveness of Virtual Reality- and Gaming-Based Interventions for Upper Extremity Rehabilitation Poststroke: A Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2020;101:885-896.
10. Liao WW, Wu CY, Hsieh YW, Lin KC, Chang WY. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation on daily func-

- tion and real-world arm activity in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2012;26:111-20.
11. Schmidt RA, Young DE. Methodology for motor learning: a paradigm for kinematic feedback. *J Mot Behav* 1991;23:13-24.
 12. Fasoli SE, Krebs HI, Hogan N. Robotic technology and stroke rehabilitation: translating research into practice. *Top Stroke Rehabil* 2004;11:11-9.
 13. Reinkensmeyer DJ, Emken JL, Cramer SC. Robotics, motor learning, and neurologic recovery. *Annu Rev Biomed Eng* 2004;6:497-525.
 14. Kwakkel G, Kollen BJ, Krebs HI. Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair* 2008;22:111-21.
 15. Stein J, Krebs HI, Frontera WR, Fasoli SE, Hughes R, Hogan N. Comparison of two techniques of robot-aided upper limb exercise training after stroke. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83:720-8.
 16. Kahn LE, Zyngman ML, Rymer WZ, Reinkensmeyer DJ. Robot-assisted reaching exercise promotes arm movement recovery in chronic hemiparetic stroke: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 2006;3:12.
 17. Mayr A, Kofler M, Saltuari L. [ARMOR: an electromechanical robot for upper limb training following stroke. A prospective randomised controlled pilot study]. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2008;40:66-73.
 18. Granger CV, Hamilton BB, Keith RA, Zielezny M, Sherwin FS. Advances in functional assessment for medical rehabilitation. *Top Geriatr Rehabil* 1986;1:59-74.
 19. Mehrholz J, Hadrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electro-mechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;6:006876.
 20. Colomer C, Baldovi A, Torrome S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J et al. Efficacy of Armeo(R) Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia* 2013;28:261-7.
 21. Wagner JM, Rhodes JA, Patten C. Reproducibility and Minimal Detectable Change of Three-Dimensional Kinematic Analysis of Reaching Tasks in People With Hemiparesis After Stroke. *Phys Ther* 2008;88:652-63.
 22. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N et al. Robot-assisted training compared with an enhanced upper limb therapy programme and with usual care for upper limb functional limitation after stroke: the RATULS three-group RCT. *Health Technol Assess* 2020;24:1-232.
 23. Xiong F, Liao X, Xiao J, Bai X, Huang J, Zhang B et al. Emerging Limb Rehabilitation Therapy After Post-stroke Motor Recovery. *Front Aging Neurosci* 2022; 14:863379.
 24. Gandolfi M, Formaggio E, Geroin C, Storti SF, Boscolo Galazzo I, Waldner A et al. Electroencephalographic Changes of Brain Oscillatory Activity After Upper Limb Somatic Sensation Training in a Patient With Somatosensory Deficit After Stroke. *Clin EEG Neurosci* 2015;46:347-52.
 25. Conroy SS, Whitall J, Dipietro L, Jones-Lush LM, Zhan M, Finley MA et al. Effect of gravity on robot-assisted motor training after chronic stroke: a randomized trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2011;92:1754-61.
 26. Bower C, Taheri H, Wolbrecht E. Adaptive control with state-dependent modeling of patient impairment for robotic movement therapy. *IEEE 2013: Proceedings of the 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR); 2013 Jun 24-26; Seattle: USA, 2013;1-6.*
 27. Mehrholz J, Hadrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electro-mechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;6:006876.
 28. Laver K, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation: an abridged version of a Cochrane review. *Eur J Phys Rehabil Med* 2015;51:497-506.
 29. Colomer C, Baldovi A, Torrome S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J et al. Efficacy of Armeo(R) Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia* 2013;28:261-7.
 30. Wagner JM, Rhodes JA, Patten C. Reproducibility and Minimal Detectable Change of Three-Dimensional Kinematic Analysis of Reaching Tasks in People With Hemiparesis After Stroke. *Phys Ther* 2008;88:652-63.
 31. Lo AC, Guarino P, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT, Duncan PW et al. Multicenter randomized trial of robot-assisted rehabilitation for chronic stroke: methods and entry characteristics for VA ROBOTICS. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23:775-83.
 32. Hesse S, Schulte-Tiggies G, Konrad M, Bardeleben A, Werner C. Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:915-20.
 33. Brihmat N, Loubinoux I, Castel-Lacanal E, Marque P, Gasq D. Kinematic parameters obtained with the ArmeoSpring for upper-limb assessment after stroke: a reliability and learning effect study for guiding parameter use. *J Neuroeng Rehabil* 2020;17:130.
 34. Conroy SS, Whitall J, Dipietro L, Jones-Lush LM, Zhan M, Finley MA et al. Effect of gravity on robot-assisted motor training after chronic stroke: a randomized trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2011;92:1754-61.