

# Procjena učinkovitosti robotike u neurorehabilitaciji gornjih ekstremiteta kod pacijenata nakon moždanog udara

---

Schnurrer-Luke-Vrbanić, Tea; Baniček Šoša, Ivanka; Barišić, Tomislav; Bagatin, Matea

Source / Izvornik: **Medicina Fluminensis, 2022, 58, 425 - 435**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

[https://doi.org/10.21860/medflum2022\\_284700](https://doi.org/10.21860/medflum2022_284700)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:036362>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



# Procjena učinkovitosti robotike u neurorehabilitaciji gornjih ekstremiteta kod pacijenata nakon moždanog udara

## Evaluation of the effectiveness of robotics in neurorehabilitation of the upper extremities in patients after stroke

Tea Schnurrer-Luke-Vrbanić, Ivanka Baniček Šoša\*, Tomislav Barišić, Matea Bagatin

**Sažetak. Cilj:** Analizirati učinkovitost primjene egzoskeletnog robotskog uređaja Armeo Power® (Hocoma, Švicarska) u rehabilitaciji ruke osoba s jednostranim motoričkim ispadom nakon moždanog udara. **Ispitanici i metode:** U istraživanje koje je provedeno na Zavodu za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu KBC-a Rijeka bilo je uključeno ukupno 20 ispitanika iz stacionarne rehabilitacije. Eksperimentalna skupina (n = 10) uz konvencionalnu terapiju tretirana je i na Armeo Power® uređaju (5 puta tjedno / 4 tjedna; 45 minuta po tretmanu). Istovremeno se kod kontrolne skupine (n = 10) provodila samo konvencionalna terapija. Konvencionalna terapija u objema skupinama bila je vremenski usklađena (5 puta tjedno / 4 tjedna; 45 minuta po tretmanu). Procjenjivale su se motorička funkcija, funkcionalna mjera neovisnosti te prosječno izvođenje i zadovoljstvo izvođenjem okupacije, a procjena se vršila kliničkim ocjenskim ljestvicama. **Rezultati:** Kod svih kliničkih parametara u ponovljenim mjerenjima zabilježeno je statistički značajno poboljšanje (P = 0,005). Usporedbom između skupina na kraju liječenja nije utvrđena statistički značajna razlika u mjerama motoričke funkcije na FMA (engl. *Fugl-Meyer Assessment*) skali (P = 0,120) niti funkcionalne neovisnosti na FIM (engl. *Functional Independence Measure*) skali (P = 0,762). Međutim, zbog značajno bolje motoričke funkcije eksperimentalne skupine na početku, teško je s velikim značajem promatrati usporedbu na kraju liječenja, barem kada je riječ o FMA. Statistički značajna razlika između skupina na kraju liječenja zabilježena je samo u rezultatima COPM-a (engl. *Canadian Occupational Performance Measure*) (prosječno izvođenje, P = 0,014; prosječno zadovoljstvo, P = 0,022). **Zaključci:** Dobiveni rezultati ukazuju da terapija uređajem Armeo Power u kombinaciji s konvencionalnom terapijom može poboljšati funkcionalni oporavak nakon moždanog udara, iako su potrebna daljnja istraživanja na većem broju bolesnika.

**Ključne riječi:** moždani udar; rehabilitacija; robotika

**Abstract. Aim:** To analyze the impact of exoskeletal robotic device Armeo Power® (Hocoma, Switzerland) on arm and hand post-stroke rehabilitation of patients with one side movement disability. **Patients and methods:** Among the patients who participated in the stationary rehabilitation program at Department of Physical and Rehabilitation Medicine in Clinical Hospital Centre Rijeka we formed experimental group of 10 patients, and corresponding control group. For experimental group, we combined conventional and robotic therapy (5 times a week for 4 weeks, 45 minutes per therapy), while in the control group we applied only conventional therapy. Conventional therapy in both groups was the same (5 times a week for 4 weeks, 45 minutes per therapy). Assessment of a motoric function, functional measurement of independence, average performance, satisfaction in the therapy and estimation was done by clinical scales. **Results:** Statistically significant improvement was noticed in both groups with all clinical parameters (P=0,005). Comparing the two groups at the end of treatment there was no significant statistic difference in measurements of motor function on FMA (*Fugl-Meyer Assessment*) scale (P=0,120), or functional independence on FIM (*Functional Independence Measure*) scale (P=0,762).

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

**\*Dopisni autor:**

Ivanka Baniček Šoša, mag. physioth.  
Klinički bolnički centar Rijeka, Zavod za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu  
Ul. Tome Strišića 3, 51000 Rijeka, Hrvatska  
E-mail: fizikalna-susak.glt@kbc-rijeka.hr

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

Statistically significant difference between groups at the end of treatment was registered only in results of COPM (*Canadian Occupational Performance Measure*), average performance  $P=0,014$ ; average satisfaction  $P=0,022$ .

**Conclusion:** Obtained results show that Armeo Power therapy in combination with conventional therapy can improve functional recovery of patients after brain stroke, although further research is needed on a larger number of patients.

**Keywords:** rehabilitation; robotics; stroke

Neurorehabilitacijom bolesnika nakon moždanog udara postićemo maksimum fizičke, psihičke, društvene, profesionalne, rekreativne i edukacijske osposobljenosti u odnosu na fiziološko ili anatomsko oštećenje, ograničenja okoline te želje i životne planove. Pritom koristimo mogućnost neuroplastičnosti mozga s ciljem reorganizacije moždanih mapa i živčanih puteva vježbanjem.

#### UVOD

Jedna od glavnih nezaraznih bolesti od velike javnozdravstvene važnosti upravo je moždani udar. Nakon koronarne bolesti srca najčešći je uzrok smrti u većini industrijaliziranih zemalja te je najčešći uzrok invaliditeta u odraslih. Svjetska zdravstvena organizacija (SZO) definira moždani udar kao naglo nastali neurološki deficit (žarišni ili globalni) koji traje dulje od 24 sata ili dovodi do smrti, a nastaje kao posljedica patološkog procesa na krvnim žilama<sup>1</sup>.

Epidemiološki podatci izvještavaju da moždani udar pogađa 13,7 milijuna ljudi širom svijeta, od čega smrtno strada oko 5,5 milijuna ljudi godišnje<sup>2</sup>. Prema podatcima Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo iz 2019. godine, ukupno 5 180 osoba umrlo je od moždanog udara, što čini 10 % svih umrlih. Broj umrlih muškaraca iznosio je 2 191 (8,6 % od svih umrlih muškaraca), a broj umrlih žena 2 989 (11,3 % od svih umrlih žena). Unazad 20 godina u Republici Hrvatskoj je stopa smrtnosti od moždanog udara (cerebrovaskularnih bolesti) zabilježila pozitivan trend smanjenja (2000. godine 251,4 / 100 000; 2019. godine 98,8 / 100 000), posebno izražen u dobi od 0 do 64 godine. Većina pacijenata nakon akutne faze moždanog udara suočava se s deficitima koji im mijenjaju prijašnje životne navike. Liječenje moždanog udara stoga ne završava u intenzivnoj jedinici, a neurorehabilita-

cija predstavlja ključnu komponentu na dugom putu oporavka. O tome najbolje govori podatak da se zbog posljedica moždanog udara u Republici Hrvatskoj godišnje liječi 12 do 13 tisuća osoba<sup>3</sup>. Osnovni cilj neurorehabilitacije pacijenata nakon moždanog udara jest postizanje maksimalnih funkcionalnih, psiholoških i socijalnih kapaciteta kako bi se pacijenti vratili prijašnjim aktivnostima i uspješno reintegrirali u društvo<sup>4</sup>. Neuroplastičnost predstavlja temelj na kojem se bazira suvremena neurorehabilitacija nakon oštećenja mozga<sup>5</sup>, a programi neurorehabilitacije nepobitno su potvrdili svoju učinkovitost u smanjenju stupnja invaliditeta te ovisnosti o tuđoj pomoći<sup>6</sup>. Postoje brojni čimbenici koji utječu na funkcionalni oporavak pacijenata nakon moždanog udara, uključujući vrijeme početka rehabilitacijskog procesa te intenzitet i trajanje terapije. Neurorehabilitacija započinje čim je pacijent u stabilnom stanju, nakon ozljede, jer se najveći oporavak očekuje u akutnoj i subakutnoj fazi. Zbog dodatnih komplikacija i komorbiditeta uzrokovanih moždanim udarom pacijentima je potrebno pružiti podršku cjelokupnog medicinskog tima. Upravo multidisciplinarni pristup brojnih stručnjaka idealan je za rehabilitaciju pacijenata nakon moždanog udara<sup>4</sup>.

Osnovni princip neurorehabilitacije je unaprijeđenje procesa motoričkog učenja pružanjem dodatnih informacija i podražaja koji u normalnim okolnostima nisu na raspolaganju senzornom i motornom sustavu<sup>7</sup>. Ukoliko pacijent ne koristi određene funkcije, one se trajno gube. Trening koji pokreće određenu funkciju, može je i unaprijediti. Za uspješno provođenje treninga bitna je motiviranost pacijenta, kao i održavanje pažnje na ono čime se trenutno bavi. Specifičnost, ponavljanje, intenzitet i vrijeme ključni su za plastičnost mozga<sup>5</sup>. Brojna istraživanja pokazuju da povećavanje doze terapije, intenziteta i broja ponavljanja može promovirati plastičnost i funkcionalni oporavak<sup>8,9</sup>.

#### ROBOTIKA U NEUROREHABILITACIJI RUKE

Česta komplikacija nakon moždanog udara je disfunkcija gornjeg ekstremiteta koja uvelike ograničava osobe u obavljanju aktivnosti svakodnevnog života i smanjuje društvenu participaciju. Zabilje-



Slika 1. Armeo Power – robotski uređaj KBC-a Rijeka

ženo je da pogađa otprilike 85 % osoba koje su preboljele moždani udar u ranoj fazi. Budući da medicina napreduje iz dana u dan, nova tehnološka rješenja postala su dostupnija i za rehabilitaciju. Robotika je tako pronašla svoje mjesto među novim rehabilitacijskim tehnikama sa svrhom promicanja funkcije gornjih ekstremiteta<sup>10</sup>. Robotski uređaji mogu pružiti veću dozu pacijentovog angažmana tijekom ponavljanja različitih fizičkih zadataka, što je teže postići tijekom konvencionalne terapije vježbanjem<sup>11</sup>. Mnogi uređaji koriste implementirani softver s igricama i izazovima kroz virtualnu stvarnost, koji dodatno motiviraju pacijente te tako dovode do veće posvećenosti rehabilitaciji. Upravo jedan od takvih uređaja je i Armeo Power® (Hocoma, Švicarska), korišten u ovom istraživanju. Armeo Power, egzoskeletni je tip robota za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta. Sastoji se od motorizirane ortoze za ruku koja može pružiti potporu i pomoć pacijentima prilikom izvođenja pokreta, a koja je povezana sa softverom na računalnom zaslonu (Slika 1). Posebno je dizajniran za terapiju u ranoj fazi rehabilitacije. Čak i pacijentima s teškim oštećenjem pokreta, koji još nemaju voljnu aktivaciju mišićne, uređaj omogućava izvođenje vježbi s velikim brojem ponavljanja. Na taj način facilitira neuroplastičnost i motoričko učenje u najranijim fazama oporavka<sup>12, 13</sup>.

Glavni cilj ovog rada bio je analizirati utjecaj robotskog uređaja Armeo Power na rehabilitaciju ruke, odnosno funkcionalni oporavak osoba s jednostranim motoričkim ispadom kao posljedicom preboljenog moždanog udara. Početne pretpostavke formirane su u smjeru statistički značajnijeg poboljšanja eksperimentalne skupine koja je u terapiji koristila Armeo Power robotski uređaj.

## ISPITANICI I METODE

### Ispitanici

U ovo istraživanje uključeno je 20 ispitanika s ispadom funkcije gornjeg ekstremiteta kao posljedicom moždanog udara. Prikupljanje podataka o ispitanicima odobreno je od Etičkog povjerenstva KBC-a Rijeka, na sjednici održanoj 31. svibnja 2021. Kako bi u najvećoj mogućoj mjeri izbjegli pristranost u istraživanju i učinili istraživanje što objektivnijim, od svih pacijenata koji su sudjelovali u programu stacionarne rehabilitacije gornjeg ekstremiteta na Armeo Power robotskom uređaju, u razdoblju od 2019. do 2020. godine, jednostavnom randomizacijom u eksperimentalnu skupinu odabrano je 10 pacijenata. Također, u kontrolnu skupinu jednostavnom randomizacijom odabrano je 10 pacijenata koji su sudjelovali u programu stacionarne rehabilitacije prije nego se počela primjenjivati terapija robotskim uređajem Armeo Power (povijesna kontrolna skupina).

Stacionarna rehabilitacija provodila se na Zavodu za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu KBC-a Rijeka.

Eksperimentalnu skupinu (n = 10) čine pacijenti koji su u sklopu rehabilitacijskog programa uz uobičajenu fizioterapiju po Bobath konceptu bili uključeni u program radne terapije i terapije na Armeo Power robotskom uređaju. S druge strane, kontrolnu skupinu (n = 10) čine pacijenti koji su provodili iste aktivnosti kao i eksperimentalna skupina osim terapije na robotskom uređaju Armeo Power. Pacijenti su prošli program rehabilitacije u trajanju od četiri tjedna, u sklopu kojeg su imali 20 tretmana po Bobath konceptu, 20 tretmana radne terapije te 20 tretmana na Armeo Power uređaju.

Pacijenti uključeni u istraživanje morali su zadovoljiti određene kriterije. Jedan od kriterija bio je prisustvo jednostranog motoričkog ispada nastalog kao posljedica moždanog udara. Odsustvo patologije verbalne komunikacije bilo je drugi kriterij. Treći kriterij predstavljalo je uključanje u program neurorehabilitacije unutar tri mjeseca od preboljenog moždanog udara. Također, pacijenti uključeni u istraživanje prilikom procjene kognitivnog stanja malim testom za procjenu mentalnog stanja (engl. *Mini-Mental State Exam*; MMSE) morali su ostvariti 20 ili više bodova.

### Postupci i mjerenja

Ispitanici obiju skupina provodili su terapiju po Bobath konceptu. Terapija se sastojala od ukupno 20 tretmana, a trajanje pojedine procedure bilo je 45 min. Provodile su se aktivnosti mobilizacije, facilitacije pokreta, uvježbavanja komponenti aktivnosti, cijelog zadatka i sl. Sve aktivnosti bile su individualno prilagođene pacijentima i usmjerene na poboljšanje posturalne kontrole trupa i ramenog pojasa kako bi se omogućile selektivnije kretnje ruku te na taj način maksimalizirala funkcija. Terapija je provodena od licenciranog Bobath terapeuta.

Također, ispitanici obiju skupina sudjelovali su u radnoterapijskim tretmanima. Terapiju je vodila prvostupnica radne terapije zaposlena na Odjelu fizikalne medicine i rehabilitacije KBC-a Rijeka. Trajanje jedne radnoterapijske intervencije bilo je 45 min, a pacijenti su ukupno proveli 20 tretma-

na s ciljem poboljšanja vještina i samostalnosti pri izvođenju svakodnevnih aktivnosti.

Prije početka provođenja terapije uređajem Armeo Power, za svakog ispitanika eksperimentalne skupine individualno su prilagođene postavke uređaja. Određene su sigurnosne zone, tj. granice unutar kojih se uređaj može slobodno kretati bez straha od ozljeđivanja te je napravljena početna procjena. Početna procjena služi za definiranje radnog prostora unutar kojeg će se odvijati aktivnosti. Od velike je važnosti kako softver ne bi postavljao stavke izvan dosega pacijenta tijekom vježbanja. Nakon završetka početne procjene određen je plan terapije. Individualno za svakog pacijenta odabrani su redoslijed, težina i trajanje pojedine vježbe. Trening mora biti usmjeren na pacijentove potrebe i sposobnosti u skladu s mogućnostima i funkcionalnim oštećenjem te mora poticati njegovu aktivnost<sup>13</sup>. Terapija na Armeo Power uređaju provodila se ukupno 20 puta, a trajanje individualnog tretmana bilo je unutar vremenskog perioda od 45 min. Ispitanici su tretman provodili uz nadzor stručne osobe posebno educirane za upravljanje Armeo Power uređajem. Učinkovitost neurorehabilitacijskih postupaka pratila se mjernim instrumentima prije započinjanja terapije i na kraju perioda rehabilitacije.

### Mjerni instrumenti

#### *Ocjenska ljestvica Fugl-Meyer*

Ocjenska ljestvica Fugl-Meyer (engl. *Fugl-Meyer Assessment*; FMA) bazirana je na izvođenju pojedinih funkcija i specifična je za moždani udar. Osmišljena je za procjenu motoričkog funkcioniranja, ravnoteže, osjeta i funkcioniranja zglobova u pacijenata s hemiplegijom nakon moždanog udara. Može se primijeniti kod pacijenata svih životnih dobi<sup>15,16</sup>. Autori su prvi predložili navedenu ljestvicu kao standardizirani test procjene oporavka nakon moždanog udara još 1975. godine i od tada se naširoko koristi za kliničku procjenu senzomotoričke funkcije<sup>15</sup>. U ovom istraživanju koristili smo dio ljestvice FMA za procjenu motoričke i senzomotoričke funkcije za gornji ekstremitet.

#### *Funkcionalna mjera neovisnosti*

Funkcionalna mjera neovisnosti (engl. *Functional Independence Measure*; FIM) predstavlja instru-

ment za procjenu pacijentovih sposobnosti i neovisnosti u svakodnevnom funkcioniranju. Razvijen je kako bi riješio pitanja osjetljivosti i sveobuhvatnosti koja su okarakterizirana kao problematična kod Barthelovog funkcijskog indeksa. FIM je suvremeniji test, a ujedno i specifičniji jer se sastoji od više parametara procjene, uključujući i kognitivnu funkciju<sup>17</sup>.

FIM uključuje mjere neovisnosti za brigu o sebi (samozbrinjavanje), kontrolu sfinktera, mobilnost, pokretanje, komunikaciju i socijalne spoznaje<sup>18</sup>. Procjenjuje se 18 funkcija, bodovanje je u rasponu od 1 do 7, pomoću ordinalne skale osjetljive na promjene tijekom opsežnog programa stacionarne rehabilitacije. Mogući ukupni rezultati FIM-a kreću se od 18 do 126. Veći rezultat označava neovisniji funkcionalni status<sup>19</sup>.

#### Kanadska mjera izvođenja radnog zadatka

Kanadska mjera izvođenja okupacija (engl. *Canadian Occupational Performance Measure*; COPM) predstavlja mjeru ishoda osmišljenu da je koriste radni terapeuti u svrhu procjene ishoda pacijenata na području brige o sebi, produktivnosti i razonode<sup>20</sup>.

COPM je najkorištenija mjera ishoda u radnoj terapiji u svijetu i može se koristiti kod svih dobnih skupina. Primjenjuje se u više od 40 zemalja diljem svijeta te je dostupan na 36 jezika. Prvo izdanje COPM-a objavilo je Kanadsko društvo radnih terapeuta u suradnji s *Health Canada* 1991. godine. Od tada se u više navrata COPM mijenjao i unaprjeđivao, a pouzdanost i valjanost COMP-a dobro su utvrđeni<sup>21</sup>.

Koristeći polustrukturirani intervju, COPM je proces u pet koraka koji mjeri pojedinačna problematična područja koja pacijent identificira u svakodnevnom radu. Dobivaju se dvije ocjene, za izvedbu okupacija i zadovoljstvo izvedbom<sup>21</sup>.

#### Statistika

Za potrebe izrade empirijskog dijela ovog rada pristupljeno je bazi podataka KBC-a Rijeka. Obradivani su podatci od ukupno 20 pacijenata podijeljenih u eksperimentalnu ( $n = 10$ ) i kontrolnu ( $n = 10$ ) skupinu. U radu se koriste metode tabelarnog prikazivanja podataka kojima se prezentira struktura pacijenata prema promatranim sociodemografskim varijablama i varijablama kliničke procjene. Budući da je riječ o malom uzorku ( $n = 10$ ), numeričke vrijednosti prezentirane su upotrebom metoda deskriptivne statistike, i to medijana kao srednje vrijednosti te interkvartilnog raspona kao pokazatelja odstupanja. Hipoteze se u ovom radu ispituju upotrebom Mann-Whitney U testa (ispitivanje razlika između eksperimentalne i kontrolne skupine), dok se prisutnost promjene u ponovljenom mjerenju u odnosu na prvo mjerenje ispituje testom za ponovljena mjerenja Wilcoxon. Analiza podataka provedena je u računalom programu Statistica verzija 12 (TIBCO Software INC.), na razini značajnosti  $P < 0,05$ .

#### REZULTATI

Demografske karakteristike skupina pacijenata po dobi su ujednačene. Medijan dobi kontrolne skupine je 66,5 godina (raspon 61,5-71,5), a eksperimentalne skupine je 69 godina (raspon 66,5-75) te razlika nije statistički značajna ( $P = 0,363$ ) (Tablica 1).

Srednja vrijednost senzorne funkcije (FMA) u prvom mjerenju eksperimentalne skupine je za 4 boda manja od srednje vrijednosti kontrolne skupine te je ispitivanjem utvrđeno postojanje značajne razlike između skupina ( $Z = 2,23$ ;  $P = 0,026$ ). U ponovljenom mjerenju došlo je do izjednačenja srednjih vrijednosti između eksperimentalne i kontrolne skupine te nije utvrđena statistički zna-

**Tablica 1.** Starosna dob pacijenata u promatranim skupinama

| Skupina         |         | Starost       | Z    | P*    |
|-----------------|---------|---------------|------|-------|
| Kontrolna       | Medijan | 66,50         | 0,91 | 0,363 |
|                 | IQR     | (61,50-71,50) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan | 69,00         |      |       |
|                 | IQR     | (66,50-75,50) |      |       |

\*Mann-Whitney U test

**Tablica 2.** Rezultati mjerenja senzoričke funkcije za gornje ekstremitete

| Skupina         | FUGL-MEYER<br>(g. e.) max 24 | Mjerenje      |               | Z    | p**   |
|-----------------|------------------------------|---------------|---------------|------|-------|
|                 |                              | I             | II            |      |       |
| Kontrolna       | Medijan                      | 24,00         | 24,00         | 1,34 | 0,180 |
|                 | IQR                          | (24,00-24,00) | (24,00-24,00) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan                      | 20,00         | 24,00         | 2,37 | 0,018 |
|                 | IQR                          | (19,00-23,00) | (21,00-24,00) |      |       |
|                 | Z                            | 2,23          | 1,79          |      |       |
|                 | p*                           | 0,026         | 0,084         |      |       |

\*Mann-Whitney U test; \*\*Wilcoxon test za ponovljena mjerenja

**Tablica 3.** Rezultati mjerenja motoričke funkcije za gornje ekstremitete

| Skupina         | FUGL-MEYER<br>(g. e.) max 66 | Mjerenje      |               | Z    | p**   |
|-----------------|------------------------------|---------------|---------------|------|-------|
|                 |                              | I             | II            |      |       |
| Kontrolna       | Medijan                      | 36,00         | 48,50         | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                          | (22,50-43,75) | (27,50-56,75) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan                      | 51,00         | 61,00         | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                          | (46,50-55,50) | (52,00-62,50) |      |       |
|                 | Z                            | 2,00          | 1,55          |      |       |
|                 | p*                           | 0,045         | 0,121         |      |       |

\*Mann-Whitney U test; \*\*Wilcoxon test za ponovljena mjerenja

**Tablica 4.** Rezultati mjerenja funkcionalne neovisnosti

| Skupina         | FIM     | Mjerenje       |                | Z    | p**   |
|-----------------|---------|----------------|----------------|------|-------|
|                 |         | I              | II             |      |       |
| Kontrolna       | Medijan | 95,00          | 107,00         | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR     | (80,00-109,25) | (99,25-114,00) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan | 92,00          | 106,00         | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR     | (81,50-99,50)  | (99,00-111,00) |      |       |
|                 | Z       | 0,38           | 0,30           |      |       |
|                 | p*      | 0,705          | 0,762          |      |       |

\*Mann-Whitney U test; \*\*Wilcoxon test za ponovljena mjerenja

čajna razlika ( $Z = 1,79$ ;  $P = 0,084$ ). Među pacijentima kontrolne skupine nije došlo do statistički značajne promjene senzorne funkcije ( $Z = 1,34$ ;  $P = 0,180$ ), dok je kod eksperimentalne skupine došlo do statistički značajnog poboljšanja ( $Z = 2,37$ ;  $P = 0,018$ ) (Tablica 2).

Srednja vrijednost motoričke funkcije (FMA) u prvom je mjerenju eksperimentalne skupine za 15 bodova veća u odnosu na srednju vrijednost kontrolne skupine. Ispitivanjem je potvrđeno postojanje značajne razlike između skupina nakon prvog mjerenja ( $Z = 2,00$ ;  $P = 0,045$ ). U ponovljenom mjerenju razlika se smanjila na 12,50 bodova, što ne predstavlja statistički značajnu razliku

( $Z = 1,55$ ;  $P = 0,120$ ). Kod obiju promatranih skupina došlo je do statistički značajnog poboljšanja motoričke funkcije mjerene na FMA skali, i to za 12,50 bodova kod kontrolne skupine ( $Z = 2,80$ ;  $P = 0,005$ ) te 10 bodova kod eksperimentalne skupine čiji su rezultati bliže maksimalnim vrijednostima ( $Z = 2,80$ ;  $P = 0,005$ ) (Tablica 3).

Srednja vrijednost FIM-a u prvom mjerenju eksperimentalne skupine manja je za 3 boda u odnosu na srednju vrijednost kontrolne skupine, što ne predstavlja statistički značajnu razliku ( $Z = 0,38$ ;  $P = 0,705$ ). U drugom mjerenju razlika se smanjila na 1 bod, što također ne predstavlja statistički značajnu razliku ( $Z = 0,30$ ;  $P = 0,762$ ).

**Tablica 5.** Rezultati mjerenja prosječnog izvođenja okupacija (COPM)

| Skupina         | COPM<br>(Prosječno izvođenje) | Mjerenje    |             | Z    | p**   |
|-----------------|-------------------------------|-------------|-------------|------|-------|
|                 |                               | I           | II          |      |       |
| Kontrolna       | Medijan                       | 2,80        | 6,15        | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                           | (2,23-3,15) | (4,75-7,30) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan                       | 4,00        | 8,00        | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                           | (1,95-5,45) | (7,30-9,00) |      |       |
|                 | Z                             | 1,18        | 2,46        |      |       |
|                 | p*                            | 0,239       | 0,014       |      |       |

\*Mann-Whitney U test; \*\*Wilcoxon test za ponovljena mjerenja

**Tablica 6.** Rezultati mjerenja prosječnog zadovoljstva izvođenja okupacije (COPM)

| Skupina         | COPM<br>(Prosječno zadovoljstvo) | Mjerenje    |             | Z    | p**   |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------------|------|-------|
|                 |                                  | I           | II          |      |       |
| Kontrolna       | Medijan                          | 3,00        | 7,65        | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                              | (2,25-5,90) | (5,00-8,00) |      |       |
| Eksperimentalna | Medijan                          | 3,30        | 9,00        | 2,80 | 0,005 |
|                 | IQR                              | (2,30-4,95) | (8,10-9,30) |      |       |
|                 | Z                                | 0,19        | 2,28        |      |       |
|                 | p*                               | 0,849       | 0,022       |      |       |

\*Mann-Whitney U test; \*\*Wilcoxon test za ponovljena mjerenja

I eksperimentalna i kontrolna skupina zabilježile su značajan rast FIM-a u ponovljenim mjerenjima ( $Z = 2,80$ ;  $P = 0,005$ ) (Tablica 4).

U početnom mjerenju, srednja vrijednost prosječnog izvođenja okupacija (COPM) za 1,20 bodova veća je u eksperimentalnoj u odnosu na kontrolnu skupinu, dok ispitivanjem nije utvrđena značajna razlika između skupina ( $Z = 1,18$ ;  $P = 0,239$ ). U ponovljenom mjerenju razlika se povećala na 1,85 bodova te je veća vrijednost utvrđena kod eksperimentalne skupine ( $Z = 2,46$ ;  $P = 0,014$ ). Obje promatrane skupine zabilježile su statistički značajan rast prosječnog izvođenja okupacije ( $Z = 2,80$ ;  $P = 0,005$ ) (Tablica 5).

Srednja vrijednost prosječnog zadovoljstva (COPM) u prvom mjerenju eksperimentalne skupine veća je za 0,30 bodova u odnosu na srednju vrijednost kontrolne skupine, što ne predstavlja statistički značajnu razliku ( $Z = 0,19$ ;  $P = 0,849$ ). U ponovljenom mjerenju razlika se povećala za 1,35 bodova te je statistički značajno veća vrijednost utvrđena kod eksperimentalne skupine ( $Z = 2,28$ ;  $P = 0,022$ ). Statistički značajan rast prosječnog zadovoljstva zabilježen je u ponovljenim mjerenjima obje skupine ( $Z = 2,80$ ;  $P = 0,005$ ) (Tablica 6).

## RASPRAVA

U ovom istraživanju procjenjivali smo učinak robotski asistirane terapije u kombinaciji s konvencionalnom terapijom kod pacijenata s jednostranom hemiparezom gornjeg ekstremiteta nakon moždanog udara u subakutnom razdoblju. Pacijenti uključeni u istraživanje ( $n = 20$ ) bili su podijeljeni u eksperimentalnu ( $n = 10$ ) i kontrolnu skupinu ( $n = 10$ ). Eksperimentalna skupina je uz konvencionalnu terapiju provodila i terapiju na robotskom uređaju Armeo Power, dok je kontrolna skupina provodila samo konvencionalnu terapiju. Terapije su u objema skupinama bile vremenski usklađene, a procjena se vršila putem kliničkih skala.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da primjena robotskog uređaja Armeo Power uz konvencionalnu terapiju dovodi do statistički značajnog poboljšanja senzorne funkcije kod pacijenata. Naime, pacijenti u eksperimentalnoj skupini zabilježili su statistički značajno poboljšanje osjeta i propiocepcije u ponovljenom mjerenju ( $P = 0,018$ ), dok u kontrolnoj skupini nije zabilježena promjena ( $P = 0,180$ ). Prilikom procjene



motoričke funkcije odmah u prvom mjerenju postojala je značajnija razlika između skupina ( $P = 0,045$ ), koja ukazuje na bolju motoričku funkciju pacijenata eksperimentalne skupine. U ponovljenom mjerenju obje skupine zabilježile su statistički značajno poboljšanje na FMA skali, i to kontrolna za 12,50 bodova ( $P = 0,012$ ) te eksperimentalna za 10 bodova ( $P = 0,005$ ). Međutim, prilikom interpretacije rezultata moramo uzeti u obzir da je eksperimentalna skupina

Robotski uređaji omogućuju veći broj ponavljanja zadataka uz virtualnu stvarnost u kontroliranim uvjetima, što je teško postići tijekom konvencionalne terapije vježbanjem. Nadalje, računalnim modelima pružaju objektivnu procjenu napretka bolesnika tijekom rehabilitacije. Robotska terapija nije zamjena za konvencionalnu terapiju vježbanjem, već nadogradnja kojom se postiže više sati terapije dnevno, a rezultira boljim krajnjim učinkom.

ostvarila rezultate bliže maksimalnim vrijednostima. Usporedbom između skupina na kraju terapijskog procesa nije zabilježena statistički značajna razlika ( $P = 0,120$ ). I kod procjene funkcionalne neovisnosti, obje promatrane skupine zabilježile su statistički značajno poboljšanje u ponovljenim mjerenjima na FIM skali ( $P = 0,005$ ). Eksperimentalna skupina poboljšala se za 14 bodova, dok je kod kontrolne skupine zabilježeno poboljšanje od 12 bodova, a usporedbom između skupina nije dobivena statistički značajna razlika ( $P = 0,762$ ).

No međutim, primijećena je heterogenost između skupina koja se sagledava u boljem motoričkom funkcioniranju pacijenata eksperimentalne skupine. Također, kao što je već prethodno spomenuto, ispitanici eksperimentalne skupine postigli su rezultate bliže maksimalnim vrijednostima. Stoga je teško s velikim značajem promatrati razlike između promatranih skupina na kraju tretmana, barem kada je riječ o FMA. To ujedno predstavlja i ograničenje našeg istraživanja.

Calabro i sur. proveli su prospektivno kohortno istraživanje koje je uključivalo 35 pacijenata s

oštećenjem funkcije gornjeg ekstremiteta nakon moždanog udara u subakutnoj fazi. Cilj im je bio identificirati neurofiziološke markere koji predviđaju reakcije pacijenata na robotsko liječenje. Svi pacijenti bili su podvrgnuti terapiji na robotskom uređaju Armeo Power. Ukupno je provedeno 40 tretmana (5 puta tjedno / 8 tjedana), a trajanje jednog tretmana bilo je 60 min. Rezultati su pokazali evidentno povećanje kortikalne plastičnosti ( $P = 0,030$ ) i smanjenje interhemisferne inhibicije ( $P = 0,010$ ), a takvi rezultati praćeni su kliničkim (FMA,  $P = 0,040$ ; FIM,  $P = 0,040$ ) i kinematičkim poboljšanjima u ponovljenim mjerenjima. Njihovi podatci ukazuju na to da uporaba Armeo Power uređaja može poboljšati oporavak motoričke funkcije gornjih ekstremiteta, kako je predviđeno preoblikovanjem kortikalne plastičnosti te u skladu s osnovnom kortikalnom ekscitabilnošću<sup>22</sup>. To može objasniti i statistički značajno poboljšanje vrijednosti FMA i FIM-a dobivenih u ponovljenom mjerenju našeg istraživanja. Štoviše, naše je istraživanje pokazalo poboljšanje funkcija u kraćem vremenu (četiri tjedna) s ukupno provedenih 20 tretmana po 45 min na Armeo Power uređaju uz konvencionalnu terapiju.

Nadalje, Palermo i sur. u svom istraživanju provedenom na 10 pacijenata nakon moždanog udara u subakutnoj fazi također navode statistički značajno poboljšanje kinematičkih parametara koji koreliraju s kliničkim poboljšanjima. Pacijenti su prošli rehabilitacijski program od ukupno 20 tretmana, od kojih je svaki trajao 50 minuta, koristeći robotski uređaj Armeo Power uz konvencionalnu terapiju provedenu u istom trajanju. Njihovi rezultati ukazuju na statistički značajno poboljšanje motoričke funkcije (FMA;  $P = 0,005$ ) i funkcionalne neovisnosti (FIM;  $P = 0,005$ ) u ponovljenim mjerenjima. Autori zaključuju da bi rehabilitacija posredovana 3D robotom, osim konvencionalne terapije, mogla predstavljati učinkovito sredstvo za oporavak invaliditeta gornjih udova<sup>14</sup>. Dakle, medicinska literatura ukazuje da primjena konvencionalne rehabilitacije i robotskog uređaja može mijenjati i neopozivo utjecati na funkcionalno poboljšanje pacijenata. Statistički značajno poboljšanje funkcije u objema promatranim skupinama ovog istraživanja može biti rezultat ranog uključivanja u proces rehabilitacije te primjene

terapije odgovarajućeg trajanja i intenziteta. Također, ne smijemo izostaviti spontani oporavak koji je mogao utjecati na poboljšanje funkcija u objema promatranim skupinama. Kordelaar i sur. izvještavaju da su pacijenti u subakutnoj fazi nakon moždanog udara skloni fiziološki progresivnom oporavku motoričkih funkcija koji je najizraženiji u prvih osam tjedana nakon moždanog udara<sup>23</sup>. U našem istraživanju oporavak je vjerojatno postignut kombinacijom prirodnih i terapijom posredovanih procesa.

U posljednja dva desetljeća objavljeni su mnogi sustavni pregledi i metaanalize o učinkovitosti robota u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta. Norouzi-Gheidari i sur. u svom sustavom pregledu literature s metaanalizom sažeto prikazuju 10 randomiziranih kontroliranih ispitivanja koja su uspoređivala robotsku terapiju s konvencionalnom terapijom usklađenom prema dozi te nisu izvijestili o značajnim razlikama u rezultatima FMA i FIM-a. Utvrdili su – kada se trajanje/intenzitet konvencionalne terapije uskladi s trajanjem terapije uz pomoć robota, ne postoji razlika između skupina u smislu motoričkog oporavka i poboljšanja sudjelovanja u aktivnostima svakodnevnog života<sup>24</sup>.

Budući da niti jedno od 10 randomiziranih kontrolnih istraživanja nije koristilo Armeo Power uređaj, pretragom literature pokušali smo pronaći relevantna istraživanja s kojima bismo usporedili svoje. Prilikom pretrage baza podataka (Cochrane, Medline) naišli smo na ograničen broj studija koje su uspoređivale uređaj Armeo Power ili pak njegovu istraživačku verziju (ARMin) s konvencionalnom terapijom istovjetne doze<sup>25</sup>. Za komercijalni Armeo Power uređaj pronađeno je samo jedno istraživanje koje je uspoređivalo dvije vrste terapije visokih doza kod pacijenata u subakutnoj fazi nakon moždanog udara. Ukupno 24 pacijenta randomizirano je na „novu istraživačku neuroanimacijsku terapiju“ i „modificiranu konvencionalnu radnu terapiju“. Terapija u objema skupinama uključivala je 30 sesija po 60 minuta uz standardnu skrb. Ishodi su procijenjeni na početku te 3., 90. i 180. dana nakon tretmana. Obje su skupine uspoređene s podudaranom povijesnom kohortom koja je bila podvrgnuta samo 30 minuta terapiji gornjih udova dnevno. Rezultati

pokazuju kako nije bilo značajnih razlika između grupa u mjerama FMA u bilo kojoj vremenskoj točki. Obje skupine visokih doza nisu pokazale veći oporavak na FMA ( $P = 0,564$ ) u usporedbi s povijesnom kohortom<sup>26</sup>. S obzirom na to da prethodno istraživanje nije primjenjivalo jednaku konvencionalnu terapiju, dobivene rezultate također je teško usporediti s našim rezultatima.

Budući da je izuzetno važna suradljivost i motivacija bolesnika u primjeni postupaka tijekom neurorehabilitacije, a njihovo zadovoljstvo primjenom terapijom utječe i na bolje krajnje ishode funkcije, vrlo je bitan i izbor odgovarajuće robotske terapije. Prema našim saznanjima, ovo je prvo istraživanje koje povezuje neurorehabilitaciju konvencionalnim pristupom uz robotski uređaj Armeo Power u pacijenata u subakutnoj fazi nakon moždanog udara i COPM. Rezultati ponovljenih mjerenja pokazali su statistički značajno poboljšanje prosječnog izvođenja okupacija i zadovoljstva tim izvođenjem u objema promatranim skupinama ( $P = 0,005$ ). Usporedbom između skupina na kraju tretmana postignuto je statistički značajnije poboljšanje eksperimentalne u odnosu na kontrolnu skupinu u oba promatrana parametra (prosječno izvođenje,  $P = 0,014$ ; prosječno zadovoljstvo,  $P = 0,022$ ). Mogući razlog značajnijeg poboljšanja u skupini koja je uz konvencionalnu terapiju primjenjivala Armeo Power uređaj jest povećanje motivacije. Uređaj se ističe u području angažiranosti pacijenta koristeći robusnu grafiku i jednostavne, ali zanimljive igre za promicanje ponavljajućih pokreta kroz virtualnu stvarnost. Kombinira terapiju s virtualnim okruženjima kako bi integrirao motivirajuće scenarije nalik igrama. Nekoliko je studija pokazalo pozitivan učinak igre na ishod terapije povećanjem motivacije<sup>27</sup>. Međutim, trebamo uzeti u obzir da je navedeno nešto subjektivnija procjena na koju mogu utjecati brojni čimbenici.

Ovo istraživanje treba sagledati s određenim ograničenjima. Osim prethodno objašnjenje heterogenosti među skupinama, ograničenje predstavlja i mali broj ispitanika uključenih u istraživanje te nemogućnost određivanja stupnja onesposobljenja u kojem robotska terapija dovodi do poboljšanja. Također, istraživanje je započeto u godini prije pandemije COVID-19 i

nastavljeno tijekom prve godine pandemije kada je zbog epidemioloških mjera bio ograničen pristup rehabilitacijskim servisima radi zbrinjavanja akutnih COVID bolesnika i smanjivanja kapaciteta za druge bolesnike. Stoga je potrebno provesti daljnja istraživanja s homogenijom metodologijom.

### ZAKLJUČAK

Prema rezultatima ovog istraživanja zaključujemo da robotski asistirana terapija na siguran i učinkovit način može poboljšati funkcionalni oporavak nakon moždanog udara, no da nema statistički značajne razlike u usporedbi s uobičajenom fizioterapijom temeljenom na Bobath konceptu, dok je evidentirano statistički značajno poboljšanje prosječnog izvođenja okupacija i zadovoljstva tim izvođenjem iz domene intervencija radne terapije.

Poznato je da robotski uređaji mogu pružiti aktivno, sustavno i intenzivno ponavljanje određenih zadataka, čime se osigurava postavka senzomotorne integracije. Također je poznato da mogu facilitirati neuroplastičnost kortikalnih i supkortikalnih struktura, na čemu se temelji funkcionalni oporavak nakon ozljede mozga. Implementacijom treninga virtualne stvarnosti u proces rehabilitacije, robotski uređaji dovode do povećanja motivacije pacijenata, što može značajno pridonijeti funkcionalnom oporavku. Svakako, osnova dobre rehabilitacije je konvencionalni, individualni pristup fizioterapeuta, koji se zasniva na nekom od neurorazvojnih koncepata. Robotska terapija predstavlja nadogradnju u neurorehabilitaciji, s obzirom na mogućnost provođenja vježbi s većim brojem ponavljanja, u strogo kontroliranim uvjetima prema cilju i zadatku usmjerene funkcionalne aktivnosti, uz veću razinu podrške i stimulacije. Također, kroz softverske programe robotske terapije evidentira se napredak pacijenta uz prikazivanje učinkovitosti, a time i većeg zadovoljstva bolesnika i bolje motiviranosti u odnosu na konvencionalnu terapiju, što predstavlja daljnji izazov u istraživanjima.

**Izjava o sukobu interesa:** Autori izjavljuju kako ne postoji sukob interesa.

### LITERATURA

1. World Health Organization [Internet]. Geneva: Neurological disorders : public health challenges. c2021 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43605>.
2. Tadi P, Lui F. Acute Stroke. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [cited 2021 Jul 7]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535369/>.
3. Adams HP, Bendixen BH, Kappelle LJ, Biller J, Love BB, Gordon DL et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. Stroke 1993;24:35–41.
4. Bučuk M, Tuškan-Mohar L. Neurologija. Rijeka: Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; 2012.
5. Coleman ER, Moudgal R, Lang K, Hyacinth HI, Awosika OO, Kissela BM et al. Early Rehabilitation After Stroke: a Narrativ Review. Curr Atheroscler Rep 2017;19:59.
6. Carandang R, Seshadri S, Beiser A, Kelly-Hayes M, Kase CS, Kannel WB et al. Trends in Incidence, Lifetime Risk, Severity, and 30-Day Mortality of Stroke Over the Past 50 Years. JAMA 2006;296:2939.
7. Kuriakose D, Xiao Z. Pathophysiology and Treatment of Stroke: Present Status and Future Perspectives. Int J Mol Sci 2020;21:7609.
8. Johnson CO, Nguyen M, Roth GA, Nichols E, Alam T, Abate D et al. Global, regional, and national burden of stroke, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. Lancet Neurol 2019;18:439–58.
9. Boehme AK, Esenwa C, Elkind MSV. Stroke Risk Factors, Genetics, and Prevention. Circ Res 2017;120:472–95.
10. Adomavičiene A, Daunoravičiene K, Kubilius R, Varžaityte L, Raistenskis J. Influence of New Technologies on Post-Stroke Rehabilitation: A Comparison of Armeo Spring to Kinect System. Medicina 2019;55:98.
11. Daunoravičiene K, Adomavičiene A, Grigonyte A, Griškevičius J, Juocevicius A. Effects of robot-assisted training on upper limb functional recovery during the rehabilitation of poststroke patients. Technol Health Care 2018;26:533–542.
12. Hrabak-Žerjavić V, Šerić V, Kralj V, Silobričić-Radić M. Epidemiologija moždanog udara. Medicus [Internet]. 2001;7. [cited 2021 Jul 8]. Available from: <https://hrcak.srce.hr/file/30049>.
13. Hocoma [Internet]. Volketswil: Armeo®Power. c2019 [cited 2021 Jul 8]. Available from: [https://knowledge.hocoma.com/wp-content/uploads/2019/03/AP\\_UserScript\\_EN\\_20190318.pdf](https://knowledge.hocoma.com/wp-content/uploads/2019/03/AP_UserScript_EN_20190318.pdf).
14. Palermo E, Hayes DR, Russo EF, Calabrò RS, Pacilli A, Filoni S. Translational effects of robot-mediated therapy in subacute stroke patients: an experimental evaluation of upper limb motor recovery. PeerJ 2018;6:5544.
15. Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. Scand J Rehabil Med 1975;7:13–31.
16. Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. Neurorehabil Neural Repair 2002;16:232–40.

17. Grozdek Čovčić G, Maček Z. Neurofacilitacijska terapija. Zagreb: Zdravstveno veleučilište; 2011.
18. Cameron MH, Monroe LG. Physical rehabilitation: evidence-based examination, evaluation, and intervention. 1<sup>st</sup> Edition. St. Louis: Saunders/Elsevier, 2007;953.
19. Chen C-M, Tsai C-C, Chung C-Y, Chen C-L, Wu KP, Chen H-C. Potential predictors for health-related quality of life in stroke patients undergoing inpatient rehabilitation. *Health Qual Life Outcomes* 2015;13:118.
20. Law M, Baptiste S, McColl M, Opzoomer A, Polatajko H, Pollock N. The Canadian occupational performance measure: an outcome measure for occupational therapy. *Can J Occup Ther Rev Can Ergother* 1990;57:82–7.
21. The Canadian Occupational Performance Measure [Internet]. Hamilton: The Canadian Occupational Performance Measure (COPM). c2022 [cited 2021 Aug 10]. Available from: <https://www.thecopm.ca/>.
22. Calabrò RS, Russo M, Naro A, Milardi D, Balletta T, Leo A et al. Who May Benefit From Armeo Power Treatment? A Neurophysiological Approach to Predict Neurorehabilitation Outcomes. *PM R* 2016;8:971–8.
23. van Kordelaar J, van Wegen E, Kwakkel G. Impact of Time on Quality of Motor Control of the Paretic Upper Limb After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95:338–44.
24. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J. Effects of robot-assisted therapy on stroke rehabilitation in upper limbs: Systematic review and meta-analysis of the literature. *J Rehabil Res Dev* 2012;49:479.
25. Brokaw EB, Nichols D, Holley RJ, Lum PS. Robotic Therapy Provides a Stimulus for Upper Limb Motor Recovery After Stroke That Is Complementary to and Distinct From Conventional Therapy. *Neurorehabil Neural Repair* 2014;28:367–76.
26. Krakauer JW, Kitago T, Goldsmith J, Ahmad O, Roy P, Stein J et al. Comparing a Novel Neuroanimation Experience to Conventional Therapy for High-Dose Intensive Upper-Limb Training in Subacute Stroke: The SMARTS2 Randomized Trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2021;35:393–405.
27. Guidali M, Duschau-Wicke A, Broggi S, Klamroth-Marganska V, Nef T, Riener R. A robotic system to train activities of daily living in a virtual environment. *Med Biol Eng Comput* 2011;49:1213–23.