

Rehabilitacija roke z robotsko podprto obravnavo pri otrocih in mladostnikih več let po akutno nastali možganski okvari

Tina Bregant[†]
CIRIUS Kamnik
Slovenija
tina.bregant@cirius-kamnik.si

Renata Pavlinič
CIRIUS Kamnik
Slovenija
renata.pavlinic@cirius-kamnik.si

Patricija Šinkovec
CIRIUS Kamnik
Slovenija
patricija.sinkovec@cirius-kamnik.si

Povzetek

Izhodišča: Pri povrnitvi funkcije rok sta pomembni reorganizacija in plastičnost možganske skorje ter kortikospinalne proge. Za spodbujanje in modulacije nevronske plastičnosti uporabljamo rehabilitacijske strategije: zgodnje intervencije s ponavljajočo se v cilj usmerjeno intenzivno terapijo (motorični trening, trening z omejevanjem, robotski trening), kar pripomore k boljšemu okrevanju in povrnitvi funkcije roke.

Cilji: Ugotoviti vpliv delovne terapije z robotsko podprto obravnavo v primerjavi z vplivi klasičnih pristopov delovne terapije na funkcijo roke.

Metode: V 4-tedensko raziskavo je bilo vključenih 32 otrok in mladostnikov (od tega 15 žensk) z okvarjeno funkcijo zgornjega uda zaradi akutno nastale možganske okvare pred nekaj leti. V eksperimentalni skupini z robotskim treningom je bilo 9 žensk in 7 moških, s povprečno starostjo 17,9 let; v kontrolni skupini (standardna delovna terapija) je bilo 6 žensk in 10 moških, s povprečno starostjo 16,85 let. Okvare so nastale večinoma perinatalno – ob rojstvu oziroma v prvih tednih po rojstvu. Za ocenjevanje funkcije roke smo uporabili standardne instrumente ocenjevanja funkcije roke (ARAT, Box&Blocks, mišična moč). V analizi smo zaradi majhnega vzorca in boljše povednosti glede izboljšanja funkcije rok uporabili deskriptivno statistiko.

Rezultati: Po zaključku terapij so rezultati ocenjevanja testa ARAT in merjenja mišične moči v zgornjih udih pokazali večji napredek pri eksperimentalni skupini. Pri testu Box&Blocks pa je boljše rezultate dosegla kontrolna skupina. Po zaključenih terapijah so otroci in mladostniki podali subjektivno mnenje o zadovoljstvu glede terapij.

Zaključki: Tako klasični pristopi delovne terapije kot robotsko podprte obravnave pomembno vplivajo na izboljšanje funkcije zgornjih udov tudi nekaj let po nastali okvari. V skupini z robotsko napravo smo dosegli večji napredek na področju fine motorike. V skupini s klasičnimi pristopi je bil večji napredek na področju grobe motorike. Pri obeh terapijah je prevladovalo zadovoljstvo z njimi. Ugotavljamo, da je smiselna uporaba

kombinacije obeh pristopov, saj s tem pridobimo izboljšanje tako grobe motorike kot fine motorike.

Ključne besede

Roka, zgornji ud, motorična skorja, kortikospinalna proga, plastičnost, delovna terapija, robotska rokavica

1 Uvod

Funkcija roke je ključnega pomena za ohranjanje samostojnosti in skrbi zase pri dnevnih aktivnostih. Zato je obnovljena oz. povrnjena funkcija roke pogosto eden najpomembnejših ciljev za bolnike z možgansko okvaro [1]. Funkcija rok se običajno po možganski poškodbi izboljšuje počasi, najbolj pogosto šele za izboljšanjem funkcije trupa in spodnjih udov; najkasneje se povrnejo finomotorične spretnosti, kjer sodelujejo drobne mišice rok. Do 80 % preživelih odraslih po možganski kapi ima okvare v področju zgornjih udov, le redki dosežejo popolno funkcionalno okrevanje po 6 mesecih po možganski kapi [2]. Zato je izguba funkcije zgornjih udov (rok) eden od dejavnikov, ki prispevajo k zmanjšanju splošne kakovosti življenja, kar pomembno vpliva na dnevne aktivnosti, družabne aktivnosti ter pri odraslih vrnitev k poklicu. Pri otrocih in mladostnikih pa so za uspešnost v šoli pomembne finomotorične spretnosti, koordinacija oko-oko in oko-roka ter grafomotorične spretnosti, ki so po okvarah možganov lahko pomembno okrnjene.

Obseg motorične okvare med akutno ishemično možgansko kapjo je odvisen predvsem od obsega in integritete kortikospinalnega trakta, ki je bil poškodovan. Edino za območja, kjer je kortikospinalni trakt zelo zgoščen (komprimiran), kot je npr. v področju ponsa, je korelacija med motorično okvaro in velikostjo ishemične lezije majhna. Pri bolnikih z bolj ohranjeno integriteto kortikospinalnega trakta je izboljšanje po akutni ishemiji boljše, rehabilitacija pa uspešnejša. Kortikospinalna proga (imenovana tudi piramidna proga) je snop vlaken, ki povezuje možgansko skorjo s hrbtenjačo in omogoča hoteno gibanje udov. Večina vlaken (75–90 %) prestopi na nasprotno stran v podaljšani hrbtenjači (t. i. križanje piramidne proge) ter se končuje v mišičnih skupinah udov [3]. Pri otrocih živčevje in živčne povezave še zorijo; spretnosti s področja grobe in fine motorike zorijo in šele nekaj let po rojstvu se razvijejo odrasli vzorci gibanja. Zato je posledice perinatalne poškodbe nemogoče v celoti presojati takoj po dogodku; s terapevtskimi postopki nadaljujemo tudi nekaj let po nastali okvari.

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

Information Society 2025, 6–10 October 2025, Ljubljana, Slovenia
© 2025 Copyright held by the owner/author(s).

2 Ocena funkcije roke

Pri funkciji zgornjih udov sta pomembna mišična moč in gibljivost v sklepih. Moč prijema in stiska roke (pesti) lahko merimo z dinamometrom; obsege gibljivosti pa z goniometrom (kotomerom). Obstaja več lestvic za oceno delovanja roke. Nobeden od testov ni tako univerzalen oz. ne pokriva vseh področij, da bi ga lahko enoznačno uporabljali, ne glede na patologijo roke. Roka je namreč tako kompleksna, da v svoji polni funkciji zahteva anatomsko integriteto, gibljivost, mišično moč, občutljivost, natančnost, spretnost in koordinacijo, specifične grobe in finomotorične veščine (prijeze), soročnost, a hkrati tudi dober kognitivni nadzor. Pri oceni funkcije roke smo z meritvami nekoliko omejeni in zato še dodatno ocenjujemo uspešnost in hitrost izvajanja praktičnih nalog [4].

Mišično moč v zgornjih udih merimo z dinamometrom. Praviloma z meritvijo poskušamo objektivizirati napredek oz. spremembe v mišični moči v zgornjih udih. Z vsako roko praviloma opravimo tri zaporedne meritve, kot končni rezultat pa upoštevamo povprečje. Rezultati se beležijo v merski enoti kilogram (kg). Testi, ki so standardizirani in jih lahko uporabljamo za oceno funkcije roke, so npr. test devetih zatičev (angl. nine hole peg test, NHPT, ki je bil razvit za vrednotenje spretnosti prstov – fino ročno spretnost), test škatle in kock (angl. box and blocks test, BBT), ki določa grobo motoriko in lateralizacijo, Jebsenov test (angl. Jebsen-Taylor hand function test, JTHFT) za oceno lateralizacije, grobe in fine motorike, test ARAT (angl. action research arm test) in sistema razvrščanja, kot sta: lestvica BFMF (angl. bimanual fine motor function) ali lestvica MACS (angl. manual ability classification system), s katerima lahko razvrstimo otroke s cerebralno paralizo glede na njihove sposobnosti rokovanja s predmeti pri dnevnih aktivnostih. Za oceno celotnega stanja je uporabna lestvica funkcijske neodvisnosti (angl. functional independence measure, FIM) [4].

3 Povrnitev funkcije roke

Spastičnost (v 20–40 %) in šibkost (spastična pareza) sta najbolj pogosti težavi po možganski poškodbi [5, 6]. Okrevanje v smislu povrnitve moči in normaliziranja tonusa ter s tem tudi motorične funkcije, pripisujemo zlasti hitri reorganizaciji (plastičnosti) korteksa in kortikospinalne proge, medtem ko neugodna plastičnost in pretirana vzdružnost retikuloskinalne proge najverjetneje povzročata največ težav. Spodbude in modulacija nevronske plastičnosti z rehabilitacijskimi strategijami, kot so zgodnje intervencije s ponavljajočo se ciljno usmerjeno intenzivno terapijo (npr. motorični trening), ustrezna neinvazivna možganska stimulacija (npr. nevromodulacija s transkranialno stimulacijo) in farmakološka sredstva (vključno z apliciranjem toksina botulinum lokalno), so ključ do funkcionalnega motoričnega okrevanja [7]. Sinaptične povezave v osrednjem živčevju so plastične, kar pomeni, da jih je mogoče spremeniti na podlagi učenja [8].

4 (Re)habilitacija

V rehabilitaciji se pogosto osredotočamo na boljšo sklepno gibljivost, večjo moč in boljšo funkcijo. Z robotsko pomočjo

lahko podpremo plastično reorganizacijo nitja kortikospinalne proge [9]. S pomočjo tehnologije okrepimo mehanske biomehanske povratne zanke (t. i. biofeedback) [10]. S tem povečamo dotok informacij glede gibanja, kar presega informacije, ki so sicer na voljo, in so lahko v nasprotju s senzoričnimi (ali notranjimi) povratnimi informacijami [11], saj z robotskim gibanjem pravilnejše gibe "vsiljujemo". Povečanje povratnih informacij o gibanju ima večje klinične učinke kot senzorične povratne informacije. Spodbudi tudi nevronske plastičnosti po poškodbi možganov [12]. Robotska naprava omogoča usposabljanje bolnikov na intenziven, k nalogam usmerjen način terapije od zgoraj navzdol, kar povečuje skladnost in motivacijo bolnikov. Kognitivna stimulacija od zgoraj navzdol se omogoča z uvedbo vizualnih povratnih informacij, izvedenih z igranjem posebnih iger, česar se tudi poslužujemo [13]. Z robotom lahko dodatno preko strojnega učenja tudi optimiziramo zahtevani vzorec gibanja. Zato je kompleksnost motorične naloge mogoče z robotiko natančneje nadzorovati kot s konvencionalnimi pristopi zdravljenja.

Raziskave kažejo, da z novimi rehabilitacijskimi protokoli lahko vseeno dosežemo motorično izboljšanje tudi kasneje, celo še leto dni po dogodku, ki pa ni tako izrazito kot na začetku [14, 15]. Med takšne programe se uvrščata: terapija z omejevanjem oz. z omejevanjem spodbujajoča terapija (CIMT) [16] in robotski trening [15, 16].

Z omejevanjem spodbujajoča terapija – CIMT, pri kateri omejimo funkcijo neprizadete roke, se izkazuje v intenzivni rehabilitacijski obravnavi kot zelo koristna, čeprav je lahko tudi frustrirajoča. Ta terapevtski postopek spodbuja funkcijo okvarjenega zgornjega uda med izvajanjem različnih aktivnosti. S tem spodbuja procese plastičnosti in reorganizacije možganov ter tako prispeva k izboljšanju funkcije okvarjenega zgornjega uda [4].

5 Raziskava

Metode

V raziskavo je bilo vključenih 32 otrok in mladostnikov s prisotno okvarjeno funkcijo zgornjega uda zaradi možganske okvare, ki je nastala perinatalno (v prvih tednih po rojstvu oz. ob rojstvu). V eksperimentalno skupino je bilo vključenih 9 žensk ter 7 moških, povprečna starost je bila 17,9 let. V kontrolno skupino je bilo vključenih 6 žensk in 10 moških, povprečna starost je bila 16,85. Raziskava je potekala strnjeno 4 tedne. Zanimal nas je vpliv intenzivnih terapij podprtih z robotsko napravo v primerjavi s terapijami, ki vključujejo klasične delovno-terapevtske pristope na funkcijo zgornjih udov ter primerjava rezultatov.

Pred pričetkom intenzivnih terapij so bila izvedena ocenjevanja (ARAT, Box&Blocks ter merjenje mišične moči z dinamometrom). Vse oblike terapij so potekale 3 krat tedensko. Terapije z robotsko napravo Syrebo so se izvajale 20 minut, klasične delovno-terapevtske obravnave pa 30 minut. Terapije z robotsko napravo so vključevale pasivno razgibavanje, vaje proti upor, aktivne vaje ter funkcionalne vaje. Na okvarjen zgornji ud

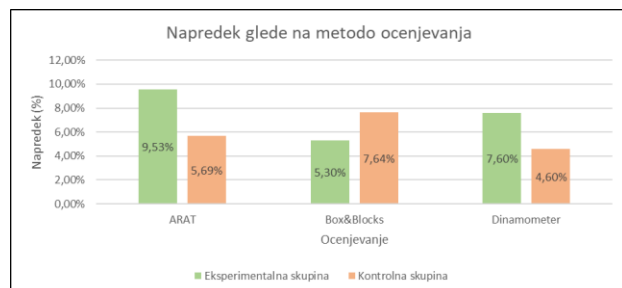
smo namestili robotsko rokavico. Naprava nam je omogočala izbiro med različnimi programi in funkcijami. Na osnovi različnih programov se je zahtevnost terapij tedensko stopnjevala.

Klasične delovno-terapevtske obravnave so bile razdeljene v tri dele: 10 minut pasivnega sproščanja ramenskega obroča, predel nadlahti, podlahti in zapestja, 10 minut terapevtsko kolo in 10 minut primerne aktivnosti usmerjene na funkcijo rok (HomeClinico, aktivnosti na Movi mizi, aktivnosti za izboljšanje mišične moči in obseg gibanja...). Vrste aktivnosti ter intenzivnost se je individualno prilagajalo vsakemu posamezniku. Pri obeh skupinah so bila po končanih intenzivnih terapijah ponovno opravljena testiranja ARAT, Box&Blocks ter merjenje mišične moči z dinamometrom. Udeleženci so izpolnili tudi nestandardiziran vprašalnik o zadovoljstvu.

V analizi smo zaradi majhnega vzorca in boljše povednosti glede izboljšanja funkcije rok uporabili deskriptivno statistiko.

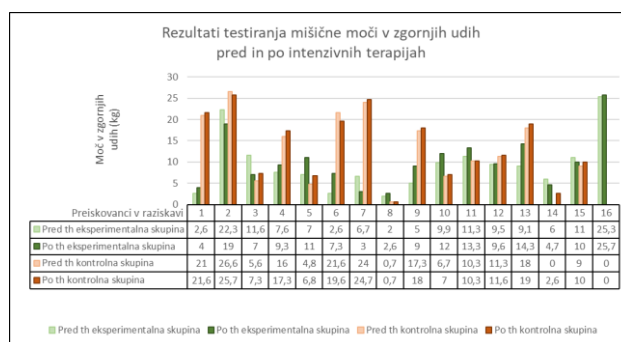
Rezultati

Rezultati so pokazali izboljšanje funkcije rok tako pri eksperimentalni skupini kot pri kontrolni skupini. Kot je prikazano na Sliki 1 je bil v eksperimentalni skupini dosežen večji napredek pri ocenjevanju ARAT in merjenju mišične moči z dinamometrom. Pri ocenjevanju Box&Blocks pa je večji napredek dosegla kontrolna skupina. Pri ocenjevanju ARAT je bil zabeleženo izboljšanje v eksperimentalni skupini za 9,53 % in v kontrolni skupini za 5,69 %, večji napredek je bil dosežen v eksperimentalni skupini. Rezultati ocenjevanja Box&Blocks so pokazali večji napredek pri kontrolni skupini in sicer za 2,34 %.



Slika 1: Napredek pri ponovno izvedenih ocenjevanjih po končanih intenzivnih terapijah in primerjava med eksperimentalno in kontrolno skupino glede na metodo ocenjevanja.

Mišična moč v zgornjih udih se je po končanih terapijah v eksperimentalni skupini povečala za 7,60 %, v kontrolni za 4,60 %. V primerjavi med eksperimentalno in kontrolno skupino je bil pri končnih ocenjevanjih mišične moči večji napredek za 3,00 % v eksperimentalni skupini. Rezultati merjenja mišične moči so prikazani na Sliki 2. Ugotavljamo, da so bili pri posameznih O/M končni rezultati ocenjevanj slabši kot pri prvem ocenjevanju, zaradi odstopanj na področju procesnih spretnosti (pozornost, koncentracija, dnevno razpoloženje), kar je povezano z njihovo poškodbo možganov, ki vpliva na utrjevanje ter procesne sposobnosti.



Slika 2: Rezultati testiranja mišične moči zgornjih udov z dinamometrom v eksperimentalni in kontrolni skupini pred in po izvedbi intenzivnih obravnav.

Po zaključenih terapijah smo izvedli nestandardiziran vprašalnik o zadovoljstvu. Večina pozitivnih odzivov nakazuje, da ima eksperimentalni pristop z uporabo robotske rokavice pozitiven vpliv na izboljšanje grobe motorike in senzoričnega zaznavanja, zmanjšanje mišične napetosti v zgornjih okončinah ter povečano motivacijo za izvajanje terapij. Pri enem udeležencu pa so se pojavili negativni stranski učinki, in sicer povečanje mišičnega tonusa celotnega telesa. Vsa mnenja so bila podana subjektivno.

6 Zaključek

V prispevku smo osvetlili, kaj se dogaja s funkcijo roke po okvari možganov in kako lahko na funkcijo roke vplivamo z usmerjenimi terapevtskimi metodami. Ob spontanem okrevanju pri rehabilitaciji se zanašamo na plastičnost možganov, ki jo spodbujamo na pravi način, in sicer z motoričnim treningom in delovno-terapevtskimi obravnavami ali pa s sodobno tehnologijo (uporaba nevromodulacijskih tehnik kortikalnega draženja, robotika, navidezna resničnost, principi igrice). Z razvojem tehnologije in razumevanjem mehanizmov delovanja živčevja upamo, da bomo tudi po možganskih okvarah dosegli čim boljše funkcijo, zlasti funkcijo zgornjega uda, dokler ne bo medicina toliko napredovala, da bomo znali nadomestiti tudi izgubljene nevrone in njihove povezave oz. učinkovito preprečiti neugodne dogodke v našem živčevju.

Pomembno dejstvo pri izvajanju obravnave s pomočjo robotskih naprav je vidik bolnikove varnosti. Pri robotski napravi z možnostjo nastavitve moči in intenzivnosti izvajanja pasivnih vaj preprečimo možnost nastanka poškodb v primeru povišanega mišičnega tonusa ali mišičnega krča. Za varno izvajanje obravnave je potrebno poznavanje delovanja robotske naprave in ustrezno usposobljeni strokovni delavec, v našem primeru delovni terapevti. Za zagotavljanje varnosti je med izvajanjem obravnave potreben stalni nadzor delovnega terapevta.

Po zaključeni raziskavi smo ugotovili, da robotska naprava za rehabilitacijo zgornjega uda vpliva le na posamezne sklepe zgornjega uda, medtem ko pri klasičnih delovno-terapevtskih pristopih v obravnavi zajamemo celotno področje zgornjega uda ter posturalno kontrolo trupa. Po izvedenih terapijah z uporabo robotske naprave je bil zaznan večji napredek na področju fine

motorike zgornjih udov, po izvedenih terapijah s klasičnimi pristopi delovne terapije pa na področju grobe motorike.

Na podlagi te raziskave ugotavljamo smiselnost kombinacije obeh pristopov, kjer zajamemo celostno področje funkcije zgornjih udov.

Literatura

- [1] Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Vive -Larsen J, Stoier M, Olsen TS. Outcome and time course of recovery in stroke. Part II: time course of recovery the Copenhagen stroke study. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 406–12.
- [2] Hayward KS, Kramer SF, Thijs V, Ratcliffe J, Ward NS, Churilov L et al. A systematic review protocol of timing, efficacy and cost effectiveness of upper limb therapy for motor recovery post-stroke. *Syst Rev* 2019; 8 (1): 187.
- [3] Rong D, Zhang M, Ma Q, Lu J, Li K. Corticospinal tract change during motor recovery in patients with medulla infarct: a diffusion tensor imaging study. *Bio-med Res Int* 2014; 2014: 524096
- [4] Bregant, T. in sod., (2024). Rehabilitacija roke pri otrocih in mladostnikih po možganski okvari. *Slovenska pediatrija*, 31, str. 180–187. doi.org/10.38031/slovpediatr-2024-4-02.
- [5] Bregant T, Derganc M, Neubauer D. Uporaba magnetnoresonančnega slikanja z difuzijskimi tenzorji v pediatriji. *Zdrav Vestn* 2012; 81: 533–42
- [6] Yoo YJ, Kim JW, Kim JS, Hong BY, Lee KB, Lim SH. Corticospinal tract integrity and long-term hand function prognosis in patients with stroke. *Front Neurol* 2019; 10: 374
- [7] Dalamagkas K, Tsintou M, Rathi Y, O'Donnell LJ, Pasternak O, Gong X et al. Individual variations of the human corticospinal tract and its hand-related motor fibers using diffusion MRI tractography. *Brain Imaging Behav* 2020; 14(3): 696–714.
- [8] Kamper DG, Fischer HC, Cruz EG, Rymer WZ. Weakness is the primary contributor to finger impairment in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87: 1262
- [9] Zorowitz RD, Gillard PJ, Brainin M. Poststroke spasticity: sequelae and burden on stroke survivors and caregivers. *Neurology* 2013; 80: S45–52.
- [10] Li S. Spasticity, motor recovery, and neural plasticity after stroke. *Front Neurol* 2017; 8: 120.
- [11] Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol* 1998; 79: 1117–23.
- [12] Cinnera AM, Bonni S, D'Acunto A. Cortico-cortical stimulation and robot-assisted therapy (CCS and RAT) for upper limb recovery after stroke: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials* 2023; 24: 823
- [13] Giggins OM, Persson UM, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2013; 10: 60
- [14] Morone G, Spitoni GF, De Bartolo D, Ghanbari Ghooshchy S, Di Iulio F Paolucci S et al. Rehabilitative devices for a top-down approach. *Expert Rev Med Devices* 2019; 16 (3): 187–95
- [15] Poli P, Morone G, Rosati G, Masiero S. Robotic technologies and rehabilitation: new tools for stroke patients' therapy. *Biomed Res Int* 2013; 2013: 153872.
- [16] Hatem SM, Saussez G, Della Faille M, Prist V, Zhang X, Dispa D et al. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Front Hum Neurosci* 2016; 10: 442.