

# Rehabilitacija roke pri otrocih in mladostnikih po možganski okvari

Strokovni članek /  
Professional article

## Rehabilitation of the hand in children and adolescents after brain damage

Tina Bregant, Patricija Šinkovec,  
Renata Pavlinič

### Izvleček

Prispevek predstavi funkcijo roke po možganski okvari. Opisujemo mehanizem in vzroke težav, ki se kažejo kasneje kot okvara funkcije zgornjega uda in roke. Predstavimo kortikospinalno progo in njen potek. Opišemo okrevanje in faze, ki jih opažamo v rehabilitaciji zgornjega uda in roke: od začetne flakcidnosti, razvoja spastičnosti do dokončne povrnitve moči in normalizacije tonusa. Ker sta pri povrnitvi funkcije pomembni reorganizacija in plastičnost možganske skorje ter kortikospinalne proge, medtem ko sta neugodna plastičnost in pretirana vzdražnost retikulospinalne proge najverjetneje tisti, ki povzročata največ težav, te procese plastičnosti bolj podrobno opišemo. Na ta način utemeljimo spodbujanje in modulacije nevronske plastičnosti z rehabilitacijskimi strategijami, kot so: zgodnje intervencije s ponavljajočo se v cilj usmerjeno intenzivno terapijo (motorični trening, trening z omejevanjem, robotski trening), ustrezna neinvazivna možganska stimulacija in uporaba farmakoloških sredstev (vključno z apliciranjem toksina botulinum) ter tudi glasbena terapija in senzorična stimulacija, kar vse pripomore k boljšemu okrevanju in povrnitvi funkcije roke. Na kratko predstavimo teste, ki se uporabljajo v naši ustanovi za oceno funkcije roke ter različne delovno-terapevtske metode, ki jih uporabljamo pri otrocih in mladostnikih po možganskih okvarah in so otrokom in mladostnikom v korist.

**Ključne besede:** roka, zgornji ud, motorična skorja, kortikospinalna proga, plastičnost, rehabilitacija, delovna terapija.

### Abstract

We present the function of the hand after brain injury and describe the mechanism and causes of the problems that later manifest as dysfunction of the upper limb and hand. We describe the corticospinal tract and its course and importance in the development of hand dysfunction. We describe the recovery and the stages that can be observed in the rehabilitation of the hand: from the initial flaccidity to the development of spasticity to the final restoration of strength and normalisation of tone. Since the reorganisation and plasticity of the cortex and corticospinal cord are important for the recovery of function, while the unfavourable plasticity and excessive excitability of the reticulospinal cord probably cause most of the problems, we describe these plasticity processes in more detail. We underpin the stimuli and modulations of neural plasticity with rehabilitation strategies, such as early interventions with repetitive targeted intensive therapy (motor training, constraint training, robotic training), appropriate non-invasive brain stimulation and pharmacological agents (including botulinum toxin application), as well as music therapy and sensory stimulation, all of which contribute to better recovery and restoration of hand function. We briefly present the tests we use to assess hand function and various occupational therapy methods we use in children and adolescents after brain injury that are beneficial for children and adolescents.

**Keywords:** arm, upper limb, motor cortex, corticospinal tract, plasticity, rehabilitation, occupational therapy.

## Uvod

Po poškodbi možganov oziroma okvari osrednjega živčevja je funkcija zgornjega uda in roke različno okvarjena. Primarno področje možganov, vključnih v nadzor gibanja zgornjega uda in roke, je motorična skorja, ki se nahaja v zadnjem delu čelnega režnja. Ob okvari le-te prihaja do sprememb v hotenih gibih, zlasti gibih roke in prstov, s šibkostjo, utrujanjem ter motnjo mišičnega tonusa. Za funkcijo roke je poleg motorike zelo pomembna tudi izguba senzibilitete, ki vpliva na motorično funkcijo.

Spastičnost, ki je značilna za okvaro zgornjega motoričnega nevrona, se razvije po začetni flakidnosti ob možganski kapi ali po travmatski poškodbi možganov. Poškodba malih možganov lahko povzroči izgubo finomotoričnih spretnosti rok in prstov. Poznamo tudi kombinirane motnje v delovanju zgornjega in spodnjega motoričnega nevrona, kot so pri nevrodegenerativnih boleznih, ki so sicer pogostejše pri odraslih – npr. pri amiotrofični lateralni sklerozi. Moteno integriteto vlaken kortikospinalne proge opazamo tudi pri osebah z multiplo sklerozo ali pri nedonošenih otrocih, ki so utrpeli obpreklatno levkomalacijo. Za funkcijo roke je poleg motorike zelo pomembna izguba senzibilitete, ki vpliva na motorično funkcijo. Do neke mere je mogoče napovedati izid za motorično funkcijo zgornjega ali spodnjega uda na podlagi velikosti in umestitve možganskih okvar; stanja ob dogodku in hitrosti izboljševanja stanja ter glede na stanje ohranjenosti in celovitosti kortikospinalne proge.

## Funkcija roke in integriteta kortikospinalne proge

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 poškod-

bi 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 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.

## Kortikospinalna proga

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). Shematsko kortikospinalno progo prikazuje Slika 1; strukture so označene s turkizno barvo.

Kortikospinalna proga izvira predvsem iz frontoparietalnega predela skorje in vključuje nitje iz primarne motorične, sekundarne motorične in somatosenzorične skorje (4). Iz skorje v snopih potuje skozi notranjo kapsulo in možganske pedunkle do možganskega debla (5). Ko doseže pons, svežnji dobijo bolj kompaktno strukturo in se še dodatno združujejo (kondenzirajo). 5–15 % vlaken, ki v piramidnem križanju ne prestopijo na nasprotno stran, sestavlja sprednji kortikospinalni trak, ki sega le do spodnjega torakalnega trakta. Aberrantni piramidni trakt se loči od kortikospinalnega trakta v srednjem delu možganov in ponsa, nato pa se spusti skozi medialni lemniskus in lahko

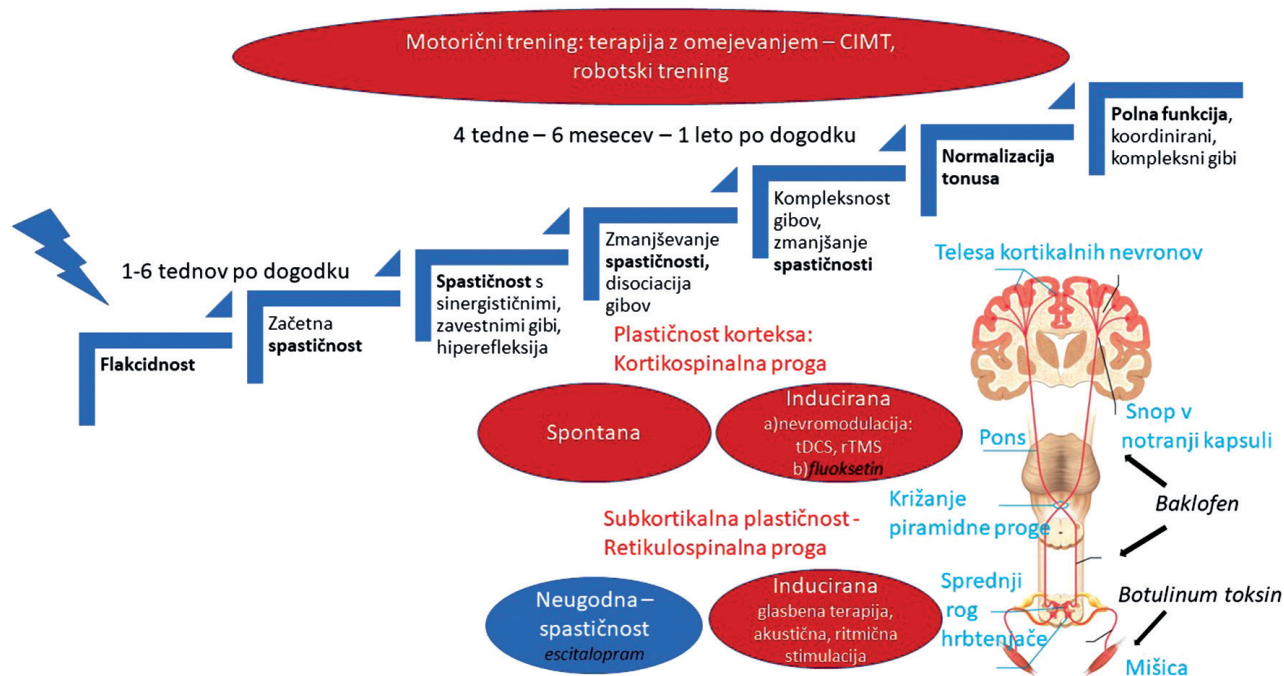
zagotovi alternativno motorično pot v primeru možganskega infarkta (4). Po vstopu nitja v hrbtenjačo vlakna potekajo navzdol skozi sprednji in stranski kortikospinalni trakt ter nato tvorijo stik z nevroni sprednjih rogov hrbtenjače (spodnji motorični nevron). >Od tod nato povezave vodijo do končnega efektorja – aksialnih mišic in mišic udov.

## Poškodbe kortikospinalne proge

Obseg motorične okvare med akutno ishemično možgansko kapjo je odvisen predvsem od obsega in integritete kortikospinalnega trakta, ki je bil poškodovan (3, 6–8). 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. V primeru akutne ishemične kapi se lahko slabo prekrvljeno (ishemično) tkivo morda vendarle reši s pravočasno reperfuzijsko terapijo. Pri kongenitalnih (razvojnih) motnjah (npr. motnje migracije, lisencefalija, sindrom Walker-Warburg) ob odsotnosti ali okvari kortikospinalne proge se opazijo podobne motorične težave kot pri obsežnih ishemičnih dogodkih z enakimi posledicami na motorični prog, vendar vzročnega zdravljenja zaenkrat še ne poznamo.

## Ocena poškodbe (integritete) kortikospinalne proge

Poškodbo kortikospinalne proge ocenjujemo s slikovimi preiskavami: s funkcionalnim magnetnoresonančnim slikanjem (fMRI) in slikanjem z difuzijskimi tenzorji (DTI) (9). Ob ohranjeni integriteti proge je napoved za izboljšanje funkcije udov boljša (10). Za ohranitev



SLIKA 1. SHEMATIČNI PRIKAZ OKREVANJA – REHABILITACIJA ROKE PO POŠKODBI MOŽGANOV, KI SLEDI PREDVIDLJIVIM FAZAM, KI JIH OZNAČUJEJO: 1. FLAKCIDNOST; 2. SPASTIČNOST: ZAČETNA SPASTIČNOST; SPASTIČNOST S SINERGISTIČNIMI, ZAVESTNIMI GIBI, HIPERREFLEKSIIJA; ZMANJŠEVANJE SPASTIČNOSTI, DISOCIACIJA GIBOV; VEČJA KOMPLEKSNOŠT GIBOV, ZMANJŠANJE SPASTIČNOSTI; 3. NORMALIZACIJA TONUSA; 4. POLNA FUNKCIJA IN KOORDINIRANI, KOMPLEKSNI GIBI. KORTIKOSPINALNA PROGA JE SHEMATSKO PREDSTAVLJENA OB STRANI SLIKE; STRUKTURE SO OPISANE S TURKIZNO BARVO. S ČRNO BARVO SO OZNAČENE FARMAKOLOŠKE INTERVENCIJE. UGODNA PLASTIČNOST JE OZNAČENA Z RDEČIMI ELIPSAMI IN INTERVENCIAMI; Z MODRO PA NEUGODNA PLASTIČNOST. S STOPNİKAMMI SO PRIKAZANE STOPNJE OKREVANJA FUNKCIJE ROKE OD NAJBOLJ ZGODNJE FLAKCIDNOSTI DO ZAŽELENE POPOLNOMA POVRNJE FUNKCIJE ROKE.

FIGURE 1. SCHEMATIC REPRESENTATION OF RECOVERY – REHABILITATION OF THE ARM AFTER BRAIN INJURY, ACCORDING TO PREDICTABLE PHASES, CHARACTERISED BY: 1) FLACCIDITY; 2) SPASTICITY: INITIAL SPASTICITY; SPASTICITY WITH SYNERGISTIC VOLUNTARY MOVEMENTS, HYPERREFLEXIA; REDUCTION OF SPASTICITY, DISSOCIATION OF MOVEMENTS; INCREASED COMPLEXITY OF MOVEMENTS, FURTHER REDUCTION OF SPASTICITY; 3) NORMALISATION OF TONE; 4) FULL FUNCTION AND COORDINATED, COMPLEX MOVEMENTS. THE CORTICOSPINAL TRACT IS SHOWN SCHEMATICALLY ON THE SIDE, WITH THE STRUCTURES MARKED IN TURQUOISE. PHARMACOLOGICAL INTERVENTIONS ARE MARKED IN BLACK. FAVOURABLE PLASTICITY IS INDICATED BY RED ELLIPSES AND INTERVENTIONS, WHILE UNFAVOURABLE PLASTICITY IS SHOWN IN BLUE. THE STEPS REPRESENT THE STAGES OF ARM FUNCTION RECOVERY, FROM INITIAL FLACCIDITY TO THE DESIRED FULL RECOVERY OF ARM FUNCTION.

zmožnosti hoje ima večjo napovedno vrednost hkratna ohranitev kortikoretikularne proge, za funkcijo roke pa kortikospinalna proga (11). Dodatno natančnost bi pridobili z oceno zgolj nitja, ki je zadolženo le za roko (*angl.* the hand-related motor fiber tracts, HMFTs), kar pa je trenutno težko oceniti, ker obstaja precejšnja razlika v poteku tudi pri zdravih posameznikih, oziroma bi bilo za to potrebno izboljšati tehniko preiskave, da bi ta postala bolj rutinska (11).

## Ocena funkcije roke

Pri funkciji 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 (prijeme), 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.

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 3 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).

### Test devetih zatičev

Razvit je bil za vrednotenje spretnosti prstov – fine ročne spretnosti. Osnovne meritve vključujejo čas izvajanja z dominantno in nedominantno roko. Za izvedbo testa potrebujemo štoparico. Je zanesljivo in veljavno merilno orodje za oceno spretnosti roke.

### Test škatle in kock

S testom BBT ocenjujemo grobomotorično funkcijo zgornjih udov. V časovni omejitvi 1 minute je potrebno prenesti čim večje število kock iz ene strani na drugo. Pri prenosu kock mora roka prečkati sredinsko linijo telesa. Čim večji je rezultat, tem boljša je grobomotorična funkcija zgornjih udov.

### Funkcijski test zgornjih udov

ARAT je standardizirani test za funkcijske sposobnosti zgornjih udov. Testiranje vključuje fino motoriko, dvigovanje in premikanje predmetov ter grobe gibe zgornjih udov. Najvišje možno število za posamezni zgornji ud je 57 točk.

### Lestvica finomotoričnih spretnosti zgornjih udov

Z ocenjevalno lestvico BFMF glede finomotoričnih spretnosti zgornjih udov preiskovance razvrstimo v petstopenjsko lestvico. V prvo stopnjo razvrstimo osebe, pri katerih so možne omejitve pri izvajanju le zahtevnejših finomotoričnih spretnosti. V drugi stopnji so osebe, ki zmorejo z eno roko prijeti in držati predmet ali pa imajo z obema udoma omejitve pri bolj zahtevnih finomotoričnih spretnostih. V tretji stopnji ena roka nima sposobnosti za funkcijo ali pa je pri obeh

zgornjih udih omejena finomotorična funkcija, pri kateri ena roka zmore le prijem. V četrto stopnjo so razvrščeni tisti, ki z obema rokama zmorejo le prijeti in držati ali pa z eno roko zmorejo prijeti, z drugo pa samo držati. V peto stopnjo so razvrščene osebe, ki zmorejo predmet držati le z obema rokama, ali pa niti tega ne, in je uporaba rok najbolj ovirana.

### Lestvica MACS

Gre za sistem razvrščanja otrok s cerebralno paralizo, starih 4–18 let, glede na funkcijske sposobnosti obeh rok. Stopnjo določimo s pomočjo informacij, ki jih dobimo od osebe, ki otroka dobro pozna, ne pa s pomočjo posebnega testiranja, saj nas zanima, kako otrok funkcionira doma, v šoli in širšem socialnem okolju. Lestvica MACS ni namenjen razlagi vzrokov za omejitve pri izvajanju večšin ali razvrščanju posameznih tipov cerebralne paralize. Otroke razvrstimo v 5 razredov: od najblažje, 1. stopnje, pri kateri otrok rokuje s predmeti lahkotno in uspešno, a ima nekaj omejitev s hitrostjo in natančnostjo, do 5. stopnje, pri kateri s predmeti sploh ne rokuje in so sposobnosti za izvajanje enostavnih nalog zelo omejene.

### Lestvica funkcijske neodvisnosti

Lestvica ima 7 stopenj. Z izpolnjevanjem lestvice pridobimo podatke o posameznikovi samostojnosti (ne zgolj o funkciji zgornjih udov) pri dnevnih aktivnostih (13 postavk) ter pri postopkovnih spretnostih (5 postavk). Največje možno število točk je 126. Ocena 1 pomeni popolno odvisnost od tuje pomoči, ocena 7 pa popolno samostojnost pri izvajanju aktivnosti. Lestvica FIM je uporabna pri otrocih, starejših od 7 let; za mlajše pa se uporablja modificirana lestvica (t. i. lestvica WeeFIM).

### Povrnitev funkcije roke

Spastičnost (v 20–40 %) in šibkost (spastična pareza) sta najbolj pogosti težavi po možganski poškodbi (12,

13). 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 vzdražnost retikulo spinalne 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 (14).

Sinaptične povezave v osrednjem živčevju so plastične, kar pomeni, da jih je mogoče spremeniti na podlagi učenja (15). Poznamo 3 vrste plastičnosti: razvojno plastičnost, plastičnost učenja in spomina ter plastičnost po poškodbi. Takšna plastičnost je zelo pomembna pri okrevanju po možganskih okvarah (16). Standardni pristopi k rehabilitaciji temeljijo na principih motoričnega treninga (učenja), pri katerih je pomembno učenje pravilnejših vzorcev gibanja. Pri tem je senzorični vnos ključnega pomena.

V rehabilitaciji se pogosto osredinjamo na boljšo sklepno gibljivost, večjo moč in boljšo funkcijo. Z robotsko pomočjo lahko podpremo plastično reorganizacijo nitja kortikospinalne proge (17). S pomočjo tehnologije okrepimo mehanske biomehanske povratne zanke (t. i. biofeedback) (18). 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 (19), saj z robotskim gibanjem pravilnejše gibe "vsiljujemo". Povečanje povratnih informacij o gibanju ima večje klinične učinke kot senzorične povratne informacije. Spodbudi tudi nevronske plastičnost po poškodbi možganov (20). Robotska naprava omogoča usposabljanje bolnikov na intenziven, k nalogam usmerjen način



SLIKA 2A. PASIVNO SPROŠČANJE FLEKSORJEV ZAPESTJA PO APLICIRANJU TOKSINA BOTULINUM PRI OTROKU Z DESNOSTRANSKO SPASTIČNO HEMIPAREZO PO NEUGODNEM DOGAJANJU OB ROJSTVU.

FIGURE 2A. PASSIVE LOOSENING OF THE WRIST FLEXORS AFTER APPLICATION OF BOTULINUM TOXIN IN A CHILD WITH RIGHT-SIDED SPASTIC HEMIPARESIS DUE TO PERINATAL INCIDENTS.



SLIKA 2B. MOTORIČNE AKTIVNOSTI NA MIZI MOVI PRI MLADOSTNIKU Z DESNOSTRANSKO SPASTIČNO PAREZO PO KIRURŠKI POPRAVI SRČNE NAPAKE IN LOKALNEM APLICIRANJU TOKINA BOTULINUM V MIŠICE ZAPESTJA IN ROKE.

FIGURE 2B. MOTOR ACTIVITIES ON THE MOVI-TABLE IN AN ADOLESCENT WITH RIGHT-SIDED SPASTIC PARESIS AFTER SURGICAL CORRECTION OF A HEART DEFECT AND LOCAL BOTULINUM TOXIN APPLICATION TO THE WRIST AND HAND MUSCLES.



SLIKA 2C. NAMEŠČANJE POZICIJSKE OPORNICI NA DESNO ROKO Z NAMENOM OMOGOČATI PRAVILNEJŠI POLOŽAJ ZAPESTJA IN PRSTOV TER PREPREČEVATI NADALJNJE SKRAJŠEVANJE MEHKIH TKIV PRI OTROKU Z DESNOSTRANSKO SPASTIČNO HEMIPAREZO PO NEUGODNEM DOGAJANJU OB ROJSTVU.

FIGURE 2C. A CHILD WITH RIGHT-SIDED SPASTIC HEMIPARESIS WHO HAS SUFFERED A MALPOSITION OF THE WRIST AND FINGERS DUE TO A PERINATAL INCIDENT IS GIVEN A POSITIONAL SUPPORT FOR THE RIGHT HAND TO ALLOW A MORE CORRECT POSTURE OF THE WRIST AND FINGERS AND TO PREVENT FURTHER SOFT TISSUE CONTRACTURES.

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 (21). 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.

## Rehabilitacija roke in faze okrevanja

Okrevanje sledi sorazmerno predvidljivemu vzorcu ne glede na vrsto dogodka – hemoragična ali ishemična kap, kortikalna ali subkortikalna okvara (22). Stopnje okrevanja sledijo od flakcidnosti do spastičnosti, ki je sprva manj izrazita, nato postane zelo močna, nato pa prične upadati vse do

okrevanja, ko se mišični tonus normalizira in je gibanje spet kompleksno (23). Spastičnost je tako pomemben mejnik v procesu okrevanja, vendar žal odslikava pojav neželene plastičnosti. Po poškodbi se namreč aktivirajo procesi plastičnosti, ki zagotavljajo podlago za obnovitev motorične funkcije po dogodku, a jo hkrati lahko tudi spremenijo v funkcijsko neoptimalno. Okrevanje smo prikazali shematsko na Sliki 1, kjer so predstavljene tudi intervencije in časovnica. Okrevanje se lahko zaustavi na kateri koli stopnji.

Spastičnost se pojavi po začetni flakcidnosti, običajno med 1. in 6. tednom po začetni poškodbi in je povezana s spremembami v plastičnosti (24, 25). Intenzivna terapija izboljša motorično funkcijo, vendar pa ne vpliva na spastičnost (26). Enkratni odmerek selektivnih zaviralcev ponovnega privzema serotonina (npr. 10 mg escitaloprama) znatno poveča spastičnost (merjeno z dinamometrom), ne da bi vplival na mišično

moč; medtem ko npr. antiserotonergično sredstvo ciproheptadin, pomaga skrajšati čas do sprostitve mišic (27).

Rehabilitacija roke temelji na kombinaciji okrevanja in kompenziranja s spontanim okrevanjem in motoričnim učenjem med rehabilitacijo. Kompenzacija se nanaša na nove motorične vzorce, ki jih nadzorujejo alternativna področja možganov, da dosežejo cilj in izpolnitev naloge (28, 29). Longitudinalne študije so pokazale, da motorično okrevanje po hemiparezi poteka skozi vrsto dokaj predvidljivih stopenj v prvih 6 mesecih po možganski kapi, ne glede na vrsto intervencij (30). V tem obdobju pride do procesa spontanega okrevanja, ki doseže vrhunec približno v prvih 4 tednih in se nato postopno zmanjšuje v naslednjih 6 mesecih. 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 (31–33). Med takšne programe



SLIKA 3. UPORABA ROBOTSKE ROKAVICE SYREBO PRI DELOVNI TERAPIJI, KI OMOGOČA VEČ VRST FUNKCIJSKIH VAJ: PASIVNI ALI AKTIVNI TRENING, ZRCALNI TRENING IN TRENING PREKO IGRE PRI NAJSTNIKU Z DESNOSTRANSKO HEMIPAREZO PO MOŽGANSKEM INFARKTU.

FIGURE 3. USE OF THE SYREBO ROBOTIC GLOVE IN OCCUPATIONAL THERAPY, WHICH ENABLES DIFFERENT TYPES OF FUNCTIONAL EXERCISES: PASSIVE OR ACTIVE TRAINING, MIRROR TRAINING AND PLAYFUL TRAINING IN A TEENAGER WITH RIGHT-SIDED HEMIPARESIS FOLLOWING A CEREBRAL INFARCTION.

se uvrščata: terapija z omejevanjem oz. z omejevanjem spodbujajoča terapija (CIMT) (34) in robotski trening (35, 36). Izkazalo se je zgodnje predpisovanje fluoksetina v kombinaciji z motoričnim treningom (raziskava FLAME, *angl.* fluoxetine in motor recovery of patients with acute ischaemic stroke) (37). Za ponovno vzpostavitev ravnovesja med hemisferične inhibicije med lezijsko in kontralezijsko poloblo se uporablja tudi nevromodulacija: tDCS ali rTMS (38, 39).

Raziskave kažejo na povezavo med retikulospinalnim in vestibulospinalnim traktom ter okrevanjem, pri čemer so ugotovili, da ob močnih akustičnih dražljajih (130 dB) ali s sprožilcem akustičnega refleksa zdrženja lahko pride do večje vzdraznosti trakta in aktiviranja retikulospinalne poti, kar privede do novega mišičnega ravnovesja. Slušna stimulacija izboljša ekstenzijo zapestja pri bolnikih s kronično možgansko kapjo s spastičnostjo in hudo izgubo moči (spastična pareza), kar pa ne velja pri



SLIKA 4. TERAPIJA Z OMEJEVANJEM, KO JE NAMEŠČENA OPORNICA NA NEPRIZADETI LEVI ZGORNJI UD MED IZVAJANJEM RAZLIČNIH DEJAVNOSTI PRI OTROKU Z DESNOSTRANSKO HEMIPAREZO PO CEREBROVASKULARNEM INZULTU V POVIRJU A. CEREBRI MEDIJE (ACM) NA LEVI STRANI. ČE ŽELI BOLNIK IZVESTI NALOGO USPEŠNO, JE PRISILJEN UPORABITI "SLABŠO" ROKO, KI JO SICER PRI DNEVNIH AKTIVNOSTIH POGOSTO ZANEMARJA.

FIGURE 4. A SPLINT IS PLACED ON THE UNAFFECTED LEFT UPPER LIMB OF A CHILD WITH RIGHT-SIDED HEMIPARESIS FOLLOWING A CEREBROVASCULAR INSULT IN THE AREA OF THE LEFT MIDDLE CEREBRAL ARTERY (MCA) DURING VARIOUS ACTIVITIES. IN ORDER TO PERFORM TASKS SUCCESSFULLY, THE PATIENT IS FORCED TO USE THE "WEAKER" HAND, WHICH IS OFTEN NEGLECTED DURING DAILY ACTIVITIES.

bolnikov z večjo spastičnostjo in sorazmerno manjšo izgubo moči. Glavni mehanizem naj bi bila stimulacija retikulospinalne poti s slušno stimulacijo, pri čemer ima glasbena terapija svoje mesto tako v intenzivni kot kasnejši rehabilitaciji, a mehanizmov še ne znamo dobro razložiti (40, 41).

Spomnimo naj tudi na obvladovanje spastičnosti z apliciranjem toksina botulinum v skrbno izbrane mišice, lahko pod nadzorom ultrazvočne sonde, ko s kemično denervacijo blokiramo sproščanje acetilholina predsinaptično in zmanjšamo nehoteno aktiviranje spastičnih mišic ter tako izboljšamo funkcijo. Aplikiranje toksina botulinum tudi inducira sinaptično plastičnost, zaradi česar po aplikaciji dodatno spodbujamo intenziven, ciljani motorični trening. Hkrati izkoristimo t. i. koncept „terapevtske šibkosti“ v mišicah fleksorjev, ki so sicer močnejše, in tako omogočimo bolj šibkim ekstenzorjem, da pridejo do izraza (44).

## Delovna terapija na področju (re)habilitacije roke – prikaz primerov

Funkcija zgornjega uda vključuje različne vrste prijemov, in sicer: seganje, prijemanje in spuščanje predmetov, manipuliranje in koordinacijo. Gibi so kompleksni in med sabo povezani. Učinkovito funkcioniranje zgornjega uda omogoča uspešno izvedbo in sodelovanje pri izvajanju vsakodnevnih aktivnosti. Zato delovni terapevti funkcijo zgornjih udov običajno razvijajo in spodbujajo z izvajanjem različnih aktivnosti. Tako posegajo na področje ožje in širše dnevne aktivnosti, dela in produktivnosti, igre, izobraževanja in prostega časa.

V nadaljevanju so prikazane različne delovnoterapevtske metode, ki jih uporabljamo z namenom izboljšati funkcijo rok po možganski okvari. Intenzivne terapije po apliciranju toksina botulinum vključujejo pasivno razgibavanje in sproščanje, aktivne vaje in motorič-

ni trening ter nameščanje individualno izdelanih opornic za zgornji ud, kar je prikazano na slikah 2a, 2b, 2c.

Sodobna tehnologija in robotika zagotavljata ponavljajoče se motorično učenje z visoko intenzivnostjo. Uporaba računalniške opreme, navidezne resničnosti in robotskih naprav se je pri rehabilitaciji zgornjih udov izrazito povečala, predvsem zaradi cenovno dostopnejših naprav, manjše neposredne fizične obremenitve terapevtov pri delu z bolniki in predpostavke, da nova tehnologija stimulatивно vpliva na motivacijo uporabnikov (45–47). Pogosto si pri treningu pomagamo s principi igranja igrice. Z robotsko terapijo podprte obravnave vplivajo na izboljšanje funkcije zgornjih udov ter prenos funkcije pri izvajanju vsakodnevnih aktivnosti brez zmanjšanja spastičnosti in povečanja mišične moči, kar vpliva tako na grobo kot fino motoriko zgornjih udov in roke. To prikazuje Slika 3.

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, kar prikazuje Slika 4.

## 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, tehniko omejevanja (CIMT), farmakološko (lokalno, npr. z apliciranjem toksina botulinum v prizadete mišice ali

z zdravili) ali pa s sodobno tehnologijo (uporaba nevromodulacijskih tehnikih kortikalnega draženja, robotika, navidezna resničnost, principi igrice). V prispevku smo prikazali nekaj primerov rehabilitacijske obravnave otrok in mladostnikov z okvarjeno funkcijo roke po možganski okvari. Z razvojem tehnologije in razumevanjem mehanizmov delovanja živčevja upamo, da bomo tudi po možganskih okvarah dosegli čim boljšo funkcijo, zlasti funkcijo zgornjega uda in roke, dokler ne bo medicina toliko napredovala, da bomo znali nadomestiti tudi izgubljene nevrone in njihove povezave oz. učinkovito preprečiti neugodne dogodke v našem živčevju.

### 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. Jang SH. The corticospinal tract from the viewpoint of brain rehabilitation. *J Rehabil Med* 2014; 46 (3): 193–9.
5. Welniarz Q, Dusart I, Roze E. The corticospinal tract: Evolution, development, and human disorders. *Dev Neurobiol* 2017; 77 (7): 810–29.
6. Seo JP, Jang SH. Characteristics of corticospinal tract area according to pontine level. *Yonsei Med J* 2013; 54 (3): 785–7.
7. Zhou Y, Zhang R, Zhang S, Yan S, Wang Z, Campbell BCV, Liebeskind DS, Lou M. Impact of perfusion lesion in corticospinal tract on response to reperfusion. *Eur Radiol* 2017; 27 (12): 5280–9.
8. Moses ZB, Abd-El-Barr MM, Chi JH. Timing is everything in corticospinal tract recovery after stroke. *Neurosurgery* 2015; 76(4): 18–9.
9. Bregant T, Derganc M, Neubauer D. Uporaba magnetnoresonančnega slikanja z difuzijskimi tenzorji v pediatriji. *Zdrav Vestn* 2012; 81: 533–42.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Zorowitz RD, Gillard PJ, Brainin M. Poststroke spasticity: sequelae and burden on stroke survivors and caregivers. *Neurology* 2013; 80: S45–52.
14. Li S. Spasticity, motor recovery, and neural plasticity after stroke. *Front Neurol* 2017; 8: 120.
15. 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.
16. Baker SN, Zaaime B, Fisher KM, Edgley SA, Soteropoulos DS. Pathways mediating functional recovery. *Prog Brain Res* 2015; 218: 389–412.
17. 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.
18. 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.
19. Giggins OM, Persson UM, Caulfield B. Biofeedback in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2013; 10: 60.
20. Morone G, Spitoni GF, De Bartolo D, Ghanbari Ghoshchy S, Di Iulio F, Paolucci S et al. Rehabilitative devices for a top-down approach. *Expert Rev Med Devices* 2019; 16 (3): 187–95.
21. Poli P, Morone G, Rosati G, Masiero S. Robotic technologies and rehabilitation: new tools for stroke patients' therapy. *Biomed Res Int* 2013; 2013: 153872.
22. Twitchell TE. The restoration of motor function following hemiplegia in man. *Brain* 1951; 74: 443–8.
23. Malhotra S, Pandyan AD, Rosewilliam S, Roffe C, Hermens H. Spasticity and contractures at the wrist after stroke: time course of development and their association with functional recovery of the upper limb. *Clin Rehabil* 2011; 25: 184–91.
24. Balakrishnan S, Ward AB. The diagnosis and management of adults with spasticity. *Handb Clin Neurol* 2013; 110: 145–60.
25. Nudo RJ. Mechanisms for recovery of motor function following cortical damage. *Curr Opin Neurobiol* 2006; 16: 638–44.
26. Zondervan DK, Augsburg R, Bodenhoefer B, Friedman N, Reinkensmeyer DJ, Cramer SC. Machine-based, self-guided home therapy for individuals with severe arm impairment after stroke: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2015; 29: 395–406.
27. Seo NJ, Fischer HW, Bogey RA, Rymer WZ, Kamper DG. Effect of a serotonin antagonist on delay in grip muscle relaxation for persons with chronic hemiparetic stroke. *Clin Neurophysiol* 2011; 122: 796–802.
28. Krakauer JW. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Curr Opin Neurol* 2006; 19: 84.
29. Levin MF, Kleim JA, Wolf SL. What do motor "recovery" and "compensation" mean in patients following stroke? *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 313–9.
30. Kwakkel G, Kollen B, Lindeman E. Understanding the pattern of functional recovery after stroke: facts and theories. *Restor Neurol Neurosci* 2004; 22: 281–99.
31. Page SJ, Gater DR, Bach YRP. Reconsidering the motor recovery plateau in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2004; 85: 1377–81.
32. Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol* 2009; 8: 741–54.

33. Takeuchi N, Izumi S. Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res Treat* 2013; 128641.
34. 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.
35. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelsteinn L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years. *Neurology* 1999; 53: 1874–6.
36. Krebs HI, Mernoff S, Fasoli SE, Hughes R, Stein J, Hogan N. A comparison of functional and impairment-based robotic training in severe to moderate chronic stroke: a pilot study. *NeuroRehabilitation* 2008; 23: 81–7.
37. Chollet F, Tardy J, Albucher JF, Thalamas C, Berard E, Lamy C et al. Fluoxetine for motor recovery after acute ischaemic stroke (FLAME): a randomised placebo-controlled trial. *Lancet Neurol* 2011; 10: 123–30.
38. Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: a new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? *Lancet Neurol* 2006; 5: 708–12.
39. Hummel F, Celnik P, Giraux P, Floel A, Wu WH, Gerloff C et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain* 2005; 128: 490–9.
40. Takeuchi N, Chuma T, Matsuo Y, Watanabe I, Ikoma K. Repetitive transcranial magnetic stimulation of contralesional primary motor cortex improves hand function after stroke. *Stroke* 2005; 36: 2681–6.
41. Nowak DA, Grefkes C, Ameli M, Fink GR. Interhemispheric competition after stroke: brain stimulation to enhance recovery of function of the affected hand. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 641–56.
42. Whittall J, Waller SM, Silver KHC, Macko RF. Repetitive bilateral arm training with rhythmic auditory cueing improves motor function in chronic hemiparetic stroke. *Stroke* 2000; 31: 2390–5.
43. Schneider S, Schönle PW, Altenmüller E, Münte TF. Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. *J Neurol* 2007; 254: 1339.
44. Bensmail D, Robertson J, Fermanian C, Roby-Brami A. Botulinum toxin to treat upper-limb spasticity in hemiparetic patients: grasp strategies and kinematics of reach-to-grasp movements. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24: 141–51.
45. Krishnaswamy S, Coletti DJ, Berlin H, Friel K. Feasibility of using an arm weight-supported training system to improve hand function skills in children with hemiplegia. *Am J Occup Therapy* 2016; 70 (6): 7006220050p1-7006220050p6.
46. Šuc L, Vidovič M, Očepek J. Robotsko podprta delovnoterapevtska obravnava zgornjega uda nevroloških bolnikov. *Rehabilitacija* 2020; 19 (1): 101–10.
47. Turconi AC, Biffi E, Maghini C, Peri E, Servodio Iammarone F, Gagliardi C. Can new technologies improve upper limb performance in grown-up diplegic children? *Eur J Phys Rehabil Med* 2016; 52(5): 672–81.

**doc. dr. Tina Bregant, dr. med.,**  
**spec. pediatrije, spec. fizikalne in**  
**rehabilitacijske medicine**  
 (kontaktna oseba / *contact person*)  
 CIRIUS Kamnik  
 Novi trg 43a, 1241 Kamnik, Slovenija  
 tina.bregant@cirius-kamnik.si

**Patricija Šinkovec, delovna terapevтка**  
 CIRIUS Kamnik, Kamnik, Slovenija

**Renata Pavlinič, delovna terapevтка**  
 CIRIUS Kamnik, Kamnik, Slovenija

prispelo / *received*: 5. 7. 2024  
 sprejeto / *accepted*: 15. 10. 2024

Bregant T, Šinkovec P, Pavlinič R. Rehabilitacija roke pri otrocih in mladostnikih po možganski okvari. *Slov Pediatr* 2024; 31(4): 180–187. <https://doi.org/10.38031/slovpediatr-2024-4-02>.