



PRIMJENA ROBOTA UPRAVLJANIH EMG SIGNALIMA U FIZIOTERAPIJI I REHABILITACIJI

BOŽO TOMAS, GLORIJA TOMAS*

U ovom radu su prikazane terapije potpomognute elektromiogramom upravljanim robotima (elektromiogram u daljnjem tekstu EMG signal) kod pacijenata koji su preživjeli moždani udar. Pacijentov pokušaj izvođenja zadanog pokreta detektira se praćenjem EMG signala mišića koji kreiraju željeni pokret. Nakon detekcije pokušaja kretanja, robot pomaže pacijentu u izvođenju pokreta u vodoravnoj ravnini. Mjerenjem i vrednovanjem određenih parametara EMG signala tijekom uzastopnih terapija, sustav može pratiti proces oporavka od moždanog udara te individualno prilagođavati terapiju. U radu su navedena neka od dostupnih rješenja primjene EMG signala za upravljanje robota za rehabilitaciju pacijenata koji su preživjeli moždani udar. Također su spomenuti i postupci korištenja pojedinih robota u rehabilitaciji te kako pacijenti i terapeuti reagiraju na te terapije i kako ocjenjuju nedostatke i prednosti istih.

Ključne riječi: ELEKTROMIOGRAM, ROBOTOM POTPOMOGNUTA REHABILITACIJA, REHABILITACIJA NAKON MOŽDANOG UDARA

Uvod

Izvođenjem željenih pokreta i aktivnosti upravljaju signali iz mozga koji se provode do leđne moždine te se prsljeđuju pojedinačnim mišićnim vlaknima koji se aktiviraju i kreiraju željene pokrete i aktivnosti. Mišićne kontrakcije (aktivnosti) generiraju mioelektrične signale (EMG signali) koji se određenim sensorima mogu snimati te procesirati i pohraniti.

Tijekom praćenja i promatranja snimljenih EMG signala, nastalih određenim pokretima i aktivnostima pacijenta, mogu se vidjeti i prepoznati ponavljanja određenih parametara EMG signala (oblici, trajanja, intenziteti i sl.). No, ponekad ti parametri nisu prepoznatljivi ("čitljivi") i ne možemo ih vizualno interpretirati. U stvari, i kada nema problema s "čitanjem" parametara EMG signala, liječnici specijalisti ne mogu EMG signal

svakog pokreta pacijenta pregledavati pojedinačno. Taj posao umjesto njih rade računala.

EMG signali se koriste za dijagnosticiranje bolesti mišića te procjenu napretka rehabilitacije osoba s problemima izvođenja određenih pokreta i aktivnosti. Današnja tehnološka rješenja, osim interpretacije mišićnih podražaja, omogućuju i pomoć kod aktiviranja mišića na temelju procesiranja EMG signala. U razvijenim zemljama već je uobičajeno korištenje EMG signalima aktiviranih robota za rehabilitaciju pacijenata koji su preživjeli moždani udar. Snimanje određenih pokreta pacijenta tijekom rehabilitacije potpomognute robotom, primjenjuje se u procjeni procesa oporavka. Iako su pokreti kao što su npr. otvaranje šake, hvat, bočni pomak, stiskanje šake i sl. nužno potrebni za rehabilitaciju osoba koje su preživjele moždani udar, današnji roboti za rehabilitaciju uglavnom koriste jednostavan način ekstenzije i fleksije. Međutim, programiranje robota da procesiranjem EMG signala prepozna aktivnost koju pacijent želi obaviti rukom i dalje ostaje izazov (1-3). Stoga je potrebno unaprijediti istraživanja kako

bi se razvili praktični i učinkoviti algoritmi interpretacije EMG signala za pokretanje robota u rehabilitaciji potpomognutoj robotom nakon moždanog udara.

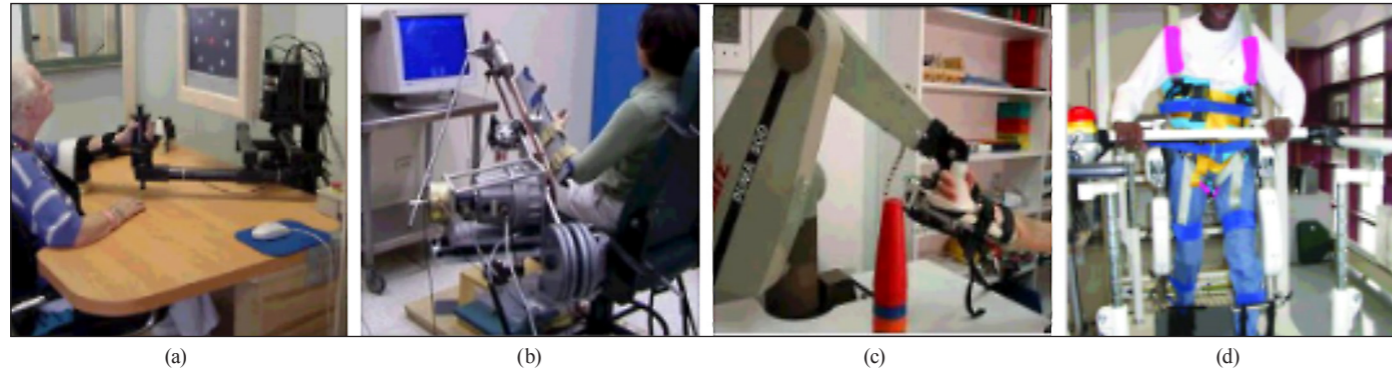
Korištenje terapije uz pomoć EMG signalom pokrenutog robota u rehabilitaciji pacijenata koji su preživjeli moždani udar, pomaže pacijentima da vrate sposobnosti aktiviranja pokreta koji su izgubili. Nakon tretmana, pacijent ima bolju kontrolu mišića, što ubrzava proces oporavka motoričkih funkcija. Također, vrlo bitno je znati da je ključno razdoblje za vraćanje funkcionalne sposobnosti tijela prva tri mjeseca nakon moždanog udara.

Terapija provedena uz pomoć EMG signalom pokrenutog robota

Elektromiografija je dijagnostička metoda ispitivanja funkcija perifernog živčanog sustava (akcije) i odgovora mišića (reakcije) u stanju pokreta i mirovanja. Njome se može brzo potvrditi ili odrediti dijagnoza bolesti ili povrede perifernog živčanog sustava, disfunkcija mišića te problemi s prijenosom signala od živčanog sustava do mišića. Motorni neuroni prenose električne signale koji

*Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike (FSRE), Sveučilište u Mostaru

Adresa za dopisivanje:
Izv. prof. Božo Tomas
88000 Mostar, Zrinskih Frankopana 17, BiH
E-mail: bozo.tomas@hteronet.ba



Slika 1.
Rehabilitacijski roboti (MIT MANUS; ARM Guide; MIME; Lokomat Hocoma AG) (13)

Figure content uploaded by Joseph Hidler Author content, Content may be subject to copyright.

iniciraju mišićnu kontrakciju te generiraju EMG signal. Grafičke prikaze, u vremenskoj domeni, numeričkih vrijednosti amplituda EMG signala interpretiraju liječnici specijalisti. EMG dijagnostička pretraga koristi se kod:

- bolesti perifernog živčanog sustava (oštećenja perifernih živaca, oštećenja živčanih snopova, sindrom karpalnog tunela, periferna neuropatija);
- poremećaja koji utječu na motorne neurone u mozgu i leđnoj moždini (amiotrofična lateralna skleroza);
- mišićnih poremećaja (polimiozitis, mišićna distrofija);
- poremećaja koji utječu na korijen živca (hernija diska);
- bolesti koje pogodaju vezu između živaca i mišića - neuromišićnu spojinu (miastenija gravis).

EMG testovi određuju i mjere električnu aktivnost mišića i živaca. Živci šalju električne signale kako bi pobudili i aktivirali mišiće na željene aktivnosti. Stanice mišićnog tkiva nakon pobude iz živčanog sustava i reakcije mišića generiraju EMG signale. EMG test analizira mioelektrične signale koje mišići stvaraju dok miruju i kada se aktiviraju. Ovi testovi mogu pomoći u otkrivanju poremećaja motorike mišića nakon moždanog udara.

Tijekom posljednja dva desetljeća, za rehabilitaciju pacijenata koji su imali moždani udar koristi se fizioterapija uz pomoć robota. Istraživanja otkrivaju

da ponavljajući bilateralni trening ruku s ritmičkim slušnim znakom poboljšava motoričku funkciju u kroničnom hemiparetičnom moždanom udaru (4-6). Roboti mogu dosljedno i kontrolirano obavljati ponavljajuće zadatke. Također su opremljeni sensorima za bilježenje položaja, brzine i sile pacijenta, što se može koristiti za kvantitativno i objektivno mjerenje pacijentove motoričke sposobnosti. U rehabilitacijskoj praksi se primjenjuju rehabilitacijski roboti, a neki od njih su MIT-MANUS, ARM Guide i MIME (7-9). Na Slici 1 su prikazani navedeni rehabilitacijski roboti te Lokomat ortoza za hod (Hocoma AG, Volketswil, Švicarska).

Na slikama (a, b, c) se može vidjeti način primjene robotske ruke. Na slici a je prikazana uobičajeno korištena igra koja se koristi u terapiji potpomognutoj robotom. Osam je smjerova prikazanih bijelim krugovima koji se označavaju po stranama svijeta. Pacijent pomiče crveni krug, prikazan u središtu mete, do željenog bijelog kruga koji predstavlja jedan od osam smjerova.

Kako bi se automatizirao lokomotorni trening za pacijente s neurološkim ozljedama, od sredine 1990-ih godina prošlog stoljeća razvija se Lokomat robotska ortoza za hod (10). Lokomot sustav je dostupan na tržištu tek od 2002. godine, a sastoji se od trake za trčanje, sustava za podršku tjelesnoj težini i dvije lagane robotske ruke za pričvršćivanje i pokretanje nogu pacijenta. Lokomat je u potpunosti programibilan. Omogućava kontrolu kinematičkih putanja koljena i kukova, kontrolu pomoći koju pruža pa-

cijentu te brzinu kojom će se pokretati. Ova visoka razina dinamičke kontrole postiže se malim istosmjernim (DC) motorima i sklopovima linearnih kugličnih vijaka na zglobovima kuka i koljena koji su sinkronizirani s trakom za trčanje.

Istraživanja su pokazala da je klinička učinkovitost oporavka od moždanog udara znatno veća kod pacijenata koji su imali pomoć robota tijekom fizioterapeutske rehabilitacije (11, 12). Pacijenti koji su imali placebo¹ terapiju, odnosno koji su lažno upotrebljavali terapiju potpomognutu robotom, te pacijenti koji su koristili tradicionalne terapije, imali su manju kliničku učinkovitost.

Učinak terapije potpomognute robotom kod oporavka motorike gornjih udova opisan je u (14): "U pokušaju da poboljšamo oporavak motorike gornjih udova nakon moždanog udara, uključili smo robota (MIT-Manus) koje je standardnim rehabilitacijskim tretmanima omogućilo dodatnu ciljano usmjerenu senzomotornu aktivnost. Prvo ispitivanje pokazalo je značajno smanjenje motoričkog oštećenja gornjih ekstremiteta za tretiranu skupinu. Prilikom ponovne procjene 12 od tih 20 pacijenata, gotovo 3 godine kasnije, pacijenti obučeni robotom pokazali su daljnje značajno smanjenje mjera oštećenja zahvaćenog ekstremiteta. Skupine su bile usporedive na početku studije."

¹ Placebo učinak definiran je kao fenomen u kojem neki ljudi dožive korist nakon primjene neaktivne tvari ili tretmana sličnog izgleda. Ova tvar, ili placebo, nema poznato medicinsko djelovanje.

U istraživanju je testirano kako dodatni senzomotorni trening paraliziranog ili paretičnog gornjeg uda izveden pomoću robotskog uređaja poboljšava motorni ishod pacijenata koji su preživjeli moždani udar (15). Multidisciplinarnu rehabilitaciju nakon moždanog udara prošlo je 56 pacijenata s akutnim moždanim udarom. Potom su raspoređeni nasumično u skupine s kojima su rađene dvije vrste terapija. Ispitanici iz prva skupine su koristili terapiju treninga potpomognutu robotskom rukom. Drugu skupinu su činili pacijenti koji su koristili terapiju robotskom rukom, ali bez treninga. Na početku i na kraju liječenja ocjenjivači su procjenjivali ishode s komponentom gornjih ekstremiteta s Fugl-Meyerovom procjenom motorike (FMA). FMA je procjena vrijednosti na temelju performansi, specifična za moždani udar. Osmišljena je za procjenu motoričkog funkcioniranja, ravnoteže, osjeta i funkcioniranja zglobova za pacijente s hemiplegijom nakon moždanog udara. Primjenjuje se klinički i kod procjene težine bolesti te kod opisa motoričkog oporavka, kao i za planiranje i procjenu liječenja. Kontrolne skupine pacijenata imaju usporedive kliničke karakteristike, veličine lezija te oštećenja prije liječenja. Do kraja terapije, ispitanici iz skupine koja je koristila terapiju potpomognutu robotom s trenin- gom imali su poboljšanu motoriku treniranih dijelove udova, tj. ramena i lakta. Ispitanici koji su koristili terapiju bez treninga također su poboljšali motoriku i funkcionalnost (15).

U istraživanju s ciljem određivanja učinka liječenja robotskom terapijom pokrenutom EMG signalom korišten je Luna EMG za terapiju gornjih i donjih udova (16). Luna EMG stroj otkriva namjere pokušaja pokreta pacijenta pomoću površinskih EMG signala te pomaže u aktivnostima donjih ekstremiteta, kao savijanje i ispravljanje koljena. Također, dok se obavlja terapija pomoću robota, koja je prilagođena svakom individualnom pacijentu, sustav pohranjuje signale koji kasnije mogu pomoći u proučavanju rehabilitacije nakon moždanog udara (17). Pacijenti koji su promatrani u istraživanju su preživjeli moždani udar u razdoblju do najviše šest mjeseci prije početka istraživanja. Imali su funkcio-

nalne poremećaje donjih ekstremiteta i u potpunosti su shvaćali zadane naredbe. Rehabilitacija se provodila kontinuirano 42 dana, pet puta tjedno od 90 do 120 minuta za svaku terapiju.

Luna EMG stroj pomaže pacijentima kod rješavanja ključnih problema kao što su slabost mišića, poremećaji pokretljivosti, problemi s hodom i raspon ograničenja kretanja. Motivirajuća fizioterapija na temelju elektromiografije, sile i položaja je automatizirana i personalizirana. Pacijent je povezan sa strojem pomoću mehaničkih nastavaka koji se pričvršćuju remenom ili drškom. Kretanje se kontrolira pomoću Windows aplikacije koja podržava korisničko sučelje, upravljanje pacijentima te izvještavanje i internet konekciju koja omogućava daljinsko dijagnosticiranje i nadzor. Inovativna tehnologija "EMG-pokrenutog robotskog pokreta" omogućava rad s "klinički slabim" pacijentima, čak i kada pokret nije vidljiv. Luna EMG detektira EMG aktivnost mišića i na temelju toga pruža pomoć tijekom kretanja. Ako nema pokreta ili aktivnosti, uređaj pruža pasivnu pomoć. Luna EMG protokol vježbi se sastoji od:

- 5 minuta kontinuiranog pasivnog kretanja fleksija/ekstenzija koljena;
- 10 minuta EMG potpomognute vježbe, koristeći EMG aktivnosti bedrenog mišića za aktivaciju asistencije pomoću uređaja za ekstenziju;
- 10 minuta EMG potpomognute vježbe, koristeći EMG aktivnosti dvoglavog bedrenog mišića za aktivaciju asistencije pomoću uređaja za fleksiju;
- 5 minuta kontinuiranog pasivnog kretanja koljena.

Prethodno navedene vježbe s Luna EMG protokolom izvedene su u sjedećoj poziciji. Terapije su prilagođavane pacijentovom stanju i funkcionalnim mogućnostima. Nakon 42 dana, odnosno šest tjedana istraživanja, utvrđeno je da je snaga mišića zgloba koljena značajno veća u obje skupine pacijenata nakon rehabilitacije. Opseg bedara se znatno povećao nakon rehabilitacije s robotskim treningom. U skupini gdje se koristila

kombinacija standardnih vježbi s vježbama koje su potpomognute robotom, snaga mišića je bila za 23% veća nego u skupini koja je obavljala rehabilitaciju bez pomoći robota.

EMG signali za EMG igru

Svake godine gotovo 800.000 Amerikanaca doživi moždani udar (18). Većina tih pojedinaca preživi udar i uglavnom se suočava sa senzomotoričkim nedostacima u gornjim i donjim ekstremitetima (19). Ova oštećenja imaju duboke implikacije na obavljanje svakodnevnih zadataka, brige o sebi i mogućnosti zapošljavanja. Ponovno uspostavljanje motoričke kontrole prioritet je osobama koje su preživjele moždani udar, ali to je teško postići (20). Oštećenja koja nastaju nakon moždanog udara rezultat su promijenjenih obrazaca aktivacije mišića (21).

Računalne video igrice, osmišljene da poboljšaju mioelektričnu kontrolu (myogames), uvode se kao jedan od postupaka u rehabilitaciji pacijenata koji se oporavljaju od moždanog udara. EMG signali izravno kontroliraju kretanje kursora tijekom video igrice. Uobičajeni naziv za računalne igrice kontrolirane EMG signalima je EMG igra. EMG igre mogu poboljšati sudjelovanje, motivaciju i užitak izvođenja ponavljajućih pokreta potrebnih za rehabilitaciju (22). Određivanje izvedivosti i učinkovitosti treninga s EMG igrama za poboljšanje kontrole obrazaca aktivacije mišića kod osoba koje su preživjele moždani udar je veoma aktualna tema kojom se bave mnogi istraživači (23-25). Prednosti koje pruža korištenje EMG signala za pokretanje aktivnosti robota u fizioterapiji i rehabilitaciji su sljedeće:

- Omogućeno korištenje određenih mišića pacijenta kako bi se pokretao robot. Robotska terapija bi se mogla prilagođavati svakom pojedinačnom pacijentu prema njegovim jedinstvenim potrebama.
- Moguć uvid u to pokušava li pacijent stvoriti neki pokret tijekom terapije.
- Robot se može aktivirati brže od sustava pokretanih kinematičkim signalima.

- Pacijenti koji nisu u stanju stvarati nužnu razinu sile za izvođenje određenih pokreta mogu generirati EMG signale kako bi aktivirali robota koji će im pomoći u izvedbi željenog pokreta.
- Parametri koji se izvode iz EMG signala se mogu koristiti kako bi se pratio pacijentov oporavak od moždanog udara. Također, dobivaju se vrlo bitni podaci, do kojih se drugačije ne bi moglo doći, koji unaprijeduju cijeli proces oporavka te motoričkih sposobnosti pacijenta.

Ekspirimenti provedeni s EMG igrom pokazali su da se kod svakog subjekta, s obzirom na izvedeni pokret prema određenoj meti, aktivira nekoliko mišića. Kod pacijenata s moždanim udarom uzorci EMG signala se jako razlikuju. Neki pacijenti moraju ponovno naučiti kako aktivirati određene mišiće i izvesti željene pokrete. EMG igra može omogućiti selektivni trening određenih mišića. Pacijenti s težim oštećenjima nisu u stanju pomicati upravljač robota. Međutim, EMG podaci pokazali su određenu modulaciju, koja se u nekoliko slučajeva dogodila bez kretanja. Dakle, može se zaključiti da pacijenti s izrazitim oštećenjima, koji mogu samo djelimično aktivirati mišiće ili ih čak nisu u stanju pokrenuti, mogu i dalje generirati EMG signale koji mogu aktivirati robota za pomoć izvođenja željenog pokreta.

EMG modulacija je evidentna čak i kada pacijent generira izolirane male pokrete. Također, pokrete su mogli generirati mišići koji se ne prate, ili mišići trupa koje je pacijent angažirao u pokušaju kretanja. Osim EMG signala, signali brzine (v) ili sile mogli bi se koristiti za otkrivanje pacijentovog pokušaja kretanja. Pokretanje pomoću EMG signala snimljenog na mišićima gornjih ekstremiteta moglo bi "prisiliti" pacijenta da koristi gornji ud za generiranje pokreta za pokretanje robota.

Sustav za terapiju s EMG signalom upravljanim robotom pokreće robota samo kada pacijent svojevrijedno inicira pokret. Tada robot pomaže pacijentu u izvođenju pokreta. EMG igra može implementirati prilagođene terapije. Igra se

može prilagoditi za treniranje određenih mišića pacijenta i pružanje robotske terapije čak i kada je pacijent u stanju generirati samo slabe mišićne kontrakcije. Slično kao i živčano-mišićna stimulacija pokrenuta EMG signalom, EMG igra se može programirati da pokrene robota čim se aktiviraju određeni mišići. EMG igra također bilježi podatke o motoričkim performansama pacijenta, na primjer, koji su mišići pokrenuli radnju robota i u koje vrijeme. Ti podaci, zajedno s kinematičkim signalima snimljenim tijekom terapije, mogu biti korisni za praćenje, kvantificiranje i bolje razumijevanje oporavka pacijenata od moždanog udara. EMG igra se može programirati tako da robot počne pomagati pacijentu ukoliko pacijent ne može pomaknuti krajnjeg efekatora unutar zadanog vremena (uobičajeno 2 s).

Mioelektrična kontrola

Kako bi se prilagodio signal koji se dovodi u upravljački sustav EMG, signal se obrađuje u kontinuiranom i diskretnom obliku. Kod kontinuiranih signala mjeri se amplituda za kontrolu brzine kretanja proteze što je povezano s naprezanjem mišića. Za poboljšanje sposobnosti zakretnog momenta lakta pacijenata koristi se pomoćni sustav zakretnog momenta koji površinskim elektrodama snima EMG signale (26). Pri određivanju veličine zakretnog momenta, ugrađeni algoritam uzima u obzir razliku između ponderiranih EMG signala bicepsa i tricepsa, tako da je primijenjeni moment proporcionalan naporu koji korisnik dobrovoljno uloži. Ukupna stabilnost pomoćnog sustava poboljšana je ugradnjom nelinearnog prigušnog elementa u kontrolni algoritam koji oponaša fiziološko prigušivanje lakatnog zgloba i kontrakciju između bicepsa i tricepsa. Inovativni algoritam upravljanja omogućava aktiviranje pomoćnog sustava čiji je rad prirodan za korištenje i jednostavan za učenje. Učinkovitost predloženog pomoćnog sustava u pomaganju izvedbe pokreta lakta istražuje se u nizu testova koji uključuju pacijente s moždanim udarom i radno sposobne pojedince. Rezultati potvrđuju sposobnost sustava da pomogne ispitanicima u izvršavanju brojnih zadataka dosezanja i praćenja

zadanih ciljeva, uz smanjeni napor, u izvedbi pokreta lakta.

Diskretni EMG signali koriste se kako bi se omogućila klasifikacija kretanja udova, primjerice razne gestikulacije, geste i slično. To pokazuje istraživanje objavljeno u (27). U tom radu je prikazana statistička analiza i klasifikacija uzoraka elektromiografskih signala bicepsa i tricepsa osoba amputiranih ili paraliziranih ispod humerusa.² Takvi signali, prikupljeni od simulirane amputacije, stvaraju se sinergijski kako bi proizveli diskretne pokrete donje ruke. Svrha ove studije jest koristiti ove signale za upravljanje protetičkom ili ortotičkom rukom s električnim pogonom uz minimalni dodatni mentalni napor subjekta. Rezultati pokazuju vrlo dobro odvajanje različitih pokreta kada se koristi klasifikacijska shema obrasca učenja. Budući da vrijedi i princip superpozicije, može se razložiti složeno gibanje na osnovne pokrete, npr. rotaciju humerala prema unutra i prema van, fleksija i ekstenzija lakta te pronacija i supinacija³ zgloba. Međutim, s obzirom da nije primijećena, sinergija za pokrete ruke, za stisak ruke je potrebno osigurati neke druge ulazne postavke. Opisana metoda nije ograničena položajem elektroda. Za amputirane osobe s kraćim protezama mogu se dobiti sinergijski signali iz mišića ramena. Međutim, prikaz u (27) ograničen je na klasifikaciju biceps-triceps signala.

Povijesno gledano, rehabilitacijski inženjering bio je najranije područje primjene mioelektrične kontrole. Već su u Wienerovoj kibernetici krajem 1940-ih opisani prototipovi kibernetičkih (upravljanih) strojeva koji su upućivali na primjenu kontroliranih proteza za amputirane ruke (28, 29). U novije vrijeme, teleoperacije i virtualna stvarnost koristile su EMG signale za predviđanje namjera korisnika.

² Ramena kost (lat. humerus) ili nadlaktična kost je duga kost koja seže od ramena do lakta.

³ Pronacija i supinacija se odnose, više generalno, na pozicije uklona ili otklona, ali često se koriste u određenom smislu za rotaciju podlaktice ili nogu, kada su u standardnom anatomskom položaju dlana ili suočavanja sprijeda (supinacija) ili pozadi (pronacija).

Neuro-mišićna stimulacija pokrenuta EMG signalom primjenjuje se u rehabilitaciji pacijenata s moždanim udarom. Ponovno učenje izgubljenih motoričkih sposobnosti sprovodi se treniranjem kontrole pokreta. Iz promatranog mišića, u većini slučajeva mišići ručnog zgloba ili prsta, snima se EMG signal. Kada pacijent pokušava napraviti pomak ručnog zgloba, prsta ili nekog drugog dijela tijela, generira EMG signal. Amplituda generiranog EMG signala treba biti iznad određenog tj. zadanog praga. Tada neuromuskulturni stimulator pomaže pacijentu u izvođenju pokreta. Vrijednost praga se određuje individualno za svakog pacijenta.

Prvi korak kod svih terapija je točno mjerenje vremena kontrakcije mišića pacijenata. Jedan od glavnih elemenata EMG analize je određivanje trenutka aktivacije i trajanje aktivnosti pojedinih mišića. Pored vizualnog određivanja perioda mišićne aktivnosti, postoje računalni algoritmi određivanja početka i trajanja aktivnosti mišića. Jedan od prvih takvih algoritama, temeljen na određivanju pragu aktivnosti, u svom radu iz 1996. godine opisuju Paul W. Hodges i Bang H. Bui (30).

Terapija prisilno induciranih pokreta i robotom potpomognuta terapija

Među tehnikama usredotočenima na oporavak motorike gornjih ekstremiteta, dvije su postale istaknute. To su terapija prisilno induciranih pokreta (Constraint-Induced Movement Therapy - CIMT) i terapija uz pomoć robota (Robot-Assisted Therapy - RT).

"Kod obnavljanja i poboljšavanja funkcionalnosti gornjih ekstremiteta pacijenata može se primijeniti RT temeljena na konceptu visokog intenziteta i povećanog broja ponavljanja funkcionalnih pokreta" (31). RT predstavlja obećavajuće rezultate kao potencijalna terapija oporavka motoričkih i funkcionalnih sposobnosti gornjih udova pacijenata koji su preživjeli moždani udar (32). Robotski uređaji pružaju pacijentima s moždanim udarom intenzivne podražaje i omogućavaju stručnjacima kontrolu fizioterapijskih vježbi i praćenje procesa oporavka tijekom rehabilitacije. Ovi uređaji mogu

uključivati kombinaciju funkcionalnih pokreta gornjih udova unutar tri modaliteta: pasivno, s aktivnom potporom ili s aktivnom otpornošću. Robotski uređaji mogu imati prednost u usporedbi s tradicionalnim programima rehabilitacije. Dosljednost i ponavljanje treninga uz pomoć robota omogućuju primjenu RT u multicentričnim kliničkim ispitivanjima.

"Terapija prisilno induciranih pokreta (CIMT) ima za cilj poboljšati motoričku funkciju paretičnog uda kombiniranjem intenzivnog programa treninga sa sputavanjem neoštećene ruke" (33). Ovaj pristup uključuje postupke oblikovanja i vježbanja zadataka tijekom terapije. CIMT također ima subjektivni ugovor o ponašanju koji se mora uspostaviti između pacijenta i terapeuta, osobito o izvedbi u kućnim aktivnostima. Ova se tehnika trenutno smatra zlatnim standardnim zahvatom za liječenje gornjih udova.

U istraživanju opisanom u (34), pacijenti koji su preživjeli moždani udar podijeljeni su u dvije skupine. Prva skupina se sastojala od pacijenata koji su kroz rehabilitaciju koristili CIMT terapiju, dok se druga sastojala od pacijenata koji su koristili robotski potpomognutu terapiju.

Pacijenti CIMT skupine su 10 tjedana koristili konvencionalne programe rehabilitacije, a nakon toga još dva tjedna dodatnu terapiju. Kroz dva posljednja tjedna su pacijenti prolazili kroz intenzivne terapije u trajanju od šest sati dnevno, te im je bilo ograničeno obavljanje kućnih aktivnosti. Svaki dan tijekom terapije su pacijenti obavljali različite zadatke kako bi poticali korištenje zahvaćenog gornjeg uda. CIMT se sastoji od tri temeljne komponente: oblikovanje, vježbanje i tehnike ponašanja. Kroz oblikovanje pacijenti dobivaju zadatke od terapeuta. Vježbanje se sastoji od ponavljanja funkcionalnih aktivnosti, a tehnike ponašanja pomažu pacijentima da nauče strategije koje će nastaviti koristiti u svakodnevnom životu nakon završetka terapije. Obuka, uz pomoć paretičnog uda, je uključivala vježbanje svakodnevnih životnih aktivnosti kao što su dohvaćanje, hvatanje i podizanje različitih predmeta (šalica, limenka, staklenka, boca, košara i drugi), okretanje ključeva

u bravama, korištenje prekidača za svjetlo, korištenje pribora za jelo, otvaranje i zatvaranje ladicavrata, držanje telefona ili daljinskog upravljača i sl.

Pacijenti u drugoj skupini su također koristili konvencionalnu terapiju, no istovremeno su tri puta tjedno, u 60 minutnim terminima, koristili i robotski potpomognutu terapiju. Terapija je trajala 12 tjedana, i sastojala se od 36 sesija podijeljenih u devet sesija treninga ramena i lakta, devet sesija treninga pokreta zapešća, devet sesija s uređajem za hvatanje te devet kombiniranih sesija sa svim uređajima u integriranom treningu. Pacijenti su koristili InMotion Arm i InMotion Wrist robote koji podržavaju gornje udove i pomažu da se vježbom postignu različiti pokreti. Ovaj sustav omogućuje intenzivnu terapiju, kontinuiranu povratnu informaciju, prilagođeni trening, trening specifičan za zadatak i prilagođene tretmane.

Usporedba RT i CIMT

Robotski potpomognuta terapija pokazala je motorička poboljšanja gornjih udova bez superiornosti u usporedbi s CIMT-om. Međutim, dok je CIMT-u potreban terapeut koji će uz pacijenta biti po šest sati dnevno, RT je moguća unutar i izvan bolnice. Budući da robot pacijentu pruža pomoć kod izvođenja velikog broja zadatah ponavljajućih pokreta, optimizira vrijeme terapeuta. Stoga terapeuti mogu lakše pratiti učinke terapije i imati bolji i potpuniji uvid u rezultate terapije tj. tijekom oporavka pacijenta. Dakle, roboti mogu smanjiti troškove fizičke rehabilitacije pacijenata nakon moždanog udara. Drugi aspekt koji se treba promatrati je primjenjivost RT. Studija objavljena u (35) pokazuje da su zadovoljstvo i motivacija kod pacijenata veći kod terapije izvedene upotrebom robota. Dodatna prednost RT u usporedbi s CIMT-om je kraće vrijeme svake terapijske sesije. Dok je u RT pacijent aktivan 1 sat, u CIMT to vrijeme je mnogo duže. Od pacijenta se traži 90% aktivnosti tijekom šest sati višednevne terapije, što uzrokuje umor i nelagodu tijekom terapije. Nasuprot tome, pacijenti iz skupine RT imali su bolji angažman i učinak tijekom sesija. Ustvari, obje terapije imaju neke prednosti. CIMT se preporučuje

pacijentima za kontrolu ručnog zgloba i prstiju, a RT za oporavak motorike rame-na i lakta. Štoviše, RT ima veći potencijal za oporavak preostalih komponenti motorike, kao što su istezanje, pokretljivost, snaga, tonus i raspon pokreta.

Preporuka je da CIMT i RT budu komplementarne intervencije tijekom procesa rehabilitacije. Budući da su rezultati za sposobnost i kvalitetu motoričkih funkcija za određene zadatke dnevnih aktivnosti bile statistički slične, ni jedna terapija nije inferiorna u odnosu na drugu. S obzirom na to da su ispitanici bili u kroničnoj fazi posljedica moždanog udara, ispitivači smatraju da je kombiniranje obje tehnike optimalno za uspješnu rehabilitaciju pacijenata. Istraživanja objavljena u (36, 37) su pokazala da je RT, u kombinaciji s CIMT-om, dovela do značajnih poboljšanja funkcionalnih sposobnosti gornjih udova.

Nedostatak CIMT-a je što ima ograničavajući kriterij da pacijenti imaju sposobnost od minimalno 10° ekstenzije ručnog zgloba, palca te još dva prsta. Dakle, terapeuti bi trebali uzeti u obzir taj faktor fleksibilnosti. Po tome kriteriju RT nema ograničenja, što omogućava prilagodbu različitim stupnjevima invaliditeta. Također, roboti omogućavaju prilagodbu i postavljanje postupno težih zadataka za vježbu. Pacijenti s kroničnim moždanim udarom poboljšali su funkciju gornjih udova, oporavak motorike i svakodnevne aktivnosti nakon RT ili nakon CIMT, ili nakon kombinacije obje terapije s konvencionalnom radnom terapijom. U konačnici, oporavak primjenom RT se ne razlikuje od onoga s CIMT terapijom. No, nakon usporedbe RT i CIMT, terapeuti bi trebali uzeti u obzir prednosti koje RT, u kombinaciji s konvencionalnim rehabilitacijskim programom, omogućuje (35-37).

Zaključak

Moždani udar trenutno je jedan od najčešćih zdravstvenih problema odrasle populacije u svijetu, kako iz zdravstvenih, tako i iz društvenih razloga. Gotovo jedna trećina smrtnih slučajeva u svijetu uzrokovana je moždanim udarima. Motorika je jedno od najčešće zahvaćenih područja u osoba koje su doživjele mož-

dani udar. Najzastupljenija oštećenja u ranim fazama nakon moždanog udara su slabost i pareza. Sa sigurnošću se može reći kako je korištenje EMG signala za pokretanje robota, u kombinaciji s konvencionalnim vježbama, u svrhu oporavka pacijenata, vrlo dobar oblik rehabilitacije. Mnogi istraživači su na svojim pacijentima pratili i ocjenjivali učinkovitost različitih terapijskih postupaka potpomognutih robotom. Posebno su aktualna istraživanja terapija potpomognutih robotima koji se pokreću EMG signalima. U ovom radu su navedena neka takva istraživanja. Dobri ishodi terapija potpomognutih EMG signalima upravljanim robotima upućuju na preporuku uvođenja istih za rehabilitaciju pacijenata koji su preživjeli moždani udar. Terapija robotskim uređajima u rehabilitacijskim centrima je već postala standard u mnogim zemljama. Vidljivo je da su mogućnosti primjene robotom potpomognutih terapija u fizioterapijskoj rehabilitaciji višestruke i da će se u fizioterapijskoj praksi, uz unapređivanje postojećih robota, uvoditi i novi roboti i terapijski postupci potpomognuti robotom upravljanim EMG signalom.

NOVČANA POTPORA/FUNDING

Nema/None

ETIČKO ODOBRENJE/ETHICAL APPROVAL

Nije potrebno/None

SUKOB INTERESA/CONFLICT OF INTEREST

Autori su popunili *the Unified Competing Interest form* na www.icmje.org/doi_disclosure.pdf (*dostupno na zahtjev*) obrazac i izjavljuju: nemaju potporu niti jedne organizacije za objavljeni rad; nemaju financijsku potporu niti jedne organizacije koja bi mogla imati interes za objavu ovog rada u posljednje 3 godine; nemaju drugih veza ili aktivnosti koje bi mogle utjecati na objavljeni rad./ *All authors have completed the Unified Competing Interest form at www.icmje.org/doi_disclosure.pdf (available on request from the corresponding author) and declare: no support from any organization for the submitted work; no financial relationships with any organizations that might have an interest in the submitted work in the previous 3 years; no other relationships or activities that could appear to have influenced the submitted work.*

LITERATURA

1. Lee SW, Wilson KM, Lock BA, Kamper DG. Subject-specific myoelectric pattern classification of functional hand movements for stroke survivors. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2011; 19 (5): 558-66. doi:10.1109/TNSRE.2010.2079334.

2. Y. Geng, L. Zhang, D. Tang, X. Zhang and G. Li, "Pattern recognition based forearm motion classification for patients with chronic hemiparesis," 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Osaka, Japan, 2013; 5918-21. doi: 10.1109/EMBC.2013.6610899.

3. Z. Lu, K. -y. Tong, X. Zhang, S. Li and P. Zhou, "Myoelectric Pattern Recognition for Controlling a Robotic Hand: A Feasibility Study in Stroke," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, no. 2, pp. 365-72. Feb. 2019. doi: 10.1109/TBME.2018.2840848.

4. Gresham GE, Duncan PW, Stason WB, Adams HP, Adelman AM, Alexander DN et al. Post-stroke rehabilitation: Assessment, referral, and patient management: Quick reference guide for clinicians. *Journal of Geriatric Drug Therapy.* 1996 Dec 1; 11 (2): 7-44.

5. Whitall, J., McCombe Waller, S., Silver, K. H., & Macko, R. F. (2000). Repetitive bilateral arm training with rhythmic auditory cueing improves motor function in chronic hemiparetic stroke. *Stroke*, 31 (10), 2390-5. <https://doi.org/10.1161/01.str.31.10.2390>.

6. Dobkin BH. Clinical practice. Rehabilitation after stroke. *N Engl J Med.* 2005; 352 (16): 1677-84. doi:10.1056/NEJMc043511.

7. Krebs HI, Hogan N, Aisen ML, Volpe BT. Robot-aided neurorehabilitation. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1998; 6 (1): 75-87. doi:10.1109/86.662623.

8. Reinkensmeyer, D.J., Schmit, B.D. & Rymer, W.Z. Assessment of Active and Passive Restraint During Guided Reaching After Chronic Brain Injury. *Annals of Biomedical Engineering* 27, 805-14 (1999). <https://doi.org/10.1114/1.233>.

9. Lum PS, Burgar CG, Kenney DE, Van der Loos HF. Quantification of force abnormalities during passive and active-assisted upper-limb reaching movements in post-stroke hemiparesis. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1999; 46 (6): 652-62. doi:10.1109/10.764942.

10. Colombo G, Joerg M, Schreiber R, Dietz V. Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *J Rehabil Res Dev.* 2000; 37 (6): 693-700.

11. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein OTR L, Diels C, Aisen M. A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology.* 2000; 54 (10): 1938-944. doi:10.1212/wnl.54.10.1938.

12. Kim JA, Chun MH, Lee A, Ji Y, Jang H, Han C. The effect of training using an upper limb rehabilitation robot (HEXO-UR30A) in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2023; 102 (12): e33246. doi:10.1097/MD.00000000000033246.

13. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K. Advances in the understanding and treatment of stroke impairment using robotic devices. *Top*

Stroke Rehabil. 2005 Spring; 12 (2): 22-35. doi: 10.1310/RYT5-62N4-CTVX-8JTE. PMID: 15940582.

14. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years. *Neurology.* 1999; 53 (8): 1874-6. doi:10.1212/wnl.53.8.1874.

15. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein OTR L, Diels C, Aisen M. A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology.* 2000; 54 (10): 1938-44. doi:10.1212/wnl.54.10.1938.

16. Lewandowska-Sroka et al. The Influence of EMG-Triggered Robotic Movement on Walking, Muscle Force and Spasticity after an Ischemic Stroke. *Medicina (Kaunas, Lithuania).* (2021). 57. 227. 10.3390/medicina57030227.

17. Dipietro, Laura et al. "Customized interactive robotic treatment for stroke: EMG-triggered therapy." *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* vol. 13, 3 (2005): 325-34. doi:10.1109/TNSRE.2005.850423.

18. Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW, et al. Heart disease and stroke statistics - 2018 update: A report from the American Heart Association. *Circulation.* 2018; 137 (12): e67-e492. doi:10.1161/CIR.0000000000000558.

19. Stewart JC, Cramer SC. Patient-reported measures provide unique insights into motor function after stroke. *Stroke.* 2013; 44 (4): 1111-6. doi:10.1161/STROKEAHA.111.674671.

20. Kwakkel G, Kollen BJ, Wagenaar RC. Therapy impact on functional recovery in stroke rehabilitation: a critical review of the literature. *Physiotherapy.* 1999; 85 (7): 377-91.

21. Lee SW, Wilson KM, Lock BA, Kamper DG. Subject-specific myoelectric pattern classification of functional hand movements for stroke survivors. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2011; 19 (5): 558-66. doi:10.1109/TNSRE.2010.2079334.

22. Mubin O, Alnajjar F, Al Mahmud A, Jishtu N, Alsinglawi B. Exploring serious games for stroke rehabilitation: a scoping review (published online ahead of print June 8, 2020). *Disabil Rehabil Assist Technol.* doi:10.1080/17483107.2020.1768309.

23. Ghassemi M, Triandafilou K, Barry A, et al. Development of an EMG-controlled serious game for rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2019; 27 (2): 283-92. doi:10.1109/TNSRE.2019.2894102.

24. Lang CE, Wagner JM, Edwards DF, Sahrman SA, Dromerick AW. Recovery of grasp versus reach in people with hemiparesis poststroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2006; 20 (4): 444-54. doi:10.1177/1545968306289299.

25. Seo, Na Jin PhD; Barry, Alex MS et al. Use of an EMG-Controlled Game as a Therapeutic Tool to Retrain Hand Muscle Activation Patterns Following Stroke: A Pilot Study. *Journal of Neurologic Physical Therapy* 46 (3): p 198-205, July 2022. DOI: 10.1097/NPT.0000000000000398.

26. Cheng HS, Ju MS, Lin CC. Improving elbow torque output of stroke patients with assistive torque controlled by EMG signals. *J Biomech Eng.* 2003; 125 (6): 881-6. doi:10.1115/1.1634284.

27. G. N. Saridis and T. P. Gootee, "EMG Pattern Analysis and Classification for a Prosthetic Arm," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. BME-29, no. 6, pp. 403-412, June 1982. doi: 10.1109/TBME.1982.324954.

28. N. Wiener, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1961.

29. Park SH, Lee SP. EMG pattern recognition based on artificial intelligence techniques. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1998; 6 (4): 400-5. doi:10.1109/86.736154.

30. Hodges PW, Bui BH. A comparison of computer-based methods for the determination of onset of muscle contraction using electromyography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1996; 101 (6): 511-9. doi:10.1016/s0013-4694(96)95190-5.

31. Krebs HI, Hogan N. Therapeutic Robotics: A Technology Push: Stroke rehabilitation is being aided by robots that guide movement of shoulders and elbows, wrists, hands, arms and ankles to significantly improve recovery of patients. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.* 2006; 94 (9): 1727-38. doi:10.1109/JPROC.2006.880721.

32. Lo, Albert C et al. "Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke." *The New England journal of medicine* vol. 362, 19 (2010): 1772-83. doi:10.1056/NEJMoa0911341.

33. Wolf, S L et al. "Forced use of hemiplegic upper extremities to reverse the effect of learned nonuse among chronic stroke and head-injured patients." *Experimental neurology* vol. 104, 2 (1989): 125-32. doi:10.1016/s0014-4886(89)80005-6.

34. Terranova, T. et al. Comparing effects of constraint-induced movement therapy and robotic therapy: Randomized clinical trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine.* 61. e34. 10.1016/j.rehab.2018.05.076. (2018).

35. Hughes, Ann-Marie et al. "Stroke participants' perceptions of robotic and electrical stimulation therapy: a new approach." *Disability and Rehabilitation. Assistive technology* vol. 6, 2 (2011): 130-8. doi:10.3109/17483107.2010.509882.

36. Hsieh, Yu-Wei et al. "Sequential combination of robot-assisted therapy and constraint-induced therapy in stroke rehabilitation: a randomized controlled trial." *Journal of neurology* vol. 261, 5 (2014): 1037-45. doi:10.1007/s00415-014-7345-4.

37. Hsieh, Yu-Wei et al. "Sequencing bilateral robot-assisted arm therapy and constraint-induced therapy improves reach to press and trunk kinematics in patients with stroke." *Journal of neuroengineering and rehabilitation* vol. 13, 31. 22 Mar. 2016, doi:10.1186/s12984-016-0138-5.

Summary

APPLICATION OF ROBOTS CONTROLLED BY EMG SIGNALS IN PHYSIOTHERAPY AND REHABILITATION

Božo Tomas, Glorija Tomas

In this paper, we have shown therapies assisted by electromyogram-controlled robots (in further text, EMG signals) for patients that survived a stroke. The patient's attempt to go through an instructed movement is tracked by looking at EMG signal of the muscles that are responsible for that movement. After detecting the attempt of movement, the robot helps the patient perform the movement in horizontal line. By measuring and evaluating certain parameters of EMG signals during repeated therapies, the system can track the progress of rehabilitation from stroke, and therefore adapt the therapy. This paper focuses on some of the available solutions and the usage of EMG signals for controlling robots for the rehabilitation of patients who have survived strokes. We mentioned some of the procedures for using certain robots and the patient-therapist reaction to the given therapies and their benefits and shortcomings.

Keywords: ELECTROMYOGRAM, ROBOT AIDED REHABILITATION, POST STROKE REHABILITATION

Primljeno/Received: 3. 6. 2023.

Prihvaćeno/Accepted: 4. 9. 2023.