

TERAPEVTSKI UČINKI FUNKCIONALNE ELEKTRIČNE STIMULACIJE PRI OTROCIH S CEREBRALNO MOTORIČNO PRIZADETOSTJO

Stanislav Reberšek,¹ Franjo Gračanin,² Damjan Miklavčič,³ Ana Klemenč⁴

UDK/UDC 616.832-009.11-053.2:615.844.3

THERAPEUTIC EFFECTS OF FUNCTIONAL ELECTRICAL STIMULATION

DESKRIPTORJI: *cerebralna paraliza; elektrotterapija; otrok*

DESCRIPTORS: *cerebral palsy; electrotherapy; child*

IZVLEČEK – Študija obravnava stanje ekscitabilnosti določenega bazena motoričnih nevronov in vpliv večletne funkcionalne oblike električne stimulacije na to aktivnost pri petnajstih otrocih s cerebralno motorično prizadetostjo. Za ugotavljanje tega stanja je uporabljen Hoffmannov refleksni odgovor, kondicioniran z refleksnim odgovorom na udarec oziroma nateg Ahilove tetive. Rezultati kažejo, da se prvotno stanje ni bistveno spremenilo, kljub izboljšanju kinematike hoje in drže, čeprav so ti otroci uporabljali funkcionalno električno stimulacijo več let in so bili deležni tudi ostale fizikalne terapije.

ABSTRACT – The excitability of a group of neurons has been studied in fifteen spastic children before and after regular use functional electrical stimulation through a period of several years. The Hoffmann reflex, conditioned by tendon jerk, was used to stimulate this excitability. The results show that no significant changes of excitability occurred after many years of FES and other therapy procedures, although an improvement of gait kinematics and posture was clinically observed.

Uvod

Funkcionalna električna stimulacija (FES) kot sodobna rehabilitacijska metoda za ponovno vzpostavljanje prizadetih oziroma izpadlih motoričnih funkcij še vedno ni dosegla tako vsestranske klinične in zlasti izvenklinične uporabe kot smo pričakovali spočetka, čeprav so številni inženirji, zdravniki in fizioterapevti v njen razvoj vložili entuziastične napore. V kliničnem okolju so poskušali dokazati koristnost nove metode pri rehabilitaciji bolnikov z različnimi okvarami. Že pri prvih študijah pa so poleg neposredne funkcije opazili tudi določene terapevtske učinke, ki so kazali na facilitacijo aktivnosti EMG v agonistih s hkratno inhibicijo v antagonističnih mišičnih skupinah, izboljšanje mehanizmov hoje in drže, ter pri 45% obravnavanih otrok s cerebralno motorično prizadetostjo različno stopnjo permanentnega izboljšanja po prenehanju stimulacije. To je dalo raziskovalcem nov polet, da so poleg funkcije začeli raziskovati tudi dolgoročne učinke električne stimulacije. Takšne raziskave pa so zelo zahtevne, dolgotrajne in v mnogih okoljih

¹ doc. dr. Stanislav Reberšek, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 61000 Ljubljana

² prof. dr. Franjo Gračanin, Univerzitetni zavod za rehabilitacijo invalidov v Ljubljani, Linhartova 51, 61000 Ljubljana

³ ing. Damjan Miklavčič, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 61000 Ljubljana

⁴ Ana Klemenc, višja fizioterapevtka, Univerzitetni zavod za rehabilitacijo invalidov v Ljubljani, Linhartova 51, 61000 Ljubljana

težko ali sploh neizvedljive. Poleg tega pa so dobljeni rezultati izredno vprašljivi, češ da gre za morebitno spontano izboljšanje stanja ali za vpliv drugih vrst terapije. V zvezi s terapevtskimi učinki se namreč zastavlja cela vrsta vprašanj, na primer v kakšnem obsegu nastopajo, pri katerih bolnikih, koliko časa trajajo in kateri mehanizmi so pri tem vključeni. Med temi vprašanji je najtežje poiskati odgovore zlasti na zadnji dve.

Ugotavljanje trajanja teh učinkov zahteva dolgotrajne, skrbno kontrolirane študije, zato ni presenetljivo, da je bilo do sedaj pri vseh vrstah bolnikov narejeno in objavljeno razmeroma malo takšnih del. Skupna ugotovitev (4), ki izvira iz teh del je, da nikakor ne moremo pričakovati terapevtskih učinkov pri vseh bolnikih, poleg tega pa tudi njihovo trajanje ni za vse bolnike enako. Zaslediti je mogoče različne ugotovitve trajanja od nekaj dni do nekaj mesecev. Razlogov za tako različna opažanja je vsekakor več, med njimi pa je gotovo na prvem mestu treba poudariti fizičnost mehanizmov, ki so lahko ali tudi so vključeni pri nastajanju terapevtskih učinkov. O mehanizmih, ki so »odgovorni« za nastajanje terapevtskih učinkov, pa žal kljub ogromnemu napredku, ki je bil narejen v preteklih desetletjih na področju nevrologije in nevrofiziologije, vemo še zelo malo. Razlog je lahko ta, da niso bili analizirani adekvatni mehanizmi. Tako smo še vedno priča posameznim razmišljanjem, kaj vse bi lahko prispevalo k temu, da se pataloško stanje vsaj deloma približa zdravemu. Še vedno torej ostaja odprto pomembno vprašanje, ali lahko pri kakšni izmed populacij bolnikov pričakujemo trajno izboljšanje motoričnih funkcij.

S tega vidika so posebej zanimivi otroci s centralno motorično prizadetostjo (CP), ki med rehabilitacijo tudi odraščajo in je pred njimi še celo življenje. Pri teh bolnikih je vsako trajno izboljšanje še posebej dragoceno. Funkcionalno električno stimulacijo pri teh otrocih uporabljamo v kronološki starosti, ko naj bi normalno shodili. Prvi, ki je to metodo zelo sistematično vpeljal, je bil Gračanin s sodelavci že v sedemdesetih letih (1). Po letu 1980 teh bolnikov ni nihče več sistematično spremljal, čeprav je večina tistih, pri katerih je bila vpeljana funkcionalna električna stimulacija, v vsakdanjem življenju pripomoček še uporabljala; nekateri pa ga uporabljajo še sedaj. Glede na terapevtske učinke električne stimulacije je to seveda edinstvena priložnost za ugotavljanje dolgoročnih oziroma trajnih učinkov, če upoštevamo, da so ti bolniki razmeroma redno (vsak dan) uporabljali funkcionalno električno stimulacijo v obdobju nekaj let ali pa celo desetletje. Zato smo načrtali študijo ponovnega preverjanja stanja teh bolnikov, ki so sedaj večinoma že odrasli ljudje. Glede na obstoječo dokumentacijo in metodologijo dela pri uvajanju električne stimulacije pri otrocih smo se odločili, da bomo študijo izpeljali v dveh smereh. Prva je ugotavljanje stanja ekscitabilnosti bazena motoričnih nevronov in vpliva kondicionirajočega stimulusa (val T) na testni stimulus (val H) in morebitne nastale spremembe, kar ima lahko diagnostični pomen. Rezultati tega dela naj bi odgovorili na vprašanje, ali se je ta slika po toliko letih stimulacij in prehodu skozi rastno dobo sploh kaj spremenila. Druga pa je ponovno klinično ugotavljanje motoričnih funkcij, sprememb kinematike hoje in drže. Ta naj bi pokazala tisti neposredni učinek, ki koristi bolniku v vsakdanjem življenju. Do sedaj je narejena analiza dobljenih rezultatov le za prvi del študije, se pravi analiza vzorcev omejenih refleksnih motoričnih aktivnosti na osnovi kondicioniranih odgovorov na električni dražljaj, ki jo v tem prispevku predstavljamo.

Opis obravnavanih bolnikov

Glede na obseg predhodno opravljenih diagnostičnih meritev kondicioniranih odgovorov na testni električni dražljaj in sedaj opravljeno analizo dobljenih rezultatov se je izkazalo, da lahko v študijo vključimo petnajst bolnikov. Prve meritve so bile sicer opravljene pri večjem številu otrok, vendar je analiza rezultatov pokazala, da nekatere meritve niso bile uspešne oziroma popolne. Dogajalo pa se je tudi, da pri nekaterih otrocih odgovora na električni dražljaj (val H) ni bilo mogoče izvesti. Tabela 1 kaže razdelitev petnajstih otrok po osnovnih diagnozah skupaj s povprečno starostjo ob prvem testiranju in povprečno starostjo danes.

Iz tabele 1 je razvidno, da je bila pri otrocih s hemiplegijo stimulacija glede na starost aplicirana bistveno kasneje kot pri ostalih patologijah. Velike razlike v starosti pri vseh teh skupinah pa ponazarjajo heterogenost populacije glede na starost, ko so ti otroci pričeli uporabljati stimulacijo. V statističnem smislu je populacija torej sestavljena iz naključno izbranih vzorcev glede na starost.

Tabela 1. Prikaz porazdelitve otrok glede na osnovno diagnozo in povprečno starost

Osnovna diagnoza	Število otrok	Povprečna starost ob prvem testiranju	Povprečna starost ob drugem testiranju
Hemiplegija	10	10,6 ± 5 let	22,2 ± 4,9 let
Diplegija	3	6,3 ± 0,5 let	18,0 ± 1,0 let
Ostalo	2	6,0 ± 5,6 let	18,5 ± 4,9 let

Merilna metoda

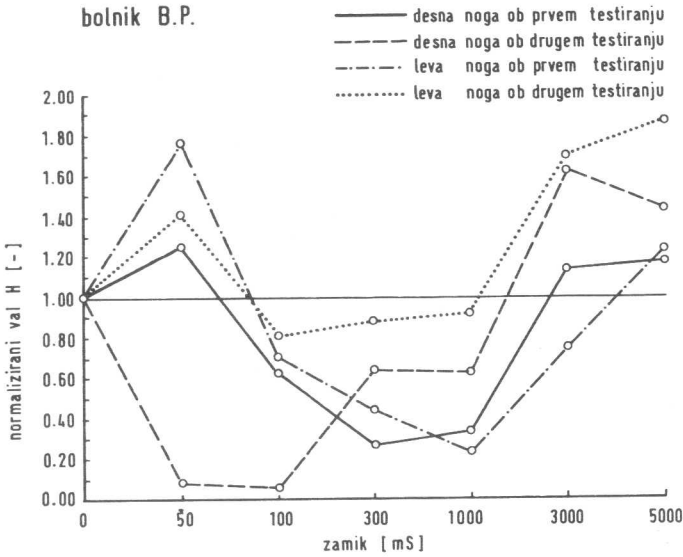
Namen pričujoče študije je dopolnitev oziroma nadaljevanje raziskav, ki so bile opravljene pred desetimi in več leti, zato smo se pri metodologiji ugotavljanja sedanjega stanja bolnikov strogo držali metodologije in protokola, ki sta bila takrat uporabljena za ugotavljanje stanja refleksne motorične aktivnosti (2). Uporabljena metoda temelji na obnašanju kondicioniranega refleksnega odgovora, pri katerem je kondicionirajoči stimulus udarec po Ahilovi kiti, testni pa električni stimulus n. tibialis v fossi poplitei in je podrobno opisani v omenjeni literaturi. Na tem mestu opisa ne bomo ponavljali, navedli pa bomo le zakasnitve med testnim in kondicionirajočim stimulusom: to je merilne točke, ki so bile izbrane že v začetku kot smiselne z vidika obnašanja refleksnega odgovora (vala-H) in trajanja celotne meritve. Snemanje celotnega območja (reflex recovery curve) je bilo omejeno na zakasnitve od 0 do 5 s po naslednjem vrstnem redu: 0, 0,5 s, 0,3 s, 1 s, 5 s in 0 s. Pavza med posamičnimi meritvami je bila 20 s, število vzorcev pa šestnajst.

Rezultati kondicioniranega vala H in analiza doseženih sprememb

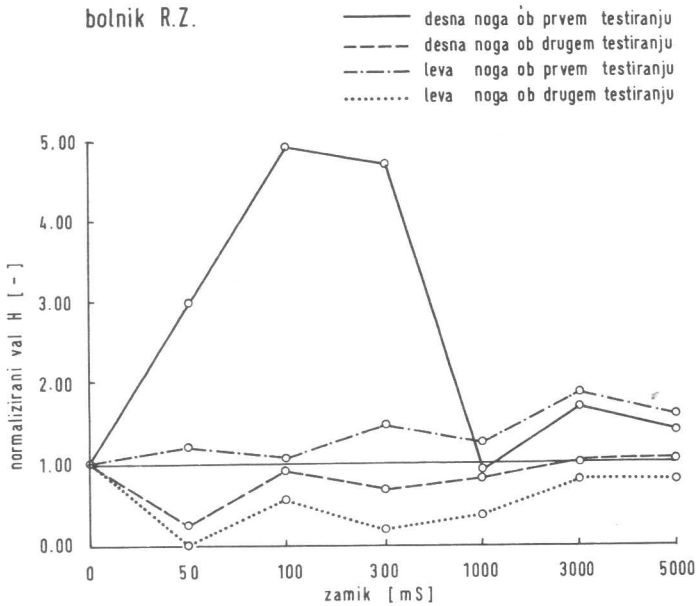
Meritve kondicioniranega vala H so bile v večini primerov obkraj opravljene za obe spodnji ekstremiteti, čeprav je bila za več kot polovico otrok osnovna diagnoza hemiplegija. Podobno kot je mogoče zaslediti pri številnih drugih avtorjih, se je tudi tu izkazalo, da nastopajo pri hemiplegičnih bolnikih spremembe refleksne motorične aktivnosti tudi na »neprizadeti« strani. Te spremembe so sicer manj izražene kot na prizadeti; in to v trajanju absolutne refraktorne periode za val H, kakor tudi v trajanju inhibitornega učinka kondicionirajočega stimulusa, vendar

pa tolikšne, da jih zlahka ločimo od normalnih vzorcev. Zato smo tudi pri drugem testiranju vedno merili obe okončini, ne glede na to, ali je bila osnovna diagnoza diplegija ali hemiplegija.

Slika 1: Rezultati obeh testiranj kondicioniranega vala H pri bolniku B.P. z diagnozo: spastična diplegija



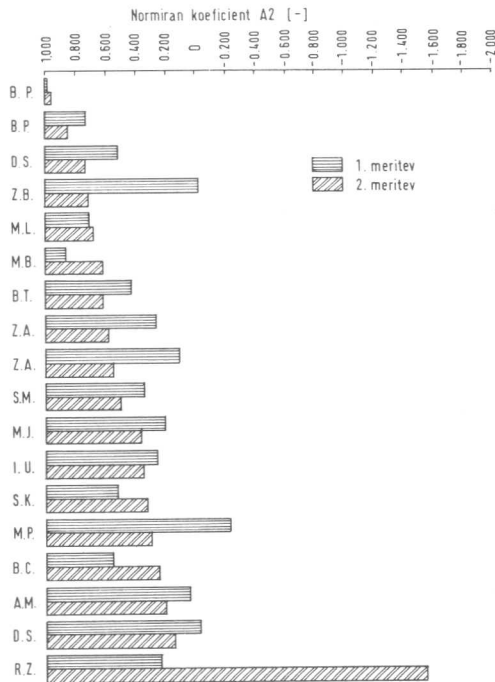
Slika 2: Rezultati testiranja kondicioniranega vala H pri bolniku R.Z. z diagnozo: spastična monopareza



Na slikah 1 in 2 so prikazani rezultati dveh meritev za dva različna tipa bolnikov. V prvem primeru (slika 1) je prikazan bolnik z diplegijo, v drugem (slika 2) pa z monoplegijo.

Pripomniti velja, da smo pri tem drugem bolniku (R.Z.) zabeležili največjo spremembo v smeri proti normalnemu vzorcu med vsemi petnajstimi bolniki.

Slika 3: Grafični prikaz sprememb stopnje inhibicije, testirane s kondicioniranim valom H pred in po dolgotrajni uporabi FES pri petnajstih otrocih s hemiplegijo oziroma diplegijo



Za oceno doseženih sprememb in nazoren grafični prikaz smo vpeljali parameter, ki izraža stopnjo inhibicije v primerjavi s krivuljo zdrave poskusne osebe. Za merilo inhibicije smo vzeli naklonski kot aproksimacijske premice, ki ponazarja obnavljanje refleksa na normirano vrednost 1 pri zakasnitvah za kondicionirajočim stimulusom valom T, ki so večje kot 0,3 sekunde. Aproksimacijsko premico smo določili z metodo najmanjših kvadratov odstopanj od izmerjenih rezultatov po enačbi:

$$S = \sum_{i=1}^n Y(x_i) - \varnothing(x_i)$$

kjer pomeni: S – vsota kvadratov odstopanj, n – število izmerjenih točk, x_i – ito časovno zakasnitev, $\varnothing(x_i)$ – funkcijsko vrednost premice pri iti zakasnitvi $\varnothing(x_i)$ pa izmerjeno vrednost pri iti zakasnitvi. Za kriterij kvalitete aproksimacije smo uporabili kvadratni koren iz vsote kvadratov odstopanj deljen s številom točk: $kr = S/n$. Pri tem smo aproksimacijsko premico pripeli na merjeno vrednost pri

najdaljši zakasnitvi (5 sek). Z naklonskim kotom te premice smo kvantitativno zajeli tudi prvo fazo krivulje: to je pri zakasnitvah od nič do 0,3 s.

Slika 3 prikazuje v obliki histrograma rezultate te analize. Za bolnike z diple-gijo so prikazani rezultati za obe ekstremiteti, označeni pa so z enakimi inicialkami, pri hemiplegičnih pa je grafična predstavitev neprizadete ekstremitete zaradi večje preglednosti opuščena.

Razpravljanje

Pri analizi rezultatov moramo omeniti, da so se indeksi amplitude vala H in vala T dlje uporabljali kot merilo stanja ekscitabilnosti bazena motoričnega nevrona kot ocena kliničnega stanja »spastičnosti«. Merjenja amplitude vala H in vala T so pokazala, da so njihove vrednosti večje za prizadeti strani, čeprav so včasih povečane tudi na klinično neprizadeti strani. Absolutna refraktorna doba za val H je bila približno 30 ms na neprizadeti strani, medtem ko je na prizadeti znašala 70 ms. Spremembe so bile tudi v krivulji facilitacije in inhibicije testnega odgovora v daljšem časovnem obdobju, ki se je pogosto bistveno razlikovala od normalnega stanja. Variabilnost odgovora pri ponavljanih meritvah govori v prid učinku aferentnega dotoka, suprasegmentalne in supraspinalne aktivnosti. Ker Mayer in Mawdsley (5) navajata, da imata val H in val T polisinaptično komponento, kar pomeni vključevanje interneuronskega sistema in ker so pri taki stimulaciji udeležena živčna vlakna, ki niso v direktni zvezi s spremembami na membrani motorične celice, lahko fluktuacijo testnega refleksa H pripišemo predvsem vplivu interneuronskega sistema. Glede na uporabljeno merilno metodo lahko zaključimo, da ni prišlo do večjih sprememb vzorca obnašanja testnega odgovora, kar naj bi pomenilo spremembo načina organizacije refleksne motorične aktivnosti. Na sploh lahko ugotovimo, da so približevanja k normalnemu vzorcu enako pogosta kot oddaljevanja od tega vzorca. To pomeni, da je pri obravnavani populaciji organizacija na tej ravni ostala nespremenjena. Ne glede na to, da so bili otroci hrati obravnavani z drugimi oblikami fizioterapije in so v tem času odrasčali, je torej vzorec na nivoju oligosinaptične refleksne aktivnosti ostal enak. Pri tem moramo upoštevati, da gre v normalnih pogojih – po Ecclesu (6) – za presinaptično inhibicijo, ki ne povzroči sprememb v ekscitabilnosti motorične celice, vendar pa reducira velikost monosinaptičnega ekscitacijskega postsinaptičnega potenciala. Če je dolgotrajna zgodnja depresija testnega vala H pri človeku identična s presinaptično inhibicijo, tedaj jo lahko štejemo za zelo važen funkcionalni mehanizem v integraciji motorične aktivnosti. Ker je pri bolnikih s poškodbo zgornjega motoričnega nevrona ta depresivni učinek skrajšan, ne samo na prizadeti, ampak tudi na neprizadeti strani, lahko menimo, da je ta zelo močna oblika inhibicije v kontroli spinalnih refleksnih mehanizmov, ki so pod vplivom descendntnih poti iz višjih nivojev, okrnjena. To nas vodi pri raziskovanju možnosti, ko želimo z različnimi fiziatrijskimi postopki izboljšati motorično funkcijo ali restavrirati spinalne refleksne mehanizme, udeležene v organizaciji giba. Pri tem bi bilo treba analizirati polisinaptično refleksno aktivnost, mehanizme recipročne inhibicije ter ostalih refleksnih mehanizmov, udeleženih pri hoji, pri čemer moramo imeti na razpolago primerne merilne metode tudi v času, ko na te mehanizme vplivamo z dodatnim dotokom informacij s periferije. Sama ocena stanja ekscitabilnosti

bazena motoričnih nevronov z uporabo kondicionirajočega (val T) in testnega stimulusa (val H) nam daje trenutno sliko in obnašanje tega odgovora. To je bistveno za izbiro terapije. Znano je, da isti postopek v enem primeru povečuje ekscitacijo, v drugem pa ima inhibitorni učinek, posebno na patološko prisotno refleksno motorično aktivnost. Z občasnim ponavljanjem meritev, ki so relativno enostavne, in vzporejanjem s spremembami hoje in drže ali pa motoričnih funkcij roke pri otroku ter z dodatnimi testi bo mogoče izdelati optimalne terapevtske programe za otroke, ki so v primerni starosti in psihičnem stanju, da pri teh preiskavah sodelujejo. Na koncu naj še omenimo, da je število 15 otrok za tako študijo morda premajhno, vendar pa smo zaradi večjega časovnega obdobja med prvo in zadnjo meritvijo izgubili znatno število otrok, medtem ko pri nekaterih niso bile narejene vse meritve pri prvih poizkusih lege artis. Skupina pa kljub temu predstavlja naključni vzorec.

LITERATURA

1. Gračanin F, Vrabič M, Vrabič G. Six years experiences with FES method applied to children. *Europa Med Phys* 1976; 12: 19–26.
2. Gračanin F. Študij vpliva funkcionalne stimulacije na refleksno motorično aktivnost pri bolnikih s hemiplegijo Disertacija. Ljubljana: Zavod SRS za rehabilitacijo invalidov, 1971.
3. Gračanin F. Functional Electrical Stimulation in Control of Motor Output and Movements *Contemp Clin Neurophysiology: EEG Suppl* 1987; 355–367.
4. Vodovnik L. Indirect spinal cord stimulation. Some engineering viewpoints. *Appl Neurophysiol* 1981; 44: 97–113.
5. Mayer RF, Mawdsley C. Studies in man and cat of the significance of the H Wave. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 1965; 28: 201.
6. Eccles JC. *The physiology of synapses*. Berlin: Springer 1961: 220–238.

NEPODARJENO DARILO

Čeprav bi bila večina ljudi (72%) pripravljena po smrti darovati kak svoj organ za presaditev, v tem hipu v Združenih državah Amerike 20 000 ljudi čaka na presadek. Zakaj? Zdravstveni delavci preprosto pustijo, da jim večina potencialnih dajalcev tako rekoč »uide iz rok«.

Zadrega zdravnikov, da bi svojce umrlega zaprosili za kak njegov organ, desetka že tako in tako skromne zaloge src, ledvic in drugih organov. Čeprav se vsi zdravstveni delavci povsem strinjajo z idejo darovanja organov, pa 90% medicinskih sester in 70% zdravnikov pravi, da jih že ob sami misli, da bi svojce prosili za dovoljenje za presaditev organa umrlega, obide nepopisna zadrega. Glavni vzrok premajhnega števila presaditev torej ni medicinske narave, ampak tiči predvsem v oklevanju pri vzpostavljanju stikov z družino potencialnega dajalca.