

Stanislav REBERŠEK, *Janez ZAJEC,
Miran KOGOVŠEK

Fakulteta za elektrotehniko
Univerze Edvarda Kardelja
Tržaška 25, Ljubljana

*Univerzitetni klinični center
Zaloška 7, Ljubljana

MERILNIK MIOELEKTRIČNE AKTIVNOSTI ZA UPORABO
BIOLOŠKE POV RATNE ZVEZE PRI KREPITVI MIŠIC

DEVICE FOR THE MEASUREMENTS OF THE MYOELECTRIC
ACTIVITY USED FOR THE BIOFEEDBACK IN MUSCLE
STRENGTHENING

POVZETEK - V delu so opisane možnosti gradnje aparaturne opreme za izvajanje terapevtskega programa krepitve mišične moči na osnovi audio-vizualne povratne zveze. Bistvo razvojnega koncepta je uporaba elektronskih komponent, ki so dostopne na domačem tržišču. Prototipni izdelki so bili evalvirani pri 30 bolnikih z različno stopnjo zmanjšane koordinacije in mišične moči.

ABSTRACT - Some development possibilities of audio-visual training equipment for muscle force strengthening program are described. The development concept is based on electronic components, which are easily available on market. The prototypes were tested on 30 patients with different degrees of decreased muscle force and coordination disability.

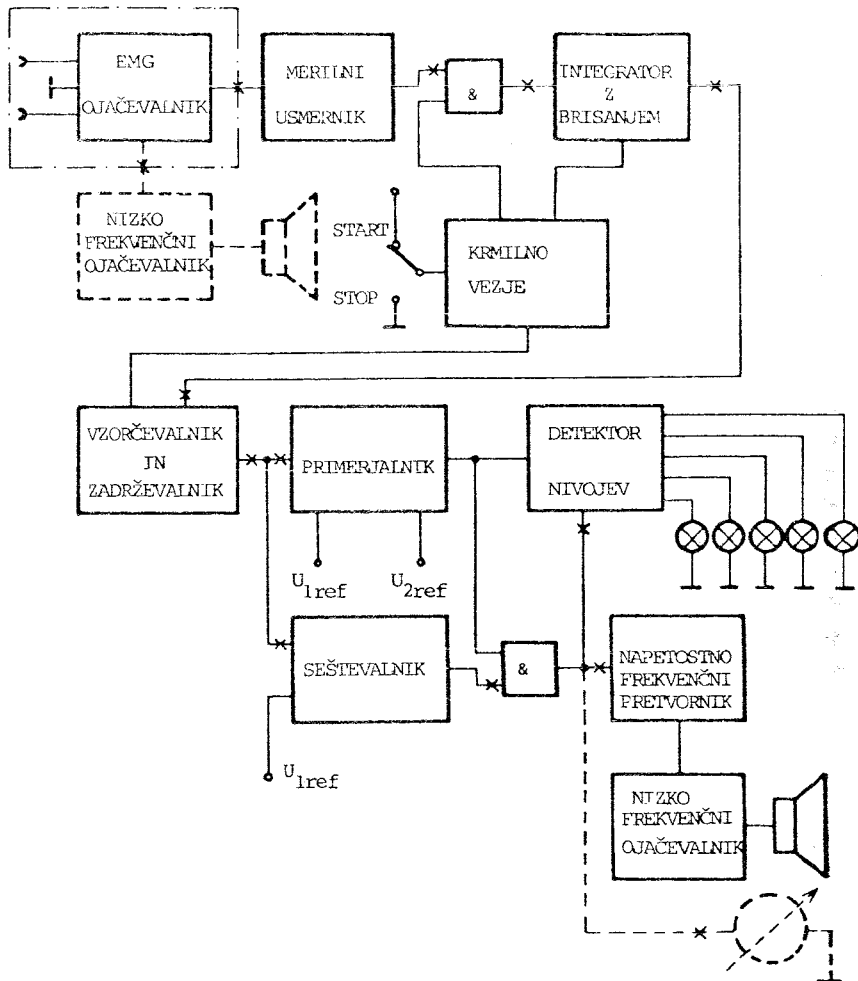
1. UVOD

Uporaba biološke povratne zveze za izboljšanje terapevtskih učinkov je dosegla največjo odmevnost po letu 1950, ko je o tej metodi poročal Wiener. V treh desetletjih, ki so minila od Wienerjevega dela, se je odvijal razvoj te metode na dveh paralelnih področjih. Na področju nevrofiziologije se je skušalo najti razlage za eksperimentalno dokazljive vplive biološke povratne zveze na motorične in vegetativne funkcije pri človeku. Tako danes kaže, da bo obveljala Brudny-jeva nevrofiziološka shema o poteh v centralnem živčnem sistemu, ki so udeležene pri izvajanju terapije z vključeno biološko povratno zvezo /1/. Hkrati z novim znanjem na tem področju so se iskale tudi možnosti za izboljšanje uspešnosti metode in njeno razširjanje pri zdravljenju različnih bolezni

oziroma motenj. Vzporedno z nevrofiziološkimi raziskavami je bilo tudi na tehniškem področju vloženega veliko truda v razvoj aparature opreme, ki omogoča vzpostaviti zaključeno zanko med moteno funkcijo in centralnim živčnim sistemom. Ta razvoj je bil močno vezan na elektrotehniko in je sproti izkoriščal njen napredek, predvsem na področju elektronske tehnologije. Tako imamo danes v svetu celo vrsto komercialno dosegljivih aparatov za izvajanje terapije s pomočjo biološke povratne zveze. Povsem drugačne pa so razmere na domačem tržišču, ko te opreme sploh ni; zaostrene uvozne omejitve pa ne dopuščajo kupovanja v inozemstvu. Zato smo se odločili, da razvijemo merilnik mioelektrične napetosti za potrebe terapije pri ojačevanju mišične moči in vzpostavljanju koordinacije gibov z uporabo biološke povratne zveze. Pri tem smo načrtali dva cilja. Prvič, merilnik mora biti sestavljen iz komponent, ki so dosegljive na jugoslovanskem tržišču; drugič, po zmožnostih in kakovosti ne sme biti slabši od sorodnega uvoženega izdelka. Oba cilja sta sočasno vplivala tudi na osnovne zahteve, katerim naj bi ustrezal novi merilnik. Te so predvsem naslednje: enostavnost uporabe, različne oblike izhodnih akustičnih in vizualnih prikazov, modularna zgradba, nastavljiva občutljivost vhodnega signala, zamenljivost sestavnih delov, varnost in zanesljivost delovanja itd. Na naslednjih straneh so principialno prikazane variante, ki v celoti izpolnjujejo gornje zahteve.

2. OPIS MERILNIKA

Funkcionalna zasnova merilnika je prikazana z blokovno shemo na sliki 1. Predvidene so štiri variante za različne prikaze velikosti mioelektrične napetosti. V blokovni shemi je s polnimi črtami prikazana prva varianta; ostale možnosti pa so nakazane črtkano. Bistvo funkcionalne zasnove pri vseh variantah je ojačevalnik mioelektričnih napetosti, ki je postavljen skupaj z elektrodami neposredno na odjemno mesto. S takšnim pristopom se izognemo celi vrsti težav, ki jih običajno srečujemo pri detekciji EMG aktivnosti, ko moramo voditi signale, ki so manjši od enega milivolta po kablju do elektronskega vezja. Z novim načinom odjemanja se izognemo zahtevni in zamudni pripravi odjemnega mesta in namestitvi elektrod. Priprava odjemnega mesta sedaj sploh ni več potrebna, namestitvev odjemnika pa je zelo hitra, saj ga enostavno pritrdimo z velcro trakom. Ta lastnost je odločilnega



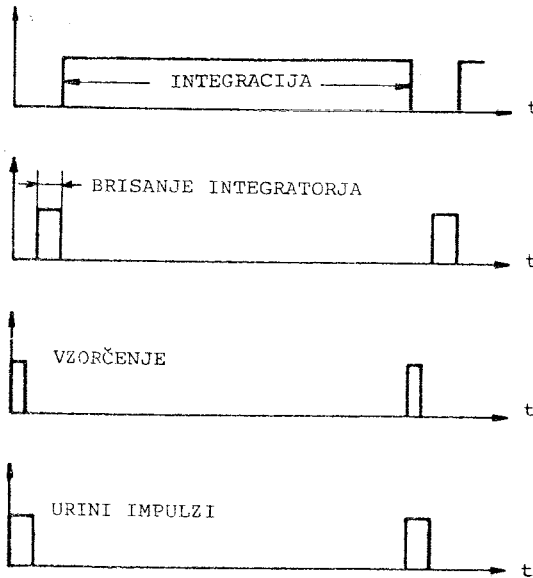
Slika 1: Blokovni diagram EMG merilnika

poštena pri uporabi merilnika v kliničnem okolju, ker bistveno skrajša potreben čas fizioterapevta. Opisana rešitev predstavlja pomembno novost tudi v primerjavi s sorodnimi aparaturami, ki so dosegljive v svetu. V blokovni shemi je ta del očrtan, da se loči

od ostalih elektronskih vezij, ki so vgrajena v ohišje merilnika. Ojačevalnik mioelektrične napetosti ima podobno zasnovo, kot jo je leta 1977 predlagal Johnson s sodelavci /2/ in za njim še McClellan /3/, leta 1981. Tehnični podatki ojačevalnika so navedeni na koncu poglavja.

Prva varianta ima izveden vizualni prikaz povprečne vrednosti mioelektrične napetosti s petimi diskretnimi nivoji, ki jih zazna detektor nivoja in prikaže v obliki svetlobnih signalov na LED diodah. Ojačen mioelektrični signal se najprej usmeri v merilnem usmerniku, ki je zgrajen tako, da ima linearno karakteristiko. Usmerjen signal vstopa v integrator, ki ima stopenjsko nastavljivo časovno konstanto integracije. Vrednost integriranega signala vzorči vzorčevalnik, zadrževalnik pa jo zadrži do naslednjega vzorčenja. Napetost na izhodu zadrževalnika se najprej primerja z nastavljivo referenčno napetostjo ($-U_{1ref}$) in kadar je mioelektrična napetost večja od referenčne, se vključi LED pragovne vrednosti. Ista referenčna napetost (U_{1ref}) je priključena tudi na seštevalnik, ki daje preko logičnih vrat signal za napetostno frekvenčni pretvornik, ta pa preko nizkofrekvenčnega ojačevalnika in zvočnika oziroma slušalk zvok, katerega frekvenca je proporcionalna velikosti integrirane vrednosti mioelektrične napetosti. Kombinacija primerjalnika in seštevalnika omogoča v bistvu mrtvo cono, ki ima dva pomena. Prvič, eliminira motilno napetost, ki jo povzroča šum oziroma motilni signal EMG ojačevalnika. Drugič, z višanjem praga se med napredovanjem terapije vzpodbuja bolnika k močnejši kontrakciji mišice in s tem večji mioelektrični aktivnosti. V primerjalniku se integrirana vrednost mioelektrične napetosti primerja tudi z referenčno napetostjo $-U_{2ref}$. Ta referenčna napetost je po absolutni vrednosti vedno večja od $-U_{1ref}$. V primeru, da integrirana vrednost mioelektrične napetosti preseže $-U_{2ref}$, se vrata, ki vodijo merjeni signal na detektor nivoja oziroma napetostno frekvenčni pretvornik zapro in tako prekinajo prikaz. Ta primerjava skupaj s prvo (U_{1ref}) tvori signalno okno, ki omogoča navajanje bolnika na držanje konstantne kontrakcije.

Za krmiljenje integratorja in vzorčevalnika skrbi posebno krmilno vezje. Časovni potek signalov krmilnega vezja je prikazan na sliki 2. Čas integracije je stopenjsko nastavljen v mejah 0,1-1 s. Prilagaja se glede na zahtevano občutljivost merilnika in želeno dinamiko prikaza povprečne vrednosti mioelektrične aktivnosti.



Slika 2: Časovni potek signalov krmilnega vezja

Druga varianta se od prve razlikuje samo v tem, da ima namesto diskretnega zvezni vizualni prikaz povprečne vrednosti s pomočjo analognega instrumenta.

Tretja varianta ima spremenjen zvočni signal, in sicer ojačuje kar nepredelan micoelektrični signal. Zadnja varianta pa sploh nima vizualnega prikaza, ampak samo zvočni efekt nepredelane micoelektričnega signala.

Vse variante so bile razvite za dve različni tehnološki izvedbi elektronskih komponent. To sta kombinacija linearnih integriranih vezij (uA 741 in uA 710) in tranzistorjev s TTL logičnimi vezji, oziroma s COS-MOS logičnimi vezji. Zaenkrat se bo proizvajala kombinacija s TTL vezji, ker so samo ta dostopna na domačem trgu. Ko pa bodo doma dostopna tudi COS-MOS vezja, se bo takoj prešlo na njihovo uporabo, ker je z njimi mogoče doseči manjšo porabo energije in s tem podaljšati življenjsko dobo baterij. Poleg tega pa so rešitve posameznih delov vezij, posebno analognih stikal, bistveno enostavnejše.

3. TEHNIČNI PODATKI MERILNIKA

Napajalna napetost	4x4,5 V
EMG ojačevalnik:	
Vhodna upornost pri 50 Hz	>10 Mohm
Ojačenje	2000 in 5000
Izhodna upornost	<10 ohm
C.M.R.R.	>90 dB
Frekvenčni obseg	30 Hz-3 kHz
Vhodni šumni nivo	
pri kratkem stiku na vhodu	2 μ V r.m.s.
Integrator:	
Časovna konstanta integracije	50 ms, 25 ms, 5 ms
Občutljivost izhod proti vhodu	50 V/mV
Možnost znižanja občutljivosti	2:1 in 5:1

4. PREIZKUŠANJE PRI BOLNIKIH

Pri bolnikih smo doslej preizkusili samo prvo varianto merilnika mioelektrične napetosti. Z njim smo izvajali terapijo ojačanja mišične moči oziroma povečanja voljnega giba in izboljšanja koordinacije gibov. V terapevtski program smo vključili dve vrsti bolnikov. Prvo skupino so tvorili bolniki s poškodbo perifernih živcev, drugo pa bolniki, ki so imeli oslABLJENO MUSKULATURO ZARADI DALJŠIH IMOBILIZACIJ. Za uspeh takšne terapije je zelo pomembno, da bolnika primerno zainteresiramo za delo, kajti terapijo izvaja bolnik sam. Zato je potrebno bolniku natančno razložiti, kakšen cilj naj ima pred seboj. Ta cilj mora biti zanj dosegljiv (nujna je različna občutljivost merilnika), vendar ne sme biti prelahek. Dokler bolnik vidi napredek, bo pri delu vztrajal, ko napredka ni, lahko začne upadati zainteresiranost. Zato je nujno že na začetku terapije pripraviti bolnika na to, da uspeh terapije ne bo ves čas enak.

Poleg natančne razlage smo na začetku terapije vsakemu bolniku posebej tudi demonstrirali krčenje mišice na njegovi zdravi strani in ga opozorili na prikaz tega krčenja na merilniku. Šele nato smo predstavili merilnik na prizadeto stran. Vsi bolniki so v zelo kratkem času (3 do 4 dni) dojeli smisel terapije in so jo nato lahko samostojno izvajali. Uspeh terapije je bil najhitrejši pri bolnikih z oslABLJENO MUSKULATURO ZARADI DALJŠIH IMOBILIZACIJ. Ta skupina je imela po 3 - 4 tednih terapije praktično normalno

moč in obseg giba. Manjši uspeh je bil pri bolnikih s perifernimi poškodbami živcev. Pri teh bolnikih je običajno minil daljši čas od poškodbe, zato so že "pozabili" shemo, kako naj posamezno mišico ali skupino mišic aktivirajo. Potreben čas terapije je bil tu bistveno daljši - tudi do 20 tednov. Manjša sta bila tudi moč oziroma obseg giba. Razen dveh bolnikov so se vsi ponovno "naučili" krčiti muskulaturo, razumljivo je seveda, da samo tisto, ki je bila oživčena. Pri tem je potrebno poudariti, da je bil po naših izkušnjah potreben bistveno krajši čas za pojav krčenja mišic, kot je ta pri klasičnih vrstah terapije.

V terapevtskem programu je doslej sodelovalo 30 bolnikov v starosti od 18 do 57 let. Razdelitev po diagnozi in spolu prikazuje tabela 1.

Diagnoza	Moški	Ženske
Neaktivnostne motnje	5	3
Poškodba per. živca	15	7

Tabela 1. Število obravnavanih bolnikov glede na diagnozo in spol

Vsi obravnavani bolniki so imeli vso običajno fizikalno terapijo in smo jih zdravili različno dolgo (3-20 tednov). Osnovni razlog za zdravljenje je bila pomanjkljiva sposobnost krčenja določenih mišic oziroma mišičnih skupin.

5. ZAKLJUČEK

S prikazanim delom smo dokazali, da je mogoče z domačimi elektronskimi komponentami zgraditi merilnik mioelektrične napetosti, ki je po svojih lastnostih celo boljši od podobnih aparatov v svetu. S poskusi pri bolnikih smo ponovno potrdili smotrnost uvajanja terapije s pomočjo biološke povratne zveze, posebno pri bolnikih z oslabele muskulaturo, ki je posledica daljših neaktivnosti. Z opravljenim razvojnim delom pa je domači elektronski industriji dana možnost, da lahko takoj začne s proizvodnjo, brez zahteve po uvoženem reprodukcijskem materialu.

LITERATURA

- /1/ Brudny, J., Korein, J., Grynbaum, B.B. and Sachs-Frankel, G.,
Sensory feedback therapy in Patients with Brain Insult,
Scand. Rehab.Med. 9, 1977
- /2/ Johnson, S.W., Lynn, P.A., Miller, J.S.G., Reed, G.A.L.,
Miniature skin-mounted preamplifier for measurement of sur-
face electromyographic potentials, Med. & Biol. Eng. & Comput.,
15, 710-711, 1977
- /3/ McClellan, A.D., Mpitsos G., Extracellular amplifier with
bootstrapped stage results in high common-mode rejection, Med.
& Biol. Eng. & Comput., 19, 657-658, 1981
- /4/ Wiener, L., Cybernetic or Control and Communication in the
Animal and the Machine, M.I.I. press., Cambridge, 1967