

Snimanje EMG aktivnosti sa mišića ruke pri pokretima sa teretom

M. Kostić, student, Elektrotehnički fakultet Beograd, M. Škatarić, student, Elektrotehnički fakultet Beograd

Sadržaj — Cilj ovog rada je da se utvrdi da li postoji jedinstvena vremenska sekvenca EMG aktivnosti mišića ruke pri jednostavnom, ranije definisanom vertikalnom pokretu. Ispitivanja su vršena na pet zdravih, muških ispitanika koji su desnom rukom izvodili pokret dohvatnja u vertikalnoj ravni. Sumarnom analizom statistički dobijenih rezultata svih pet ispitanika, kao i analizom signala svakog ispitanika ponaosob utvrđeno je da postoji jasno definisana shema aktivacije pojedinih mišića koja se za zadati pokret javlja, kako pri ponavljanju istog pokreta kod jednog ispitanika tako i kod izvođenja tog pokreta kod više ispitanika.

Ključne reči — aktivacija, EMG, sekvenca

I. UVOD

U ovom radu razmatra se EMG aktivnost mišića ruke pri vertikalnim pokretima sa teretom. Cilj projekta je da se utvrdi da li u EMG signalu snimljenom pri ovakvom pokretu postoji jedinstvena sekvencijalna reprezentacija kod različitih ispitanika.

Od eksperimenta se očekuje da se analizom u vremenskom domenu pokaže veza između vremena aktivacije el. aktivnosti mišića i preduzetog pokreta, tako da je to u skladu sa pretpostavkama zasnovanim na anatomsko fiziološkim funkcijama mišića. Mišići generalno zaduženi za vertikalno kretanje ruke su Deltoid Anterior m., i Deltoid Medius m. u ramenu; Triceps Brachii m. koji vrši ekstenziju lakta; i Flexor Carpi Ulnaris m. i Extensor Carpi Radialis Longus m. koji doprinose fleksiji i ekstenziji u ručnom zglobu.

Deltoid Anterior m. i Deltoid Medius m. doprinose istoj funkciji pa se očekuje da deluju sinhrono. Vremenska sinhronost rada mišića se često naziva sinergija. Ovom temom bavi se rad "Arm EMG during abduction and adduction: hysteresis cycle", J. Politti [14].

Fleksor carpi ulnaris i Extenzor carpi radialis longus su antagonistički par, pa se očekuje da je završetak aktivacije jednog najčešće praćen aktivaciom drugog.

Takođe je u dosadašnjim istraživanjima analizom aktivnosti glavnih fleksora lakta utvrđeno da interval između aktivnosti glavnih fleksora ostaje konstantan bez obzira na brzinu i kontra-opterećenje [7].

Papaxanthi C., Pozzo T., Schiepati M. [9] se bave uticajem brzine i pravca pokreta (gore i dole) u sagitalnoj ravni prilikom pokazivanja rukom na mete u vertikalnoj ravni. Utvrđeno je, da za relativno male brzine u oba pravca, samo fleksori pokazuju aktivnost. S druge strane, kada gravitacija nije više dovoljna da ubrzava pokrete na dole i usporava pokrete na gore i fleksori i ekstenzori pokazuju aktivnost.

II. METODE I MATERIJALI

Merenja su vršena na ispitaniku koji je u sedećem položaju. Ispred ispitanika je postavljena tabla, na rastojanju od polovine rukohvata (potrebno je da tabla bude ne manje od deset santimetara od lakta u položaju kada je on najbliži tabli), na kojoj su jedan ispod drugog postavljena tri markera upravno na desnu ruku ispitanika. Markeri se nalaze na visinama H_1 , u visini ramena, H_2 , koja se računa po formuli

$$H_2 = H_1 + 0.8(Max - H_1)$$

gde je Max maksimalna visina na tabli koju ispitanik može da dohvati bez pomeranja tela, i H_3 , koja je na sredini između H_1 i H_2 . Pokret počinje iz neutralnog položaja u kome je ruka opuštena i naslonjena na koleno. Ruka je savijena u laktu, a šaka je postavljena tako da je dlan paralelan sagitalnoj ravni. Od ispitanika se zahteva da bez rotacije ruke u najkraćem mogućem pokretu podigne šaku na visinu jednog od markera, zatim savije šaku ka podlaktici, nalik zatvaranju slavine i na kraju polako spusti ruku u početni položaj. Ruka pri povratku ne sme da udari u nogu.

A. Sekvenca pokreta:

Eksperiment je vršen nad pet zdravih, muških ispitanika starosti 22 godine. Svaki ispitanik je izvodio seriju od 15 pokreta, po 5 pokreta na svakoj visini. Svaki pokret u sekvenci počinje iz neutralnog položaja i završava u neutralnom položaju. Eksperiment se izvodi u dve serije, sa tegovima oko ručnog zgloba težine jedan odnosno dva kilograma. Sekvenca izvođenja pokreta, unapred je definisana za sve ispitanike:

1. sredina
2. dole
3. dole
4. gore
5. sredina
6. gore
7. sredina
8. dole
9. gore
10. sredina
11. dole
12. sredina
13. gore
14. dole
15. gore



Ispitanicima redosled pokreta nije poznat, već im se saopštava neposredno pre izvršavanja pokreta.

B. Raspored elektroda:

Električna aktivnost mišića je snimana na pet grupa mišića koji bi, teoretski, prema svojoj funkciji trebalo da imaju uticaja na posmatrani pokret. Snimani su redom: *Deltoid anterior*, *Deltoid medius*, *Triceps brachii*, *Flexor carpi ulnaris*, i *Extensor carpi radialis longus*. Signal sa svakog mišića je sniman sa po dve elektrode [2].

C. Obrada podataka:

Primarna obrada signala vršena je pomoću EEG pojačavača Contact Precision Instruments EEG8. Signal je pojačan oko 1000 puta, i primenjen je bandpass filter u opsegu od 30 do 500Hz, kao i notch filter na 50Hz. Tako obrađen signal je preko AD kartice Ni DAQcard-6062E sniman na računar pomoću akvizicionog programa pisanog u MATLAB okruženju.

Kasnija obrada signala vršena je pomoću programskog paketa MATLAB. Kako bi se ispravio signal posmatran je kvadrat centriranog signala. Radi dobijanja envelope signala vršeno je usrednjavanje u 50 tačaka koristeći funkciju smooth (Moving Average Method), što ima ekvivalentan efekat propuštanju kroz low pass filter. Broj od 50 tačaka određen je heuristički. Kao parametar za analizu posmatrana je maksimalna vrednost obrađenog signala, sa kojom je ceo signal normalizovan. Koristan signal definisan je kao vrednost koja prelazi 10% maksimalne vrednosti, a najizraženija aktivnost kao vrednosti signala koje prelaze 50% maksimuma.

Svi pokreti snimani su kamerom, kako bi se lakše vršila "off line" poređenja pokreta i izmerenog EMG.

Sa ciljem da zbirnog sagledavanja rezultata izvršena je statistička analiza merenja svih ispitanika. Pre pristupanja statističkoj obradi odstranjena su merenja u kojima su se javljala velika odstupanja usled tehničkih faktora, kao što je odlepljivanje pojedinih elektroda, ili usled nepravilnog izvođenja pokreta ispitanika, što je utvrđeno kod analize video snimka eksperimenta. U konačnu obradu ušlo je 97 merenja.

Posmatrani su trenuci javljanja sledećih karakterističnih događaja u električnoj aktivnosti mišića.

- *Deltoid anterior* i *Deltoid medius*: početak, prvi maksimum, drugi maksimum i kraj aktivnosti;
- *Triceps brachii*: početak, maksimum i kraj aktivnosti;
- *Flexor carpi ulnaris*: maksimum aktivnosti;
- *Extensor carpi radialis longus*: maksimum u predhvatu i maksimum aktivnosti.

Trenuci maksimuma aktivnosti svih mišića određeni su kao aritmetička sredina početka i kraja trajanja najizraženije aktivnosti. Kako bi mogla da se porede merenja različitih ispitanika, kao i pokreta u različitim tačkama, vreme nije posmatrano kao apsolutna veličina, već se posmatraju relativni vremenski intervali u odnosu na ukupno trajanje pokreta.

$$t_{\%} = \frac{t_{aps}}{t_{kraj} - t_{početak}} * 100$$

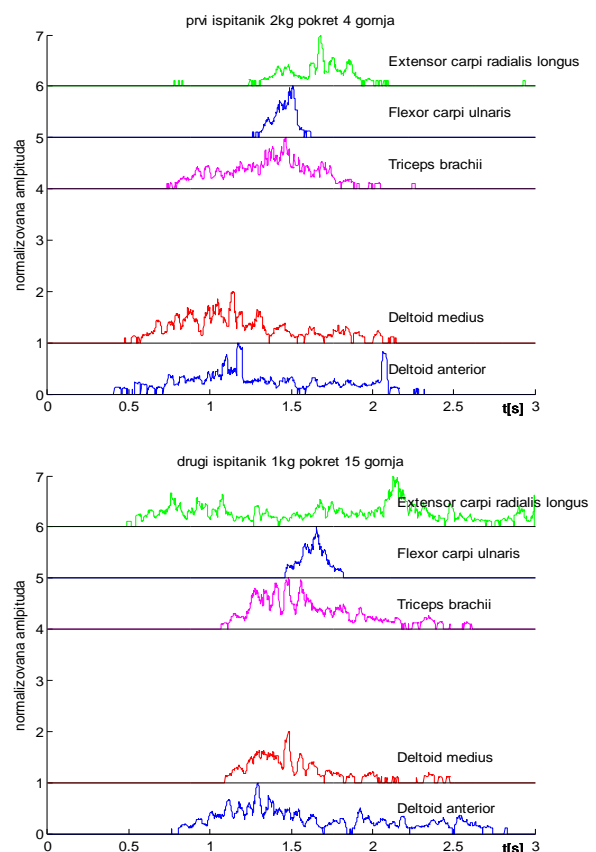
Pomoću takve vremenske ose formirana je sumarna tabela koja prikazuje procenat javljanja posmatranog događaja u datom vremenskom intervalu. Elementi tabele su računati po formuli

$$x_t = \frac{\text{broj događaja u intervalu}[t - 5, t]}{\text{ukupan broj događaja}}$$

III. REZULTATI

Rezultati eksperimenta su prikazani dvojako:

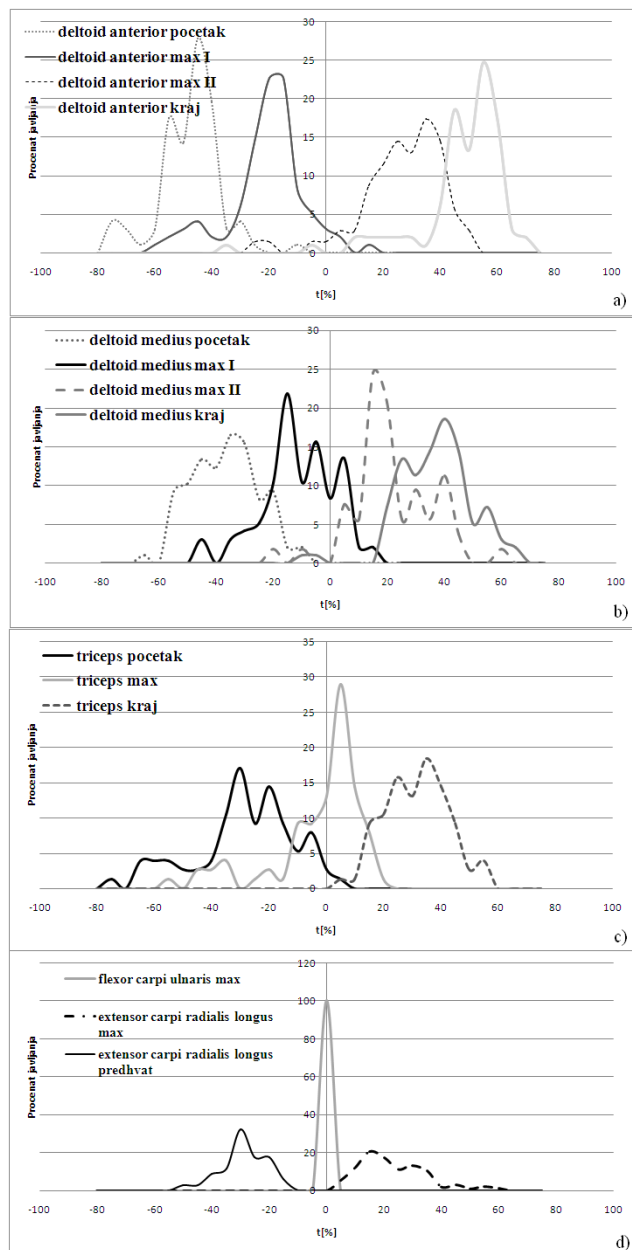
1. Posmatrani su originalni zapisi aktivnosti opisane grupe mišića kod svih ispitanika ponaosob, za svaku od tri tačke i obe vrednosti opterećenja. U ovom delu obrade uočeno je da četiri od pet ispitanika pokazuju da je prestanak aktivnosti fleksora praćen aktivnošću ekstenzora. Kod jednog (od pet) ispitanika uočeno je preklapanje aktivnosti fleksora i ekstenzora usled dodatnog stezanja šake prilikom polu-hvata. Kod svih 5 ispitanika utvrđeno je da je aktivnost oba deltoida međusobno povezana u smislu prenošenja aktivnosti sa jednog na drugi deltoid, zavisno od stepena rotacije u ramenu. Ova grupa rezultata prikazana je na Sl. 1.



Slika 1. Primeri originalnih zapisa aktivnosti opisane grupe mišića kod pojedinačnih ispitanika

2. Zapis aktivnosti kod svih ispitanika analiziran je sumarno za svaki od posmatranih mišića. Podaci su prikazani pomoću histograma koji daju procenat javljanja događaja u vremenskom intervalu $[t-5, t]$, gde je vreme dato u procentima trajanja pokreta. Sve vrednosti centrirane su prema maksimumu fleksora (koji je u trenutku nula) a potom sve vrednosti podeljene sa dužinom trajanja pokreta i izražene procentualno. Na ovaj način se dobija mogućnost poređenja svih merenja, shema redosleda nastajanja aktivnosti pojedinih mišića, prestanka

aktivnosti i pregled istovremene aktivnosti pojedinih mišića. Sumarni rezultati su dalje poređeni sa originalnim podacima dobijenim kod pojedinih ispitanika kako bi se utvrdila zakonitost aktivacije mišića koja postoji kod svih ispitanika. Uočeno je da se aktivnosti mišića svih ispitanika ponaosob dobro uklapaju u ukupnu statistiku i time utvrđeno postojanje precizne sheme aktivacije pojedinih mišića. Rezultati su prikazani na Sl.2.



Slika 2. Grafikoni vremenske raspodele događaja posmatranih mišića dobijeni sumarnom analizom
 a) deltooid anterior; b) deltooid medius; c) triceps brahii; d) fleksor carpi ulnaris i extensor carpi radialis longus

IV. DISKUSIJA

U ovom radu primećeno je da su aktivnosti deltoida anterior i medius usko povezane i to na sledeći način: kod svih ispitanika inicijalna aktivnost deltoida anterior prethodi aktivnosti mediusa. U toku pokreta u zavisnosti od stepena rotacije u ramenu aktivnost ova dva deltoida se smenjuje. Maksimalna aktivnost kod oba deltoida se

primećuje u zenitu, a prilikom spuštanja se ponovo povećava aktivnost jednog ili oba deltoida u zavisnosti od stepena rotacije. Ova naknadna aktivnost deltoida se objašnjava kontrolom brzine spuštanja, kako ruka ne bi udarila u nogu. Ako se ova pojava proveri na sumarnom grafiku za navedene deltoide kod svih ispitanika se vidi grupisanje prvog maksimuma na sredini vremenske ose (najviša tacka), i drugog maksimuma pred sam kraj pokreta. Takođe se poređenjem grafika na Sl.2.a i na Sl.2.b, može uočiti smenjivanje aktivnosti deltoida medius i anterior. Pitanje sinergije deltoida razmatrano je u radu [14]. Eksperimentalni rezultati u ovom radu u potpunosti su u saglasnosti sa [14].

Fleksor carpi ulnaris, i Extenzor carpi radialis longus su antagonistički par. Pojam antagonističkog para je detaljno ilustrovan ekperimentom [15].

Eksperimentalni rezultati su u skladu sa izloženim radom, što se vidi iz vremenske povezanosti njihove aktivnosti kod svih ispitanika za sve posmatrane tačke. Eksperiment je osmišljen tako da fleksor carpi ulnaris ima maksimalnu aktivnost u najvišoj tački pokreta, te je korišćen kao vremenska odrednica u posmatranju aktivnosti ostalih mišića. U skladu sa očekivanjima, prestanak aktivnosti fleksora praćen je aktivnošću ekstenzora. Na grafiku Sl.2.d prikazana je ova osobina antagonističkog para. Međutim, kod svih ispitanika, bez izuzetka, spontano se javlja aktivnost ekstenzora koja prethodi aktivnosti fleksora. Ova pojava se jasno uočava na Sl.1 i na Sl.2.d Analizom video zapisa, utvrđeno je da neposredno pre fleksije šake ispitanici vrše dodatnu ekstenziju šake, kao pripremu za polu-hvat pa se zbog toga javlja dodatna aktivnost ekstenzora.

U skladu sa očekivanjima najveća aktivnost tricepsa je u najvišoj tački pokreta. Ova aktivnost se javlja neposredno pre nego što započne aktivnost fleksora i traje u najvećem broju slučajeva do kraja pokreta.

U analiziranoj literaturi nije se razmatrao uticaj visine tačke na aktivnost mišića, što je ovim radom obuhvaćeno. Analizom je zaključeno da se srednja i donja tačka međusobno ne razlikuju u posmatranim parametrima. Razlika u odnosu na gornju tačku je da glavni maksimum nastupa ranije i ne javlja se u zenitu, već kod početnog podizanja ruke. Na sumarnim graficima ova pojava se uočava po razlivanju i pomeranju maksimuma.

Uticaj promene opterećenja na sveukupnu mišićnu aktivnost razmatrana je u radu [7]. Eksperimentalni rezultati ovog rada su u skladu sa dosadašnjim istraživanjima i pokazuju da prilikom promene opterećenja sa 1kg na 2kg nije uočena značajnija razlika u pogledu aktivacije i trajanja signala na posmatranim grupama mišića.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog eksperimenta i dobijenih rezultata merenja može se zaključiti da postoji jasno utvrđena shema aktivacije pojedinih mišića koja se za zadati pokret javlja, kako pri ponavljanju istog pokreta kod jednog ispitanika tako i kod ponavljanja tog pokreta kod više ispitanika. Sumarni grafici svih ispitanika za svaki od mišića su dobra aproksimacija svih pojedinačnih ispitanika pa se može zaključiti da je shema aktivacije validna.

Dobijeni rezultati potvrđuju polazne pretpostavke zasnovane na poznavanju anatomske-fizioloških osobina posmatrane grupe mišića, kao i dosadašnja istraživanja u ovoj oblasti.

Iako planom eksperimenta nije bio obuhvaćen pokret ekstenzije šake neposredno pre fleksije, zbog spontane pojave tog pokreta kod svih ispitanika trebalo bi ga detaljnije ispitati u daljem istraživanju.

Pošto je dominantna aktivnost deltoida anterior i medius povezana sa stepenom rotacije ruke pri pokretu u daljim istraživanjima bi trebalo ispitati tačnu vezu aktivnosti ova dva mišića i ugla rotacije.

ZAVLANICA

Rad je urađen u Laboratoriji za Biomedicinsko inženjerstvo i tehnologije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

U radu su pomogli prof. dr Dejan B. Popović i dipl. ing. Lana Popović

LITERATURA

- [1] De Luca, C.J.(2006). Electromyography. Encyclopedia of medical devices and instrumentation, (John G. Webster, Ed.) John Wiley Publisher, 98-109
- [2] Delsys Technical Note:EMG Sensor Placement
- [3] Delsys Technical Note:EMG Signal Analysis
- [4] Naito A.,Yajima M.,Fukamachi H.,Ushikoshi, K.,Sun Y.-J. and Shimitzu Y.(1995).Electromyographic (EMG) study of elbow flexors during supination and pronation of the forearm.Tohoky J.Exp.Med.,175:285-288
- [5] Pascoal AG.,van der Helm F.,Carita I. Effects of the magnitude of the external load on the shoulder muscles responsible for the scapulohumeral rhythm.Fourth Meeting of the International Shoulder Group,Cleveland,OH, 2002
- [6] Tal'nov A.N., Cherkassky V.L.,Kostyukov A.I.(1997). Movement-related and steady-state electromyographic activity of human elbow flexors in slow transition movements between two equilibrium states. Neuroscience Vol.79,No.3, pp 923-933
- [7] Bouisset S., Lestienne F.,Maton B. (1977) The stability of synergy in agonists during the execution of a simple voluntary movement. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,42:543-551
- [8] Coury H.G.,Kumar S.,Narayan Y.(1998). An Electromyographic Study of Upper Limb Adduction Force with Varying Shoulder and Elbow Postures. Journal of Electromyography and Kinesiology 8.157-168.
- [9] Papaxanthis C.,Pozzo T.,Schieppati M. (2003). Trajectories of arm pointing movements on the sagittal plane vary with both direction and speed. Exp Brain Res 148:498-503

[10] Popovic D. (2007). Principi biomedicinskog inženjerstva, Mišićni sistem.

[11] De Luca C.J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording.Delsys Incorporated

[12] Day S.J. Important factors in surface EMG measurement.Bortec biomedical(www.bortec.ca)

[13] Maurel W. Biomechanical Modeling Page, <http://vrlab.epfl.ch/~maurel/CHARM/WP3/Anatomy.html>

[14] J. Politti Arm EMG during abduction and adduction: hysteresis cycle. Medical Engineering & Physics , Volume 25 , Issue 4 , Pages 317 - 320,

[15] www.iworx.com/newsletter/Nov05/LockedScreenOptAntagMusclesNL.pdf ; Experiment 9:Electromyogram (EMG)Activity in Antagonistic Muscles

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze temporal synchrony of prime movers (muscles) of the arm against a load ($m = 1$ and 2 kg) placed on subject's forearm during a well defined motor task in the vertical plane. The hypothesis was that the temporal synchrony has characteristic features for anatomically similar healthy individuals. The temporal synchrony was assessed by analyzing electrical activity (EMG) of Deltoid Anterior m., Deltoid Medius m., Biceps Brachii m., Triceps Brachii m., Flexor Carpi Ulnaris m. and Extensor Carpi Radialis Longus m. of dominant arm in five healthy male subjects. The EMG was recorded by placing silver-silver chloride surface electrodes in bipolar configuration over each of the listed muscle. Subjects were seated, with their arm hanging parallel to the trunk, forearm aligned to the horizontal plane in the sagittal plane (elbow angle 90 degrees), and performed upward pointing on vertical targets, gently closing the hand when the target was reached and slowly returning it to the neutral position making sure not to allow impact with the leg when returning back to the starting position.

The results indicate synchrony of deltoid muscles expressed in simultaneous activation, and also show that the onset and the cessation of activity of agonist and antagonistic muscles (in this case flexor and extensor muscles) occurred consequently, extensor initiates activity started after flexor were finishing their activity.

RECORDING EMG ACTIVITY OF ARM MUSCLES WHILE ACTING AGAINST AN INERTIAL LOAD

Miloš Kostić, student of School of Electrical Engineering, University of Belgrade
Maja Škatarić, student of School of Electrical Engineering, University of Belgrade