



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Elektromiografija na Biopac sistemu

-master rad

Mentor: dr Olivera Klisurić

Kandidat: Radmila Mišović 189m/14

Novi Sad, 2016.

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru dr Oliveri Klisurić i asistentu Tot Arpadu koji su mnogo doprineli izradi ovog rada.

Takodje se posebno zahvaljujem svojoj porodici, svom suprugu Aleksandru i svojoj deci Vladimiru, Vukašinu i Vladani na velikoj podršci i razumevanju.

SADRŽAJ:

1.UVOD	4
2. SKELETNI MIŠIĆNI SISTEM	4
2.1. GRAĐA SKELETNIH MIŠIĆA.....	4
2.2. STRUTURA SKELETNIH MIŠIĆA	6
2.3. MEHANIZAM KONTRAKCIJE SKELETNIH MIŠIĆA	9
2.4. FAKTORI KOJI UTIČU NA STVARANJE SILE POJEDINAČNIH MIŠIĆNIH VLAKANA	18
2.5.BRZI I SPORI MIŠIĆI.....	20
3. ELEKTROMIOGRAFIJA	25
3.1. ISTORIJAT	25
3.2.FIZIOLOGIJA ELEKTROMIOGRAFSKOG SIGNALA I ANALIZA EMG SIGNALA	26
4. EKSPERIMENTALNI DEO	29
4.1. BIOPAC SISTEM	29
4.2 EMG NA BIOPAC SISTEMU	30
4.2. KALIBRACIJA	31
5. REZULTATI I DISKUSIJA	32
5.1. MERENJE JAČINE STISKA ŠAKE I FUNKCIONOG ODNOSA DOMINANTNE I NEDOMINANTNE RUKE PRI MOTORIČKOM ZADATKU - STISAK LOPTICE ŠAKOM	32
5.2. REZULTATI EMG MERENJA I MERENJE TONUSA DOMINANTNE I NEDOMINANTNE RUKE	33
5.3. PITANJA.....	34
5.4. MERENJE JAČINE BICEPS MIŠIĆA PRILIKOM OPTEREĆENJA RAZLIČITOG INTENZITETA.....	37
5.5. REZULTATI MERENJA JAČINE BICEPS MIŠIĆA PRILIKOM OPTEREĆENJA RAZLIČITOG INTENZITETA	41
6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	46
7. LITERATURA	47

1.UVOD

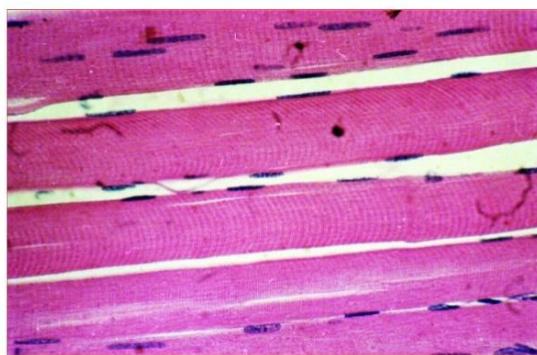
Kretanje predstavlja osnovu života. Život bez kretanja, ne bi bio moguć. Naša sposobnost da vršimo razne pokrete znatno je više od puke pogodnosti koja nam omogućuje da hodamo, igramo ili upravljamo objektima. Mišići su organi čija je osnovna uloga da proizvode silu i kretanje. Poprečno prugasti mišići se drugačije nazivaju skeletnim mišićima. Oni su pričvršćeni za skelet i mogu ga pokretati voljno. U ljudskom telu postoji više od 600 skeletnih mišića različitih oblika i veličina, zavisno od toga kakva je njihova funkcija. Skeletni mišići obično rade u paru, svaki sa po jedne strane kosti. Kada se jedan skeletni mišić kontrahuje drugi se izdužuje. Ovaj antagonizam između parova skeletnih mišića omogućava pravljenje velikog broja različitih pokreta tela kao i mimike lica.

2. SKELETNI MIŠIĆNI SISTEM

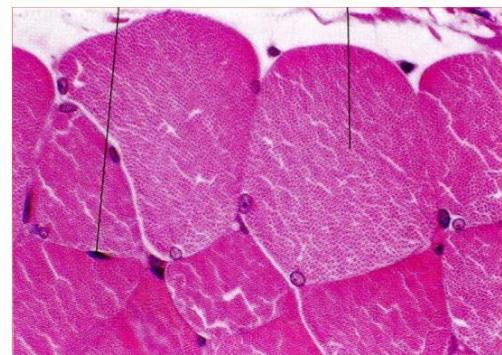
2.1. Grada skeletnih mišića

- **Mišićno tkivo** se sastoji od ćelija (mišićnih vlakana) koje imaju sposobnost kontrakcije. Ta se sposobnost zasniva na prisustvu kontraktilnih vlakana (miofibrila) koja su izgrađena od proteina aktina i miozina. Mišić se kontrahuje kao odgovor na nadražaj koji je do njega dospeo određenim nervom. U svaku mišićnu ćeliju ulazi jedno nervno vlakno i mesto njihovog povezivanja naziva se motorna ploča (periferna sinapsa).

Skeletno mišićno tkivo – uzdužni presek



Skeletno mišićno tkivo – poprečni presek



Slika1. Skeletno mišićno tkivo

Skeletni mišići su organi koji pokreću i održavaju u ravnoteži skeletni sistem čoveka. Mišićna sila je posledica mišićnih ćelija koje su specijalizovane da pri aktivaciji teže da približe svoje krajeve, odnosno da skrate mišić. Mišićna ćelija je vlakno koje ima prečnik od $10 - 100 \mu\text{m}$ i

dužine koja može da bude i nekoliko desetina centimetara. Mišićna vlakna se obično protežu celom dužinom mišića.

Skeletni mišići imaju složenu građu koja omogućava uspešan prenos energije koju stvaraju miofibrili (organele odgovorne za mišićnu kontrakciju) na čitav mišić i u na ekstremitet ili strukturu koja se pokreće. Mišić sačinjavaju mišićna vlakna međusobno povezana opnama vezivnoga tkiva. Mišić je tetivom povezan za kost. Tetiva je elastično vlakno sastavljeno od koloidnih materijala koja imaju veliku krutost u odnosu na mišić odnosno tetiva ima mnogo manju sposobnost rastezanja u poređenju sa mogućnostima produženja mišića. Mesto na kome je tetiva povezana za kost se naziva *pričep*. Mišićni sistem čoveka prikazan je na slici 2.

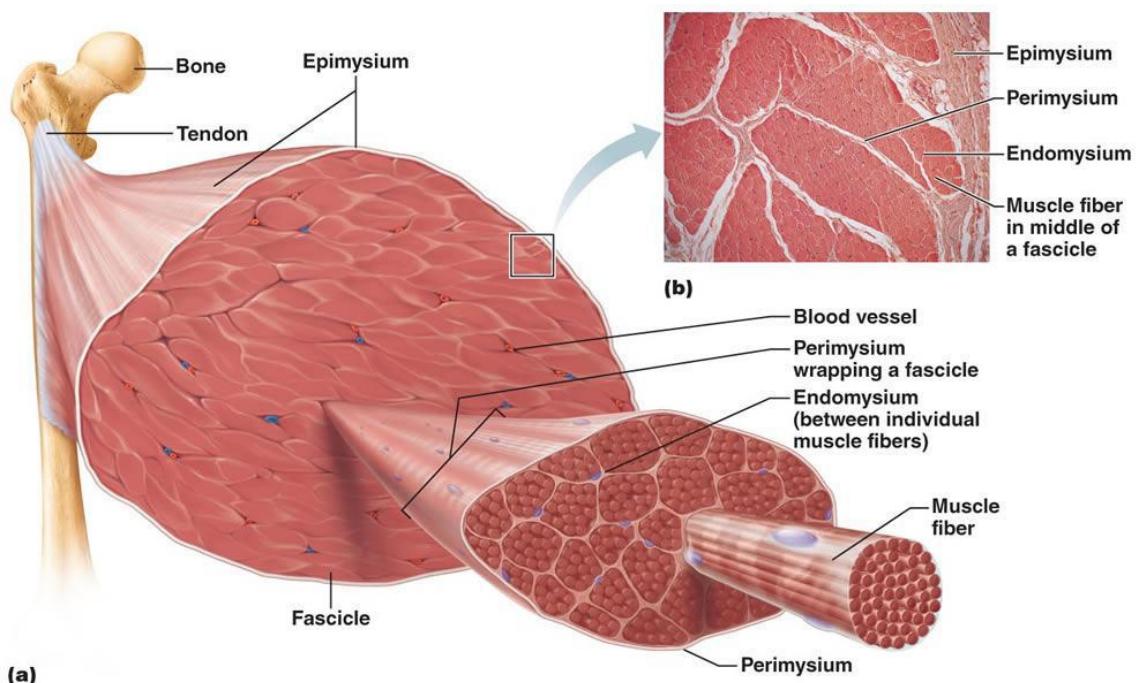


Slika 2. Mišićni sistem čoveka

Ako mišić premošćuje samo jedan zglob naziva se monoartikulani mišić. Ako mišić premošćuje više od jednog zgloba odnosno ako je povezan za nesusedne kosti nazivamo ga biartikularni ili multiartikularni. Ako mišić doprinosi savijanju zgloba naziva se fleksor, a ako doprinosi opružanju naziva se ekstenzor. Biartikularni mišići su najčešće fleksori jednog, a ekstenzori drugog od dva zgloba na koje deluju, tj. predstavljaju agoniste i antagoniste. Da bi se izmerile karakteristike mišića neophodno je istovremeno meriti nekoliko veličina: dužinu mišića, brzinu skraćenja, silu i parametre aktivacije.

2.2. Strutura skeletnih mišića

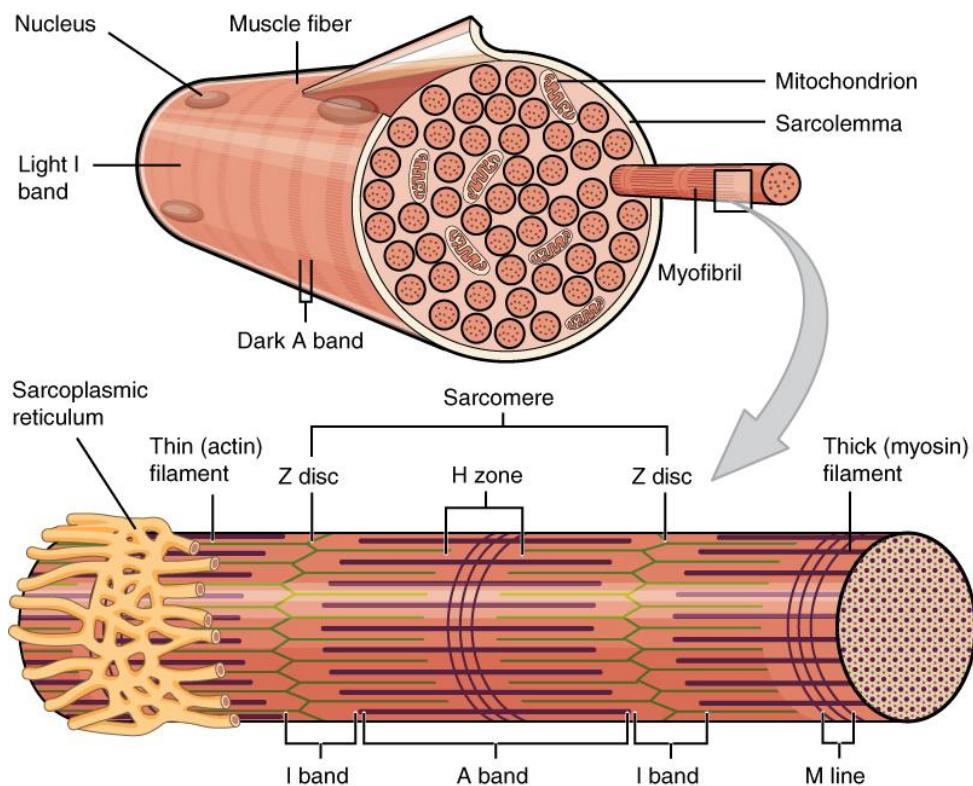
Skeletni mišići su strukturno organizovani kao splet različitih elemenata. Ceo mišić je obavljen slojem vezivnog tkiva koji se naziva *fascia*, a zatim omotačem od vezivnog tkiva zvanim *epimizijum*. Mišići su odvojeni jedni od drugih i od ostalog tkiva vezivno-tkivnim opnama ili fasciama. Mišić je građen od mišićnih snopova koje čini veći ili manji broj mišićnih vlakana. Svaki mišićni snop obavljen je vezivno-tkivnom opnom koja se naziva perimizij, kroz koji prolaze veće krvne žile i nervna vlakna. Tanki omotač vezivnog tkiva koji obavlja svako mišićno vlakno zasebno naziva endomizij a leži iznad sarkoleme - stanične membrane mišićnog vlakna. Na mestima gde se mišić povezuje uz kost ili strukturu na koju se prenosi energija mišićne kontrakcije, mišić se produžuje u tetivu (slika 3.a). U prelaznom području mišića u tetivu povećava se količina perimizija, koji se u tetivi nastavlja kao peritenonij.



Slika.3. Prikaz različitih struktura i podstruktura mišića i mišićnih vlakna

Sledeća manja struktura je mišićni snop (*fascikulus*), koji se sastoji od mišićnih vlakana obavljenih vezivnim omotačem zvanim *perimizijum*. Zatim sledi mišićno vlakno, mišićna ćelija obavijena tankim vezivnim tkivom (endomizijum) koje povezuje pojedinačne ćelije unutar mišićnog snopa. Mišićna vlakna su ćelije sa veoma finom membranom zvanom *sarkolema*. Ona su sačinjena od miofibrila. Mišićno vlaknace ili miofibril je osnovna funkcionalna jedinica mišićne ćelije. To je posebno diferencirani, kontraktilni deo sarkoplazme miocita, koji ima končastu strukturu i dijametar 1-2 μm . Mišićna vlaknaca su

postavljena paralelno dužoj osovini ćelije i pokazuju tendenciju grupisanja u snopove, koji se nazivaju Konhajmova polja. U njihovoj izgradnji učestvuje oko 1500 miozinskih (debelih) i 3000 aktinskih (tankih) filamenata. To su veliki polimerizovani proteinski molekuli. Miofibril sadrži kontraktilne proteinske strukture. Ako se posmatra miofibril pod mikroskopom uočavaju se ponavljajuće svetle i tamne pruge, pa su zato ovi mišići i nazvani poprečno – prugasti mišići. Osnovna funkcionalna jedinica miofibrila je sarkomera. Delovi sarkomere se nazivaju H, A i I trake, i Z disovi. Sarkomera je ograničen sa dva Z diska. Za disk Z su vezane tanke strukture, koje nazivamo miofilamenti.



Slika 4. Struktura mišićnog vlakna

Miofilamenti su niti koje su u srednjem delu sarkomera deblje nego u blizini krajeva. Tanki miofilamenti su pretežno od aktina, a deblji su od miozina. Aktin i miozin su proteini. Tanke niti pored aktina sadrže i proteine tropomiozin i troponin. Molekuli miozina imaju dug, vlaknast deo, sastavljen od lakog meromiozina i kratak, zadebljani deo sastavljen od teškog meromiozina koji nazivamo miozinska glavica. Tamne oblasti mišićne ćelije odgovaraju delu miofibrila na kome su preklopjeni tanji i deblji filamenti. Svetle oblasti mišićne ćelije odgovaraju delu miofibrila na kome se nalaze samo tanki filamenti. Aktinski i miozinski filamenti se jednim delom preklapaju i tako uzrokuju poprečnu ispruganost. Svetle pruge miofibrila sadrže samo aktinske filamente i nazivaju se I-pruge, jer su izotropne za

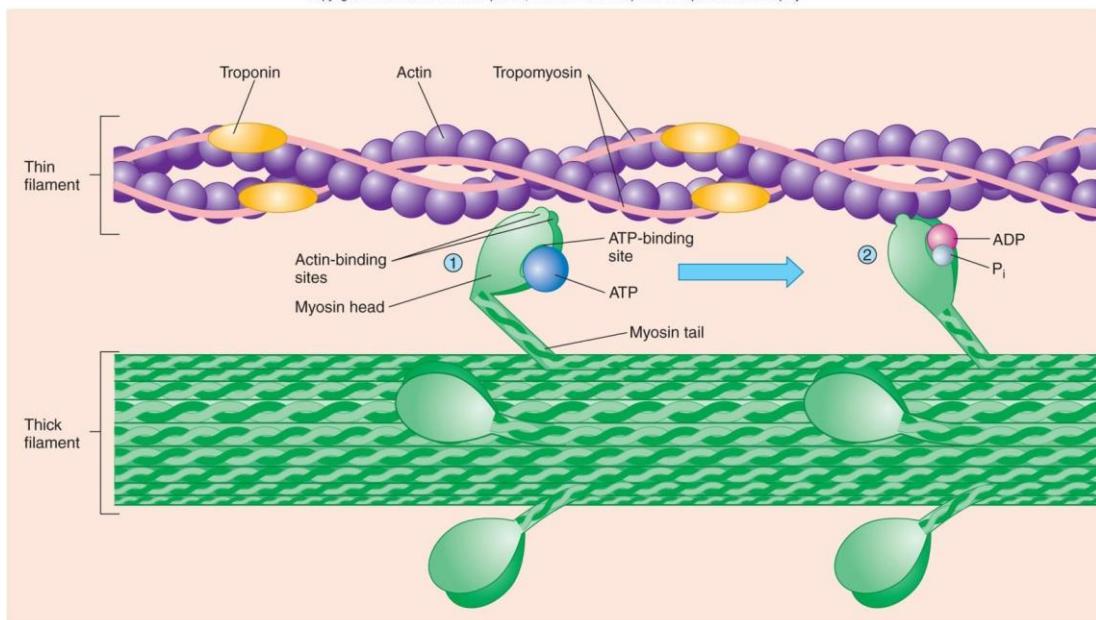
polarizovanu svetlost. Tamne pruge sadrže miozinske i krajeve aktinskih filamenata. One se označavaju kao A-pruge, jer su anizotropne za polarizovanu svetlost. U sredini tamne pruge nalazi se H-pruga (Hensenova membrana) koja sadrži samo debele filamente. Krajevi aktinskih filamenata su pričvršćeni za tzv. Z-disk, a deo miofibrila (odnosno čitavog mišićnog vlakna) koji se nalazi između dva Z-diska se naziva sarkomera.

Miozin

Miozin učestvuje u izgradnji ćelijskog skeleta, odnosno mikrofilamenata. Gradi aktinomiozinske komplekse sa aktinom u mišićnim ćelijama što omogućava njihovu kontrakciju. Miozini se često nazivaju motornim proteinima s' obzirom da su sposobni da energiju dobijenu hidrolizom ATP-a pretvore u mehaničku silu. Jedna debela (miozinska) nit sastoji se od nekoliko stotina miozinskih molekula pakovanih tako da se miozinske glave projektuju sa oba kraja, a odsustvuju jedino u sredini niti i taj deo na nivou sarkomere formira M liniju (slika 10).

Aktin

Aktinski ili tanki filamenti su polimerizovani proteinski molekuli, koji učestvuju u izgradnji miofibrila. Dugi su oko 1 μm , a debeli 6-8 nm. Sastoje se od tri vrste proteina: aktina, tropomiozina i troponina (slika). *Aktin* (filamentozni ili F-aktin) je polimer građen od dva proteinska lanca, koja se spiralno uvijaju jedan oko drugog. Ti lanci su izgrađeni od monomera (globularnog ili G-aktina), a na svakom monomeru se nalazi po jedno aktivno mesto za vezivanje miozina, što je značajno za proces mišićne kontrakcije. F-aktin čini okosnicu tankog filimenta. *Tropomiozin* je dug i tanak proteinski molekul, sastavljen od dva polipeptidna lanca koja formiraju dvostruki heliks. Tropomiozin naleže na F-aktin i prekriva njegova aktivna mesta. Svaki molekul može da prekrije sedam aktivnih mesta. *Troponin* je proteinski kompleks koga grade tri subjedinice: troponin T, troponin C i troponin I. On se vezuje za molekule tropomiozina i tako učestvuje u regulaciji procesa kontrakcije. U mirovanju, svaki molekul tropomiozina prekriva po sedam veznih mesta na aktinu za miozin.



Slika 5. Struktura aktina i miozina

2.3. Mehanizam kontrakcije skeletnih mišića

Mehanizam kontrakcije je zasnovan na klizanju tankih vlakana aktina prema sredini miozinskog vlakna u okviru jednog sarkomera. Svaki sarkomer se skraćuje za nekoliko μm . Sarkomeri su redno postavljeni jedan pored drugog, a dužina mišića zavisi od njihovog broja. Ovo omogućuje da mišićno vlakno može da se skrati za nekoliko centimetara. Na slici 6. je prikazan model klizećeg filamenta.

Značaj u osnovnim biohemimskim procesima koji učestvuju u kontrakcijama i dilatacijama mišića imaju joni kalcijuma (Ca^{++}) i adenozin (III) fosfata (ATP). Kalcijum je katalizator u metaboličkim procesima, a ATP daje energiju.

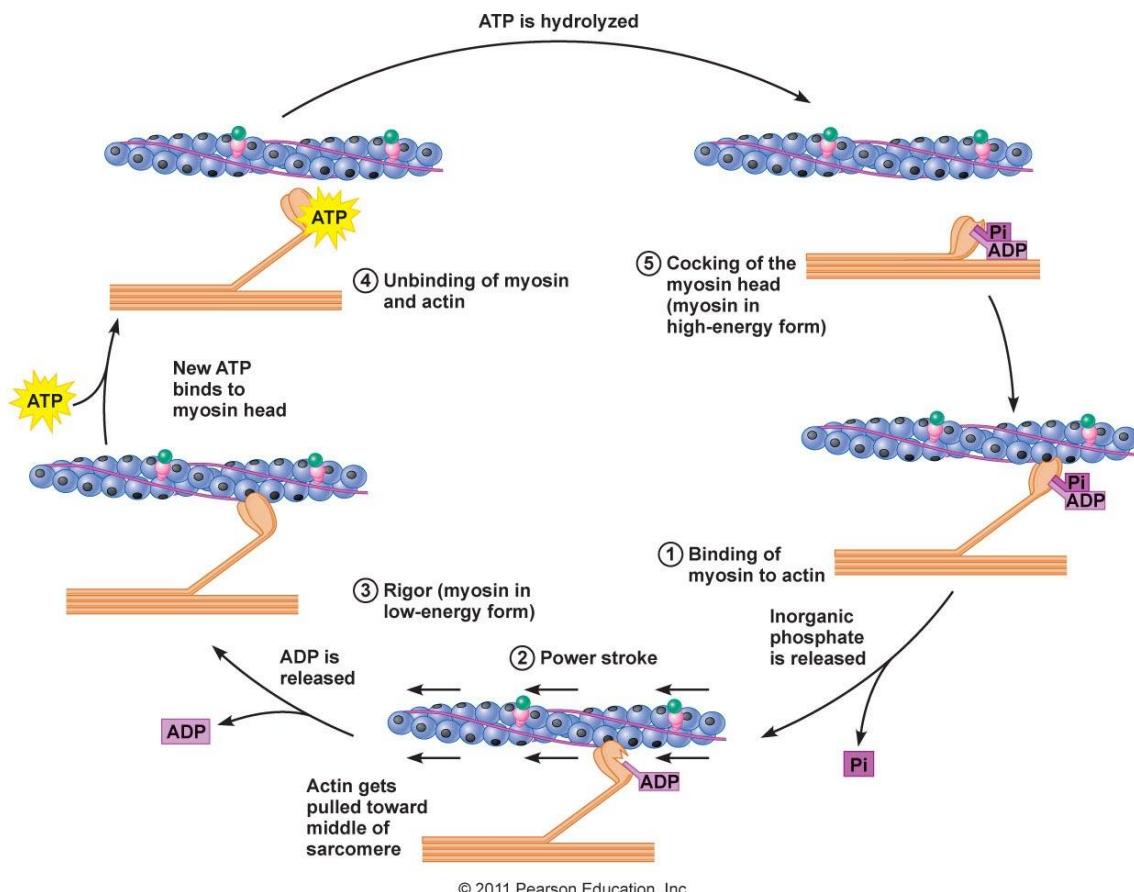
U relaksiranom vlaknu troponin-tropomiozinski kompleks povezuje aktinske i miozinske molekule. Koncentracija kalcijuma je tada oko 10 mol/l. Povećanjem koncentracije kalcijuma iznad 10 mol/l smanjuje vezivno delovanje troponin-tropomiozina. U ovom slučaju se troponin vezuje sa jonima kalcijuma. Kada se dovoljna količina ATP-a nađe u ćeliji, tada je svaka miozinska glavica vezana sa moleulima ATP-a i počinje ciklični proces, koji se deli na pet faza (slika 6):

1. Vezivanje aktina sa miozinom. Ovu vezu nazivamo aktivni kompleks;
2. Obrtanje glavice miozina u smeru, koji približava aktinsku nit sredini miozinske niti. Pri ovome se energija ATP-a pretvara u mehanički rad, a ATP otpušta jednu fosfatnu grupu i pretvara se u ADP. Ako ne bi bilo više ATP-a, mišić bi ostao u

tom skraćenom stanju. Ovaj položaj se naziva grč. Ovakvo stanje se pojavljuje u slučaju smrti;

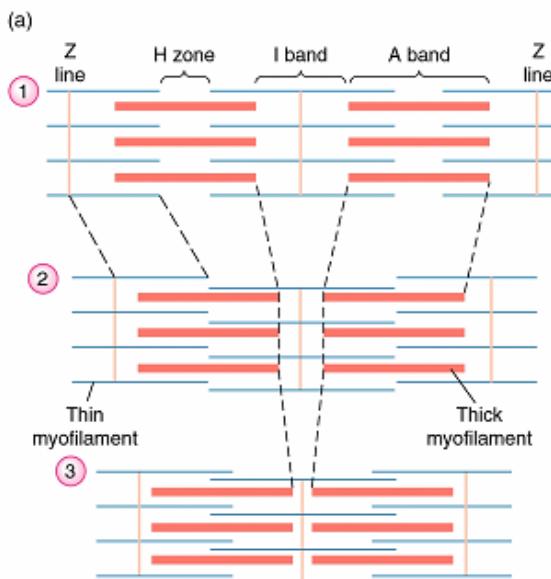
3. Vezivanje novog molekula ATP-a;
4. Razdvajanje aktina i miozina;
5. Vraćanje glavice u prvobitni položaj. Ova faza se naziva „faza pripravnosti“.

Ponavljanjem ovog ciklusa glavice se vezuju za nove aktinske molekule koji su bliže disku Z. Sarkomer i ceo mišić se na taj način skraćuju (kontrakuju).



Slika 6. Model klizećeg filamenta – snaga mišićne kontrakcije nastaje u procesu kliženja aktinskih među miozinske niti.

Sarkomera se skraćuje tokom mišićne kontrakcije, ali se ne menjaju dužine tankih i debelih niti. Smanjuju se I zona i H zona (slika 7.).



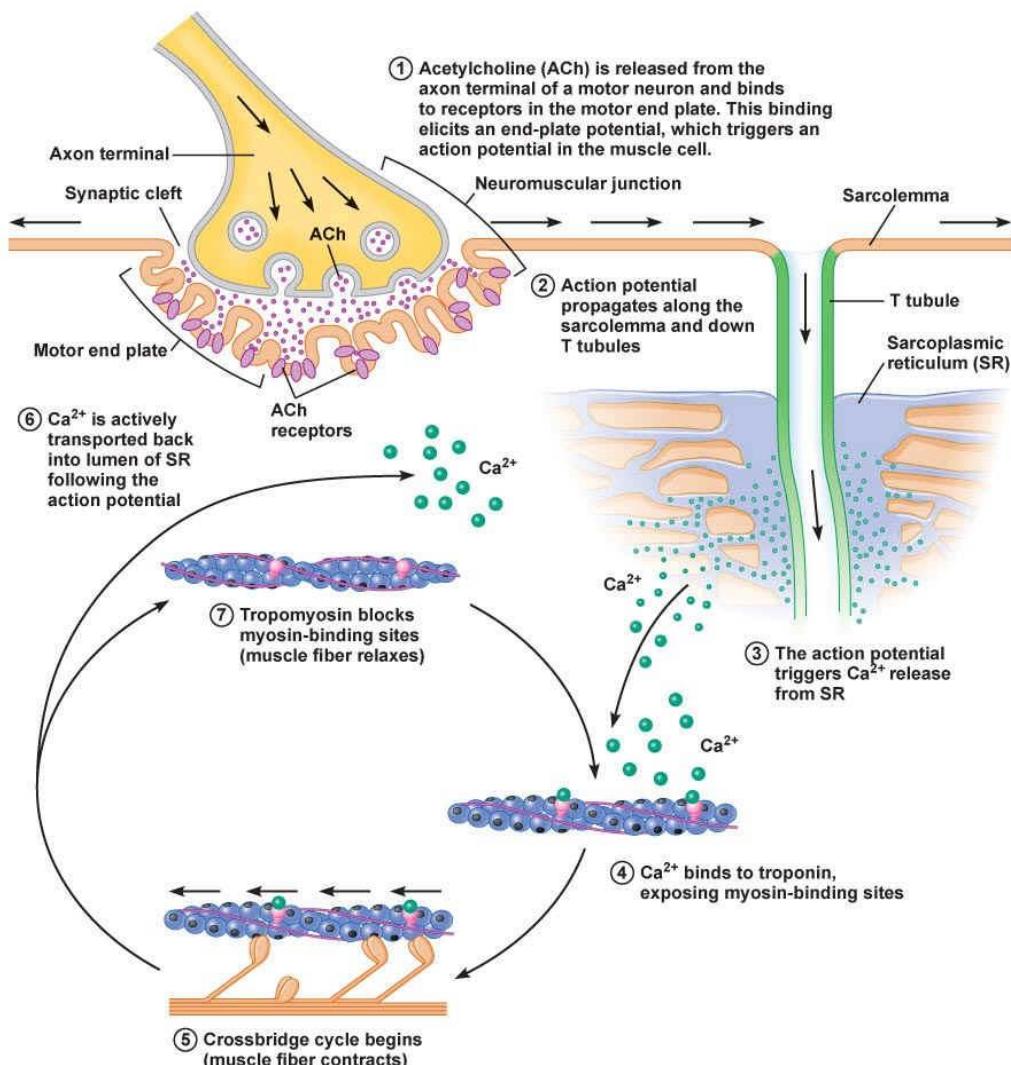
Slika 7. Skraćenje sarkomere tokom mišićne kontrakcije

Akcioni potencijal

Akcioni potencijal je pojava koja se u svakodnevnom govoru naziva nervni impuls, razdraženje, nadražaj... Ćelije sposobne da generišu akcioni potencijal nazivaju se ekscitabilne ćelije, a to su: neuroni, skeletni mišići, glatki mišići i srčani mišić. Akcioni potencijal aktivira hemijski sinaptički transport.

Mirovni membranski potencijal (MMP) nervnih vlakana iznosi oko -90 mV, što znači da je potencijal u citosolu 90 milivolti negativniji u odnosu na potencijal ekstracelularne tečnosti. Akcioni potencijal predstavlja brzu promenu mirovnog membranskog potencijala koja se brzo širi duž nervnog vlakna. Mirovni membranski potencijal označava se kao prvi stadijum nastanka akcionog potencijala, tzv. stadijum mirovanja. Njega sledi stadijum depolarizacije. Tada membrana iznenada postane vrlo propustljiva za natrijumove jone, dozvoljavajući tok ogromnog broja pozitivno nai elektrisanih Na^+ jona u unutrašnjost ćelije. To izaziva rast mirovnog membranskog potencijala od uobičajenih -90 mV prema pozitivnom smeru. Kod debelih nervnih vlakana, ogromna količina Na^+ jona dovodi do prebacivanja MMP preko nultog nivoa u nešto malo pozitivnu vrednost, dok se potencijal u tanjim vlaknima i mnogobrojnim neuronima CNS samo približava nultom nivou, ali ga ne prelazi. Tokom nekoliko 10.000-tih delova sekunde pošto je membrana postala visokopermeabilna za Na^+ jone, natrijumski kanali počinju da se zatvaraju, dok se kalijumski otvaraju više nego normalno. Brza difuzija K^+ iz citosola u ekstracelularnu sredinu uspostavlja normalan mirovni membranski potencijal, što se naziva stadijum repolarizacije. Jasno je, dakle, da u nastajanju i

nestajanju akcionalih potencijala nervnih vlakana ključnu ulogu imaju voltažno-zavisni natrijumski kanali i voltažno-zavisni kalijumski kanali. Akcionali potencijal nastaje mehanizmom pozitivne povratne sprege *circulus vitiosus*: rastuća voltaža uzrokuje otvaranje voltažno-zavisnih natrijumskih kanala. To omogućava brzu difuziju ogromne količine Na^+ u ćeliju, što dodatno povećava vrednost MMP, otvarajući tako još voltažno zavisnih natrijumskih kanala i još veću difuziju Na^+ jona. Akcionali potencijali prenose se po principu sve-ili-ništa, što znači da se, ako su ispunjeni svi uslovi, prostire bez gubitka, sa konstantnom amplitudom, dok se, ako uslovi nisu ispunjeni, uopšte ne prostire. Formiraju se samo na inicijalnom segmentu neurona jer se tu nalazi sedam puta više Na^+ jona nego drugde.



© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 8. Akcionali potencijal aktivira hemijsko sinaptički transport

Depolarizacija membrane mišićnog vlakna se širi od motorne ploče duž vlakna, a širi se i u unutrašnjost vlakna preko mrežaste strukture - sarkoplazmatičnog retikuluma (slika 8). Poprečne cevčice ovog sistema su udubljenja membrane, pa je unutrašnjost cevčica

neposredno vezana sa ekstracelularnim prostorom. Izmedju dve cevčice koje obavijaju svaki miofibril je sarkoplazmatični retikulum, koji ima „rezervoare“ odnosno cisterne. Sarkoplazmatični retikulum nije direktno povezan sa poprečnim cevčicama, iako se sa njima dodiruje. Poprečne cevčice su u suštini „membranske kvrge“, koje omogućavaju brz prenos akcionog potencijala sa površine membrane u unutrašnjost ćelije. Merenja su pokazala, da je pri opuštenom mišiću koncentracija kalcijuma velika u pomenutim rezervoarima. Akcioni potencijal koji depolarizuje poprečne cevčice, povećava provodnost membrane sarkoplazmatičnog retikuluma za kalcijum. Joni zato difunduju u medjućelijski prostor, povećava se koncentracija kalcijuma na tropoinskim molekulima i tako započinje proces kontrakcije. Na kraju depolarizacije se intracelularna koncentracija kalcijuma brzo smanjuje i počinje proces relaksacije. To smanjenje koncentracije se ne pojavljuje zato što sarkoplazmatični retikulum ne izlučuje više kalcijuma, već zato što su u membrani ćelijski mehanizmi jonske pumpe koja koristi energiju iz ATP-a da kalcijum vratи u rezervoare. Ako se akcioni potencijal nadovezuje dovoljno brzo, u blizini troponina je stalno relativno visoka koncentracija kalcijuma. Tada mišić ostaje u kontrakovanim stanju. Takvo stanje se naziva tetanička koncentracija.

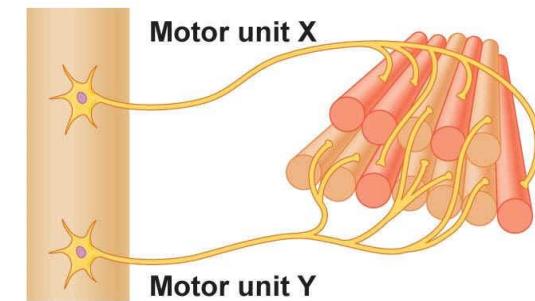
Kontrakcija mišića

Mišićna kontrakcija predstavlja mehaničko skraćenje dužine mišićne ćelije. Kontraktillni elementi mišićnih ćelija nazivaju se miofibrili. Mifibrili su sastavljeni iz dva proteinska kontraktillna elementa, tanjeg AKTIN-a i debljeg MIOZIN-a. Mišićna kontrakcija se jednostavnije može objasniti kao klizanje aktinskih niti po miozinskim, s tim da njihova dužina ostaje ne promenjena. Između ova dva kontraktillana elementa u trenutku kontrakcije dolazi do međusobnog povezivanja. Dejstvo aktina i miozina dodatno regulišu belančevine tropomiozin i troponin, takođe prisutnost kalcijuma je obavezna.

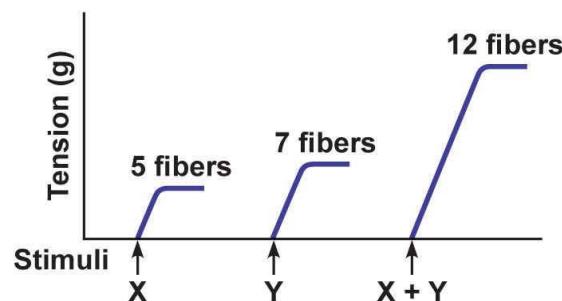
Kontrakcija mišića se zasniva na grčenju mišićnog vlakna koje se kao akcioni potencijal ponaša po zakonu „Sve ili ništa“, što znači da svaki podražaj dovodi do maksimalne kontrakcije mišića.

Snaga kontrakcije ne zavisi od jačine podražaja nego od toga koliko motornih jedinica je stimulirano (slika 9).

Motorna jedinica predstavlja kombinaciju motornih neurona i svih mišićnih ćelija koje on inerviše (slika 9). Sva mišićna vlakna inervisana jednim nervnim vlaknom nazivaju se motorna jedinica (3-15 vlakana).



(a)



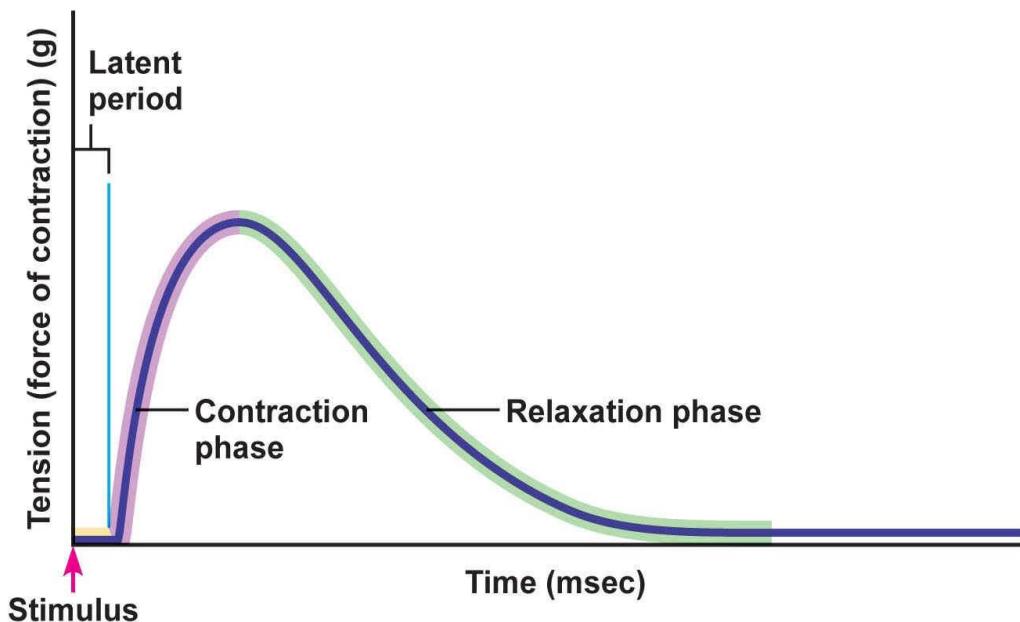
(b)

© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 9. Motorna jedinica

Faze kontrakcije:

Kada se primeni stimulacija, kontrakcija vlakna se može podeliti po fazama: (slika 10.)



© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 10. Faze kontrakcije

- 1. faza latencije** – vreme koje protekne od delovanja podražaja do početka vidljive kontrakcije. Latentni period je kašnjenje od nekoliko milisekundi između akcionog potencijala i početaka kontrakcije i izražava vreme za spoj pobude i kontrakcije.

2. faza kontrakcije – faza kontrakcije počinje na samom kraju latentnog perioda a završava se na mestu gde je napetost mišića postigla svoj najveći intenzitet. Mišićna vlakna međusobno kližu i mišić se skraćuje.

3. faza relaksacije – vreme od nastanka kontrakcije do vraćanja mišića u prvobitni pložaj. Faza opuštanja.

Odgovor mišića na podražaj

Kontrakcije se mogu podeliti na više načina. Ako se to čini u odnosu na broj impulsa koji su proizveli kontrakciju onda postoje:

- *prosta* (nastaje delovanjem jednog impulsa na mišićnu ćeliju)
- *složena* (nastaje delovanjem dva ili više impulsa na mišićnu ćeliju)

Kada govorimo o promeni dužine mišića mišićne kontrakcije možemo podeliti:

- **statička (izometrična)**

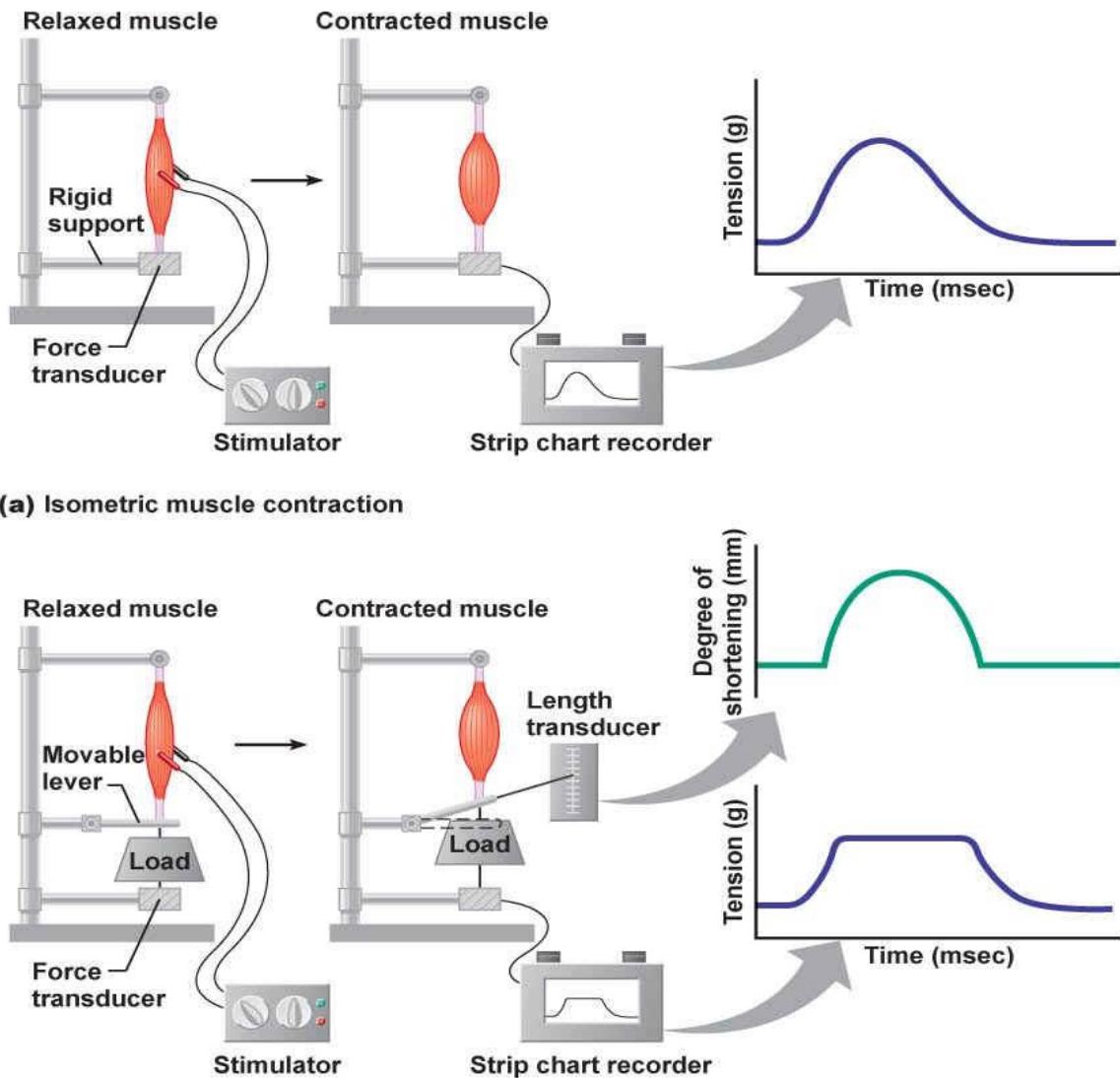
Statička kontrakcija nastaje kada se mišić kontrakuje a njegovi pripoji se ne približavaju, dužina mišića ostaje nepromenjena.

- **koncentrična (izotonična)**

Koncentrična kontrakcija nastaje kada je snaga mišića veća od težine tereta, pa se pripoji mišića međusobno približavaju odnosno mišić se skraćuje.

Izometrična i izotonična kontrakcija

Kada je opterećenje (sila koja se suprotstavlja kontrakciji) veće od sile kontrakcije mišića, mišić stvara tenziju prilikom grčenja ali se ne skraćuje. Ovakve kontrakcije generišu silu (napon) bez skraćenja. Izometrična kontrakcija meri se kada je vlakno pričvršćeno na oba kraja dok se pobuđuje a sila se registruje na krajevima. Uspon i pad tenzije prati kriva u obliku zvona (slika 11.a).

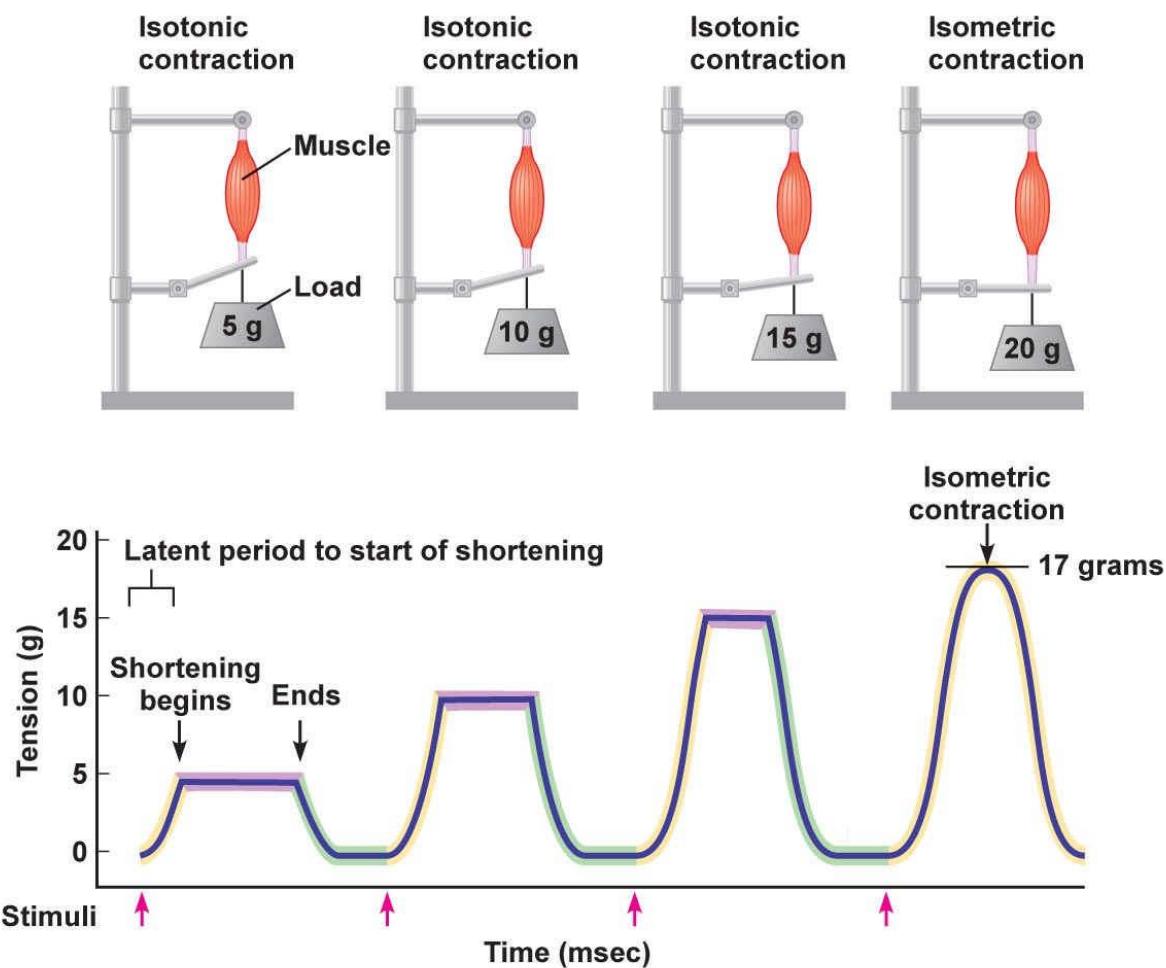


© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 11. Šematski prikaz izometrične i izotonične kontrakcije mišića

Kada je sila kontrakcije mišića veća od opterećenja, mišić se skraćuje i za ovakvu kontrakciju se kaže da je iztonična kontrakcija. Ona predstavlja skraćenje pri konstantnom naponu. Iztonična kontrakcija se meri priključivanjem mišića na pokretno opterećenje odnosno mišić se pobuđuje a pri tome je jedan kraj mišića slobodan (slika11.b). Sila je u ovom slučaju približno konstantna. Kriva tenzije pokazuje plato tokom kojeg je konstantna sila odnosno tenzija (*iso*-isto; *tonic*- opterećenje). (slika11.b).

Kriva tenzije će izgledati drugačije u zavisnosti od opterećenja koji se nalazi na mišić u (slika 12). Što je veće opterećenje veći je plato i veća je vremenska razlika između stimulusa i početka mišićnog skraćenja. Kada opterećenje prelazi iznos snage mišića, može se generisati i rezultatovati izometrijske kontrakcije koje su uvek iste veličine i oblika .



Slika 12. Izotonične kontrakcije u zavisnosti od opterećenja

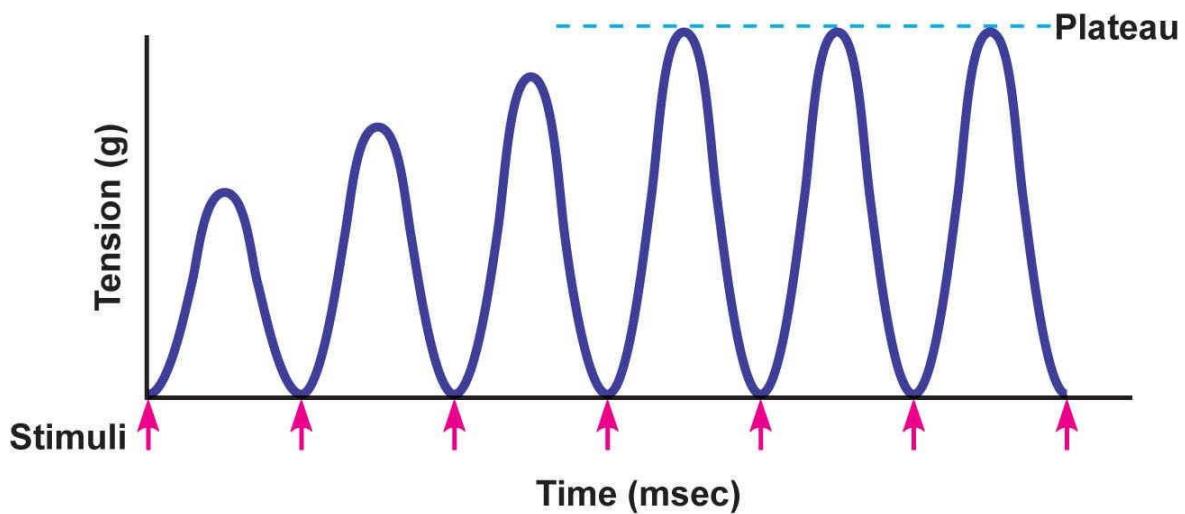
Tokom izometrične kontrakcije, kontraktionska komponenta mišića - sarkomera će se skratiti, međutim, ukupna dužina vlakana se ne menja. To je zbog delova mišića koji ne generišu snagu već pasivno prenose snagu kontrakcije do kraja mišićnim istezanjem.

Uprošćeni laboratorijski opis izometrične kontrakcije je sve ono što se dešava u vašem telu. Kako se pomjerate, rad mišića se stalno menja u zavisnosti od položaja vaših kostiju, a vaš centralni nervni sistem prilagođava generisanoj tenziji kako bi se obezbedilo da mišići generišu odgovarajuću silu.

2.4. Faktori koji utiču na stvaranje sile pojedinačnih mišićnih vlakana

1. Učestalost podsticanja

Kada se mišić stimuliše na frekvenciji tako da kontrakcije slede blizu jedana za drugom, maksimumi u napetosti postepeno rastu korak po korak. Ova pojava se naziva "Treppe" i dešava se zbog oslobođanja Ca^{++} proizvedenog iz prethodnog grčenja što rezultuje povećanje Ca^{++} u kontrakcijama. Druga mogućnost je da česta stimulacija "zagreva" mišiće i na taj način povećava enzimsku stopu.

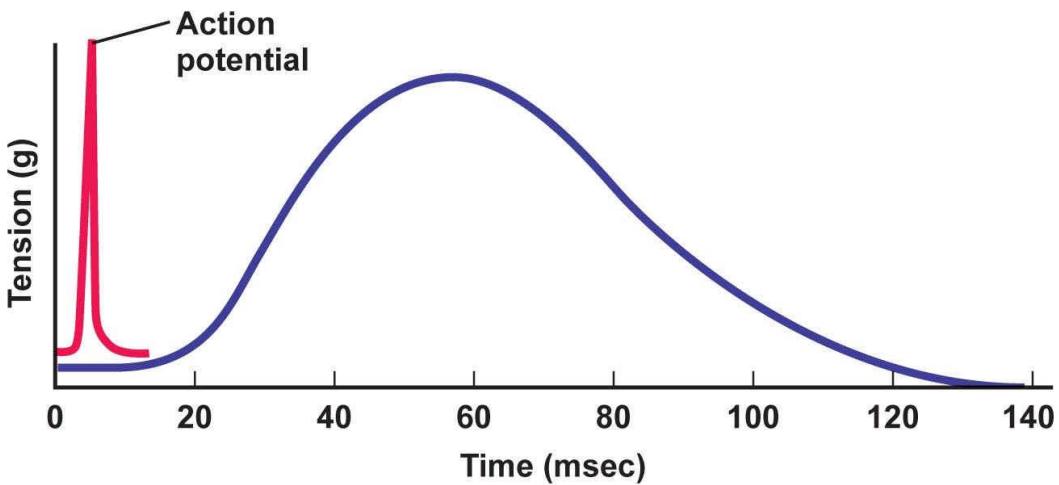


© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 13. Postepeni rast tenzije mišića stimulisanog ubrzanim kontrakcijama

Mišićna kontrakcija je prilično spora u odnosu na akcioni potencijal i mnogi akcioni potencijali mogu stići pre nego što se jedna kontrakcija završi (slika 14). Ovo izaziva gomilanje kontrakcija u gornjem delu i rezultuje generisanoj sili koja je veća od jedne kontrakcije. Ovaj proces se naziva sumacija.

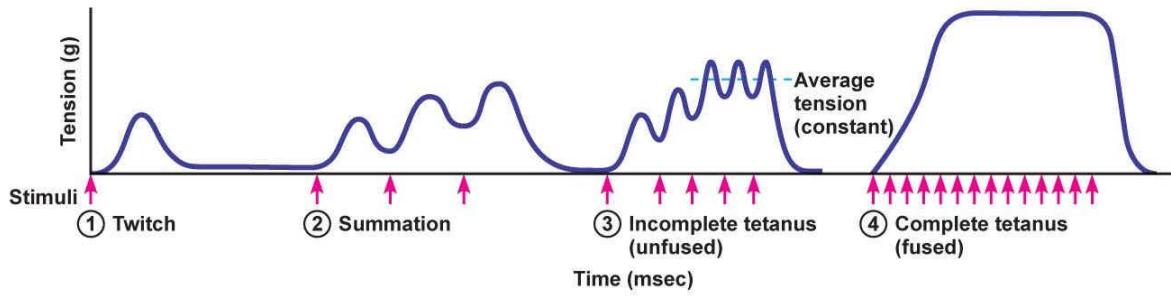
Kada je frekvencija stimulacije toliko visoka tako da nivoi Ca^{++} rastu do maksimalnih nivoa, sumirani rezultati na nivou tenzija dostižu plato pod nazivom tetanus (grč) odnosno složena mišićna kontrakcija.



© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 14. Sumacija mišićne kontrakcije

Kada je frekvencija stimulusa dovoljno visoka da izazove tetanus, a tenzija oscilira oko prosečnog nivoa, tetanus se zove nepotpun ili nekondenzovan (slika 15.3). Na većim frekvencijama stimulusa, visoki nivoi Ca^{++} izazivaju maksimalan broj ciklusa poprečnih mostova. U tom trenutku plato tenzije izjednačava se i tetanus (maksimalna mišićna kontrakcija) se naziva potpun ili spojen (slika 15.4).



© 2011 Pearson Education, Inc.

Slika 15. Grafički prikaz nepotpune i potpune složene mišićne kontrakcije- tetanus

Kada se mišić održava pod maksimalnim naponom, kaže se da je dostignuta maksimalna tetonička napetost.

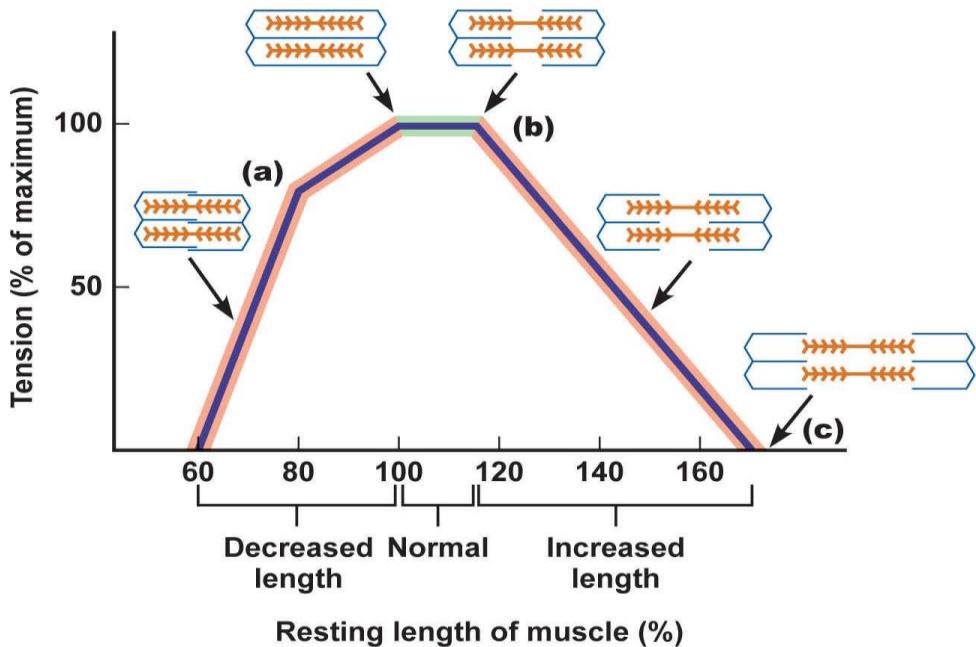
1. Prečnik vlakna

Svaki mišić ima kapacitet sposobnosti generisanja sile, ogleda se u maksimalnom tetaničnom naponu kojeg generiše izometrična kontrakcija. Broj poprečnih mostova u svakoj sarkomeri i geometrijske raspodele sarkomera utiču na sposobnost generisanja sile. Takođe što je veći broj sarkomera raspoređenih paralelno, to je veći kapacitet generisanih sila. Broj sarkomera

raspoređenih paralelno su u korelaciji sa prečnikom vlakna . Što je već a površina poprečnog preseka vlakana, može se generisati veća sila.

2. Promene u dužini vlakna

Za svako vlakno maksimalni kapacitet generisane snage javlja se u određenom opsegu dužine.



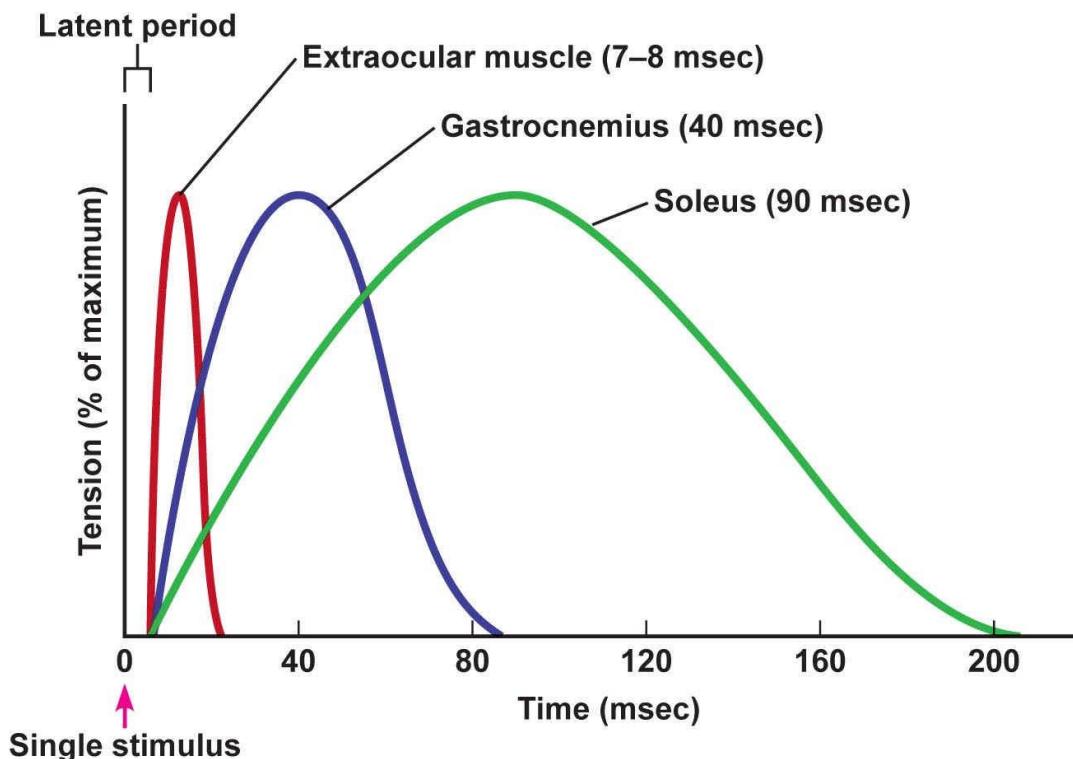
Slika 15. Zavisnost kontraktilne sile od dužine sarkomera

Sila, koju stvaraju mišićna vlakna, zavisi u velikoj meri od dužine sarkomera (slika 15). Ako je sarkomera raširena tako da glave ne dosežu do aktinskih molekula, sila je jednaka nuli. Pri skraćivanju sarkomera sila se linearno povećava do dužine pri kojoj nisu aktivirane sve glavice. Pri daljem skraćivanju sila se smanjuje jer se aktinska vlakna “prekrivaju”. Kada miozinska vlakna stignu do Z diskova, sarkomera više ne može da generiše silu.

2.5.Brzi i spori mišići

Na slici 16. je prikazana izometrična kontrakcija za tri različita skeletna mišića: očni mišić, koji se skraćuje za manje od 10 ms, *Gastrocnemius* mišić, koji se skraćuje za oko 40 ms i *Soleus* mišić koji se skraćuje za manje od 100 ms. Vreme kontrakcije je određeno specifičnošću zadatka koji mišić obavlja. Pomeraji očiju moraju da budu brzi, a pokreti kojima upravlja *soleus* mišić (stabilnost stajanja su spori). Za spore mišiće kažemo da su tonični, a za brze da su fazični. U opštem stanju spori mišići imaju manja vlakna, obavijena

gustom mrežom krvnih kapilara i većim brojem mitochondrija u odnosu na veća (deblja vlakna). Spora vlakna sadrže i mioglobin u sarkoplazmi. Mioglobin lako vezuje kiseonik (slično hemoglobin u ćelijama krvi) i čuva ga u mišiću do trenutka dok nije potreban mitochondrijama. Eksperimenti su pokazali da tip neurona koji pobudjuje mišić određuje koji tip vlakana preovlađuje u mišiću. Ako se neuron koji je pobudio spori mišić poveže na mišić koji pokazuje karakteristike brzog mišića, i ta struktura hronično aktivira, mišić će postati pretežno "brzi" mišić. Savremena saznanja sugeriraju da je frekvencija nadražaja ključni element koji određuje karakteristike mišića.



Slika 16. Trajanje i kašnjenje kontrakcije u odnosu na stimulacioni impuls za tri različita mišića

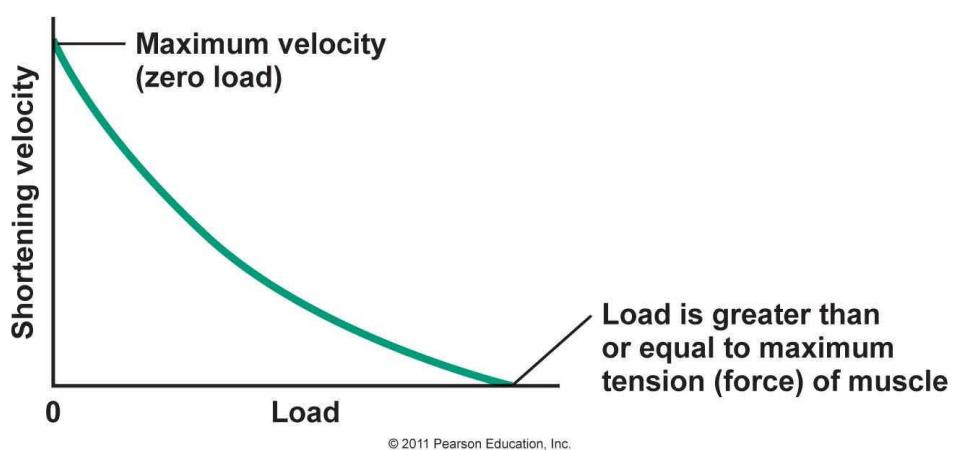
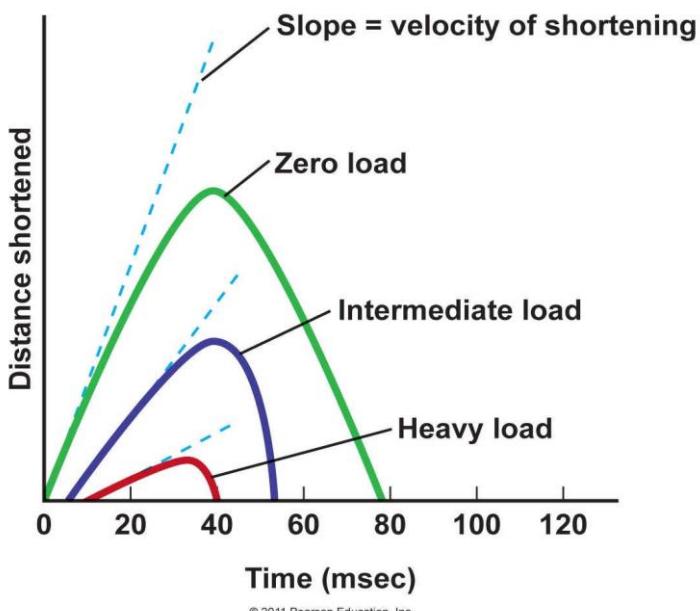
Mišićna kontrakcija u funkciji vremena

Ako pobudimo mišić jednim impulsom, kontrakciju nazivamo trzaj (*twitch*). Trajanje električnog nadražaja je kraće od trajanja kontrakcije, i kontrakcija kasni u odnosu na nadražaj. Ako posmatramo pobudu kao impuls, onda je prenosna funkcija sistema između pobude i odziva drugog reda (slika 17).

Kada se mišić kontrahuje izotonično pod uticajem sve većeg tereta kontrakcija će imati sledeće karakteristike:

1. Latentni period (vreme između stimulacije i kontrakcije) se povećava

2. Trajanje kontrakcije se smanjuje
3. Brzina kontrakcije se smanjuje



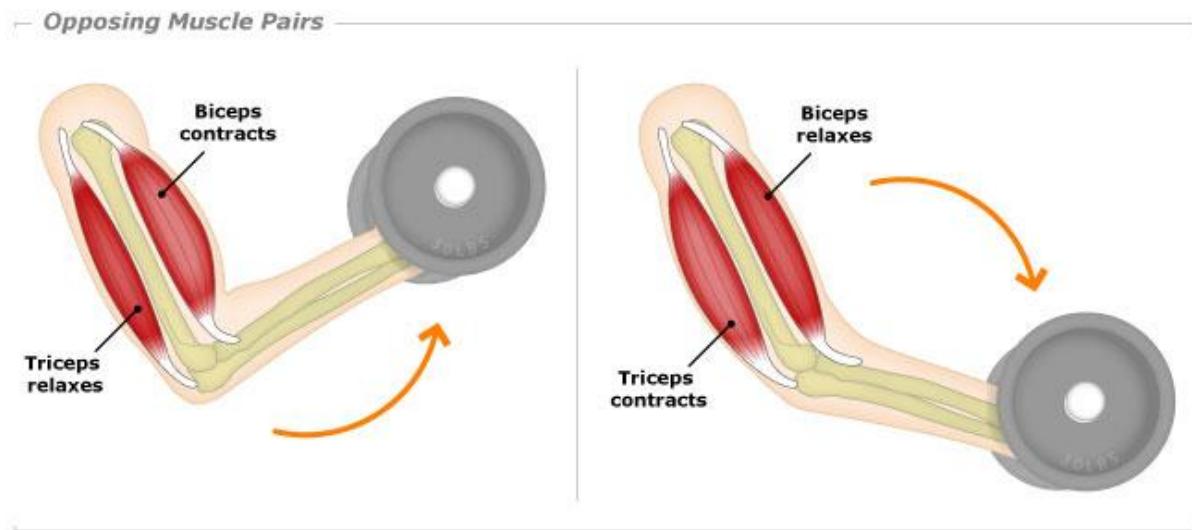
Slika 17. Mišićna kontrakcija u funkciji vremena

Karakteristike mišićne sile

Mišićna sila zavisi od dužine mišića kao i od brzine skraćenja mišića. Negativne brzine odnose se na ekscentrične kontrakcije (produženje mišića). Negativna brzina odgovara povećanju dužine mišića na račun drugih sila koje su suprotnog smera mišićnoj kontraktilnoj sili. Sile pri ekscentričnim kontrakcijama (elastične sile) veće su do 30 % od sila pri koncentričnim kontrakcijama (mišićna sila).

Jedan od važnih principa u aktivaciji mišića je tzv. princip veličine (*size principle*): Ako aktivacija potiče samo od sinaptičke aktivnosti, tada najniži prag aktivacije imaju najmanja

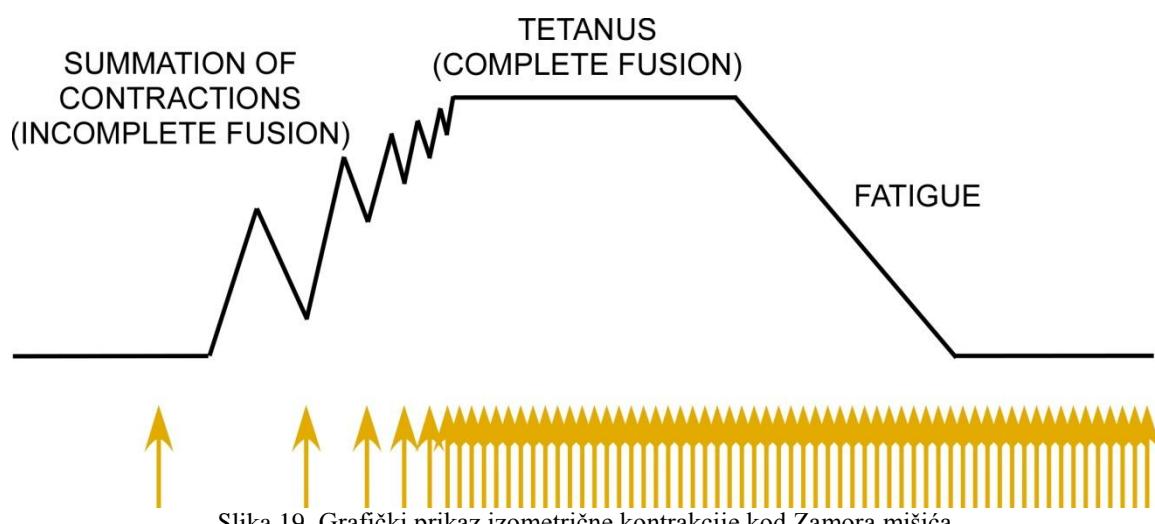
vlakna. U kičmenoj moždini postoje neuralne mreže čije dejstvo može da bude takvo da spreči ili zaustavi aktivaciju motornog nerva. Ovakvo dejstvo nazivamo “inhibicija”. Inhibiciono dejstvo je od posebnog značaja pri posmatranju delovanja para mišića na jedan zglob sa suprotnim dejstvima (slika 18).



Slika 18. Šematski prikaz delovanja agoniste i antagoniste na zglob:

Zamor mišića

Kada se mišićna vlakna neprestano grče, a to je naročito izraženo tokom mišićnog tetanusa, dolazi do zamora mišića. Zamor se javlja usled iscrpljivanja zaliha ATP u ćeliji.



Slika 19. Grafički prikaz izometrične kontrakcije kod Zamora mišića

Mišićne ćelije tada, u uslovima bez prisustva kiseonika razgrađuju glukozu, pa se u zamorenom mišiću nakuplja mlečna kiselina.

Zamorenici mišići proizvode manju napetost, a osim toga se sporije opuštaju od odmornog mišića. Proces opuštanja je, naime, aktivni proces koji zahteva energiju. Zbog toga se, kada u mišićnom vlaknu dođe do privremenog prestanka dotoka ATP, javlja grč mišića, odnosno kod trajnog prestanka dodatka ATP u slučaju smrti, javlja se takozvani samrtni grč. Međutim, nisu svi skeletni mišići podjednako osjetljivi na zamor. Svako ko je jeo pečenu piletinu zna da su mišići bataka tamniji (crveni) od mišića pilećih grudi (beli). Crveni mišići nogu su prilagođeni za dugotrajno stajanje i hodanje, dok beli mišići pokreću krila, koja, ove ptice koje ne lete, samo povremeno koriste za beg. Različit izgled i mehanička svojstva ovih mišića uslovjeni su metaboličkim osobenostima njihovih mišićnih vlakana. Kada se mišićna vlakna crvenih mišića grče, ona razvijaju napetost koja sporo narasta i sporo opada, to jest oni razvijaju relativno malu silu tokom dužeg vremena, bez značajnog iscrpljivanja svojih zaliha energije. Otpornost na zamor ovih „sporih“ mišića uslovljena je bogatom mrežom krvnih kapilara, iz koje oni gotovo neograničeno preuzimaju glukozu i kiseonik i koriste ih za obnavljanje zaliha ATP u celiji.

3. ELEKTROMIOGRAFIJA

Metoda merenja i analize električnih potencijala snimljenih površinskim elektrodama sa skeletnih mišića naziva se elektromiografija. Primenom ove metode omogućeno je praćenje mišićne i nervne aktivnosti, a samim tim omogućena je i direktna ocena motornog i indirektna ocena senzornog sistema.

„Elektromiografija (EMG) je elektrofiziološka metoda registrovanja akcionalih potencijala mišićnih ćelija“ [Popović et al. 2010]. Proučavanje EMG signala doprinosi oceni funkcije na nivou mišića i na nivou nervnog sistema koji upravlja mišićima.

Postoji niz primena merenja i analize EMG signala: u medicini (na primer: ortopedija, hirurgija i analiza hoda), rehabilitaciji, ergonomiji (na primer: za prevenciju rizika ili definisanje ergonomskog dizajna) i u sportu (na primer: u biomehanici ili u analizi pokreta).

Osnovni zadatak EMG metode je da kvalitativno i kvantitativno opiše slabost mišića usled oštećenja mišića ili motornog nerva. Ukoliko je slabost nastupila zbog oštećenja motornog nerva, ova metoda može da locira i mesto oštećenja.

3.1. Istorijat

Prvo snimanje električne aktivnosti mišićnih ćelija čoveka tokom voljne kontrakcije mišića, izveo je nemački fizičar i fiziolog Emil du Bois-Reymond 1858. godine.

Početak istraživanja na temu električne aktivnosti mišića započeo je 1868. godine Erb, koji je izazvao električne reakcije potpuno denervisanog mišića. Ovi rezultati u tom momentu nisu bili značajni za kliničku praksu.

Adrian i Bronk 1929. godine uveli su u primenu koncentričnu iglenu elektrodu, koja je omogućila tehniku istraživanja funkcije pojedinih motornih jedinica i njihovog broja pri voljnim kontrakcijama mišića.

Godine 1938. Denny-Brown i Pennybacker objavili su studiju *Fibrillation and fasciculation in voluntary muscle* (Brain, Oxford, 1938) u kojoj su prikazali spontanu aktivnosti delimično ili potpuno denervisanog mišića.

Buchthal i Clemmesen (1941) započeli su sa primenom nove tehnike za ispitivanje neurogene muskularne atrofije i lezije perifernih nerava, i time započeli novo poglavlje u primeni elektrofiziološkim metodama - kliničke elektromiografije.

Godine 1947. Kugelberg je uveo novu metodu kojom se mogu raspoznati morfološke razlike u akcionalim potencijalima motornih jedinica kod mišićnih poremećaja. Od tog vremena, elektromiografija postaje metoda za razlikovanje neurogene od miogene bolesti.

Godine 1956. Simpson je uveo novu metodu merenja motorne brzine provođenja perifernih nerava kod neuropatije, koju je potom 1958. godine Gilliat Sears primenio na senzorne nerve.

Zvaničnim početkom kliničke elektromiografije smatra se rad Buchthal-a i Clemmensen-a. Međutim, na dalji sve intenzivni razvoj ove discipline nastao je pred kraj 20. i početkom 21. veka zahvaljujući napredovanju računarske tehnike i metoda obrade podataka.

Tek se 1980. godine počinju proizvoditi malene elektrode dovoljno lagane i pojačala praktična za EMG. Danas postoji širok izbor pojačala i elektroda na tržištu, i zahvaljujući tome istraživanja su kvalitetnija i mnogobrojnija.

Postoji razlika između kliničke elektromiografije, koja koristi intramuskularne (igle) elektrode koje snimaju električni signal u unutrašnjosti mišića, i elektromiografije koja koristi površinske elektrode (*SEMG - surface electromyography* - površinska elektromiografija), koje se stavljuju na površinu kože. Međutim, spontana mišićna aktivnost se ne može snimiti površinskim elektrodama. Takve vrste elektroda se koriste u kineziološkim analizama mišića.

3.2.Fiziologija elektromiografskog signala i analiza EMG signala

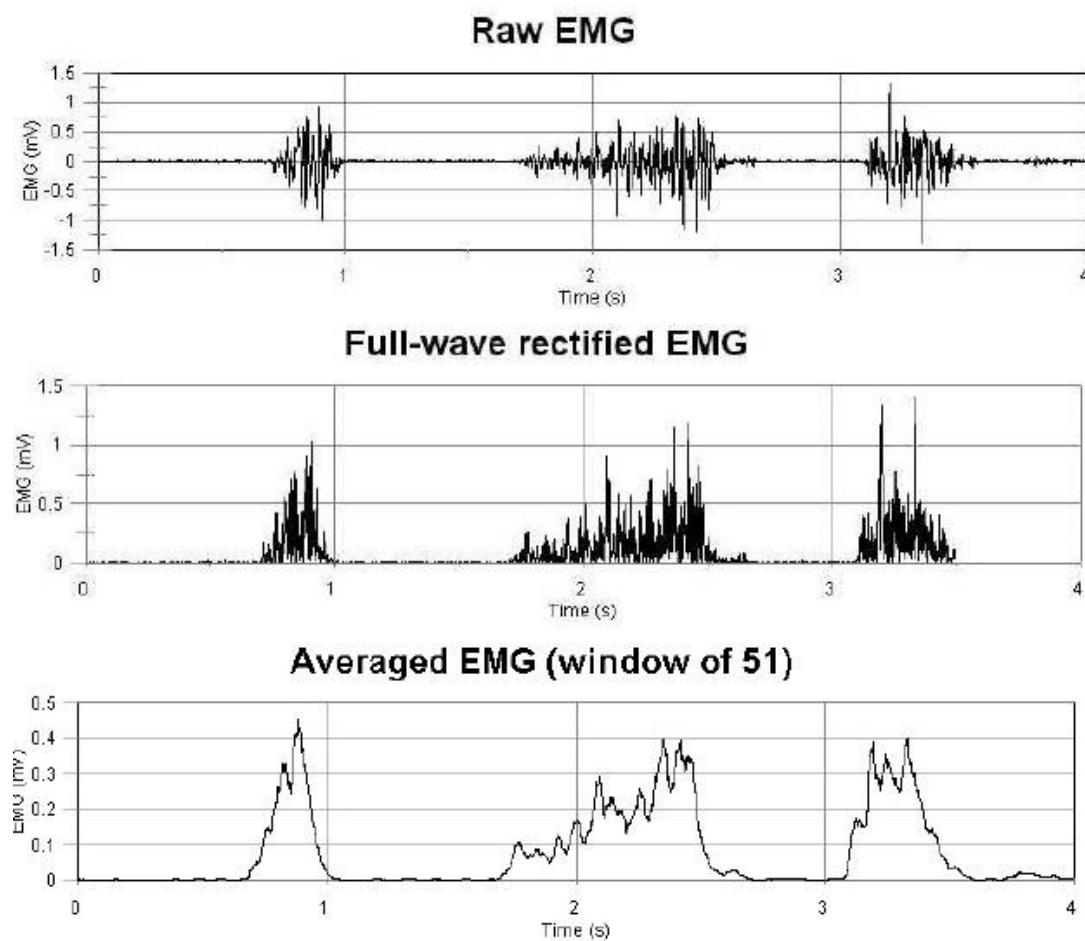
Mišićnim vlaknima je potreban impuls, koji dolazi od motornog neurona, da bi mišić proizveo silu. Centralni nervni sistem (CNS) aktivira motorni neuron, i električni impuls putuje niz motorni neuron do svake sinapse. Sinapsa je zapravo komunikacijski spoj između dva neurona, jer se na tom mestu signal prenosi sa jednog neurona na drugi. Sinapsa je mesto na kojem se stvara akcioni potencijal.

Podražaj neurona dovodi do promena na membrani koja ima otvore za propust jona. Kada joni prolaze kroz tu membranu nastaje akcioni potencijal. Reakcija nervne ćelije na efikasnu draž je nervni impuls. Akcioni potencijal ne nastaje odjednom u celom motornom neuronu, već mu je potreban mali deo membrane motornog neurona. Kada nastane, putuje po čitavoj membrani. Putovanja akcionih potencijala niz akson ili uz dendrit su osnova mehanizama za prenos informacija u mozgu.

Iako je električni impuls generisan i sproveden pojedinačnim vlaknima veoma slab (manji od 100 mikrovolti), veliki broj vlakana koji simultano provode indukuju razliku napona na koži koja je dovoljno velika da bi se mogla detektovati parom površinskih elektroda. Električni signal (napon) koji nazivamo elektromiografska aktivnost ima tipičan trifazni oblik trajanja od

3 do 15 ms sa amplitudom do 2 mV, i sa frekvencijom ponavljanja 2 do 30 Hz (pri voljnim kontrakcijama). Detekcija, pojačavanje i snimanje promena u naponu na koži proizvedene kontrakcijom skeletnih mišića se naziva **elektromiografija**. Dobijeni snimak se naziva **elektromiogram**.

EMG signal je snimljena posledica dve bioelektrične aktivnosti: 1) propagacije impulsa motornih nerava i njihova transmisija u neuromuskulatornom spoju motornih jedinica i 2) propagacijom mišićnih impulsa uz pomoć sarkoleme i T-tubularnog sistema što rezultuje eksitsacijom i kontrakcijom. Amplitude akcionog potencijala aktivnih motornih jedinica nisu sve iste niti su u fazi jedna sa drugom. Šta više, vremenska sekvenca aktivacije motorne jedinice je varijabilna. Ukupan rezultat ovih faktora je kompleksan EMG signal. Mi snimamo sve ove aktivnosti, detektovane površinskim elektrodama i propagacija mušićnih i nervnih impulsa uključuje i depolarizaciju i repolarizaciju. Pikovi će stoga imati negativne i pozitivne komponente i amplitude će zavisiti od položaja merne elektrode u odnosu na broj potkožnih skeletnih mišića i motornih nerava.



Slika 20. Prikaz pojedinih vrsta EMG signala: izvorni, punovalni i usrednjeni

Od već pomenutih karakteristika EMG signala, najvažnije su amplituda i frekvencija. Amplituda je pokazatelj jačine mišićne aktivnosti. Frekvencija je u direktnoj zavisnosti od te

jačine, jer što je veći broj motornih jedinica aktivan, to je jači EMG signal i sam prikaz ima više šiljaka odnosno vrhova.

Dobijeni signal je potrebno obraditi, pa tako postoje razne vrste EMG signala (slika 18): izvorni, punovalno ispravljeni, usrednjeni signal, zatim tu je frekvencijski spektar signala kao i analiza umora.

Elektromiografijom se dobija podatak o aktivnosti znatnog dela mišića, odnosno većeg broja motoričkih jedinica, kao i podatak o vremenu i amplitudi aktivacije pojedinog mišića. Zbog toga je EMG primenjiva i kod istraživanja biološke povratne veze (*biofeedback*), kod terapije, kao i kod detekcije mioelektričkih signala u svrhu upravljanja nekim spoljašnjim uređajima, poput proteza i ostalih pomagala za hendikepirane osobe.

EMG takođe ima primenu u kliničkoj praksi kada je potrebna jednostavna metoda praćenja aktivnosti mišića, na primer fizikalna medicina i sportska medicina.

Veoma je interesantna primena EMG u *biofeedback*-u, gde nam EMG signali daju informaciju trenutačnog stanja.

4. EKSPERIMENTALNI DEO

4.1. Biopac Sistem

Biopac sistem (slika 21.) za studentska istraživanja je proizведен u kompaniji BIOPAC System, Inc., Goleta u Kaliforniji. Ovaj uređaj je predstavljen 1995. godine kao digitalna zamena za već ostarele grafičke rekordere i oscioskope koji su bili rasprostanjeni po univerzitetskim labaratorijama. Sam Biopac sistem predstavlja savremeno, modernije, učinkovitije, a pored svega toga i cenovno pristupačnije sredstvo od mnogih drugih pre njega.

Studenti koriste Biopac sistem za snimanja na telima ljudi, životinja ili pripremljenog tkivnog uzorka, na osnovu naponskog potencijala koji se javlja određenim načinima u određenim delovima tela. Za snimanja se koriste specijalno dizajnirane elektrode, a sistem pored samih elektroda sadrži i mnoge druge hardverske i softverske pogodnosti kao i samo upustvo za pravilno korištenje ovog sistema pri raznim eksperimentima, poput: elektrokardiografije (EKG), elektromiografije (EMG), elektrookulografije (EOG), itd.



Slika 21. Biopac sistem

4.2 EMG na Biopac sistemu

Eksperimentalni ciljevi ovog rada bili su da se snimi i uporedi naponski EMG signal dobijan prilikom različitog opterećenja bicepsa leve i desne ruke kao i da se utvrdi funkcionalni odnos nedominantne i dominantne ruke u jačini stiska šake. Dominantnom rukom se smatra ona koja se češće koristi, koja je brža i preciznija pri obavljanju manuelnih zadataka. Subjekat na kome se vršilo ispitivanje jeste moja malenkost, a dominantna ruka je desna.

Za prvi deo eksperimentalne vežbe: Jačina stiska šake i funkcionalnog odnosa dominantne i nedominantne ruke pri motoričom zadatku- stisak loptice šakom, elektrode se postavljaju kao što je prikazano na slici 22.



Slika 22. Postavljene elektrode za prvi deo eksperimenta

Bitno je da elektrode budu u kontaktu sa kožom 5 minuta pre početka kalibracije instrumenta. Ukoliko je potrebno elektrode se mogu pričvrstiti samolepljivom trakom kako bi se osiguralo i da se ne bi otkačile. Ako elektrode kojim slučajem spadnu eksperiment je potrebno ponoviti od samog početka. U slučaju da ispitanik oseti bilo kakvu bol, peckanje ili neugodnost tokom eksperimenta, eksperiment mora biti prekinut.



Slika 23. Povezan Biopac sistem sa računarcem

Eksperimentalni ciljevi

1. Posmatrati i snimiti tonus skeletnih mišića kao osnovni nivo električne aktivnosti povezane sa mišićima u stanju mirovanja i naprezanja.
2. Snimiti električnu aktivnost mišića za levu i desnu šaku.
3. Na osnovu snimljene električne aktivnosti mišića odrediti mišićnu aktivnost za razna opterećenja.

4.2. Kalibracija

Procedura kalibracije uspostavlja hardverske unutrašnje parametre. Dve sekunde nakon pokretanja kalibracije, neophodno je stisnuti pesnicu najjače što se može i tako držati dve do tri seunde, a zatim pustiti. Sačekati da se kalibracija završi. Ona traje osam sekundi. Snimak treba da prikazuje nultu osnovnu liniju i jasne pikove kada subjekat stisne šaku (slika 24.).



Slika 24. Kalibracija

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Merenje jačine stiska šake i funkcionalnog odnosa dominantne i nedominantne ruke pri motoričkom zadatku - stisak loptice šakom

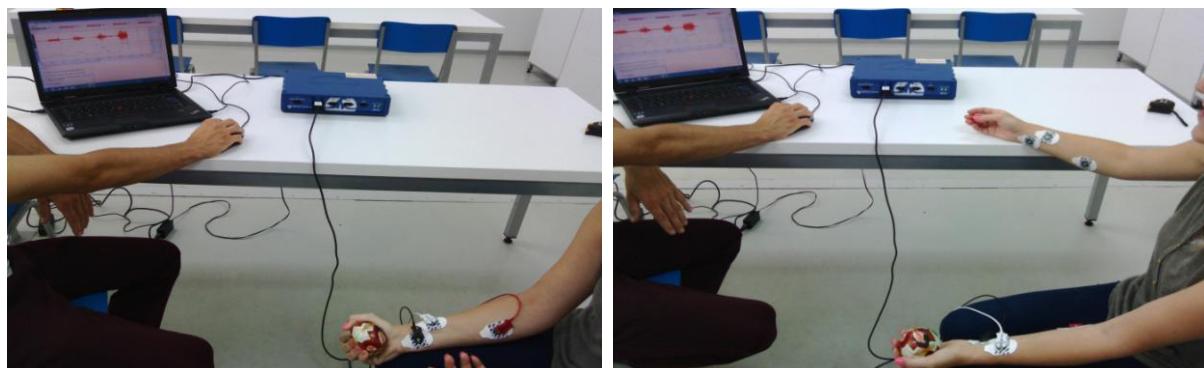
U prvoj fazi eksperimenta snimaju se naponski signali za stisak loptice šakom.

Loptica od sunđera drži se u šaci i nekoliko puta se stisne sa kontinuiranim porastom jačine.

Stisak kao i pauza između stiska traje oko 2 sekunde.

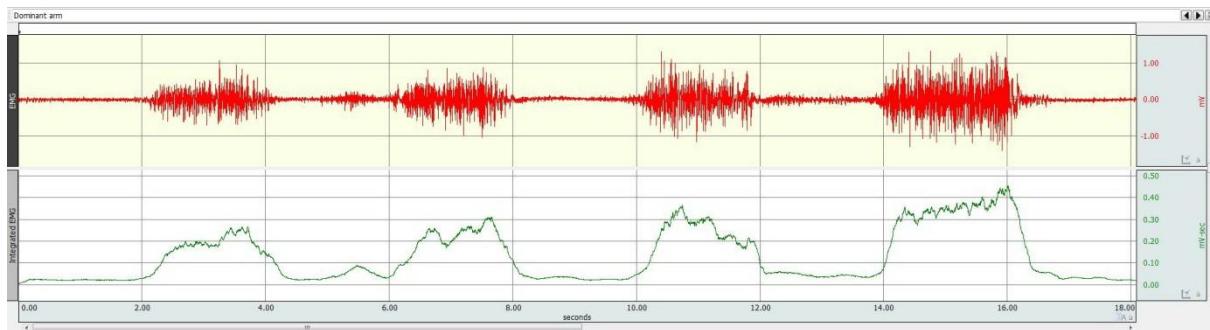
Merenje počinje tako što prvo traje pauza od 2 sekunde, zatim lagani stisak loptice u istom trajanju. Tako se ponavlja 4 puta sa kontinuiranim porastom jačine, poslednji stisak tj. četvrti treba da bude najvećeg intenziteta. Merenje se prvo izvodi na dominantnoj-desnoj ruci a zatim se ceo postupak ponavlja na nedominantnoj-levoj ruci (slika 25.)

Izvodi se serija od četiri ciklusa stisak-otpuštanje-pauza. Potrebno je držati pesnicu stisnutu dve sekunde, a zatim otpustiti dve sekunde. Prvo se počinje slabijim stiskom a zatim se kontinuirano povećava tako da jačina četvrтog stiska bude najvećeg intenziteta. Između stiskanja neophodno je potpuno opustiti šake. Pauza izmedju stiska potrebno je da bude minimalno dve sekunde. Snimak sadrži četiri EMG pika sve veće amplitude.

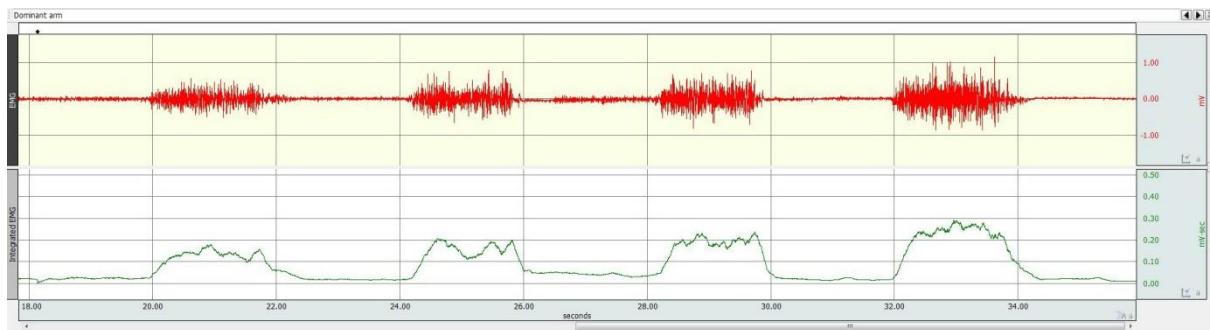


Slika 25. Merenje jačine stiska šake na dominantnoj i nedominantnoj ruci

Primeri naponskih signala prikazani su na sledećim slikama. (slika 26 i 27).



Slika 26. Snimak naponskog signala na dominantnoj ruci



Slika 27. Snimak naponskog signala na ne dominantnoj ruci

Na slikama se jasno vidi razlika u intenzitetu jačine stiska šake dominantne i nedominantne ruke.

Jasno se uočava da su EMG pikovi na prvoj slici veće amplitude što ukazuje da je dominantna ruka snažnija i da je jačina primenjena na sva četiri stiska dominantne ruke većeg intenziteta nego na nedominantnoj ruci.

Red veličine napona koji se dobija je mV. U donjem delu slika 26 i 27 prikazan je naponski signal u integralnom obliku . Karakteristike stiska šake se relativno mogu predvideti jer su u direktnoj vezi sa morfološkom strukturom, utreniranošću, kondicijom, zdravstvenim i fiziološkim stanjem u vreme testiranja.

5.2. Rezultati EMG merenja i merenje tonusa dominantne i nedominantne ruke

Tabela1. Rezultati EMG merenja dominantne ruke

Stisk	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
	(mV)	(mV)
1	0,192	0,135
2	0,239	0,159
3	0,258	0,192
4	0,348	0,245

Korišćenjem srednjeg merenje iz gornje tabele može se izračunati procenat porasta izmerene EMG aktivnosti između najslabijeg stiska i najjačeg stiska dominantne ruke.

Račun: $0,192 \cdot 100 = 0,348 \cdot X$

$$X = 55,17 \approx 55,2 \%$$

Procenat porasta između najslabijeg stiska i najjačeg stiska dominantne ruke iznosi:

$$100 - 55,2 = 44,8\%$$

Tonus je u stanju mirovanja i predstavljen je prostorom između stisaka (klastera).

Tabela 2. Rezultati merenja tonusa dominantne i nedominante ruke

Izmedju stiska	Dominantna ruka	Nedominantna ruka
	(mV)	(mV)
1-2	0,041	0,016
2-3	0,027	0,040
3-4	0,042	0,017

5.3. Pitanja

1. Uporedite srednja merenja EMG podataka za levi i desni maksimalni stisak.

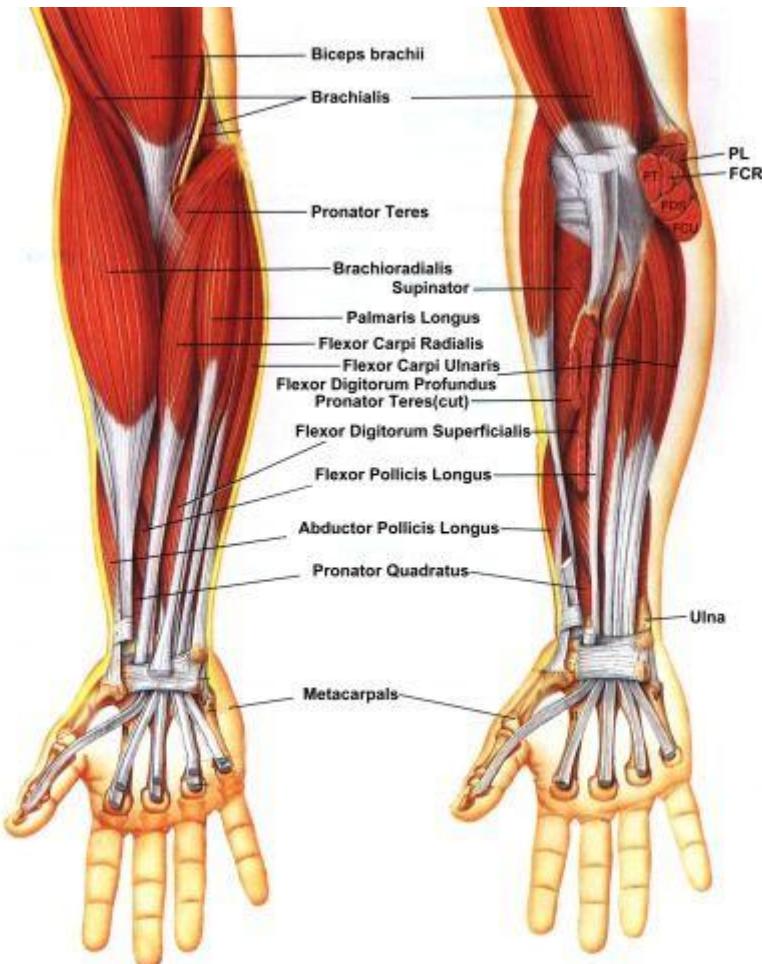
Da li su isti ili se razlikuju?

Koja ukazuje na veću snagu stiska?

Na slikama kao i po dobijenim rezultatima merenja jasno se vidi razlika u intenzitetu sile dominantne i nedominantne ruke.

Jasno se uočava da su EMG pikovi na prvoj slici veće amplitude a da rezultati merenje dominantne ruke imaju veće vrednosti što ukazuje da je dominantna ruka snažnija i da je jačina primenjena na sva četiri stiska dominantne ruke većeg intenziteta nego jačina nedominantne ruke. Veća merenja ukazuje na veću snagu stiska jer snaga mišića zavisi od veličine (površine poprečnog preseka) mišićnih vlakana . Što je veća veličina mišićnih vlakna , veći je EMG .

Kao objašnjenje za to možemo reći da je dominantna ruka snažnija i bolje utrenirana. U ovom slučaju dominantna ruka je desna što je češće nego obrnuto.



Slika28. Mišići podlakta

2. Koji faktori pored pola utiču na zapažene razlike jačine stiska?

Jačina stiska može biti pod uticajem treninga izdržljivosti visokih intenziteta , brzih pokreća praktikovanim u kratkim naletima.

Ovaj tip anaerobnog vežbanja izaziva proširenje mišića usled sinteze aktina i miozina, što više formiranih poprečnih mostova čime se povećava kontraktilna jačina . Drugi faktori koji utiču na jačinu stiska su oporavak od umora i dostupnost zaliha energije.

Faktori koji utiču na merenje jačine stiska šake pored utreniranosti subjekta jeste i pol kao i njegova starost.

Žene u 20-im imaju jačinu stiska od oko 34 kg, što kod žena u 70-im pada na 24 kg, dok su ekvivalentni iznosi za muškarce 54 kg odnosno 38 kg.

3. Da li se pojavljuju razlike u tonusu mišića između stiska dveju podlaktica?

Da li očekujete da vidite razliku? Da li godište subjekta utiče na vaše očekivanje?

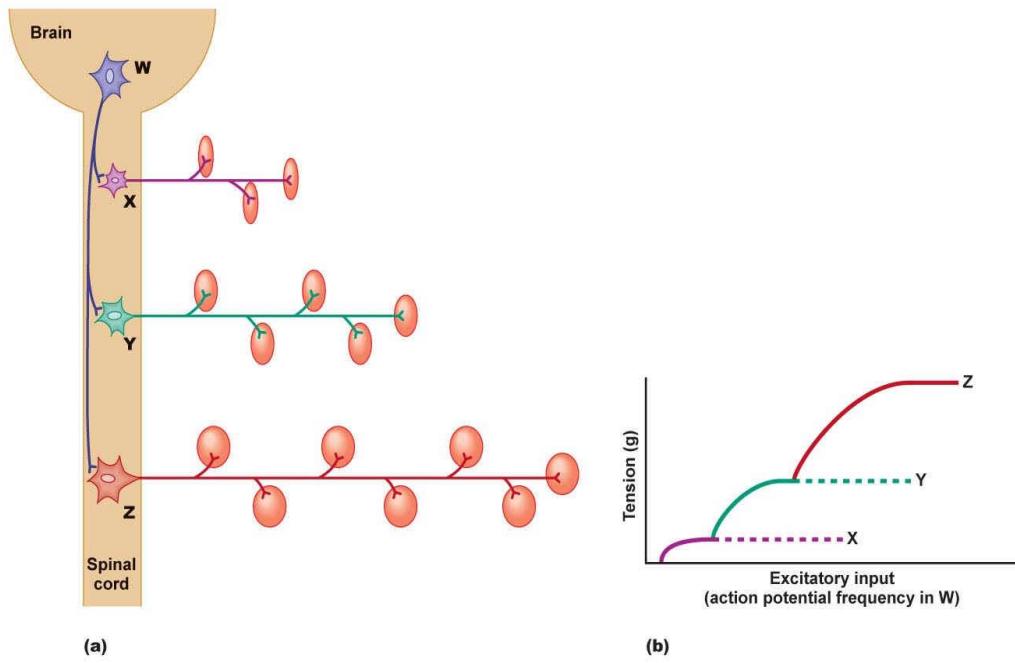
Tonus mišića zavisi od mnogih individualnih faktora. On se može razlikovati između podlaktica ako subjekat koristi jednu ruku više nego drugu ili ako su vlakana mišića veća na jednoj ruci nego na drugoj ruci. Na tonus indirektno utiče pol, jer veličina mišićnih vlakna pod uticajem nivoa testosterona variraju između muškaraca i žena. Takođe kod mlađih osoba tonus mišića je uglavnom veći.

4. Objasnite izvor signala detektovanih EMG elektrodam.

EMG signal je snimljena posledica dve bioelektrične aktivnosti:

- 1) Propagacije impulsa motornih nerava i njihova transmisija u neuromuskulatornom spoju motornih jedinica i
- 2) Propagacijom mišićnih impulsa uz pomoć sarkoleme i T- tubularnog sistema što rezultuje ekscitacijom i kontrakcijom.

5. Šta znači termin regrutovanje motornih jedinica?



Slika 29. Regrutovanje motornih jedinica

Regrutovanje motornih jedinica je aktivacija povećanja broja motornih jedinica u mišiću da bi se postigao veći nivo snage kontrakcije.

6. Definišite tonus skeletnih mišića.

Mišićni tonus ili napetost mišića je nesvesni (podsvesni) niski nivo kontrakcije mišića kada su u fazi odmora, odnosno kada su neaktivni. U osnovi, mišićni tonus je ono što čini da mišići izgledaju čvrsti dok nisu aktivni tj. kada su u svesnoj tenziji (kontrakciji).

Tonus skeletnih mišića inače nastaje kao posledica impulsa koji se neprestano odašilju kroz nerve i kada je njihova učestalost veća dolazi do povišenog tonusa.

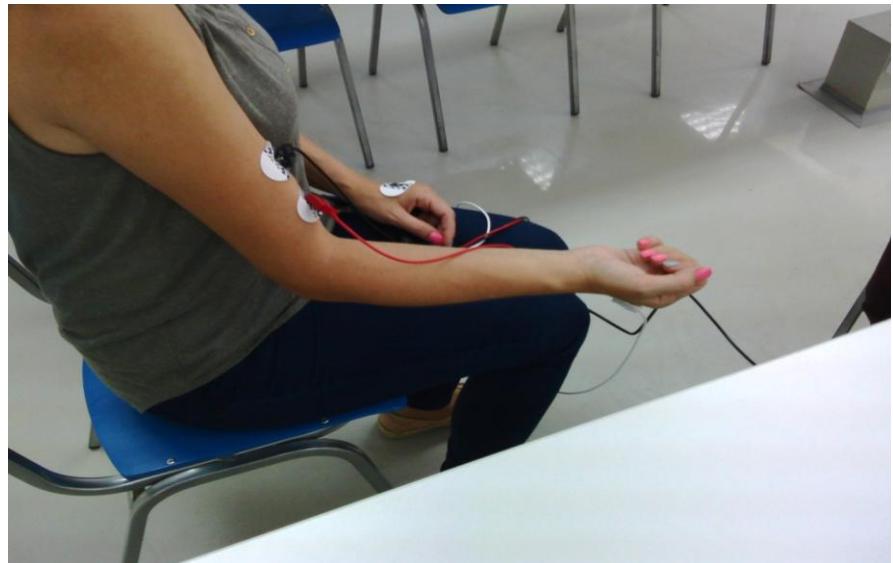
7. Definišite elektromiografiju.

Elektromiografija je medicinska tehnika za merenje električnih signala koji aktiviraju mišićna vlakna. To je tehnika snimanja mišićnog odgovora na prirodnu biološku ili spoljnu nervnu stimulaciju. Uređaj koji se koristi naziva se elektromiograf, a zapis se snima u obliku elektromiograma. EMG je skraćenica za: tehniku snimanja, uređaj za snimanje i registrovani zapis. Elektromiografija je tehnika koja se koristi za procenu sposobnosti mišića da generiše silu jer je korelisana sa mišićnom silom, a istovremeno ne postoje neinvazivne tehnike koje omogućavaju merenje sile. U praksi meri se spontana aktivnost mišića (voljne kontrakcije) i evocirana aktivnost tj. aktivnost koja je izazvana kontrolisanom stimulacijom motornog nerva ili aktivnost refleksnog odgovora pri stimulaciji refleksnog puta (senzorni nerv).

5.4. Merenje jačine biceps mišića prilikom opterećenja različitog intenziteta

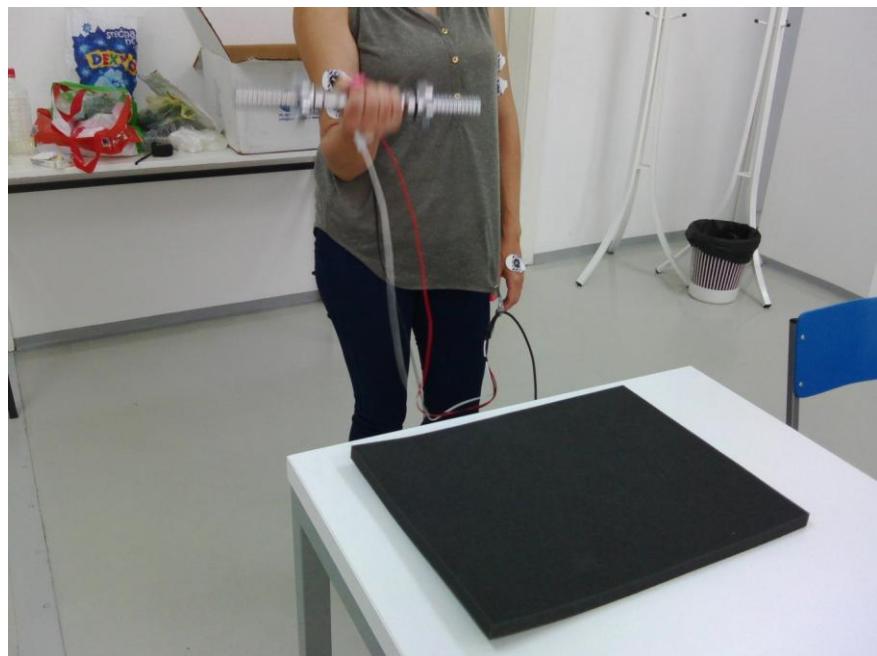
Dvoglavi nadlaktični mišić (*lat. musculus biceps brachii*) je dvoglavi mišić prednje strane nadlaktice. Mišić inervira *lat. nervus musculocutaneus*.

Za ovaj deo eksperimenta, elektrode su postavljene kao što je prikazano na slici 30.



Slika 30. Postavljene elektrode

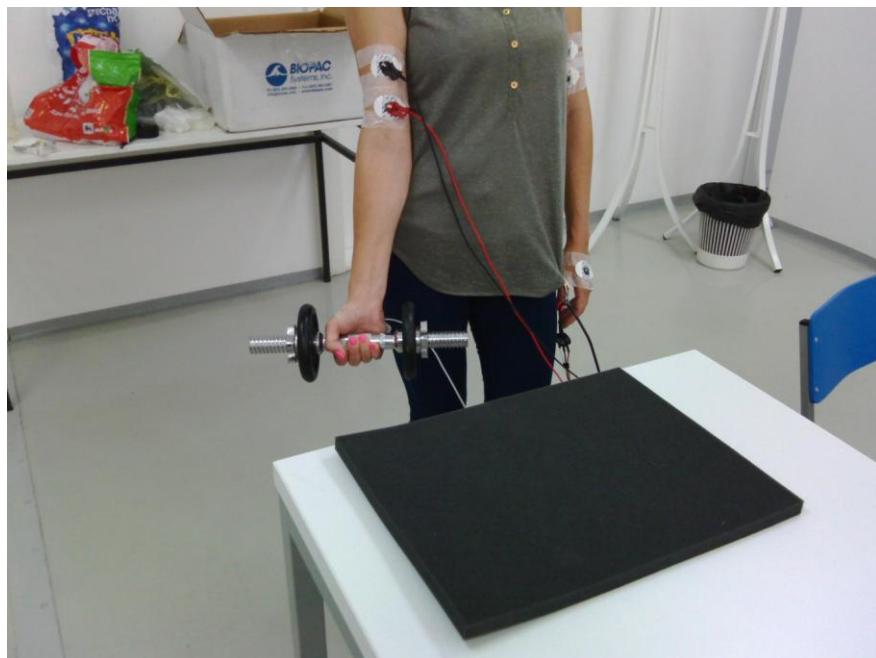
Prvo je izvršeno merenje na dominantnoj ruci prilikom opterećenja tegom od 1 kg. Teg se lagano podizao i spuštao. Zatim se postepeno povećavalo opterećenje, odnosno podizao se i spuštao teg veće mase: 3,5 kg i 6 kg. Ceo postupak se ponovio i na nedominantnoj ruci.



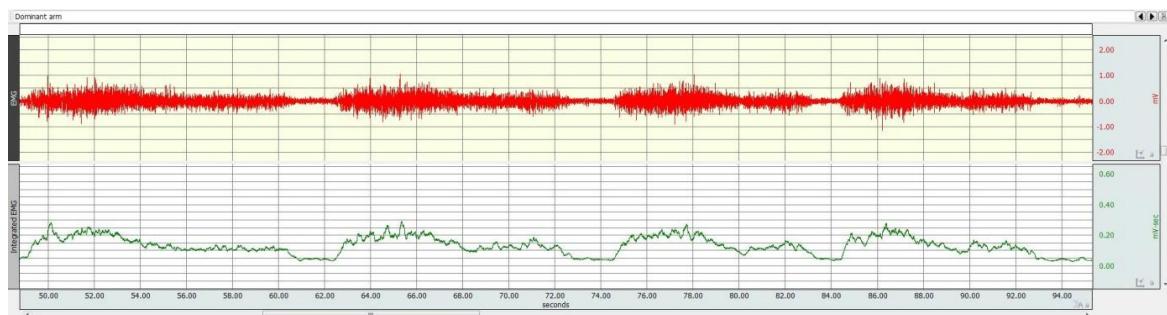
Slika 31. Masa tega 1 kg- dominantna ruka



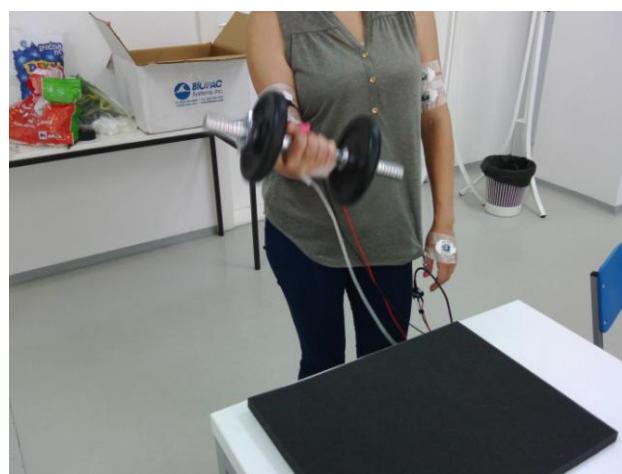
Slika 32. Signal na Bopac-u, masa tega 1 kg- dominantna ruka



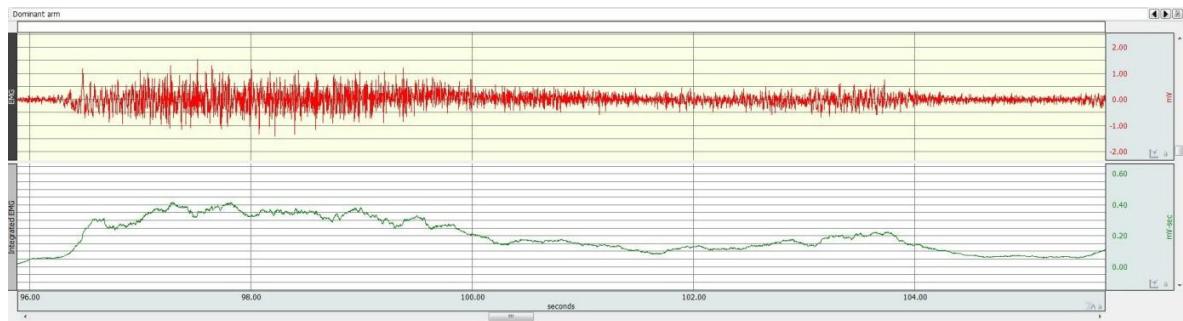
Slika 33. Masa tega od 3,5 kg dominantna ruka



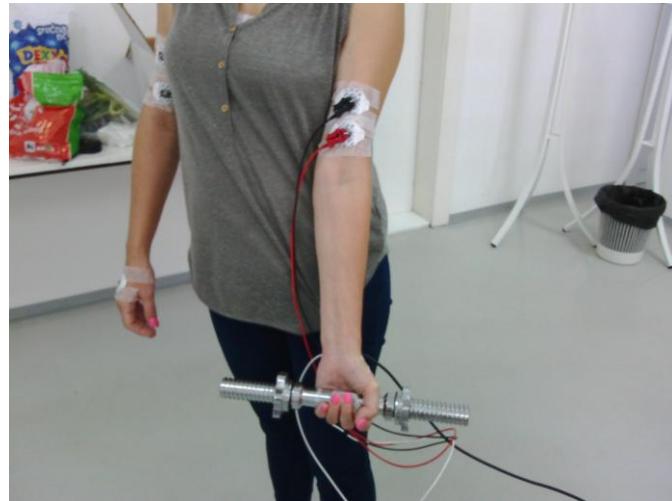
Slika 34. Signal na Bopac-u, masa tega 3,5 kg- dominantna ruka



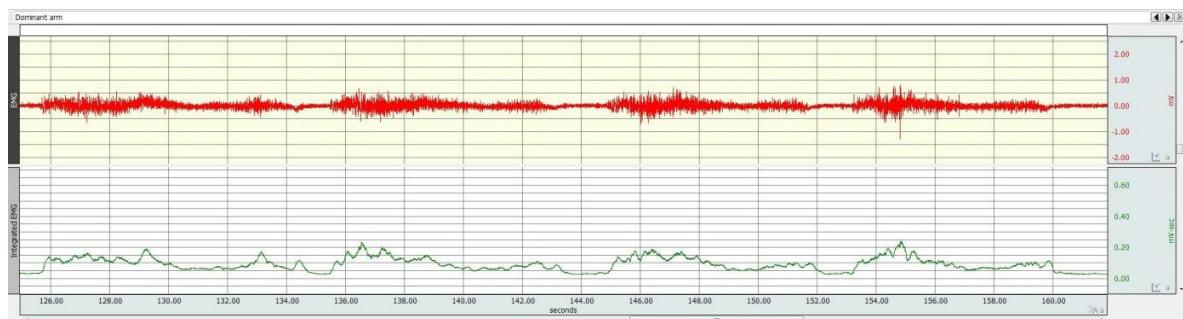
Slika 35. Masa tega od 6 kg dominantna ruka



Slika36. Signal na Bopac-u, masa tega 6 kg- dominantna ruka



Slika 37. Masa tega od 1kg nedominantna ruka



Slika 38. Signal na Bopac-u, Masa tega 1 kg- ne dominantna ruka



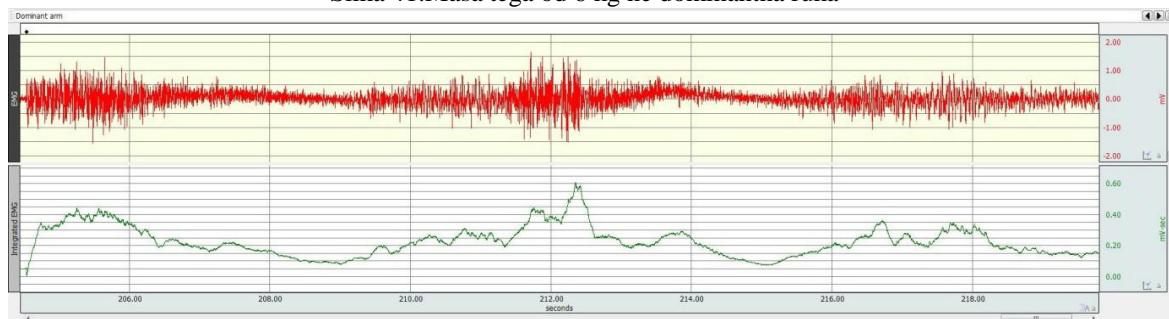
Slika 39. Masa tega od 3,5 kg nedominantna ruka



Slika 40. Signal na Bopac-u, masa tega 3,5kg- nedominantna ruka



Slika 41. Masa tega od 6 kg ne dominantna ruka



Slika 42. Signal na Bopac-u, masa tega 6 kg- nedominantna ruka

5.5. Rezultati merenja jačine biceps mišića prilikom opterećenja različitog intenziteta

Tabela 3: Rezultati merenja opterećenja tegom od 1 kg biceps mišića dominantne ruke

1 kg		Dominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,125	0,078	
2	0,129	0,071	
3	0,109	0,070	
4	0,109	0,070	
Srednja vrednost	0,118	0,072	

Tabela 4: Rezultati merenja opterećenja tegom od 3,5 kg biceps mišića dominantne ruke

3,5 kg		Dominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,192	0,112	
2	0,186	0,121	
3	0,193	0,115	
4	0,191	0,118	
Srednja vrednost	0,191	0,117	

Tabela 5: Rezultati merenja opterećenja tegom od 6 kg biceps mišića dominantne ruke

6 kg		Dominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,327	0,152	

Tabela 6: Rezultati merenja opterećenja tegom od 1 kg biceps mišića nedominantne ruke

1 kg		Nedominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,122	0,076	
2	0,137	0,070	
3	0,140	0,074	
4	0,127	0,073	
Srednja vrednost	0,132	0,073	

Tabela 7: Rezultati merenja opterećenja tegom od 3,5 kg biceps mišića nedominantne ruke

3,5 kg		Nedominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,205	0,112	
2	0,189	0,100	
3	0,232	0,111	
4	0,208	0,106	
Srednja vrednost	0,209	0,107	

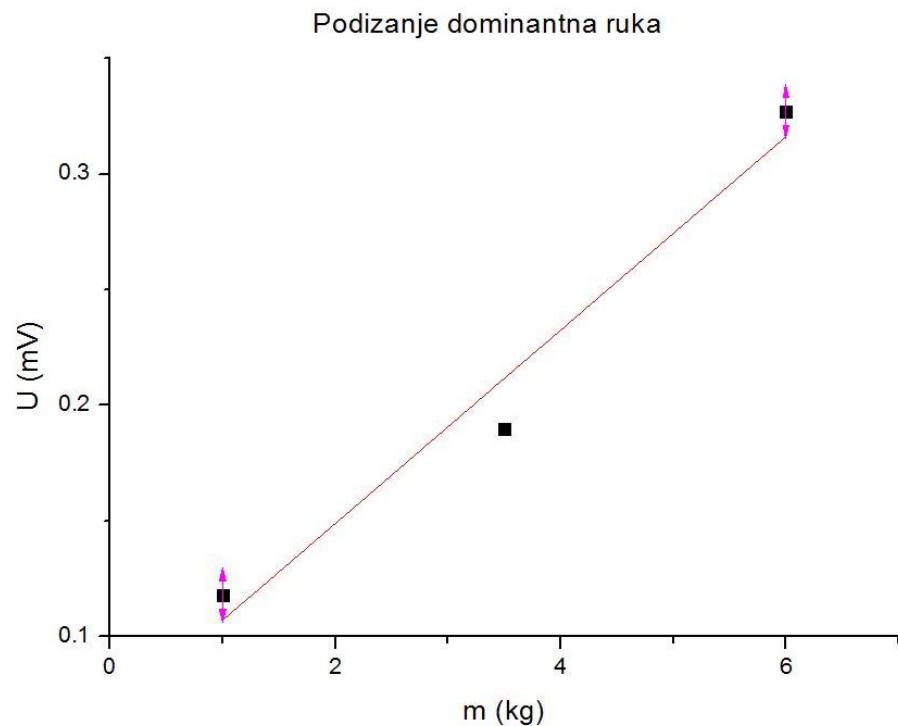
Tabela 8: Rezultati merenja opterećenja tegom od 6 kg biceps mišića nedominantne ruke

6 kg		Nedominantna ruka	
(mV)	Podizanje ruke	Spuštanje ruke	
1	0,282	0,189	

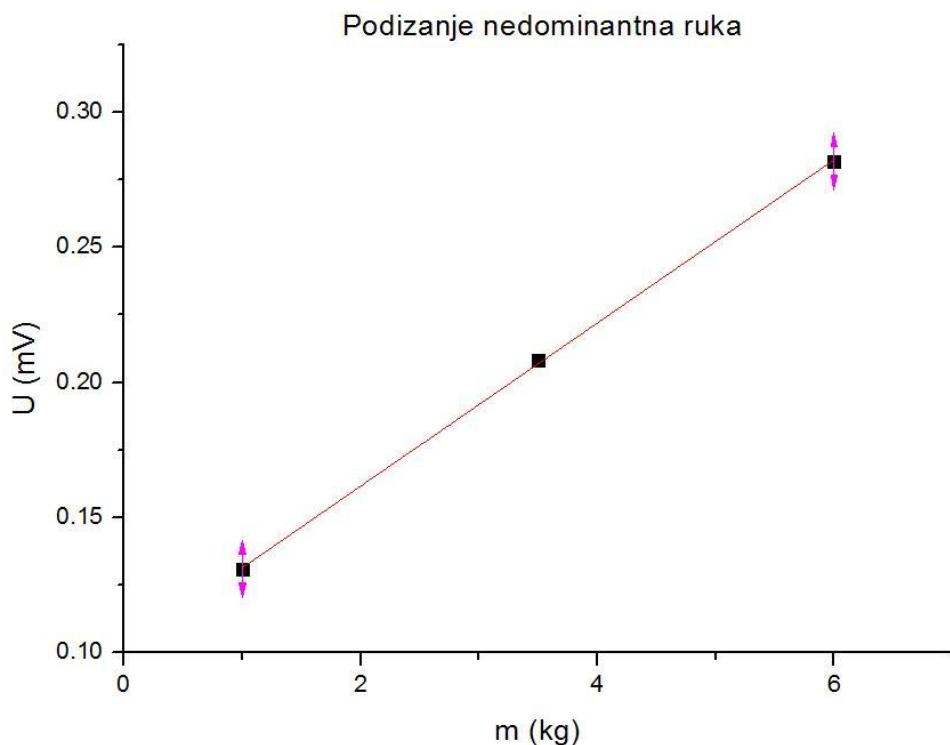
Za sva opterećenja osim za poslednje (masa tega 6 kg) izvršene su 4 serije merenja.

Samo jedno merenje je izvršeno sa opterećenjem tega od 6 kg zbog velikog zamora mišića.

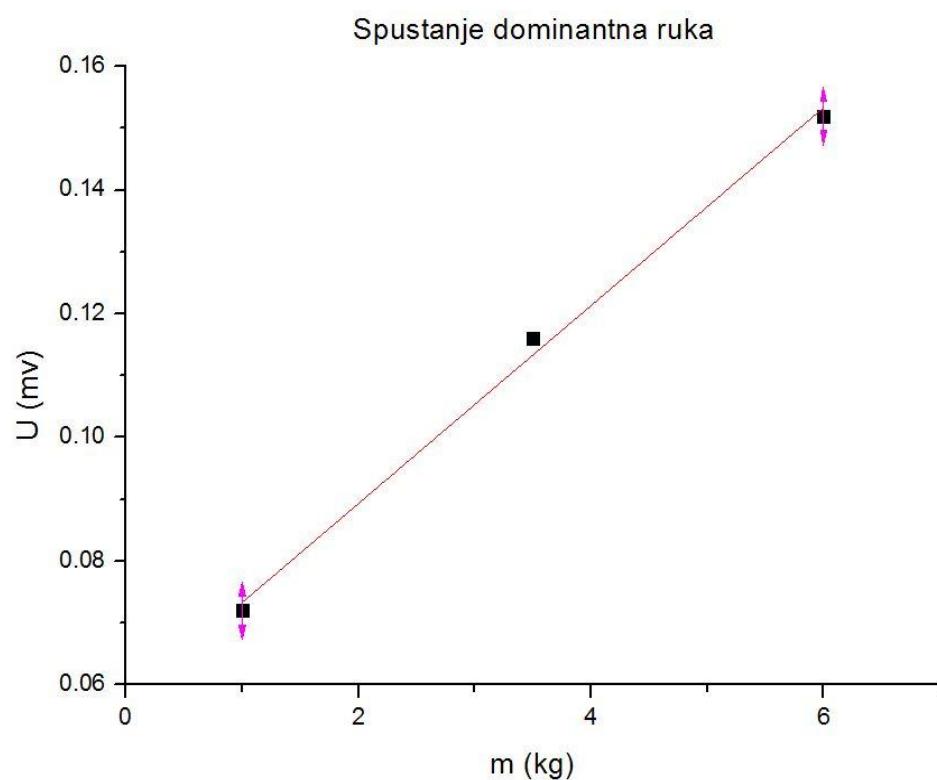
Da bi se što bolje video porast električne aktivnosti, posebno za podizanje posebno za sruštanje za obe ruke izracunate su srednje vrednosti i na sledećim grafikonima predstavljena je zavisnost tih vrednosti od mase tegova.



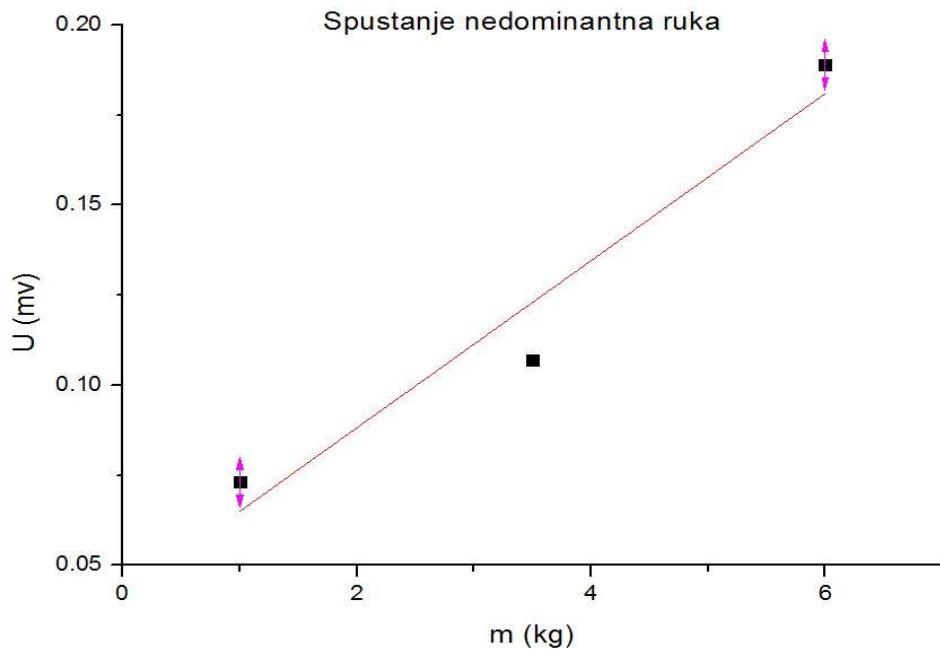
Slika 43. Porast električne aktivnosti prilikom podizanja dominantne ruke u zavisnosti od mase



Slika 44. Porast električne aktivnosti prilikom podizanja nedominantne ruke u zavisnosti od mase



Slika 45. Porast električne aktivnosti prilikom spuštanja dominantne ruke u zavisnosti od mase



Slika 46. Porast električne aktivnosti prilikom spuštanja dominantne ruke u zavisnosti od mase

Tabela 9: Srednje vrednosti električne aktivnosti za podizanje i spuštanje dominantene i nedominante ruke

Masa tegova (kg)	Dominantna ruka		Nedominantna ruka	
	Podizanje (mv)	Spustanje (mv)	Podizanje (mv)	Spustanje (mv)
1	0,118	0,072	0,132	0,073
3,5	0,191	0,117	0,209	0,107
6	0,327	0,152	0,282	0,189

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Do sada elektromiografija predstavlja najpraktičniju kliničku metodu za snimanje akcionog potencijala mišićnih ćelija i koristi se u raznim naučnim istraživanjima. U ovom radu su predstavljena elektromiografska merenja na Biopac sistemu i zaključak je da je Biopac sistem pogadan instrument za ova merenja. U medicini se elektromiografija koristi i pri proučavanju patoloških stanja npr. na ortopediji, hirurgiji, rehabilitaciji i u sportu ili u analizi pokreta. Biopac sistem se može koristiti i kod ovakvih merenja vezanih za patološka stanja. Za elektromiografiju se može reći i to da je ekonomski pristupačna metoda za koju nisu potrebne ni posebne prostorije ni previše skupi potrošni materijali, tako da se ova metoda sve više sreće i kao demonstraciona u raznim univerzitetskim labaratorijama gde studenti na praktičan način spoznaju razne zanimljivosti i tako proširuju svoje znanje.

Eksperimentalni ciljevi ovog rada bili su da se snimi i uporedi naponski EMG signal dobijan prilikom različitog opterećenja bicepsa leve i desne ruke kao i da se utvrdi funkcionalni odnos nedominantne i dominantne ruke u jačini stiska šake. Jasno se vidi razlika u dobijenim vrednostima mišićne aktivnosti dominantne i nedominantene ruke. Veće vrednosti mišićne aktivnosti izražene su kod dominantne-desne ruke što ukazuje na to da je ruka jača i da se više koristi.

7. LITERATURA

1. Gordon, D., Robertson, E., *Research Methods in Biomechanics*, Human Kinetics, 2004.
4. Echternach, John L., *Introduction to electromyography and nerve conduction testing*, SLACK Incorporated, 2003.
5. Keros, P. Temelji anatomije čovjeka. Zagreb: Naprijed; 1999
6. Arthur Guyton,Hall *Medicinska fiziologija*, 11th edition
7. Popović Dejan, Popović Mirjana, Janković Milica, *Biomedicinska merenja i instrumentacija*

Internet:

<http://www.drbezner.com>
<http://www.emgequipment.com>
<http://www.neurosigndirect.com>
<http://www.bidmc.org>
<http://www.pubmedcentral.nih.gov>
www.kif.hr

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Monografska dokumentacija

Tekstualni štampani materijal

Diplomski rad

Radmila Mišović

Dr Olivera Klisurić

Elektromiografija

srpski (latinica)

srpski/engleski

Srbija

Vojvodina

2016

Autorski reprint

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

FIZIKA

Medicinska Fizika

Elektromiografija na Biopac sistemu

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

nema

U radu su prikazani rezultati dobijeni prilikom različitog opterećenja bicepsa leve i desne ruke kao i funkcionalni odnos nedominantne i dominantne ruke u jačini stiska šake.

Predsednik:

Prof. dr Maja Stojanović

član:

Doc. dr Jovana Nikolov

član- mentor:

Dr Olivera Klisurić

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Type of record:

TR

Content code:

CC

Author:

AU

Mentor/comentor:

MN

Title:

TI

Language of text:

LT

Language of abstract:

LA

Country of publication:

CP

Locality of publication:

LP

Publication year:

PY

Publisher:

PU

Publication place:

PP

Physical description:

PD

Scientific field:

SF

Scientific discipline:

SD

Subject/ Key words:

SKW

UC

Holding data:

HD

Note:

N

Abstract:

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

28/9/2016

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Prof. dr Maja Stojanović

Member:

Doc. dr Jovana Nikolov

Membe-mentor:

Dr Olivera Klisurić