

Ime in priimek	Primož Pirih	
Naslov vaje	Utrujenje mišice	
Datum	28.11.1996	
Opombe	Originalne kimograme ima Petra Šavs	Pregledano

### Namen vaje

Ugotoviti, kako na mišico vpliva dolgotrajno in intenzivno delo, in primerjati razliko med utrujanjem mišice, katere celice lahko izvajajo glikolizo, in mišice, ki ji je bila glikoliza z metabolnim strupom blokirana.

### Material in metode

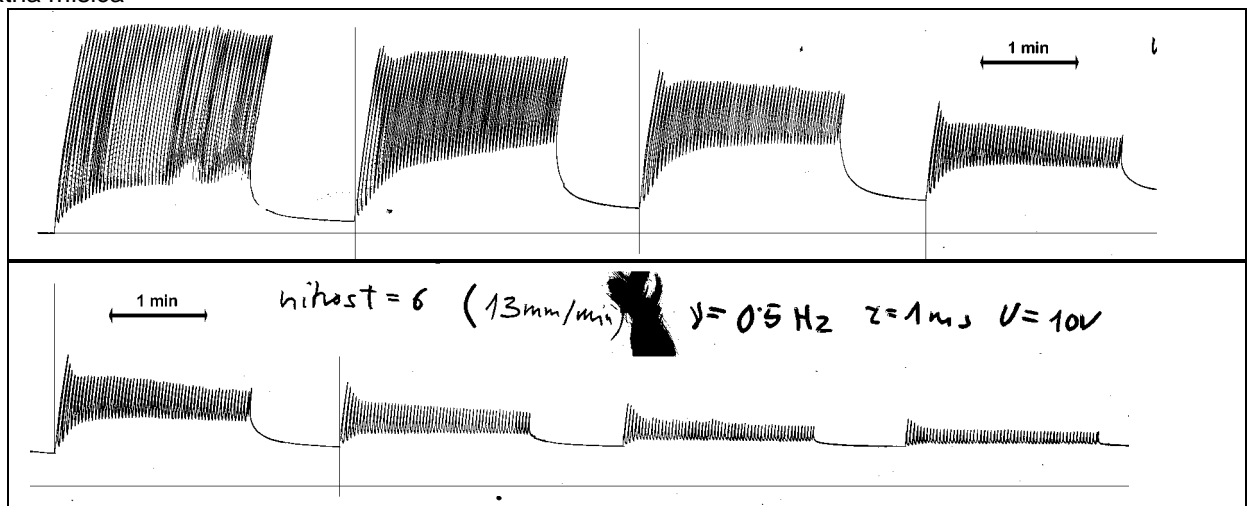
**Poskusna žival:** žaba (*Rana sp.*)

**Material:** kimograf, švedsko penkalo, stimulator in elektrode, mizica, serefina, fiziološka raztopina po Ringerju in fiziološko po Ringerju z dodatkom 0,05% monoiodacetata, nit, preparirno orodje, hrbtenjačna sonda

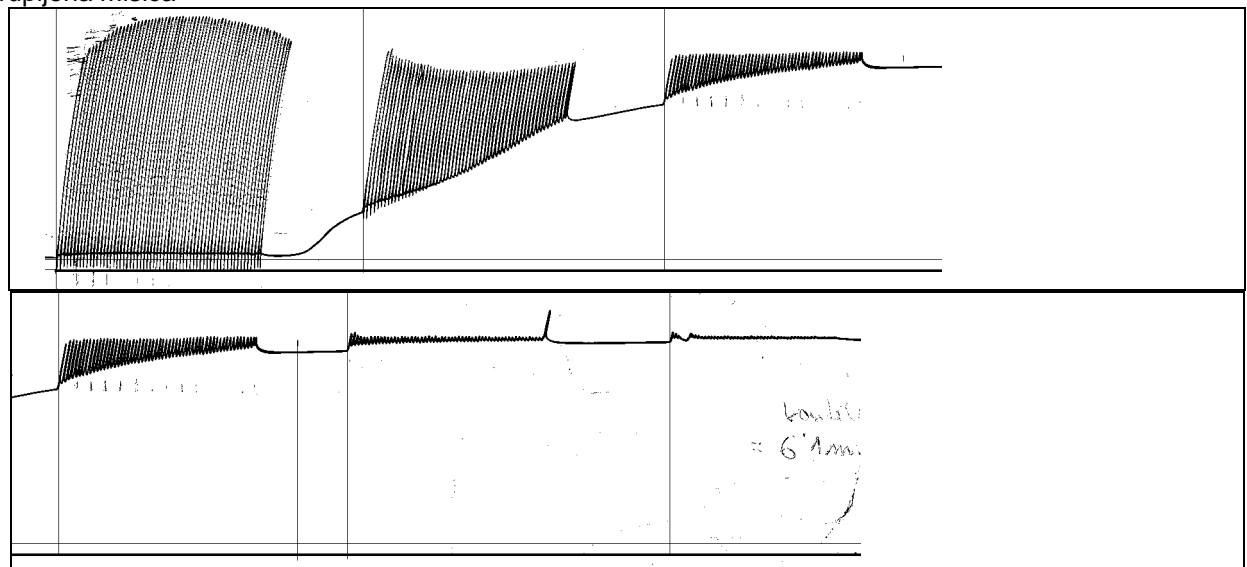
**Potek poskusa:** žabo smo z udarcem zlomili tilnik, jo dekapitali, sondirali hrbtenjačo in po navodilih izpreparirali obe krojaški mišici (*m.sartorius*), ju izmerili in ju dali v fiziološki kopeli. Mišico smo pripeli na mizico in v kito zataknili serefino, ki smo jo preko niti povezali s švedskim pisalom in jo dražili v triminutnih ciklih na naslednji način: dve minuti nadpražni dražljaj vsaki dve sekundi, ena minuta počitka. Med poskusom mišice nismo polivali s fiziološko raztopino. Drugo mišico smo pred začetkom poskusa za pet minut namočili v fiziološko raztopino z dodatkom metabolnega strupa monoiodacetata, meritve pa smo izvajali enako kot na intaktni mišici.

### Rezultati

Intaktna mišica

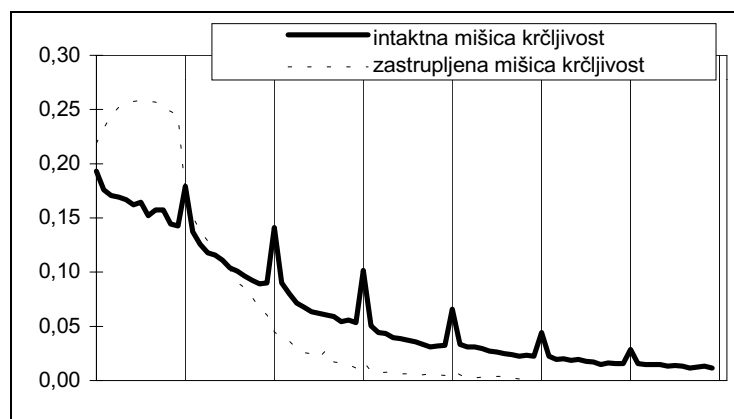


Zastrupljena mišica

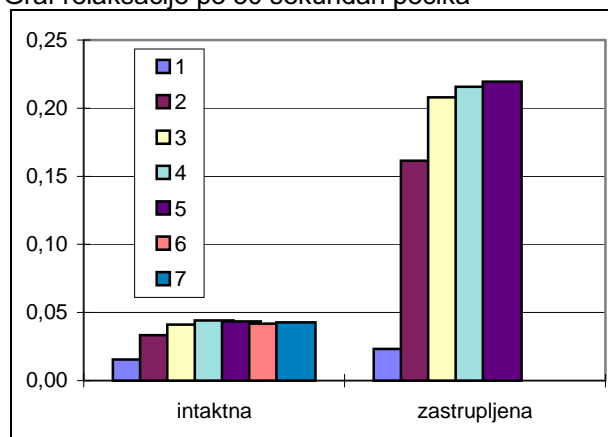


Dražljaji:  $U_{stim}=10V$ ,  $t_{stim}=1ms$ ,  $v_{stim}=0,5 Hz$   
 Vzvodi:  $l_1=200 mm$ ,  $l_2=45 mm$ , dolžina mišice  $d=29 mm$

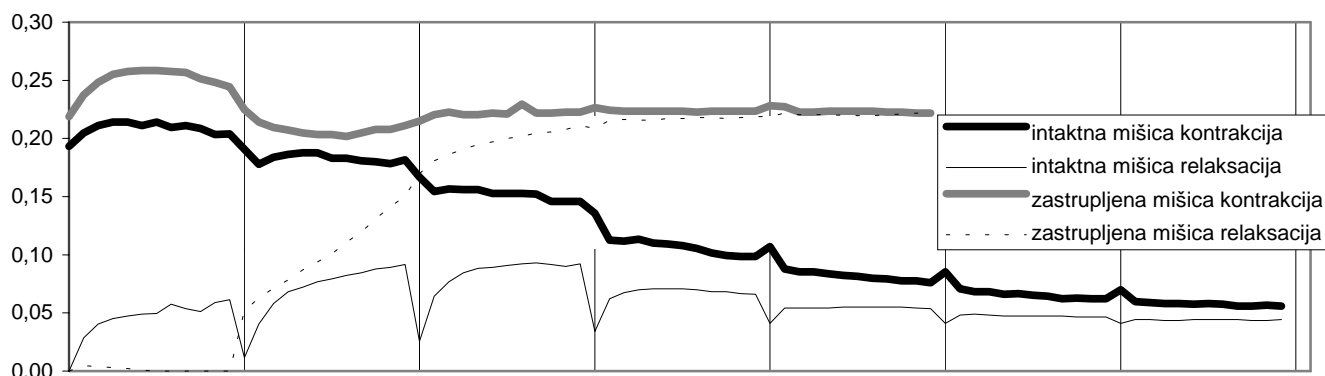
Graf relativne krčljivosti



Graf relaksacije po 30 sekundah počitka



V prvi graf so vrisani je kvocienti razlike v dolžini mišice (povzročene z enim dražljajem) in celotne dolžine mišice pred poskusom. Ti kvocienti kažejo, kolikšno je še območje spreminjanja dolžine mišice. Vertikalne črte označujejo cikle, vrednosti so odčitane vsakih 10 sekund ali 5 dražljajev. Pri intaktni mišici opazimo, da istopa prva krčitev po počitku, medtem ko tega pojava pri zastrupljeni mišici ni. Zastrupljena mišica se tudi mnogo prej utruje ter gre v času počitka v rigor (glej kimogram!).



Graf odgovora na dražljaj kaže, da zastrupljena mišica preide v hitrejši in intenzivnejši rigor kot intaktna. Na vseh ordinatnih oseh so prikazane relativne spremembe dolžine glede na dolžino relaksirane mišice.

## Diskusija

Ko mišica opravlja delo, celice porabljajo energijo, ki je shranjena v obliki energetsko bogatih molekul. Edini neposredni vir energije za bazalni metabolizem celic (ionske črpalke) in premikanje miofilamentov je cepitev fosfoanhidridne vezi v ATP. Koncentracija ATP v celici je nizka in bi zadoščala le za nekaj kontrakcij. Hitro uporabno energijo, ki omogoča veliko število zaporednih kontrakcij, zagotavlja ravnotežna reakcija prenosa fosfatne skupine iz fosfokreatina (pri nevretenčarjih fosfoarginina) na ATP. V času počitka se razgrajuje glikogen, ki v metabolnih poteh glikolize in oksidativne fosforilacije tvori presežek ATP in posledično povečuje koncentracija fosfokreatina/fosfoarginina. Z metabolnim strupom monojodacetatom, ki se ireverzibilno veže na aktivno mesto enega od encimov glikolize, prekinemo obe poti in popolnoma ustavimo tvorbo ATP. Edina preostala zaloga je fosfokreatin. Pri utrujanju se zgodi dvoje: v mišične celice zaradi odprtja napetostnih kanalčkov, pa tudi same osmoze (razmerje koncentracij je reda  $10^4$ ) vdirajo kalcijevi ioni, vendar pa se zaradi pomanjkanja ATP ne odstranjujejo več. Po drugi strani pa se vlakna ne morejo več niti relaksirati, ker spet primanjkuje ATP, ki je potreben za odmik miozinskih glav z aktinskih filamentov.

Z utrujanjem ima mišica venomer manjše območje krčljivosti (prostega hoda) in bolj in bolj prehaja v rigor. Razlika med intaktno in zastrupljeno mišico je predvsem v tem, da zastrupljena prehaja v rigor tudi med počitkom (glej kimogram), intaktna pa le med delom, obenem pa se močno razlikujeta tudi stopnji doseženega rigorja, ki je pri zastrupljeni mišici mnogo višja.

**Rigor mortis**, otrdelost kadavra nekaj ur po smrti, je posledica opisanih mehanizmov in je priljubljeno sredstvo patologov za ugotavljanje časa smrti.