

**МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА  
У БЕОГРАДУ**

**МАТУРСКИ РАД  
из биологије  
КОНТРАКЦИЈА СКЕЛЕТНИХ МИШИЋА**

**ментор:**

**Јелена Поповић**

**ученик :**

**Јелена Миливојевић 4б**

**Београд, мај, 2016.**

# САДРЖАЈ

<b>1. Увод</b> .....	1
<b>2. Грађа</b> .....	2
<b>2.1. Грађа попречно-пругасте мишићне ћелије</b> .....	2
2.1.1. Сарколема .....	2
2.1.2. Саркоплазма .....	2
2.1.3. Миофибриле .....	2
2.1.4. Саркотубуларни систем .....	6
<b>2.2. Грађа скелетног мишића</b> .....	8
<b>3. Механизам контракције</b> .....	9
3.1. Механизам упоредног хода .....	10
3.2. АТФ као извор енергије за контракцију .....	11
3.3. Акциони потенцијал мишића .....	11
3.4. Нервно-мишићна синапса .....	12
3.5. Моторна јединица .....	15
3.6. Релаксација мишића .....	16
<b>4. Врсте мишићних контракција</b> .....	17
<b>4.1. Типови мишићне контракције у односу на број импулса који производе контракцију</b> .....	17
4.1.1. Проста мишићна контракција .....	17
4.1.2. Сложена мишићна контракција .....	18
<b>4.2. Типови мишићне контракције у зависности од промене дужине и напетости мишића током контракције</b> .....	19
4.2.1. Изометријска мишићна контракција .....	19
4.2.2. Изотонична мишићна контракција .....	19
4.2.3. Ауксотонична контракција .....	20
<b>5. Мишићни замор</b> .....	20
<b>6. Закључак</b> .....	22
<b>7. Литература</b> .....	23

## 1. Увод

Људско тело има 660 скелетних мишића, 329 су парни, а 2 су непарна (дијафрагма и један мишић језика). Скелетни мишићи чине преко 40% телесне масе одраслог човека. Контрахују се под дејством импулса централног нервног система.

Мишићи трансформишу хемијску енергију АТФ-а директно у механичку и топлотну енергију. На тај начин развијају силу неопходну за покретање тела и његових делова, промену величине и облика органа укључујући одржавање свих виталних функција организма. Одржавају положај тела и равнотежу, подупиру мека ткива, омогућавају говор и доприносе одржавању телесне температуре.

Сви мишићи имају следеће особине:

- Надражљивост (ексцитабилност)-способност да приме и одговоре на драж<sup>1</sup>
- Контрактилност-способност да се скраћују
- Растегљивост-способност да се истежу без оштећења
- Еластичност-способност да се врате на почетну дужину и облик после завршене контракције

Мишићи су изграђени из мишићних ћелија. Код човека се број ћелија формира од четвртог до петог месеца живота и практично се не мења. Међутим, мења се њихов волумен растом и тренингом.



Слика 1. Скелетни мишићи човека (преузето из „Школски анатомски атлас“, Креативни центар, стр 25-26)

<sup>1</sup> Драж је било који вид енергије (механичке, светлосне, топлотне, хемијске) који делује на рецепторе и изазива неку промену у организму или његовом понашању

## 2.Грађа

### 2.1.Грађа попречно-пругасте мишићне ћелије

Основна морфолошка и функционална јединица скелетних мишића је **мишићно влакно** (ћелија). Мишићна влакана се најчешће протежу читавом дужином мишића.

#### 2.1.1.Сарколема

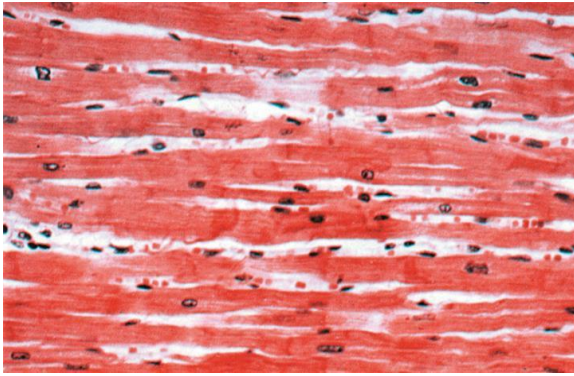
Свако мишићно влакно је обавијено овојницом која се назива сарколема. Она се састоји од праве мишићне мембране која се зове плазма мембрана и спољног танког слоја у коме се налазе танка колагена влакна. На завршетку мишићног влакна спољни слој сарколеме се спаја са тетивним влакном.

#### 2.1.2.Саркоплазма

Саркоплазма је цитоплазма мишићне ћелије. Највећи део цитоплазме чини вода, у њој су растворене органске и неорганске материје. Садржи велики број једара смештених периферно уз мембрану и паралелне миофибриле. Између миофибрила се налази велики број митохондрија које продукују АТФ потребан за контракцију и релаксацију мишића.

#### 2.1.3.Миофибриле

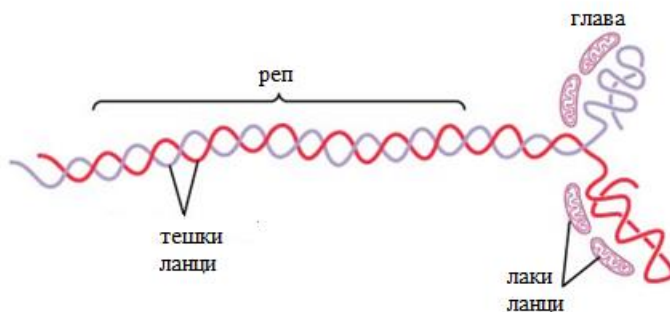
Миофибриле су контрактилни елементи мишића. Свако мишићно влакно има од неколико стотина до неколико хиљада миофибрила. Изграђене су од актинских танких и миозинских дебелих протеинских нити који приликом контракције клизе једни преко других. Правилан распоред тих нити условљава појаву попречних пруга када мишићно ткиво посматрамо под микроскопом. Црвена боја мишића потиче од протеина миоглобина који је сличан хемоглобину из крви. Као хемоглобин, и миоглобин везује кисеоник ( $O_2$ ) и на тај начин олакшава транспорт  $O_2$  од црвених крвних зрнаца до митохондрија мишића за време појачане метаболичке активности, или може да послужи као резервоар  $O_2$ .



Слика 2. Скелетни мишић под микроскопом (преузето са <http://proleksis.lzmk.hr/37530/>)

### Миозинске нити

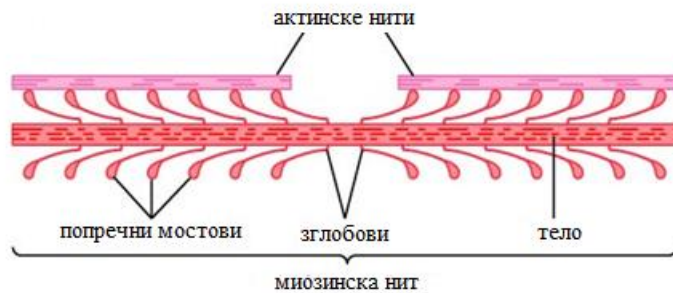
Миозинске нити се састоје од бројних миозинских молекула. Миозински молекули се састоје од шест полипептидних ланаца, два тешка и четири лака. Молекулска маса сваког тешког ланца је око двеста хиљада, а сваког лаког око двадесет хиљада. Два тешка ланца су обавијена један око другог у двоструки хеликс. На једном крају двоструког хеликса миозинских молекула налазе се две слободне главе положене једна уз другу, а на другом крају се налази реп. Лаки ланци су делови миозинских глава. У свакој глави се налазе по два ланца.



Слика 3. Грађа молекула миозина (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.75)

Миозинска нит се састоји од двеста или више миозинских молекула. Репови миозинских молекула су скупљени у снопиће и граде тело нити, а главе су постављене са стране. Многобројне главе висе у поље од тела и повезане су руком за тело нити. Рука и глава заједно граде попречне мостове. Попречни мостови су савитљиви на два

места. Једно је где се рука одваја од тела миозинске нити, а друго се налази на споју две главе са руком. На тај начин се глава примиче и одмиче од тела.



Слика 4.Грађа миозинске нити (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.75)

У средишту миозинске нити нема глава, изграђена је само од репова и тај део на нивоу сарколеме представља М-линију. Миозинска глава има АТФ-азну активност (разграђује АТФ на АДФ и фосфат при чему се ослобађа енергија). Миозин има двоструку улогу, структурну и ензимску.

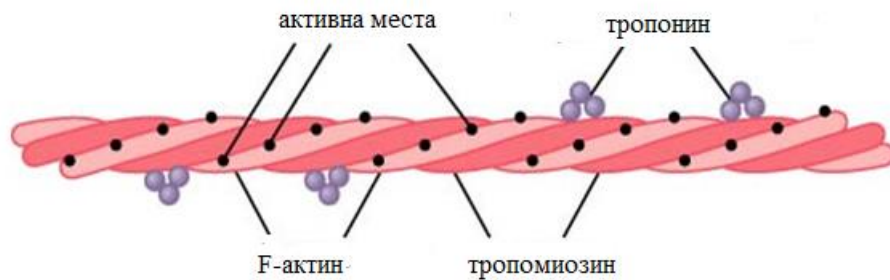
#### Актинске нити

Актинска нит је сложене грађе. Основу чине два ланца *F-aktina* спирално увијена у хеликс. Ти ланци су настали полимеризацијом глобуларних субјединица означених као *G-aktin*.

За актинску нит су везани помоћни протеини тропонин и тропозамин.

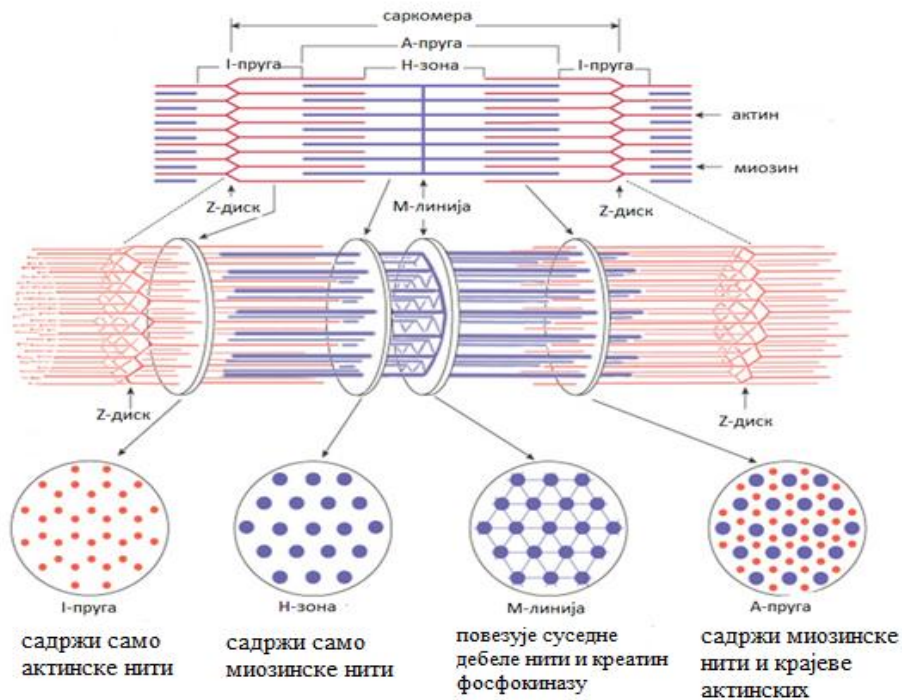
Тропомиозин је дуг и танак протеински молекул. Два ланца молекула тропомиозина су увијена око двоструког хеликса *F-aktina*. Молекули тропомиозина блокирају она места у молекулима *F-aktina* за које се везују пептидни мостови молекула миозина при формирању актомиозинског комплекса.

Тропонин је сферни протеин. То је комплекс три лабаво везана протеина. *Troponin I* инхибира интеракцију између актина и миозина, *troponin T* има афинитет према тропомиозину, а *troponin C* према јонима калцијума.



Слика 5.Грађа актинске нити (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.76)

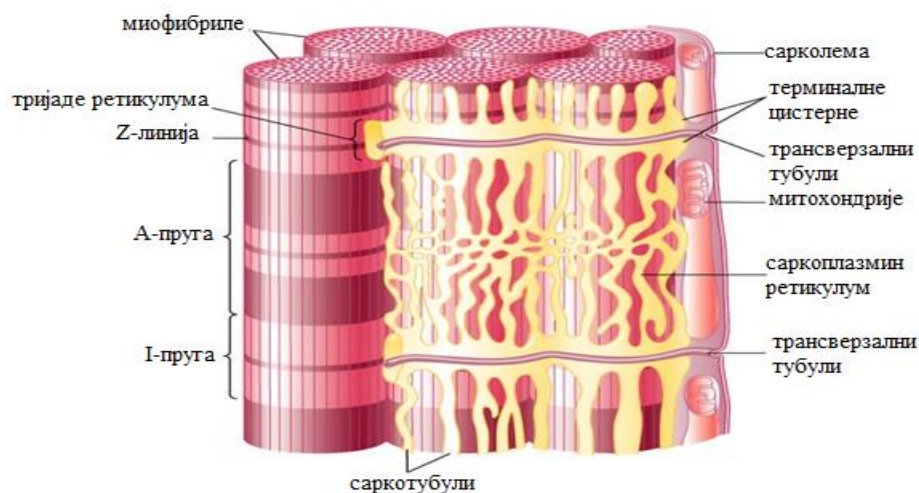
Актинске и миозинске нити делимично улазе једне између других па се у миофибрилама виде наизменично светле и тамне пруге. Светле пруге садрже само актинске нити и називају се I-пруге јер су изотропне за поларизовано светло (преламају светлост једноструко). Тамне пруге садрже миозинске нити и крајеве актинских. Те пруге називамо А-пруге јер су анизотропне за поларизовано светло (преламају светлост двоструко). На миозинским нитима виде се мали изданци које зовемо попречни мостови. Они се налазе дуж читаве површине миозинских нити осим у средини. Контракција настаје међусобним деловањем попречних мостова и актинских нити. Актинске нити су међусобно повезане у региону Z-диска (линија), који одваја **саркомере** (сегменте). Саркомере су основне јединице мишићне контракције које обезбеђују и контракцију целокупне ћелије. Z-линија се налази у средини светле I-пруге иза којих наизменично долазе тамне А-пруге. На средини сваке А-пруге налази се светлије обојена H-зона која садржи само миозинске нити. У средини сваке H-зоне уочава се тамно обојена M-линија која садржи миомезин. Он повезује суседне дебеле нити и ензим креатин фосфокиназу који учествује у одржавању адекватне концентрације АТФ-а.



Слика 6.Грађа сакромере (преузето са <http://docplayer.pl/>)

#### 2.1.4.Саркотубуларни систем

У мишићном влакну су присутне две мреже тубула: **трансферзални (Т) тубули** и **саркоплазматични ретикулум (СР)**.

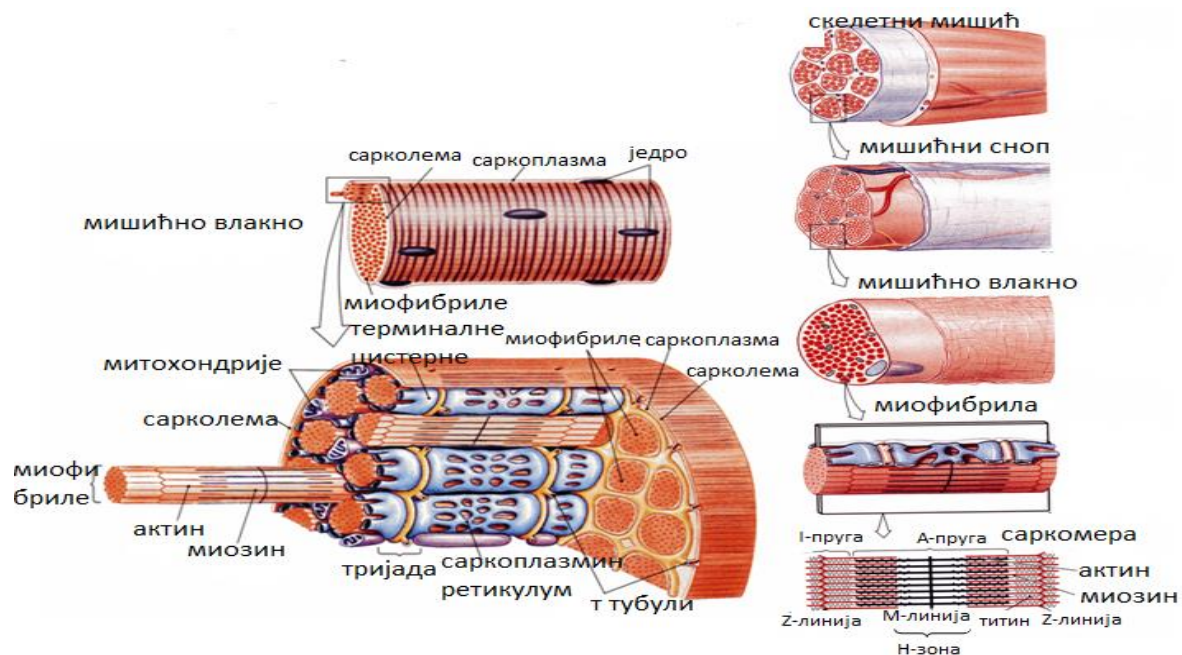


Слика 7.Мреже тубула (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр. 90)



T тубули представљају систем финих, разгранатих попречних цевчица које почињу на сарколеми и пружају се од једне до друге стране влакна. Могу се сматрати и увратима сарколеме. Цевчице се гранају и праве читаву мрежу T тубула која је испреплетана око сваке поједине миофибриле. Њихова улога је у провођењу нервног импулса.

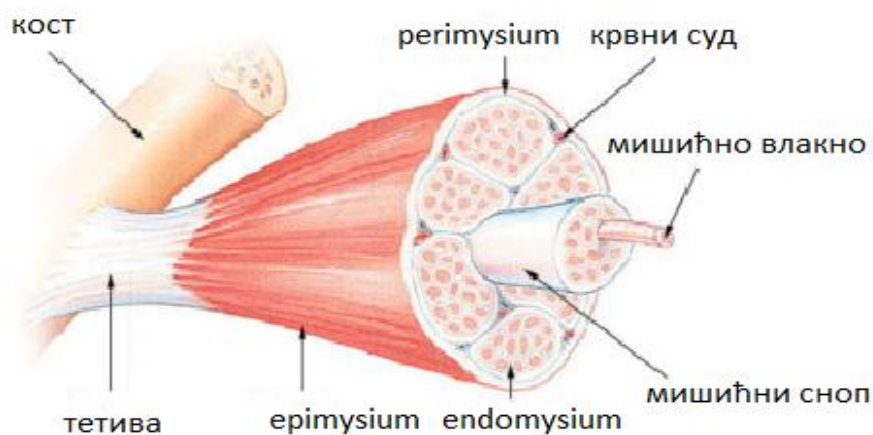
CP је систем уздужних цевчица које се пружају између миофибрила и паралелне су са њима. Крајеви ових тубула су проширени у терминалне цистерне које су у блиском контакту са T тубулама. Терминалне цистерне представљају резервоар јона калцијума који се ослобађа у саркоплазму по доласку нервног импулса. На трансверзалном пресеку саркотубулски систем садржи једну T тубулу и две терминалне цистерне. То се назива тријада. Оне су локализоване на граници I-A пруге, тако да свака саркомера има две тријаде.



Слика 8. Структура скелетног мишића (преузето са <http://www.slideshare.net/>)

## 2.2.Грађа скелетног мишића

Мишићна влакна образују снопове првог реда који су обавијени опном названом *endomysium*. Више снопова првог реда обавија опна која се назива *perimysium* граде сноп другог реда. Мишић се састоји из више снопова другог реда и обавијен је везивном опном *epimysium*. Мишић се везује за кост (за покосницу) продужецима везивних опни. Ове опне могу да формирају чврст сноп паралелних везивних влакана који се назива тетива. Дакле, тетива је везивни наставак мишића којим се он хвата за кости. Кроз ове омотаче пролазе крвни судови и нерви који се гранају и доспевају до сваког појединачног влакна.



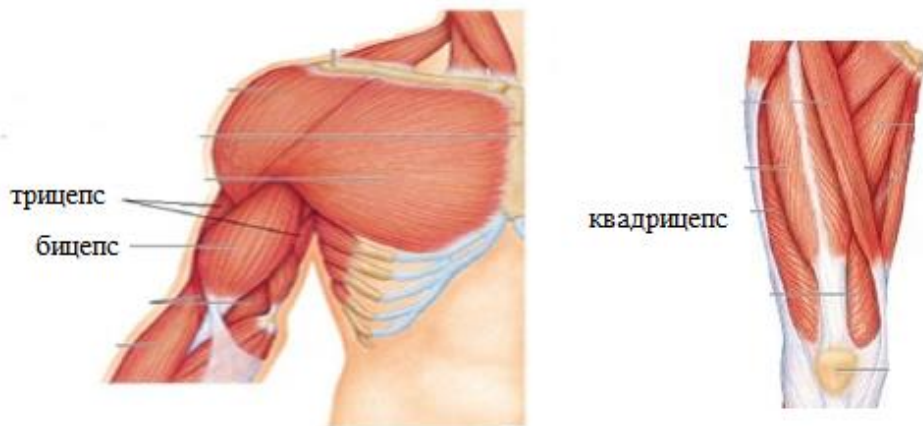
Слика 9. Грађа скелетног мишића (преузето из „Основи физиологије физичке активности“, С.Сузић и сарадници, стр 29)

На основу биохемијских и хистохемијских карактеристика постоје два типа мишићних влакана:

- Црвена мишићна влакна-спора влакна. Карактерише их црвена пребојеност, развијен систем крвних судова, већи број митохондрија у мишићној ћелији, споро се контрахују и имају велику отпорност на замор.
- Бела мишићна влакна-брза влакна. Карактерише их светлија пребојеност, слабије развијен систем крвних судова, смањен број митохондрија у мишићној ћелији, висок садржај гликогена, велики анаеробни капацитет, брзо се контрахују, лако се замарају.

Однос белих и црвених влакана у скелетним мишићима је генетски детерминисан и варира од мишића до мишића и од особе до особе.

Почетни део мишића се назива глава мишића, а део са највише мишићних влакана тј. место где је пресек мишића највећи се назива трбух. Неки мишићи имају више глава па се називају двоглави (*biceps*), троглави (*triceps*) или четвороглави (*quadriceps*).

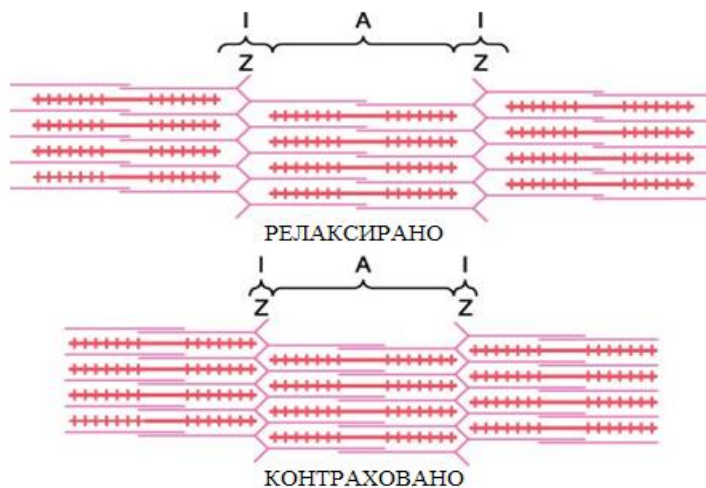


Слика 10. Мишићи (преузето са <http://www.slideshare.net/>)

### 3. Механизам контракције

Када мишић мирује *tropoin I* је чврсто везан за актин, а тропомиозин покрива места везивања миозинских главица за актин. Деполаризација мембране мишићне ћелије доводи до отварања калцијумових канала у мембранама СР. Ослобођен калцијум дифундује у саркоплазму и доспева до миофибрила, где се везује за *tropoin C* на актинским нитима. Сматра се да се приликом контракције за *tropoin C* везују четири јона калцијума. Када се калцијумови јони вежу за *tropoin C* тропонински комплекс мења своју конформацију, повлачи молекул тропомиозина и гура га дубоко у бразду између два актинска ланца. Тиме се откривају активна места на актину која одмах привуку главе попречних мостова на миозинској нити што омогућава контракцију.

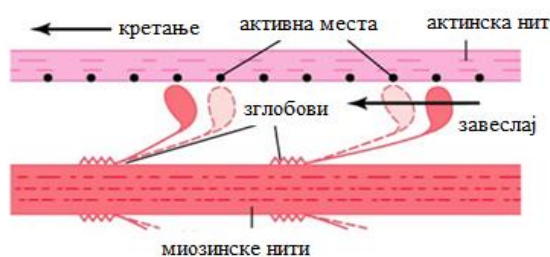
Контракtilни апарат чине наизменично постављене и делимично преклопљене актинске и миозинске нити. Контракција се заснива на скраћивању саркомере. Актинске и миозинске нити клизе једне преко других, тако да се подручје њиховог преклапања повећава, при чему се дужина саркомере и читавог мишића смањује. Дужина актина и миозина остаје непромењена, а Z-плоче се повлаче једна ка другој.



Слика 11.Релаксирана и контрахована миофибрила (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.75)

### 3.1.Механизам упоредног хода

Главе два попречна моста се везују за активна места на актинској нити, а затим се одвајају од њих. Везивањем главе за активно место се мењају молекуларне силе између главе и руке попречног моста. Због новог распореда сила глава се нагне према руци и за собом повуче актинску нит. Нагињање главе се зове завеслај. Одмах пошто се нагне, глава се аутоматски одвоји од активног места и врати у свој нормални положај. У том положају она се веже са новим следећим активним местом на актинској нити. После тога глава се поново нагне што узрокује нови завеслај па се актинска нит повлачи корак даље. Значи, главе попречних мостова се нагињу напред назад и корак по корак се крећу по актинској нити и повлаче крајеве тих нити према средишњем делу миозинске нити. Попречни мостови делују независно и што је више попречних мостова у одређено време у додиру са актинском нити већа је сила контракције.



Слика 12.Механизам упоредног хода (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.77)

### 3.2. АТР као извор енергије за контракцију

Пре него што започне контракција главе попречних мостова се вежу са АТР-ом. Молекул АТР-а се разгради на ADP и неоргански фосфат и они остају везани за главу. Тада се глава усправља према актинској нити али се још увек не везује. Калцијумови јони ослобађају активна места на актинској нити па се миозинске главе везују за њих. Енергија којом се активира завеслај се добија разградњом АТР-а. Када се глава попречног моста нагне отпушта ADP и неоргански фосфат. На место отпуштеног ADP везује се нов молекул АТР, који одваја главу од активног места на актинској нити. Када се глава одвоји разгради се и нови молекул АТР-а, а ново добијена енергија везује главу за ново активно место чиме се завршава завеслај. У сваком завеслају се потроше два молекула АТР-а. Овај циклус се понавља све док миозинске главе не стигну до Z-плоче.

У мишићној ћелији енергија АТР-а је потребна за циклусе попречних мостова, преузимање калцијума у CP, рад пумпе за  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  пумпе<sup>2</sup> и за основне ћелијске процесе. Извори АТР-а у скелетном мишићу су гликоген депонован у ћелији, глукоза и слободне масне киселине из крви. За брзу ресинтезу АТР-а служи креатинфосфат који у присуству јона магнезијума и ензима креатин киназе предаје фосфатну групу молекулу ADP-а. На тај начин се ресинтетише АТР, а од креатин фосфата настаје креатин.

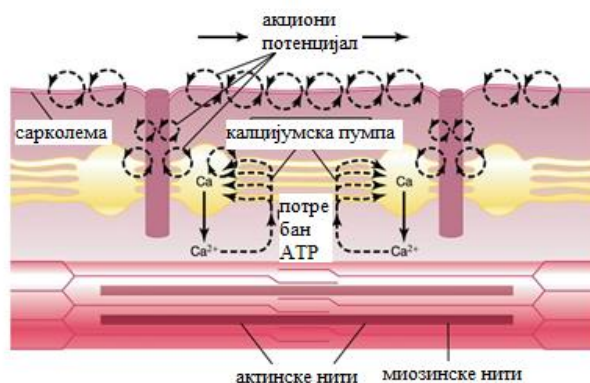
### 3.3. Акциони потенцијал мишића

Скелетна мишићна влакна добијају надражаје из дебелих мијелинских нервних влакана. Веза између мијелинских нервних влакана и мишићне ћелије се назива нервно мишићна синапса. У сваком мишићном влакну, осим у 2% случајева, постоји само једна синапса смештена отприлике у средини мишићног влакна, па се акциони потенцијал шири од средине влакана према крајевима. Такво ширење акционог потенцијала омогућује да се све саркомере контрахују скоро истовремено. У влакнима

---

<sup>2</sup>  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  пумпа има главну улогу у стварању мембранског потенцијала мишићне ћелије

скелетног мишића потенцијал мембране<sup>3</sup> у мировању износи -60 до -90mV исто као у дебелим мијелинским влакнима. Акциони потенцијал траје 1-5ms што је 5 пута брже него у дебелим мијелинским влакнима. Брзина провођења импулса је 3-8 m/s што је 1/3 брзине у дебелим мијелинским влакнима. Да би контракција започела акциони потенцијал мора допрети до сваке миофibrиле. То се постиже преносом акционог потенцијала дуж Т тубула до терминалних цистерни. Он узрокује брзо отварање великог броја калцијумових канала у мембранама цистерни и у каналима саркоплазминог ретикулума. Канали остају отворени неколико милисекунди и јони калцијума се тада отпуштају у саркоплазму. Везују се за *troponin C* и већ описаним механизмом побуђују мишићну контракцију.



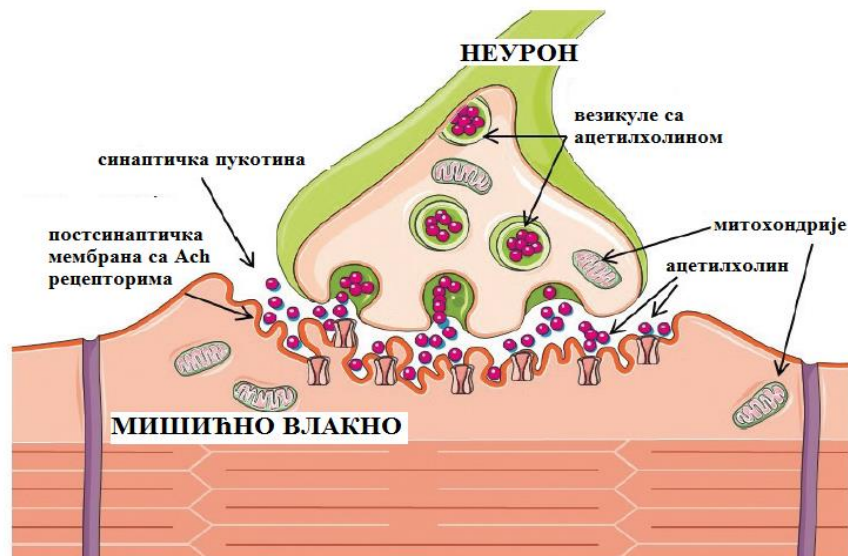
Слика 13.Повезаност надражаја и контракције мишића (преузето из „Textbook of medical physiology“, Guyton G.Arthur, стр.91)

### 3.4.Нервно-мишићна синапса

Скелетна мишићна влакна инервисана су дебелим мијелинским нервним влакнима која потичу од предњих рогова кичмене мождине и то су  $\alpha$  мотонеурони. Свако нервно влакно се грана и инервише до неколико хиљада мишићних влакана. Моторна плоча (нервно мишићна синапса) је функционални контакт аксона моторног неурона и мишићне ћелије скелетних мишића. Преко ове специфичне структуре (хемијске синапсе) преноси се нервни импулс са  $\alpha$  мотонеурона на мишић. Нервно-мишићну

<sup>3</sup>Потенцијал мембране је разлика у наелектрисању са унутрашње и спољашње стране ћелијске мембране због распореда Na, K и Cl јона

синапсу чине пресинаптичка мембрана завршног дела моторног неурона, синаптичка пукотина и постсинаптичка мембрана скелетног мишића.



Слика 14. Неуромишићна синапса (преузето из „Основи физиологије физичке активности“, С. Сузић и сарадници, стр. 33)

Потенцијал мировања је електрични напон који постоји између унутрашње (негативно наелектрисане) и спољашње (позитивно наелектрисане) стране мембране нервне или мишићне ћелије у стању мировања, односно пре њиховог надраживања. Са унутрашње стране ћелијске мембране је већа концентрација јона  $K^+$  него у ванћелијској средини, а концентрација јона  $Na^+$  је већа у ванћелијској средини него у ћелији. У ћелијској мембрани се налазе канали за  $Na^+$  и  $K^+$  јоне. Помоћу њих је омогућен транспорт ових јона. Већи је број канала за  $K^+$  јоне па ће  $K^+$  јони излазити из ћелије, док је релативно мали број отворених канала за  $Na^+$  јоне па се ови јони акумулирају на спољашњој страни мембране стварајући ту позитивно наелектрисање. Када се ћелије надраже потенцијал мировања постаје акциони потенцијал-нервни импулс. Услед дејства дражи, мембрана мења пропустљивост. Када се измени пропустљивост мембране, онда  $Na^+$  из спољашње средине продире у ћелију, услед чега се мења електрично стање мембране па она постаје споља негативна. То се назива деполаризација мембране. У организму сваки процес раздражења се заснива на стварању акционог потенцијала, тј. на процесу деполаризације. Нервни импулс је у ствари талас акционог потенцијала тј. деполаризације која се шири дуж нерва.

Редослед догађаја у току преноса нервног импулса је следећи:

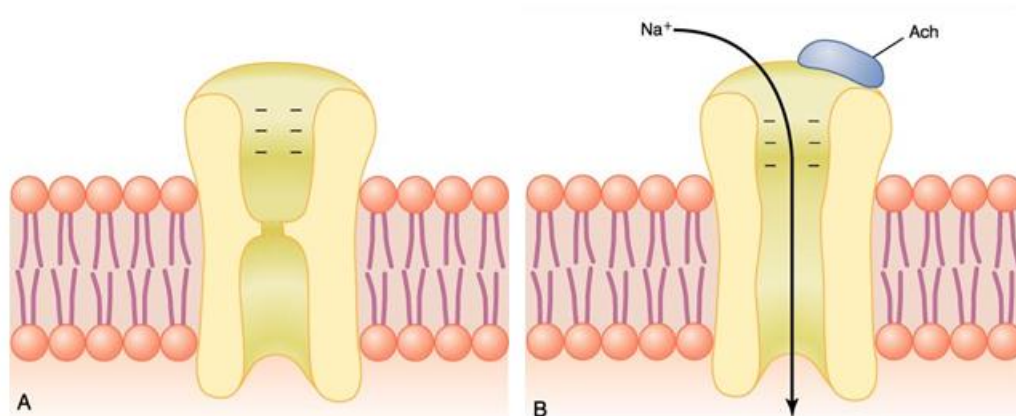
- Долазак акционог потенцијала  $\alpha$  мотонеуроном до пресинаптичких нервних завршетака
- Деполаризација мембране пресинаптичког завршетка доводи до отварања волтажно<sup>4</sup> зависних  $\text{Ca}^{2+}$  канала и калцијум улази из области синапсе у област пресинапсе. Пресинаптичку област чини завршетак моторног неурона у коме су смештене везикуле са неуротрансмитером ацетилхолином (ACh). Синаптичка област је простор између завршетка моторног неурона и мембране мишићног влакна.
- Калцијум покреће низ биохемијских догађаја током којих се везикуле са ACh приближавају пресинаптичкој мембрани, спајају са њом и отпуштају садржај у синаптичку пукотину.
- ACh дифундује кроз синаптичку област и на мембрани мишићне ћелије се везује за никотинске рецепторе<sup>5</sup> доводећи до пролазног повећања пропустљивости постсинаптичке мембране за јоне  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  који лако пролазе у смеру свог концентрационог градијента
- Највише  $\text{Na}^+$  јона пролази кроз канал јер их има највише, а привлачи их негативни потенцијал на унутрашњој страни мишићне ћелије
- Улазак  $\text{Na}^+$  мења потенцијал моторне плоче
- Потенцијал моторне плоче доводи до окидања акционог потенцијала на ћелијској мембрани и ширење импулса сарколемом и дуж Т тубула
- Ослобађају се јони калцијума из CP и везују се за *troponin C*, чиме започиње механизам мишићне контракције

---

<sup>4</sup> Волтажно зависни канали су јонски канали, који се отварају при промени мембранског потенцијала

<sup>5</sup> Никотински рецептори су јонски канали смештени у ћелијама скелетних мишића и нервним ћелијама





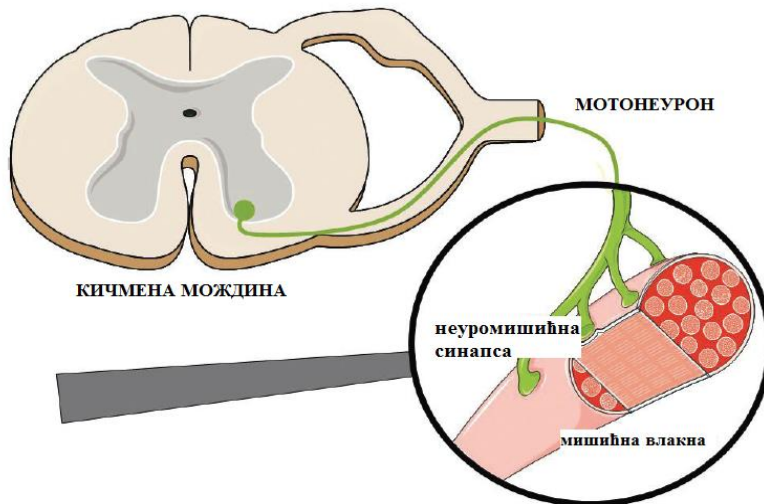
Слика 15. Јонски канали (преузето из „Медицинска физиологија“, Guyton G.Arthur, стр.87)

Ach се у синаптичкој области разграђује на ацетат и холин дејством ензима ацетилхолинестеразе. Ацетат и холин се враћају у пресинаптичку област где се ресинтетише Ach дејством холинацетилтрансферазе и пакује у синаптичке везикуле. У том процесу се користи енергија коју даје АТФ.

### 3.5. Моторна јединица

Скуп свих мишићних ћелија које инервише један αмотонеурон се назива моторна јединица. Моторна јединица представља функционалну јединицу моторног система. Сваки мотонеурон инервише само једну врсту мишићних влакана. Споре моторне јединице су састављене углавном од спорих црвених влакана. Брзе моторне јединице су састављене од брзих белих мишићних влакана. Према броју мишићних влакана које инервише један мотонеурон разликујемо мале, са неколико мишићних влакана (на пример мишићи покретачи очних јабучица) и велике моторне јединице које садрже неколико стотина до хиљада мишићних влакана (на пример палац шаке који садржи око 120 моторних јединица са око 41000 мишићних влакана). Што је моторна јединица мања покрети које она обавља су бржи и прецизнији. Моторна јединица се понаша по закону „све или ништа“ што значи да се сва мишићна влакна по доласку надражаја (акционог потенцијала) контрахују истовремено и максимално. Уколико надражај није

ефикасан, што значи да није достигнут праг надражаја<sup>6</sup>, мишићно влакно неће реаговати, а ако је ефикасан мишићно влакно реагује максималном контракцијом и даље појачавање надражаја не појачава контракцију.



Слика 16. Моторна јединица (преузето из „Основи физиологије физичке активности“, С.Сузић и сарадници, стр. 33)

### 3.6. Релаксација мишића

Мишићна контракција ће трајати све док је концентрација јона калцијума у саркоплазми висока. У зидовима саркоплазминог ретикулума се налази  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$  АТФ-азна пумпа која активним транспортом враћа јоне калцијума из саркоплазме у терминалне цистерне. Тада почиње процес релаксације мишића. Разлаже се комплекс актомиозина на актин и миозин. *Troponin C* се одваја од јона калцијума и блокирају се активна места на молекулима *F-aktina* тропонин-тропозаминским комплексом. Молекули АТФ-а се ресинтетишу од АДФ-а и креатинфосфата и поново се везују за молекуле миозина где остају све до следећег процеса деполаризације.

<sup>6</sup> Праг дражи је најнижа вредност јачине дражи на коју реагује мишићно влакно

## 4.Врсте мишићних контракција

Мишићи никада нису сасвим опуштени, чак ни када се налазе у стању мировања или релаксације. Овај основни степен контракције називамо мишићни тонус, тензија или напетост. Тонус омогућава да је мишић увек спреман за контракцију. Када се мишићне ћелије контрахују тонус се повећава.

Мишићни тонус може бити:

- пасивни тонус-последича еластичних својстава самог мишића
- активни тонус-развија се контракцијом

Укупни мишићни тонус је једнак збиру активног и пасивног.

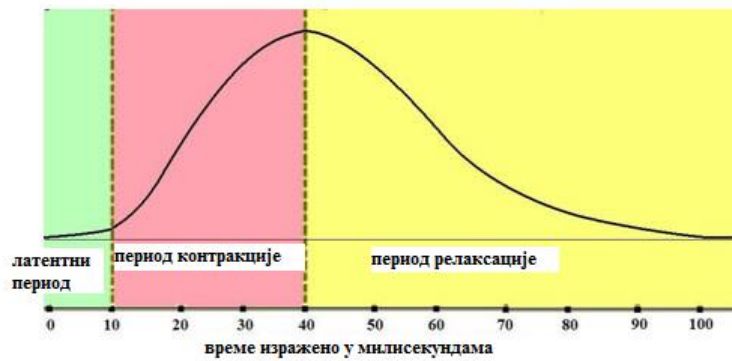
### 4.1.Типови мишићне контракције у односу на број импулса који производе контракцију

У односу на број импулса који су произвели контракцију разликујемо просту и сложену контракцију

#### 4.1.1. Проста мишићна контракција

Проста мишићна контракција (трзај) је контракција која се добија у експерименталним условима тј. када се пренесе само један импулс на мишићно влакно. Она просечно траје 100ms и обухвата три периода:

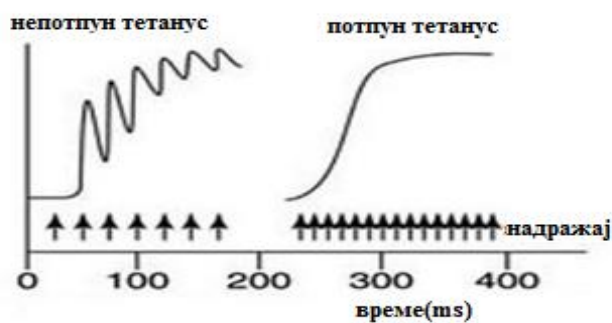
- Латентни период- ширење акционог потенцијала дуж нервног влакна преко моторне плоче на мишићно влакно и ослобађање  $Ca^{2+}$  из CP , траје просечно 10ms
- Период контракције- клизање актинских и миозинских нити и скраћивање мишића, траје просечно 30ms
- Период релаксације-враћање актинских и миозинских нити на првобитна места и враћање  $Ca^{2+}$  у CP, траје просечно 60ms



Слика 17. Проста мишићна контракција (преузето са „ <http://zdravlje.eu/> “)

#### 4.1.2. Сложена мишићна контракција

Сложена мишићна контракција (тетанус) настаје као резултат низа импулса који следе један другог у временском размаку краћем од трајања прости мишићне контракције. Мишић не успева да се релаксира већ је стално напет, због нових импулса који непрекидно придолазе. Тетанус може бити потпун и непотпун.



Слика 18. Сложена мишићна контракција (преузето са „ <http://zdravlje.eu/> “)

Непотпун тетанус настаје ако се фреквенција стимулације повећава. Тада се напетост повећава до максимума, а периоди релаксације су кратки.

Код потпуног тетануса фреквенција стимулације је толико висока да фаза релаксације не постоји, а напетост је на максималном нивоу.

## 4.2. Типови мишићне контракције у зависности од промене дужине и напетости мишића током контракције

У зависности од промене дужине и напетости мишића током контракције разликују се три типа мишићне контракције изометријска, изотоничка и ауксотонична.

### 4.2.1. Изометријска мишићна контракција

Настаје у условима када се дужина мишића током контракције не смањује, нема покрета у зглобу, али се повећава напетост мишића. Назива се и статичка контракција. Јавља се при покушају да се подигне предмет чију тежину не можемо да савладамо и при стајању. Не врши се рад, не испољава се снага, нема покрета, а производи се сила на одређено време.



Слика 19. Изометријска мишићна контракција (преузето са „ <http://zdravlje.eu/> “)

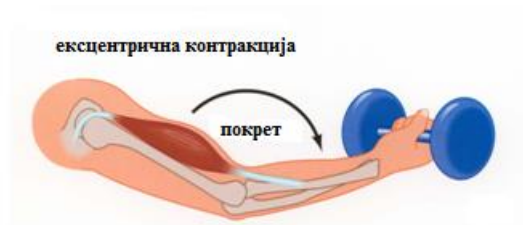
### 4.2.2. Изотонична мишићна контракција

Настаје током скраћивања мишића тј. дужина мишића се смањује али му се напетост не мења. Почетак сваке мишићне контракције се одвија по типу изометријске контракције све док се не развије снага довољна да савлада оптерећење. Потом се контракција наставља као изотонична. Долази до покрета у зглобу, угао зглоба се смањује, и овај тип контракције се назива концентрична контракција. То је динамичка контракција. Јавља се при дизању терета.



Слика 20. Концентрична мишићна контракција (преузето са „ <http://zdravlje.eu/> “)

Мишић може да произведе силу и током издуживања, при томе се повећава угао зглоба. То је ексцентрична контракција. Представља динамичку контракцију. Пример овог типа контракције је повећање угла лакатног зглоба када се подлактица оптерети тешким предметом чију тежину не могу да савладају мишићи подлактице.



Слика 21. Ексцентрична мишићна контракција (преузето са „ <http://zdravlje.eu/> “)

#### 4.2.3. Ауксотонична контракција

Јавља се у реалним физиолошким условима активности мишића и представља мешавину изометријске и изотоничне контракције. При овој контракцији се мења и дужина и напон мишића.

## 5. Мишићни замор

Дуготрајна и снажна мишићна контракција доводи до стања мишићног замора. То је физиолошка појава када мишић не може више да се контрахује. Узрок замора може бити у самом мишићу односно контрактилном механизму и то се назива периферни замор. Ако је узрок у нервном систему као последица измењене функције неурона назива се централни замор.

Неки од узрока периферног замора могу бити немогућност изласка и везивања јона калцијума, пражњење енергетских складишта или накупљање крајњих продуката метаболизма (лактати, ADP, слободни радикали).

Узроци централног замора могу бити недостатак мотивације (психолошки фактор) или смањено слање сигнала у моторне јединице. Прецизни механизми централног замора нису у потпуности разјашњени.

Замор мишића доводи до продужавања пасивне фазе мишићне контракције и на крају до трајне укочености мишића (ригор мишића). Ова појава се тумачи исцрпљивањем резерви аденозин-три-фосфата. Да би мишић ушао у релаксацију потребна му је мала количина енергије. Када умор престане ствара се нова количина аденозин-три-фосфата и мишић се постепено релаксира.

## 6.Закључак

Када мишић изгуби своју инервацију и више не прима контрактилне сигнале одмах почиње процес атрофије. Смањује се попречни пресек мишићног влакна и мишићна снага, а повећава се осетљивост на замор. После два месеца започињу и дегенеративне промене у мишићним влакнима. Ако се у току следећа три месеца поново успостави инервација мишића обично се поновно успоставља и његова пуна функција. После тог периода могућност функционалног опоравка постаје све мања, а после годину дана не постоји могућност да се функција врати. Тада већина мишићних влакана потпуно пропада, а замењује их везивно и масно ткиво



## 7. Литература

1. Анђелковић Иван, Стајковац Александар, Илић Александар, „Анатомија и физиологија“, Завод за уџбенике, Београд, 2013
2. Guyton C. Arthur, John E. Hall, „Textbook of medical physiology“—11th ed, International Edition, Elsevier Saunders, Philadelphia, 2006
3. Guyton C. Arthur, John E. Hall, „Медицинска физиологија“, 11 издање, Савремена администрација, Београд, 2008
4. Николић Божидар, „Основи физиологије човека“, 3 издање, Медицинска књига, Београд, 1977
5. Сузић Славица и сарадници, „Основи физиологије физичке активности“, 1 издање, Висока спортска здравствена школа, Београд, 2013