

## 24-30: MUSKULUAREN FISILOGIA OROKORRA

### 1. Sarrera

Organismoak kanpo eta barne ingurunearekin dituen elkarrekintza nagusien arduraduna da muskulu ehuna. Komunikazioan ezinbestekoak dira, odola ponpatzeko, arnasketarako, liseriketarako, erauzketarako edo irazketarako erabiltzen dira.

Muskuluaren uzkurdura edo lasaitzea prozesu zelular koordinatu bat da, uzkurdura gerta dadin miozito guztiak uzkurdu beharko delarik. Funtzio muskularra ulertzeko uzkurdura muskularra azaltzen duten prozesuak ezagutu beharko ditugu. Motoneurona edo neurona eragileen bitartez gertatuko da miozitoen kitzikapena.

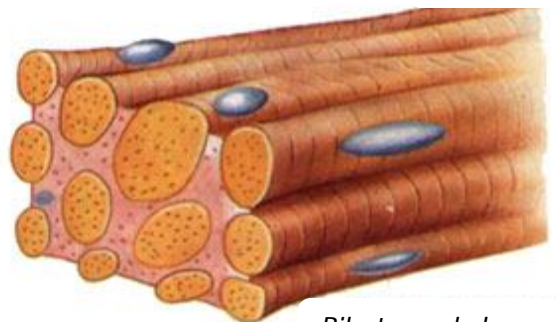
*Nola gertatzen da kitzikapena?:*

- Motoneurona eta zuntz muskularraren artean sinapsia eman dadin **azetil kolina** askatzen da, hartzaile ionotropiko bati lotuko dena.
- $[Na^+]$  igo egingo da kanalak irekitzean, potentzial lokal bat eraginez zuntz muskularraren barnealdean
- Atari potentzialera iristean ekintza potentziala sortuko da,  $Ca^{+2}$  askapena eraginez zuntz muskularraren barnealdean EEtik.  $Ca^{+2}$  zuntz muskularraren mintzean pilatzean miozitoaren uzkurtzea gertatuko da.

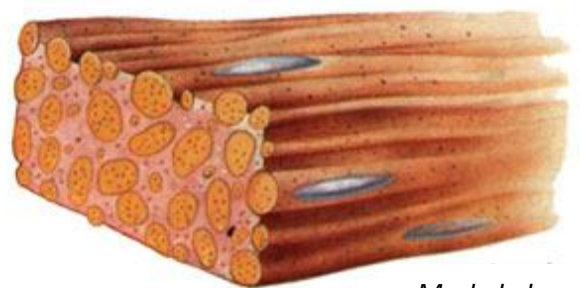
### MUSKULU MOTAK



*Muskulu eskeletikoa*



*Bihotz muskulua*



*Muskulu leuna*

### 2. Muskulu ehuna

Mota ezberdinak, 3 mota:

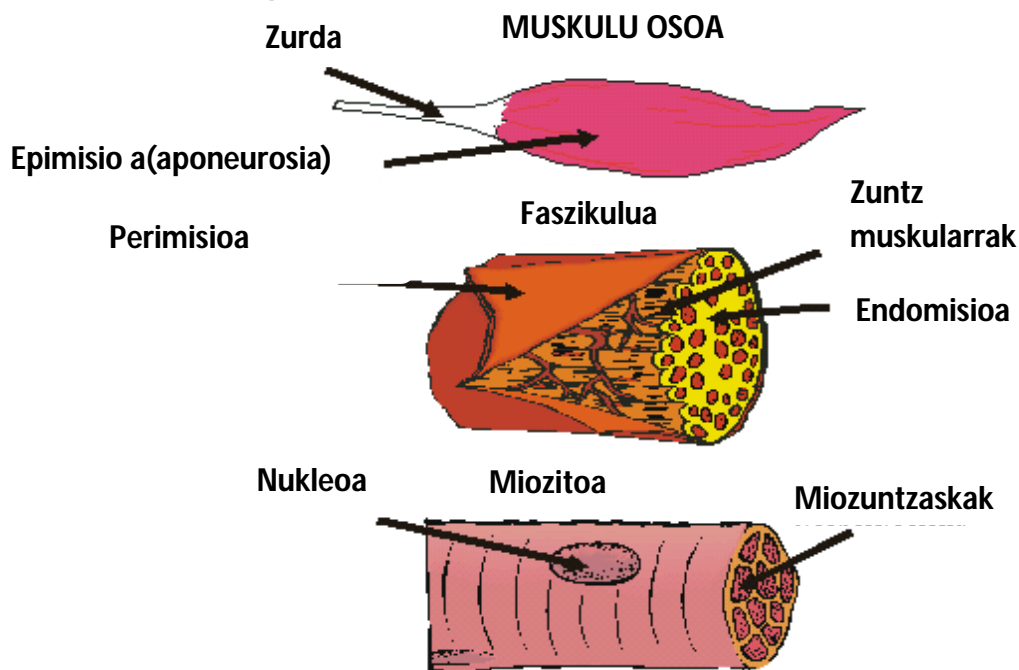
- **Muskulu eskeletikoa:** mota hau hezurak mugitzearen arduraduna da eta bere mugimendua borondatezkoa da. Itxura ildaskatua dauka eta bere miozitoak zuntz luzeak eta nukleo anitzekoak dira.
- **Muskulu leuna:** gorputzeko errail hutsetan aurkitzen da, birika eta liseri aparatuan. Errail huts hauen diametro aldaketa

eragitea da bere funtzioa, ez dira borondatezkoak, maskuriko esfinterra izan ezik. Itxura leuna du eta nukleo bakarreko zelulak ditu.

- **Bihotz muskulua:** Bihotzean bakarrik aurkitzen da eta honen uzkuratze eta lasaitzeak bihotz taupadak eragingo ditu. Nahigabe mugitzen da. Ildaskatua da eta zelulak nukleo bakarrekoak dira.

### 3. Muskulu eskeletikoa

Muskulu eskeletikoa zuntz muskularrez osaturik dago, zuntz bakoitza **miozito** bat izango delarik. Bakoitza mintz elastiko berezi batez estalirik dago, **endomisio** izenekoa. Beti beste hainbat zuntz muskularrekin egongo dira, sortak osatuz, sorta hauek era berean **perimisio** izeneko estalkia dutelarik.



Azkenik sorta hauek elkartu egingo dira muskulu bat osatuz, era berean **epimisio** (edo **aponeurosis**) mintzaz estaliak.

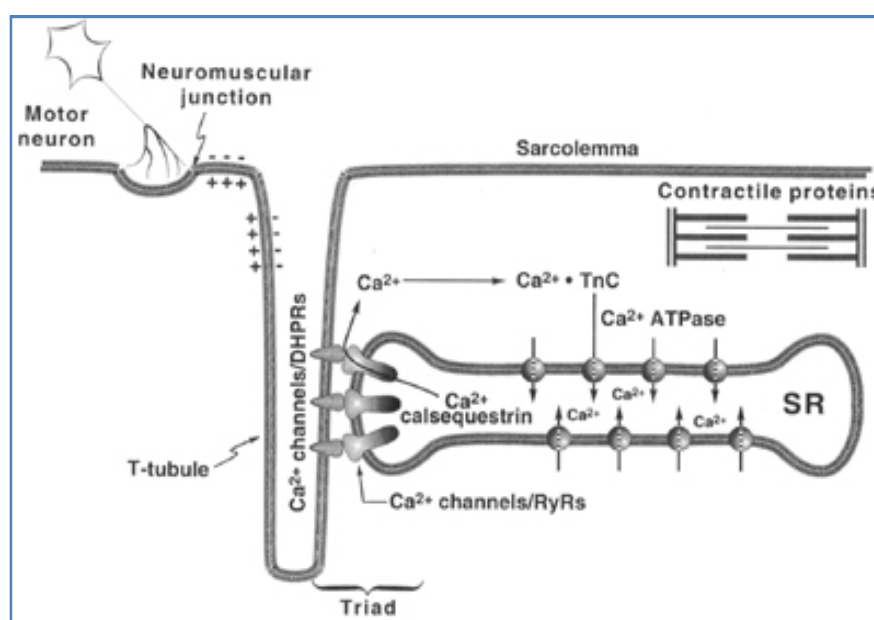
Osagai uzkurkorak eta ez uzkurkorak izango dituzte miozito hauek:

#### **3.1. Osagai ez uzkurkorak:**

- a) **Sarkolema:** mintz plasmatico kitzikagarria da, hau da, ekintza potentzialak eroan eta sortzeko gai da.  $\text{Na}^+$  eta  $\text{K}^+$  kanalak izango ditu mintz honek. Ondoren **glikokalixa** egongo da sarkolema inguratuz eta azkenik **endomisioa** zurdarekin bat egingo duena muskuluaaren amaieran.
- b) **Sarkoplasma:** **Glikosomak** edo glukogeno bikorrak egongo dira hemen, bere behar energetikoak asetzeko. Entzima glikolitiko ugari egongo dira beraz.

**Mioglobina** edo hemoglobina muskularra egongo da sarkoplasma honetan, glikolisi aerobikoa egin ahal izateko.

- c) Nukleoa: nukleo anitzeko zelulak dira, garapenean zehar mioblastoak elkartu egiten baitira zuntz muskularra osatzeko.
- d) Mitokondrioa: Nahiko ugariak izango dira energia behar handia baitago. Muskulu ehunak dira potentzialki aktiboan, 50x energia gehiago kontsumitzen baitu aktibo dagoenean inaktibo dagoenean baino.
- e) T tubuluak: **sarkolemaren** inbajinazioak dira, bertan kanpo ingurunea egongo da. Motoneuronak bidaliriko informazioa zuntz muskularraren barneraino sar dadin garrantzitsua da.



- f) Erretikulu sarkoplasmatikoa: erretikulu endoplasmatikoa berezia da, bere egitura zuntz muskularrarekiko paralelo hedatzen baita. Loditzerakoan euren biltegiak osatuko dituzte T tubuluaren inguruan, kontaktu oso hertsia dutelarik hauekin. Bi erretikuluen biltegiak eta T tubuluak osaturiko egiturari triada edo hirukote deritzen. Señale elektromekanikoaren akoplamenturako oso garrantzitsua izango da hirukote hau. EE honen baitan  $[Ca^{+2}]$  altua egongo da, zitoplasman baino  $\times 10^6$  aldiz gehiago

### 3.2. Osagai uzkurkorak

- a) Miosina II: bi buztan, bi lepo eta bi buru globular dituen makromolekula da eta firu lodien unitate nagusia da. 3 azpiunitate ditu:

- 2 buru globularrak (S1 azpiunitatea)

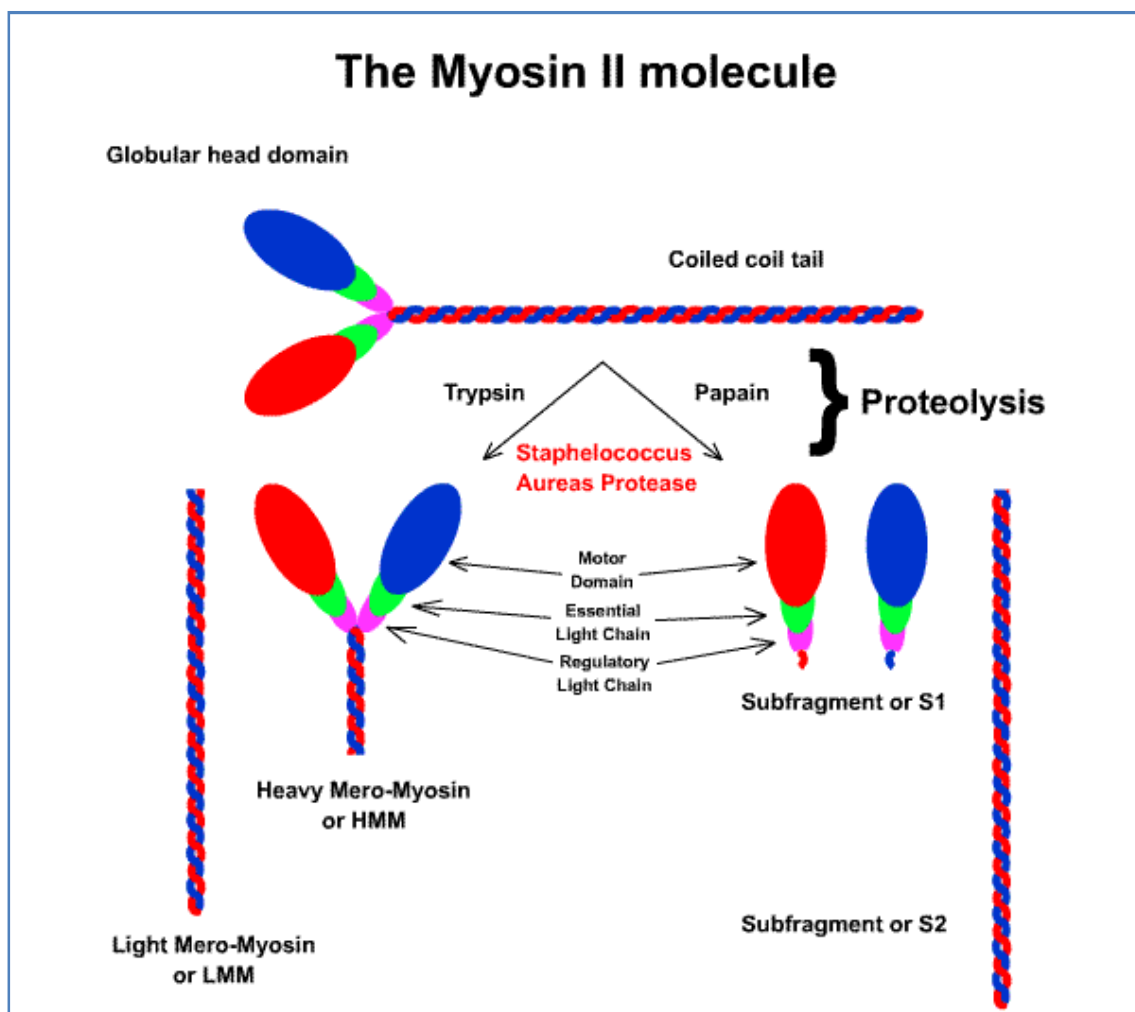
*Aktibitate entzimatikoa eta kimikoa edukiko du, aktinak ATPasa funtzioa baitute*

- 2 lepoak (S1 azpiunitatea)

Buru globularrak kate astunetara lotzen dituzte.

- HMM (heavy mero-myosin, S2 azpiunitatea):

Bi kate astun daude buztana osatuz.



Miosina agregatuak osatzen dituzte molekula hauen isatsak, beraien arteko elkarrekintzak direla eta. Agregatu hauei **firu lodiak** deritze eta miosinaren buruak kanpora begirantz geldituko dira.

b) Aktina: konplexu globularrak osatzen dituzte makromolekula hauek. Hala ere bi aktina bereiz ditzakegu: G edo *globularra* eta F aktina, Garen polimerizazioz sortuak. G molekulak elkartu egiten dira beraien artean, kate moduko bat osatuz, beste kate batekin elkartzean F osatzen duena.

c) Troponina: 3 au dituzte:

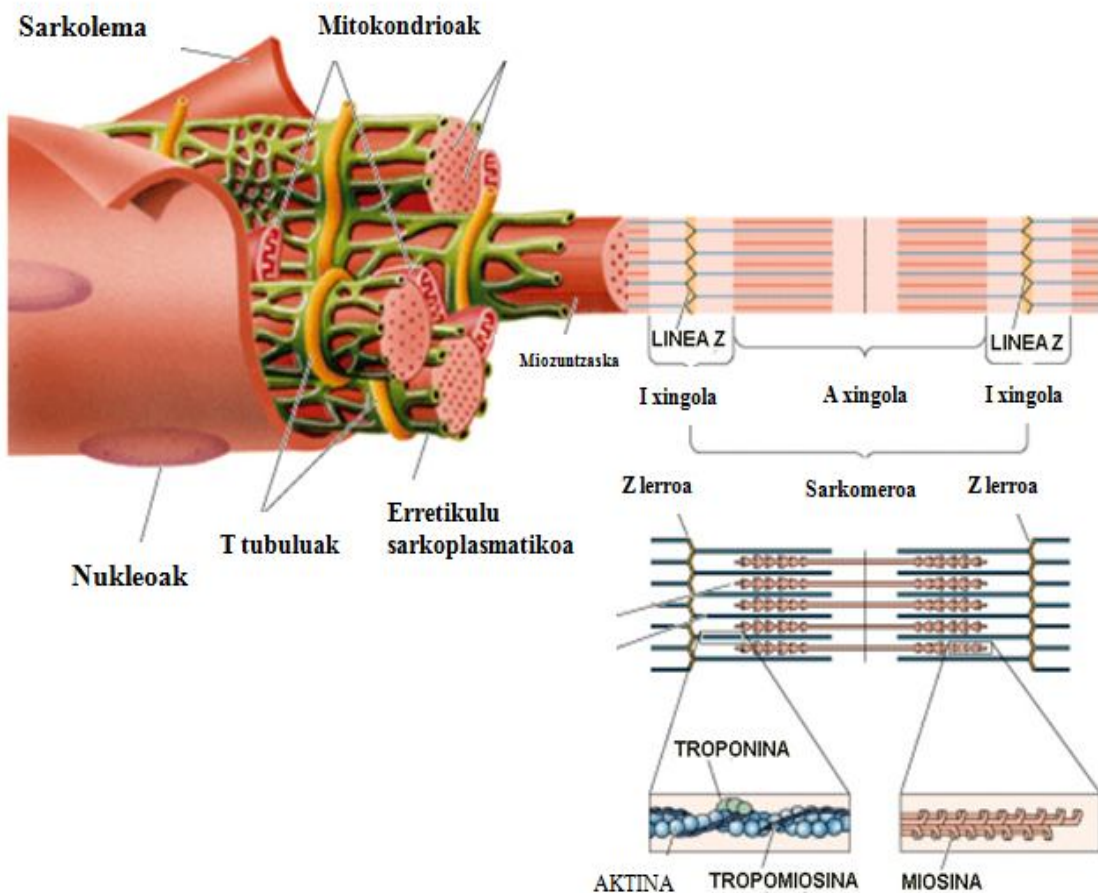
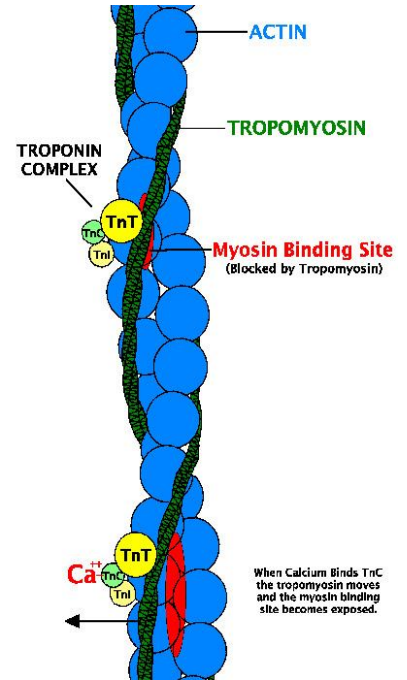
- *T troponina*: tropomiosina molekularekin elkartuko den molekula.
- *C troponina*:  $Ca^{2+}$  lotzeko azpiunitatea.

- *I troponina*: aktina eta miosina arteko lotura inhibitzen duen molekula.

d) Tropomiosina: proteina firukara edo zuntz modukoa da eta aktinari paraleloki kokatuko da. Atsedendian aktina eta miosina arteko elkarrekintzak galarazten ditu.

#### 4. Sarkomeroa

**A xingola**: firu lodiak dauden eremuan aurkitzen dira xingola hauek, muskuluko zabalenak direlarik. Bere tamaina uzkurketa zein erlaxazioan mantenduko da. A bada deitzen da *anisotropikoa* baita, hau da, argi polarizatuak zeharkatzean anplitudeak ezberdinak izango direla norantzaren arabera.



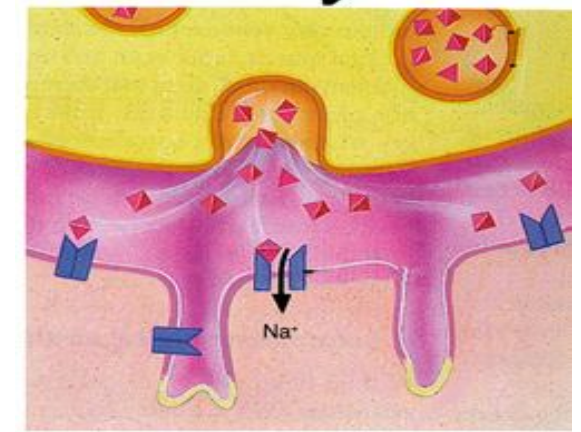
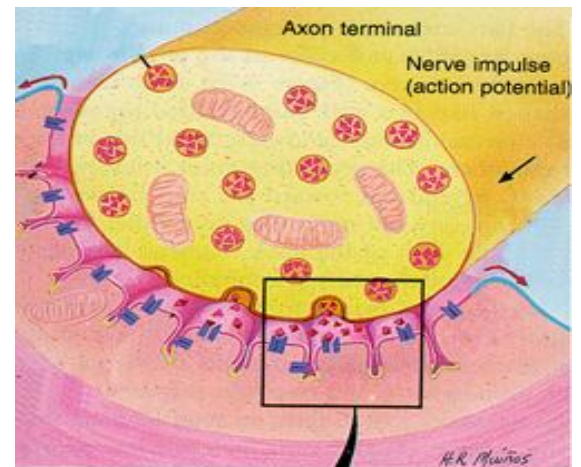
**H eremua**: A xingolaren barnean dagoen eremua da. Aktinazko molekularen buztanak eta firu lodiak ikusten dira.



Sinapsi plaka guztiari **plaka motorea** deritzo, hau da, sinapsi aurreko eta ondorengo elementu eta arrodurari. Neurotransmisore hartzailei azetil-kolina lotzean sodioa sartuko da muskulura eta era berean potasioa aterako da kantitate txikietan. Ekintza potentziala beti sortzen da moto neurona hauetan.

Seinalea eten dadin azetil-kolina hidrolizatu egin beharko da hartzailetik, hau **azetil-kolinesterasak** egingo du, azetil-kolina anderatuz. Era honetan kolina eta azetatoa lortuko dira, lehena birxurgapen prozesu bidez xixkuak osatu eta motoneuronara itzuliko dira endozitosis eta azetatoa barreiatu egingo da beste ehunetara.

Eroapen **jarrai bidez** eroango da seinalea, hau da, axoi amielinikoetan bezalaxe. T tubulu bidez ekintza potentziala azalera bakarrik ez mugatzea lortuko da, hau da, zuntzaren barneraino irisitea lagunduko du.



## 5.2. Kitzikapena eta uzkurketaren arteko lotura edo akoplamendu elektromekanikoa

Ekintza potentzialak muskulu zelularen zitoplasmarara kaltzioa askatzea eragingo du eta hau delarik **uzkurketa seinalea**. T tubulu protein hartzaile bereziak egongo dira, **dihidropiridina** deiturikoak. Hartzaile hauek Erretikulu Sarkoplasmatikoko Kaltzio kanalak blokeatu edo oztopatzen dituzte eta boltai menpekoak direnez, boltaia egonez gero aktibatu egingo dira, aldaketa konformatzional bat jasanez eta kanaletik askatuz. Honi esker gradientearen alde zitoplasmarara kaltzioa askatuko da.

Kaltzio hau troponinaren C azpi-unitatearekin lotuko da, uzkurketaren seinale igorritz. Kaltzioa erretikulu sarkoplasmatikora itzul dadin  $Ca^{+2}$  ATPasa ponpa erabiliko da, ATPa kontsumituz gradientearen aurka  $Ca^{+2}$  askatzeko. Beraz, erlaxazioak ATP kontsumoa beharko du.

## 5.3. Uzkurketa mekanismoa: harizpi labainkorren teoria

### Aktina

Miosina eta troponinari lotzeko guneak ditu, era berean T troponinaren bitartez tropomiosinari lotuko delarik.

## Miosina

Aktinari lotzeko guneak ditu eta aktibitate ATPasikoa du, hauek hidrolizatuz ADPak lortzen dituelarik.

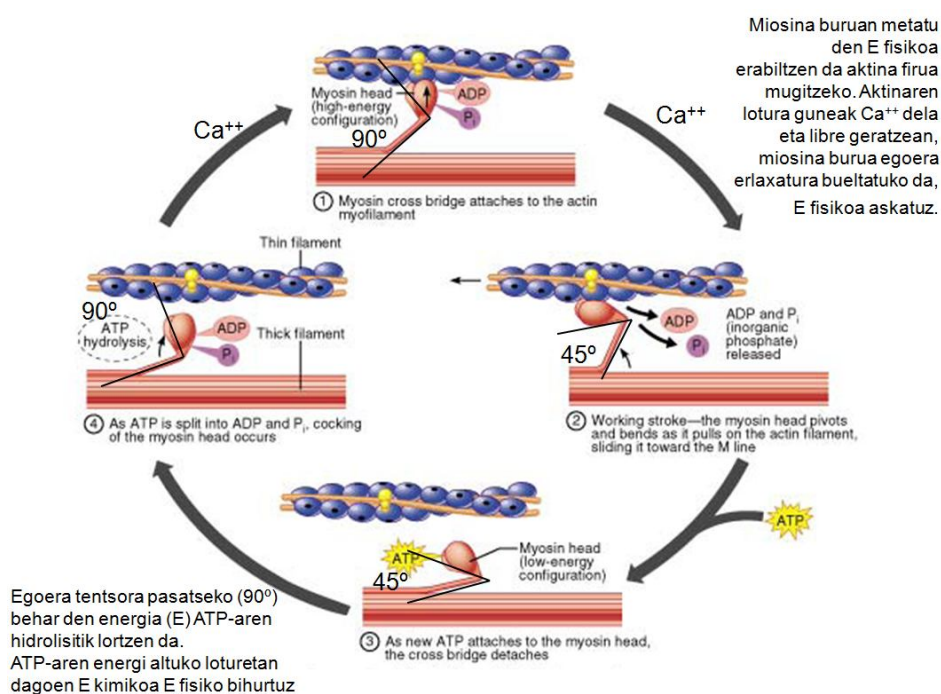
*Afinitate indarraren erlazioa:*  $ATP \geq \text{aktina} \geq ADP+P$

Miosinaren konformazioak:

- **R erlaxatua**, 45 gradu buru eta isatsa artean . ATP
- **T tensioan** dagoenean, 90 gradu buru eta isatsa artean. ADPari lotua

Harizpi labainkorren teoria deritzo firu lodi eta txikiak beraien artean labainkorrak baitira eta uzkuratzea hauek arteko elkarrekintzetan oinarritzen baita.

Atsedenean aktinaren **miosinari lotzeko guneak inhibiturik** egongo dira, tropomiosinagatik. Zitoplasmako  $[Ca^{+2}]$  baxua izango da orduan, baina zuntz muskularra kitzikatzea igo egingo da eta troponinaren C azpiunitateari lotuko zaio, aldaketa konformazional bat eraginez honi. Bere atzetik troponinaren beste au-ak hartuko ditu C-k eta hauetatik tira egingo du, T troponina tropomiosinari loturik zegoenez honetatik tira eginez baita ere.



ATPa miosinaren burura lotuko da, beraz ezingo da lotu *firu meheari* aldaketa konformatzionalak eman badira ere firu mehean. Baina konstitutiboki ATPa hidrolizatu egiten da eta orduan *firu mehearen aktinari* lotuko da. ADPa askatzean **tentsotik erlaxatura** igaroko da burua, emango den aldaketa konformazionala medio. Miosinak orduan firu mehea bultzatuko du, firu lodien gainetik irristatuz,

eta ondoren ATPa lotuko da. eta ondoren ATPa lotuko da. Firu meheak lodiaren gaineratik irristatzen da

Erlaxazioa:

Ekintza bukatzean, Azetil kolina ez da hartzaile kolinergikoei lotuko, hidrolizatu eta birxurgatua izango delarik aurretik zegoena, ondorioz ez da ekintza potentzialik gertatuko eta azkenik  $[Ca^{+2}]$  normalizatu egingo da eta erretikulu sarkoplasmatikora itzuliko da, kaltzio ponpa ATPasikoaren bitartez.

Beraz erlaxaziorako ATP gastua beharrezkoa izango da. Muskuluaren osagai elastikoei esker itzuliko dira firu mehe eta lodiak bere hasierako egoerara