

13. GAIA: MUSKULUAREN FISILOGIA OROKORRA:

1. FUNTZIOAK

Mugimendua eta indarra sortzea. Honela beroa ere sortuko da.

Funtzio orokor hauetan oinarritutako beste funtzio espezifikokoak aipatu ahal ditugu: desplazamendua, komunikazioa, liseriketa, arnasketa, odola ponpatzea (bihotz-taupadak), erauzketa...

2. UZKURKETA

Muskulua funtzio guzti horiek betetzeko uzkurte behar da.

Muskuluaren uzkurketa prozesu zelularra da. Muskuluaren uzkurketa, muskulua osatzen duten zelulen uzkurduraren ondorioa da. Eta muskuluaren indarra, uzkurte ari diren zelula guztiek egiten duten indarraren batura izango da.

Funtzio muskularra ezagutzeko, uzkurketa muskularra gidatzen duten prozesu zelularrak ezagutu behar ditugu.

Hona hemen muskulu eskeletikoaren uzkurketaren orokortasunak:

Uzkurketa muskularrak muskuluen kitzikapena eskatzen du. Muskulua inerbatzen duten neuronak, motoneuronak, sinapsia egiten dute muskuluekin. Sinapsia hauetan parte hartzen duen neurotransmisorea azetilkolina da. Honek muskulu zelulen hartzaile kolinergikoekin lotzean, aurrerago ikusiko dugun kanalen irekiera dela eta, muskulu zelula despolarizatuko du. Despolarizazio honen ondorioz muskuluaren Ca^{++} intrazitosolikoaren gorakada gertatuko da. Hauxe da uzkurketarako seinalea, eta honen ondorioz, aurrerago azalduko dugun prozesu baten bidez, muskulu-zelula uzkurtuko da.

3. MUSKULU MOTAK

Muskulu eskeletikoa

Hezurrekin kontaktuan dagoen muskulua

Hezurak mugitzen ditu

Borondatezko mugimendua dauka (baina nahi gabe ere mugitu daiteke)

Itxura ildaskatua du

Zelula plurinukleatuak (zuntz luzeak dira zelulak) ditu

Muskulu leuna

Errailetan dago

Liseriketa, arnasketa, erauzketa... funtzioetan parte hartzen du

Nahi gabe mugitzen da (batzutan kontrolatu ahal dugu)

Itxura leuna dauka

Zelula uninukleatuak ditu

Bihotz-muskulua

Soilik bihotzean

Bihotz-taupadak sortzen ditu

Nahi gabe mugitzen da

Itxura ildaskatua dauka

Zelula uninukleatuak ditu

14. GAIA: MUSKULU ESKELETIKOA:

1. MORFOLOGIA OROKORRA

Muskulu-zelula luzea (10-20 cm) eta, proportzioz, estua (10-100 μm diametroz) da.

Muskulua \rightarrow **fazzikuluz** osatuta (muskulu-zuntz sortak) \rightarrow **muskulu-zuntzez** osatuta (edo muskulu-zelulez)

Muskulu osoa epimisioz inguratuta dago.

Fazzikuluak perimisioz inguratuta dago.

Muskulu-zuntza (zelula) endomisioz inguratuta dago.

2. OSAGAI ZELULARRAK

2.1. Ez-uzkurkorak

Muskulu-zelularen osagai ez-uzkurkorak:

-Sarkolema: Muskuluaren mintz-plasmatikoa. Kitzikagarria da, kanpokaldean endomisioz inguratuta.

-Sarkoplasma: Muskuluaren zitoplasma da. Glukogeno ugari pilatzen da hemen behar energetiko altuak asetzeko, mioglobina kontzentrazio altua, oxigeno behar altua ere duelako.

-Nukleoa: nukleo ugari daude muskulu-zuntzan, plurinukleatua da.

-Mitokondrioak: oso ugariak... ebergi-beharrak asetzeko.

-Erretikulu sarkoplasmatikoa: Erretikulu endoplasmatiko berezia da. Zuntzari paralelo zabaltzen da, baina zisterna modukoak ditu lodipen elkartutak osatzen dituztenak. Ca^{++} biltegia da.

-T tubuluak (tubulu transbertsalak edo zeharkako tubuluak): Sarkolemaren inbaginazioak dira.

-Triada: T tubulu bat eta bi erretikulu sarkoplasmatiko biltegi osatuko duten egitura berezia (hiru osagai beraz, ez da organulua!).

2.2. Uzkurkorak

Muskulu-zelularen osagai uzkurkorak: zitoeskeletoa \rightarrow miozuntzezkak
Miozuntzezkak miopiruez osatuta daude: piru meheak eta piru lodiak.

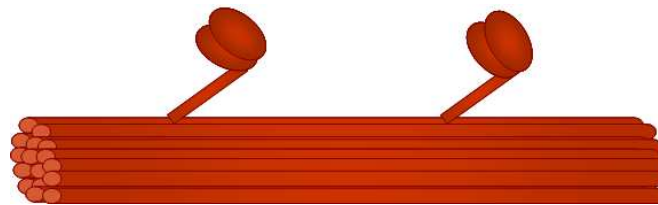
Piru lodiak: Miosina molekulez osatuta

Miosina molekularen bi unitatek meromiosina molekula osatzen dute.

Meromiosinak bi kate arin ditu (LMM: Light MeroMiosin) eta 4 kate astun (HMM: Heavy MeroMiosin). Azken honen bi kate motzek bisagra eratuko dute (HMM-S2) eta beste biak bi buru globular (HMM-S1). Buruek aktibitate kimikoa (aktinari lotzekoa) eta entzimatikoa (ATP-ren hidrolisia) daukate .



Meromiosina buztanek, elkarrekin elkartuz, agregatu pirukarak eratzen dituzte. Honela sortzen dira zitoeskeletoaren, edo zuntzezken, piru lodiak.



Piru meheen eskeletoa osatzen du F aktinak (G aktina molekula globularrak elkartzean eratzen duten egitura pirukara).

Tropomiosina: Proteina pirukara. F aktinari paralelo lotzen zaio. Aktina-miosina elkarrekintzak inhibitzen ditu.

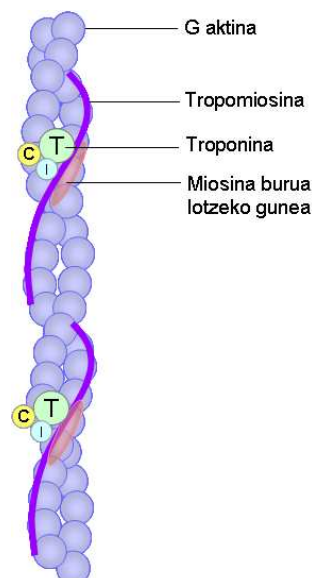
Troponina: Aktinari lotzen zaion proteina globularra da. Hiru azpiunitate ditu.

T troponina: Tropomiosinari lotzen zaio

C troponina: Ca^{++} -ari lotzen zaio

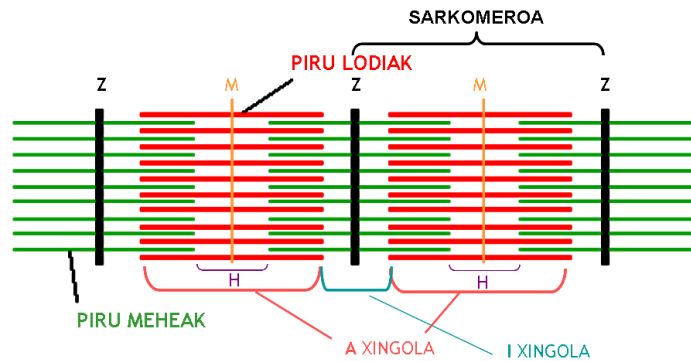
I troponina: Inhibitu egiten du aktina-miosina lotura

Begiratu irudi honetan zelan kokatzen diren tropomiosina, troponina eta aktina molekulak elkarrekiko.

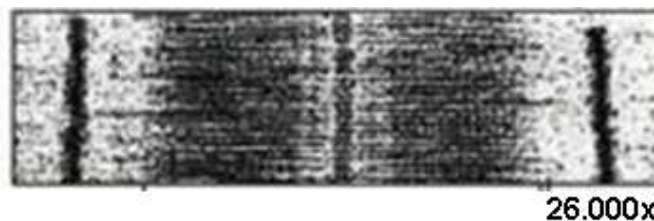


3. SARKOMEROA:

Osagai uzkurkorren antolakuntza periodikoa: **sarkomeroa**



Aurreko irudian piru lodi eta meheen kokapena muskuluan modu eskematikoan adierazten da. Errealitatean mikroskopia elektronikoa erabiliz honela ikusiko genuke:



Piru mehe eta lodien artean sortzen den gainjarpena dela eta muskulu eskeletikoak itxura ildaskatua dauka. Hau dela eta gune bereziak (xingolak edo lerroak izango direnak) definitzen dira:

A xingola: Piru lodiek markatzen dute xingola honen luzeera. Anisotropoa da.

H eremua: A xingolaren barneko eremu argia, bertara piru meheak ez dira ailegatzen.

M lerroa: H eremuaren erdian. Piru lodien erdian. Bertan metabolismo energetikorako entzimak kokatzen dira.

I xingola: Bi A xingolen artean kokatzen den eremua. Piru meheak bakarrik hartuko ditu. Isotropoa da

Z lerroa: I xingolaren erdian dago. Aktina piruen txertaketa gunea da. Sarkomeroaren muga markatzen du

Sarkomeroa: Muskuluaren oinarritzko uzkurketa unitatea da. Muskuluzuntzaren luzeera osoan zehar errepikatzen den patroia. Z lerro batetik hurrengora doa (bi z lerroen artean geratzen den zuntzekken atala sarkomeroa da).

Uzkurketa prozesua ulertzeko, sarkomero batean gertatzen dena ulertu behar dugu.

4. UZKURKETA PROZESUA

4.1. Muskuluaren Kitziapena

Muskuluaren kitziapena **MOTONEURONEN** bidez gertatzen da.

Muskuluetara ailegaten diren motoneuronen soma bizkar-muinean dago. Horien axoia luzatzen da muskuluraino heltzeko. Normalean muskulura heltzean mielina zorroa aurkezten dute (Schwan zelulak).

Nerbio batean hainbat neuronen axoi taldekatzen dira. Muskulura heltzean, motoneuronaren axoiak adarkatuko dira eta axoi bakoitzak muskulu zuntz bana inerbatuko du.

Beraz, motoneurona bakarrak zuntz-muskular talde bat inerbatuko du (500 zuntz-muskular inerbatu ahal ditu).

Motoneuronari eta honek inerbatzen dituen zuntz-muskular taldeari **unitate motorea** deitzen diogu.

Unitate motoreko zuntz guztiak aldi berean kitziatuko dira, motoneuronaren axoiak muskulu ehunarekin sinapsia egiten duenean.

Inerbazio gunean muskulu ehunean ildoak agertzen dira, sinapsi ondoko azalera areagotzeko

Ildo hauetan neurotransmisoreen hartzaileak kokatuko dira.

Hartzaile hauek hartzaile kolinergikoak dira, azetilkolina (ACh) neurotransmisorea ezagutzen duten hartzaileak.

ACh motoneuronatik arraildura sinaptikora askatzean, hartzaile kolinergikoekin lotuko da.

Hartzaile kolinergikoak hartzaile ionotropikoak dira (hartzailea eta kanala egitura bera osatzen dute): Na^+ eta K^+ -arentzako kanala dira.

ACh hartzaileari lotzean kanale ionikoa irekiko da. Na^+ -a eta K^+ -aren mugimendua ahalbideratuz. Gradientearen alde zeharkatuko dute mintz-plasmatikoa.

Batez ere Na^+ -a mugitzen da, mugitzeko joera handiena duen ioia delako eta ondorioz muskulu-zuntzaren mintza despolarizatuko da.

Behin bere funtzioa bete dutela ACh molekulak hidrolizatuak izango dira. Azetilkolinesterasa (AChE) entzimaren bitartez, azetatoa eta kolina produktuak sortuz.

Kolina birxurgatuko du zelulak berriro erabili ahal izateko.

Azetatoa zelula kanpoko ingurunean geratuko da (glia zelula edo odol hodien bitartez arraildura sinaptikotik desagertuko delarik)

4.2. Muskuluaren Kitziapena eta Uzkurketaren arteko lotura

Muskulu-zuntzan dauden Na^+ eta K^+ boltai menpeko kanalak direla eta ekintza-potentziala sortu eta garraiatuko da (lehenengo despolarizazioa, hartzaile kolinergikoak irekitzean sortu dena, gertatu ondoren).

Despolarizazio hau sarkoleman (edo mintz-plasmatikoan) zehar garraiatuko da, eta baita ere honek dituen inbaginazioetatik: T tubuluetatik. Izan ere hauen funtzioa ekintza-potentziala muskulu zelularen sakonera eramatea izango da.

T tubuluek kontaktu hertsian daude erretikulu sarkoplasmatikokoaren biltegiekin (triada osatzen dute T tubulu bat eta bere bi aldeetara dauzkan bi erretikulu biltegi).

T tubuluaren bikapa lipidikoan oso garrantzitsua den dihidropiridina (DHP) proteina aurkitzen da. Proteina hau erretikulu sarkoplasmatikoko Ca^{++} kanalak blokeatzen ditu.

DHP-a boltai aldaketei sentikorra da, hau dela eta, ekintza-potentziala T tubuluan zehar garraiatzen denean DHP-ren konformazioa aldatuko da. Konformazio aldaketa honen ondorioz Ca^{++} kanalen irekiera gertatuko da.

Ca^{++} -a oso kontzentratuta dago erretikulu sarkoplasmatikoan, eta beraz, kanal hauek irekitzean Ca^{++} -a zitoplasmara irtengo da difusio pasiboz, bere gradientearen alde.

Ca^{++} -a uzkurketarako seinalea izango da.

4.3. Muskuluaren uzkurketa

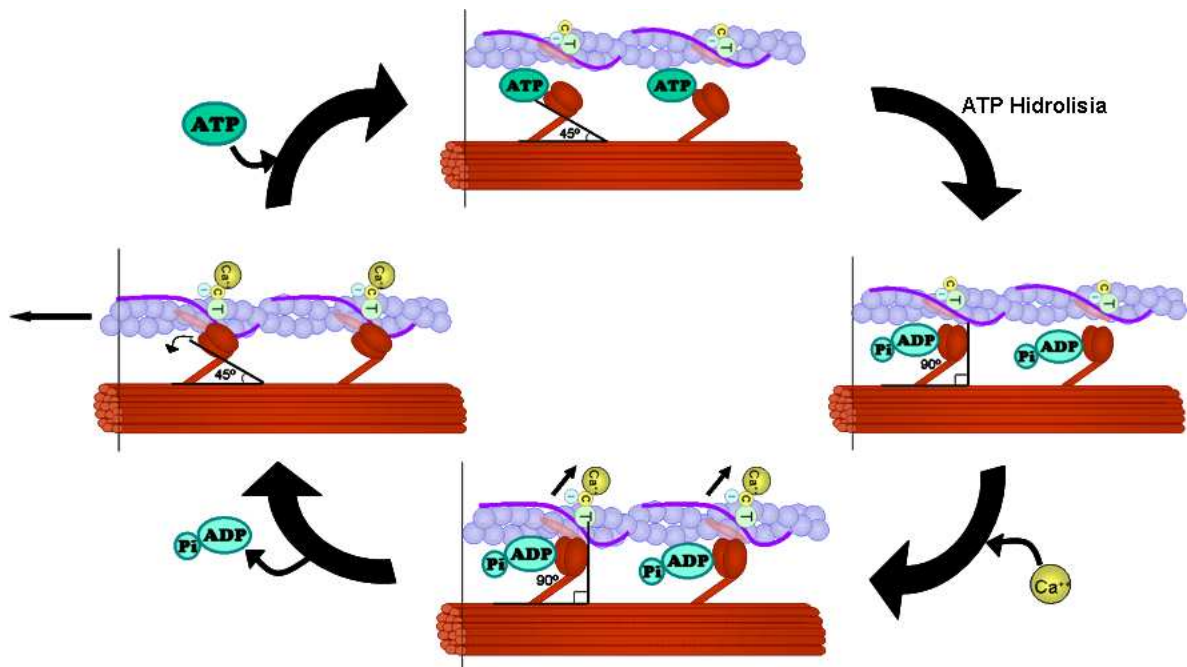
Ca^{++} -a C troponinari lotzen zaionean, troponina molekulan aldaketa konformazionala gertatzen da. Azpiunitate inhibitzailea mugituko da, eta baita ere T azpiunitatea. Ondorioz T azpiunitateari lotuta zegoen tropomiosina, horren atzetik joango da aktinak dituen miosinari lotzeko guneak askatuz.

Gune hauek aske daudenean, miosina buruak aktina lotu ahal dute.

Piru lodi eta meheen arteko elkarrekintza zizlikoak izango dira uzkurketaren erantzuleak.

Miosina buruak aktinarekin kontaktuan jartzean piruen arteko irristatzea gertatuko da.

Muskuluaren uzkurketa azaltzen duen teoriaren izena piru labainkorren teoria da. Aktina eta miosinaren arteko elkarrekintzak “zubi gurutzatuak” deitzen dira.



Ziklo hori ulertzeko kontutan hartu Behar dugu miosinari buruz daukagun hurrengo informazioa:

-*Miosinak lotzen du afinitate desberdinarekin* :

ATP > Aktina > ADP+Pi

ATP afinitate handienarekin lotuko Du, gero aktina eta gero ADP+Pi

-*Miosinaren konformazioa* aldatu ahal da segun zein molekularekin lotzen den:

→ R (erlaxatua) 45°



→ T (tentsoa) 90°



Egoera tentsora pasatseko (90°) behar den energia (E) ATP-aren hidrolisitik lortzen da. ATP-aren energi altuko loturetan dagoen E kimikoa E fisiko bihurtuz. Miosina-buruan metatu den E fisikoa erabiltzen da aktina pirua mugitzeko. Aktinaren lotura guneak, Ca⁺⁺ dela eta, libre geratzean, miosina burua egoera erlaxatura bueltatuko da, E fisikoa askatuz. Ziklo hau behin eta berriro errepikatuko da uzkurketa irauten duen bitartean.

5. ERLAXAZIOA:

Muskulua erlaxatu behar denean, Ca⁺⁺-a berriro erretikulu sarkoplasmatikora sartu beharko da. Horretarako Ca⁺⁺-ponpa behar da (Ca⁺⁺ ATPasa). ATP-a gastatuz Ca⁺⁺-a berriro erretikulu sarkoplasmatikora sartuko da, difusio aktiboz, bere gradientearen aurka.

6. UZKURKETAREN MEKANIKA

6.1. Muskuluaren anatomia:

(ikus. Moodle-eko aurkezpena)

6.2. Uzkurketa motak

a) Uzkurketa isometrikoa

Muskulua uzkurtzen da baina ez da laburtzen

b) Uzkurketa isotonikoa

Muskulua uzkurtzen da eta laburtzen da, baina tentsioa mantentzen du uzkurketan zehar. Bi motatakoa izan daiteke:

b.1.) Uzkurketa kontzentrikoa

b.2.) Uzkurketa eszentrikoa

Bi hauek ulertzeko oso garrantzitsua izango da muskuluaren osagai elastikoak kontutan izatea.

6.3. Muskuluaren tentsioa eta sarkomeroaren luzeeraren arteko erlazioa:

Lehenago aipatu dugu muskuluaren uzkurketa prozesu zelularra dela eta muskuluaren uzkurketa, azken finean, muskulua osatzen duten zelulen uzkurduraren ondorioa dela. Hau dela eta, muskuluaren indarra neurtzeko, uzkurtzen ari diren zelula guztiek egiten duten indarraren batura izango dela kontutan hartu behar dugu.

Era berean, zelula bakoitzean sortzen den zubi gurutzatuen kopuruak markatuko du zelula bakoitzak garatzen ari den indarra: gero eta zubi gurutzatu gehiago, orduan eta tentsio gehiago garatuko du muskuluak.

Beraz, gero eta gehiago laburtu sarkomeroak, tentsio gehiago garatzen ari dela esan nahiko du.

Hala ere, kontutan hartu behar da, sarkomeroak uzkuertzen hasi aurretik daukan luzeera ere oso garrantzitsua izango dela: luzeera hobeezinatik hasi beharko da uzkuerteta prozesua indar maximoa egiteko.

6.4. Ekintza-potentzialen maiztasuna:

Muskulu zelula kitzikatzean despolarizatzen da, eta despolarizazio bakoitzak Ca^{++} askapena dakar. Ca^{++} gehiago askatzen denean, zelularen zuntzexka gehiagotan gertatu ahal dira zubi gurutzatuak eta indar gehiago garatu ahal izango du muskuluak.

Kinada bakoitzak ekintza-potentziala eratuko du. Horiek ezin dira batu, baina hauek muskuluan eratuko duten uzkuertaren tentsioa bai. Ekintza-potentzialak bata bestearen jarraian heltzean, muskuluan gertatu den uzkuerteta oraindik erlaxatzeko denborarik izan ez duenean, uzkuerteta tetanikoa bihurtuko da. Muskulu hori tetania egoeran dagoela esaten da. Tetania egoerara heldu ahal izatea beharrezkoa izango da tentsio handiak garatu ahal izateko.

6.5. Unitate motoreen errekrutatzea:

Gero eta unitate-motore gehiago kitzikatuta, orduan eta indar gehiago garatuko du muskuluak.

6.6. Abiadura eta indarra:

Gero eta abiadura gehiagorekin uzkuertu, orduan eta indar gutxiago garatuko du muskuluak.

7. MUSKULUAREN ENERGETIKA

1. Muskuluaren energi iturriak

Muskuluaren E iturri zuzena ATP-a da.



Hurrengo prozesuetan erabiltzen da:

- Uzkuertetan: Miosina ATPasa
- Erlaxazioan: Ca^{++} ATPasa
- Birpolarizazioan: Na^+/K^+ ATPasa

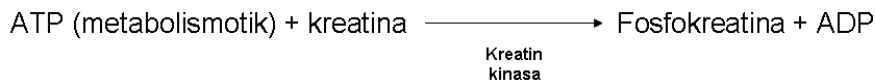
Muskuluan disolbatuta dagoen ATP kontzentrazioa 5mM-ekoa izaten da. Hau 2 segundutan muskuluak kontsumituko du.

Beraz, ATP-a birsortu behar da bidezidor metaboliko desberdinetatik:

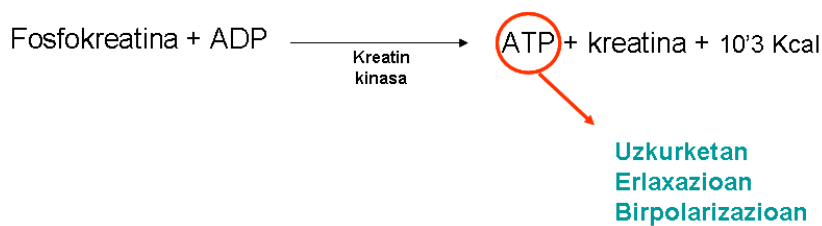
1.1. Fosfagenoen sistema

Fosfokreatina eta fosfoarginina bezalako molekulak dira. Molekula hauek erraz pasatzen diote fosfato taldea ADP-ari, ATP-a sortzeko. Uzkurketa hasi eta berehala (muskulan disolbatutako ATP-a agortu aurretik) erabiltzen hasten dira eta uzkurketa indar handienak lortzen dituztenak dira:

Muskulua atsedendian:



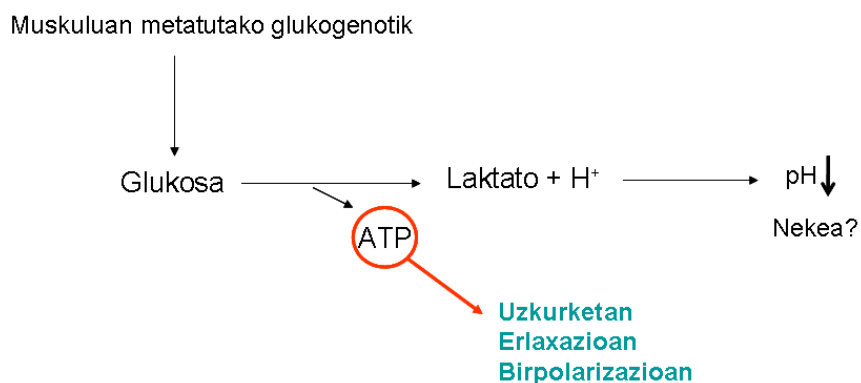
Muskulua lanean:



1.2. Glukosaren metabolismo anaerobikoa

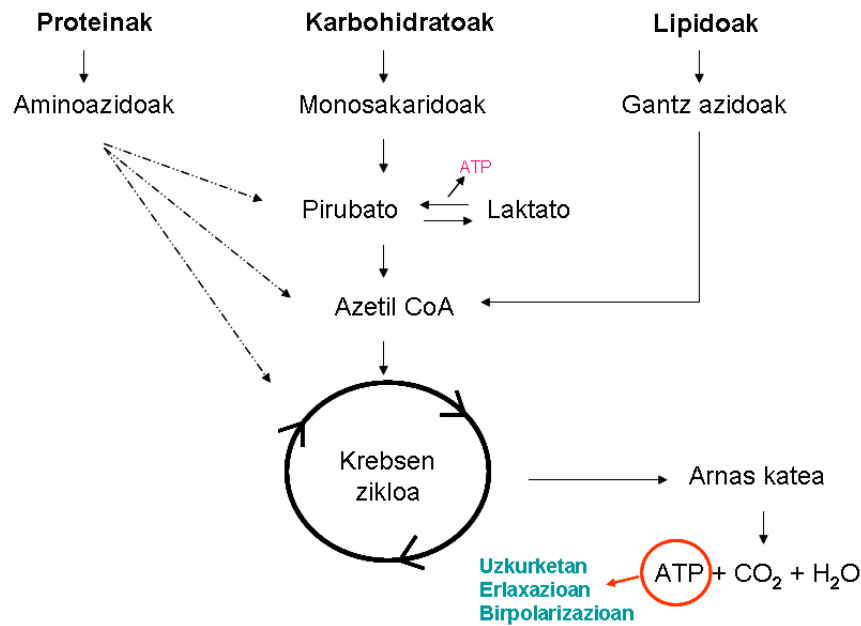
Uzkurketa hasi eta bi segundu geroago martxan jarriko da glukosaren metabolismo anaerobioa. Honek, ATP ekoizpen maximoa 8-12 segundutara lortuko du. Kasu honetan, bidezidor metabolikoa izanik (eta ez erreazio bakarra) denbora gehiago beharko du energia lortzeko, eta beraz, ez da fosfagenoen sistema bezain indartsua izango.

Muskulua lan bizian, oxigeno gabe:



Baina bide hau ezin da luzaroan mantendu (gehienez 20-30 segundu), honetatik sortzen den azido laktikoak asko jaisten duelako muskuluko pH-a, muskulu-nekea sortuz.

1.3. Mekanismo aerobikoak



Bidezidor metaboliko aerobiko hauetatik lortuko du organismoak ere behar duen ATP-a. Baita ere muskuluak bere lana aurrera eramateko. Bidezidor hauek anaerobikoek baino denbora gehiago behar dute energia lortzeko, baina luzaroan mantendu ahal dira, batez ere gantzen metabolismoa. Metabolismo mota hau martxan jartzea denbora gehiago behar da, gantza-azidoak muskuluraino eramane behar baitira lehenago (aldiz, glukolisia martxan jartzeko behar den glukogenoaren parte bat muskuluan kokatzen da, gibelatik ere etorri ahal den arren) baina gantzetatik energia gehiago lortzen da eta bidezidor metaboliko hau denbora luzeagoan erabili ahal izango da.

2. Kirolak eta sistema energetikoak

Ariketa fisiko guztiek bidezidor metaboliko guztien eta zuntz-mota guztien erabilpena eskatzen dute. Baina egia da, kirolaren arabera batzuen gailentasuna beha daitekela.

Honela bada, iraupen gutxiko eta indar handia eskatzen duten kirolek batez ere fosfagenoen sistema erabiltzen dute (pisu altzatzea, sprint-ak (100m), jauziak (altuera, luzera, hirukoitza...), karate, boxeoa...). Indar handiko beste kirol batzuek, denbora luzeagoan energi beharra eskatzen dutenak fosfagenoen bidez gain, glikolisi anaerobioa ere erabiliko dute (200m-tako sprint-ak, saski-baloia, beisbol, hockey...), gehiago irauten badu ariketa fisikoa glikolisi anaerobioak batez ere (400m-tako sprintak, igeriketako lasterketa laburrak, futbola, patinajea, tenisa...). Luzeagoak oraindik diren ariketa fisikoetan glikolisi aerobioek ere hartuko dute parte (distantzia laburretako txirrindularitza, arraunketa...) eta erresistentziako kirolean, batez ere bide aerobikoek hartuko dute parte (txirrindularitza, iraupen-lasterketak, aerobika...)

3. Muskulu-zuntz motak

Muskuluetan zuntz mota desberdinak topatu ahal ditugu (ikusi hurrengo taula). Muskuluak egiten duen aktibitatearen arabera zuntz-mota bat ala bestea izango da ugariagoa muskulu horretan.

ZUNTZ MOTAK	GORRIAK	ERTAINAK	ZURIAK
BESTE IZENAK EZAUGARRIAK	Uzkurketa moteleko zuntz Oxidatzaileak,	Uzkurketa azkarreko Glukolitiko oxidatiboak	Uzkurketa azkarreko zuntz glukolitikoak
Tentsioa garatzeko v	Geldoa	Ertaina	Azkarra
Miosina ATPasaren v	Geldoa	Azkarra	Azkarra
Diametroa	Txikia	Ertaina	Handia
Uzkurketaren iraupena	Luzea	Motza	Motza
Ca ⁺⁺ ATPasaren aktibitatea	Moderatua, ES ez oso garatua	Altua, ES garatua	Altua, ES garatua
Erresistentzia	Altua	Altua	Baxua
Erabilera	Maiz erabilia Jarrera	Zutik egoteko, ibiltzeko	Urri erabilia Jauziak
Metabolismoa	Oxidatiboa, aerobioa	Glukolitiko, oxidatiboa erresistentzin	Glukolitiko anaerobioa
Lipidoak	Ugariak	Tartekoa	Urriak
Kapilareak	Ugariak	Tartekoa	Urriak
Mioglobina	Ugaria	Tartekoa	Urria
Mitokondrioak	Ugariak	Tartekoa	Urriak
Motoneuronak	Atari-pot. baxua	Atari-pot. tartekoa	Atari-pot. altua

Maratoiak egiten dituzten kirolariek zuntz gorri gehiago dituzte beraien muskuluetan eta ladiz, potentzia handiko kirolak egiten dituztenak zuntz zuri gehiago, baina beti, mota guztietatik agertuko dira.

Ulertu dezakegunez, zuntz bakoitzak bere lana modu ezinhobean betetzeko prestatuta dago eta honekin lotuta egongo dira gorago taulakatzen diren zuntzen ezaugarriak.

4. Sistema energetikoen mugak

Sistema energético bakoitzak, bere osagai eta ezaugarrien arabera muga batzuk erakutsiko ditu:

-Fosfagenoen sistema:

Intentsitatea: Miosina ATPasa aktibitatea
kreatin kinasa aktibitatea

Iraupena: Fosfokreatina kantitatea

-Laktiko sisteman:

Intentsitatea: Entzima glikolitikoen aktibitatea

Iraupena: Muskuluaren ahalmen indargetzailea

-Sist. Aerobioak:

Intentsitate eta iraupenean:

-O₂ garraiatzeko/ erabiltzeko ahalmena (zirkulazio sistema, globulu gorriak...)

-Gluzidoen eragilgarritasuna muskuluan

5. Muskuluen nekea

Nekea bizidunek daukagun defentsa mekanismo orokorra da. Organoren bat erabilia izaten bada ahitu arte, hondatu baino lehenago, organo honetatik neke sententzia jasango du organismoak. Neke sententzia honek inplikatzen du organoaren erantzuteko almena gutxitzea, honela organoa bera babestea lortzen da, erabiltzeko ezintasuna gertatzen baita.

Neke-muskularra hainbat mailetatik sortu ahal da. Hurrengo eskeman maila guzti hauen laburpena aurkezten da:

