

FIZIOLOGIJA ŽIVALI

ANIMAL PHYSIOLOGY



GIBANJE MOTORIČNI SISTEM

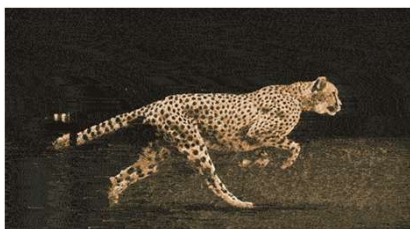


Doc. dr. Vladimir Ivović

Oddelek za biodiverzitet
FAMNIT
Univerza na Primorskem

Gibanje je ena od lastnosti vsih živih organizmov

Aktivno in pasivno gibanje (in živali in rastlin)



Zahteva uporabo energije za premagovanje 2 sili

- Trenje
- Gravitacijo/Težnost

Pomen odvisno od okolja



VRSTE GIBANJA

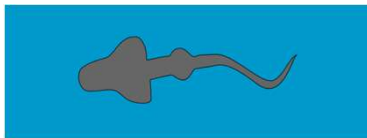
Plavanje

Gravitacija ni problem, ampak trenje

Voda podpira težo, vendar je gosta in predstavlja upor

Noge kot vesla, vodo-reaktivni (jet) pogon ali valovito (undulatno) gibanje, bočno ali gor-dol

Aerodinamični profil telesa poveča hitrost



Gibanje na kopnem

Organizem mora biti sposoben podpirati sebe in premagovati gravitacijo

Zrak ima majhen odpor, ampak tudi daje malo podpore

Poraba energije za pogon naprej in preprečevanje padca

Mišice in skelet sta bolj pomembna kot aerodinamična oblika

Skakanje

Kite v okončinah shranjujejo energijo pri pristajanju, kot vzmet pri odzivu

Izkoristek shranjene energije

Počitek s pomočjo repa in zadnjih nog na tleh

za vzdrževanje položaja ni potrebno veli



Hoja in tek

Zmanjšanje trenja med okončinami in tlemi

Hoja: štirinožci – tri okončine venomer na tleh; dvonožci – ena noga deloma venomer na tleh

Tek: štirinožci – 2-3 končine se gibajo istočasno, včasih vse

Inercija stabilizira položaj telesa

Plazenje

Trenje povzroča bistven upor zaradi povečanega stika s podlago

Valovito bočno, zelo počasno plazenje, s pomočjo peristaltike



Letenje

Krila so razvita za popolno obvladovanje gravitacije

Oblika telesa spreminja zračni tok in omogoči dvig telesa

Zračni pritisk pod telesom je večji



Vsa ostala gibanja ki se temeljijo na sistemih mikrotubalah ali mikrofilamentov.

Drsenje

Plezanje

Veslanje

Jadranje

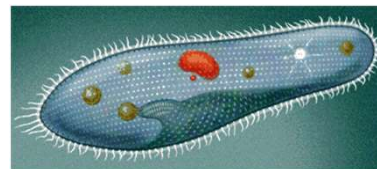


AMEBOIDNO GIBANJE

gibanje rastlinskih in živalskih celic
pretakanje citoplazme spreminja obliko celice
oblikovanje panožic ali psevdopodijev

**GIBANJE Z BIČKI IN MIGETALKAMI**

citoplazmatske strukture z nitasto zgradbo
zgradba - v sredini sta nameščena 2 mikrotubula, v kolobarju pa jih obdaja še 9 parov
utripanje bička ustvari vodni tok, ki celico prenaša



Razvoj specializiranih, krčljivih tkiv (večje živali)

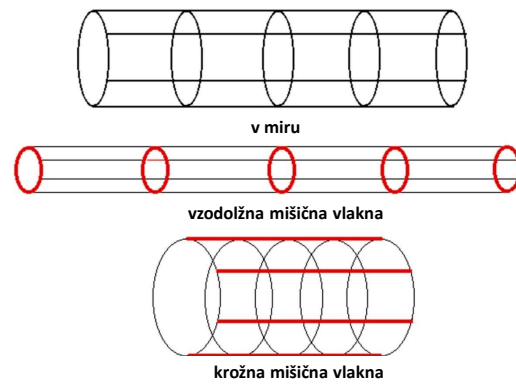
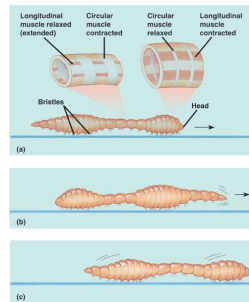
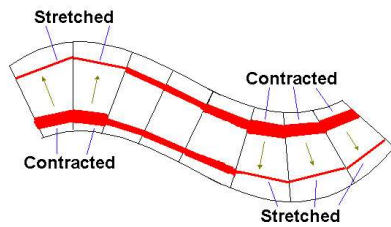
Ožigalkarji – preprosta krčljiva vlakna (ritmično krčenje, klobučnjaki)

Hydra (trdoživ)



Razvoj vzdolžnih krčljivih vlaken

Vzdolžne mišice + krožne (ploski črvi, kolobarniki,...)



Na tekočini zasnovan, v celomu

OKOSTJE, SKELET – opora in zaščita

Hidrostatski skelet

Zunanji (eksoskelet)

Notranji (endoskelet)

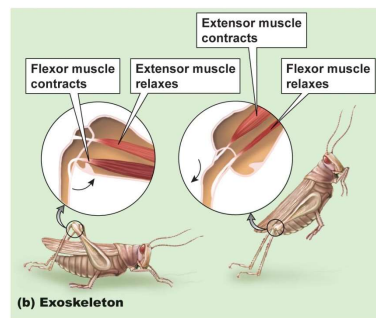
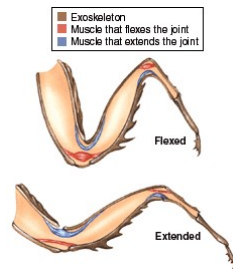
Zunanji skelet (eksoskelet)

tip oporne strukture pri živalih v obliki trdnega ovoja, ki predstavlja zunanjo plast telesa

iz močno povezanih in pogosto mineraliziranih beljakovin ali iz samih mineralov

- ZS mehkužcev in ramenonožcev so zgrajeni iz **kalcijevega karbonata** (CaCO_3) ali Si
- zunanji skelet **členonožcev** gradi beljakovina **hitin**

PRI MAJHNIH ŽIVALIH !!!



Japonski rak pajek / 3 m



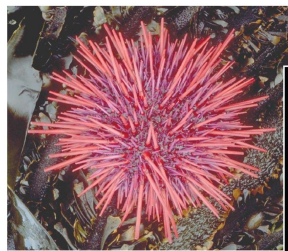
Kokosov rak / 1 m, 4 kg

Notranji skelet (endoskelet) – opora in zaščita

PRI VELIKIH ŽIVALIH !!

Spužve imajo ogrodje sestavljeno iz iglic (spikul), prekritih z anorgansko snovjo (apnenecem ali kremenom)

Iglokožci (**Echinodermata**) - Notranje ogrodje ali endoskelet se sestoji iz apnenčastih ploščic, ki se pri večini nahaja tik pod povrhnjico



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Notranji skelet sestavljajo trdne strukture znotraj telesa, ki jih premika mišičje.

Če so te strukture mineralizirane (okostenele), kot so pri ljudeh in drugih vretenčarjih, jim pravimo **kosti**.

Druga pomembna sestavina skeleta je **hrustanec**, ki podpira in dopolnjuje okostje.

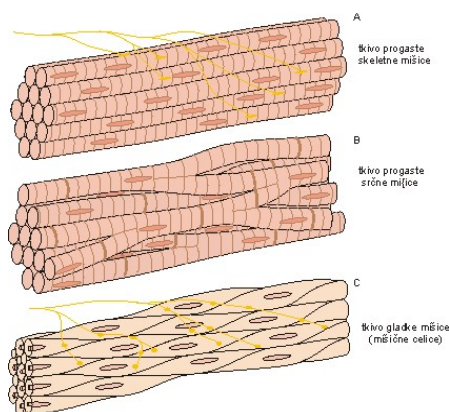
Nekateri organizmi imajo celoten skelet izključno iz hrustanca in povsem brez kalcificiranih kosti – ribe hrustančnice

Kosti in druge trdne strukture povezujejo **ligamenti**, z mišičjem pa jih povezujejo **kite**.

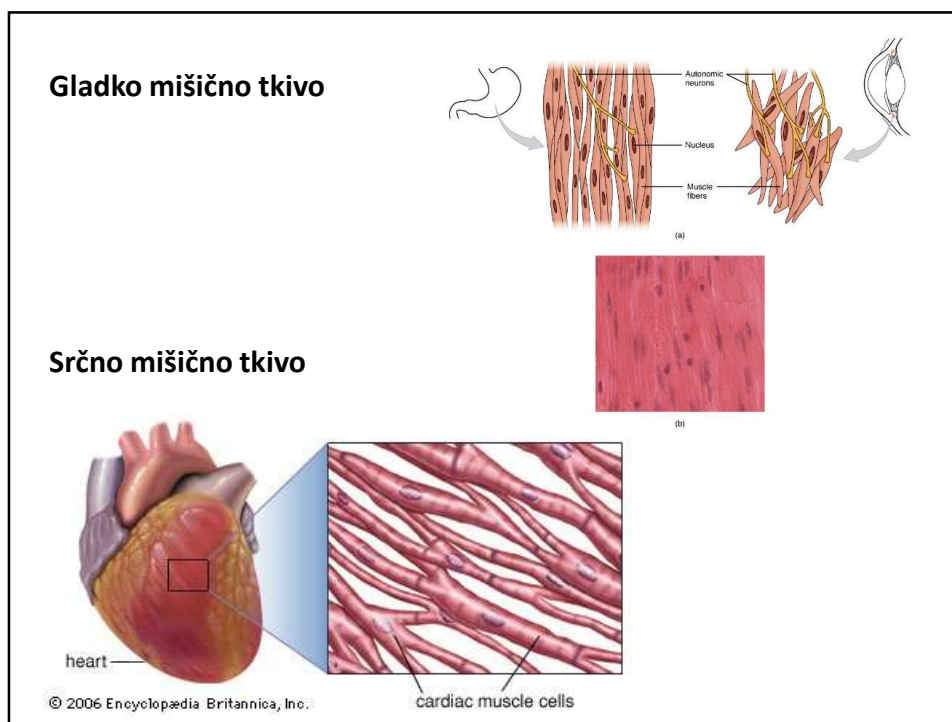


MIŠIČJE VRETNČARJEV TVORIJO

- **GLADKO** (stene notranjih organov, šarenica)
- **PREČNO PROGASTO** (SKELETNE mišice, SRČNA mišica)



	PREČNO PROGASTO TKIVO	GLADKO TKIVO	SRČNO TKIVO
CELICE (zgradba)	<ul style="list-style-type: none"> – nitaste celice - mišična vlakna (dolge, tanke) - sincicij (več celic se skupaj v razvoju zlije) – več jeder – večjedrna – ima vzorec – prečnoprokast – temno rdeče – mioglobin, ki je barvilo v mišicah in vsebuje rezervo kisika (zato se lahko hitro gibajo); Kisik se veže in sprošča pri nižjih parcialnih tlakih kisika kot hemoglobin. 	<ul style="list-style-type: none"> – vretenasta oblika celic – eno jedro – brez vzorca – ni mioglobina – svetle barve – nahajajo se v prebavni cevi, sečnici, semenovodu, jajcevodu, steni maternice, stene krvnih žil 	<ul style="list-style-type: none"> – razcepljeni konci – eno jedro – vzorec – prečnoprokast – mioglobin – zato se lahko hitreje gibajo – temno rdeče
NAČIN DELOVANJA	<ul style="list-style-type: none"> – lahko delujejo hitro, vendar se utrudijo – hitro delujejo, ker delujejo zavestno 	<ul style="list-style-type: none"> – počasi, vztrajno; zato se ne utrudijo – delujejo nezavesno 	<ul style="list-style-type: none"> – lahko deluje hitro, se ne utruji (lahko se pri angini pectoris – infarkt), ker je stena zelo prekrvavljena – deluje nezavesno
ŽIVČEVJE	<ul style="list-style-type: none"> – somatsko živčevje (središča so v skorji velikih možganov) – acetilholin – transmitter, ki sproži krčenje mišic 	<ul style="list-style-type: none"> – avtonomno živčevje – acetilholin (parasimpatik) – adrenalin (simpatik) 	<ul style="list-style-type: none"> – avtonomno živčevje – acetilholin – adrenalin <p>Živčevje pospešuje ali upočasni bitje srca</p>
ZNAČILNOSTI MIŠIČNIH CELIC	<ul style="list-style-type: none"> – nobena celica se več ne deli, lahko se obnavljajo – vzdražnost – na dražljaj reagirajo z impulzom; dražljaj so transmittirni krčljivost 		



SKELETNE MIŠICE – PREČNO PROGASTE

človek okoli 640 mišic, različnih oblik in velikosti. Masa skeletnih mišic predstavlja okoli 40% telesne teže

gibanje, premikanje telesa, opravljanje telesnih aktivnosti

ZGRADBA

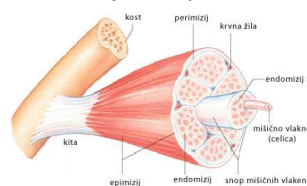
Mišica - telesno tkivo, sestavljeno iz **celic**, specializiranih za krčenje

Celica skeletne mišice se imenuje **mišično vlakno** (v primerjavi z drugimi telesnimi celicami precej velika; dolga so od 1 do 15 cm in v premeru merijo od 1 do 200 μm)

Mišice so obdane s tremi vrstami čvrstih vezivnih ovojnic:

- **endomizij** obdaja vsako mišično vlakno posebej
- **perimizij** obdaja več mišičnih vlaken skupaj in jih tako združuje v snope
- **epimizij** pa obdaja celotno mišico

Vezivne ovojnice se na koncih mišice združijo in tvorijo **kite**, s katerimi so mišice pritrjene na skelet



Mišično vlakno ima svojo celično membrano – **sarkolema** (prenos različnih snovi v in iz celice)

Elementi mišičnih celic, s pomočjo katerih se mišica krči, se imenujejo **miofibrile**

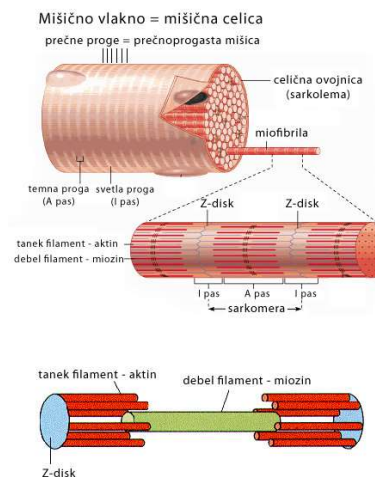
Miofibrile so sestavljene iz dveh različnih beljakovinskih struktur – filamentov:

- **aktina (tanjši) in**
- **miozina (debelejši)**

Vsak miozinski filament je obdan s šestimi aktinskimi.

Miozin in aktin se na vsakem koncu pripenjata na tako imenovani **Z-disk**, ki poteka prečno na mišično vlakno

Sarkomera (ki poteka od enega Z-diska do drugega) je najmanjša funkcionalna enota mišice. Dolga je okrog $2,5 \mu\text{m}$ in v premeru meri okrog $1 \mu\text{m}$

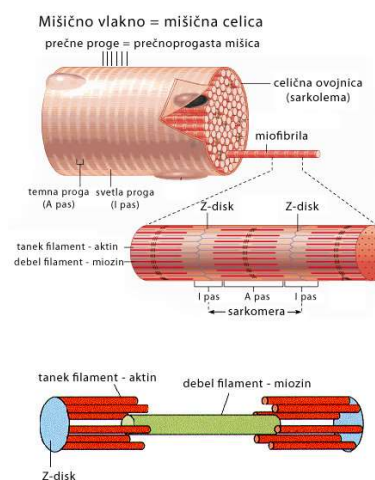


Ureditev aktina in miozina v sarkomeri da značilni prečnoprogasti videz skeletne mišice.

Vsaki temnejši progi pravimo **A pas**, svetlejši pa **I pas**.

V eni miofibrili je približno 3000 aktinskih in 1500 miozinskih filamentov

Zaradi svoje velikosti miozinski filament sestavljajo okoli 65% beljakovin skeletnih mišic



Zgradba mišičnega vlakna

Sarkolema (membrana)
Sarkoplazma (citoplazma)

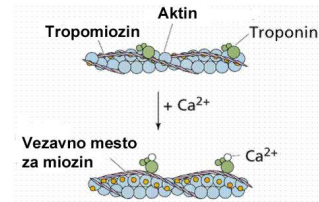
Kontraktilni aparat:

Miofilamenti:

- a. Tanki (aktin, tropomiozin, troponin (T, C, I))
- b. Debeli (miozin) (glava, vrat, rep)

Sarkomera - osnovna enota krčenja mišičnega vlakna

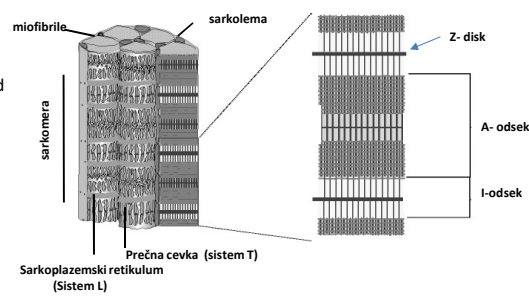
- a. Odsek A ali anizotropni odsek-temne proge
- b. Odsek I ali izotropni odsek- svetle proge



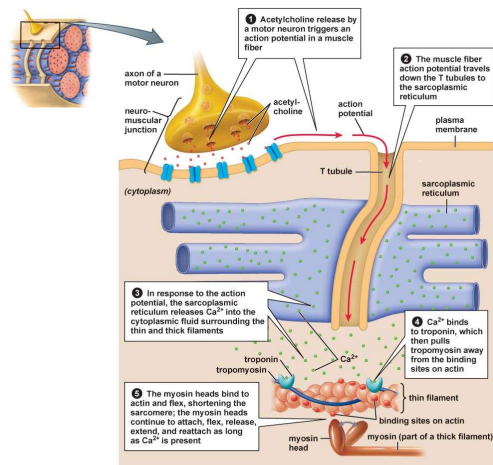
→ Prečna progavost

aktin,
tropomiozin,
troponin (podenote T, C, I)

- I – preprečuje vezavo med aktinom in miozinom
- C – se veže s kalcijevimi ioni
- T – stabilno povezuje troponin in tropomiozin



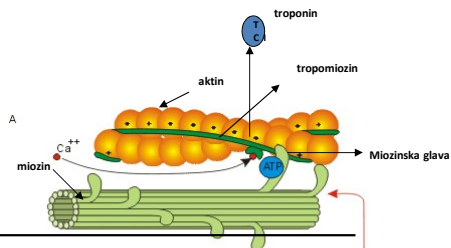
FIZIOLOGIJA MIŠIČNE KONTRAKCIJE ALI MEHANIZEM DRSEČIH FILAMENTOV



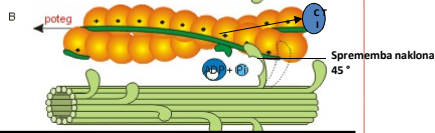
© 2011 Pearson Education, Inc.

Faze mišične kontrakcije

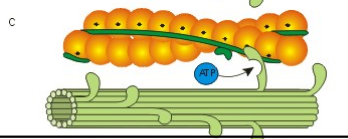
a. Vezava Ca^{2+} na troponin C prekine inhibicijo I troponina in omogoči nastanek kompleksa aktin – miozin – ATP



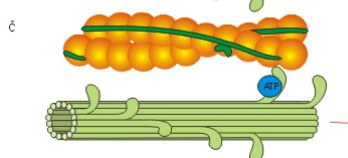
b. Ob prisotnosti Mg^{++} se v miozinski glavi aktivira ATPaza, ki hidrolizira ATP in sprosti anorganski fosfat P_i . To povzroči strukturno spremembo naklona miozinske glave, pomik aktinske verige. ADP se odcepi in dodatno pomakne aktinsko verigo. Rigorni kompleks (kompleks aktin-miozin) je stabilen.



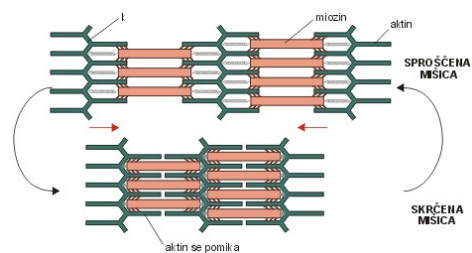
c. Razpad rigornega kompleksa zaradi ponovne vezave ATP na miozinsko glavo.



d. Cikel se ponovi, dokler je v citoplazmi dovolj visoka $\% \text{Ca}^{2+}$ in ATP-ja.



• V vsakem ciklusu aktinski miofilamenti drsijo ob miozinskih –dolžina sarkomer se skrajšuje to pa povzroči **krčenje mišice**.



• Krčenje mišice: **ATP, Ca^{2+} , Mg^{2+} , kontraktilni aparat**

• **Rigor mortis ali mrliška okorelost** nastopi, kadar v celici zmanjka ATP, kompleks aktin-miozin je trajno stabilen

SKELETAL MUSCLE CONTRACTION
THE SLIDING FILAMENT MECHANISM



<https://www.youtube.com/watch?v=S5uFaqpEPMI>

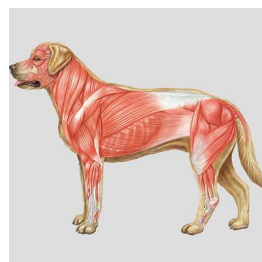
NALOGE IN LASTNOSTI SKELETNE MIŠIČNINE

Osnovne fiziološke lastnosti mišic:

- vzdraženost ali ekscitabilnost
- krčljivost ali kontraktilnost
- razteznost ali elastičnost

Osnovna naloga skeletne mišičnine:

- krčenje ali kontrakcija - gibanje
- vzdrževanje telesne drže
- stabilizacija sklepov
- tvorba toplote
- prilagajanje na spremembe



MOTORIČNI SISTEM

Temeljna načela organizacije motoričnega sistema

Motorični sistem - del živčevja, ki organizira gibanje + **skeletne mišice**, ki so izvajalke ukazov živčevja

Mišice, ki izvajajo določen gib:

Agonisti - izvedejo gib s krčenjem

Antagonisti - mišice, ki izvajajo nasproten gib agonistov.

Primer: fleksija in ekstenzija komolca

Sinergisti: mišice, ki sladno izvajajo določen gib



Gibanje

HOTENI GIBI

So naučeni gibi, sprva se jih težko naučimo, pozneje postanejo avtomatizirani.

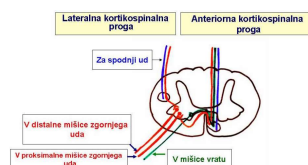
Organizacija hotenih gibov:

začne v višjih možganskih centrih (bazalni gangliji in nekateri predeli možganske skorje)

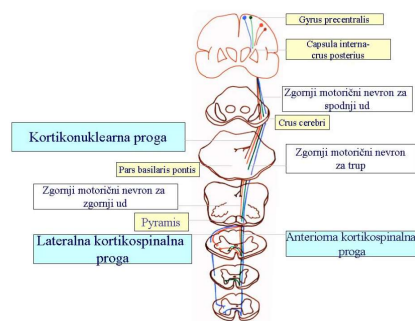
signali se potem projicirajo v primarno motorično skorjo in se po **piramidni (kortikospinalni) progi** prenesejo do motonevronov in izvedejo gib.

Piramidna proga je najvišja raven organizacije gibanja.

Najbolj razvita je pri človeku, kar omogoča izvedbo izjemno finih gibov, kakršnih ni zmožna nobena druga vrsta.



POTEK PIRAMIDNE PROGE



REFLEKSNI GIBI

Po organizaciji so preprostejši od hotenih
npr. umik roke s peči – umaknitveni refleks



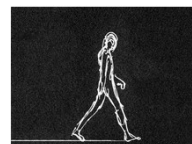
Organizacija refleksnih gibov:

Lahko že na ravni hrbtenjače in ne potujejo do višjih motoričnih centrov. Višji motorični centri vseeno vplivajo na refleksne gibe.

GIBI Z RITMIČNIM VZORCEM

Hoja, tek, žvečenje; so gibi, ki združujejo elemente hotenih in refleksnih gibov.

Hoteni so tisti, ki se začenjajo in končajo (prvi in zadnji korak pri teku),
refleksni gibi pa so vmesni, ponavljajoči se gibi (ostali, vmesni koraki pri teku).



Hierarhične ravni organizacije gibov

Hrbtenjača

Najnižja raven organizacije (najpreprostejši gibi)

Možgansko deblo

Organizacija gibov je **kompleksnejša**

Tu se stekajo informacije različnih **senzoričnih receptorjev** (vidni, slušni signali, signali iz ravnotežnega aparata, iz receptorjev v koži in mišicah).

Ti signali skupaj s prelevi iz malih možganov prenesejo signale do motonevronov in kontrolirajo njihovo delovanje.

Možganska skorja

Najvišja raven organizacije gibanja (hoteni gibi).

Tu sodelujejo še bazalni gangliji, ki uravnavajo aktivnost nevronov v primarni motorični skorji, od tu pa po piramidni proggi se prenesejo do alfa motonevronov.

HRBTENJAČA – somatotopična organiziranost

Sivina hrbtenjače:

V njej ležijo **telesa motonevronov** v skupkih, iz njih izhajajo periferni živci, ki oživčujejo mišico.

Lokacija skupkov:

skupki, ki oživčujejo mišice **ekstenzorjev** se nahajajo spredaj

skupki **fleksorjev** zadaj v sprednjih rogovih hrbtenjače

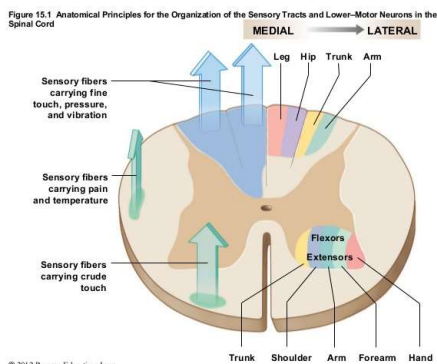
skupki za **distalne** dele udov so lateralno

skupki, ki oživčujejo trup pa medialno v sprednjih rogovih hrbtenjače.

Bela substanca:

V njej potekajo vlakna raznih prog. Vlakna piramidne proge, ki se stekajo k motonevronom za mišice trupa potekajo po sprednjem delu hrbtenjače, vlakna za distalne dele udov pa po stranskem delu hrbtenjače.

Motorični sistem deluje tako, da so aktivirane samo tiste motorične enote, ki so za gib, ki ga izvajamo potrebne, inhibirane pa so vse tiste enote, ki gibu nasprotujejo.



ŽIVČNO MIŠIČNI STIK (ŽMS)

Stik med živčno celico in mišičnim vlaknom

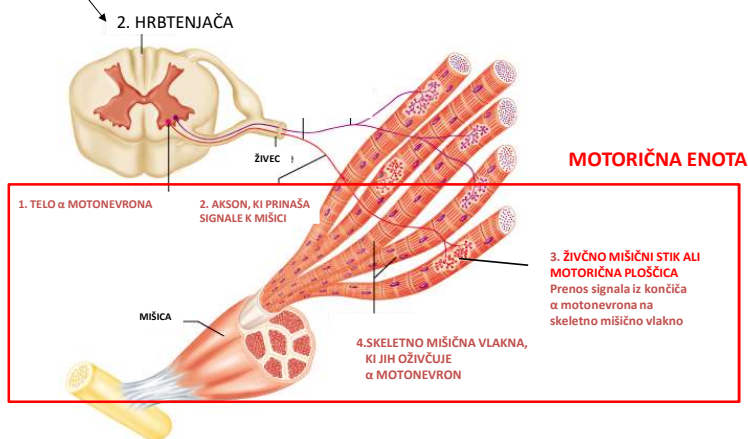
- Živčni nadzor
- Zgradba živčno mišičnega stika
- Živčno mišični prenos

A. Živčni nadzor mišične kontrakcije

1. Motorična enota

1. MOŽGANI

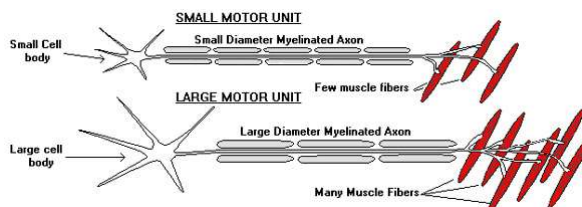
(višji motorični centri)



Število skeletnomišičnih vlaken, ki pripadajo eni motorični enoti, je lahko različno:

majhno (tudi manj kot 10 vlaken) je pri motoričnih enotah tistih mišic, ki so zadolžene za opravljanje zelo finih gibov (npr. male mišice grla, ki skrbijo za oblikovanje glasov govora ali petja)

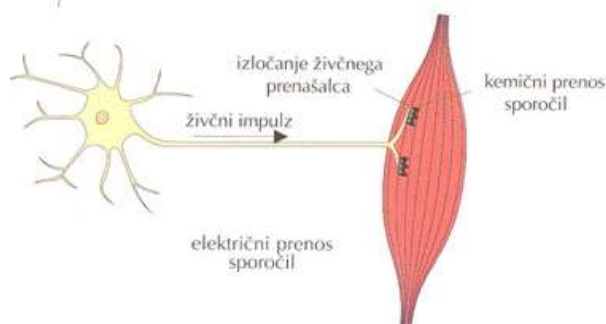
veliko število vlaken (okrog 2000) najdemo pri motoričnih enotah tistih mišic, ki so potrebne za vzdrževanje stoje in drže (npr. velike mišice spodnjih udov).



2. Aktiviranje motoričnih enot

Aktivirati motorično enoto pomeni sprožiti krčenje njenih pripadajočih vlaken.

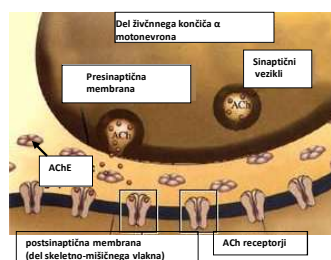
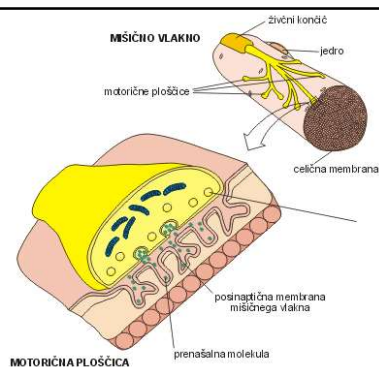
Za aktivacijo so odgovorni živčni dražljaji, ki se prožijo na posebnem delu α motonevrona v obliki **akcijskega potenciala (AP)** potujejo po aksonu do živčno-mišičnega stika.



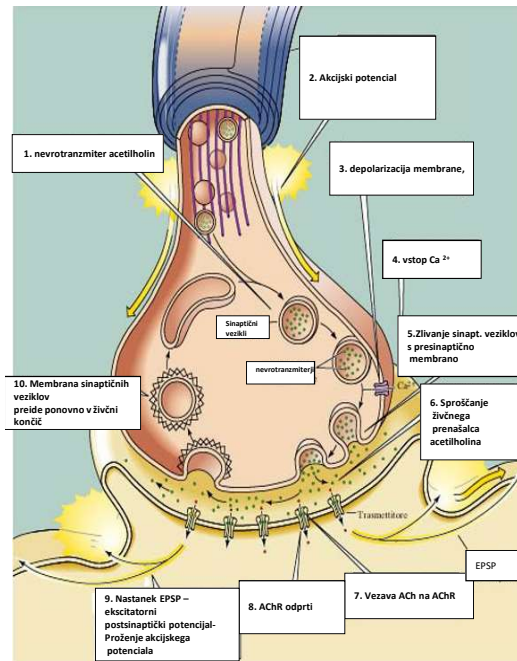
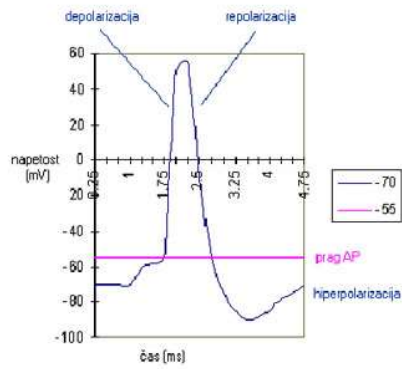
Prenos dražljaja iz živčnega končiča α -motonevrona na skeletno mišično vlakno poteka preko **kemične sinapse ali živčno-mišičnega stika (ŽMS)**

B. Živčno-mišični stik (zgradba)

- Presinaptični del** (živčni končič α -motonevrona s številnimi **sinaptičnimi vezikli**, ki vsebujejo kemični prenašalec **ACh-acetilholin**) in se nahajajo na posebnih mestih presinaptične membrane- **aktivne cone**.
- Postsinaptični del** - skeletno mišično vlakno pripadajoče motorične enote, kjer se nahajajo acetilholinski receptorji (AChR).
- Sinaptična špranja ali reža** (vdolbina v področju ŽM stika, ki se nahaja med presinaptično in postsinaptično membrano, vsebuje encim **acetilholinesterazo (AChE)**.



C. Živčno-mišični prenos



Časovna omejitev prenosa signala v ŽMS

Acetilholinesteraza
(encim za razgradnjo acetilholina)



Razgradnja acetilholina



~~EPSP~~



Prenos signala je zaključen



Motorična ploščica je pripravljena za prenos novega signala

Energija za mišično krčenje

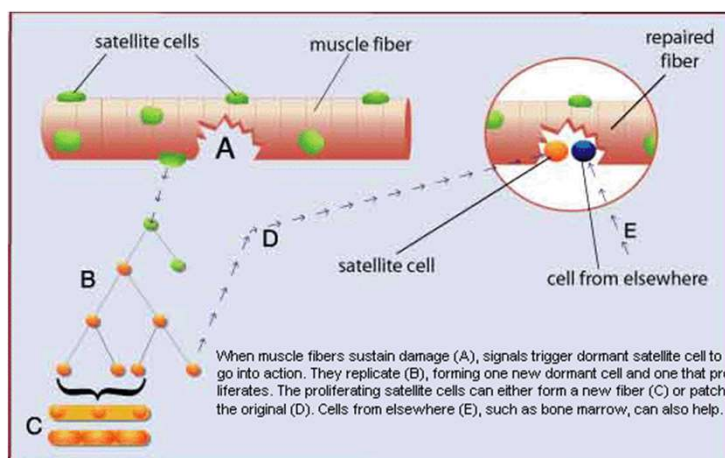
- Neposredni vir energije** (hidroliza ATP v ADP in Pi)
- Kratkoročni posredni vir energije** (fosforilacija ADP z energijskim fosfatom iz kreatininfosfata).
- Dolgoročni posredni vir energije:**
Glikolitična presnova ali anaerobni proces: razgradnja glukoze in zalog glikogena do laktata.
Aerobna presnova: razgradnja glukoze in glikogena do CO₂ in H₂O in razgradnja prostih maščobnih kislin v mitohondrijih.

Mišična vlakna delimo glede na presnovo:

- Hitri tip vlaken (glikolitična presnova) - izkoriščajo energijo z glikolizo, ki omogoča zelo hiter nastanek ATP. So 3-5x hitrejša od počasnih vlaken. Manj prekrvljen
- Počasni tip vlaken (aerobna presnova) - energijo pridobivajo tudi z aerobno razgradnjo, zato imajo veliko mitohondrijev in mioglobina. Izkoriščajo glukozo in maščobne kisline

Razmerje med počasnimi in hitrimi vlakni je odvisno od genov, pa tudi treninga – tako pripraviš hitra vlakna do aerobne razgradnje, da so bolj vzdržljiva.

SATELITSKE CELICE - OHRANJAJO MOŽNOST DELITVE IN OBNOVE SKELETNE MIŠIČNINE

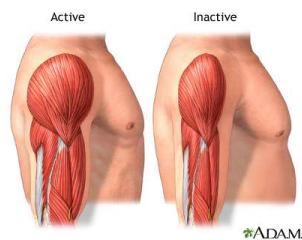


ATROFIJA

Ločimo:

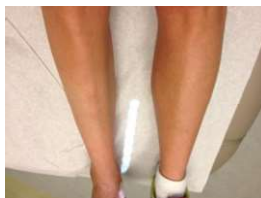
- Številčno
- Volumensko
- Fiziološko
- Patološko

Zmanjšanje organa, ker se zmanjšajo njegove celice (fiziološka atrofija)



Posledica:

- Staranja (sarkopenija)
- Dolgotrajne telesne neaktivnosti
- Poškodbe živčevja
- Zlomi
- Slabe prehranske navade



Za normalno funkcioniranje vsakega organizma je potrebno

REDNA TELESNA AKTIVNOST

