

ANATOMIJA I FIZIOLOGIJA MIŠIĆA

**ICEPS, 2018.godina
Dr Vladimir Krstić**



Mišići glave

1. Površni mišići (mimični mišići)- inervacija n.facialis

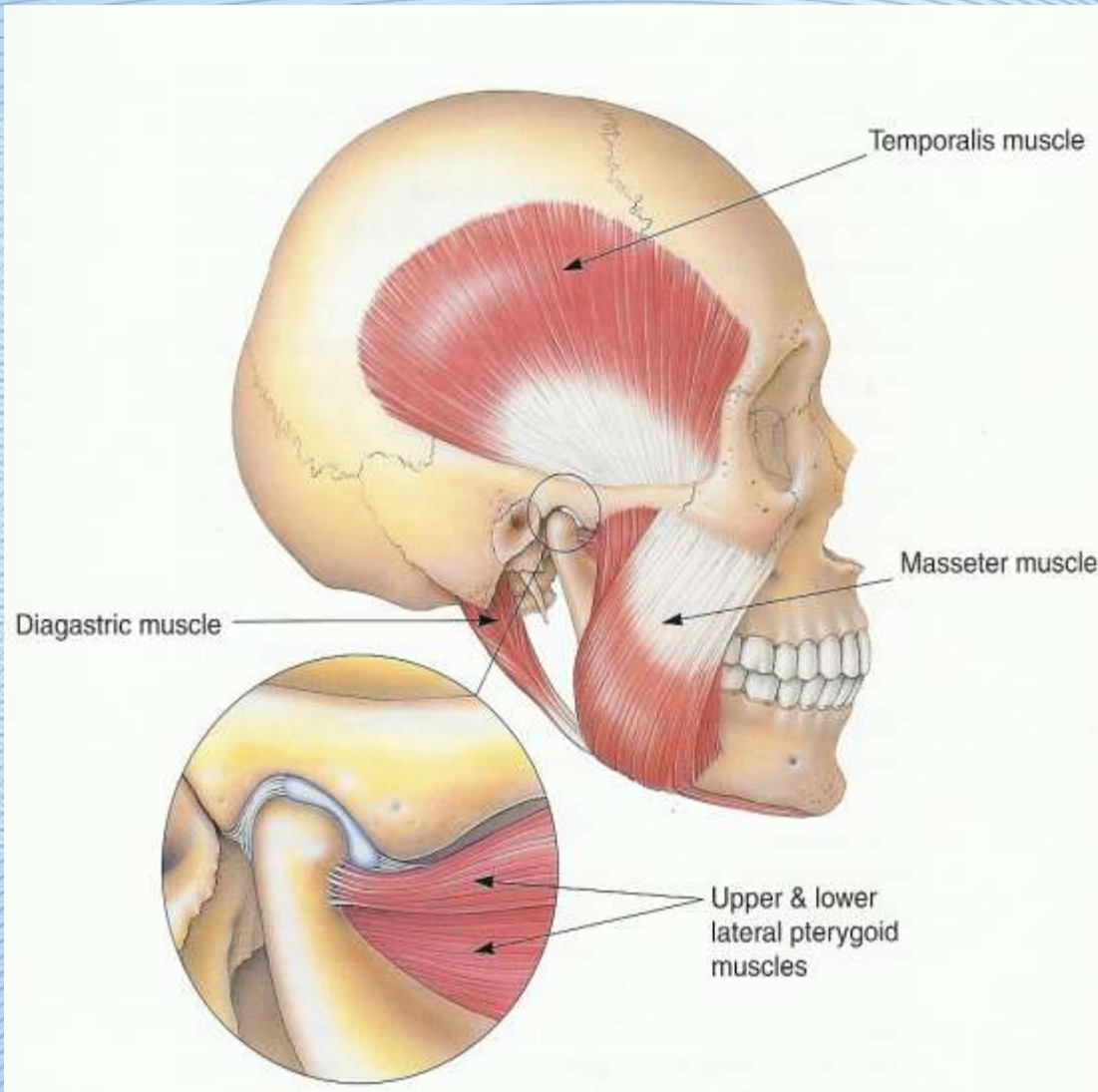
mišići svoda lobanje, mišići spoljašnjeg uha, mišićni očnih kapaka i obrva, mišići pridodati otvoru nosa, mišići usana, obraza i brade
- regulišu izraz lica, odnosno mimiku

2. Duboki mišići (mastikatorni mišići)- inervacija n.madibularis

m.masseter, m.temporalis, m. pterygoideus lat. et med.
- pokreti donje vilice (otvaranje i zatvaranje usta)

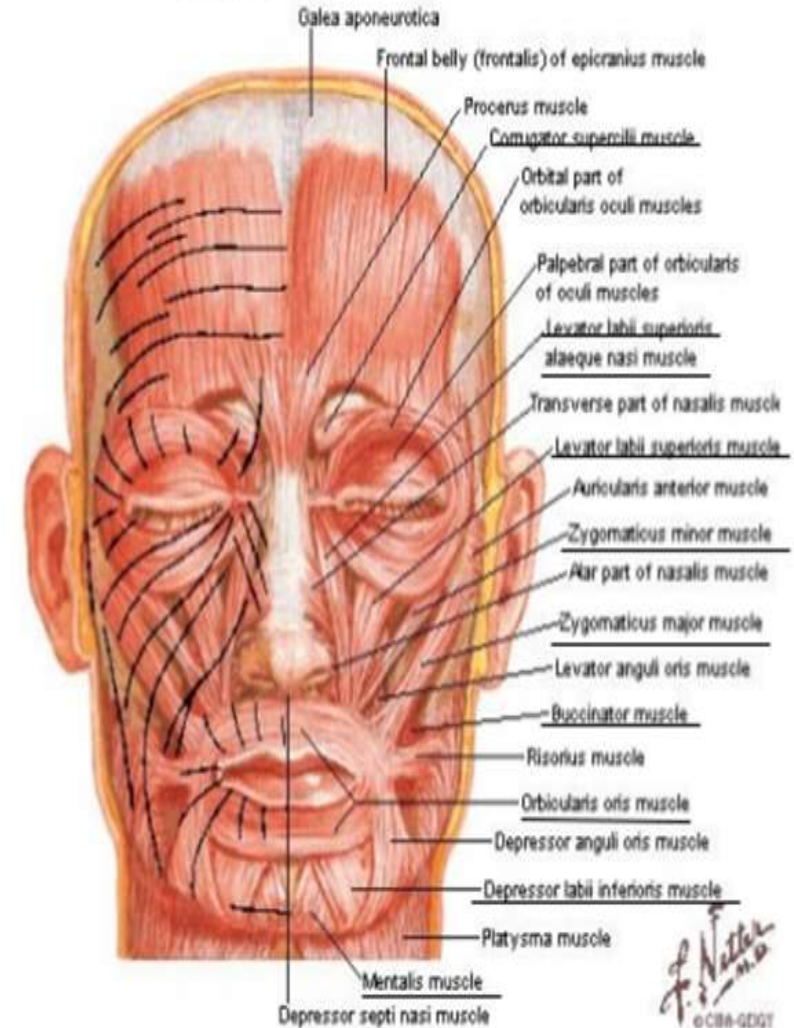


Mišići glave



Muscles of Facial Expression

Anterior View



Mišići trupa

- dele se na dorzalne i ventralne

1. Dorzalni- mišići ledja

2. Ventralni- mišići vrata, mišići grudnog koša, mišići trbuha



Mišići ledja

- dele se na **dve grupe**

1. **Površinsku**- polaze sa rtnih nastavaka kičmenih pršljenova i završavaju se na kostima ramena (**spinohumeralni mišići**) ili zadnjim delovima rebra (**spinokostalni mišići**)

- podeljeni u tri sloja:

zadnji (m. trapezius, m. latissimus dorsi);

srednji (m. levator scapulae, m. rhomboideus);

duboki (m. serratus posterior- superior et inferior, spinokostalni mišići)

2. **Duboku**- dve uzdužne mišićne mase pored rtnog grebena od zadnjeg dela koštano karličnog prstena do baze lobanje; osiguravaju normalan pravac i stabilnost tela

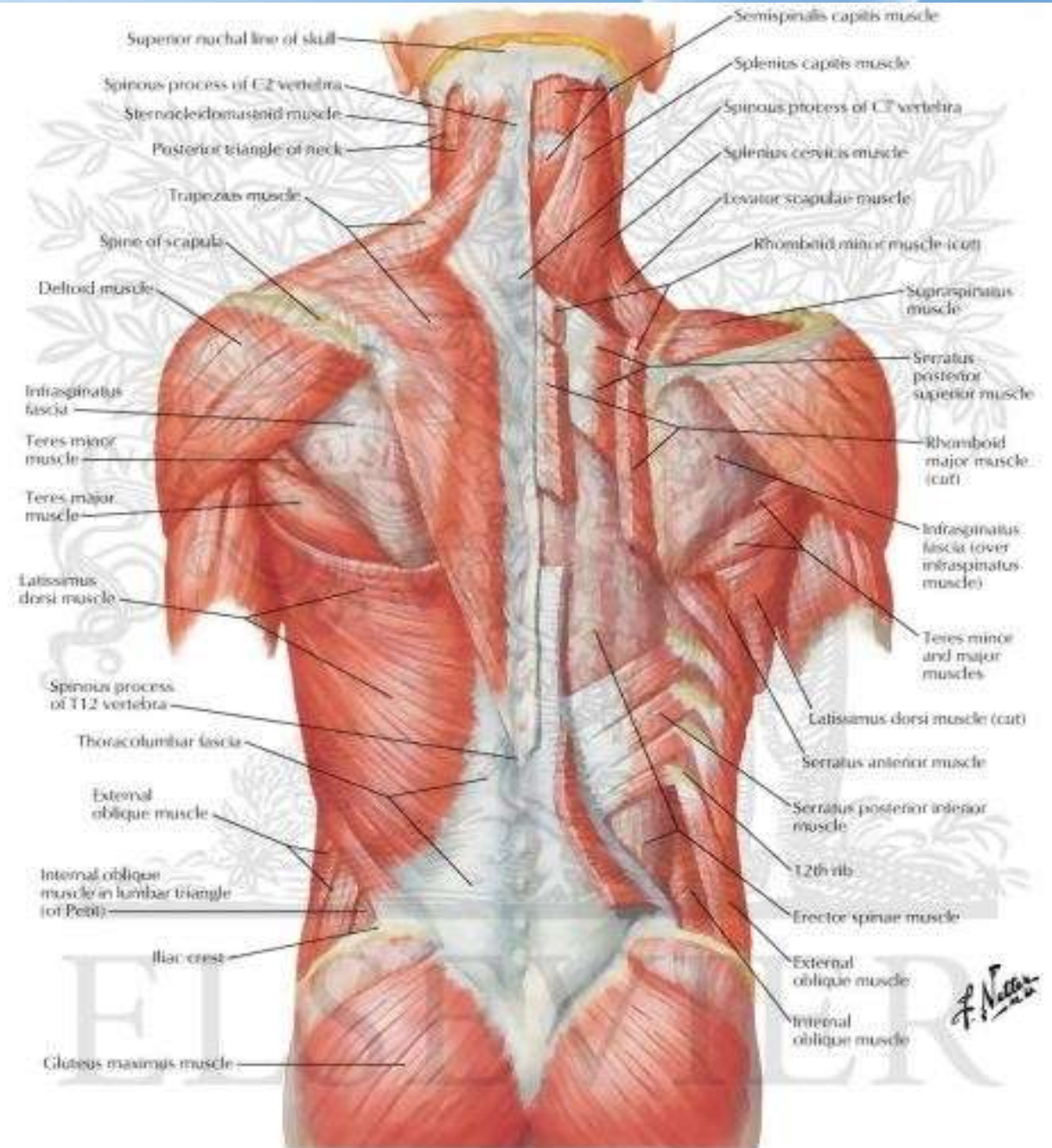
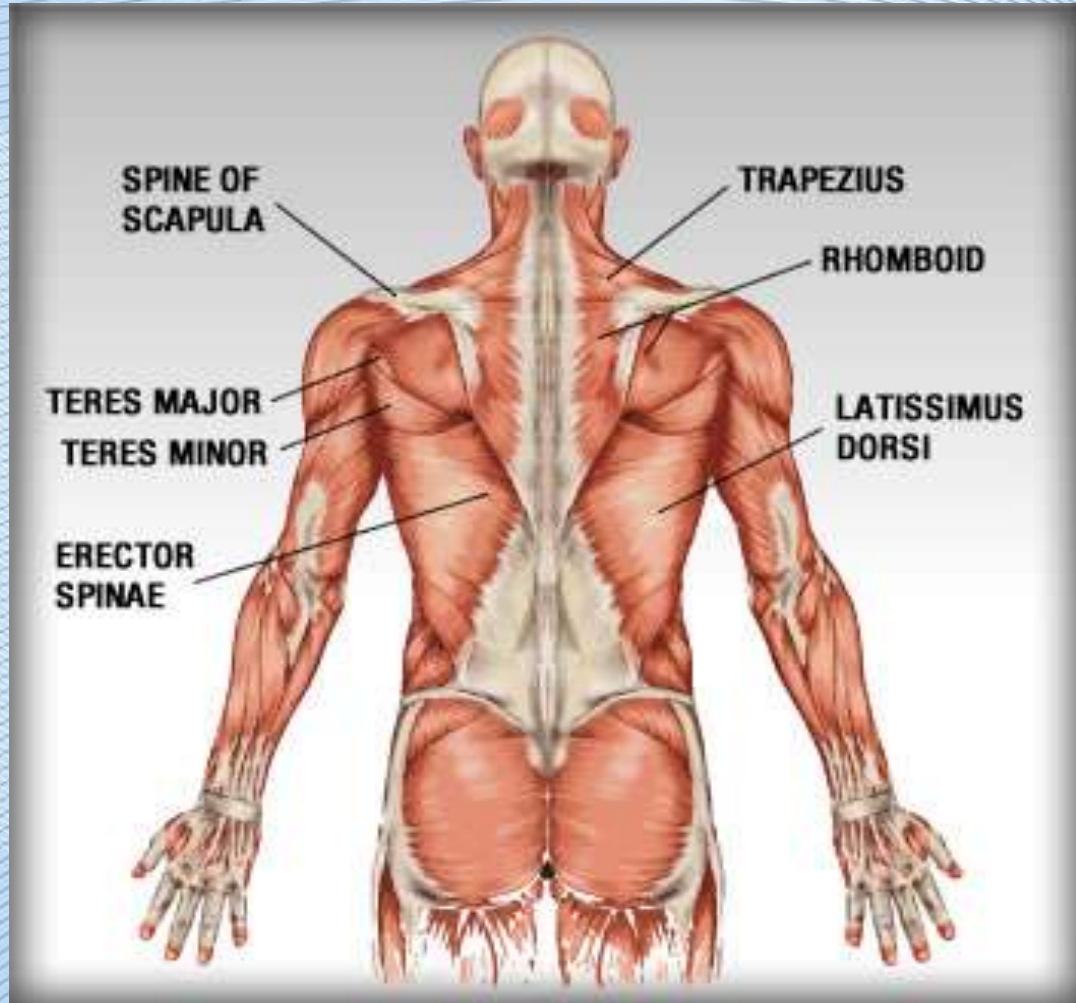
- Podeljeni u dva sloja:

Površni (m. erector spinae, m. splenius)

Duboki (kratki mišići- mm. interspinalis, mm. intertransversarii, subokcipitalni mišići, m. transversospinalis)



Mišići ledja



Mišići vrata

- podeljeni kičmenim stubom na prednje i zadnje

1. Površni mišići

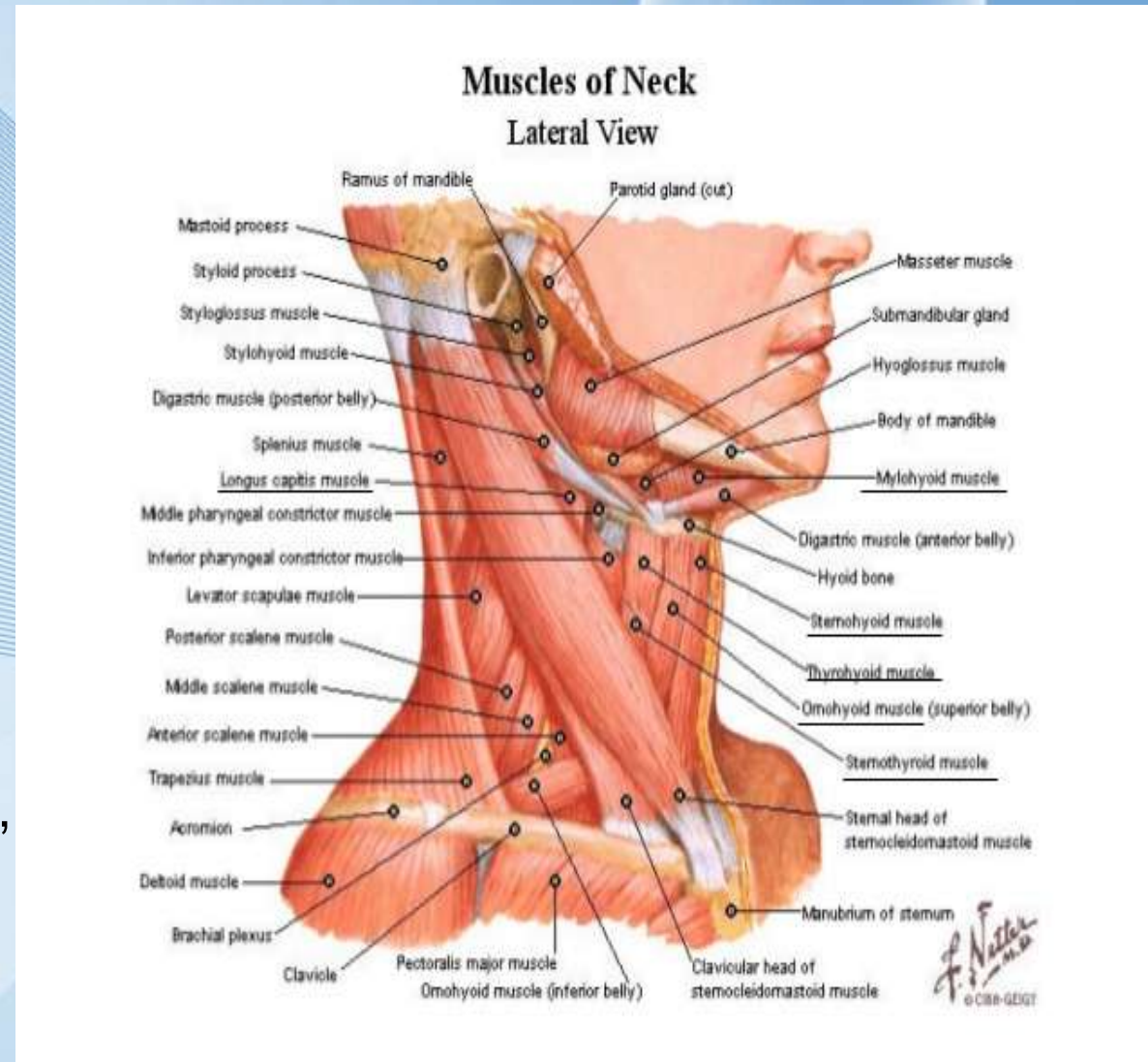
(mm. suprahyoidei, mm. infrahyoidei- medijalna grupa;
m. sternocleidomastoideus- lateralna grupa)

2. Duboki mišići

(mm. scaleni- lateralna grupa,
mm. paravertebrales- medijalna grupa)

- pokreti glave i vrata u gornjem i donjem zglobu glave,
i u spojevima vratnih pršljenova

- fleksija, ekstenzija, bočno savijanje i uvrtnje



Mišići grudnog koša

- Dele se na dve grupe: površnu i duboku

1. **Površna ili costohumeralna grupa** (polaze sa prednjeg ili bočnog zida grudnog koša, završavaju se na kostima ramena i učestvuju u pokretima gornjih ekstremiteta)

m. pectoralis major; inervacija prednje strane plexus brachialis (nn. pectorales)

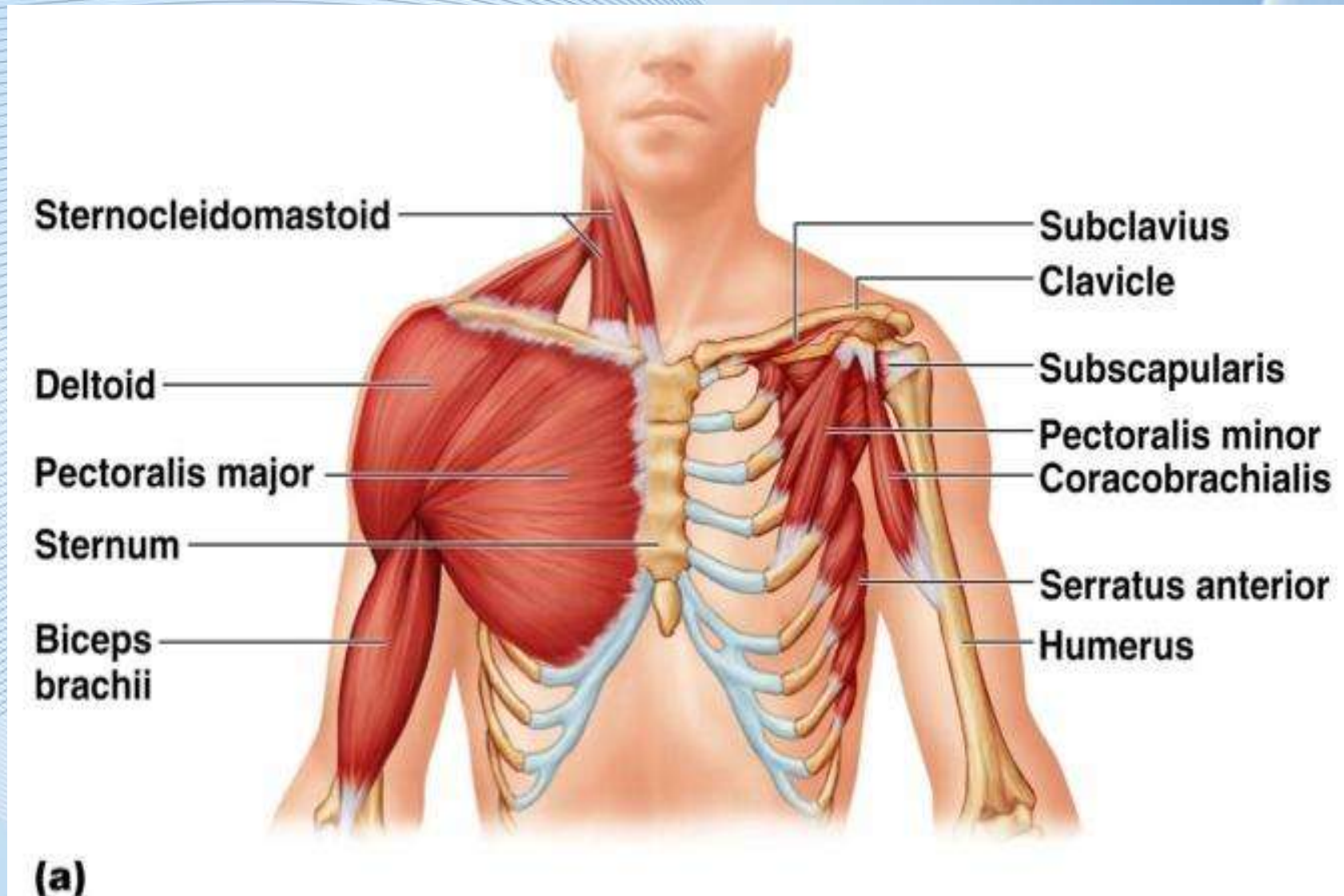
m. pectoralis minor; (nn. pectorales)

m. subclavius; (n. subclavius)

m. serratus anterior; (n. thoracicus longus)



Mišići grudnog koša



Mišići grudnog koša

2. Duboki mišići- respiratirni mišići

- svojom kontrakcijom regulišu mehaniku disanja (povećavaju ili smanjuju grudnu duplju)

mm. intercostales externi et interni

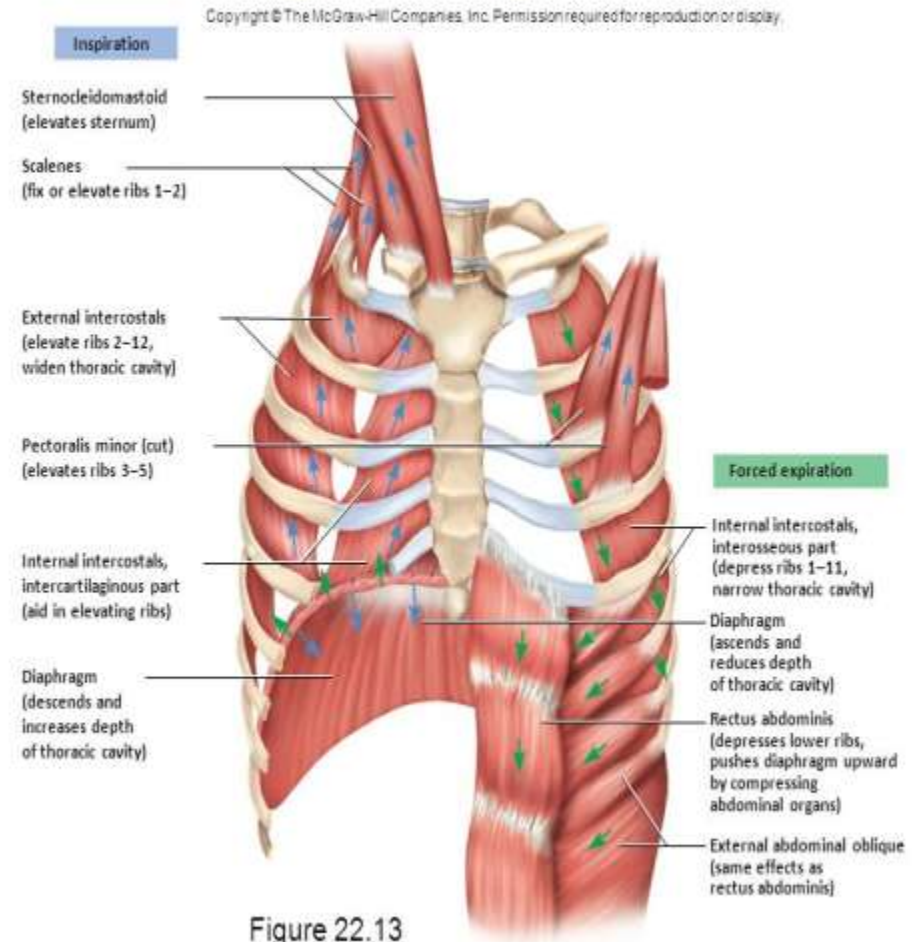
m. transversus thoracis

(nn. intercostales)

Diaphragma (prečaga)- razdvaja grudnu od trbušne duplje

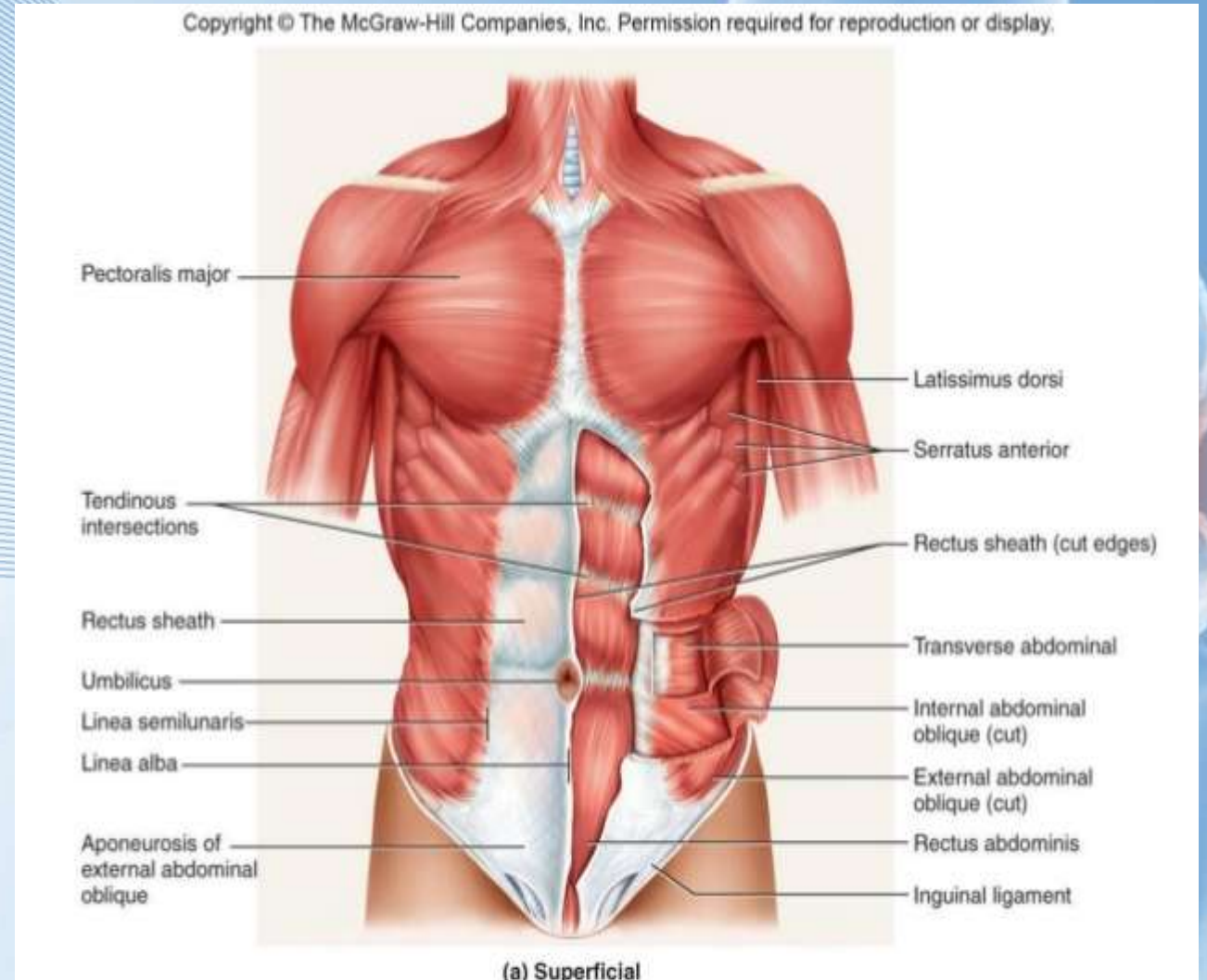
- centrum tendineum- tetivno središte
- pars costalis, pars lumbalis, pars sternalis
- (n. phrenicus)

Respiratory Muscles



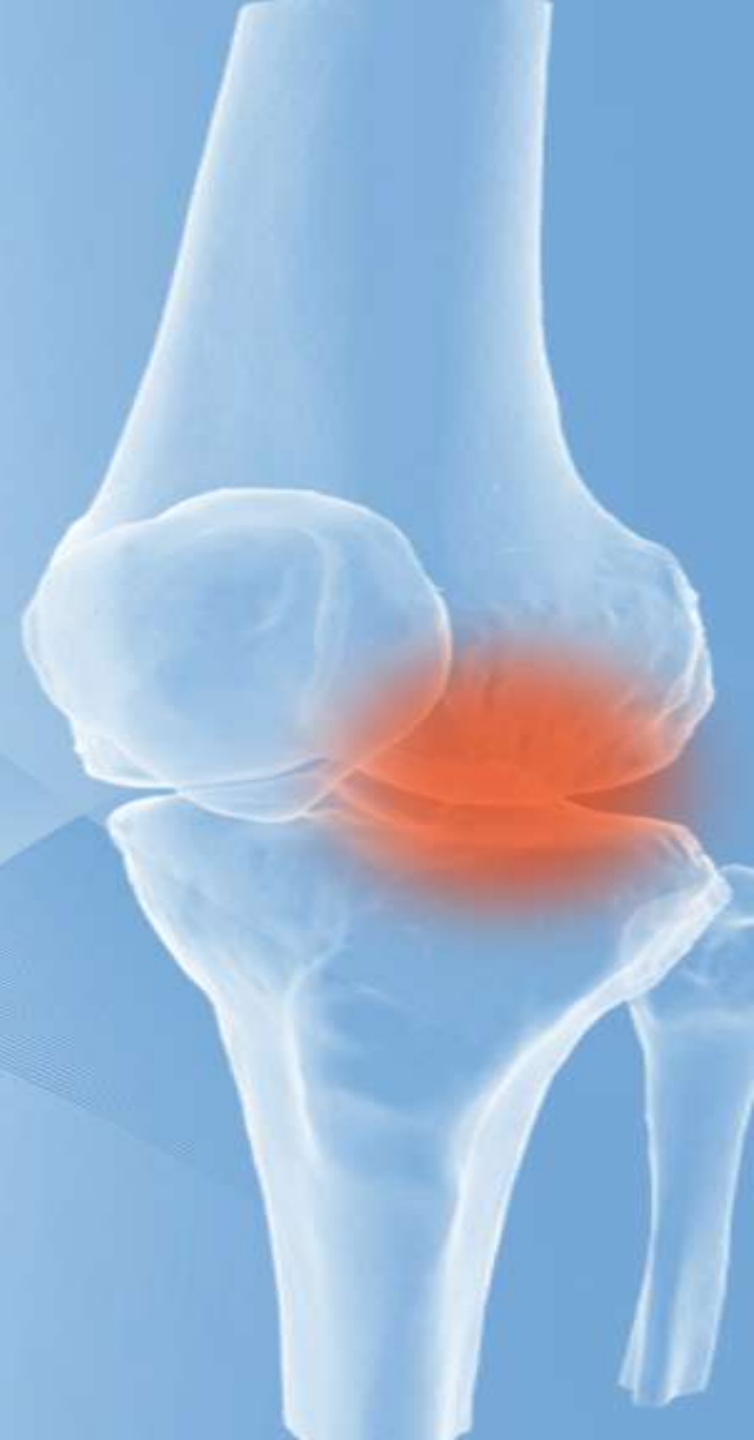
Miši trbuha

- locirani izmedju grudnog koša i gornje ivice karlice
 - nn. intercostales, n. lumbalis
 - dele se u dve grupe: prednje-bočni i zadnji
1. Prednje- bočni trbušni mišići
 - m. transversus abdominis**
 - m. obliquus abdominis internus et externus**
 - m. rectus abdominis**
 - m. pyramidalis**
 - fleksija, laterofleksija, rotacija trupa
 - prelum abdominale (trbušna presa)- drže svojim tonusom organe trbušne duplje in situ
 2. Zadnja grupa trbušnih mišića
 - m. quadratus lumborum**



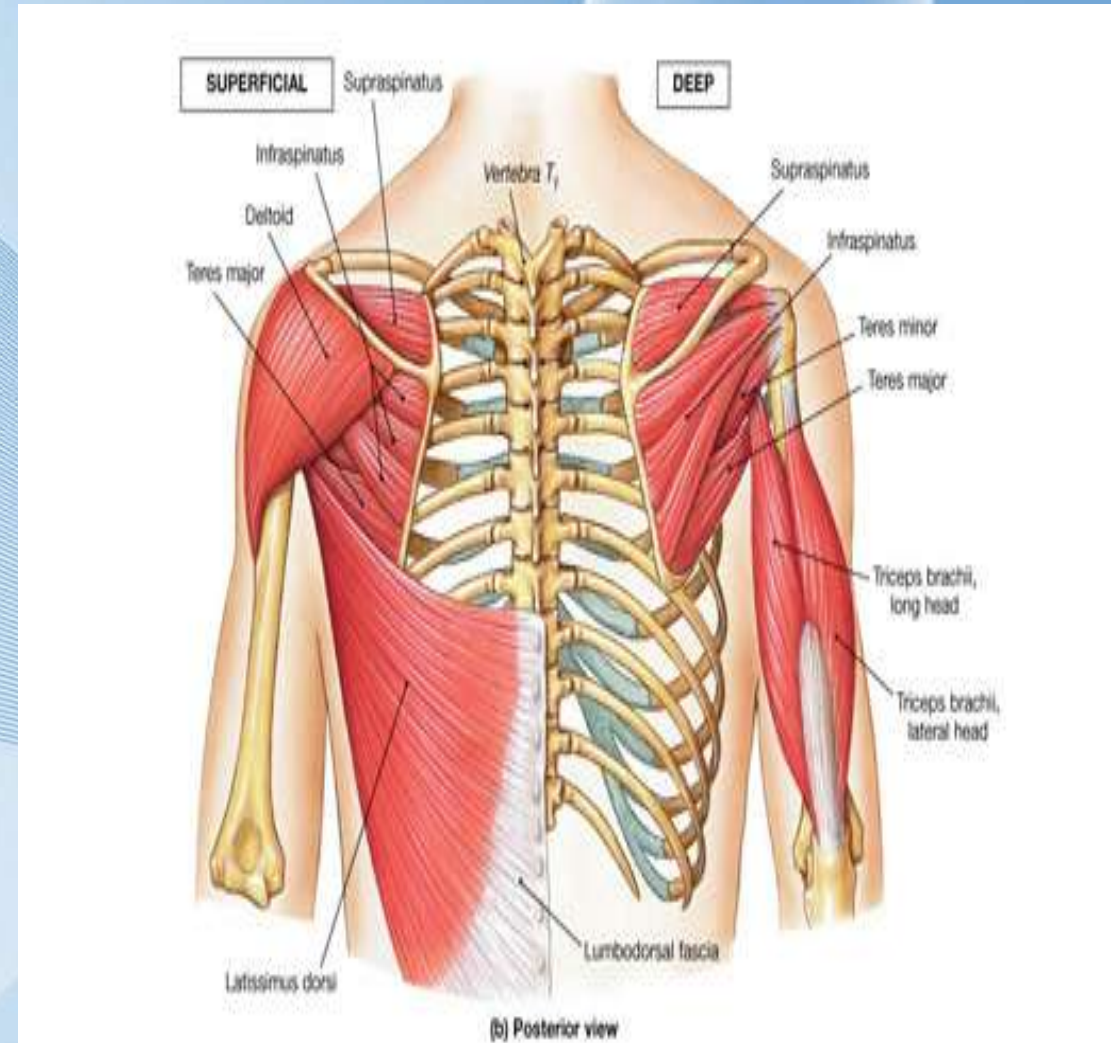
Mišići gornjih ekstremiteta

- Dele se na četiri grupe:
 1. Mišići ramenog pojasa
 2. Mišići nadlaktice
 3. Mišići podlaktice
 4. Mišići šake



Mišići ramenog pojasa

- **m. deltoideus** (deltasti mišić)
 - snažan abduktor ruke; n. axilaris
 - **m. subscapularis** (podlopatični mišić)
 - glavni unutrašnji rotator; n. subscapularis
 - **m. supraspinatus** (nadgrebeni mišić)
 - pomoćni adduktor ruke; n. suprascapularis
 - **m. infraspinatus** (podgrebeni mišić)
 - spoljašnji rotator; n. suprascapularis
 - **m. teres major** (veliki obli mišić)
 - addukcija i unutrašnja rotacija nadlakta; n. subscapularis
 - **m. teres minor** (mali obli mišić)
 - spoljašnja rotacija; n. axilaris
-
- povezuju gornji okrajak humerusa sa kostima ramenog pojasa
 - složen pokretački sistem (pokreti u ramenom zglobu) sa sinergističkim dejstvom



Mišići nadlaktice

- Podeljeni su na dve grupe

1. Prednja grupa (n. musculocutaneus)

m. biceps brachii

- caput breve, caput longi
- fleksija i supinacija podlakta, fleksija i abdukcija nadlaktice

m. coracobrachialis

- fleksija nadlakta i podlakta, unutrašnja rotacija nadlaktice

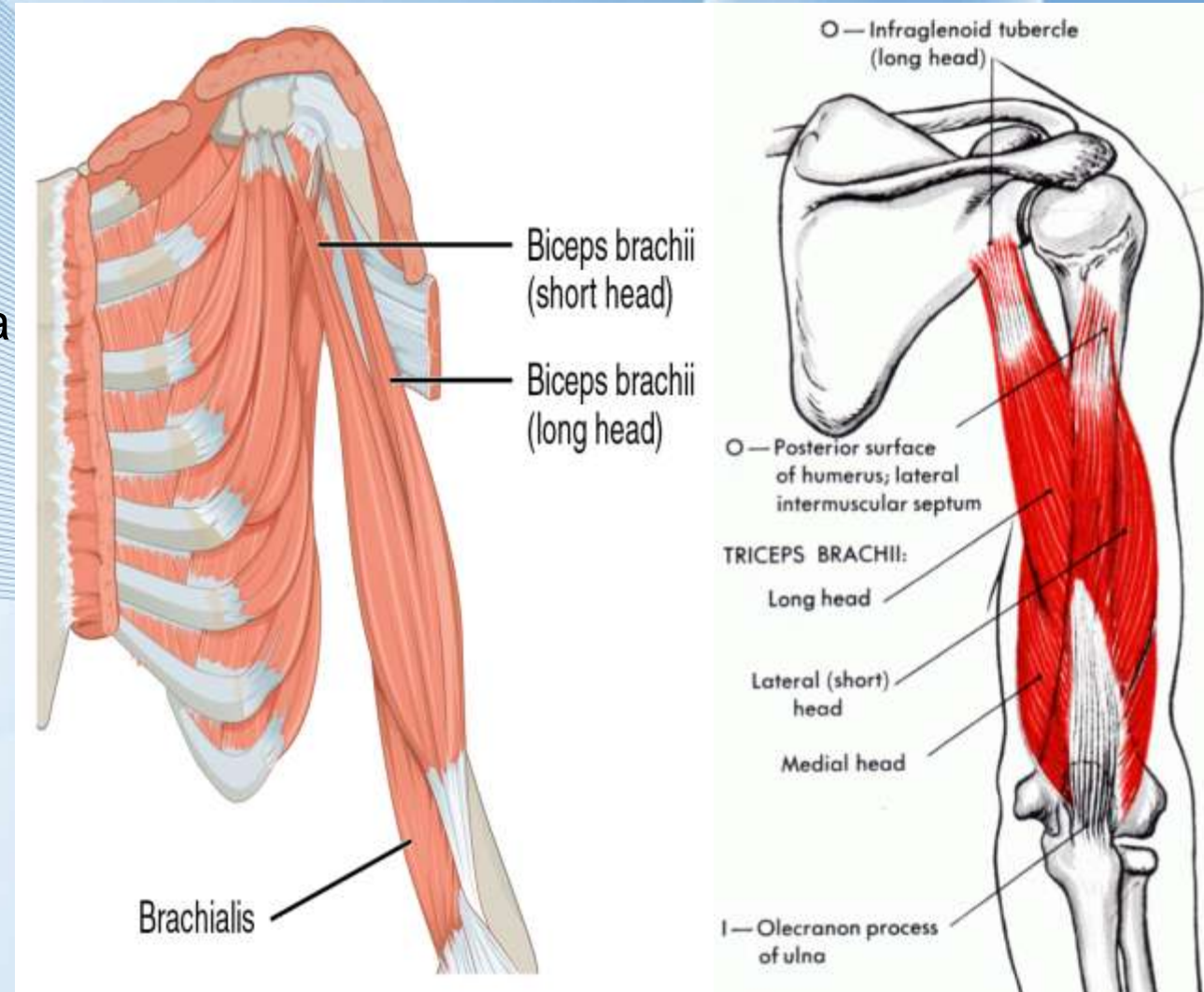
m. brachialis

- fleksija podlaktice

2. Zadnja grupa

m. triceps brachii

- caput longum, mediale et laterale
- glavni ekstenzor nadlaktice
- n. radialis



Mišići podlaktice

- dele se u tri grupe:

Prednja- 8 mišića (dva su pronatori podlakta, ostali su fleksori ručja i prstiju)

Spoljna- 4 mišića (dva ekstenzora i dva supinatora podlaktice)

Zadnja- 8 mišića (svi učestvuju u pokretima ekstenzije ručja i prstiju)

- proksimalni pripoji na medijalnom ili lateralnom epikondilu humerusa, odnosno na gornjem okrajku ulne
- distalni pripoji na prednjoj ili spoljašnoj strani žbice (pronatori, supinatori) ili na prednjoj i zadnjoj strani kostiju doručja ili članaka prstiju



Mišići podlaktice

- Prednja grupa (n. medianus sa svojim granama)

m. pronator teres

m. pronator quadratus

m. flexor carpi radialis

m. palmaris longus

m. flexor carpi ulnaris

m. flexor digitorum superficialis et profundus

m. flexor pollicis longus

- Spoljašnja grupa (n. radialis)

m. brachioradialis

m. extensor carpi radialis longus et brevis

m. supinator

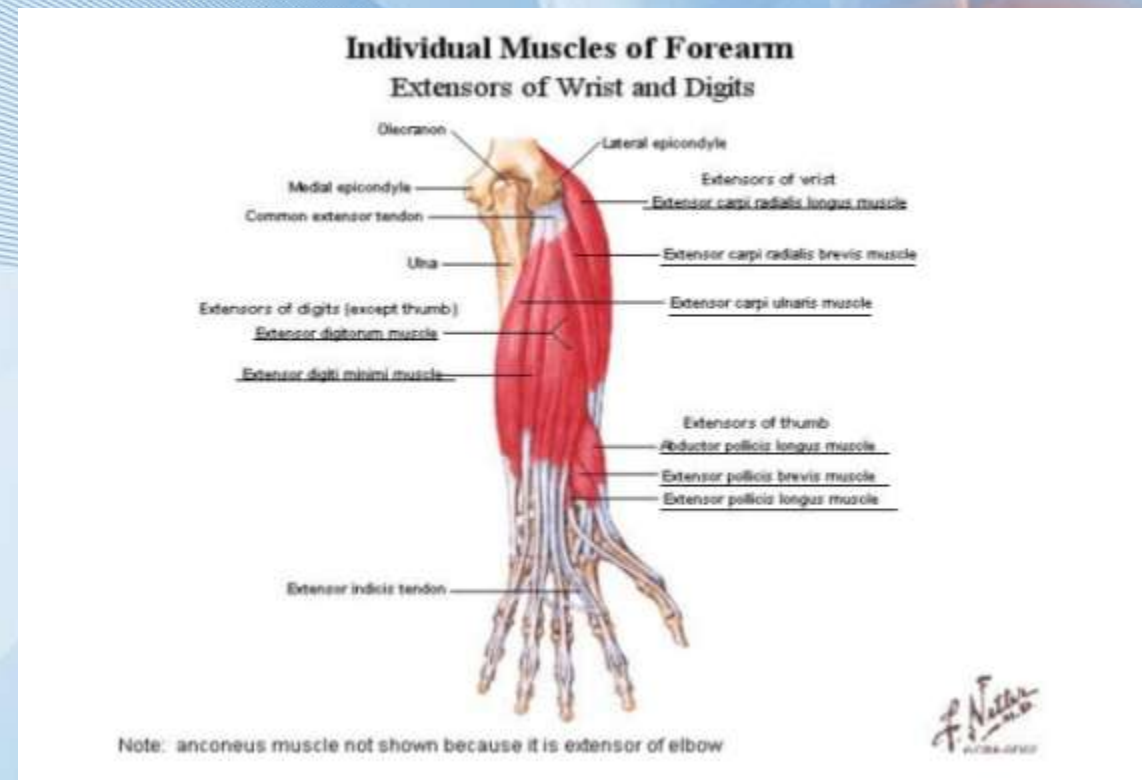
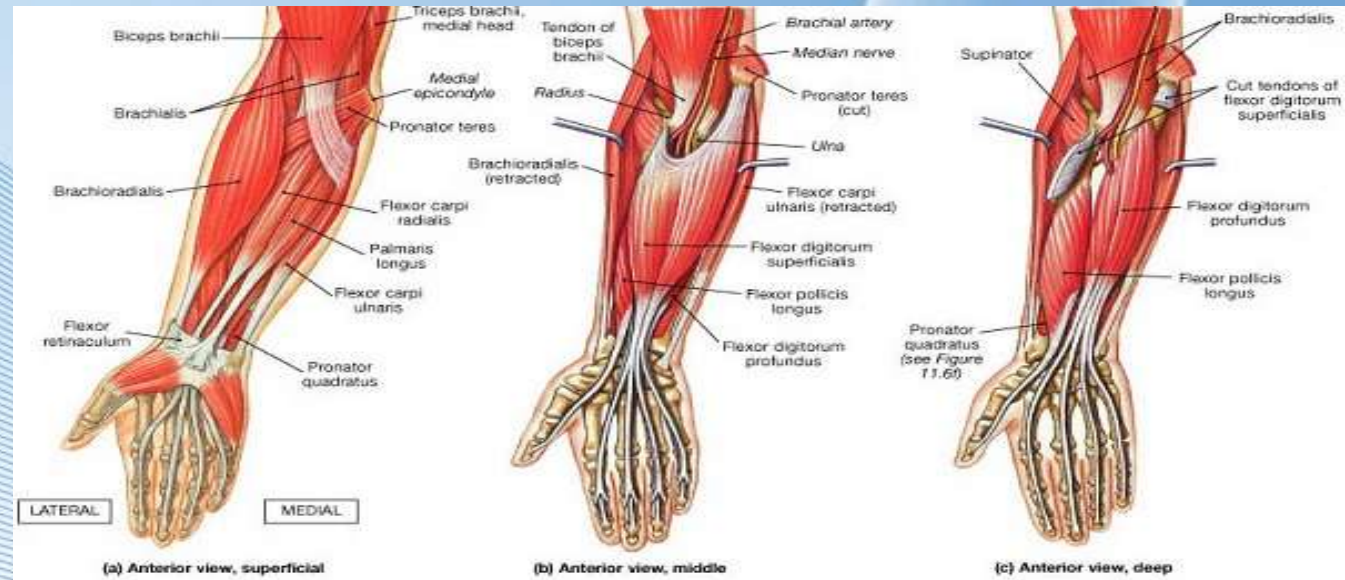
- Zadnja grupa (n. radialis)

m. extensor digitorum, m. extensor digiti minimi,

m. extensor carpi ulnaris, m. anconeus, m. indicis

m. abductor policis longus et brevis

m. extensor pollicis longus et brevis



Mišići šake

- Podeljeni u tri grupe:

1. Mišići spoljašnje lože (tenara)

- m. abductor policis brevis
- m. flexor policis brevis
- m. opponens policis
- m. adductor policis

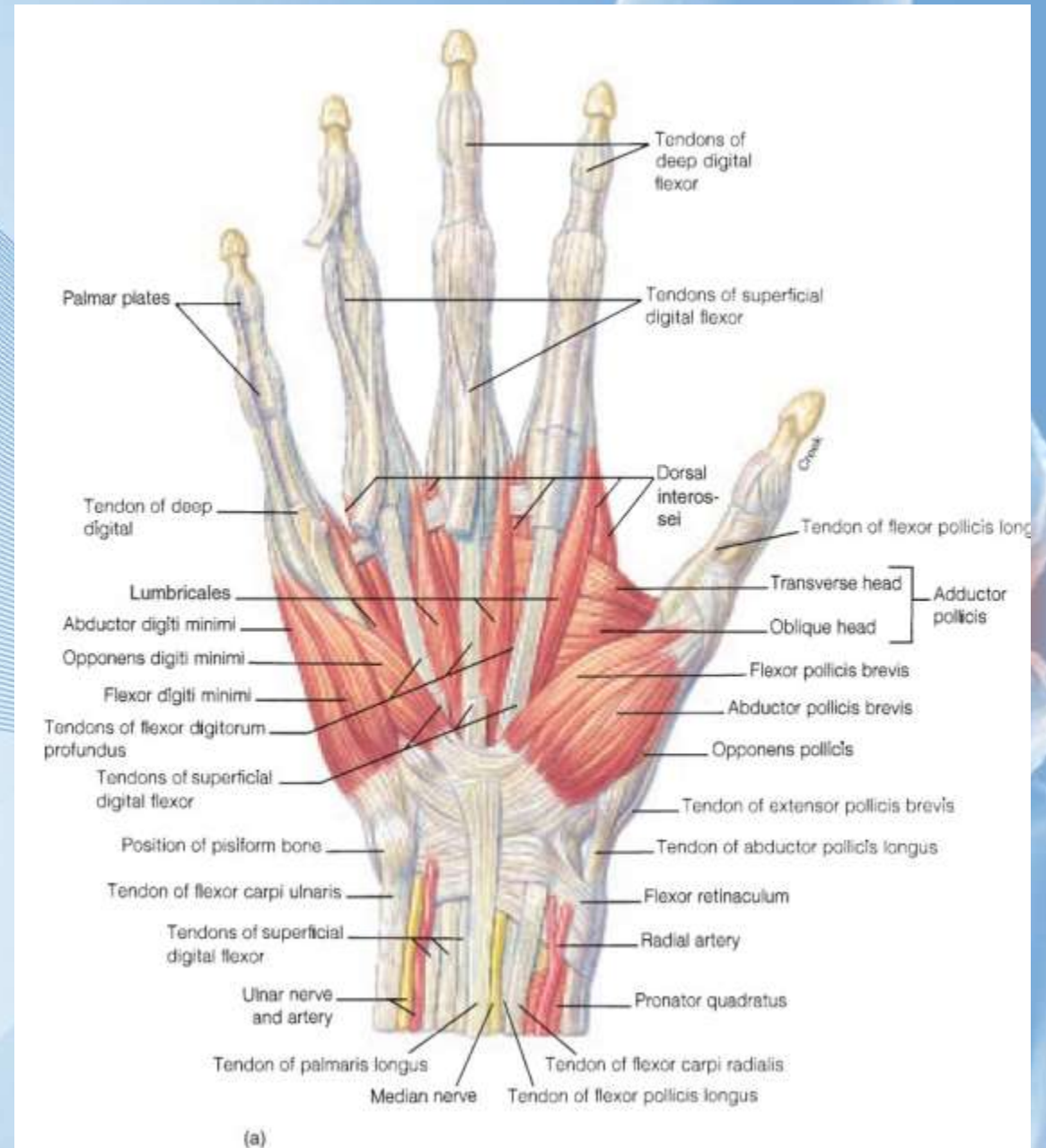
2. Mišići unutrašnje lože (hipotenara)

- m. abductor digiti minimi
- m. flexor digiti minimi brevis
- m. opponens digiti minimi
- m. palmaris brevis

3. Mišići srednje lože

- mm. lumbricales (4)
- mm. interossei (8)

- mišići šake učestvuju u pokretima fleksije, ekstenzije, abdukcije, addukcije, opozicije palca i ostalih prstiju



Mišići donjih ekstremiteta

- Dele se na četiri grupe:

1. Mišići bedra
2. Mišići buta, odnosno natkolenice
3. Mišići potkolenice
4. Stopalni mišići

- dva mišićna sistema (proksimalni i distalni) koji su povezuju kod zgloba kolena i medjusobno se dopunjuju



Mišići bedra

- povezuju proksimalni okrajak butne kosti sa kostima karličnog prstena i kostima distalnog dela kičmenog stuba
- Podeljeni su u dve grupe- unutrašnju i spoljašnju
- Unutrašnja grupa

m. iliopsoas (sastoji se od dva mišića- **m. iliacus**, **m. psoas major**)

- glavni fleksor zgloba kuka (fleksira natkolenicu i rotira je upolje ili savija karlicu i slabinski deo kičmenog stuba prema fleksiranoj nozi)
- n. femoralis, bočne grane plexus lumbalis
- Spoljašnja grupa

Površinski sloj

m. gluteus maximus (glavni ekstenzor i spoljašnji rotator natkolenice, abduktor i adduktor u zglobu kuka)

m. tensor fasciae late (fleksija, abdukcija, unutrašnja rotacija u zglobu kuka, ekstenzija u zglobu kolena)

Srednji sloj

m. gluteus medius- abdukcija u zglobu kuka; fleksija, ekstenzija, unutrašnja, spoljašnja rotacija natkolenice

Duboki sloj

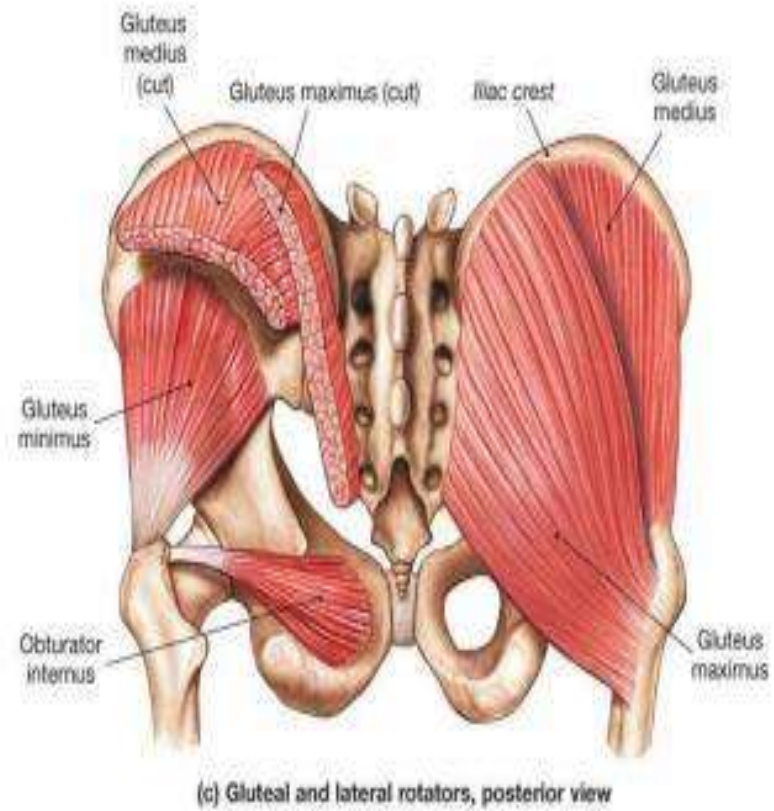
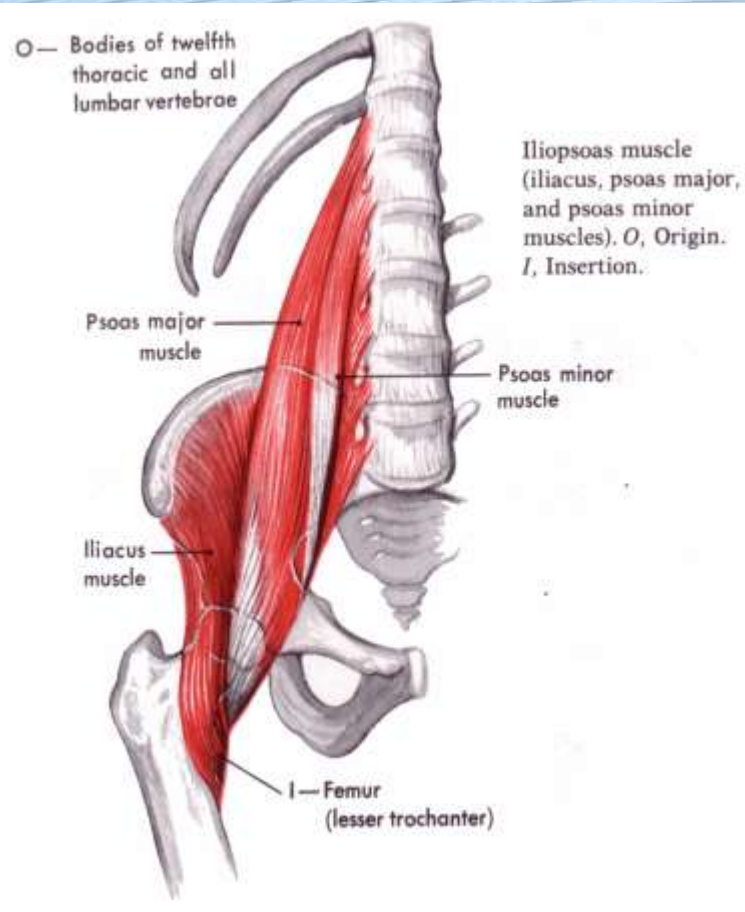
m. gluteus minimus- ista funkcija kao kod m. gluteus medius

pelvitrohanterični mišići

- povezuju karlicu sa trochanter major butne kosti; pokreti spoljašnje rotacije u zglobu kuka



Mišići bedra



Mišići natkolenice

- dele se u tri grupe- unutrašnju, prednju i zadnju
- obavija ih snažna fascija- **Fascia lata**

1. Mišići prednje grupe

m. sartorius

- fleksor, abduktor, spoljašnji rotator natkolenice u zglobu kuka; fleksor potkolenice u zglobu kolena
- n. femoralis

m. quadriceps femoris- sastoji se od četiri glave:

m. rectus femoris

m. vastus medialis

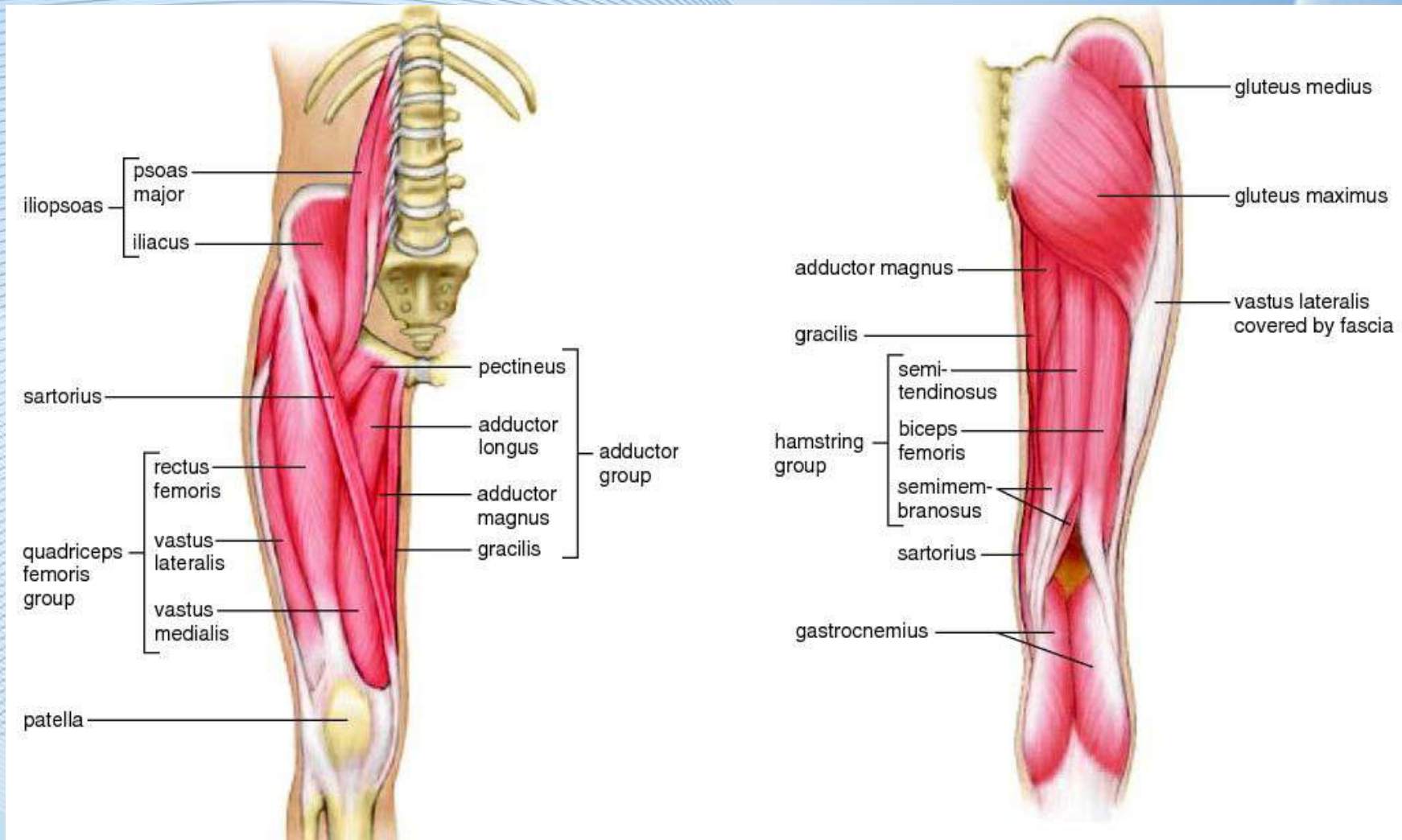
m. vastus lateralis

m. vastus intermedius

- završavaju se svojim tetivama **ligamentom patelae** preko patele na tuberositas tibiae
- zajednička kontrakcija sve četiri glave dovodi do snažne ekstenzije u zglobu kolena
- samo kontrakcija m. rectus femorisa dovodi do fleksije u zglobu kuka
- inervacija: n. femoralis



Mišići natkolenice



Mišići natkolenice

2. Mišići zadnje grupe

m. biceps femoris (caput longum, caput breve)

m. semitendinosus

m. semimembranosus

- spadaju u grupu dvozgljbnih mišića, ali zbog položaja ne mogu da vrše istovremeno pokrete u oba zgloba u punoj amplitudi
- fleksija u zglobu kolena, ekstenzija u zglobu kuka
- učestvuju u pokretima rotacije u zglobu kuka kao spoljašnji rotator (m. biceps femoris), odnosno unutrašnji rotatori (m. semimebranosus et m. semitendinosus)
- inervacija: n. ishiadicus



Mišići natkolenice

3. Mišići unutrašnje grupe

m. adductor longus

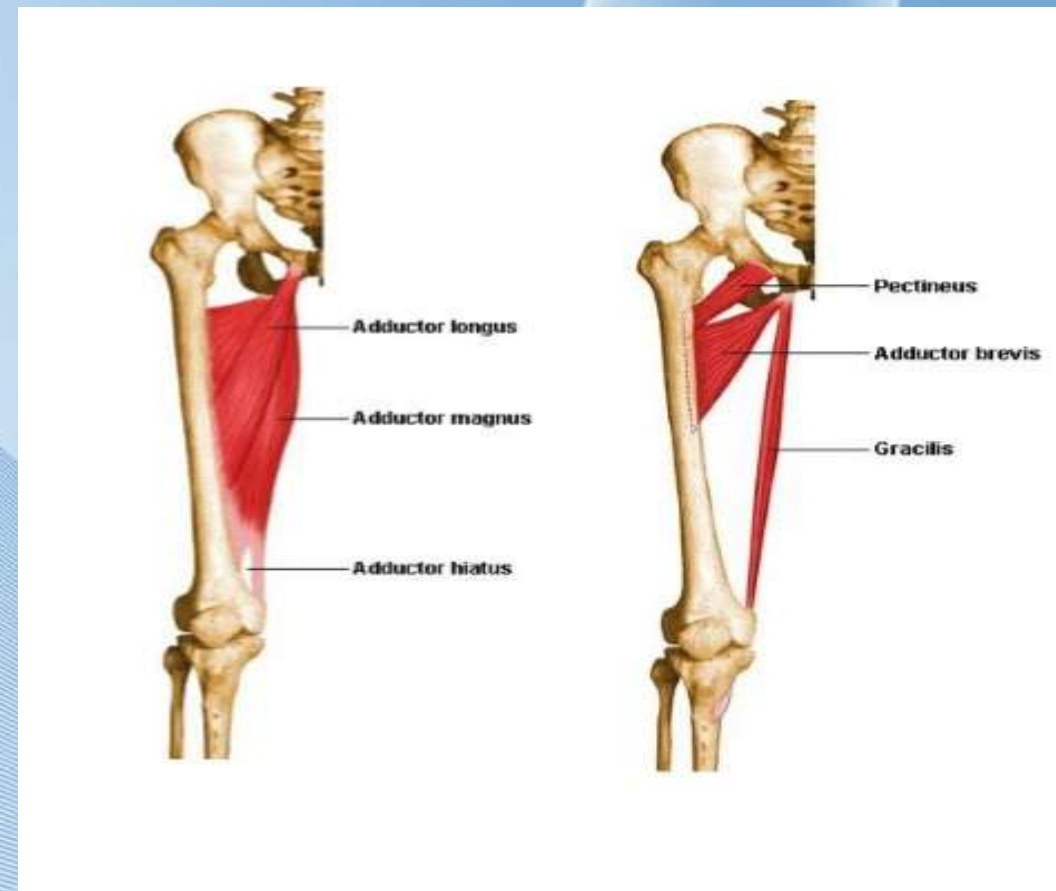
m. adductor brevis

m. adductor magnus

m. pectineus

m. gracilis

- svih pet mišića su snažni adduktori u zglobu kuka
- prednji delovi deluju kao fleksori, a zadnji delovi kao ekstenzori potokolenice
- inervacija: n. obturatorius (svi), n. ishiadicus (m.adductor magnus), n. femoralis (m. pectineus)
- bedreni i butni mišići čine posebno važan **mišićni sistem natkolenice** koji okružuje zglob kuka i određuje njegovu statiku i dinamiku
- posebno važno mesto imaju biartikularni mišići koji okružuju i zglob kolena i regulišu pokrete ovog zgloba i njegov odnos sa zglobom kuka



Mišići potkolenice

- zauzimaju prostor između kostiju potkolenice, odnosno prekrivaju ih sa zadnje, spoljašnje i delimično prednje strane
- medjumišićnim pregradama podeljeni su na tri grupe:

1. Mišiće prednje lože potkolenice

- inervacija: n. peroneus profundus

m. tibialis anterior

- dorzalni fleksor, adduktor i supinator stopala (pokret inverzije stopala)
- kada pokret ispoljava preko gornjeg pripoja on savija potkolenicu napred i unutra

m. peroneus tertius

m. extensor halucis longus

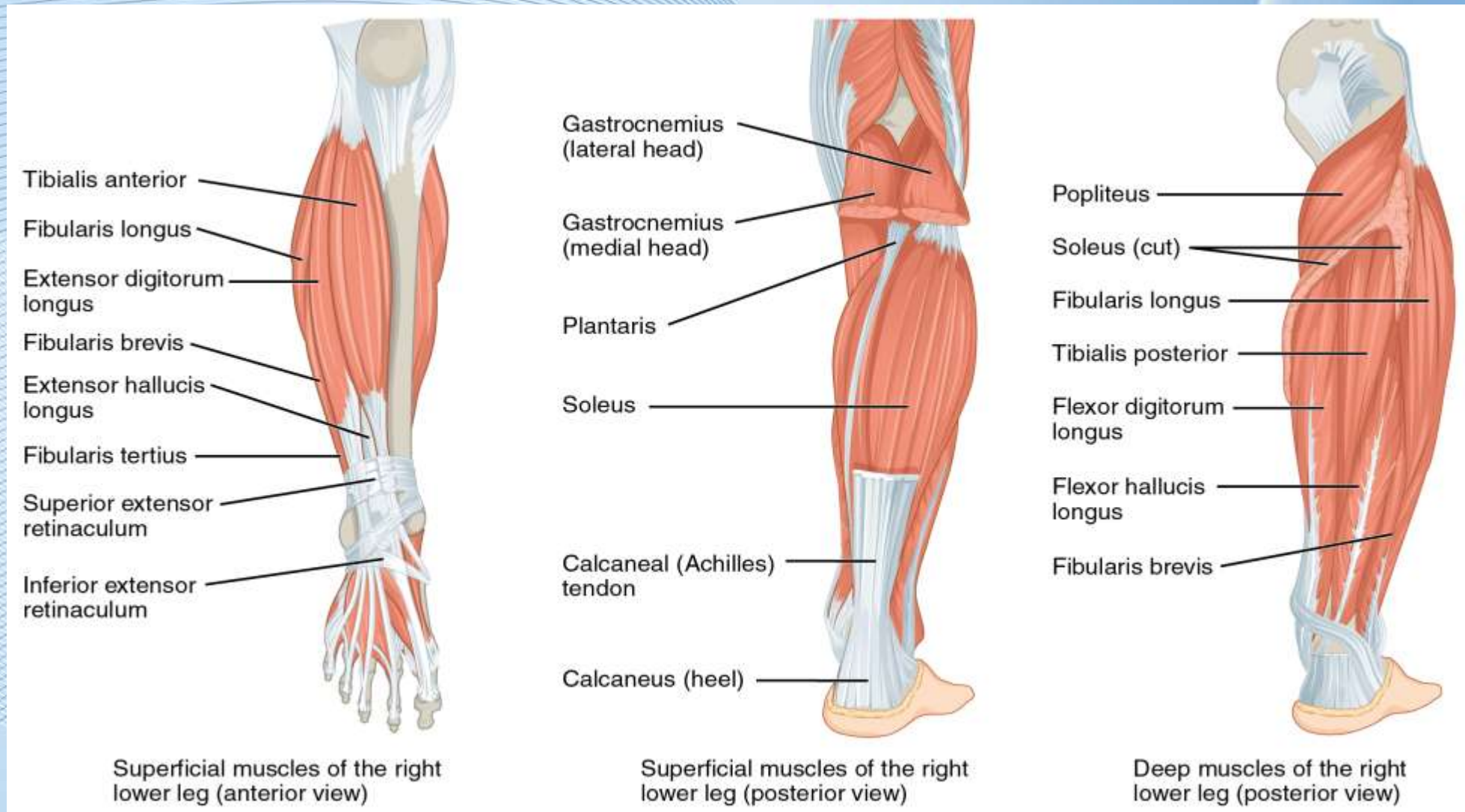
- opruža falange palca i podiže stopalo

m. extensor digitorum longus

- opruža četiri poslednja prsta, a učestvuje u pokretima dorzalne fleksije i pronacije stopala



Mišići potkolenice



Mišići potkolenice

2. Mišići zadnje lože potkolenice

- raspoređeni u dva sloja- površinski i duboki

• *površinski sloj*

m. triceps surae- sastoji se iz tri glave koje inerviše n. tibialis:

m. gastrocnemius medialis et lateralis

m. soleus

- sve tri glave se završavaju na zajedničkoj tetivi (**Ahilova tetiva**) na zadnjoj strani calcaneusa

- najjači plantarni fleksor, deluje i kao supinator stopala

- pod dejstvom celog mišića vrši se propinjanje na prste, pri čemu mišić svojom snagom podiže celo telo

duboki sloj (inervacija n. tibialis)

m. popliteus- slab spoljašnji rotator potkolenice;

m. tibialis posterior

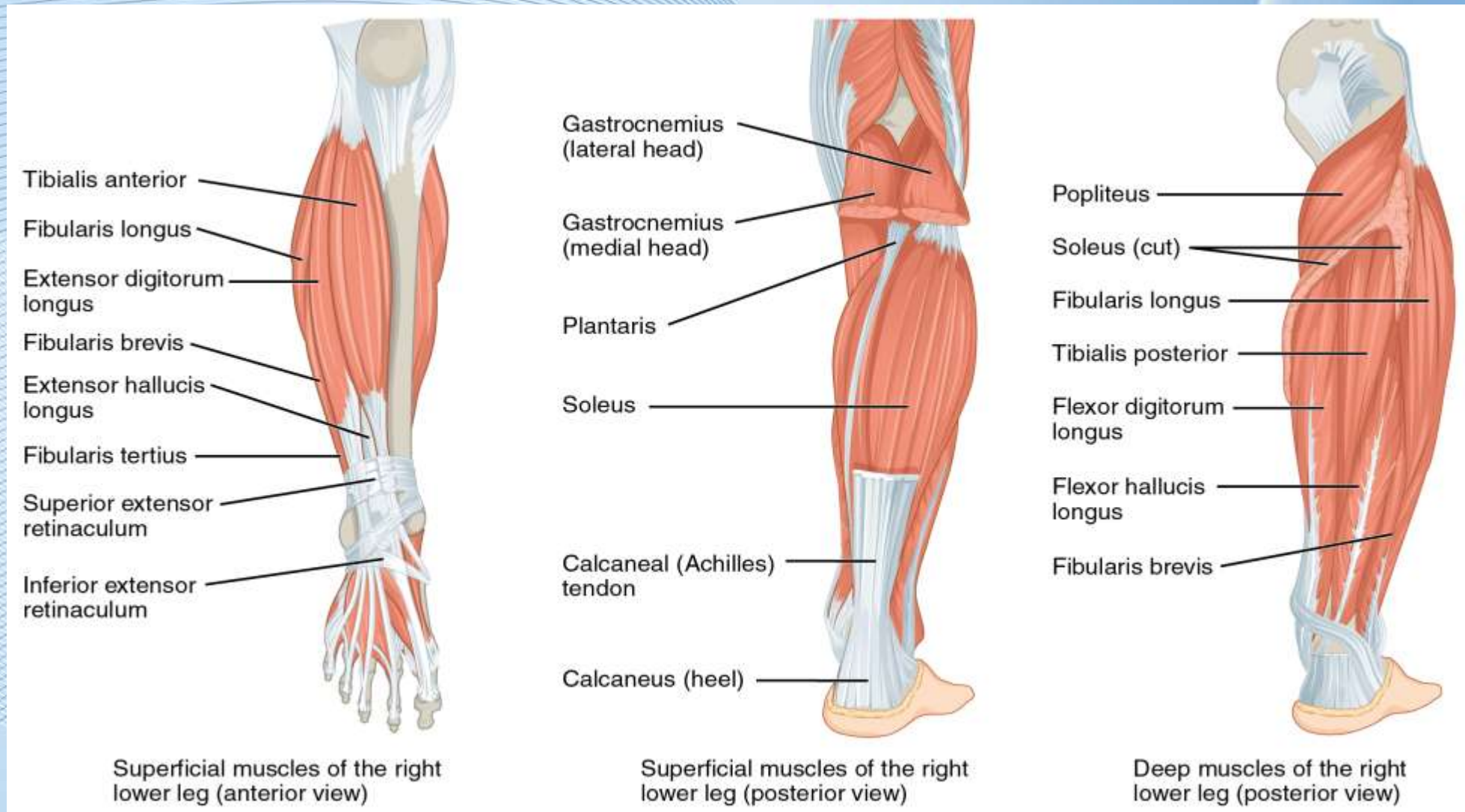
- plantarni fleksor i supinator stopala, održava uzdužni i poprečni svod stopala sa m. peroneus longus

m. flexor digitorum longus- flektira treće falange prstiju prema drugim, plantarna fleksija i supinacija

m. flexor halucis longus- odvajanje palca od podloge prilikom hoda, plantarna fleksija i supinacija



Mišići potkolenice



Mišići potkolenice

3. Mišići spoljašnje grupe potkolenice

m. peroneus longus

m. peroneus brevis

- oba mišića izvode pokret everzije stopala (plantarna fleksija, abdukcija i pronacija stopala)
- plantarna fleksija stopala (m. peroneus brevis)
- inervacija: n. peroneus superficialis



Mišići stopala

- podeljeni su u dve grupe- plantarnu i dorzalnu
 - održavaju svod stopala; hod- neophodni za odvajanje stopala od podloge
1. Dorzalni mišići stopala (ispod fascia dorsalis pedis)

m. extensor digitorum brevis

m. extensor halucis brevis

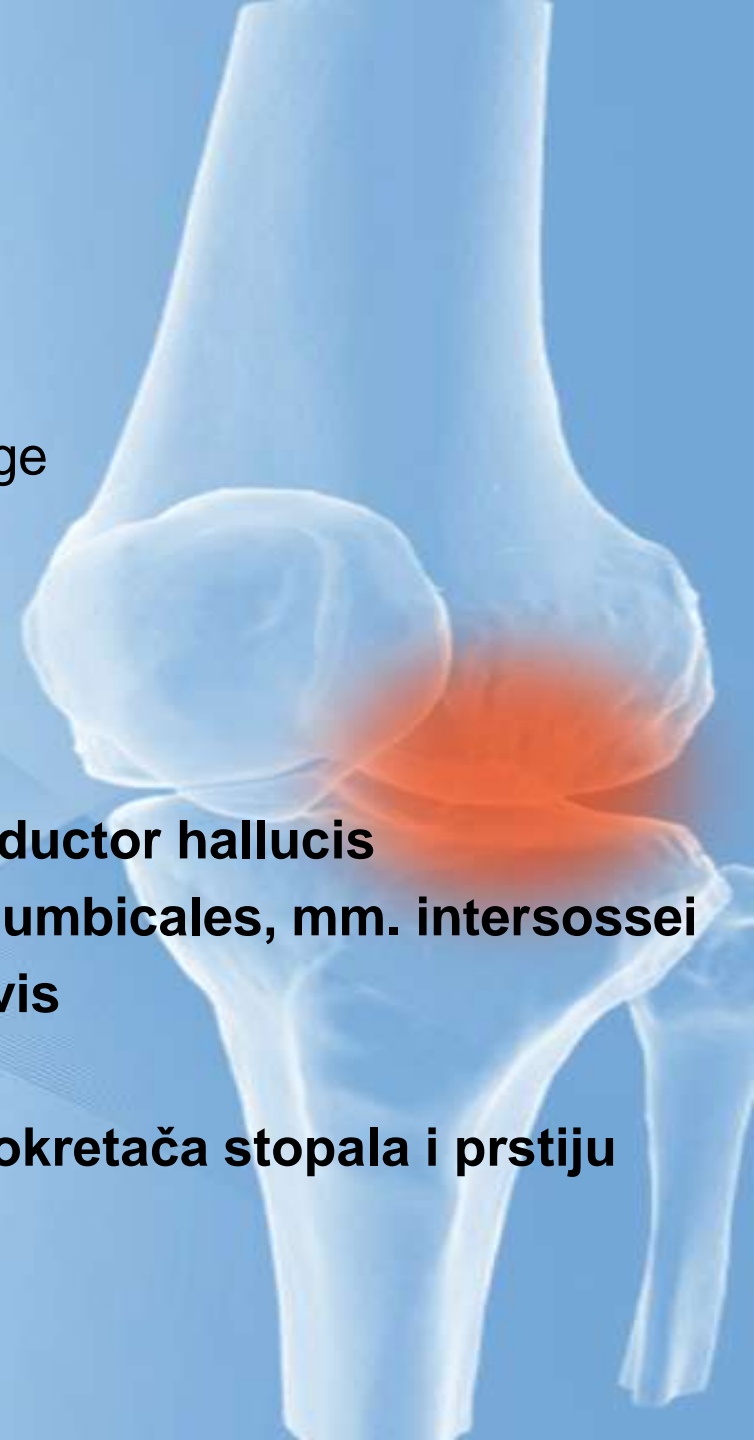
2. Plantarni mišići stopala

Unutrašnja grupa: **m. abductor hallucis, m. flexor hallucis brevis, m. adductor hallucis**

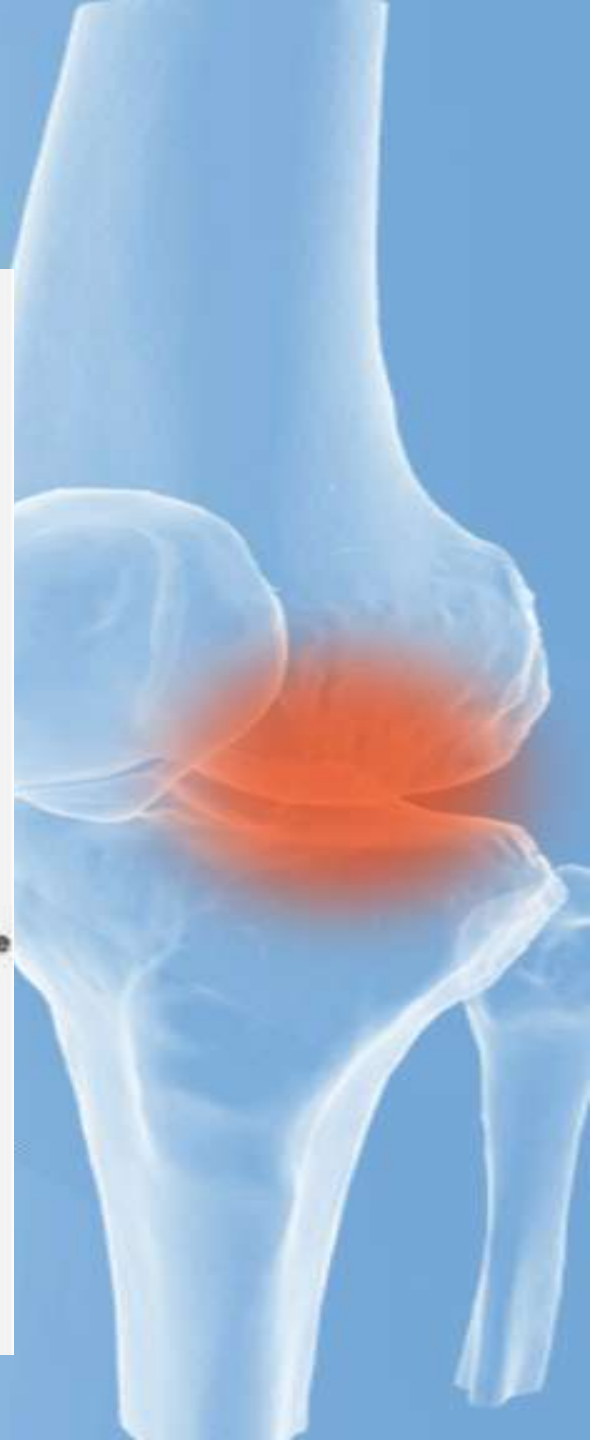
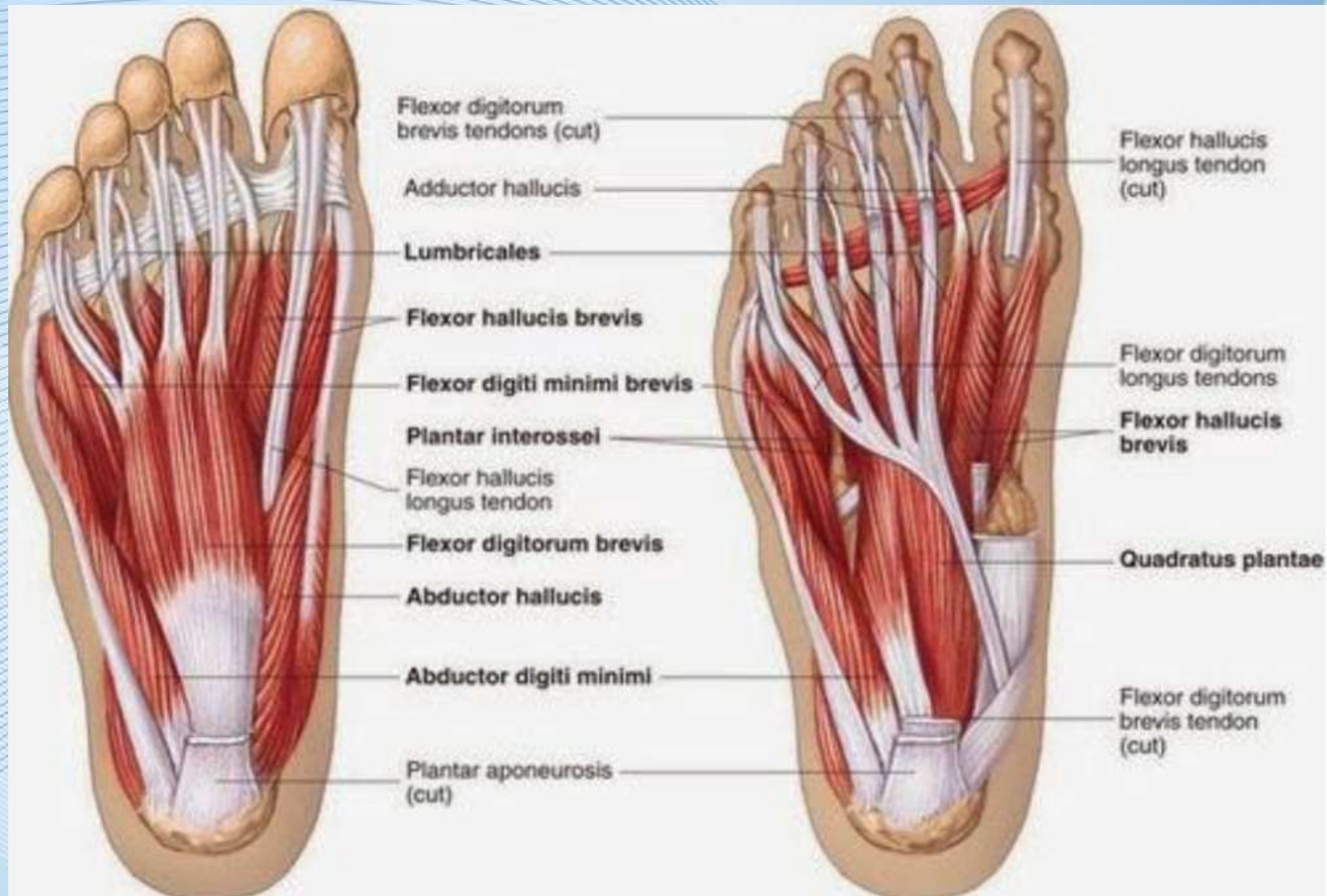
Srednja grupa: **m. flexor digitorum brevis, m. quadratus plantae, mm. lumbicales, mm. intersossei**

Spoljašnja grupa: **m. abductor digiti minimi, m. flexor digiti minimi brevis**

- mišići potkolenice i stopala čine **jedinstven mišićni sistem u funkciji pokretača stopala i prstiju**
- pokreti u gornjem i donjem skočnom zglobu u svim pravcima
- pokreti u zglobovima prstiju
- stabilizatori stopala- održavaju poprečni i uzdužni svod stopala



Mišići stopala



Fiziologija mišića- uvod

- potrošači energije- dobijene iz hrane
- pokreću naše telo u prostoru
- produkcija toplote- održavanje stalnosti telesne temperature



Fiziologija mišića- uvod

- Osnovne karakteristike

1. Razdražljivost

- direktno- kurare (otrov koji deluje na motornu ploču)
- indirektno- prenos razdraženja sa nervne ćelije na mišić koji inerviše

2. Sprovodljivost

- sposobnost da se proces razdraženja prenosi na susednu ćeliju- srce, glatka muskulatura

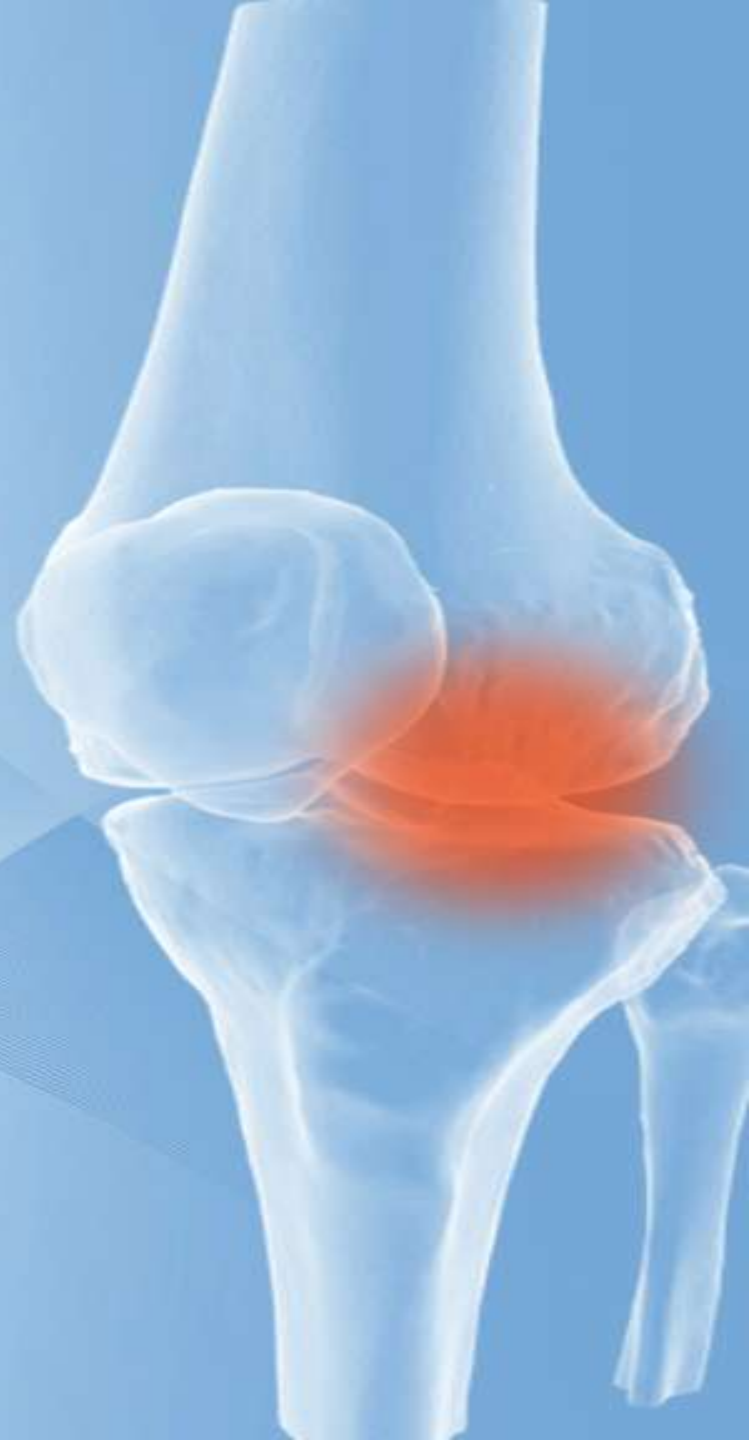
3. Kontraktilnost

- karaktersitika koja postoji samo kod mišićnih ćelija- skraćivanje usled prisustva aktinskih i miozinskih niti



Fiziologija mišića- uvod

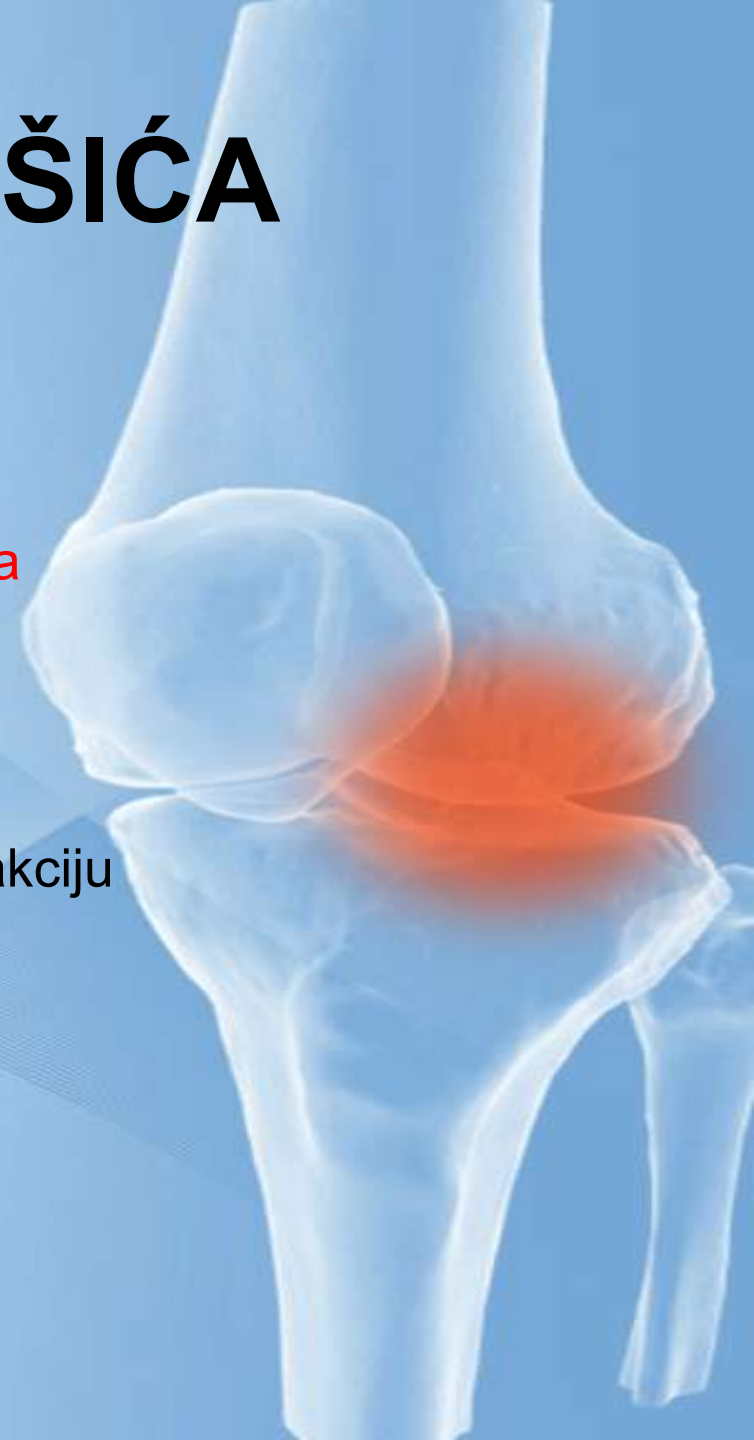
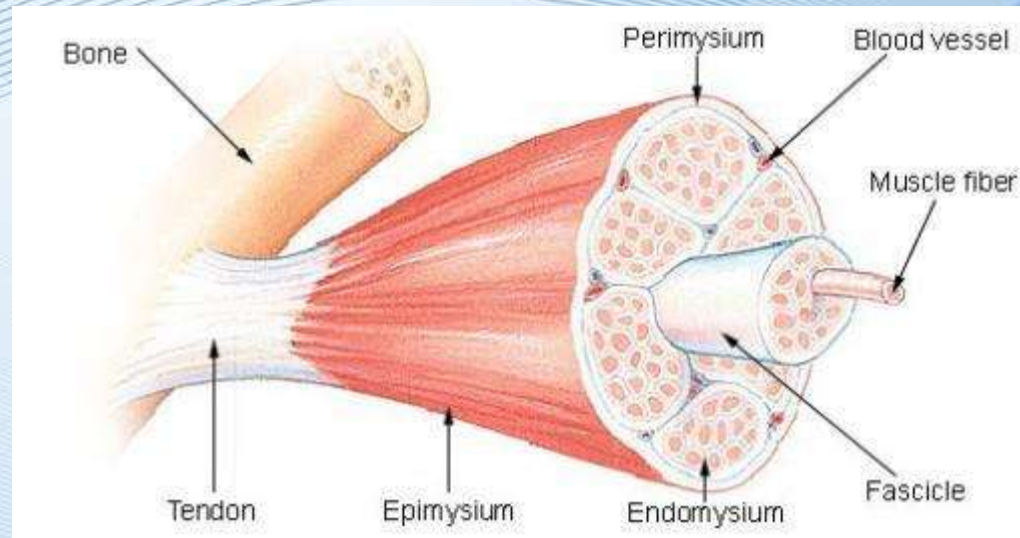
- Podela
 - poprečnoprugasti- skeletni mišići
 - glatki mišići
 - srčani mišić



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

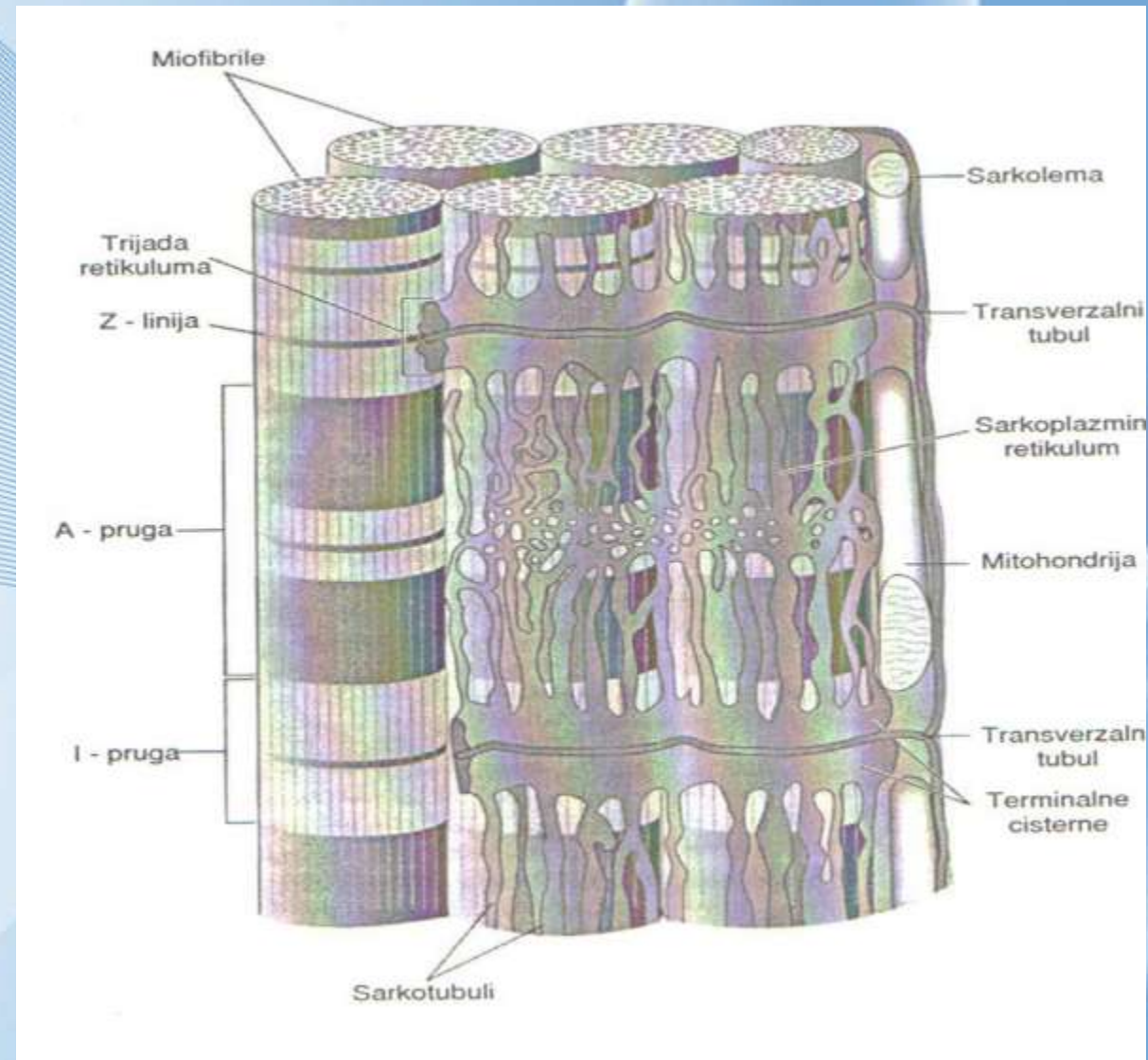
- **Mišićna ćelija**

- Osnova funkcije i građe mišića su mišićne ćelije - **mišićna vlakna**
- Vlakna se uglavnom pružaju celom dužinom mišića
- Skeletnomišićne ćelije su ćelije visoko specijalizovane za kontrakciju



FIZIOLOGIJA SEKELTNOG MIŠIĆA

- Sarkolema- ćelijska membrana
- Sarkoplazma
- Više jedara- čak i preko stotinu (anabolički procesi)
- T tubul- invaginacija ćelijske membrane- transverzalni kanali (akcioni potencijal)
- Mitohondrije
- Miofibrili
- Sarkoplazmatski retikulum- mrežasta membranska struktura oko miofibrila
- Lizozom- proteolitički enzimi (digestivni sistem ćelije)
- zrnca glikogena- depo energije u mišićnim ćelijama



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Miofibrili i miofilamenti**

- **Kontraktilnost mišićnih ćelija** omogućena je prisustvom miofibrila i miofilamenata
- Mišićna ćelija - vlakno sadrži od nekoliko stotina do nekoliko hiljada miofibrila, **građu miofibrila čine aktinski i miozinski proteinski filamenti – miofilamenti**
- Elektronskom mikroskopijom otkrivena je **poprečnoprugasta struktura miofibrila skeletnih mišićnih** ćelija što je datoj grupi mišića i dalo naziv - poprečnoprugasti mišići



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

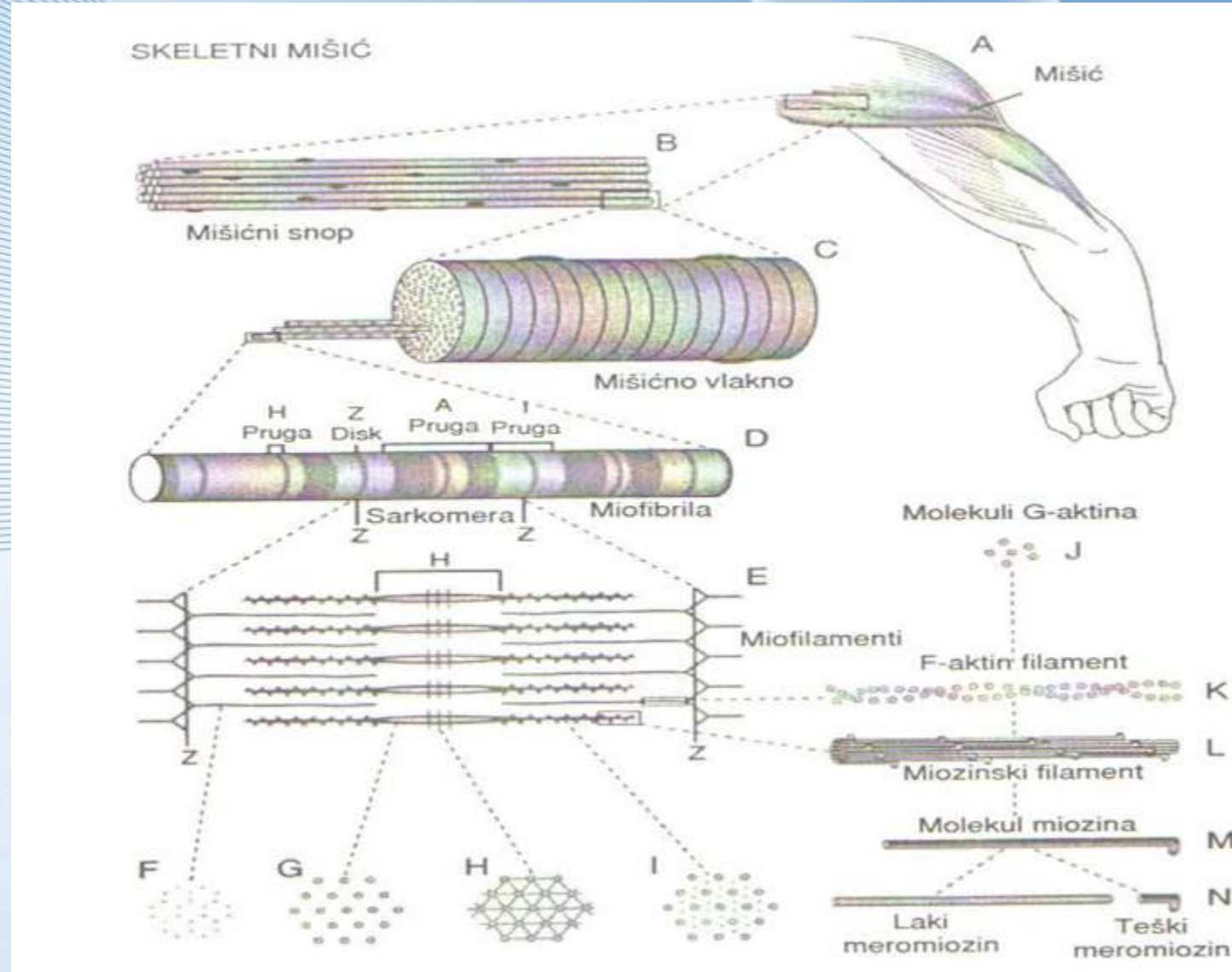
- **Miofibrili i miofilamenti**

Miozinski- nalaze se u centralnom delu sarkomere (**A pruga**), odnosno anizotropni deo miofibrila

Aktinski- pričvršćeni za Z liniju, nalaze se u **I prugama**, preklapaju se sa miozinskim filamentima u predelu A pruge

Sarkomera

- funkcionalna jedinica miofibrila, veličine oko 2,5 μm
- deo miofibrile između dve Z linije
- 80% volumena mišićne ćelije
- regulatorni proteini- troponin, tropomiozin, (dozvoljavaju ili sprečavaju uklizavanje aktinskih i miozinskih niti)



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Miofibrili i miofilamenti**

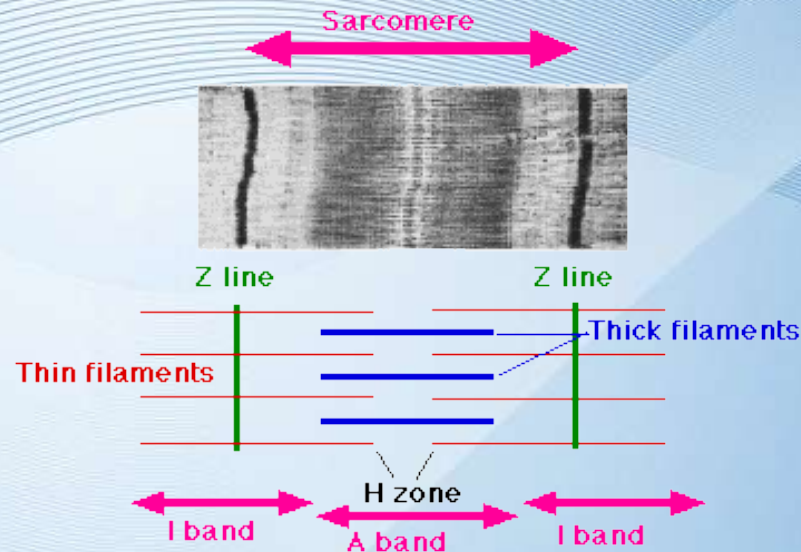
- **Svetle pruge (I - pruge)**, izotropne za polarizovanu svetlost) formirane su samo od **tanjih aktinskih miofilamenata**
- Aktinski filamenti pričvršćeni su za poprečnu filamentoznu strukturu Z-disk (**Z-liniju**) koja je stabilizator miofibrila
- **Tamne pruge (A-pruge)**, anizotropne) potiču **od debljih miozinskih filamenata i sa njima preklopljenim krajevima aktinskih filamenata**



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

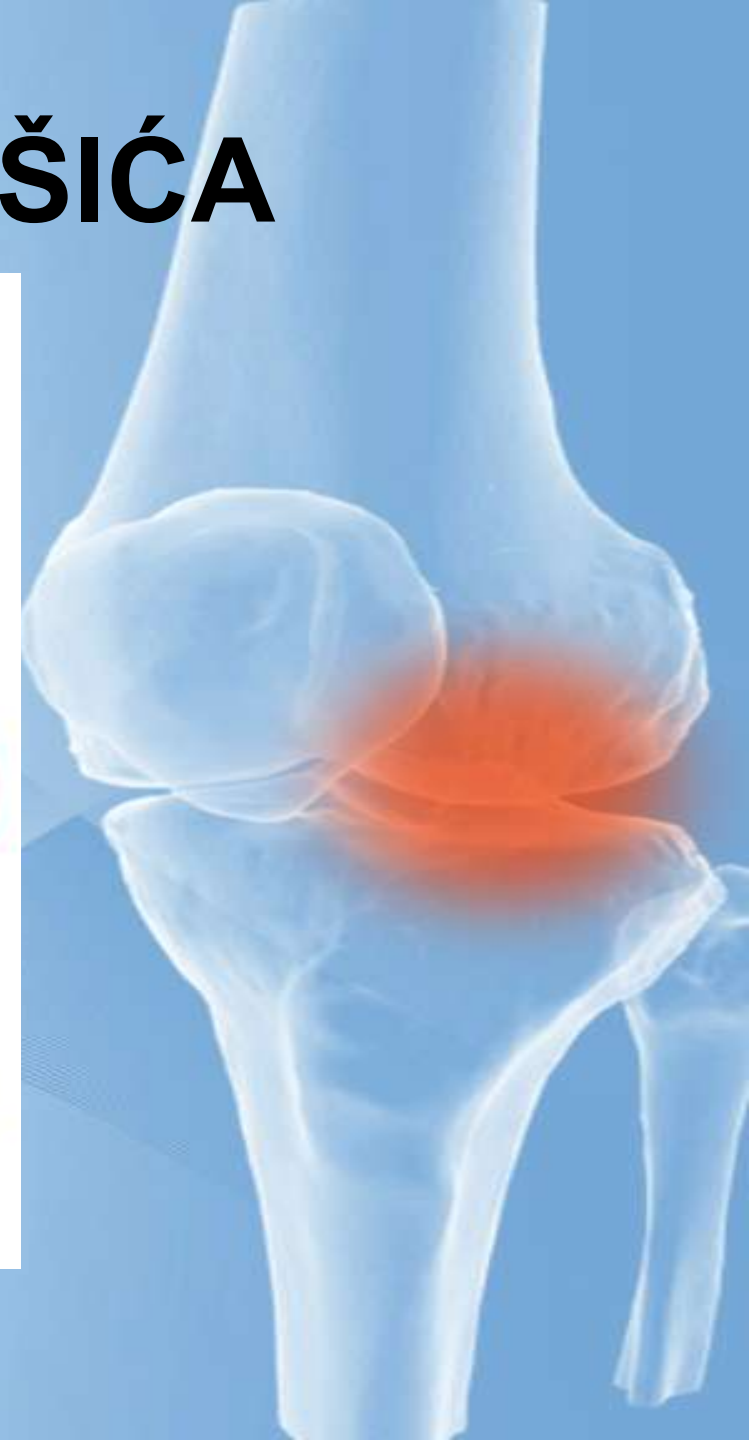
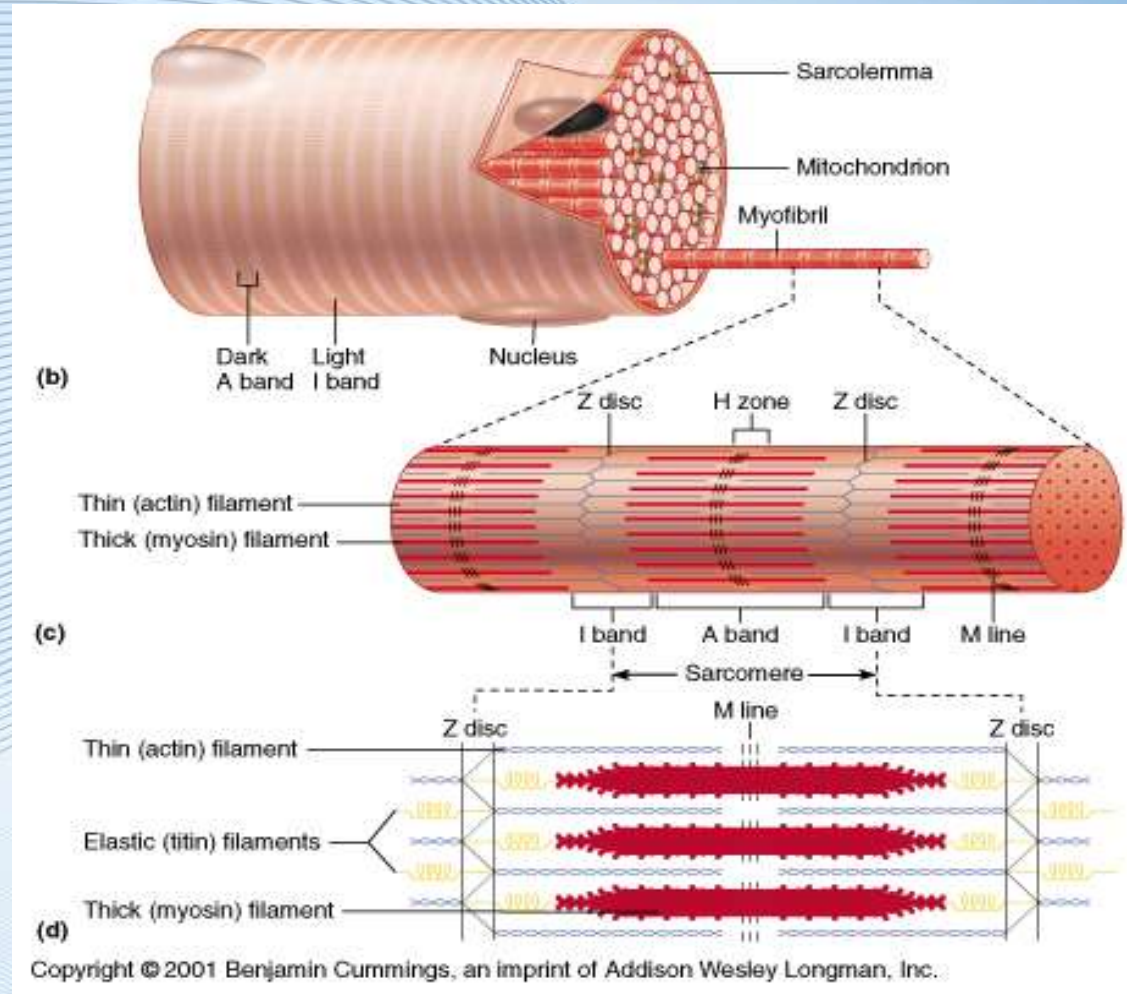
- **Sarkomera**

- Dva susedna Z-diska longitudinalno ograničavaju **sarkomeru - funkcionalnu jedinicu miofibrile**
- Veća početna istegnutost ili skraćenost sarkomere kompromituje generisanje sile kontrakcije zbog narušavanja optimalnog preklapanja kontraktilnih miofilamenata



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

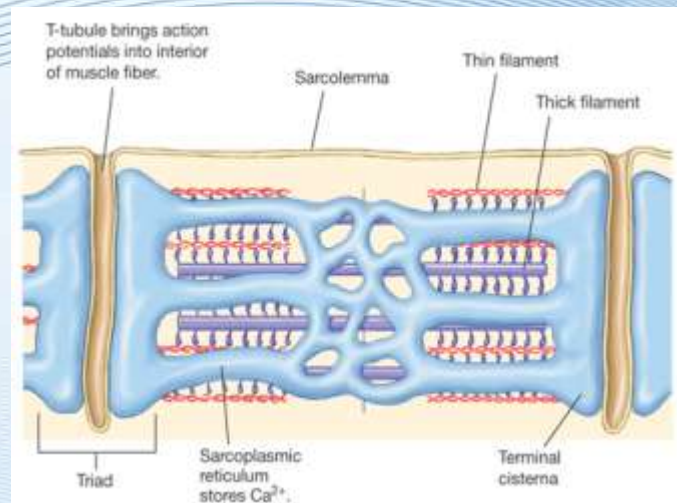
- Sarkomera



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Sarkoplazma**

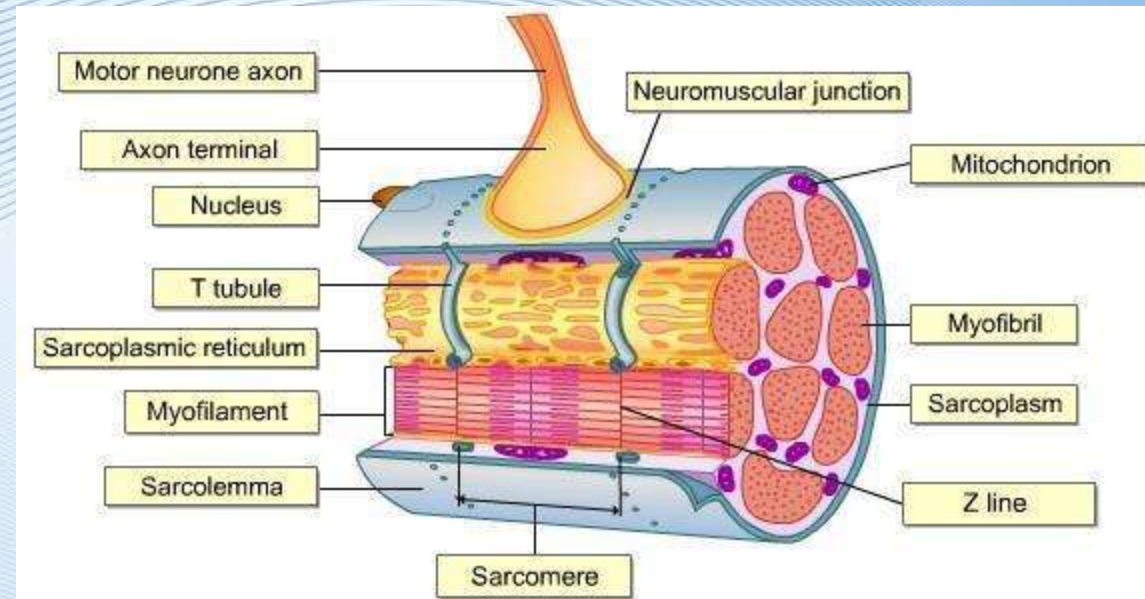
- **Sarkoplazma** je matiks kontraktilnih proteina, uobičajenih intracelularnih organela, mioglobina i elektrolita
- Specijalno organizovana celularna struktura je **sarkoplazmatski retikulum**, koji je bogat jonima Ca^{++} koji transferzalnim T tubulima (invaginacije ćelijske membrane koje sadrže ECT) dospevaju iz ekstracelularne tečnosti
- **Trijade**- čine ga T tubul sa dve okolne cisterne sarkoplazmatkog retikuluma



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Mehanizam kontrakcije skeletnog mišića**

- Dospevanje **nervnog impulsa** do kraja motornog vlakna i oslobađanje **acetilholina** koji posreduje u prenosu signala ka mišićnoj ćeliji
- Prenos acetilholina sa presinaptičke (nervne) kroz sinaptičku pukotinu do postsinaptičke (mišićne) membrane



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

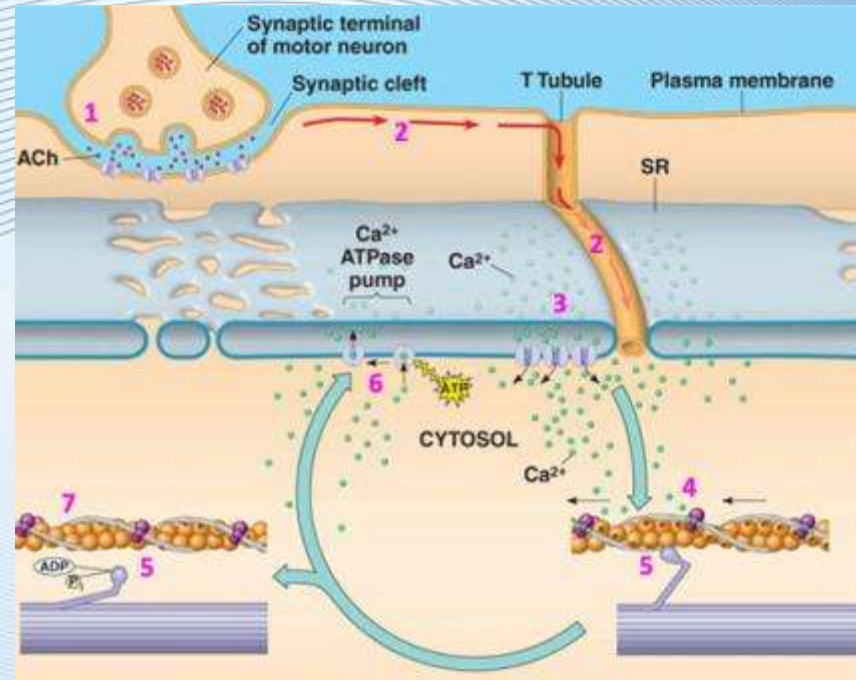
- **Mehanizam kontrakcije skeletnog mišića**

- Acetilholin zavisna facilitacija influksa Na^+ u lokalnom sinaptičkom području membrane mišićne ćelije
- Iniciranje depolarizacije membrane tj. AP mišićog vlakna koji se širi površinom i ka dubini ćelije
- Preko transferzalnih T tubula dospeo impuls do sarkoplazmatskog retikuluma (rezervoar Ca^{++}) uslovljava Ca^{++} efluks u citosol ćelije



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Mehanizam kontrakcije skeletnog mišića**
 - Ca^{++} omogućava mehanizam "zaveslaja" između aktinskih i miozinskih filamenata odnosno njihovo kliženje, a time i skraćenje vlakna
 - Ispumpavanje Ca^{++} nazad u retikulum i konsekventna relaksacija vlakna



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- Miozinski filamenti

- Građeni su od molekula **miozina**, na njima između ostalog razlikuju se poprečni mostovi koji se pružaju u svim pravcima oko miozinskog filamenta i uprti su **prema aktivnim mestima aktinskih filamenata** funkcionišući kao "vesla"
- Miozinski filamenti **imaju i enzimsku aktivnost ATP-aze** obezbeđujući E iz hidrolize molekula ATP-a



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Aktinski filamenti**

- Građeni su iz molekula **aktina, troponina i tropomiozina**

- **Važnost i uloga Ca^{++}**

- Mehanizam kliženja aktinskih filamenata među miozinskim aktivira se jedino uz prisustvo obilja Ca^{++} u citosolu

- **Nakon vezivanja Ca^{++} za troponin dešava se konformaciona promena kompleksa troponin-tropomiozin što za posledicu ima otkrivanje aktivnih mesta na aktinskom filamentu čime se omogućuje zaveslaj**



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Mehanizam “zaveslaja”**

- Sarkomera se skraćuje korak po korak sa svakim zaveslajem, **sve dok se aktinski filamenti ne povuku toliko da Z - disk ne dodirne krajeve miozinskih filamenata** (mada je moguće i dalje skraćenje jačom silom kontrakcije)
- Jačina kontrakcije je u zavisnosti od početnog preklapanja miofilamenata uz to snaga kontrakcije je u proporciji sa njihovom debljinom

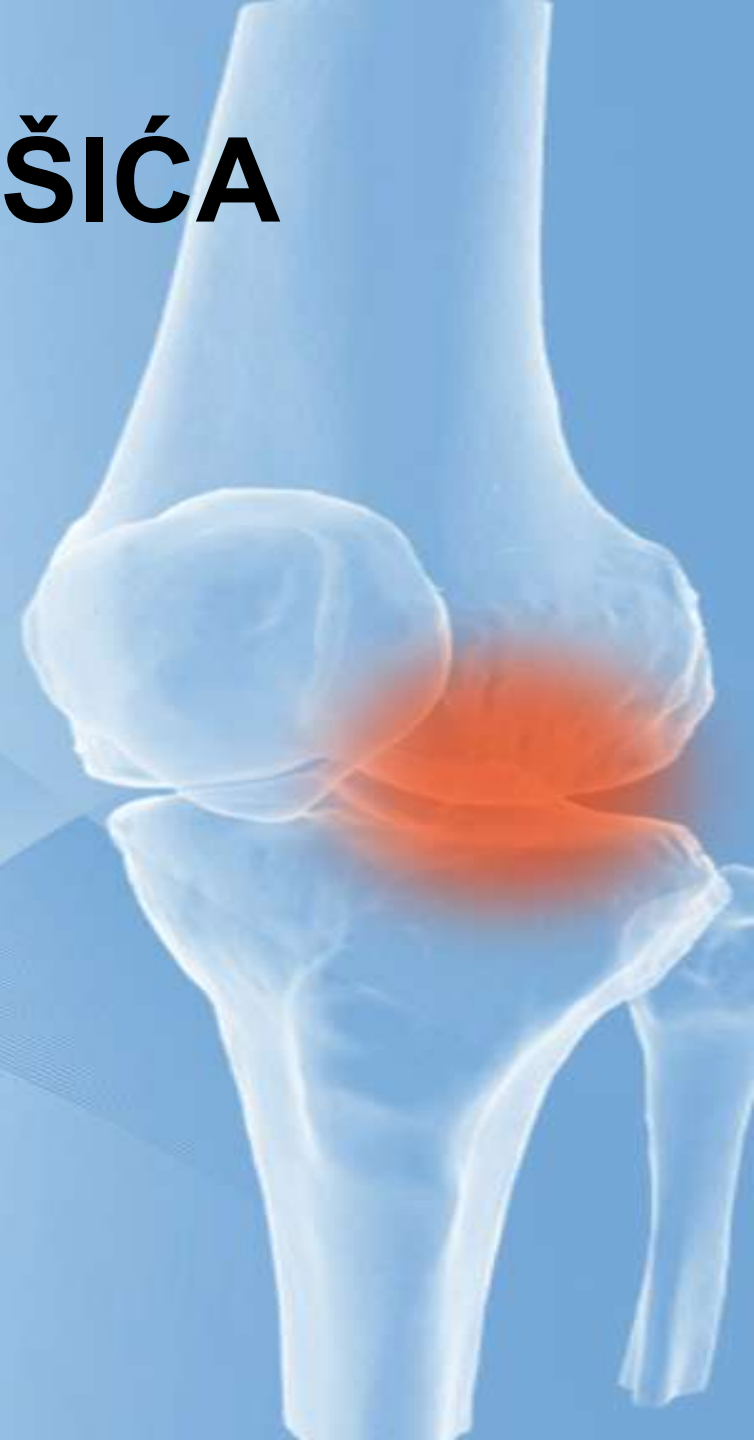


FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

Teorija klizećih filamenata (Huxli i sar.)

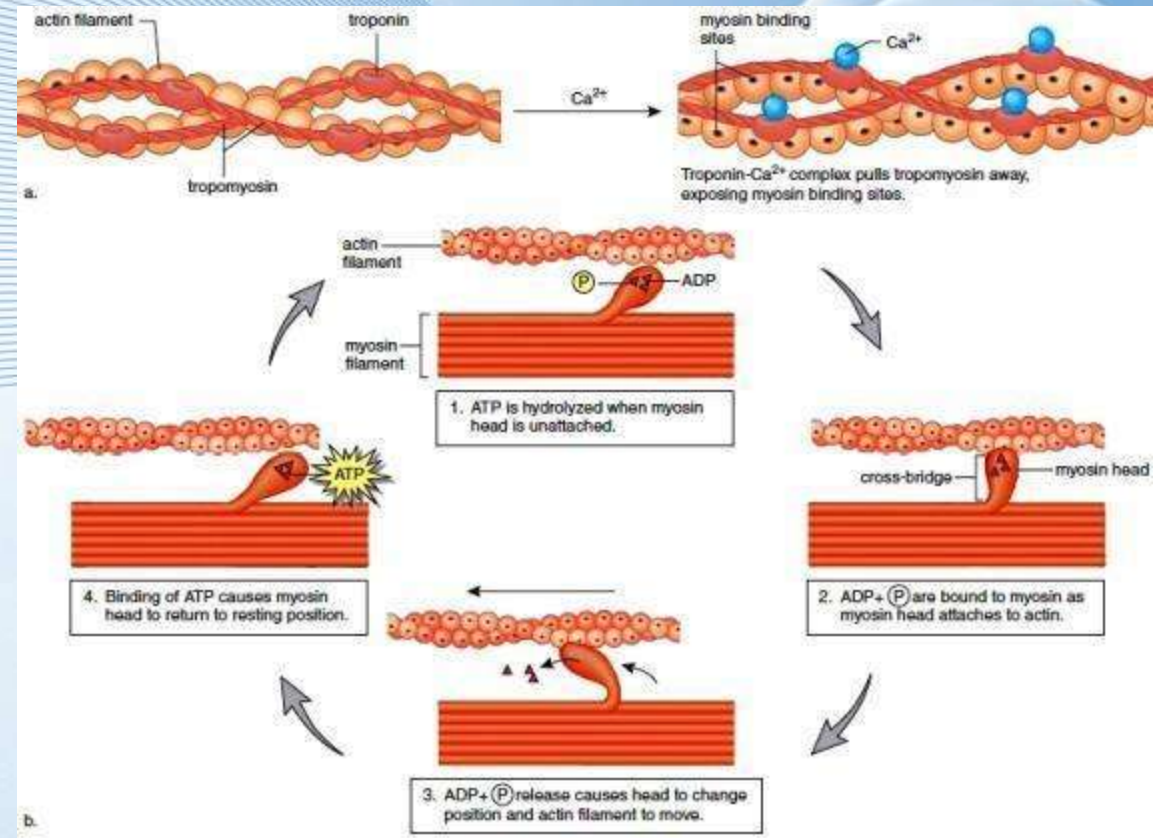
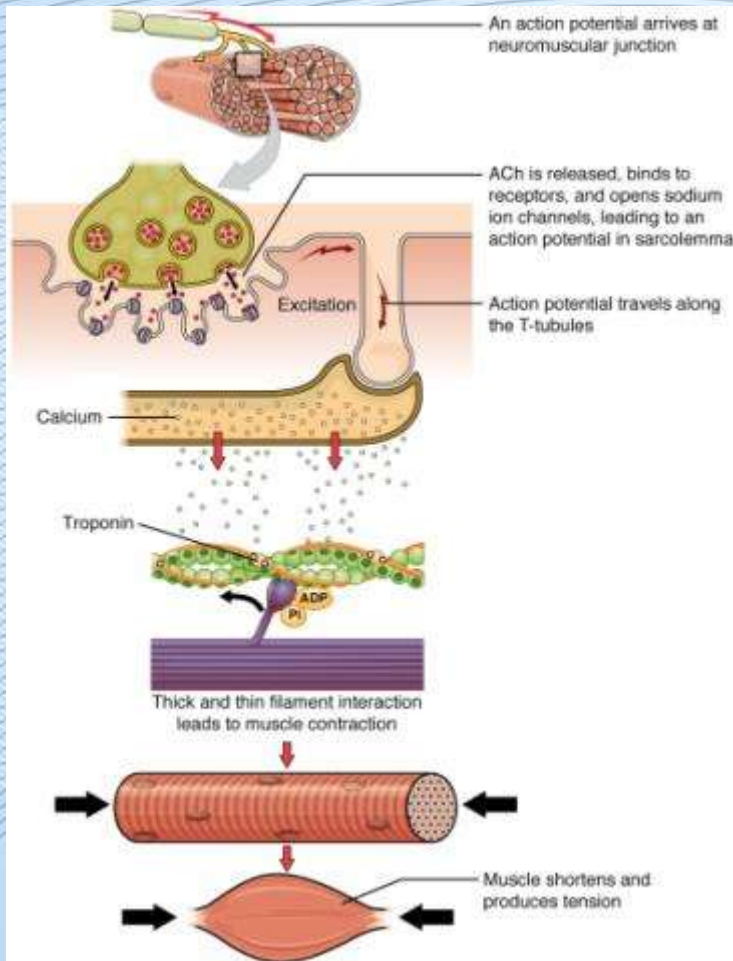
Redosled događaja u mišičnoj kontrakciji

- Generisanje impulsa
- Akcioni potencijal
- Sinapsa (motorna ploča)
- Acetilholin
- T tubul- sprovođenje akcionog potencijala kroz mišićnu ćeliju
- Sarkoplazmatski retikulum
- Oslobađanje kalcijuma
- Troponin-tropomiozin
- Reakcija aktin miozin
- KONTRAKCIJA



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- Mehanizam kontrakcije skeletnog mišića



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Energetika mišića**

- Energija u poprečnoprugastim mišićima potrebna je **za sam proces kontrakcije, ali i u restituciji ćelije nakon kontrakcije**

- **Energija tokom kontrakcije**

- **ATP** kao direktni izvor E neophodan je tokom dve faze kontrakcije
- Prvo za postavljanje glave poprečnih mostova na aktivna mesta, i drugo za kratkotrajno međuzaveslajno odvajanje aktinskih i miozinskih filamenata



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Energija tokom kontrakcije**

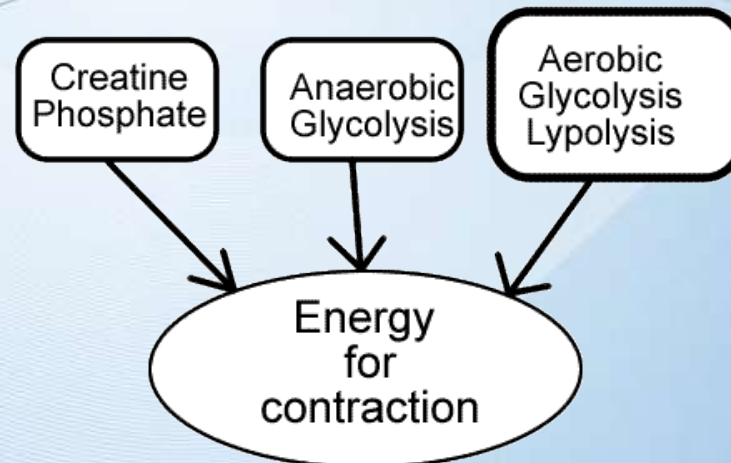
- Neophodnost prisustva ATP-a u etapi između zaveslaja, postaje jasna nakon srčanog zastoja, kada se zbog nemogućnosti odvajanja aktinskih i miozinskih filamenata (usled insuficijencije ATP-a) razvija **ireverzibilni grč mišića - rigor mortis**
- Energija se troši posle kontrakcije za relaksaciju mišića jer je za opuštanje mišića neophodno ispumpavanje Ca^{++} iz citosola nazad u sarkoplazmatski retikulum koje se obavlja aktivnom energetski zavisnom Ca^{++} pumpom
- Insuficijencija Ca^{++} pumpe usled otežanog obezbeđivanja E ATP-a postaje očigledna često krajem sportskih naprezanja, kada sarkoplazmatska rezidua Ca^{++} uzrokuje **grč preforsiranog mišića**



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Izvori energije**

- Sinteza molekula ATP-a mora da bude brza kao i njegova razgradnja, ako ovaj uslov nije ispunjen i u generisanju kontrakcije kao i u ostvarivanju relaksacije razvija se zamor mišića
- Mišići mogu obnoviti energiju ATP-a, njegovom resintezom iz celularnih energetske rezerve: kreatin fosfata, ugljenih hidrata, lipida ili nefiziološki iz proteina



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Bioenergetika motorike**

- Energetsku bazu mišićne kontrakcije čine **anaerobni i aerobni procesi iskorišćavanja E iz supstrata**
- **Intracelularne rezerve E mišića** čine **visokoenergetski fosfati** (ATP, kreatin fosfat), **glikogen** i neznatno **lipidne inkluzije**
- Kao neposredan i brz, ali kratkoročan izvor E, mišićne ćelije koriste celularno deponovani ATP, kreatin fosfat i anaerobne glikolitičke procese, sve dok spori oksidativni sistemi ne preuzmu ulogu u resintezi ATP-a



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Bioenergetika motorike**

- Kada za vreme submaksimalnog rada obezbeđivanje kiseonika dostigne nivo potražnje, tada je dostignuto "**stabilno stanje**" zahteva za O_2 , i E-potrebe ćelija su zadovoljene mitohondrijalnom oksidativnom produkcijom ATP-a

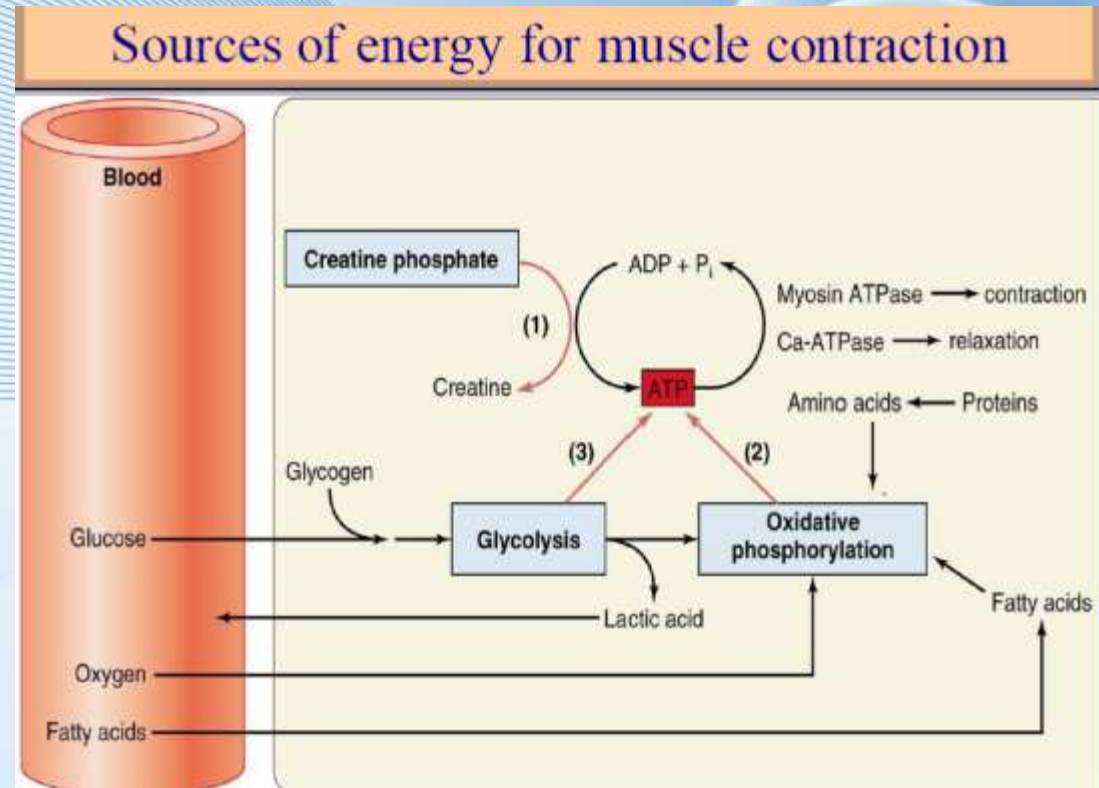
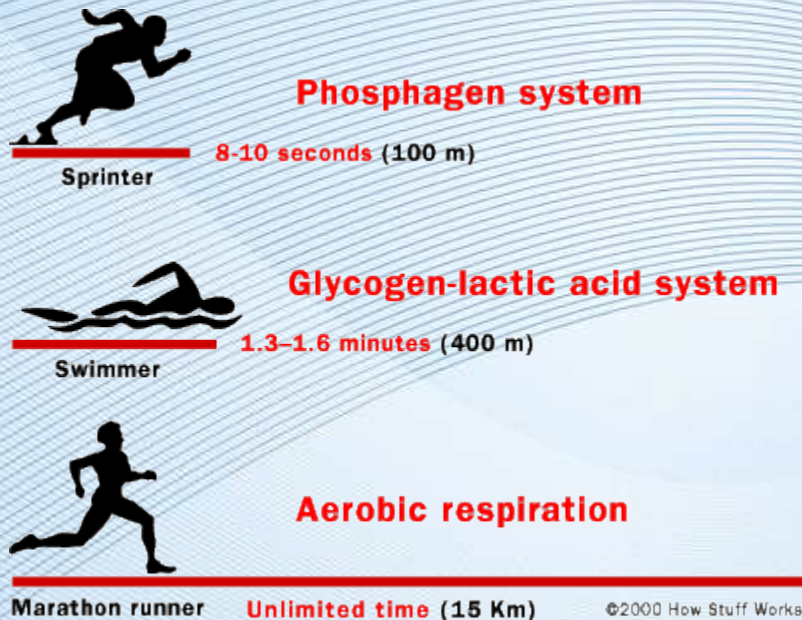
- **Relaksacija mišića**

- Relaksacija mišića je energetski zahtevan proces, ali je prvenstveno posledica delovanja elastičnih elemenata
- Uopšteno relaksacija je oko 5 puta sporiji proces od kontrakcije i ona je zavisna od temperature, intenziteta metabolizma i "čišćenja" Ca^{++} iz citosola



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

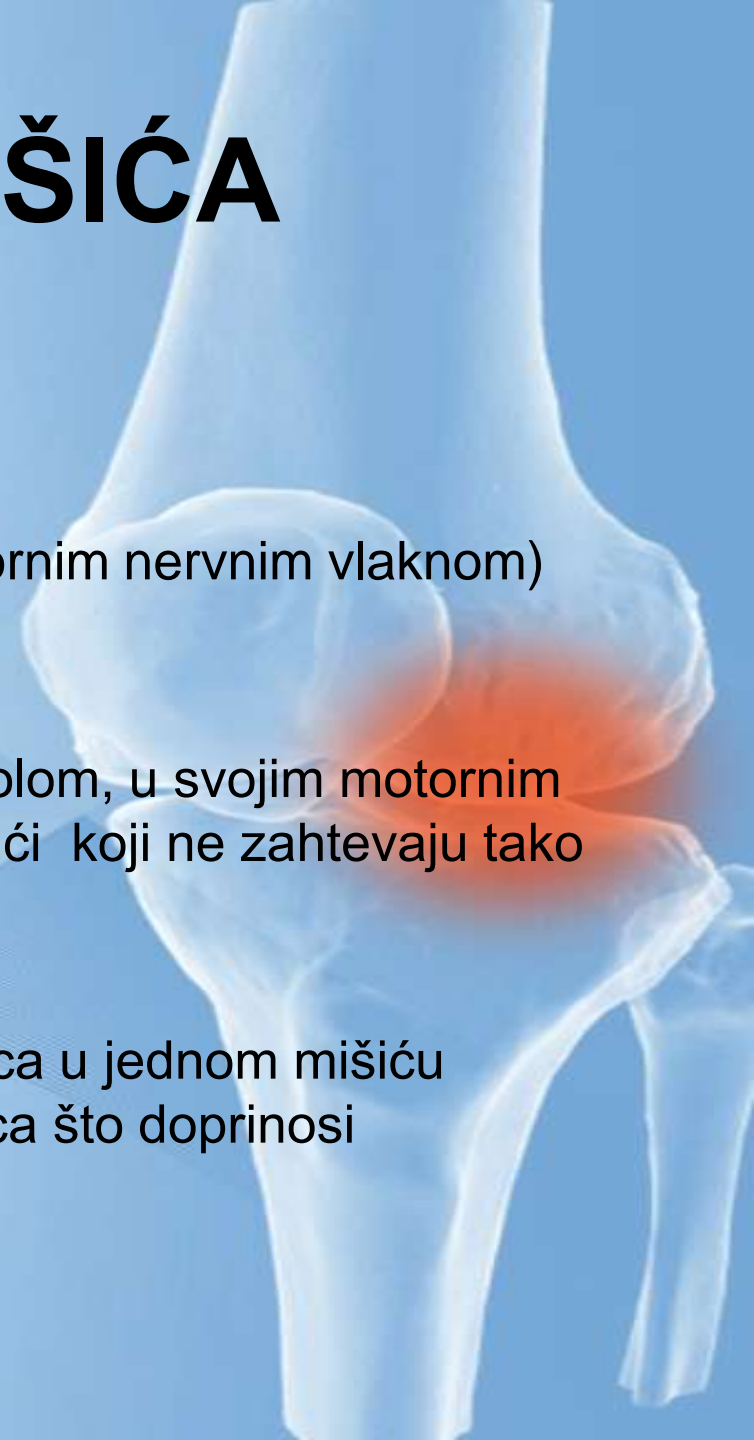
- Bioenergetika motorike



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Motorna jedinica**

- **Grupa mišićnih vlakana inervisana jednim motoneuronom** (motornim nervnim vlaknom) čini **morfofunkcionalnu jedinicu - motornu jedinicu mišića**
- Mali skeletni mišići koji se kontrahuju brzo pod preciznom kontrolom, u svojim motornim jedinicama imaju mali broj mišićnih vlakana (2-3), dok veliki mišići koji ne zahtevaju tako finu kontrolu, imaju i više stotina vlakana (prosečno 100)
- Usled isprepletenosti vlakana različitih susednih motornih jedinica u jednom mišiću postiže se međusobno funkcionalno podržavanje motornih jedinica što doprinosi funkcionalnoj sinhronizovanosti mišića



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Sila kontrakcije**

- Sumacijom pojedinačnih kontrakcija vlakana povećava se intenzitet sveukupne kontrakcije celog mišića, ova **kontraktilna sumacija u skeletnom mišiću može da bude ostvarena:**
 - Povećanjem broja motornih jedinica koje se simultano kontrahuju
 - Povećanjem učestalosti - frekvencije kontrakcija (tetanizacija) - od određenog nivoa svaka nova kontrakcija se pojavljuje pre završetka prethodne tj. sledeća kontrakcija se pridodaje prethodnoj bez kompletne relaksacije, a rezultat je progresivni porast sile sve do kritičnog nivoa kada dolazi do razvoja grča mišića



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Brzo i sporo kontrahujuća mišićna vlakna**
 - **Svaki mišić sastavljaju i brza i spora vlakna**
 - Mišići koji svojom kontrakcijom reaguju veoma brzo sastavljeni su pretežno od brzih vlakana i obrnuto
 - Brzina kontrakcije je takođe fiziološki prilagođena funkciji koja je dodeljena odgovarajućem skeletnom mišiću
 - **Odnos među brzim i sporim mišićnim vlaknima u jednom skeletnom mišiću je individualna karakteristika genetski determinisana** - tako naprimer sprinterski m. QPS sastavljen je većinom od brzih vlakana (63%B / 37%S), kod maratonaca ovaj odnos je (18%B / 82%S), a u običnoj populaciji (55%B / 45%S)



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Brza vlakna**

- **Veća su i generišu veću snagu u kratkotrajnom intervalu**
- Inervisana su **debljim nervnim vlaknima** - brži prenos impulsa
- **Razvijeniji sarkoplazmatski retikulum** - brže oslobađanje Ca^{++} za inicijaciju kontrakcije
- **Dominanti fosfageni (ATP i KP) i glikolitički sistemi** za brže i snažnije kontrakcije
- Deprimiran oksidacioni sistem mitohondrija
- Slabije su opskrbljena krvlju i imaju manje razvijen kapilarni sistem



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- Spora vlakna

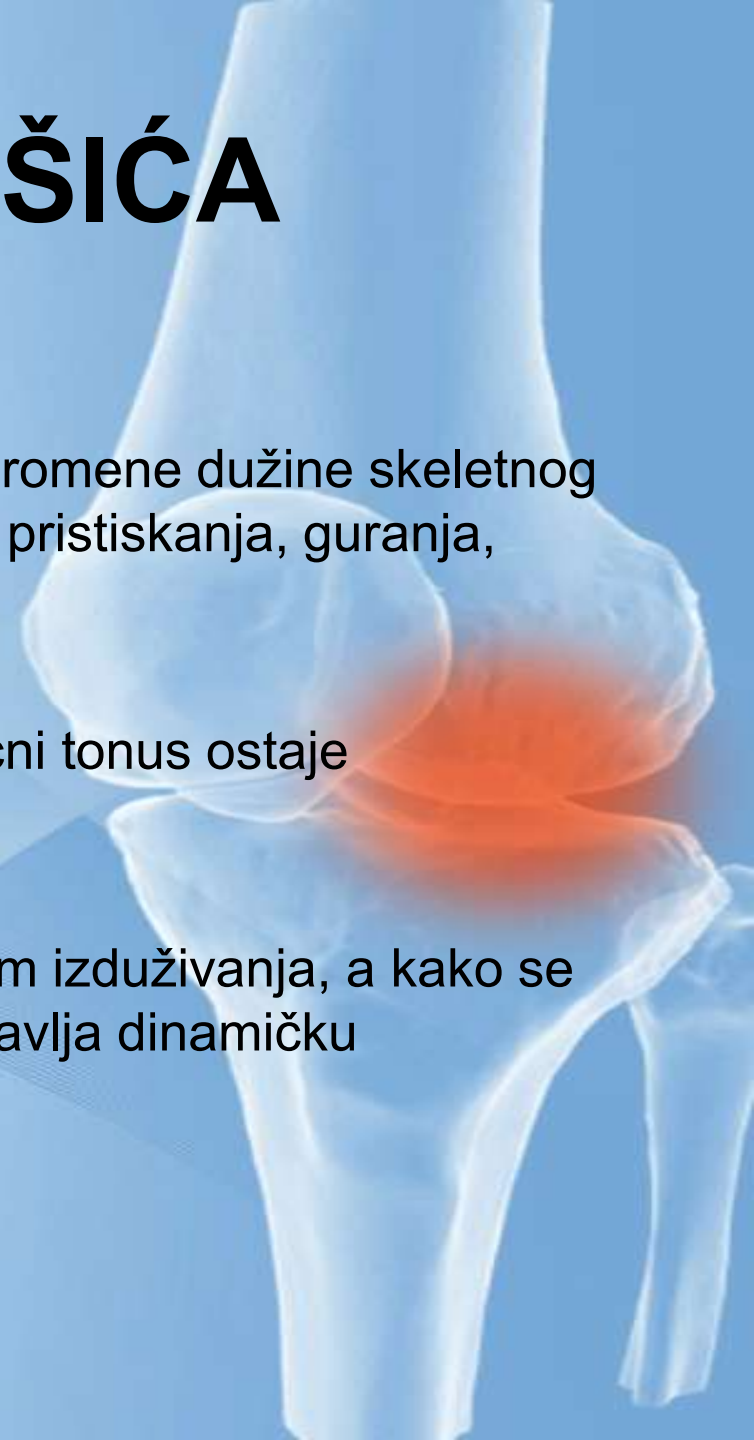
- Manja su; pod kontrolom su **tanjih nervnih vlakna** (sporija transmisija)
- Građena su za izdržljivost i obezbeđuju prolongiranu snagu kontrakcije
- **Bolje su snabdevena kiseonikom** preko bogatije kapilarne mreže
- **Bogatija su mitohondrijama kao i mioglobinom** koji intracelularno skladišti i transportuje oksidacionim sistemima potrebni O_2 , između ostalog mioglobin daje vlaknima crvenu boju



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

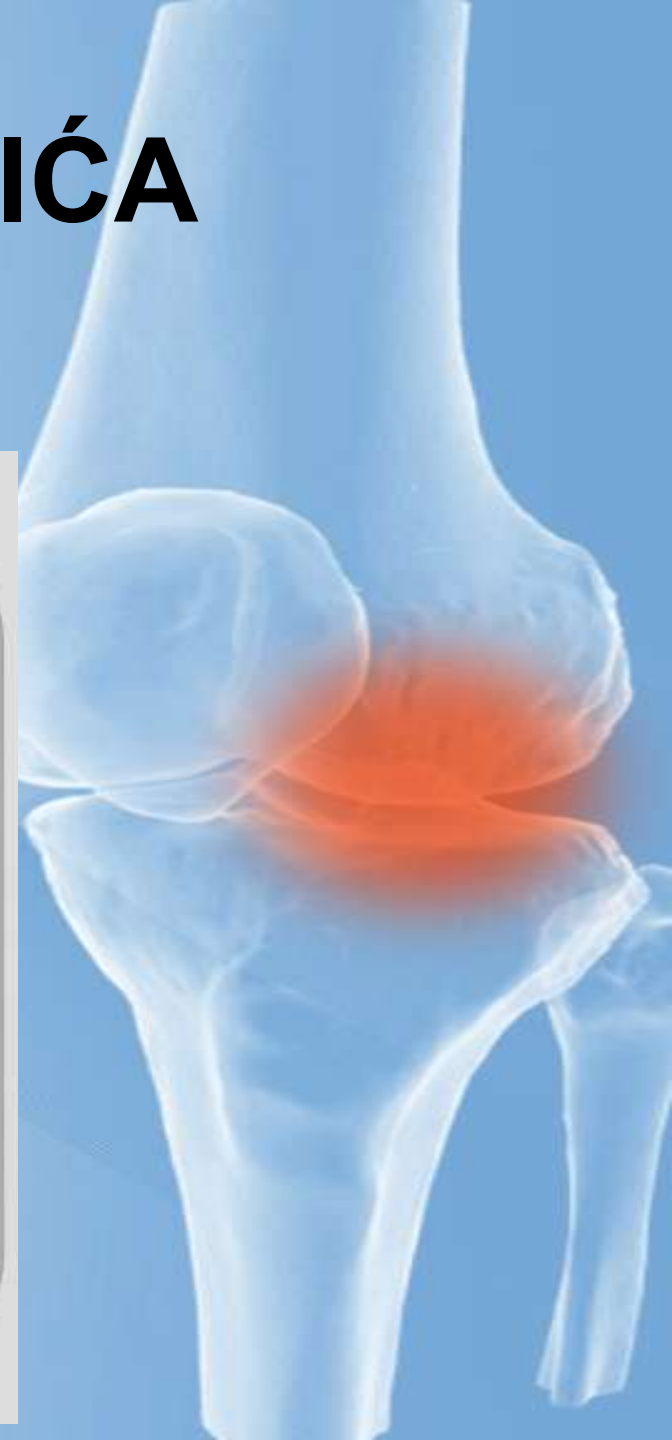
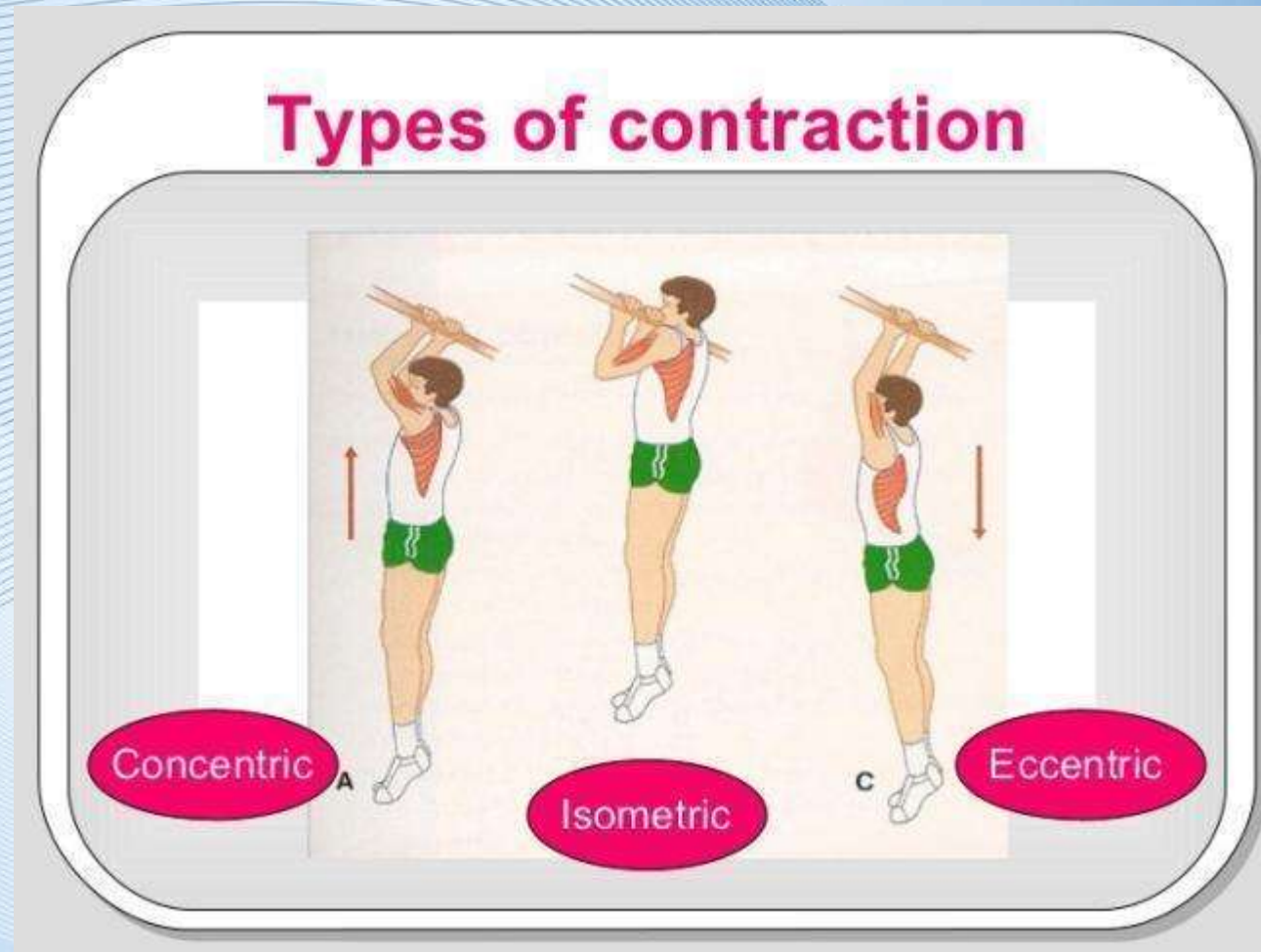
- **Vrste mišićne kontrakcije**

- **Izometričke/statičke kontrakcije** su one kontrakcije kada nema promene dužine skeletnog mišića, tada dolazi do porasta intramuskularnog tonusa (pokreti pristiskanja, guranja, povlačenja nepokretnih objekata...)
- **Izotoničkim/dinamičkim** kontrakcijama se skraćuje mišić, a mišićni tonus ostaje nepromenjen, ovim kontrakcijama se ostvaruje pokret u zglobu
- **Ekscentrične kontrakcije** – mišić može da proizvede silu i prilikom izduživanja, a kako se pri tome menja (povećava) ugao zgloba i ova kontrakcija predstavlja dinamičku kontrakciju



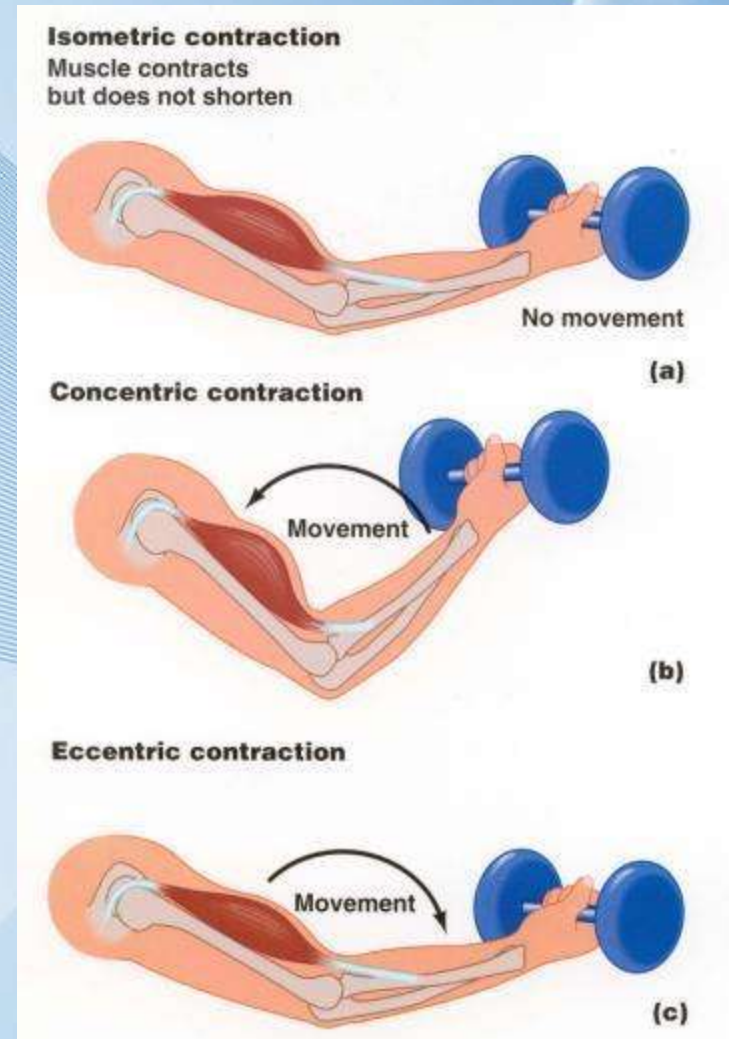
FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- Vrste mišićne kontrakcije



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- Vrste mišićne kontrakcije



FIZIOLOGIJA SKELETNOG MIŠIĆA

- **Zamor skeletnih mišića**

- Zamor skeletnih mišića je vrlo kompleksna adaptaciona reakcija koja ima veliki protektivni značaj
- Signali za prekid mišićne aktivnosti inicirani su depresijom fosfagenog, glikogenskog i oksidacionog E sistema, akumulacijom metaboličkih nusprodukata, brojnim biohemijskim i fizičkim promenama ekstracelularnog i celularnog kompartmana



FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

Karakteristike glatke mišićne ćelije

- Sarkolema- ćelijska membrana
- Sarkoplazma
- Jedno jedaro
- Aktin i miozin- nisu u pravilnom geometrijskom odnosu
- Kontrakcija putem aktivacije kalcijuma (nervni impuls, hormon, istezanje mišića, hemijske promene u ćeliji)
- Kalmodulin- pokreće kontrakciju; aktivacija miozinskih poprečnih mostova
- Gusta tela- mesto gde se aktinske niti čvršće povezuju, igraju ulogu Z diska kod skeletnih mišića
- Automatizam

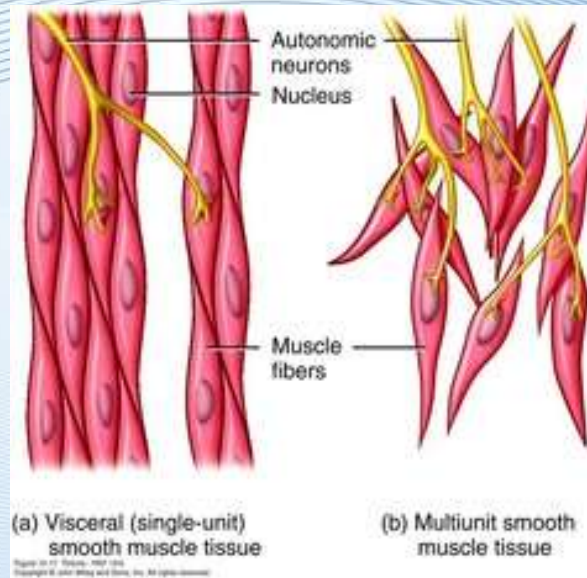


FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

- Tipovi glatkih mišića

- **Višejedinični glatki mišić**

- Vlakna su funkcionalno i anatomski odvojena, inervisana pojedinačnim nervnim završetkom, svako vlakno funkcioniše nezavisno od drugih (poput poprečnoprugastih mišićnih vlakana) od kojih je i odvojeno kolagenim fibrilima
 - Višejedinični glatki mišići su naprimer - mišići podizači dlaka, cilijarni i mišić dužice oka...

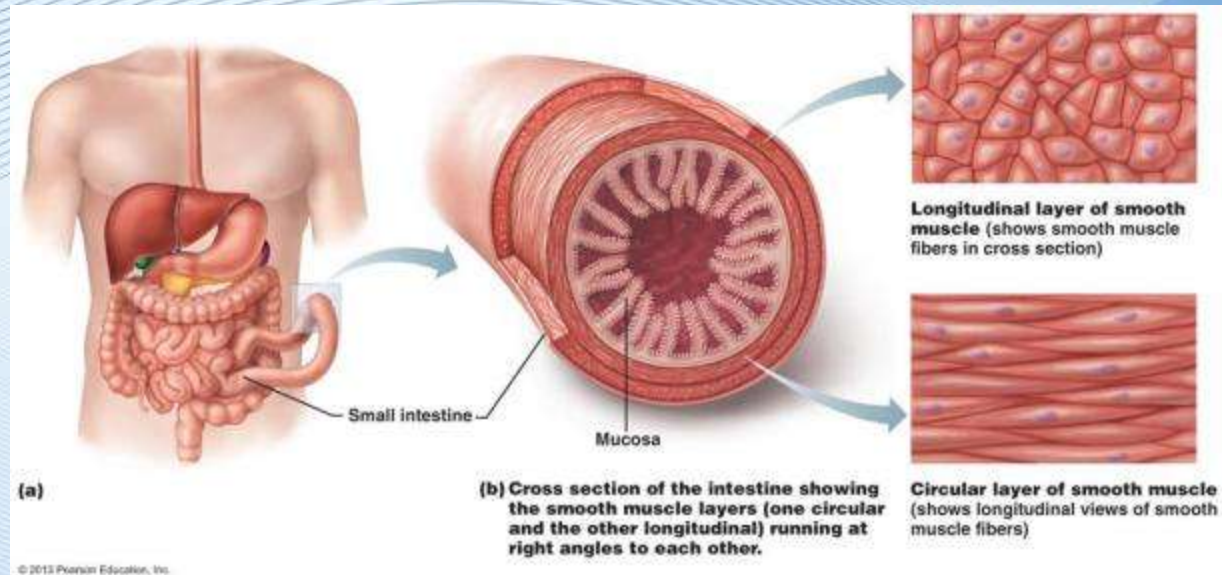


FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

- Tipovi glatkih mišića

- **Jednojedinični glatki mišić**

- Čini ga masa vlakana koja se kontrahuju kao jedinica - **sincicijumska organizacija sa spojevima među ćelijama "gap junction"** - omogućuje slobodan tok jona i nesmetanu propagaciju AP sa simultanom kontrakcijom svih vlakana
 - Primer: u zidu creva, krvnog suda, materice, mokraćnih i žučnih puteva...



FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

- **Mehanizam kontrakcije**

- Kontrakcija glatkih mišića iako su drugačije histološke građe odvija se slično kontrakciji skeletnog mišića
- Glatke mišiće ne karakteriše poprečna ispruganost
- **Aktinski filamenti ne sadrže troponin** i pričvršćeni su za "**gusta tela**" koja su rasuta po citosolu ili usidrena u plazma membrani (**imaju ulogu Z-diska**)
- Broj miozinskih filamenata u ćeliji je manji
- **Kontrakcije glatkih mišića su produžene - toničke**, traju minutima, satima pa i danima



FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

- **Mehanizam kontrakcije**

- Sila kontrakcije glatkih mišića u poređenju sa skeletnim je veća, u isto vreme smanjena brzina kontrakcije je u osnovi ekonomičnosti rada mišića što je značajno kod prolongirane toničke kontrakcije visceralnih organa
- **Mehanizam "zaključavanja"** - održavanje snage kontrakcije nakon postizanja pune kontrakcije pri znatno nižem stepenu aktivacije od inicijalnog nivoa - važno kod dugotrajnog održavanja tonusa šupljih organa uz istovremeno štednju E
- **Fenomen "stres-relaksacije"** - kada se visceralni glatki mišić istegne (punjenje mokraćne bešike npr.) dolazi do promene dužine mišića uz održavanje napona - tonusa u mišiću blizi početne vrednosti



FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

- **Mehanizam kontrakcije**

- Procentualno skraćivanje glatkog mišića u odnosu na početnu dužinu istegnutog mišića je veće nego kod kontrakcije skeletnog mišića, glatki mišić može da se skрати i do $\frac{2}{3}$ svoje dužine, a da pri tome održi punu silu kontrakcije dok je kod skeletnog mišića koristan razmak kontrakcije oko $\frac{1}{3}$ dužine
- Ovim se **dijametar šupljina visceralnih organa značajno menja shodno potrebi**



FIZIOLOGIJA GLATKOG MIŠIĆA

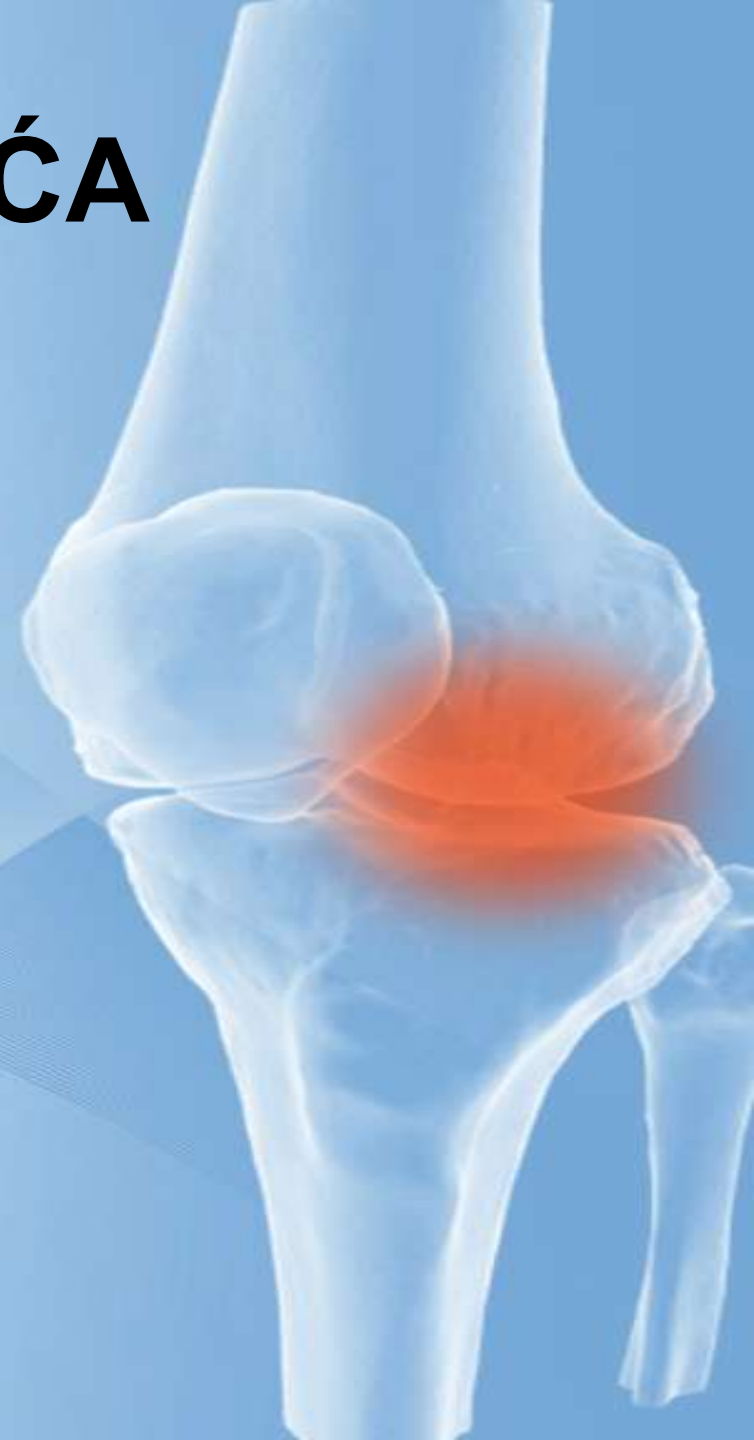
- **Mehanizam aktivacije kontrakcije**

- Intracelularna plima Ca^{++} jona je isti inicijalni događaj koji prethodi kontrakciji, ali je kod glatkih mišića stimulisan neuralno, hormonski, istežanjem ili hemijskim promenama sredine
- Etape u mehanizmu kontrakcije koje slede se razlikuju zbog odsustva troponina u glatkom mišiću
- U kontrakciji glatkih mišićnih vlakana značajnu ulogu kao regulatorni protein ima kalmodulin, kao i enzim miozin-kinaza, dok je u fazi relaksacije važna uloga enzima miozin-fosfataze



FIZIOLOGIJA SRČANOG MIŠIĆA

- Sastoji se iz dve vrste mišićnih ćelija (kardiomiocita):
 - radna muskulatura
 - sprovodna muskulatura
- Podela u odnosu na funkcionalne celine:
 - mišići pretkomore
 - mišići komore
 - mišićna vlakna sprovodnog sistema



FIZIOLOGIJA SRČANOG MIŠIĆA

- **Fiziološki sincicijum-** ćelije nisu u potpunosti odvojene plazmatskom membranom
- poprečna ispruganost- geometrijski odnos aktina i miozina kao u skeletnoj muskulaturi
- prisutni tropomiozin i troponin- isti mehanizam mišićne kontrakcije kao kod skeletnih mišića
- jedno jedro
- tesne veze- gap junctions (direktne komunikacije između dve susedne ćelije)
- T tubuli
- Dijada- T tubul+jedna cisterna sarkoplazmatskog retikuluma
- sarkoplazmatski retikulum



FIZIOLOGIJA SRČANOG MIŠIĆA

- razdraženje- Ca^{++}
- **plato depolarizacije**- karakterističan akcioni potencijal kardiomiocita
 - uslovljava da sistoli komora predhodi sistola pretkomora
 - impuls ne prelazi sa komora na pretkomore
- **automatizam**
- **spvodni sistem**
- **sistem koronarnih krvnih sudova**
- **metabolizma kardiomiocita**- u naporu se koriste laktati (mlečna kiselina) iz sopstvenih mišića ili skeletnoj muskulaturi



HVALA NA PAŽNJI!

