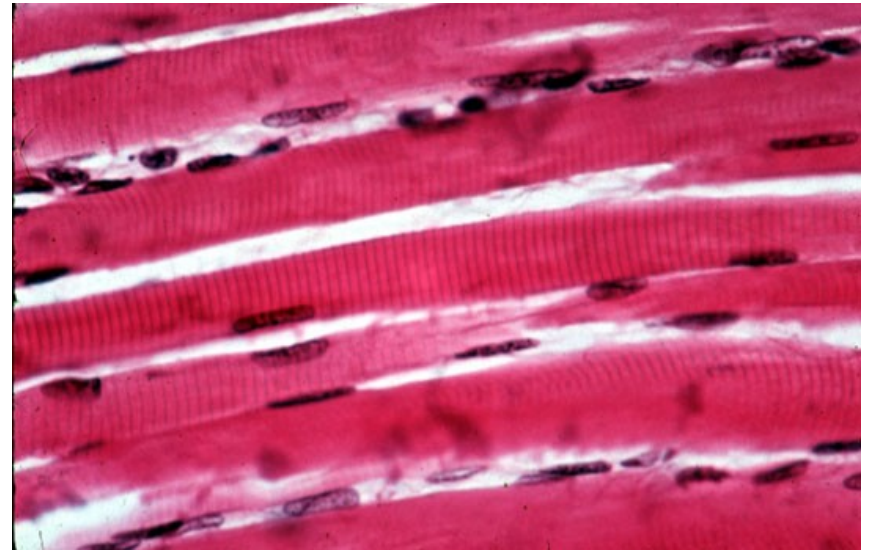


# 6. kafli: vöðvar



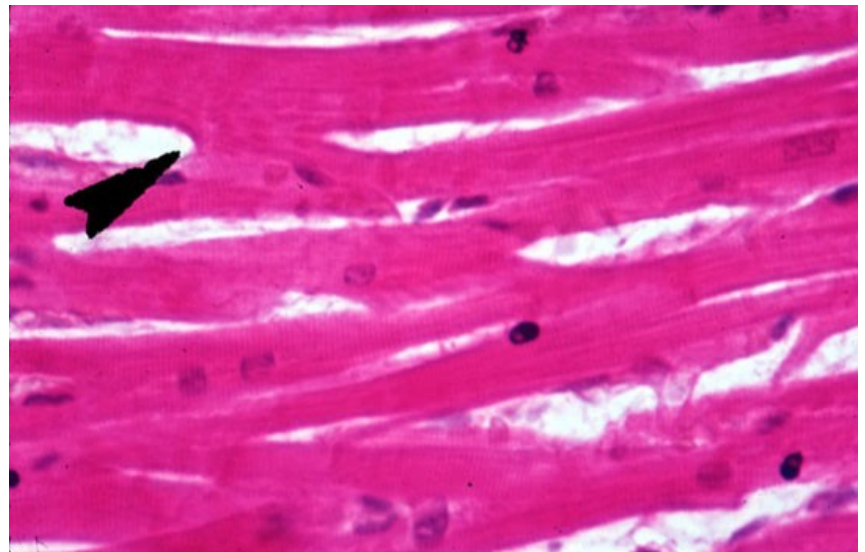
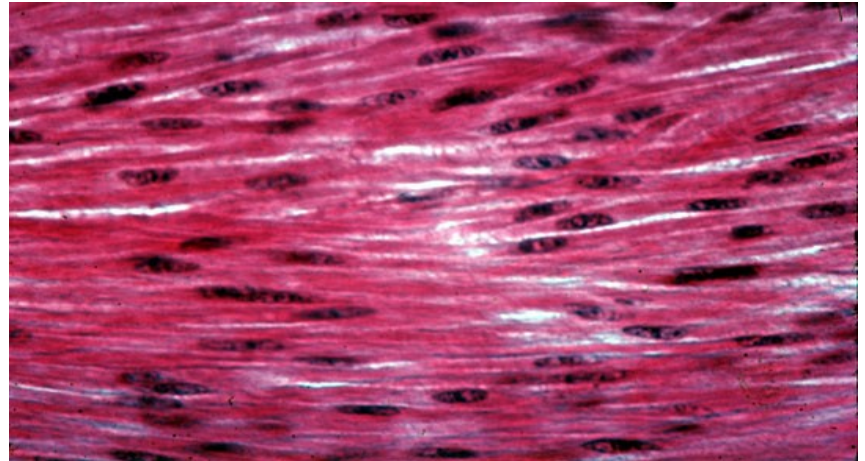
# Þrjár gerðir vöðvavefs

- Beinagrindarvöðvar
  - oftast tengdir beinum
  - frumur langar, margkjarna og þverrákóttar
  - viljastýrðir



# Þrjár gerðir vöðvavefs

- Sléttir vöðvar
  - eru í innri líffærum (æðar, meltingarvegur o.fl)
  - frumur einkjarna án þverráka
  - ósjálfráðir
- Hjartavöðvi
  - myndar stærsta hluta hjartaveggsins
  - frumur einkjarna og þverrákóttar
  - ósjálfráður dregst saman án utanaðkomandi boða (sjálfvirkur)



# Hlutverk vöðvavefs

- Hlutverk vöðvavefs
  - Líkamsstaða
  - hreyfing líkama
  - Stjórnun á rúmtaki líffæra og hreyfing á efni innan líkamans
  - Varmamyndun



# Eiginleikar vöðvavefs

- Eiginleikar vöðvavefs
  - Ertanleiki (excitability)
  - Samdráttarhæfileiki (contractability)
  - Teygjanleiki (endurheimtir fyrri lögun eftir teygju eða samdrátt) (=stretchability og elasticity)

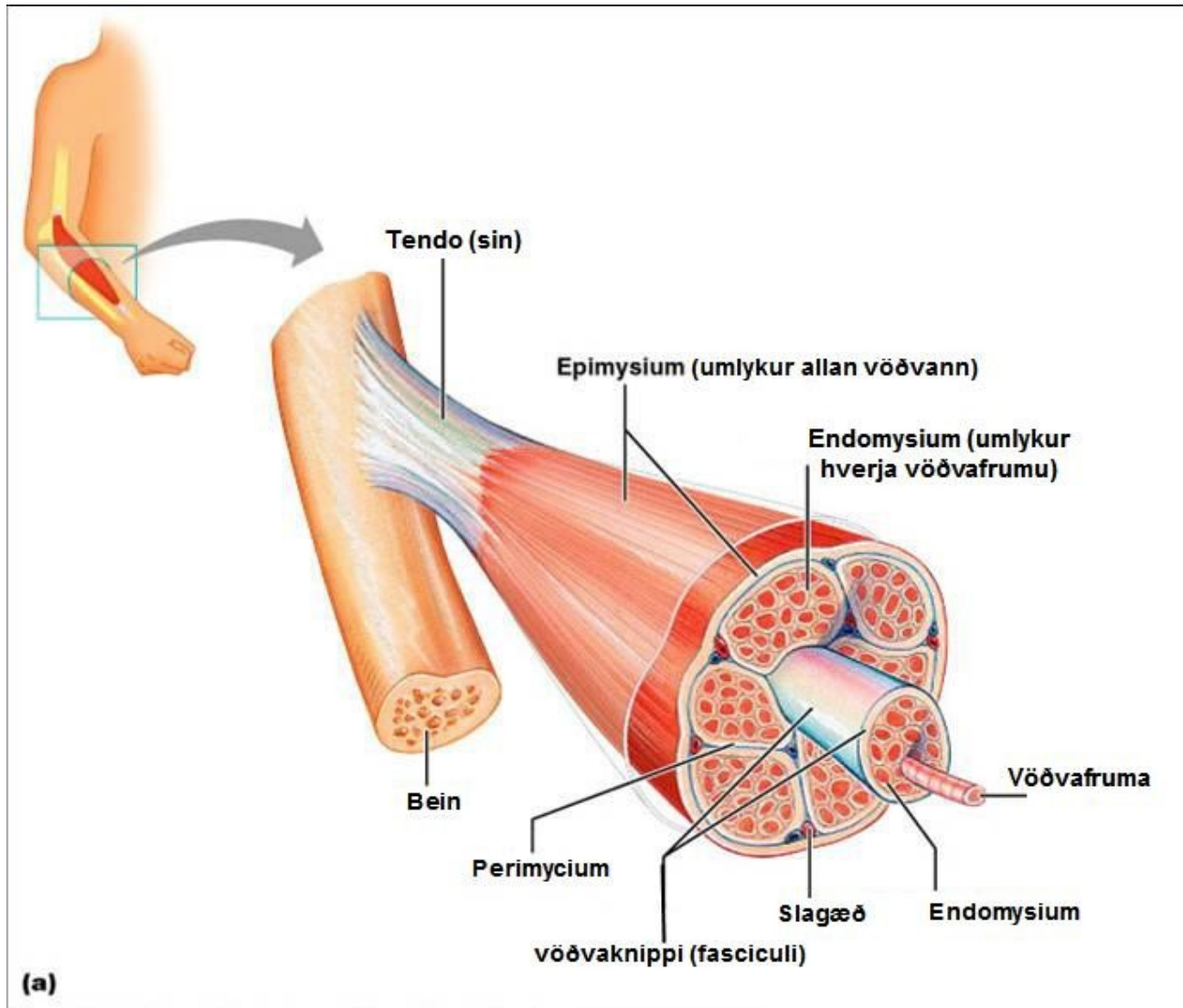


# Bandvefskerfi vöðva

- Fascia (fell) er bandvefshimna undir húðinni (grunnara fasciur) , umhverfis líffæri og vöðva (djúpar fasciur)
  - Epimycium (vöðvahula) klæðir heilan vöðva
  - Perimycium (vöðvaknippishula) klæðir vöðvaknippi (**fasciculi**) (10-100 vöðvafrumur)
    - Er það sem við sjáum oft með berum augum í kjöti
  - Endomycium (vöðvaþráðahula) klæðir einstaka vöðvaþræði



# Uppbygging vöðva



# Sinar (tendo)

- Sinar (tendo) og sinafell (aponeurosis) tengja vöðva við bein, annan vöðva eða húð
- Sinar eru úr þéttum reglulegum bandvef
- Sinar eru framhald af bandvefnum sem umlykur vöðvann,



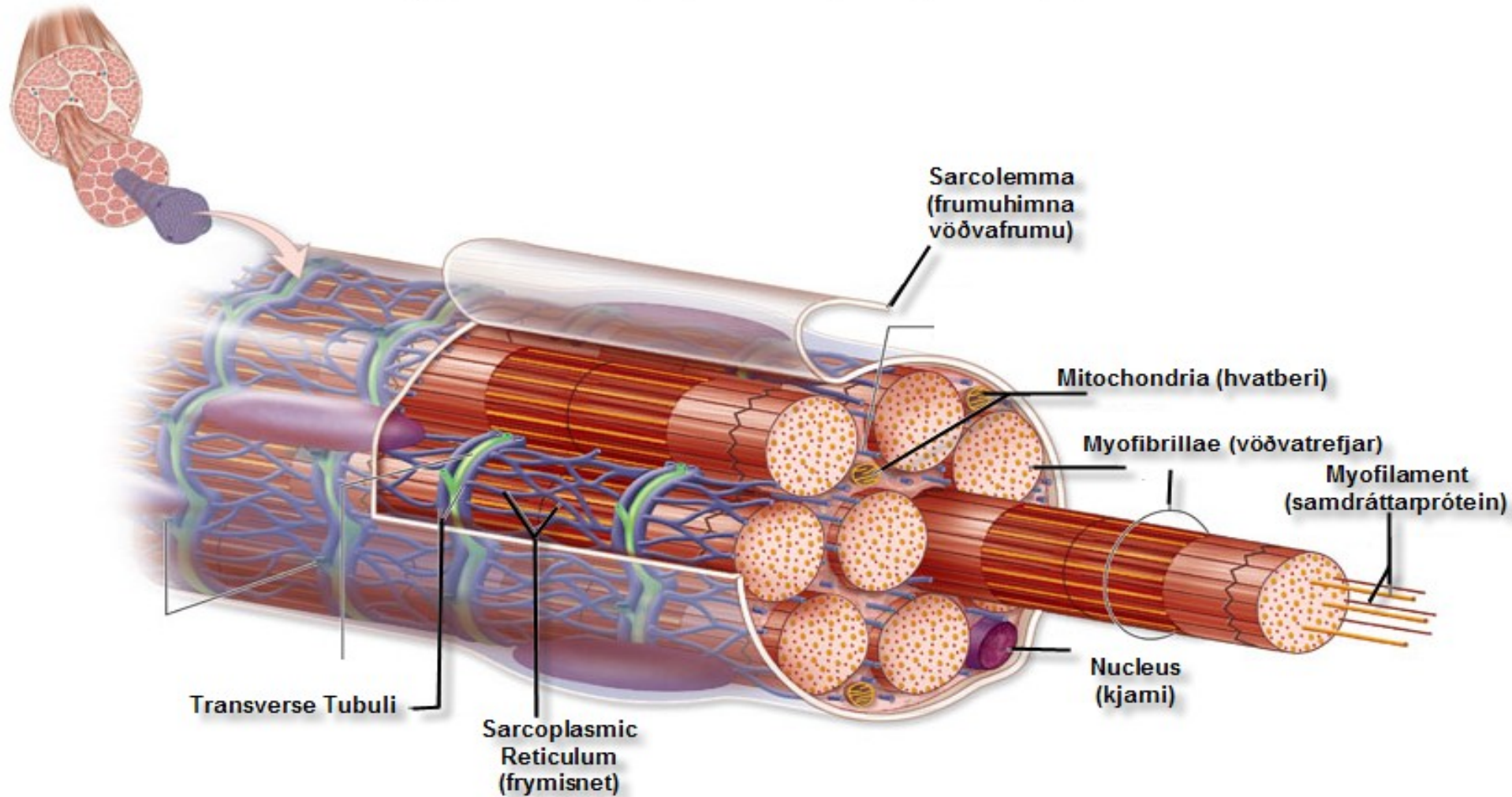


# Frumur beinagrindarvöðva

- Frumuhimna vöðvafrumu (**sarcolemma**) hefur píplulaga innfellingar (þverpíplur =transverse tubuli)
- Margir kjarnar í hverri frumu
- Margir hvatberar (mikill brunni)
- Vöðvarauði (**myoglobin**) sem bindur súrefni
- Frymisnet (**sarcoplasmic reticulum (SR)**) sem geymir kalsíum jónir ( $\text{Ca}^{2+}$ ) í hliðarsekkjum
- Vöðvatrefjar (**myofibrillae**) sem raðast upp í samdráttareiningar (**sarcomere**)



# Fínbygging beinagrindarvöðva



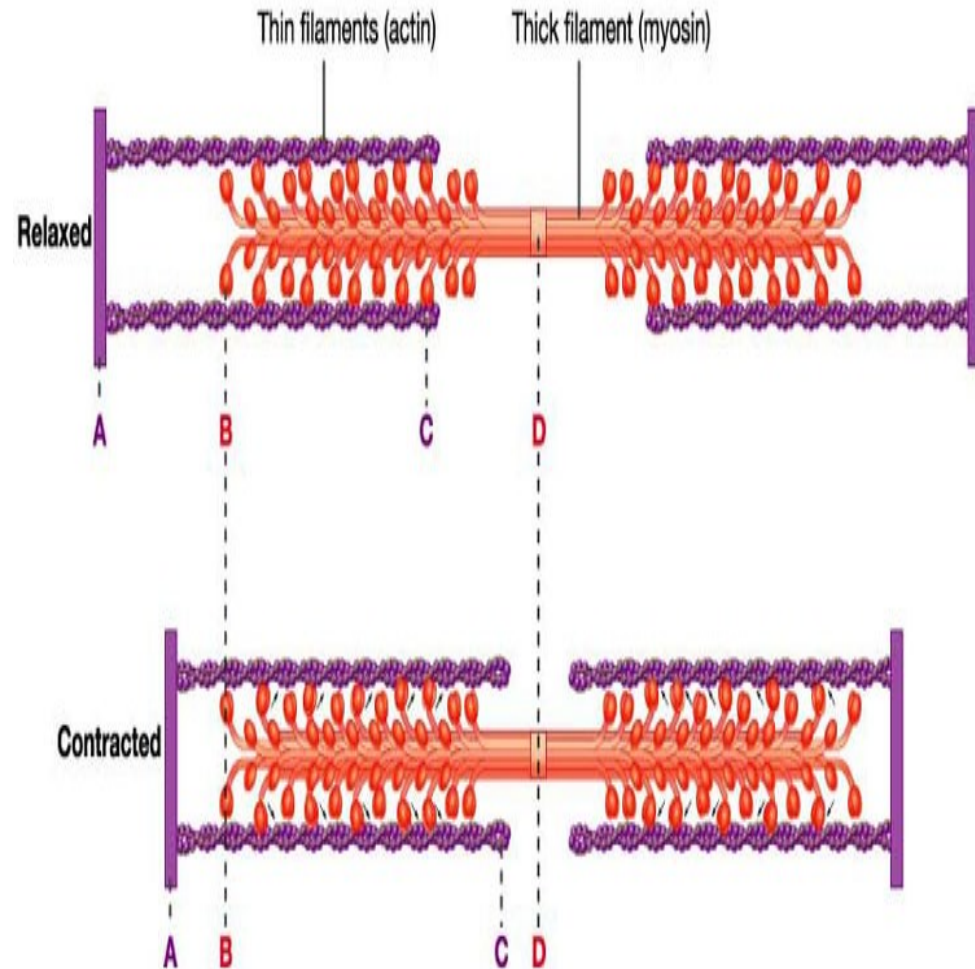
# Samdráttarprótein

- Vöðvatrefjar (myofirillae) eru búnar til úr enn minni einingum, samdráttarprótein (myofilamentes)
  - **Myosin** (thick filaments)
    - Með haus (krossbrýr) og hala
    - Hausar (krossbrýs)
      - Snúa alltaf frá miðju
      - Bindistaður fyrir Actin og ATP
  - **Actin** (thin filaments)
    - Líkist snúinni perlufesti
    - Með bindistað fyrir myosin
      - Er í skjóli af tropomyosin



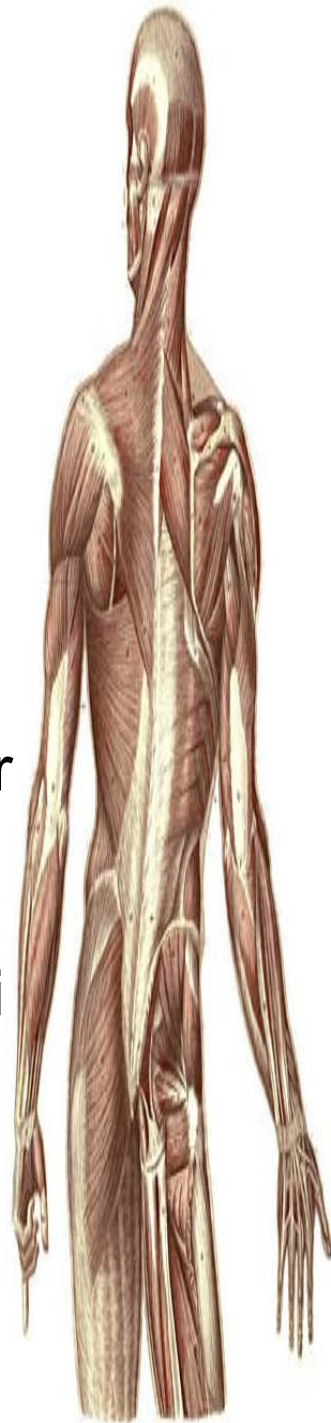
# Samdráttarprótein

- Samdráttarpróteinunum er raðað þannig að þau skarast
- Samdráttareining (**sarcomere**) er afmörkuð eining samdráttarpróteina
  - Nær frá einni z-línu til annarrar

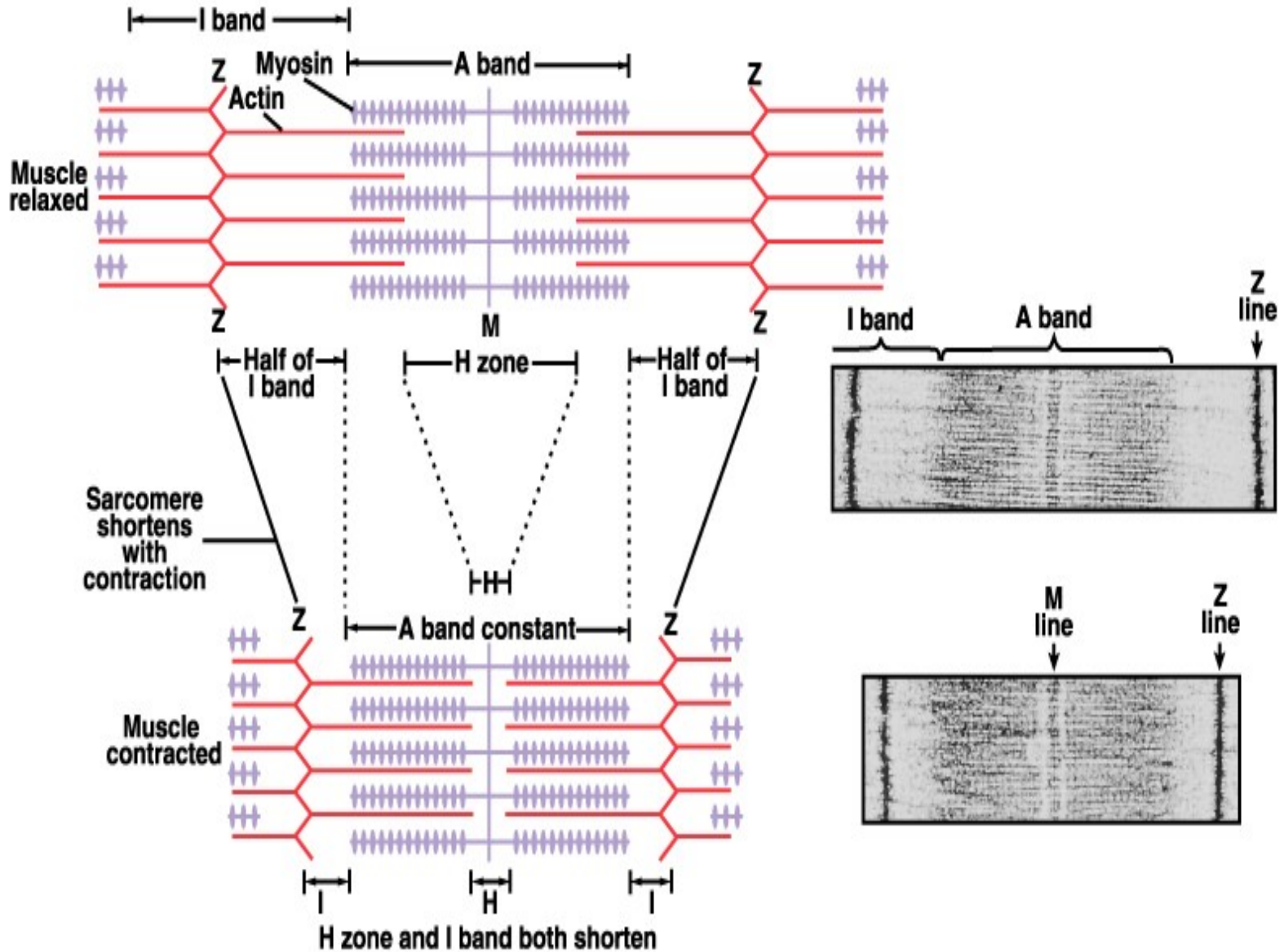


# Hvernig styttist vöðvi? (sliding filament theory)

- Vöðvasamdráttur verður þegar myosínhausar “ganga eftir” aktín þráðunum frá báðum endum samdráttareiningar (sarcomere)
- Aktín þræðirnir dragast í átt að miðju
- H- bönd og I-bönd styttast
- Z-línur færast nær hver annarri og hver vöðvaliður (sarcomera) styttist
  - Segja má að mýósín dragi aktínið yfir sig
- $\text{Ca}^{2+}$  (kalsíum) afhjúpar bindistað mýósíns á aktíni
  - Ef vantar  $\text{Ca}^{2+}$  , þá verður enginn vöðvasamdráttur



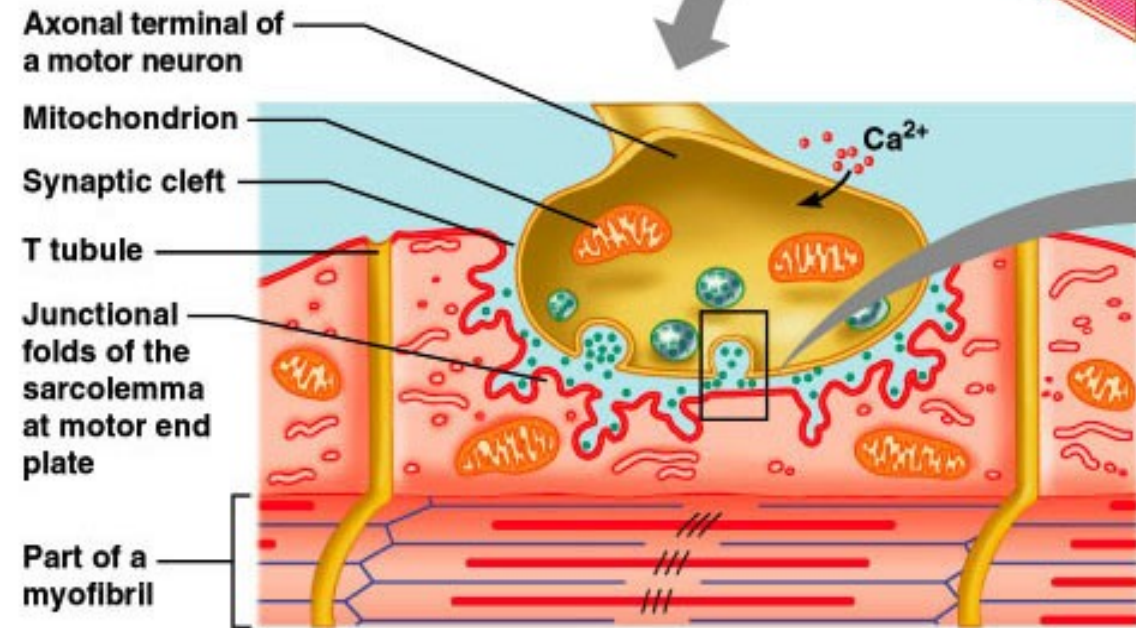
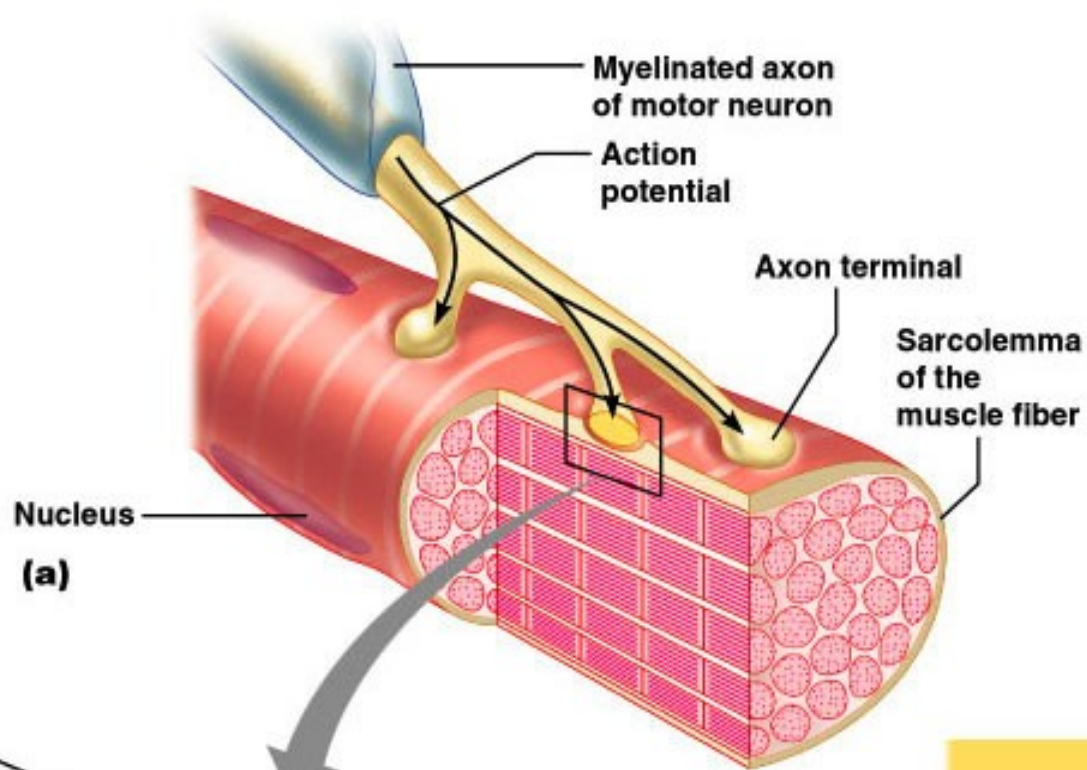
# Vöðvasamdráttur



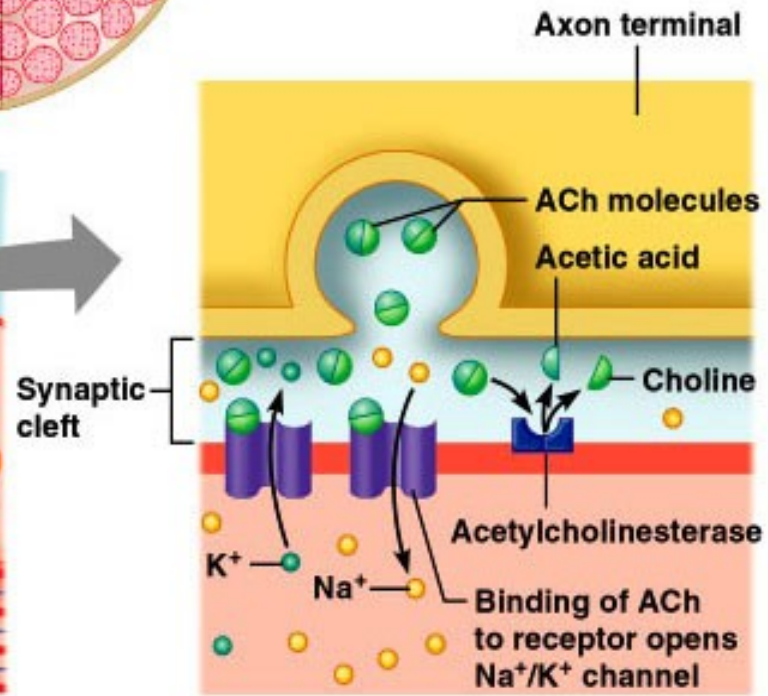
# Tauga - vöðvamót

- Tauga-vöðvamót (neuromuscular junction) eru þar sem hreyfitaugafruma og vöðvafruma mætast
  - Hver hreyfitaug tengist mörgum vöðvaþráðum
- Tauga-vöðvamót innifela
  - Símaenda taugafrumunnar (axon terminal) sem losar taugaboðefni
  - Endaplötu vöðvafrumunnar (end plate) sem hefur viðtaka fyrir taugaboðefnið





(b)



(c)



# Boði miðlað frá taug til vöðva

- Taugaboð berst eftir síma hreyfitaugafrumu og nær að símaenda
- Taugaboðefnið acetylkólín (ACh) losnar úr símaendanum við útfrymun
- Boðspenna myndast í vöðvanum þegar ACh binst viðtaka =>  $\text{Ca}^{2+}$  losnar úr SR (frymisnetinu) => bindistaður mýósíns á aktíni afhjúpast => mýósín getur tengst aktíni => vöðvasamdráttur
  - Þetta kostar orku (ATP)



# Vöðvatónus

- Þó allur vöðvinn sé ekki í stöðugum samdrætti er oftast einhver hluti hans virkur
- Þessi stöðugi, ófullkomni, ómeðvitaði vöðvasamdráttur sem kallast “tónus”, veldur ekki hreyfingu en er nægur til að viðhalda líkamsstöðu



# Efnaskipti rákóttra vöðva

- Vöðvafruma, líkt og allar aðrar frumur líkamans notast við ATP til starfa sinna
- ATP er orkugjaldmiðill frumunnar
- ATP er gert úr
  - Adeníni (sem er niturbasi)
  - Ríbósa (sem er sykra)
    - Adenín og ríbósi kallast saman adenósín
  - Þremur fosfat (P) atómum
- Orkan í ATP liggur í tengjunum á milli fosfatanna



# Efnaskipti rákóttra vöðva

- ATP
  - Adenín – P~P~P
- ADP
  - Adenín – P~P
- AMP
  - Adenín - P
  
- ~ stendur fyrir orkuríku tengin
- Þegar þessi tengi rofna, þá losnar orka



# Efnaskipti rákóttra vöðva

Til að vöðvi geti dregist saman þarf hann ATP

Hvaðan kemur það ATP sem vöðvinn notar?

- ATP birgðir í vöðvanum
  - Endist mjög stutt (örfáar sekúndur)
- Niðurbrot á creatín fosfati (CP)
  - endist í 10-15 sek (100 m hlaup)
  - Creatín fosfat hefur posfathóp. Þennan fosfathóp (P) er hægt að taka af CP og bæta á ADP og mynda þannig ATP
- Niðurbrot á sykri með loftfirrðri öndun (glycolysis)
  - Þetta veldur uppsöfnun á mjólkursýru og getur því ekki gengið lengi (3-400 metra hlaup)
  - Loftrirrð öndun gefur orku strax en gefur aðeins 2 ATP per mól glúkósa
- Niðurbrot á fæðuefnum við bruna (aerobic respiration)
  - Áhrifamesta leið vöðvans til að afla sér ATP (maráponhlaup)
  - Loftrirrð öndun gefur 36 ATP per mól glúkósa (18 sinnum meira en loftfirt öndun) og er þetta því sú leið sem líkaminn notar langmest til orkumyndunar



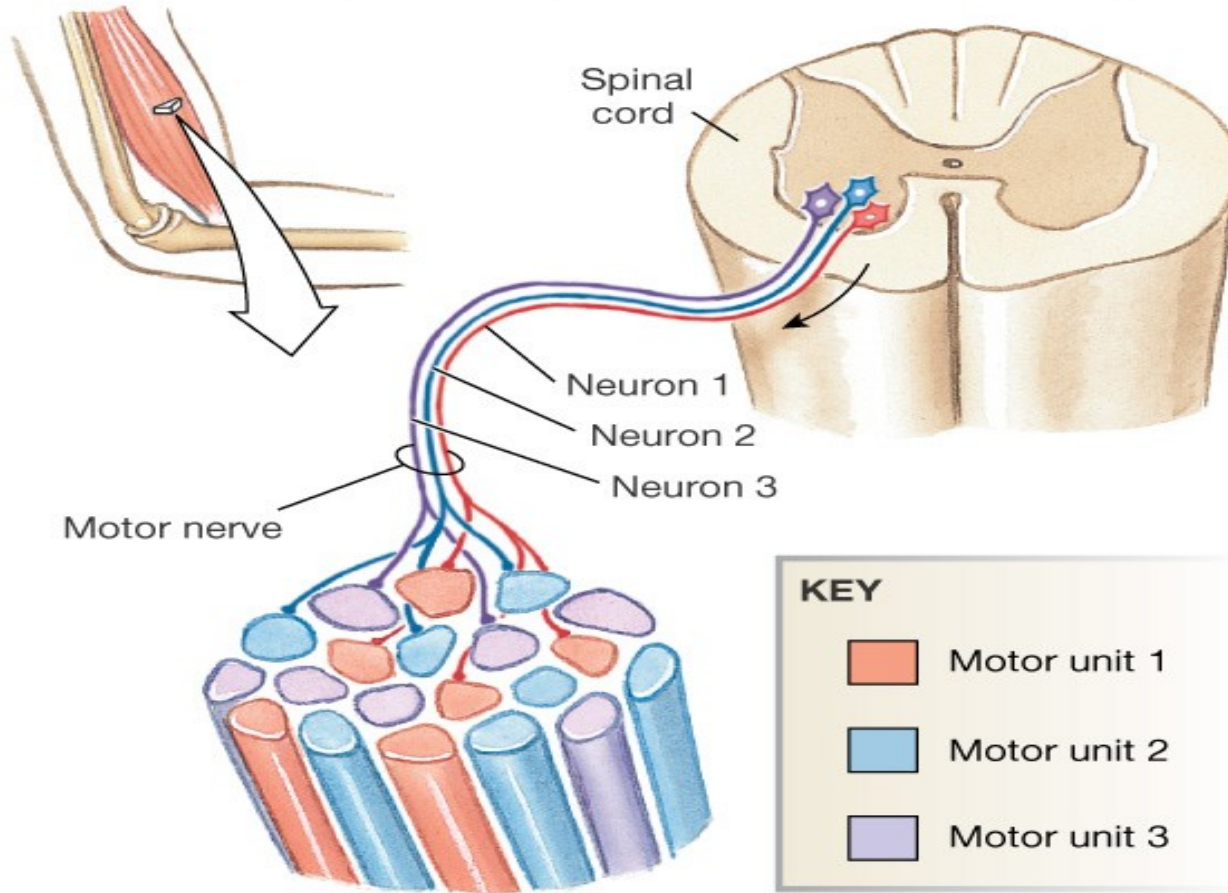
# Hreyfieining

- Hreyfieining (**motor unit**) er ein hreyfitaugafruma og allar þær vöðvafrumur sem hún tengist
- Ein hreyfitaugafruma getur tengst 10-2000 vöðvafrumum
- Því smærri sem hreyfieiningin er, því nákvæmari hreyfing (t.d eru smærri einingar í höndum en fótum)
- Kraftur í vöðva fer eftir því hversu margar hreyfieiningar eru virkjaðar hverju sinni (motor unit recruitment)
- Stöðug ómeðvituð starfsemi fárra hreyfieinga viðheldur vöðvaspennu (vöðvatónus)



# Hreyfieining

One muscle may have many motor units of different fiber types.



# Hraðir og hægir vöðvapræðir

- Á grundvelli byggingar og starfsemi eru vöðvapræðir flokkaðir í
  - Hæga oxidatífa (rauðir) – orkuöflun aðallega með loftháðri öndun
  - Hraða oxidatífa-glycolýtíska – hafa bæði loftháða og loftfirrða öndun
  - Hraða glycolýtíska (hvítir) – stunda aðallega loftfirrða öndun
- Flestir vöðvar hafa blöndu af öllum þrem gerðunum, en í mismunandi hlutföllum





|   | <b>Hægir loftháðir<br/>vöðvapræðir (rauðir<br/>vöðvapræðir)</b> | <b>Hraðir loftháðir<br/>(valfrjálisir)<br/>vöðvapræðir</b> | <b>Hraðir loftfirrtir<br/>vöðvapræðir (hvítir<br/>vöðvapræðir)</b>  |
|---|---|--|---|
| <b>Tími sem tekur að<br/>mynda hámarks<br/>samdrátt</b> | Hægastur  | Milli  | Hraðastur   |
| <b>Þvermál</b>  | Minnst  | Milli  | Stærst  |
| <b>Lengd samdráttar</b>                                 | Lengst  | Milli  | Styst   |
| <b>Úthald</b>   | Mikið úthald  | Mikið úthald   | Lítið úthald  |
| <b>Notkun</b>   | Mest notaðir: t.d. Til að<br>viðhalda eðlilegri<br>líkamsstöðu  | Standa, ganga  | Minnst notaðir: Notaðir<br>í hreyfingar sem<br>krefjast mkillar orku í<br>lítinn tíma t.d. Stökkva<br>eða spretta |
| <b>Litur</b>  | Rauður  | Rauður   | Hvítur (föl bleikur)  |
| <b>Hvatberar</b>  | Margir  | Margir   | Fáir  |
| <b>Háræðar</b>  | Margar  | Margar   | Fáar  |
| <b>Orkuvinnsla</b>                                      | Loftháð orkuvinnsla   | Bæði loftháð<br>orkuvinnsla og loftfirrða                  | Lofffirrð orkuvinnsla   |

# Hraðir og hægir vöðvaþræðir

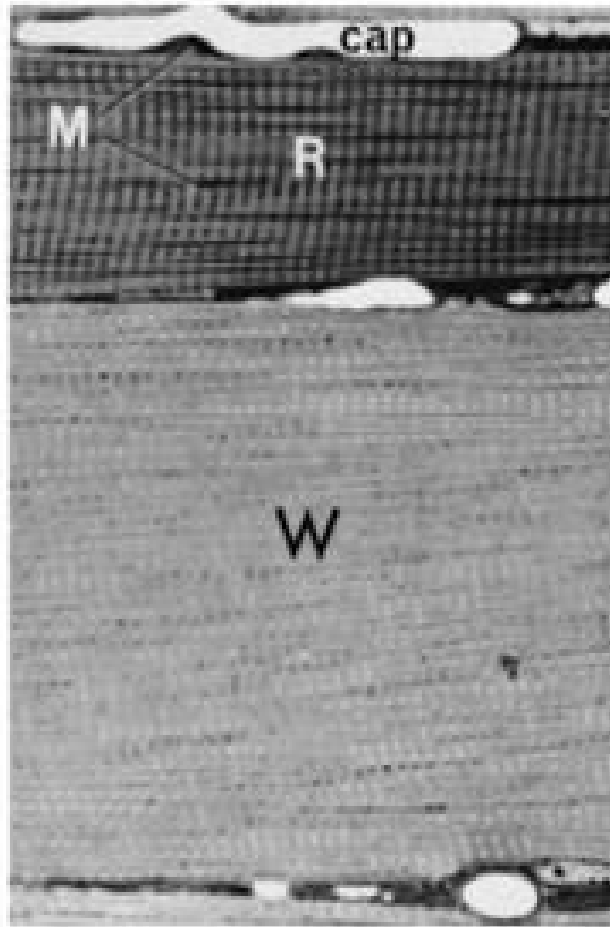


Spretthlaupar nota hvítu vöðvaþræðina mikið fyrir mikla orku í stuttan tíma

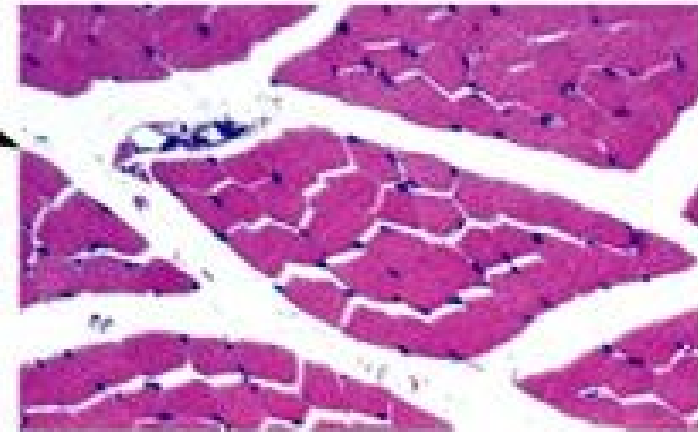


Langhlauparar notast aðallega við rauðu vöðvaþræðina

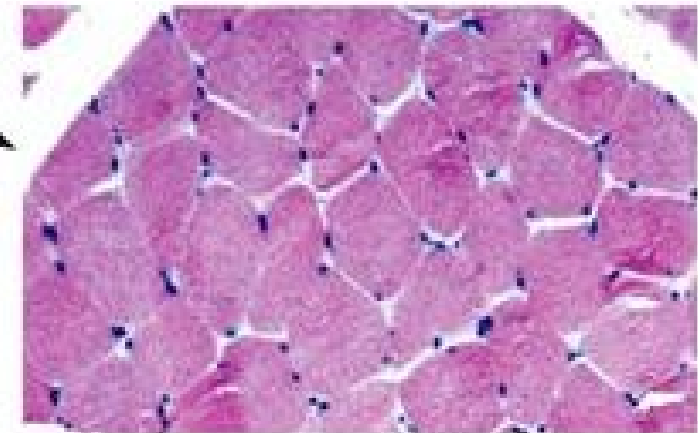
# Hraðir og hægir vöðvaþræðir



**Slow-twitch oxidative muscle fibers**  
Note smaller diameter, darker color due to myoglobin. Fatigue-resistant.



**Fast-twitch glycolytic muscle fibers**  
Larger diameter, pale color. Easily fatigued.



# Kraftþróun vöðva

- Ísótónískur samdráttur (hreyfikraftur)
  - Vöðvi stýttist (eða lengist) og orsakar hreyfingu
    - Til eru tvær tegundir af ísótónískum samdætti
      - Concentric: vöðvafestingar færast nær hvor annarri, þ.e. venjulegur samdráttur
      - Eccentric: vöðvafesturnar færst fjær hvor annarri en vöðvinn heldur í og hægir hreyfinguna, slakar vöðvanum niður
- Ísómetrískur samdráttur (kyrrstöðukraftur)
  - Vöðvi þróar kraft án þess að stýttast eða lengjast (sbr. þegar ýtt er á vegg)



# Upptök og festa

- Sinar tengja vöðva við bein
- Flestir vöðvar tengjast beinum á tveim stöðum (upptök og festa)
- Flestir vöðvar liggja yfir a.m.k. ein liðamót
- Við vöðvasamdrátt verður hreyfing um liðmótin þannig að annað beinið er kyrrstætt en hitt hreyfist
- Upptök (**origo**) er festing vöðva við bein sem er kyrrstætt við samdrátt
- Festa (**insertio**) færast nær upptökum við samdrátt
  - Góð þumalputtaregla er að upptök eru nærlæg (proximalis) meðan festa er fjarlæg (distalis)
- Sumir vöðvar hafa festu í húð og þá færast húðin til við samdrátt (sbr. svipbrigðavöðvar)



# Samstarf vöðva

- Flestar hreyfingar eru tilkomnar vegna samdráttar í mörgum vöðvum
- Agonisti (fyrsti hreyfari) er vöðvi sem veldur ákveðinni hreyfingu. Kallast einnig primus motor eða prime mover
  - Dæmi: m. biceps brachii (tvíhöfði) er agonisti í flexio á olnbogalið
- Antagonisti (gagnvirkur vöðvi) er vöðvi sem veldur gagnstæðri hreyfingu
  - Dæmi: m. biceps brachii (tvíhöfði) og m. triceps brachii (þríhöfði) eru antagonistar
  - Antagonisti verður að vera slakur til að agonistinn (primus motor) geti dregist saman



# Samstarf vöðva

- Synergistar (samstarfendur) eru vöðvar sem valda sömu hreyfingu. Synergisti er því vöðvi sem hjálpar til við hreyfingu
  - Dæmi: brachialis er synergisti biceps brachii
- Fixatorar (festar) auka stöðugleika á uppökum hjá agonista og festir þannig beinið
  - Dæmi: Vöðvar sem festa humerus (upparmsbein) eru því fixatorar fyrir biceps. Deltoid (æxlarvöðvi) er því fixator fyrir samdrátt biceps
- Flexor er vöðvi sem minnkar horn á liðamótum, t.d. biceps
- Extensor er vöðvi sem gleikkar horn á liðamótum, t.d. triceps

