

## Valkosolujen tehtävät

- useimmat tehtävät verenkierron ulkopuolella!
- liikuntakyky & fagosytoosi: neutrofiili > monosyytti > basofiili
- valkosoluja siirtyy jatkuvasti verestä muihin kudoksiin
- kudostrauma tai tulehdus kiihdyttää siirtymistä
- tulehdus → granulositytit → monosyytit → lymfositytit (kroonisissa tulehduksissa)
- asidofiilit
  - fagosytoivat antigeeni-antibody-komplekseja
  - määrä lisääntyy allergisissa reaktioissa ja loisinfektiossa

1

- basofiilit
  - tuottavat hepariinia ja histamiinia vereen (vrt. mast-solut: hepariini ja histamiini → kudoksiin)
- monosyytit
  - siirtyvät helposti kudoksiin → fagosytoosi (muuntuvat makrofageiksi, osteoklasteiksi)
- lymfositytit
  - pienet lymfositytit tärkeitä immuunivasteen synnyssä
  - T-lymfositytit kypsyvät kateenkorvassa (*thymus*), ikä kk...vv
  - B-lymfositytit ← linnun *bursa fabricii*, nisäkkäillä?, ikä pp...vk
  - molemmat tyypit: vasta-ainetuotanto

2

5

Erikoistunut sidekudos

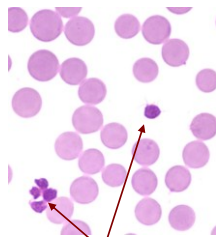
### Verihiutaleet eli trombositit

- värittömiä, 2-4  $\mu\text{m}$ , 200000-300000/ $\text{mm}^3$
- nisäkkäillä tumattomia, mm. linnuilla tumallisia
- syntyvät luuytimen megakaryosyyteistä
- sisältävät tromboplastiini-entsyymiä  $\rightarrow$  veren hyytyminen

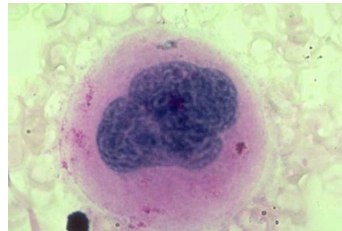
protrombiini  $\rightarrow$  trombiini

fibrinogeeni  $\rightarrow$  fibriini

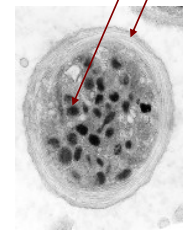
- takertuvat haavassa verisuonen endoteeliin



verihiutaleita



megakaryosyytti (luuytimessä)



verihiutale

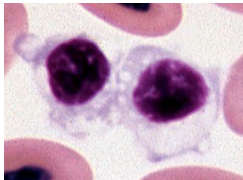
hyalomeeri

granulomeeri

3

5

Erikoistunut sidekudos



Linnun trombositit, (tumallinen)

### Hematopoiesi eli verisolujen synty

1. agranulosyytit imu- eli lymfakudoksessa (kateenkorva, perna, imusolmukkeet)
2. erytrosyytit ja granulosyytit + trombositit luuytimessä
  - myeloidinen kudos
  - molemmilla mahdollisesti yhteinen pluripotentti kantasolu
  - tautitiloissa maksa, perna ja imukudos voivat tuottaa punasoluja ja granulosyyttejä
  - sikiöllä: ruskuaispussi  $\rightarrow$  maksa  $\rightarrow$  perna  $\rightarrow$  luuydin

4

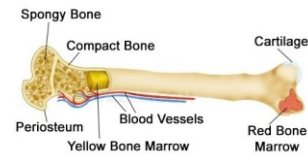
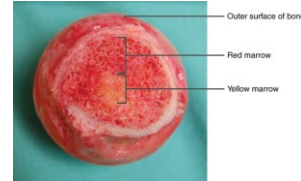
5

Erikoistunut sidekudos

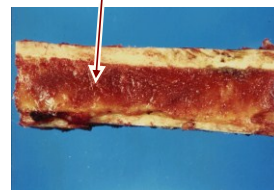
## Myeloidikudos

- n. 4.5 % ruumiin painosta
- keltainen ydin
  - runsaasti rasvaa, inaktiivinen
- punainen ydin
  - aktiivisesti hemopoieettinen
  - rintalasta, kylkiluut, selkänikamat, kallon luut, pitkien luiden epifyysi
- stroma
  - retikulaarista sidekudosta

Reisiluun avattu pää



Punainen ydin litteässä luussa

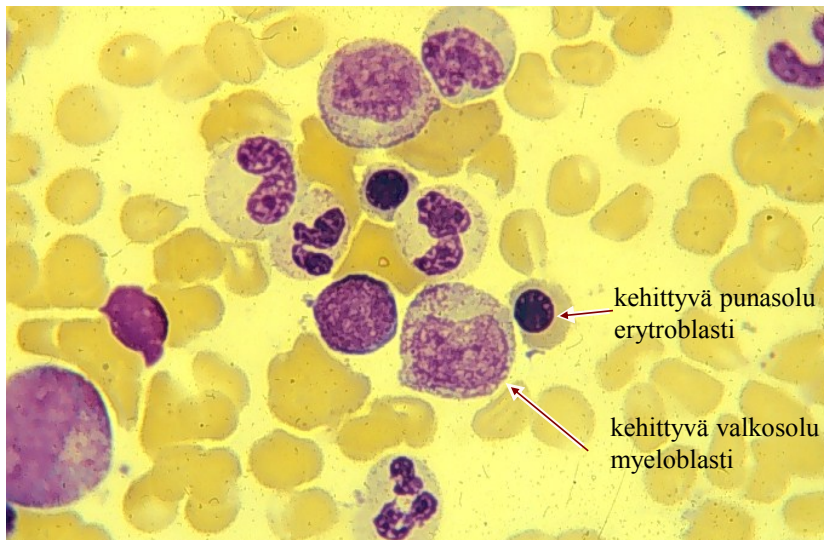


5

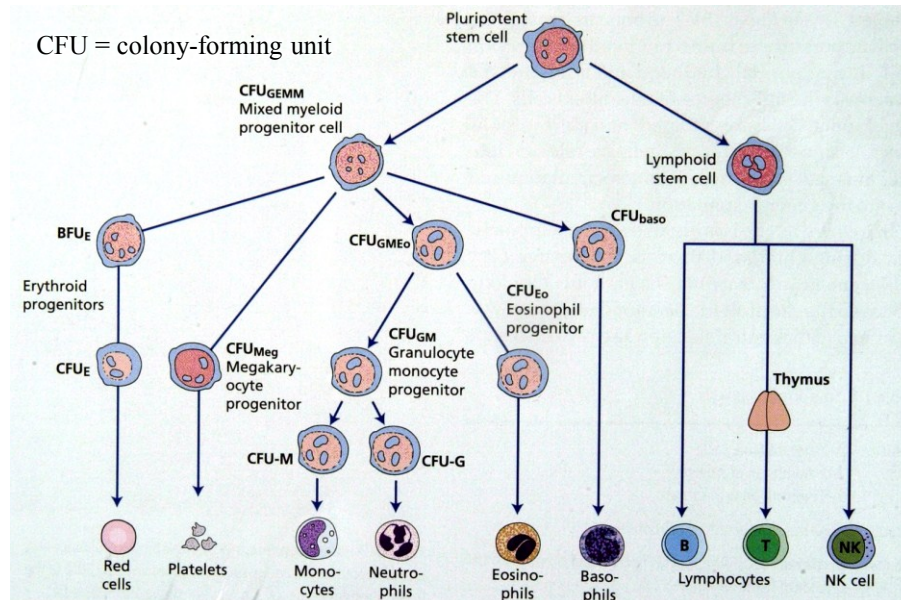
5

Erikoistunut sidekudos

## Sivelypreparaatti luuytimestä



6



### Retikuloendoteliaalijärjestelmä

- ei anatominen kokonaisuus
  - sisältää eri kudoksissa (ei veressä) tavattavat voimakkaasti fagosytoivat solut → vieraiden partikkeleiden poisto, punasolujen pigmenttien hajotus, myös rasva-aineenvaihdunta
  - voidaan stimuloida esim. väriaineilla → tunnistus
1. sidekudoksen makrofagit
  2. maksan sinusoideja (ks. myöhemmin) reunustavat ns. Kupfferin solut
  3. pernan, imusolmukkeiden ja luuytimen sinusoideja reunustavat solut
  4. keskushermoston mikroglia-solut

## Lihaskudos

### ➤ 3 kudostyyppiä

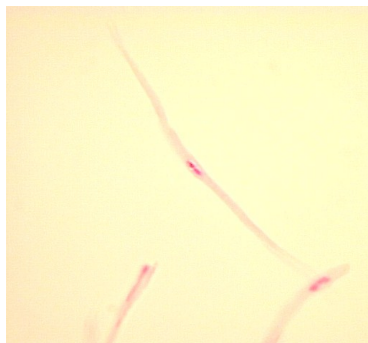
- sileä eli juovaton lihas (smooth muscle)
- poikkijuovainen eli juovikas lihas, luurankolihas (striated muscle, skeletal muscle)
- sydänlihas (cardiac muscle)
- aikuisen painosta 40-50 %
- ärtymis- ja supistumiskyky
- alkuperä mesodermaalinen, mesenkyymisolujen muodostamaa
- huom: hermostopiena → ektomesenkyymi → kasvojen lihakset
- supistumiskyky perustuu solun fibrilleihin, jotka muodostuneet supistuksen tuottavista molekyyleistä (aktiini, myosiini + muut)

9

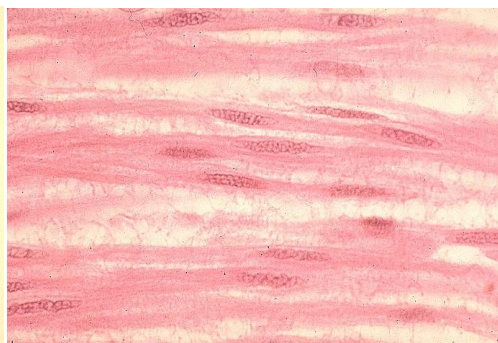
### 1. Sileä lihas

- lihassyöt eli -solut sukkulamaisia, 1-tumaisia
- pituus 20-500  $\mu\text{m}$ , läpimitta n. 6  $\mu\text{m}$

irrotettuja soluja



sileää lihaskudosta

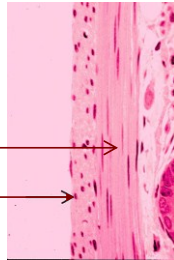


10

5

Lihaskudos

- sileä lihas on tahdosta riippumaton → autonomisen hermoston säätely
- esiintyminen
  - ruoansulatuskanavan seinämä
  - verisuonten seinämä, suuret lymfatiehyet
  - hengitys- ja virtsatiet, sukupuolielimet
  - verinahka (karvan/höyhenen kohottajalihakset)
  - silmän iris
- eivät kiinnity luihin!
- esiintyy usein kerroksina putkien ympärillä
  - poikittaiskerros →
  - pitkittäiskerros →

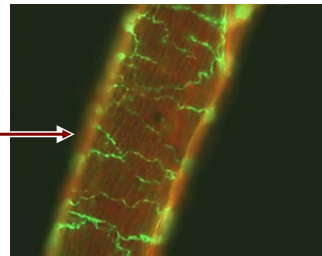
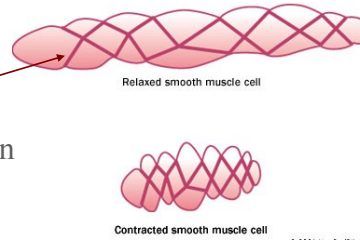


11

5

Lihaskudos

- supistuminen hidasta, usein rytmistä, asteittaista
  - esim. suolen peristalsis
- myofilamenttiverkosto epäsäännöllinen
- supistuksen säätely myogeenista → lihassolulta toiselle
- autonominen hermosto ei muodosta synaptisia päätelevyjä, vaan muodostaa diffuusin verkoston lihassolujen lomaan
- esim. suoli: sympaattinen inhiboi, parasympaattinen kiihdyttää



12



## 2. Poikkijuovainen lihas

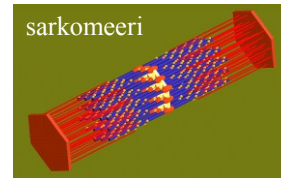
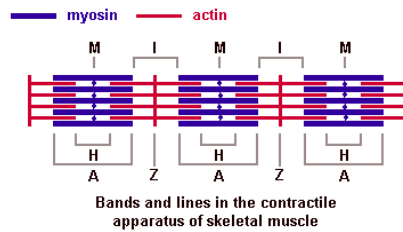
- solut lankamaisia, hyvin pitkiä (1-40 mm), läpimitta 10-100  $\mu\text{m}$
- Monitumaisia, syntyvät kantasolujen (myoblastien fuusiona)
- tahdonalaista  $\rightarrow$  somaattinen hermosto ohjaa  $\rightarrow$  liikkeet (luurankolihas)
- lihassytyt lihaksessa yleensä samansuuntaisia tai sulkamaisesti
- kiinnittyvät luustoon jännteillä ja toisiinsa aponeurooseilla
- aktiini- ja myosiinifilamentit järjestyneet myofibrilleiksi, n. 1  $\mu\text{m}$
- myofibrillit ryhminä solun sisällä  $\rightarrow$  Cohneheimin alueet
- selvä poikkijuovainen rakenne  $\rightarrow$  sarkomeerit
- paljon mitokondrioita

13



14

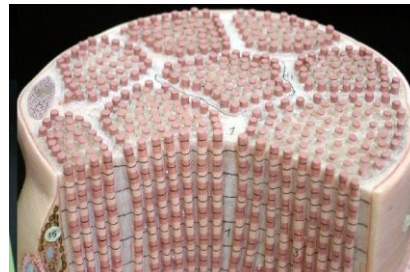
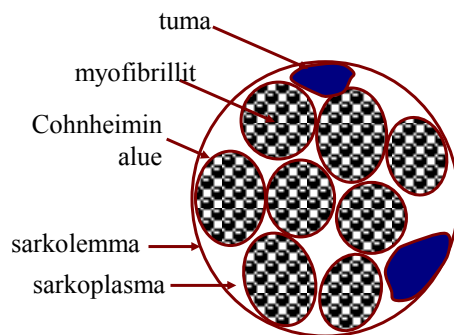
## Sarkomeeri



- ohuet aktiinifilamentit kiinnittyvät Z-levyyn, pituus 1  $\mu\text{m}$ , läpimitta 5 nm
- paksummat myosiinifilamentit keskellä, 1.5  $\mu\text{m}$ , 10 nm
- kutakin myosiinifilamenttia ympäröi 5 aktiinifilamenttia
- supistuminen: Z-levyt lähenevät toisiaan
- I-vyöhyke: isotrooppinen (vain aktiini)
- A-vyöhyke: anisotrooppinen aktiini ja myosiini)
- 2 Z-levyn väli on sarkomeeri

15

## Poikkijuovaisen lihassyyn poikkileikkaus

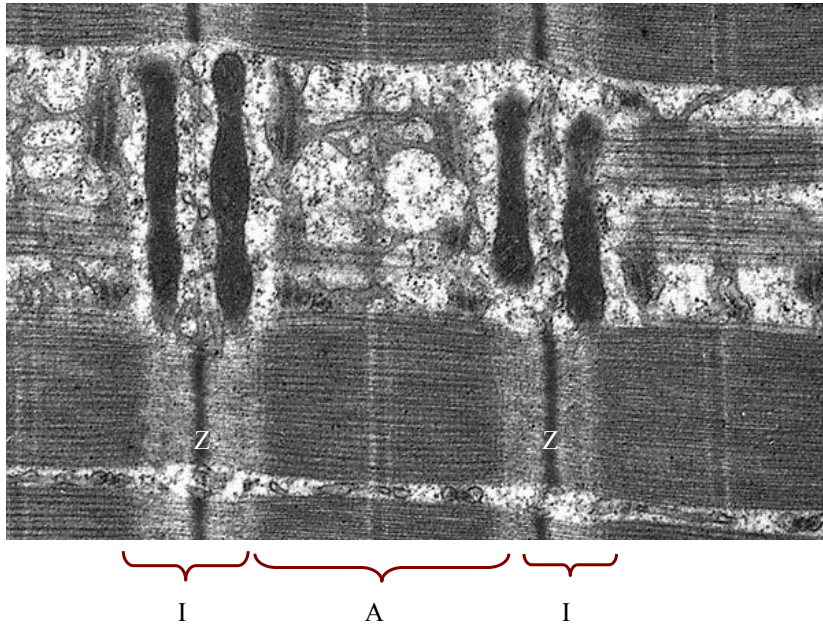


16



5

Lihaskudos



17

5

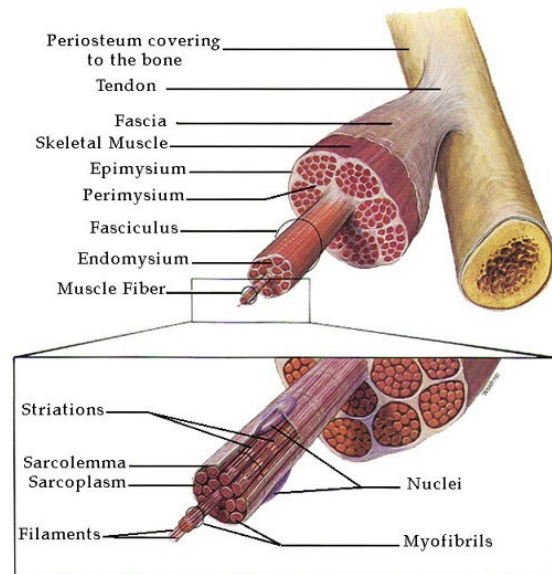
Lihaskudos

- kutakin lihassyytä ympäröi *endomysium*
- ohut retikulaarisäieverkko, sidekudossoluja harvakseltaan
- lihassolut järjestyneet kimpuiksi, joita rajaa *perimysium*, verisuonet hermot
- koko lihasta peittää *epimysium* (jäykkää sidekudosta, kalvo, *fascia*) → jatkuu janteenä



18

## Poikkijuovainen lihas, yhteenveto



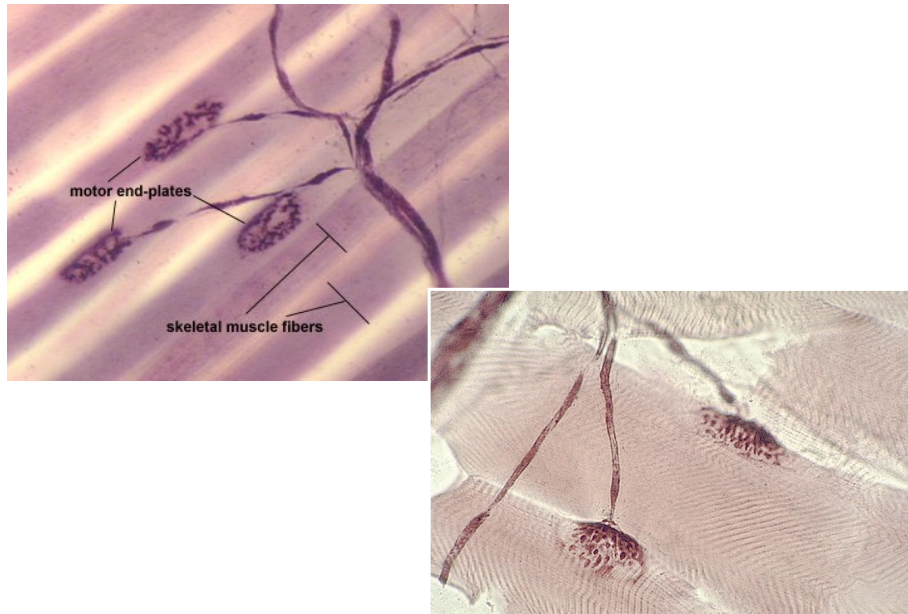
19

- lihaksen toiminnallinen yksikkö on ns. motorinen yksikkö (motor unit) → supistuminen aina neurogeenista!
- koostuu alfa-motoneuronista (liikehermosolu) ja sen hermottamista lihassyistä 1-1000 kpl
- yksikkö supistuu kokonaisuutena, kaikki-tai-ei-mitään-periaatteella (matelijoilla ja sammakkoeläimillä myös toonisia syitä → asteittainen supistus)
- lihasvoimaa säädellään toimivien motoristen yksiköiden määrällä ja niiden supistumistaajuudella
- hermosolusta haarake jokaiseen lihassoluun (vrt. sileä lihas)
- haarake päättyy lihas-hermo-liitokseen = päätelevy
- välittäjäaine asetyylikoliini
- matelijoilla ja sammakkoeläimillä myös multineuronaalisia lihassoluja (monta hermopäätettä/solu), nisäkkäillä vain sikiövaiheessa

20

5

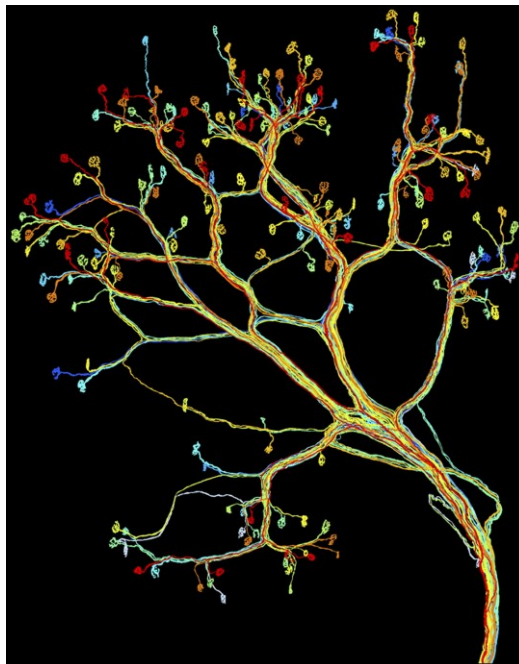
Lihaskudos



21

5

Lihaskudos

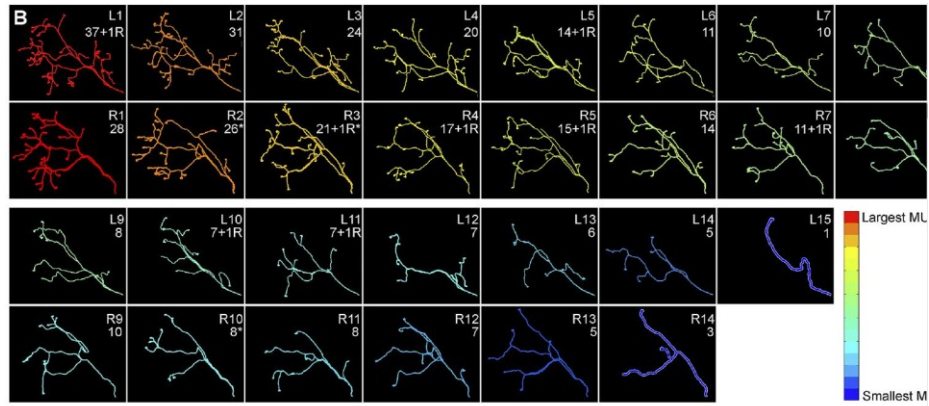


Hiiren interscutularis-lihaksen (pieni lihas korvalehden tyvellä) konektomi = aksonien haaroittuminen eri lihassoluihin (Lu et al. *PLoS Biology* 7, 2009). Perustuu 10000 konfokaalimikroskoopi-valokuvan koosteeseen.

1 mm

22

Vasemman puolen lihaksessa (L)15 motorista yksikköä,  
oikeassa 14, yksiköiden koko 1-37 lihassolua



23

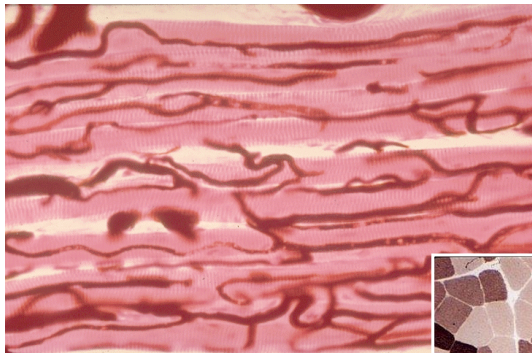
### Lihassolun metaboliset tyypit

fast-twitch	slow-twitch
vaaleita	punaisia (mitokondriot + myoglobiini)
nopea supistus (fast myosin)	hidas supistus (slow myosin)
anaerobinen → laktaatti hiilihydraattimetabolia	aerobinen → H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> rasvametabolia
läpimitta usein suuri	läpimitta usein pieni
hiussuonia vähän	hiussuonia paljon

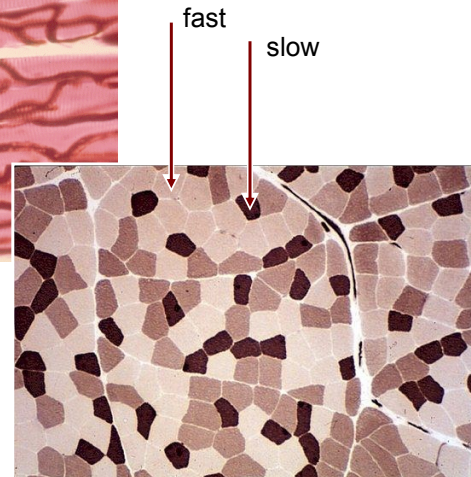
- sama lihas sisältää yleensä molempia tyyppiä
- eroja sukupuolten, yksilöiden ja lihasten välillä
- fast-twitch-tyypissä sekä oksidatiivinen että anaerobinen alatyypit

24

hiussuonia lihassolujen ympärillä



Solutyypit voidaan erottaa histokemiallisin värein (esim. ATP-aasi-värjäys)



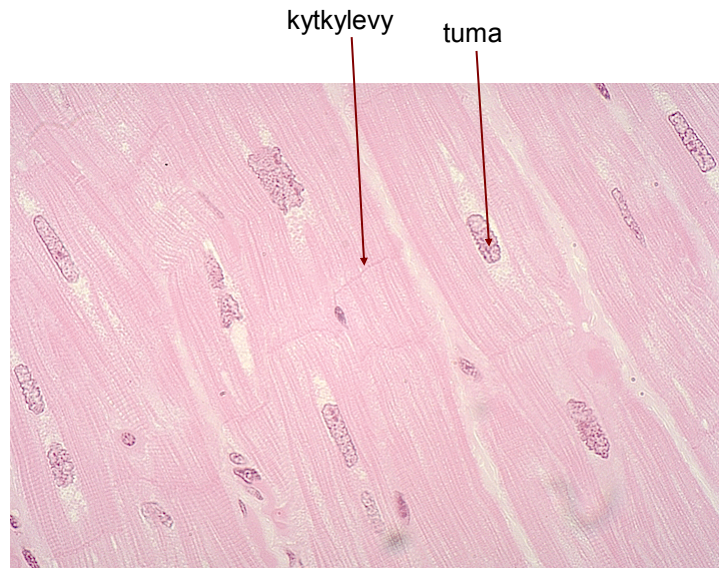
25

### 3. Sydänlihas

- poikkijuovainen, mutta tahdosta riippumaton
- supistuu rytmisesti, myogeeninen, autonominen supistelu
- autonominen hermosto muuttaa supistumistaajuutta, mutta ei aiheuta itse supistumista
- solut tylppiä, usein kaksihaaraisia, 1-tumaisia
- pituus n. 100  $\mu\text{m}$ , läpimitta n. 15  $\mu\text{m}$
- solut liittyneet toisiinsa kytkylevyillä (runsaasti desmosomeja)
- kytkylevyissä kahden naapurisolujen Z-levyt 'kohtaavat'
- aiemmin syncytium-käsite (= koko sydän yhtä solua)
- soluja ympäröi endomysium (ei kytkylevyissä)

26



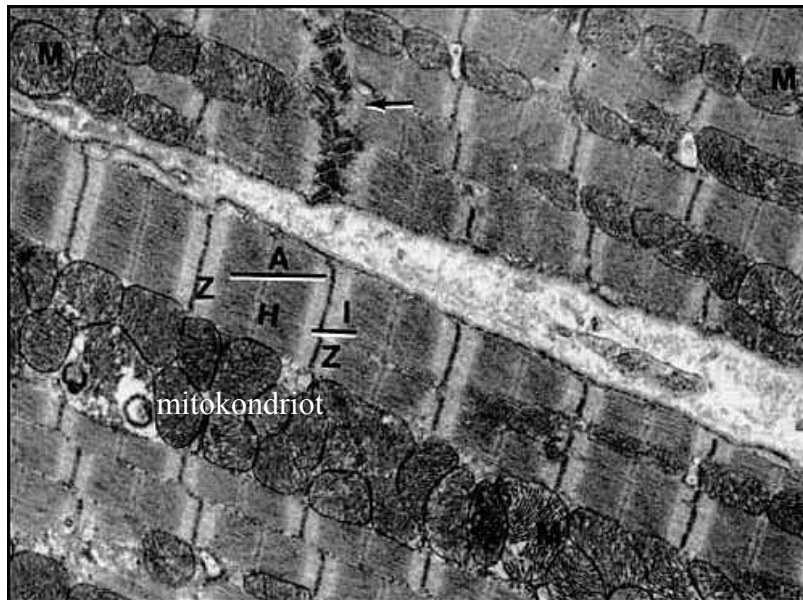


27

- voimakkaasti aerobinen lihas → paljon mitokondrioita
  - usein pitkinä riveinä myofibrillien välissä
- polttoaineena ketoaineet ja rasvat → ei väsy
- filamenttirakenne kuin poikkijuovaisessa lihaksessa
- supistumisärsyke solulta toiselle aukkoliittymien kautta
- Purkinjen syyt: impulssin johtamiseen erilaistuneet lihassyyt, läpimitta n. 50  $\mu\text{m}$ 
  - eteisten ja kammioiden + väliseinän sisäpinnalla
- sidekudosta vähän, erittäin runsaasti hiussuonia

28





## Hermokudos

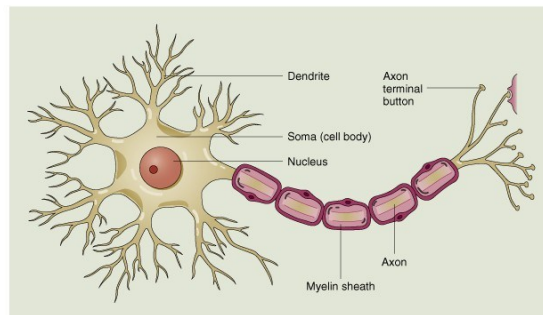
- ektodermaalinen
- koostuu:
  - hermosolut eli neuronit
  - hermosolujen tukisolut eli glia-solut
- ominaista ärtyvyys, johtokyky
- jaetaan anatomisesti:
  - keskushermosto (aivot + selkäydin), CNS central nervous system
  - ääreishermosto, PNS peripheral nervous system
- toiminnallisesti:
  - somaattinen → lihakset, luusto, iho
  - autonominen → sileä lihas, rauhaset

5

Hermokudos

## Neuroni

- solukeskus (soma, *perikaryon*)
- hermosolun haarakkeet
  - aksoni 'vievä' haarake
  - dendriitti 'tuova haarake', voi olla useita
- molemmat voivat haaroittua



31

5

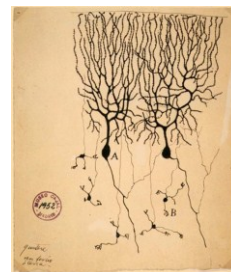
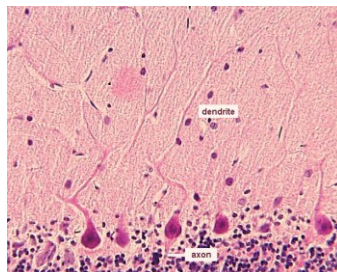
Hermokudos

- unipolaarinen neuroni, vain aksoni
- pseudounipolaarinen: aksoni ja dendriitti 'tyvestä' yhdessä
- bipolaarinen neuroni: 1 aksoni, 1 dendriitti
- multipolaarinen: 1 aksoni, monta dendriittiä
- aksoneita aina 1 kpl



Santiago Ramon y Cajal,  
Espanja 1852-1934

bipolaarinen  
neuroni: Purkinjen  
solu pikku-aivoissa



32

### A. Perikaryon

- 4-135  $\mu\text{m}$
- unipolaariset pyöreitä, esim. gangliot
- bipolaariset sukkulamaisia, esim. verkkokalvo, hajuepiteeli
- multipolaariset pyramidi/tähtimäisiä, yleisin tyyppi, kaikkialla CNS:ssa, autonomisissa ganglioissa
- solulimassa basofiilisia Nisslin jyväsiä = karkean ER:n kisternat
  - yltävät dendriitteihin, proteiinien tuotto
- neurofibrillit
  - yltävät kaikkiin osiin, mikrotubulukset (tubuliini), mikrofilamentit (aktiini)
  - kuljetus (axonal transportation)

33

### B. Dendriitti

- voi olla pitkä ja muistuttaa aksonia
- multipolaarisissa neuroneissa yl. lyhyitä, haaroittuneita
- läpimitta vähenee kärkeä kohti
- pinnalla ulokkeita 'spines'
  - synapsit muiden solujen aksoneihin

### C. Aksoni

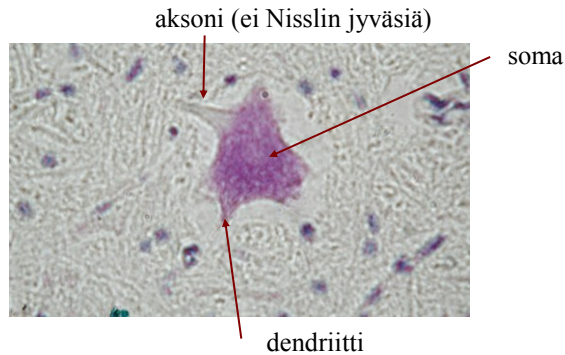
- aina 1 kpl, tyvellä aksonikeko (axon hillock)
- pituus jopa 1.2 m (ihmisellä)
- yl. ohuempi ja suorempi kuin dendriitti
- kollateraalit eli sivuhaarat
- kärjessä us. voimakas haaroittuminen  $\rightarrow$  telodendria

34

5

Hermokudos

- telodendriat synapsoivat muiden neuronien dendriitteihin, somaan tai jopa aksoneihin
- perikaryon tuottaa aksonin tarvitsemat proteiinit, kuljetus neurofibrillien avulla n. 1 mm/vrk



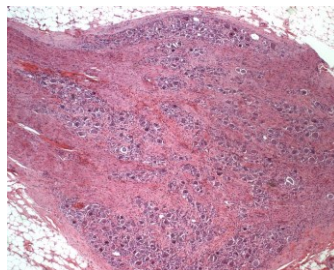
35

5

Hermokudos

### Hermosolujen yleinen organisaatio

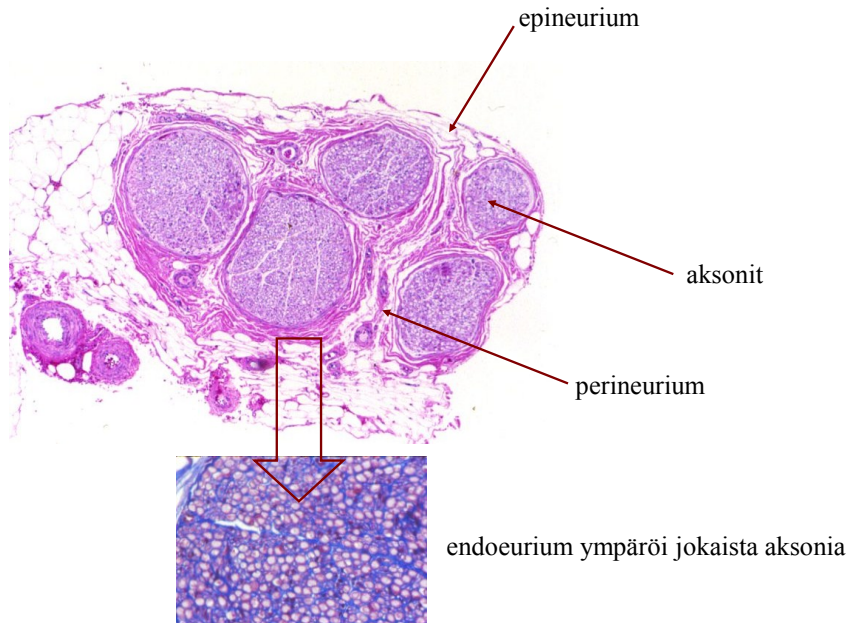
- solukeskukset ja dendriitit aina ryhminä
  - ääreishermoston gangliot (hermosolut tukisolut)
  - keskushermoston tumakkeet ja harmaa aine
- aksonit
  - hermo = aksonikimppu (jopa 1000 kpl) + tukisolut
  - CNS:n valkea aine



ganglio

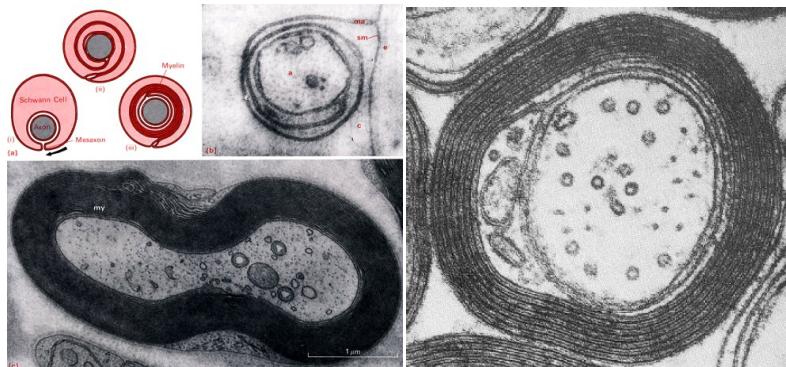
36

## hermon rakenne



37

- myeliinitupelliset aksonit (yleisiä ääreishermostossa)
- myeliinitupettomat (keskushermosto)
- myeliinituppi on Schwannin solujen muodostama → sähköinen eriste → Ranvierin kuroutumat → impulssin hyppivä eli saltatorinen johtuminen



38

## Ranvierin kuroutuma

