

**Keringés: erek típusai, felépítésük,**  
**kapillárisokban lejátszódó transzport-**  
**folyamatok, nyirokkeringés**

## **Keringési rendszer**

Az erekben folyó vér feladata a szervek/szövetek  $O_2$ -vel és tápanyagokkal ellátása és a bomlástermékek elszállítása.

### Keringési szervek rendszere:

Vérerek és szív

Vér és vérképző szervek

Nyirokrendszer

## Vérkeringés

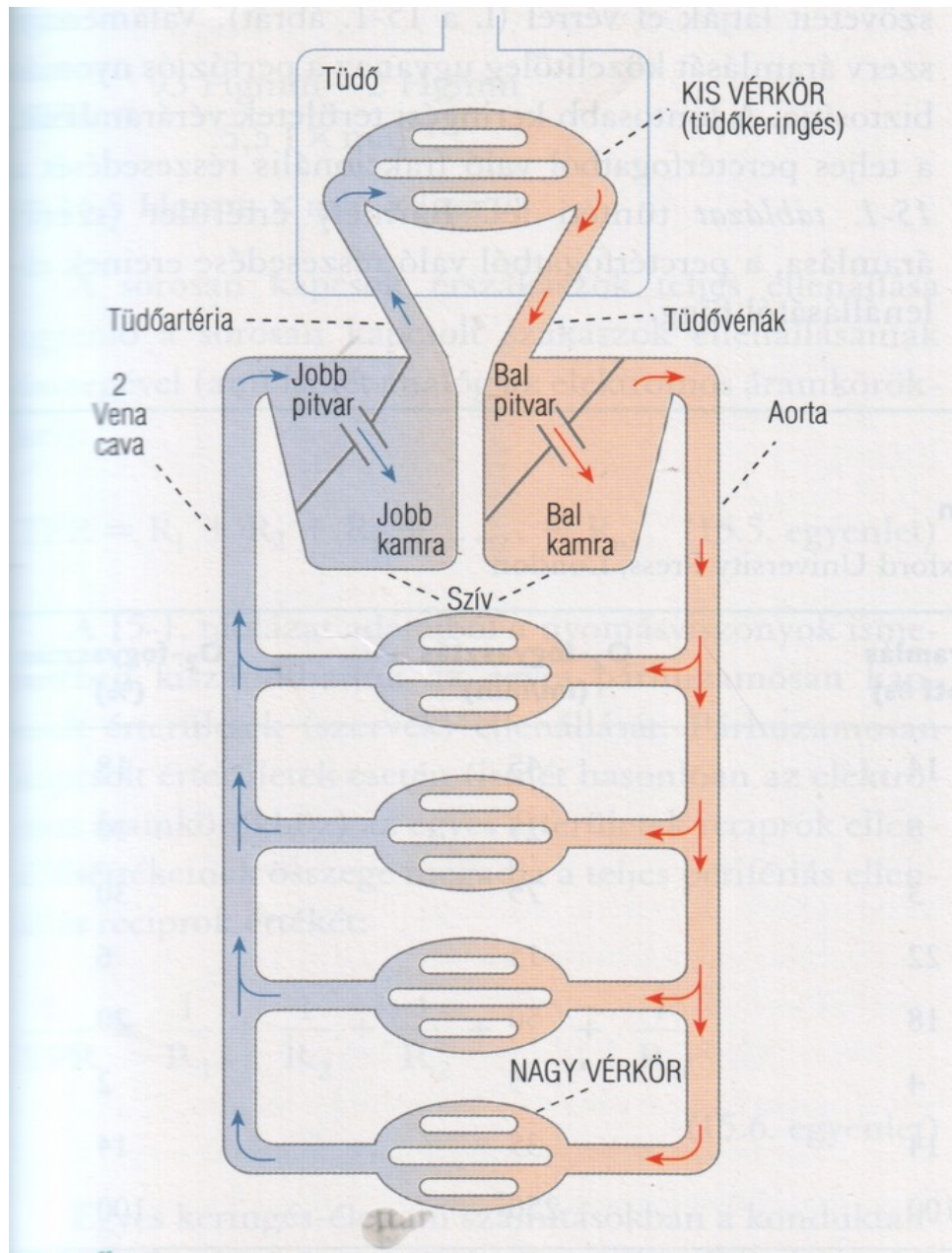
### Zárt vérkeringési rendszer:

áramlás intenzitása (ml/perc) azonos a keringés minden egyes keresztmetszetén (különben vér gyűlne fel).

Egy adott érszakaszon a sebesség fordítottan arányos a teljes keringési keresztmetszettel.

Véráramlást szív működés tartja fenn.

A véráramlás egyenirányítása a billentyűk segítségével valósul meg.



Két vérkör sorba kötve  
 Mindkét vérkör számos  
 párhuzamosan kapcsolt elágazásból  
 áll.  
 Nagyvérkör: különböző szervek  
 Kisvérkör: truncus pulmonalis  
 elágazódásai

*Nagyvérkör: szisztémás keringés:*

bal kamra, aorta, egyre vékonyabb artériák - arteriolák, szövetek  
kapillárisai - venulák - egyre vastagabb vénák, fő véna - jobb pitvar

*Kisvérkör: pulmonalis keringés:*

jobb kamra - tüdőartéria - tüdőkapillárisok - tüdővéna - bal pitvar

## Vérkeringés szervrendszere: *Erek:*

### Intima:

- Lapos endothelsejtek
- gátolják vérlemezkék összecsapzódását,
- lefedik az érfal kollagén rostjait

### Media:

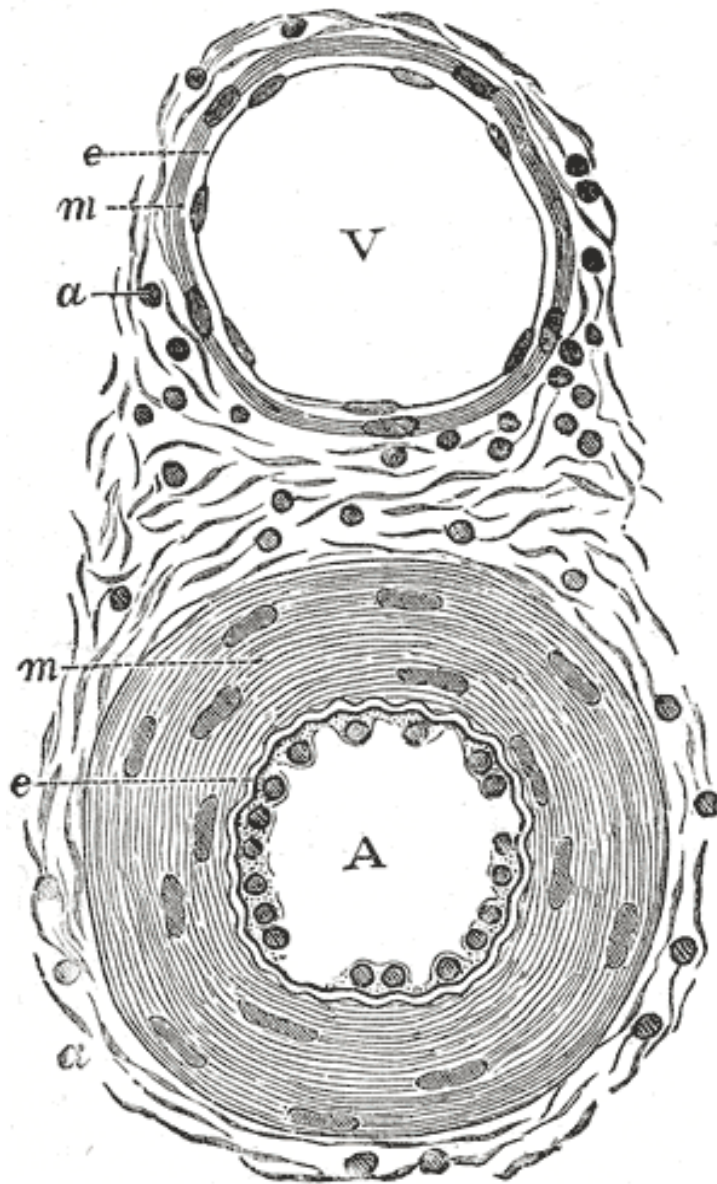
kötőszövet: rugalmas és kollagén rostok

simaiizom

### Adventitia

kötőszövet, zsírsejtek

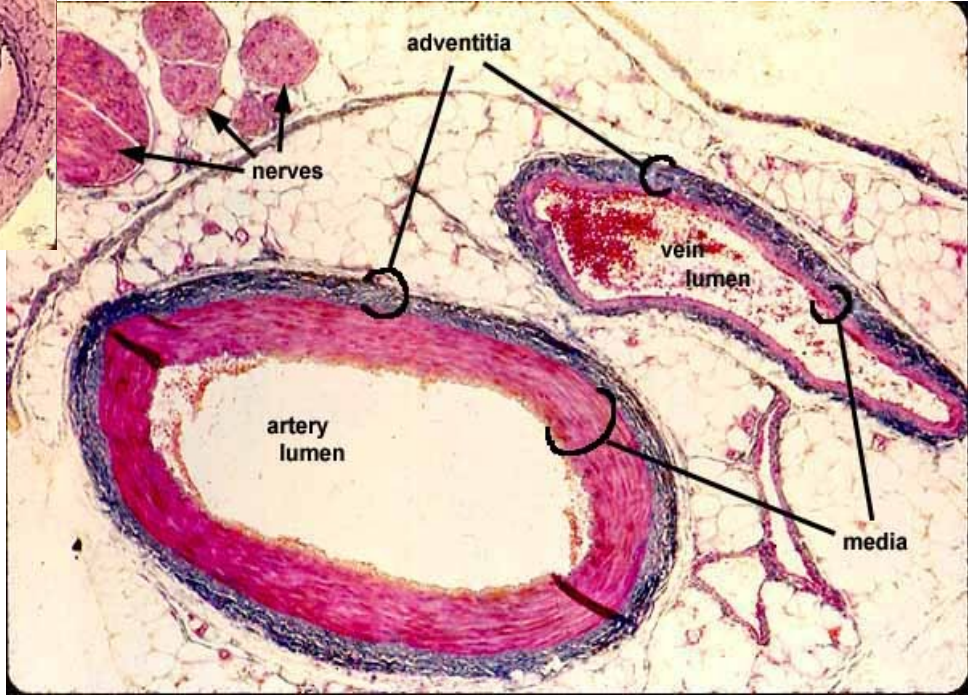
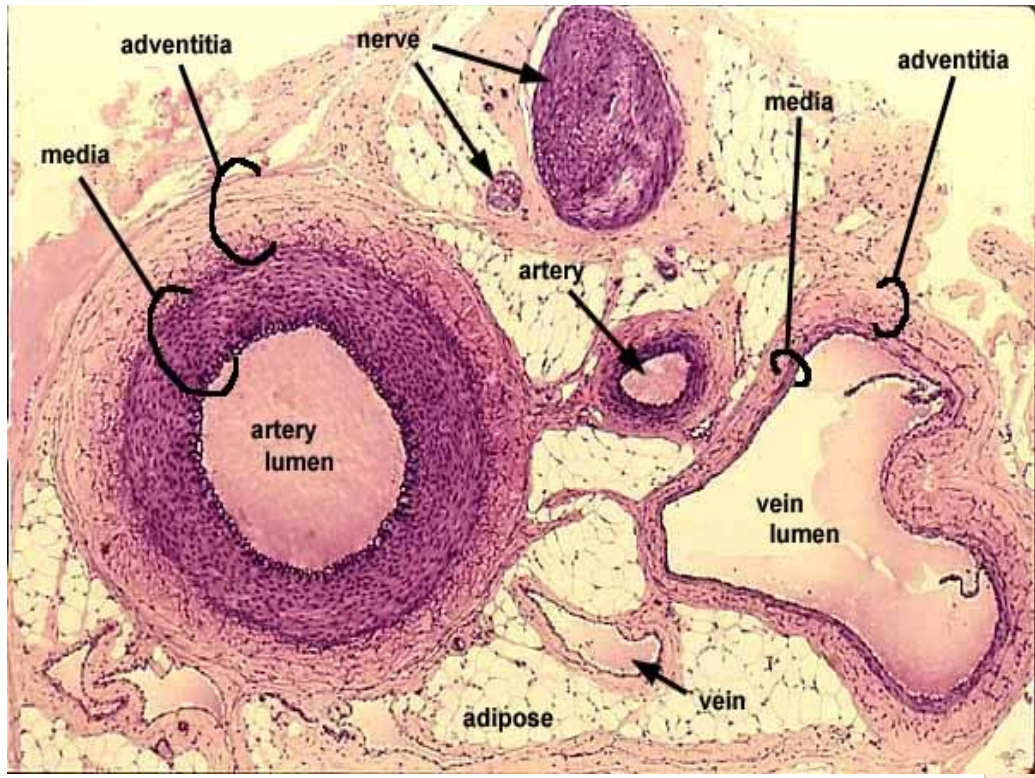
Ereket ellátó kis vérerek és az autonóm idegrendszer idegrostjai itt futnak.



Artéria és véna falának összehasonlítása:

Ugyanaz a 3 réteg borítja az artériákat és vénákat, csak az öszvastagság és az egyes rétegek aránya tér el.

(Gray H: Anatomy of the Human Body. Philadelphia, Lea & Febiger, 1918)





Artériák: Aorta, nagy artériák jelentős tágulékonyság, vastag kötőszöveti réteg, vékonyabb izomréteg, pulzáló véráramlás.

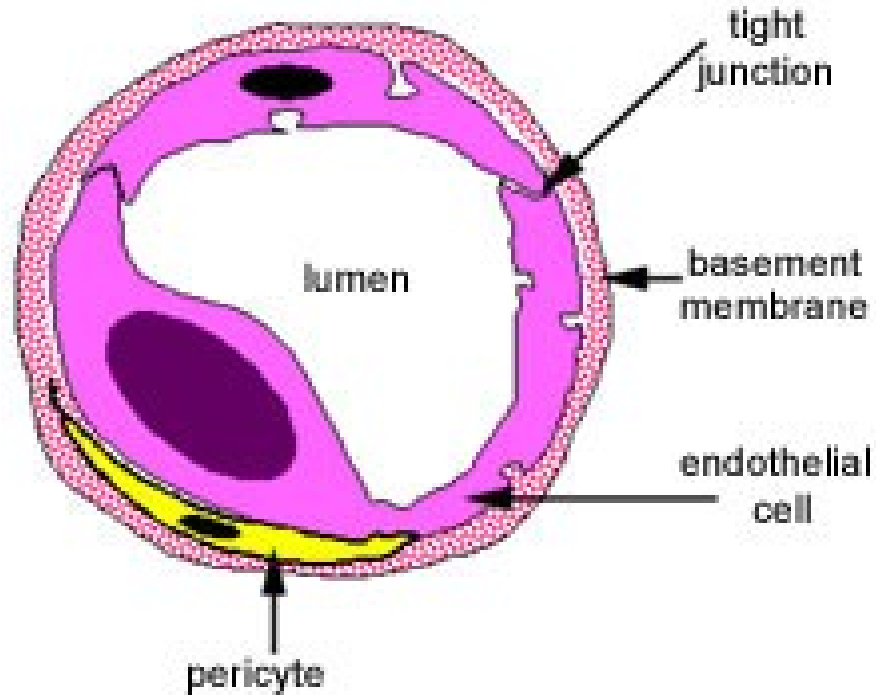
Arteriolák: vékony kötőszöveti réteg vastag izomréteg, gyűrűs izmok: átmérő változtatása, kiegyenlített véráramlás, nagy nyomásesés

Vénás erek: vékonyabb fal mint a hasonló átmérőjű artériának. kevesebb rugalmas rost, több kollagén, közepes vénákban billentyűk, szervezet legnagyobb vérraktára, nyugalmi állapotban vér 70%-a itt.

Kapilláris: artériák vénák kapcsolása

valódi kapilláris: soha sincs az összes nyitva, gyűrűs izom szabályozza nyitásukat, lassú véráramlás, vékony fal, anyagcsere

## Kapilláris felépítése:



Bazális membrán

Endothel sejtek

Bazális membrán alatt folyamatos kapillárisok esetén gyakran található pericyta sejt, amely a fibroblasztokat termeli.

Endothel sejtek tight junction-nal kapcsolódnak egymáshoz.

## Kapilláris szerkezet és permeabilitás

Endothel réteg lipidoldékony anyagok számára átjárható: gázok, kisebb apoláris molekulák (alkohol, éter),

Hidrofil anyagok nagyobb apoláris molekulák csak karrierek segítségével juthatnak át.

Vízpermeabilitás:

membránon keresztül

aquaporin csatornák mennyiségétől és típusától függ

## *Kapillárison keresztüli transzport:*

Se energiát se speciális fehérjét nem igénylő folyamatok:

Membrán fizikai állapotának megváltozásával változik

a) diffúzió: lipidekben oldódó kisebb molekulák, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> számára a sejtek teljes felülete átjárható

víz, K<sup>+</sup> ionok átjutnak kismértékben

b) vezikuláris transzport: endocitózissal: folyékony fázisú anyagok "körbefolyása" membránnal, unspecifikus, csak méretbeli korlát

Speciális változatok: kaveolák

receptorhoz kötött anyag "körbefolyása".

c) zona occludens-en keresztül: (endothélium sejteket összekötő kapcsoló struktúrák): izomsejtekben kb 4nm-ig átenged.

Passzív transzport membránfehérjék segítségével:

Nem energiaigényes, koncentrációgradiens irányában történik

Szabályozható a transzporter molekulák mennyiségének és típusának változásával

d) uniporterekkel koncentráció gradiens irányába  
glükóz, aminosavak,

Aktív transzport membránfehérjékkel

Végső soron ATP-t igényel

Szabályozható: transzporter molekulák mennyiségével, iongradiensekkel, ATP mennyiségével

e) transzporterek (syn- és antiporterek)

glükóz, aminosavak,

A glükóz és aminosavak transzportja valamilyen ion koncentráció gradiense irányában történik, ez szolgáltatja az energiát a glükóz és aminosavak koncentráció gradiensük ellenében szállításához.

f) ATPázok

ionok

homeosztatisz funkció, ATP bomlása közben ionok szállítása koncentráció gradiensük ellenében

*Endothélium típusai:*

folyamatos: izom

endothel réteg folyamatos, egymás melletti sejteket junkcionális rések, pólusok választják el

### Capillary Exchange: Diffusion and Transport

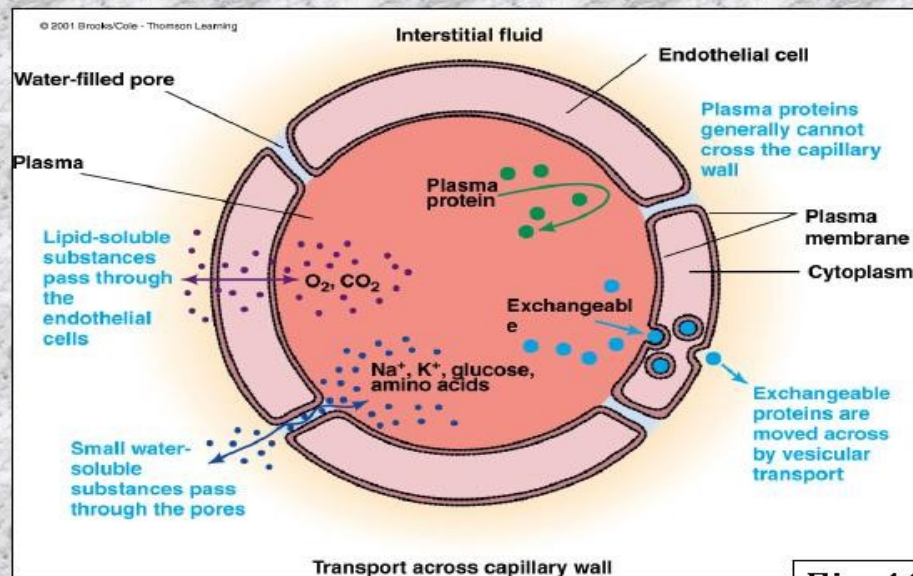


Fig 10-19

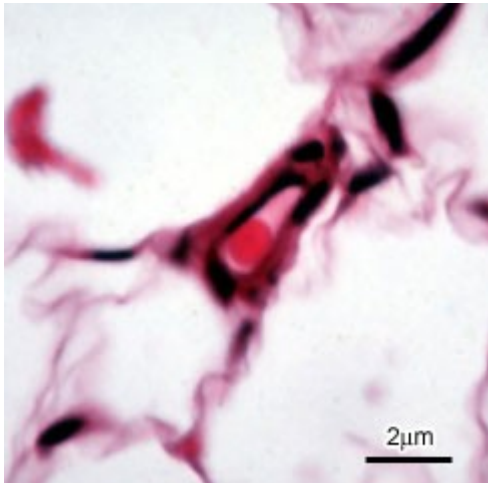
vizet kisebb ionos és nem ionos molekulákat engednek át pinocytózis és endocytózis lehetséges

zárt: agyi és retinális

Laphámsejtek tight junction-nal kapcsolódnak egymáshoz: kapilláris

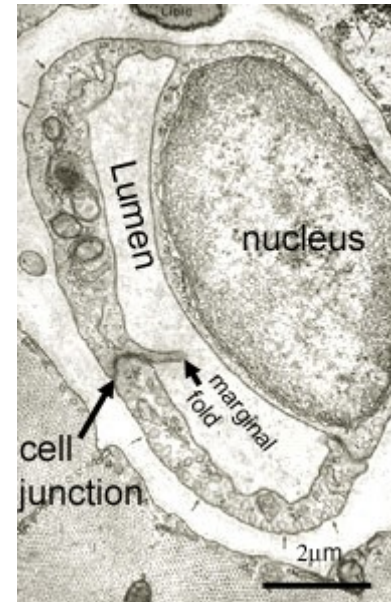
lumene szeparált a sejtek közötti tértől: agyi kapillárisok

vezikulaképződés sincs.



Fénymikroszkópos kép:

kapilláris ürege egy vvt-tel



EM-os kép: endothel sejt a kapilláris üregébe

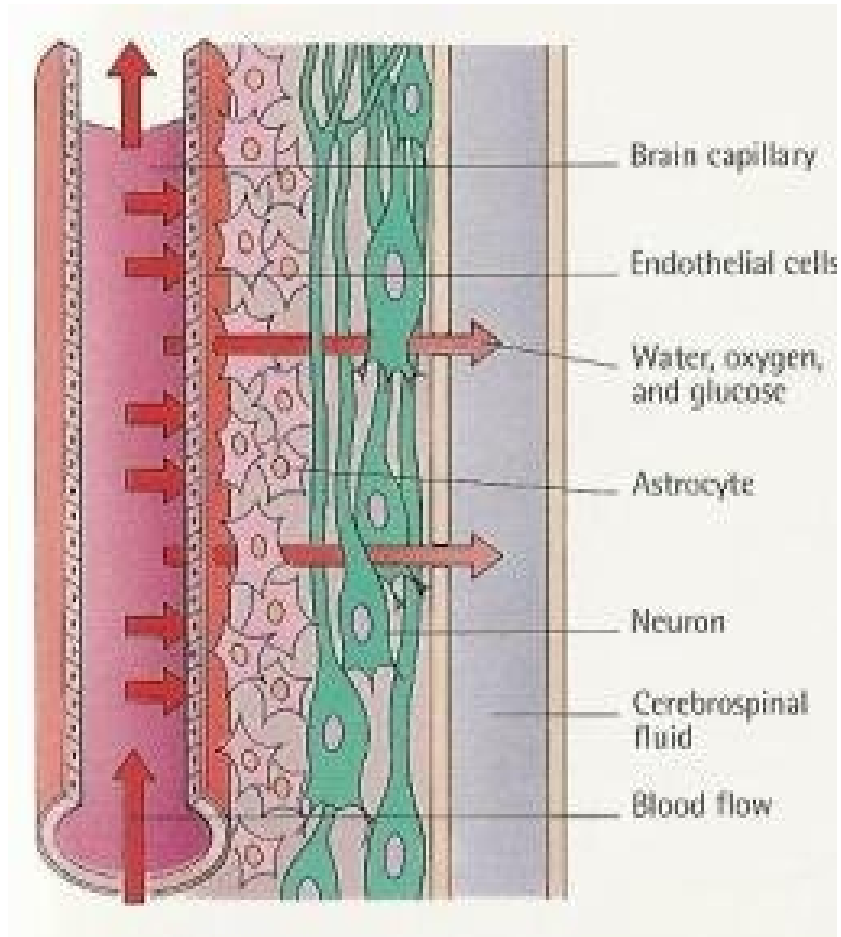
bedomborodó sejtmaggal, két endothel sejt között

tight junction



## Vér-agy gát:

Elsődlegesen az agyi kapillárisokhoz kapcsolódó glia sejtek alkotják.



Az agyi kapillárisokon a zona occludensek hermetikusan zárnak, nincs vezikuláris transzport, még  $K^+$  ionok sem jutnak át szabadon.

a) diffúzió:  $O_2$ ,  $CO_2$  kisebb lipid oldékony anyagok (nicotine, heroin, etanol, butanol, )

b) karrier mediált transzport: glükóz: passzív, (vérplazma magasabb glükóztartalmú)

aminosavak: 3 független karrier rendszer

L-rendszer nagy apoláros aminosavak, koncentráció gradiens hajtja (L-DOPA, fenilalanin)

A rendszer: kis méretű aminosavak: aktív:  $Na^+$ -mal kapcsolt;

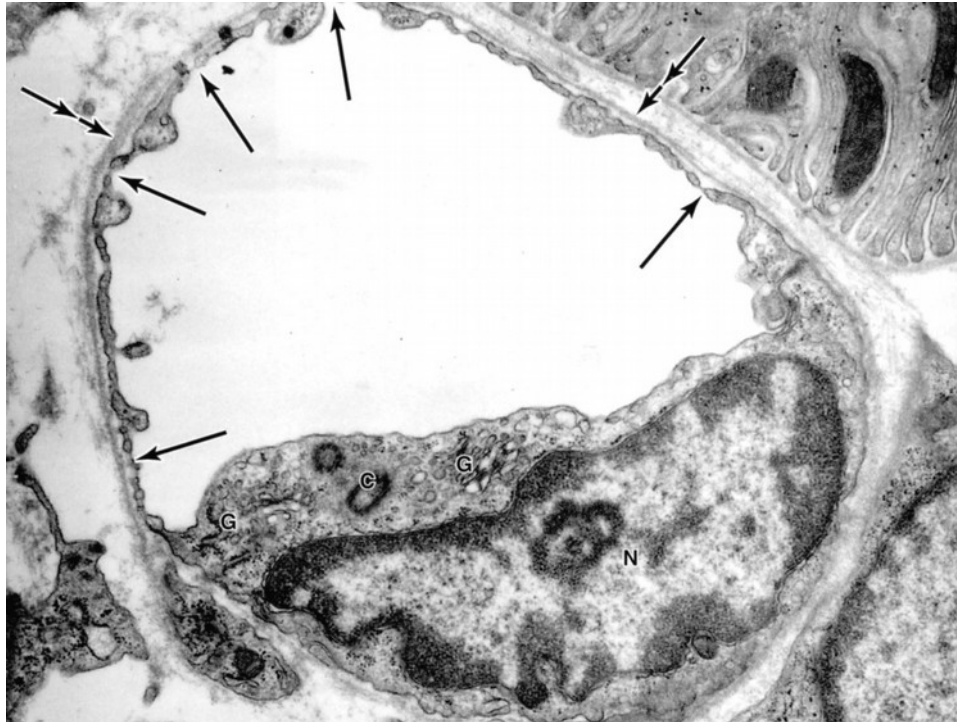
ABS rendszer. aktív,  $Na^+$  függő transzport: ALA, SER, CYS, agyból kifelé irányuló transzport.

c) ioncsatornákon keresztül:  $K^+$

d) pumpákkal:  $Na^+-K^+$ ,  $Na^+-H^+$  és  $Cl^-HCO_3^-$

ablakos: gyomor és bélrendszer, mirigyek

50-60nm-es molekulákat is átengedő ablakok



Az endothel sejtek pórusokkal átjártak amelyek csatornaként funkcionálnak és lehetővé teszik a kapilláris falon keresztüli anyagátáramlást

EM-os kép: a nyilak a mutatják a a kapilláris fal ablakait. N: sejtmag, G: Golgi komplex,

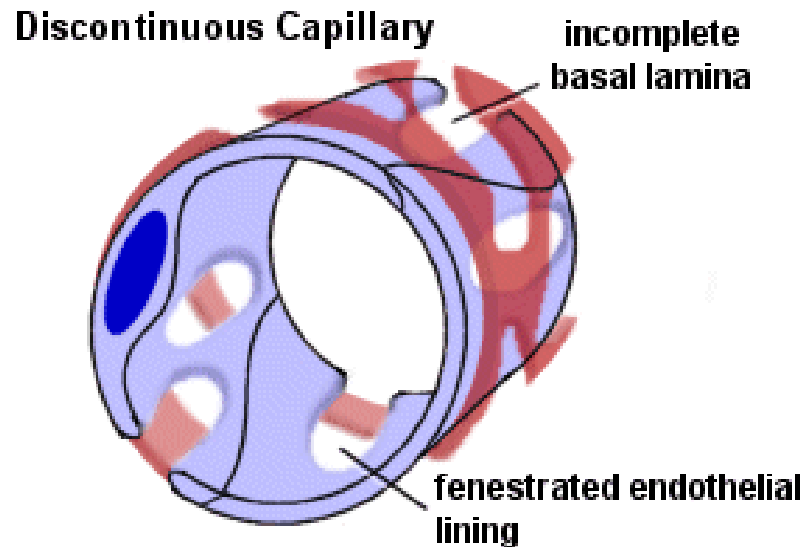
C: centriolum

A bazális membrán a kapillárisfelszínén folyamatos

Junqueira, LC and Carneiro, J, Basic Histology, 11th ed., McGraw-Hill, New York, 2005. p. 216.

diszkontinuus: szinuszok: máj, csontvelő, lép, adenohipofízis

endothel sejtek között plazmafehérjék szabadon átjutnak



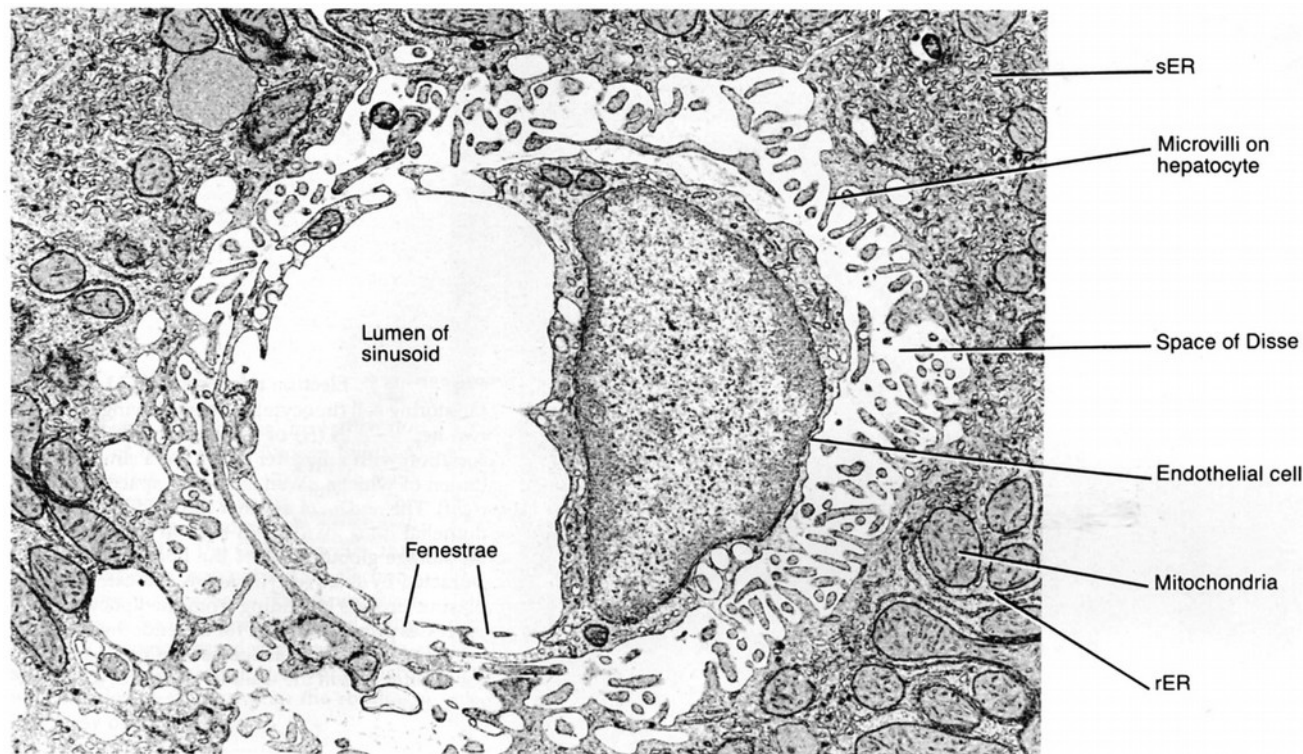
Kapillárisoknál vastagabb, gyakran irreguláris lefutású erek.

Endothel sejtek között tág rés van, sejtközötti állomány keveredik a vérrel.

A lamina bazális részben vagy teljesen hiányozhat.

Falukban: endothel sejtek

fagocitózásra képes sejtek (pl máj Kupffer sejtek).



Máj szinuszoidális kapilláris.

Disse: Hepatocyták és a szinuszok fala közötti tér Liver sinusoid in cross section (rat).

Kapilláris belseje, hepatocyták közötti tér közvetlen kapcsolatban van.

Cormack, D.H. Ham's Histology, 9th ed., Lippincott, Philadelphia, 1987, p. 531.

## Hidrodinamikai folyadékcsere:

Kapillárisokban a nyomás nagyobb mint a sejtközötti (interstitiális) nyomás  
víz és kis molekulák folyamatosan szűrődnek át az interstitiális térbe  
fehérjék számára nem átjárható: kolloidozmotikus nyomás ellensúlyozza a  
hidraulikus nyomást

nyomáskülönbségek eredője: effektív filtrációs nyomás

nettó transzkapilláris hidrosztatikai nyomáskülönbség és nettó

transzkapilláris ozmotikus (kolloidozmotikus) nyomáskülönbség egyenlege

Lehet pozitív (filtrációkor), negatív (abszorpciókor) és zérus

## Mikrocirkulációs rendszer:

Terminális arteriolák, metarteriolák prekapilláris sphincterek, kapillárisok és a legkisebb méretű posztkapilláris venulák összessége.

## Feladata:

- Anyagkicserélés vér és szövetek között  
Kapillárisok és posztkapilláris venulák végzik;
- Véreloszlás szabályozása a kapillárisokban folyó vérmennyiség meghatározásával  
a prekapilláris sphincterek, arteriolák, metarteriolák végzik

## Egyes elemek szövettani felépítése:

Terminális arteriolák: simaizom réteg, sphincterek

Metarteriolák: falában simaizom már csak elszórtan fordul elő, Kapillárisok  
posztkapilláris venulák: simaizom nincs. Átmérőjükben különböznek.

Nyugalomban általában a maximális áramlás 10%-a halad át egy adott szervben. (Nagyvérkörre jellemző)

Az odavezető arteriolák és sphincterek teljes ellazulásakor lesz az áramlás 100%.



## **Kisvérkör**

### Artériák:

Az artériák fala a kisvérkörben vékonyabb mint a nagyvérkörben. Az artériák arteriolák sokkal kevesebb simaizmot tartalmaznak.

A kisvérkör ereiben a nyugalmi térfogat 25%-a helyezkedik el.

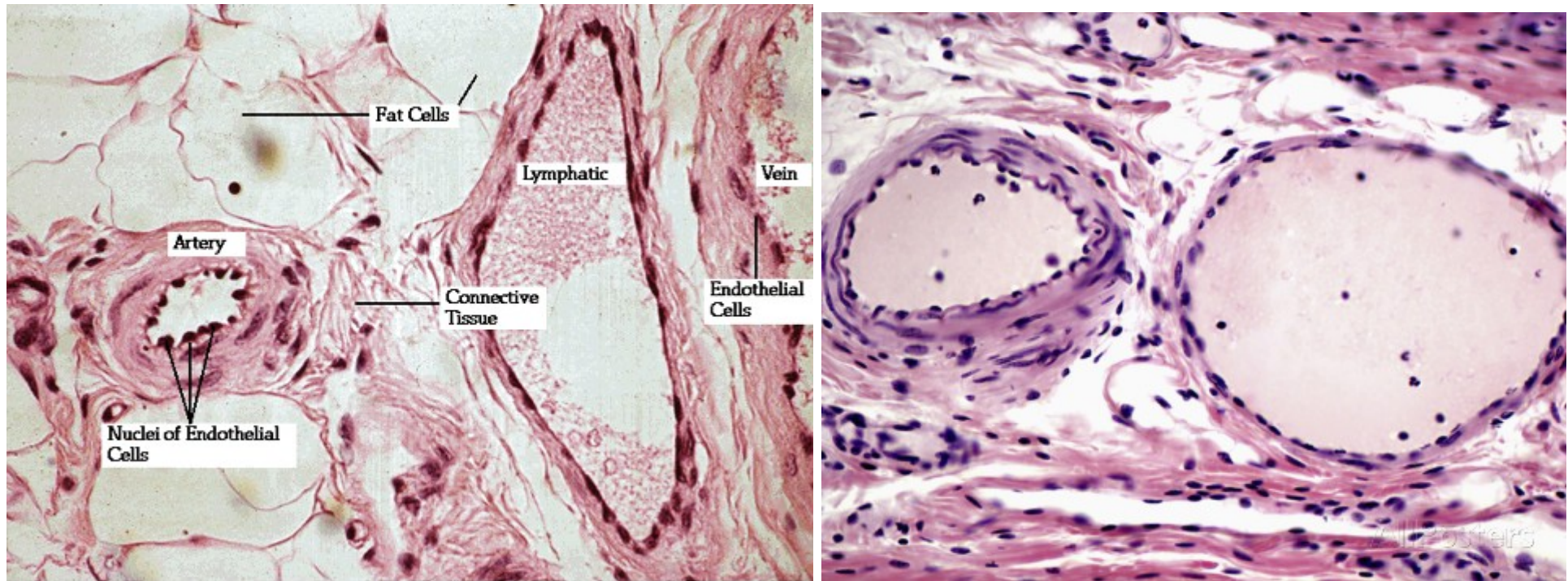
### Tüdőkapillárisok:

Nyugalmi állapotban kb 30%-a nyitott a tüdőkapillárisoknak.

Fokozódó izommunka esetén először újabb kapillárisok nyílnak meg, majd ha ez nem elég akkor gyorsul a véráramlás a tüdőben.

Extrém módon felgyorsult keringés esetén a gázok kiegyenlítődése az alveolusokban elégtelenné válhat.

## Nyirokerek:



Nyirokerek vénákhoz hasonlóan vékony falúak, endothel réteg nem folyamatos

## Nyirokrendszer:

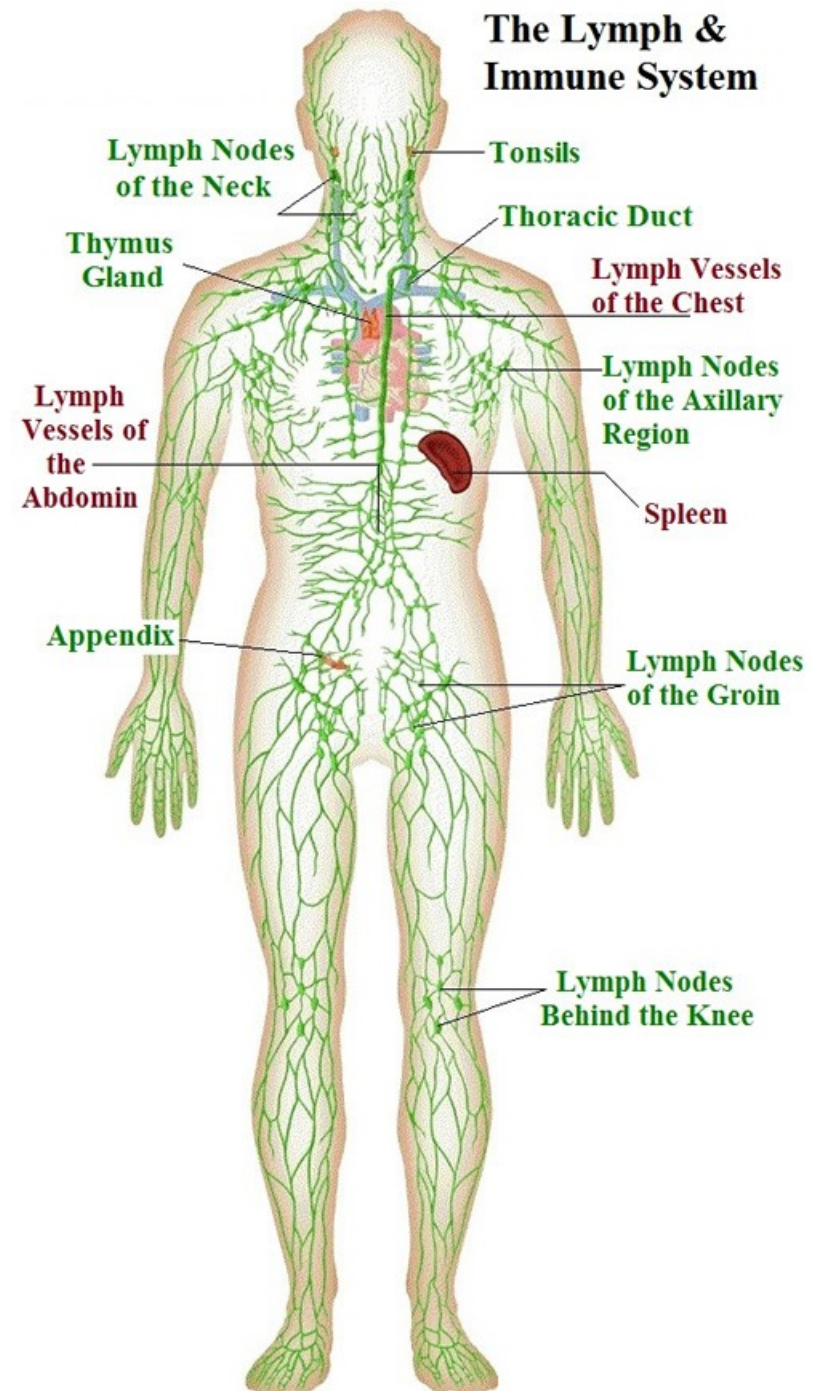
Vénás rendszerbe torkolló erek.

Nyirok végtagokban vérplazmához hasonló összetételű, bélrendszerből tejszerű emulzió (chylus) érkezik, bélbolyhok felől zsírt szállít.

Immunrendszerrel szoros kapcsolat

Nyirokcsomók: nyirokerek mentén. Mielőtt a nyirok eléri a vérrendszert legalább egy nyirokcsomón áthalad.

Nincs központi motor, keringést nyomásesés és izmok tartják fenn.



# The Lymphatic System

- **Lymphatic vessels** collect tissue fluid from loose connective tissue
  - Carry fluid to great veins in the neck
  - Fluid flows only toward the heart

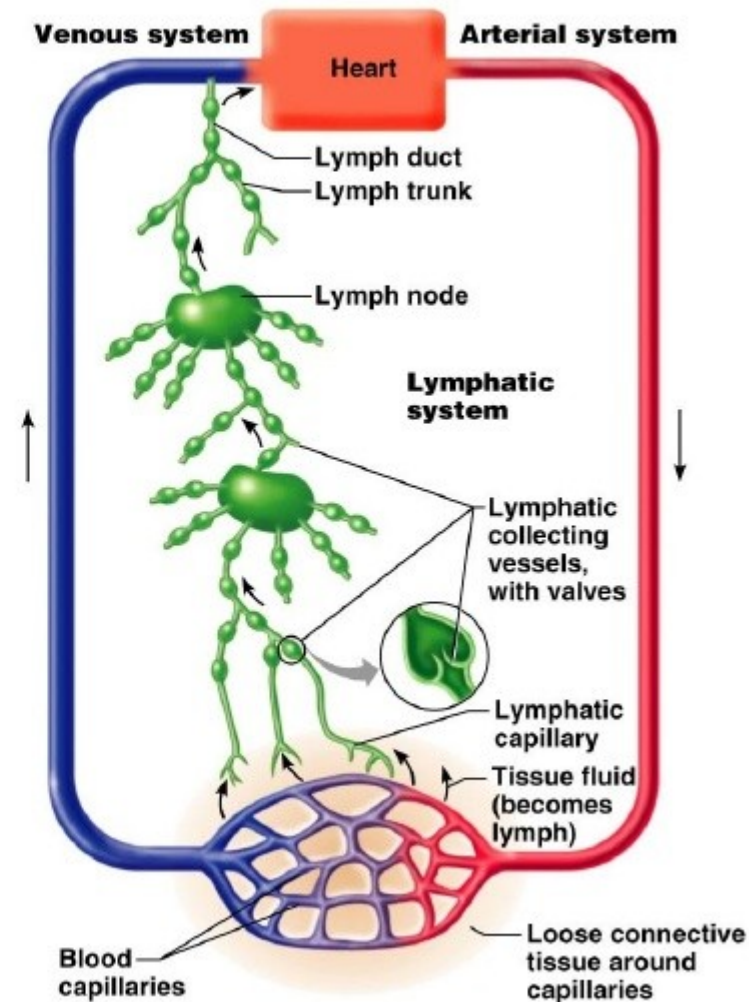


Figure 20.1

## **Nyirokkeringés:**

- A nyirokkapillárisok a szövet közötti térben vakon, járatokként kezdődnek. Falukat diszkontinuous endothel béleli amit finom kötőszöveti rostok stabilizálnak.
- Az interstitiális folyadék az endothel sejtek között áramlik a nyirokkapillárisok lumenébe.
- A nyirokkapillárisok egyre nagyobb nyirokerekké szedődnek össze, amelyeknek már folyamatos endothel bélésük van és a keringés vénás oldalára kerülnek vissza.
- Normál esetben a keletkező interstitiális folyadék mennyisége és a nyirokáramlás egyensúlyban van.

- Ha ez az egyensúly megbomlik ödéma keletkezik.

Okai: prekapilláris rezisztenciaerek tágulnak mikroerekben fokozódik a hidrosztatika nyomás.

posztkapilláris erek simaizmai összehúzódnak, és ezzel gátolják a kapillárisokból az eláramlást

fokozódik a vénás pitvari nyomás, a vénák ürülése a szív felé nehezített

plazmafehérje koncentrációja csökken: tartós éhezés, elégtelen fehérjebevitel miatt,

fehérjevizelés,

máj megbetegedése miatt csökken az albumin szintézise.

# Vérnyomás

## Artériás vérnyomás:

bal kamra verőtérfogatának (pulzus térfogat, bal kamra szisztoléja alatt aortába kilökött vér)

a nagy artériák tágulékonyságának,

az artériákból történő vérkiáramlás sebességének függvénye.

Befolyásoló tényezők: perifériás ellenállás

arteriolák myogén tónus

arteriolák neurogén tónusa

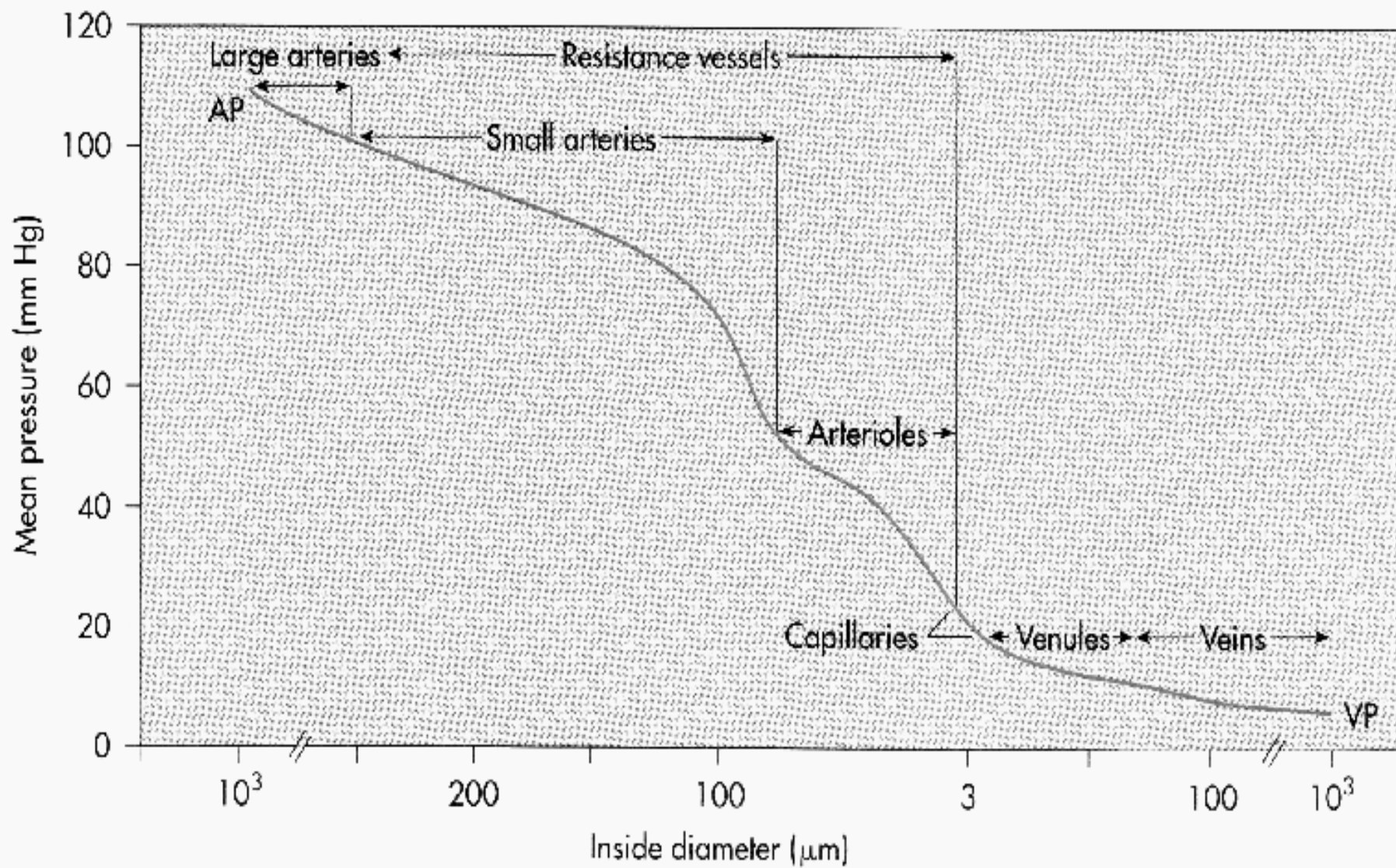


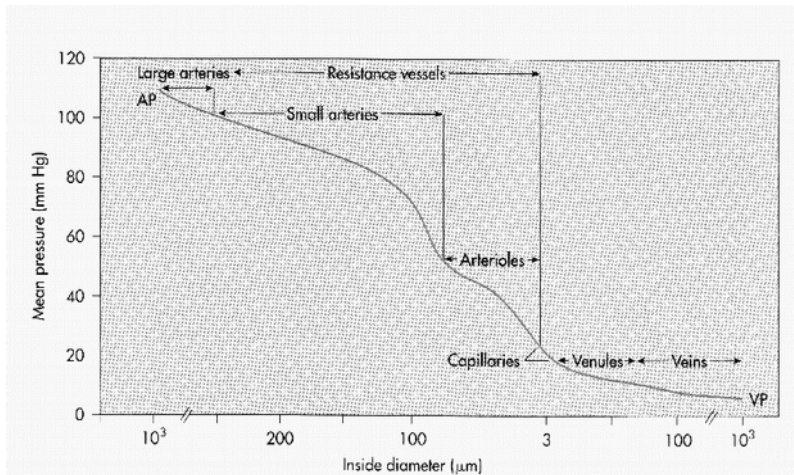
## Vénás vérnyomás:

vénás visszaáramlás és a jobb kamra perctérfogata határozza meg.

centrális vénás nyomás annak függvénye, hogy mennyi vér helyezkedik el a vénás rendszerben.

Befolyásoló tényezők: artériás félből kapillárisokon keresztül beáramló vér,  
posztkapilláris erek myogén tónusa  
posztkapilláris erek neurogén tónusa  
jobb kamra teljesítménye ami függ a légzés alatti  
mellúri nyomásváltozásoktól  
egyes szerveknél gravitáció és izomműködés





## Magas nyomású rendszer:

aortától a arterioláig terjedő rész: legnagyobb nyomáscsökkenés kis artériák és arteriolák végénél.

## Alacsony nyomású rendszer:

kapillárisok, vénák, jobb szívfél, bal pitvar

## *Vérnyomás értékek:*

Aortás vérnyomás:

Normálisan 120 (szisztolés, legmagasabb) és 80 (diasztolés, legalacsonyabb) Hgmm között ingadozik.

A különbség a pulzusnyomás, ennek normálértéke 40 Hgmm

### Középnomás

Artériákban fellépő hajtóerőt jellemzi

Súlyozott átlag; a súlyozás a szisztolé és diasztolé eltérő időtartama miatt van (nyugalomban a diasztolé hosszabb).

Növekedett szívfrekvenciánál, a diasztolé időtartama csökken, és így megközelíti a szisztolé időtartamát, (ilyenkor a súlyozott és súlyozatlan átlag közötti különbség csökken) a közepnyomás a szívfrekvencia növekedésével fokozódik.

*Miogén tónus:*

izom-összehúzódás alap foka, kontraktilis szerkezet részlegesen aktivált  
simaizomsejtek endogén sajátossága

*bazális értónus:*

rezisztencia erek nyugalmi tónusa

*miogén válasz:*

transmurális nyomás (éren belüli nyomás) emelkedése növeli a  
simaizomtónust, és vasoconstrictiot eredményez, transmurális nyomás esik,  
erek tágulnak

## *Áramlási autoreguláció:*

Perfúziós nyomás növekedése a prekapilláris rezisztencia erek ellenállás növekedését, csökkenése a prekapilláris ellenállás csökkenését eredményezi.

Vasculáris simaizomzat intrinsic tulajdonsága.

Biztosítja a kapilláris filtráció függetlenségét az artériás nyomástól

Mértéke az egyes szervekben eltérő.

Agy, vese erős, így az áramlás viszonylag független a perfúziós nyomástól.

Tüdőkeringés ereiben nincs, véráramlása a perfúziós nyomással arányos.

## *Metabolikus autoreguláció:*

szöveti anyagcsere intenzitásától függ a véráramlás.

CO<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, adenozin, K<sup>+</sup> értágító hatású

Azokban a szövetekben, amelyekben a teljesítmény aktuálisan az alapszint fölé emelkedik, ezzel párhuzamosan megnövekszik a vérellátás, csökken a prekapilláris rezisztencia (funkcionális vagy munkahyperaemia).

Ez megfigyelhető a munkát végző vázizomban, a nyugalminál nagyobb teljesítményt nyújtó szívben, az emésztő/felszívó vékonybélben.

A folyamat lényege, hogy a vazodilatáció az O<sub>2</sub>-kínálatot összehangolja az O<sub>2</sub> szükséglettel.

# Vérnyomás szabályozása:



**parakrin faktorok:** EDRF: (endothel derived relaxing factor):

NO, prosztaciklin

EDCF: (contraction): endothelin, thromboxanes

Endothelium termeli, vascularis tónus, perifériás ellenállás szabályozása,  
érfal épségének felügyelete, vérrögképződés megakadályozása

**Idegi szabályozás:**

*Szimpatikus:* szimpatikus idegek: NA , vasoconstrictor hatás

szimpatikus tónus: akcióspotenciál frekvenciája

*Paraszimpatikus:* NO, ACh, VIP, vasodilatator hatás

agy, nyálmirigyek paraszimpatikus idegek ACh és VIP

**Hormonális szabályozás:**

## **Hormonális szabályozás:**

### Katecholaminok (NA, A) mellékvesevelő hormonjai:

NA: noradrenalin

főleg  $\alpha_1$ R-en hat érszűkület:

$\alpha_1$ R-k csak nagy koncentrációjú keringő NA által hozzáférhető helyen vannak, erek kötőszöveti burkában.

A: adrenalin

főleg  $\beta_2$ R-en hat értágulat:

$\beta_2$ R-ek erek lumenjéhez közeli simaizomsejteken a váz- és szívizom arterioláiban és májban.

Emlős mellékvese főleg A-t választ ki:

kis intenzitású működés:

A: véráramlási átrendeződése

izomhoz, májhoz több vér

nagy intenzitású működés:

A és NA: artériás vérnyomás nő a perifériás ellenállás növekedése

(kapillárisok összehúzódása) és a szívre gyakorolt hatás miatt (verőtérfogat, szívfrekvencia nő).

Prekapilláris rezisztanciaerek: arteriolák

Összehúzódásuk növeli a perifériás ellenállást, csökkenti a kapilláris nyomást.

$\alpha_1$ R-ok, szimpatikus NA rostok, összehúzódás, perifériás vérkeringés gátlása

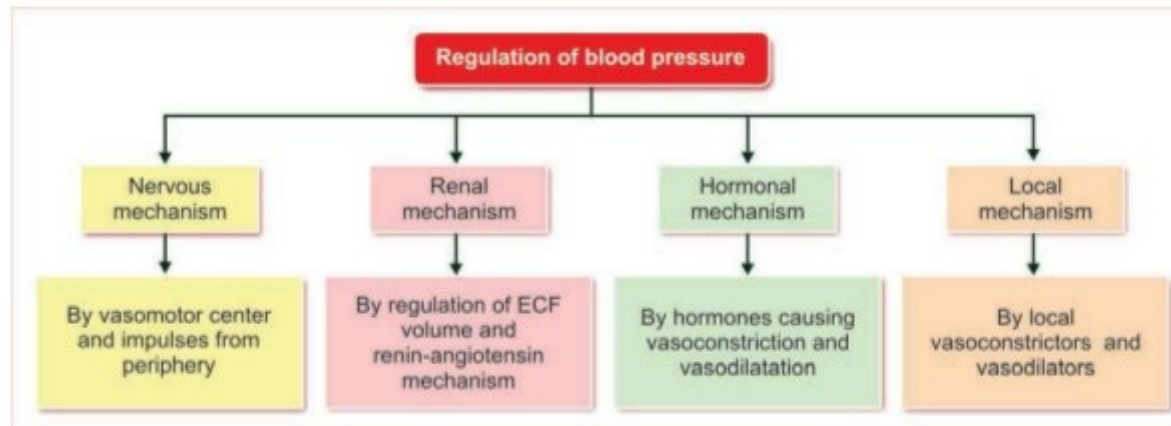
Posztkapilláris rezisztanciaerek: posztkapilláris venulák összefolyásából keletkezett venulák falában már van simaizom.

Összehúzódásuk növeli a kapilláris nyomást.

$\alpha_1$ R-ok, szinpatikus NA rostok, összehúzódás, vénás kapacitás csökkentése

# REGULATION OF ARTERIAL BLOOD PRESSURE

- Body has four regulatory mechanisms to maintain the blood pressure within normal limits



## **Keringésszabályozás a kisvérkörben:**

Vér ozmotikus nyomását érzékelő receptorok itt.

Szomjúság érzet, vese vízvisszaszívásának szabályozása a kisvérköri vér összetétele alapján

Azoknak az anyagoknak a feldúsulása amelyek alacsony  $O_2$  szintre utalnak azok vasoconstrictiot idéznek elő: ventilatio - perfusio kapcsolat

## **Keringésszabályozás a nagyvérkörben:**

Szisztémás keringésszabályozás: a nagyvérkör minden elemére vonatkozik.

Egyéni igényeket lokális szabályozással lehet figyelembe venni:

*Lokális szabályozás elemei:*

- áramlási autoreguláció
- lokális metabolitok

Ahonnán olyan jel érkezik, hogy a vérben kevés az  $O_2$ , magas energia felhasználásra illetve alacsony energia ellátottságra utaló metabolit van ott értágulat, odaáramló vér mennyisége nő.

## **Gyomor - bél rendszer keringése:**

Nyugalmi helyzetben a vér 25% itt, főleg a májban

Vérraktár: vészhelyzetben jelentős mennyiségű vér áramlik innen ki

### Máj:

Kettős vérellátású, ún kapu érrendszer

a. hepatica: vér 0.25-0.33%-a, O<sub>2</sub> fogyasztás fele

aránylag állandó ellátás

vena portae: hasi szervek felől,

felszívási fázisban több

izommunka során, vérvesztéskor jelentősen csökken

Artériás és vénás vér a májsejtek közötti szinuszoidokban keveredik



## Gyomor és bélrendszer:

heterogén véráramlás:

nyálkahártya véráramlása sokszorosa a simaizoméénak

éppen aktív szakaszokban véráramlás nagyobb

Enterális idegrendszer szabályozza: ACh VIP felszabadulás

NO felszabadulás

vazodilatáció

Helyileg nagyfokú áramlásfokozódás, összességében 50% változás

Áramlásfokozódás nem jár együtt más szervek véráramlásának

csökkenésével

## Perctérfogat átrendeződése:

Hasi szervek fontos szerepe

vér 25% itt, de csökkent véráramlás mellett is tudnak működni.

Agy, szív fokozott vérellátási igénye innen

## Folyamata:

1. prekapilláris rezisztencia erek konstriktója

teljes perifériás ellenállás nagy hányadát ezek az erek képviselik

Purinerger hatás

2. vénák kiürítése

passzív tényezők: ideáramlás és vénás nyomás csökken, vénák összeesnek

aktív: noradrenerg  $\alpha_1$ R-on keresztüli vazokonstriktió

## **Vázizom vérkeringése:**

A testtömeg 40-50%-a nyugalomban hanyatt fekvé véráramlás kevesebb mint 20%-a.

Maximálisan lehet akár 80% is

Szervek között véráramlás erőteljes átrendeződése

Lassú, tartós kontrakciót végző izmok:

aerob anyagcsere, nagy mioglobin koncentráció

sűrű kapilláris hálózat

Gyorsan rövid ideig összehúzódó izmok:

anaerob anyagcsere, alacsony mioglobin tartalom

ellátó kapillárisoktól távolabb esnek

## Vázizmok keringésének szabályozása:

- Nem elég csak a terhelést követően fokozni a véráramlást (a harc vagy menekülés első pillanatától csúcsteljesítmény szükséges)
- Helyileg keletkezett anyagcsere termékek szerepe (izommunka illetve  $O_2$  hiány miatt): összehúzódó izomrostokból kilépő anyagok adják a magas miogén tónust
-

## Katekolaminok:

- nyugalomban prekapilláris rezisztenciaerek szimpatikus vazokonstriktós tónus alatt állnak:  $\alpha_1R$  hatás
- izomtevékenység alatt csökken
- $\alpha_1R$  hatás teljes blokkolása: 2x véráram fokozódás csak
- $\beta_2R$ -ok is: aktiválás: vazodilatáció, adrenerg hatás
- Erek teljes vazodilatációja még maximális teljesítménykor sem jön létre

Perctérfogat növekedés hamarabb éri el a maximumát

- Izompumpa:

Fázisosan összehúzódó izmok vérellátása szakaszos

Izomösszehúzódás artériás beáramlást blokkolja vénás kiáramlást elősegíti

billentyűk miatt vénás visszaáramlás elernyedéskor sincs

- Oxigénextrakció maximálása:
- Hemoglobin erőteljesebb deszaturációja:
  - alacsony  $O_2$  koncentráció,
  - magas  $CO_2$ ,
  - $H^+$  koncentráció, hőmérséklet

## Oxigénadósság:

- nagyobb mértékű energia felhasználás mint amennyit az oxidációs folyamatok fedezni tudnak
- hiány pótlása: foszfokreatin bomlása
- tejsavképződés
- ATP- foszfokreatin készlet nagysága
- izomban elviselhető tejsavkoncentráció nagysága határolja be
- Izomaktivitás végeztével helyreállítás plusz O<sub>2</sub>-t igényel

## **Bőr vérkeringése:**

Anyagcsere igény alacsonyabb  
véráramlás hőszabályozás szolgálatában áll

### Apikális (acrális) területek:

ujjak, kéz- és lábfej, orr, ajkak, fülkagyló

felszín térfogat arány nagy

artériás és vénás plexusok között anasztomózisok amelyek átvezetik az  
artériás vért a vénákba

átmérőjüket szimpatikus vasoconstruktor hatás szabályozza  $\alpha_1R$ -okon

hőleadás/hővisszatartás mértékének jelentős szabályozása



## Nem acrális területek:

térfogat felülethez képest nagy

nincsenek anasztomózisok csak kapillárisok

Hőterhelésnél vazodilatáció szimpatikus aktivitás csökkenése miatt  
miogén tónus kikapcsolása miatt

## Meleg környezethez való alkalmazkodás:

>34 C fok felett hőleadást biztosító jelentős bőrvéráramlás kell ugyanakkor

agynak izomnak is kell vér

perctérfogat növelése

melegben végzet izommunkát a bőrerek véráramlás igénye korlátozza

## **Agy vérkeringése:**

Fontos a vérellátás folyamatossága

nyugalmi perctérfogat 15%-a

nyugalmi  $O_2$  fogyasztás 25%-a

$O_2$  és glükóz fogyasztás magas, tartalék nincs

szürkeállomány véráramlása nagyobb mint a fehérállományé

Nagyfokú áramlási autoreguláció:

artériás vérnyomás esése erek ellenállása csökken,

artériás vérnyomás növekedése vasokonstriktció erek ellenállása nő

Az agyi keringés *autoregulációja miatt* az agyi vérátáramlás 50–150 Hgmm-es artériás középnyomási értékek között állandó.

Magasvérnyomás-betegségben az autoreguláció sávja feljebb tolódik (120–180 Hgmm közé). Ennek veszélye, hogy az alsó határ alá eső vérnyomásértéken a szöveti perfúzió romlik, az arteriolák a perfúziós nyomás csökkenésére nem ragálnak.

### Kémiai szabályozás:

agyi vérátáramlás artériás CO<sub>2</sub> nyomás függvénye

Normálisan pCO<sub>2</sub> 40 Hgmm.

60 Hgmm pCO<sub>2</sub> fölött az autoreguláció megszűnik, mivel a maximálisan tág erek már nem reagálnak a vérnyomás változására.

## Neurogen szabályozás:

Az agytörzsi vasomotor centrum elsősorban az agy globális vérátáramlásra hat.

Idegsejtek aktivitása lokálisan hat, regionális vérátáramlást szabályozza.

A kapillárisok tágassága a glia-neuron egység működésétől függ. A regionális vérátáramlás arányos az agyszövet  $O_2$  és glukózfogyasztásával. NO-n keresztül a keletkező

metabolitok, helyi  $H^+$   $K^+$  koncentráció növekedése vazodilatációt okoz

helyi véráramlás fokozódása kismértékű az egészhez képest

agyi erek nem vesznek részt az autonóm idegrendszer által közvetített általános érszűkítő, értágító hatásokban

Hiányzó neurogén vasoconstrictor tónus: agyi rezisztencia ereknek nyugalomban nincs kimutatható szimpatikus vasokonstriktív tónusa

szimpatikus hatás csökkenése nem vált ki agyi dilatációt

A vese keringésének jellemzői

A nyugalmi perctérfogat 20-25%-a a veséken áramlik keresztül

Speciális keringés: arteriola-kapilláris-arteriola-kapilláris-véna

Ha a vese vérátáramlása túl alacsony:

A transzportok nagy energiaigénye miatt gyorsan alakulhat ki ischaemias károsodás

„Salakanyagok” halmozódnak fel

Ha túl magas:

Csökken a kiválasztó működés hatékonysága

Erős nyugalmi myogentónus

Erős áramlási autoreguláció

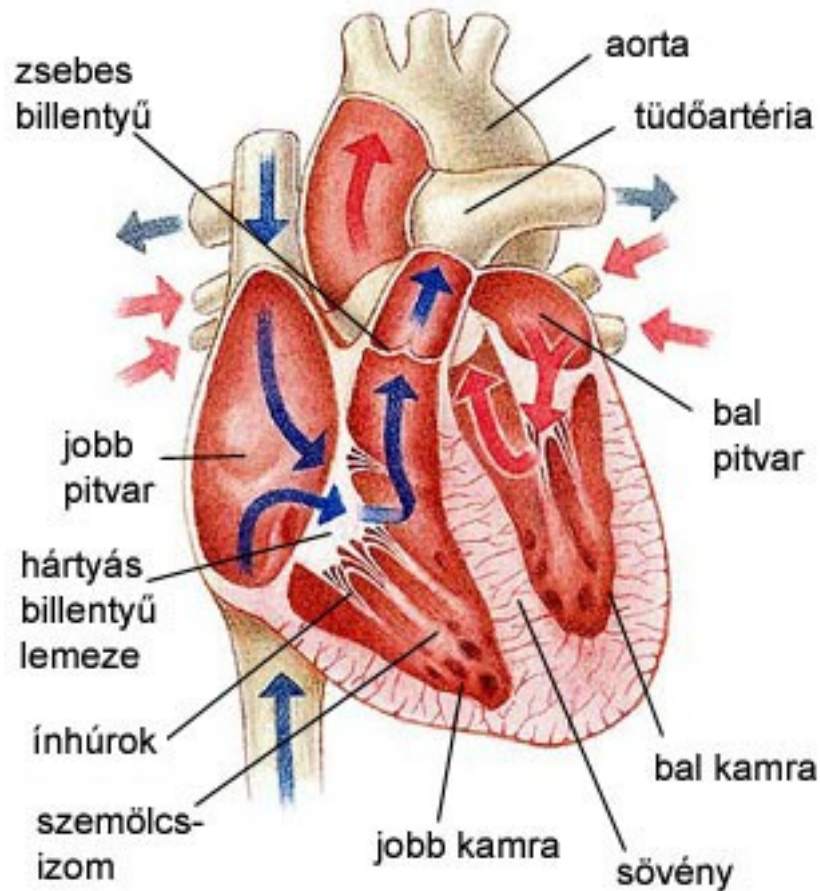
Ha muszáj, lehet vért elvonni a vesétől:

Direkt szimpatikus beidegzés, humorális faktorok, valamint egy belső, áramlásfüggő szabályozórendszer(a juxtaglomerularis apparátus)

gondoskodik arról, hogy átmenetileg a vese hatékony kiválasztó funkciója kisebb vérátáramlás mellett is megvalósulhasson

# Szívműködés

## Szív felépítése:



Keringési rendszer központja,

Mellüregben, a két tüdőfél között helyezkedik el.

Fala háromrétegű (módosult érdarab).

**Szívburók** borítja.

savós hártya

- zsigeri lemez (epicardium) szorosan a

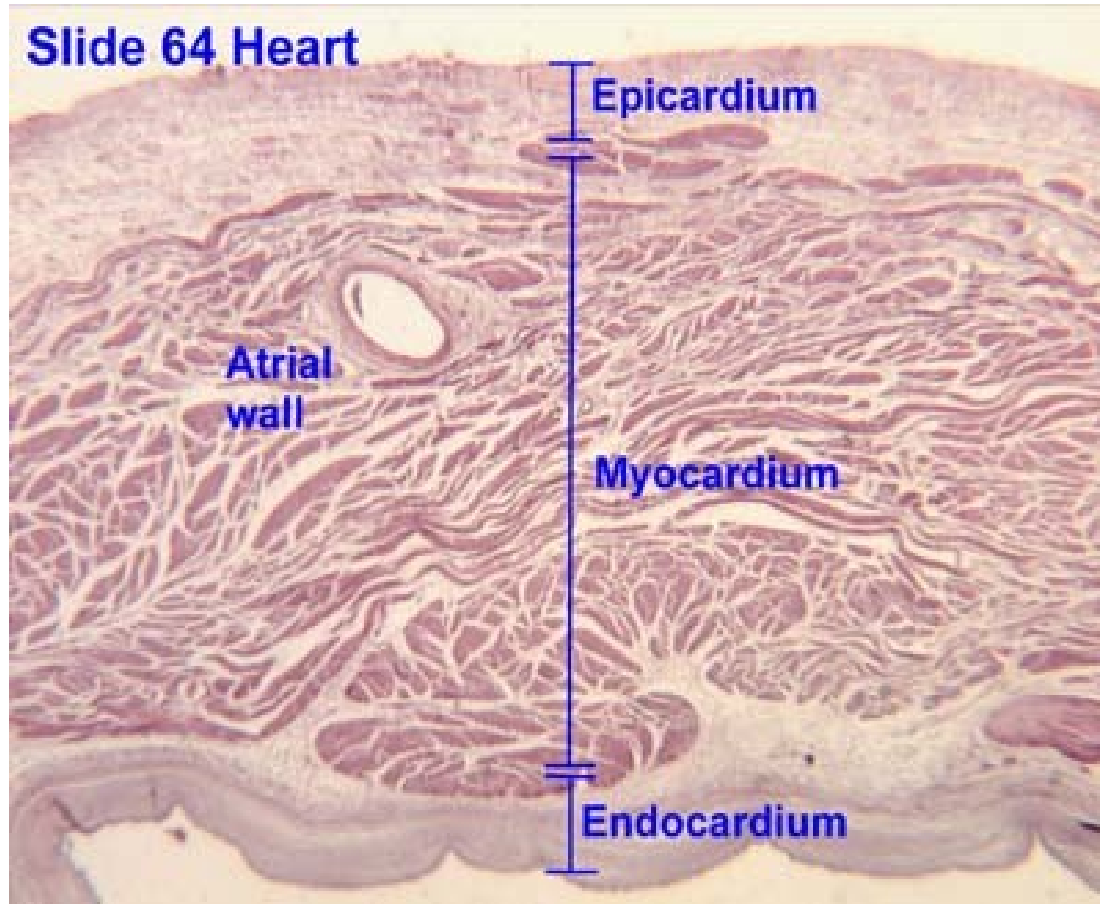
szívizomhoz tapad

- fali lemez

köztük üreg (cavum pericardii) benne folyadék  
(néhány csepp) (liquor pericardii)



Szívfal szerkezete:



Szívbelhártya (endocardium)

Szívizom (myocardium)

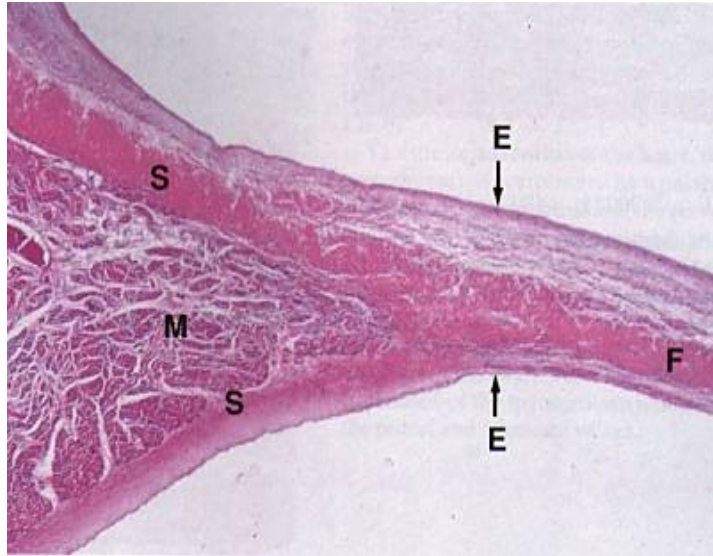
Epicardium (szorosan hozzátapad a myocardiumhoz)

A pitvarok vékonyabb, a kamrák vastagabb izomzatúak.

A pitvarokba torkollanak a vénák, a kamrákból indulnak ki az artériák.

# Szívbillentyűk

## 1. csúcsos v. vitorlás



- ínhúr

M=myocardium

S=fibro-elastic  
supporting layer

Burkitt, Young, Heath (1993) *Wheater's Functional  
Histology 3rd Ed. Fig. 8.5, p. 142*

1. pitvar-kamrai szájadéknál

jobb oldal 3 billentyű

bal oldal 2 billentyű

3 részük van: - vitorla (cuspis)

szájadék széléhez rögzül

- szemölcsizom

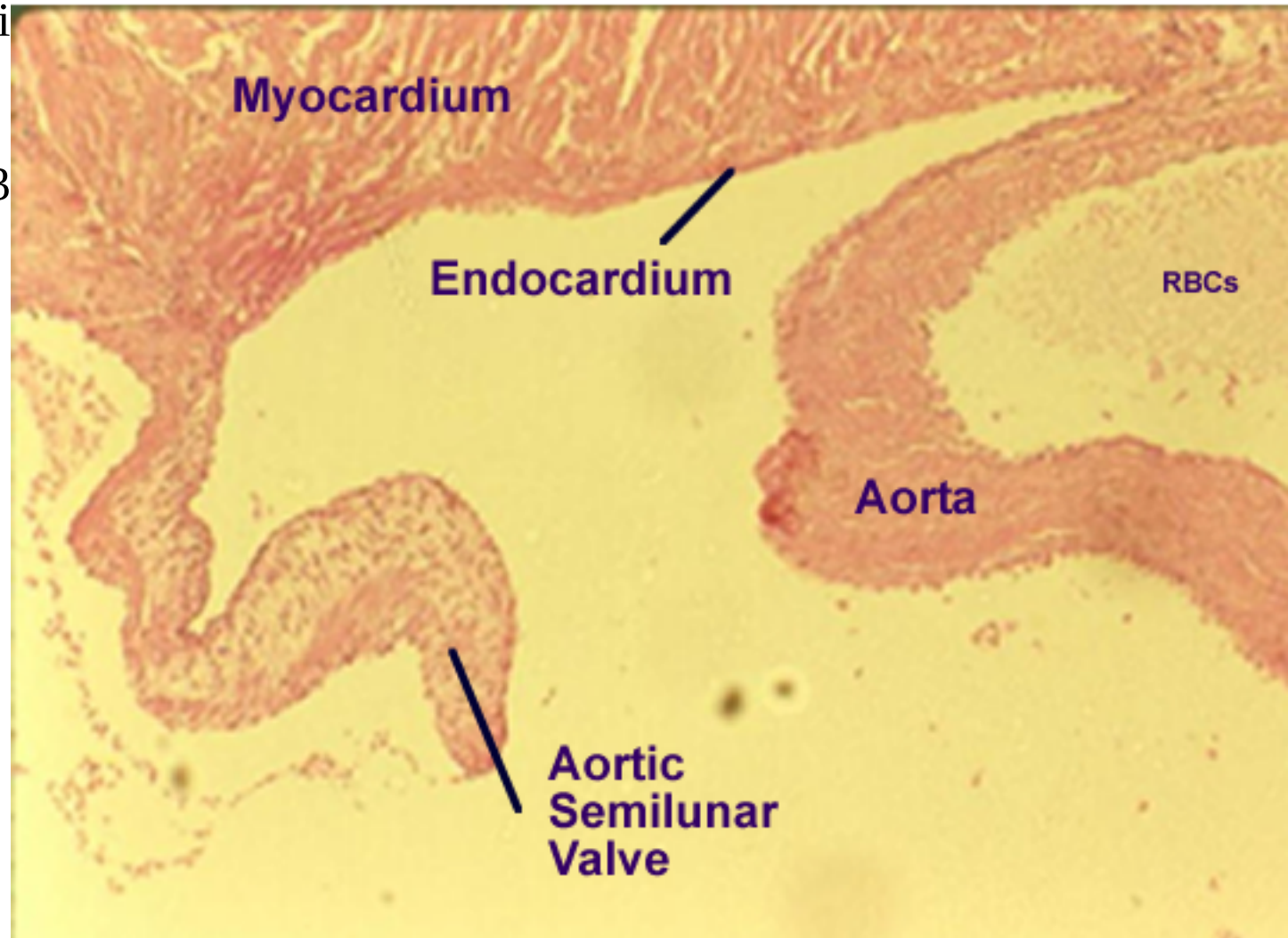
kamra belső felszínéről emelkedik ki

F=lamina fibrosa

E=endothelium

2. félhold v. zsebes  
nagyerek kezdeti  
szakaszán  
mindegyikben 3-3  
billentyű

## Cardiac Valves



## Nyugalmi szív működés:

70-75-ször húzódik össze percenként.

Egy-egy összehúzóással a jobb és a bal kamrából mintegy  $70-80 \text{ cm}^3$  vér kerül az érpályába.

Az egy perc alatt továbbított vérmennyiség, vagyis a **keringési perctérfogat** így kb. 5 liter.

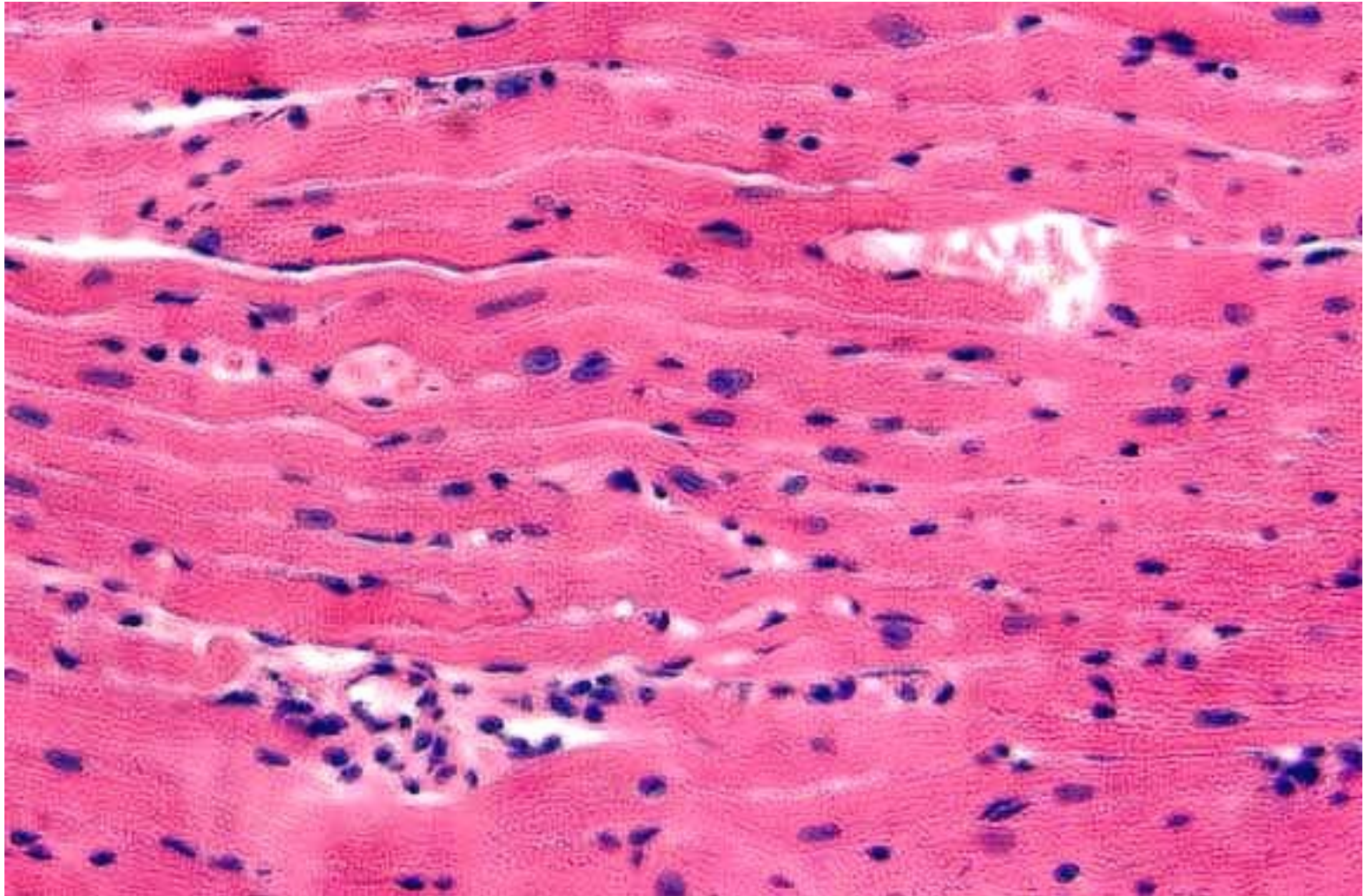
(1 perc alatt a teljes vértérfogat megfordul mind a kis vérkörben, mind pedig a nagy vérkörben).

Nagyobb igénybevétel esetén emelkedik az egy összehúzóással továbbított vérmennyisége, valamint az összehúzóások száma is. Ennek következtében a keringési perctérfogat a nyugalmi érték többszörösére emelkedhet.

## Szívizomrostok típusai:

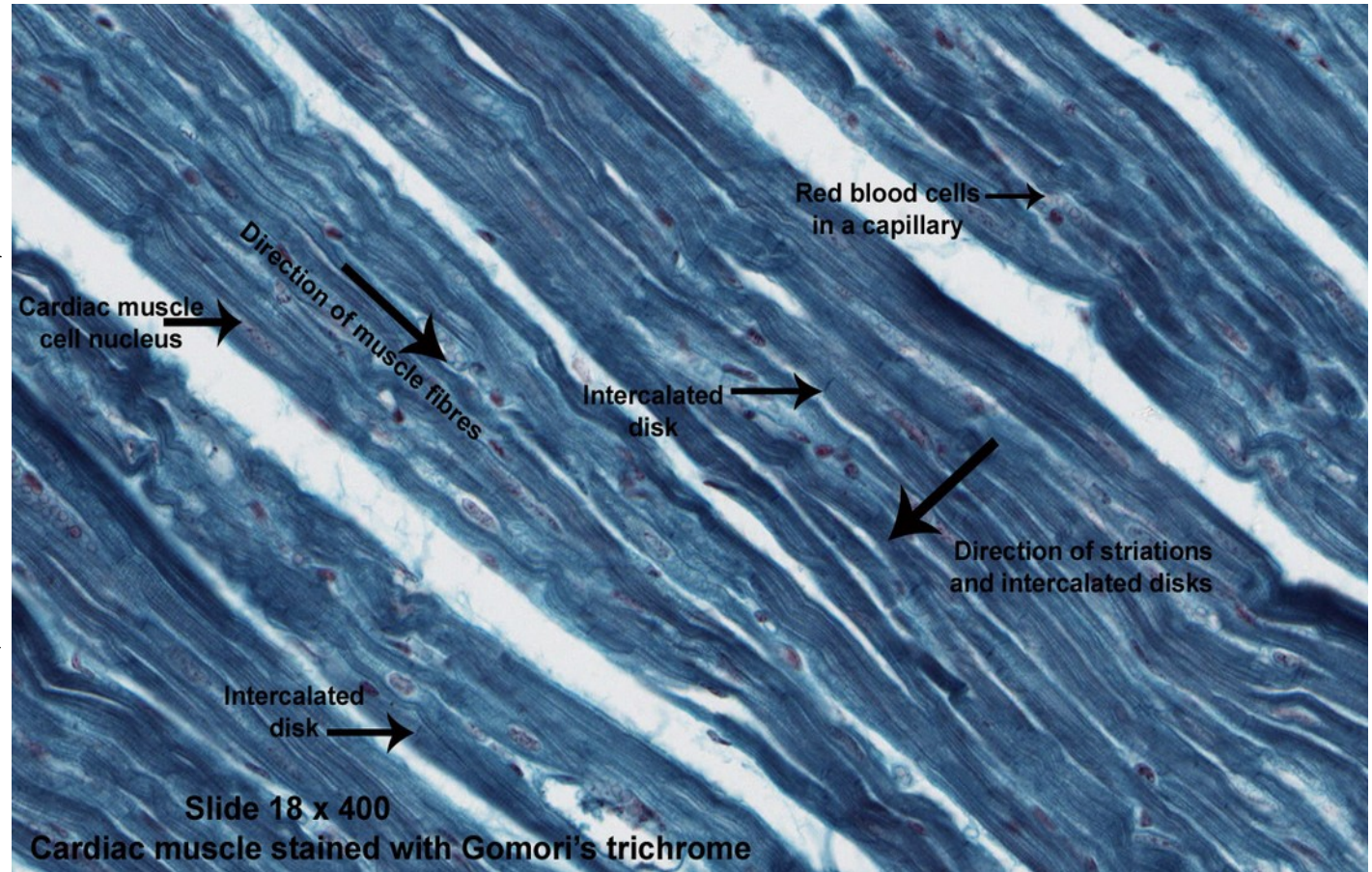
### Munkaizomzat:

pitvari és  
kamrai  
myocyták,  
kontrakciós  
erőt  
generálják.

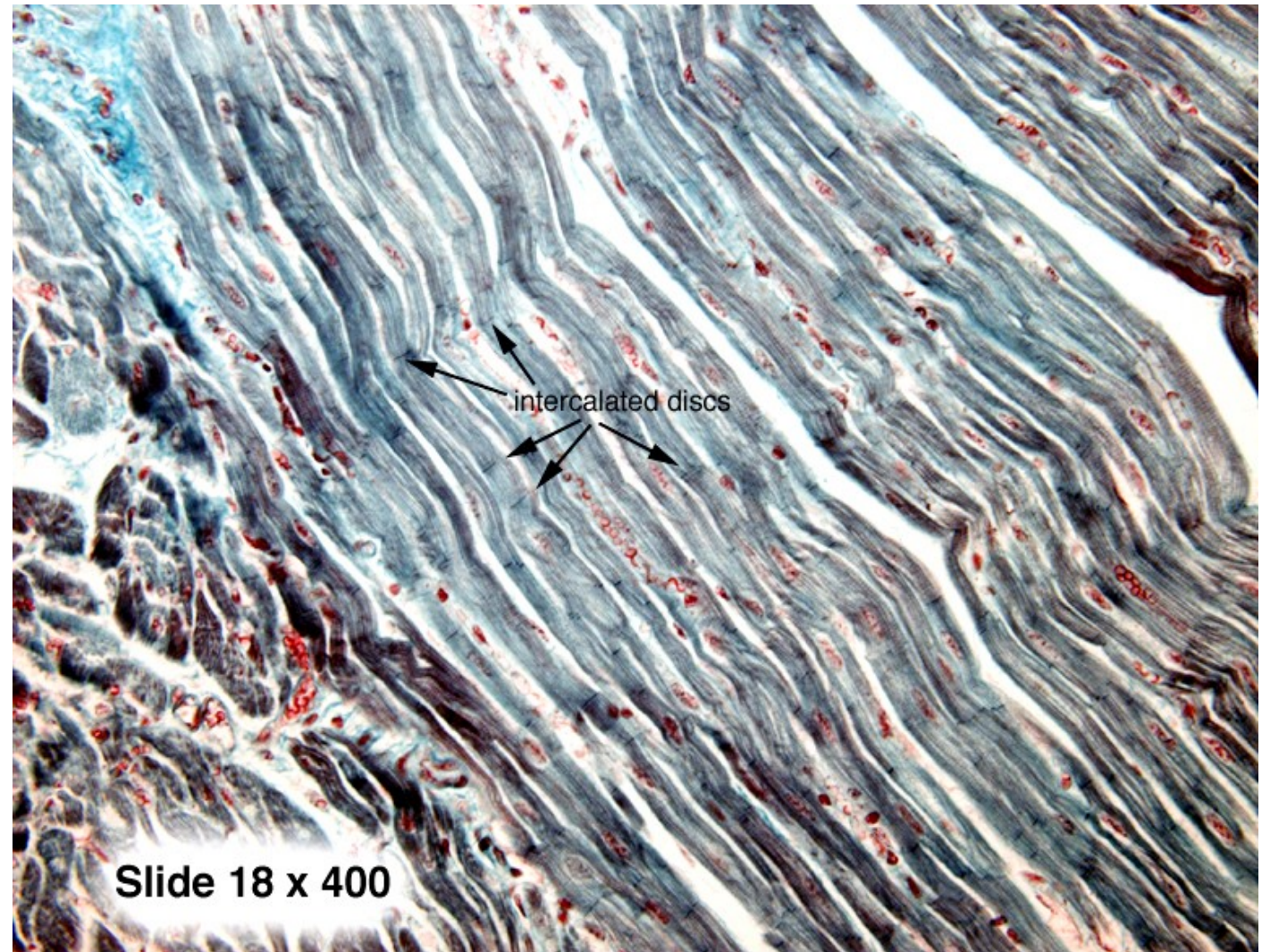


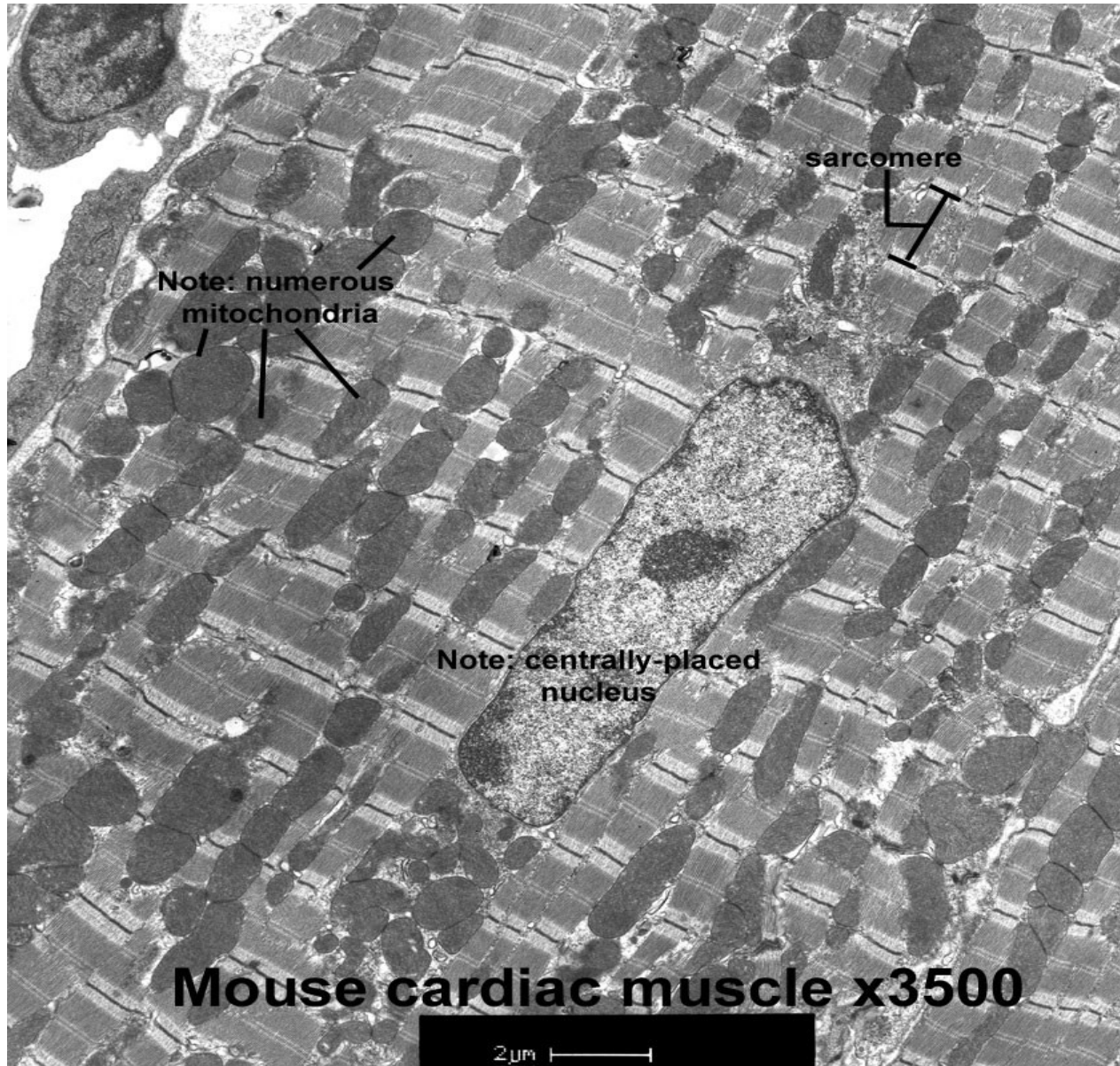
## Szívizom jellemzői:

Több vérér és  
kötőszövet, mint  
harántcsíkolt izomban  
Villás elágazású  
sejtek;  
Központi  
elhelyezkedésű, kerek  
sejtmagok



Szívizomsejtek gap  
junctionnal  
kapcsolódnak  
egymáshoz  
A kontaktusok nem  
képeznek akadályt az  
ingerület terjedése  
útjában.





Fénymikroszkópos képen Z vonalak ritkán látszanak. EM-os képen viszont kifejezettek.

Sejtek közötti kapcsolat:

Eberth-féle vonalak (intercalat disks)

Eberth-féle vonalak

komponensei: **fascia adherens**, **macula adherens** and **gap junctions**.



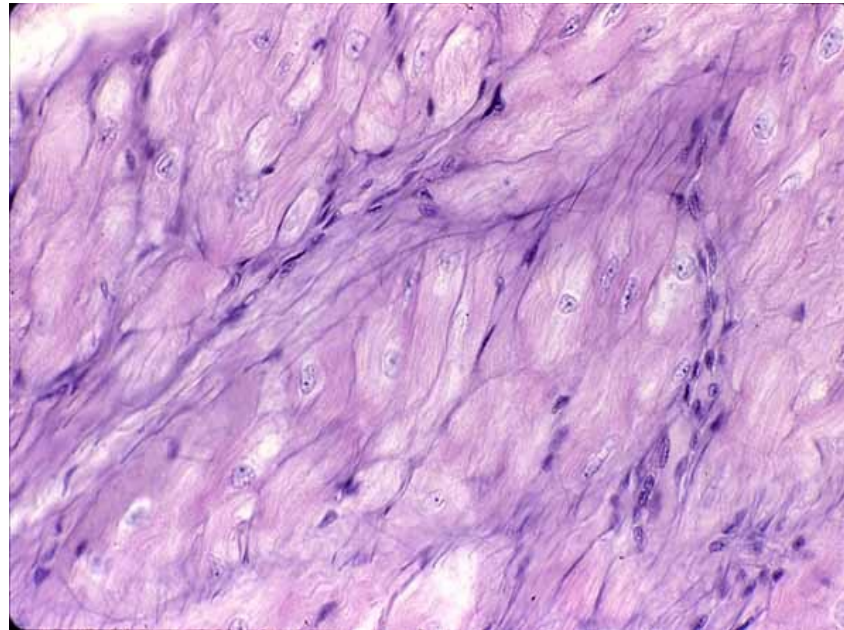
Ha egyetlen szívizomsejt ingerületbe kerül, az ingerületi állapot akadálytalanul, késés nélkül, átkerjed a hálózat összes többi sejtjére, valamennyi rost, gyakorlatilag egyszerre összehúzódik

A kamrák, és a pitvarok izomzata „ funkcionális szincícium” – vagyis, bár szerkezetileg különálló elemekből (egymástól elhatárolt sejtekből) épül fel – működésileg egységes egészet képez.

A pitvarok izomzatát egy rostos rész (anulus fibrosus) elválasztja a kamrák izomzatától, vagyis egy külön kamrai és egy külön pitvari egységről (izomtömlő) beszélhetünk, ezeket az anulus fibrosuson keresztülhatoló ingervezető rendszer köt össze.

Ingerképzésben résztvevő myocyták:

kontrakciós apparátus fejletlen. Sejtmembrán ioncsatornáit pacemaker aktivitást tesznek lehetővé.



## Az ingerképző és ingerületvezető rendszer felépítése:

### *1.Sinus csomó (nodus sinuatrialis) .*

A jobb pitvar hátsó falában a vena cava superior beszájazásánál található 2 cm hosszú, 0,5 cm széles nodális szövetből álló képlet.

### *2.Pitvar-kamrai csomó ( nodus atrio-ventricularis).*

A pitvarok közötti sövényben foglal helyet, közel a pitvar-kamrai határhoz.

### *3.His köteg (atrio-ventricularis köteg)*

a pitvar-kamrai csomóból ered. Áthalad a pitvarokat a kamráktól elválasztó rostos gyűrűn, majd a kamrák közötti sövényben halad lefelé.

### *4.Tawara szárok (jobb és bal).*

A His köteg a kamrák közti sövényben kettéválik. A két szár a kamrák közti sövény két oldalán az endokardium alatt fut a szív csúcs felé.

### *5.Purkinje rostok.*

A szív csúcsi részénél a Tawara szárok felrostozódnak és visszakanyarodnak.

Normálisan működő szívnél a sinus csomóban ritmikusan képződő ingerület a pitvarok egész izomtömlőjére átkerül.

Gyakorlatilag egyszerre kerül ingerületi állapotba a két pitvar.

A pitvarizomzatról az ingerület átkerül a pitvar-kamrai csomóra, ahol a további ingerületterjedés késést szenved ( a pitvar-kamrai csomó rostjai lassan vezetik az ingerületet  $0,05\text{m/sec}$ ).

Ennek a késésnek nagy jelentősége van: mielőtt ugyanis az ingerület rátkerülne a kamrákra , s ezáltal, kiváltaná azok összehúzódását, a pitvaroknak van idejük a kontrakcióra , arra, hogy a vért a még ellazult kamrákba préseljék.

A pitvar-kamrai csomótól a His-köteg, majd a Tawara szárok vezetik tovább az ingerületet.

A Tawara szárok és Purkinje rostok nagyon gyorsan (2,5-5 m/sec) vezetik az ingerületet, ezért rövid idő telik el a teljes kamrai izomzat aktivizálódásáig.

Az egész kamrai izomtömlő viszonylatában előbb a csúcs aktiválódik, utolsónak a bázis epikardiális felszíne. A teljes kamrai aktiválódás átlagosan 70 milliszekundumot vesz igénybe.

## **Szív beidegzése:**

### *Szimpatikus beidegzés:*

Transzmittere noradrenalin (NA),  $\beta$ 1-receptorok közvetítik hatását.

Szívműködés fokozása: a szívműködés minden összetevőjét érinti.

ingerképzését, ingerület szíven belüli vezetését, összehúzódások erejét.

Az összehúzódások száma nő, az ingerületvezetés az AV csomón keresztül gyorsabb, kontrakció erőssége nő, kontrakció utáni elernyedés gyorsabb.

### *Paraszimpatikus rostok: n vagus rostjai:*

Transzmitter. acetilkolin (ACh), muszkarinos ACh receptoron hat.

Szívösszehúzódások száma csökken: ingerképző és ingerületvezető rendszer beidegzése.

## Szívizomsejtek ionáramai:

*depolarizáló áramok:*

gyors  $\text{Na}^+$  áram: tranziens, csatorna depolarizált membránpotenciálon nyit;

f áram:  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  vegyes áram, nem inaktiválódó, hiperpolarizált

membránpotenciálon nyit; cAMP szint emelkedése növeli, csökkenése

gátolja

T áram:  $\text{Ca}^{2+}$  áram, tranziens, viszonylag lassú ionáram, enyhén

depolarizált membránpotenciálon nyit;

L áram:  $\text{Ca}^{2+}$  áram, nem inaktiválódó, erősen depolarizált

membránpotenciálon nyit;



*hiperpolarizáló áramok:*

késői (delayed rectifier)  $K^+$  csatorna: nem inaktiválódó, kicsit késve (amikor a  $Na^+$  csatornák már inaktívak) aktiválódik, depolarizált membránpotenciálon nyit;

M típusú (ACh aktivált)  $K^+$  áram: ACh hatására nyit,

transziens korai  $K^+$  áram: depolarizációra nyit, gyorsan inaktiválódik

inward rectifier  $K^+$  áram: nyugalmi membránpotenciál meghatározásában döntő szerepet játszó transziens áram. Depolarizált membránpotenciálon inaktív,  $Na^+$  áram repolarizációjában nem vesz részt.

$Cl^-$  áram: repolarizáció gyorsítása, NA és cAMP is aktiválja

## Lassú akciós potenciál (AP):

sinuscsomó és atrioventricularis csomó egy részének sejtjei:

pacemaker aktivitás:

gyors  $\text{Na}^+$  csatorna nincs,

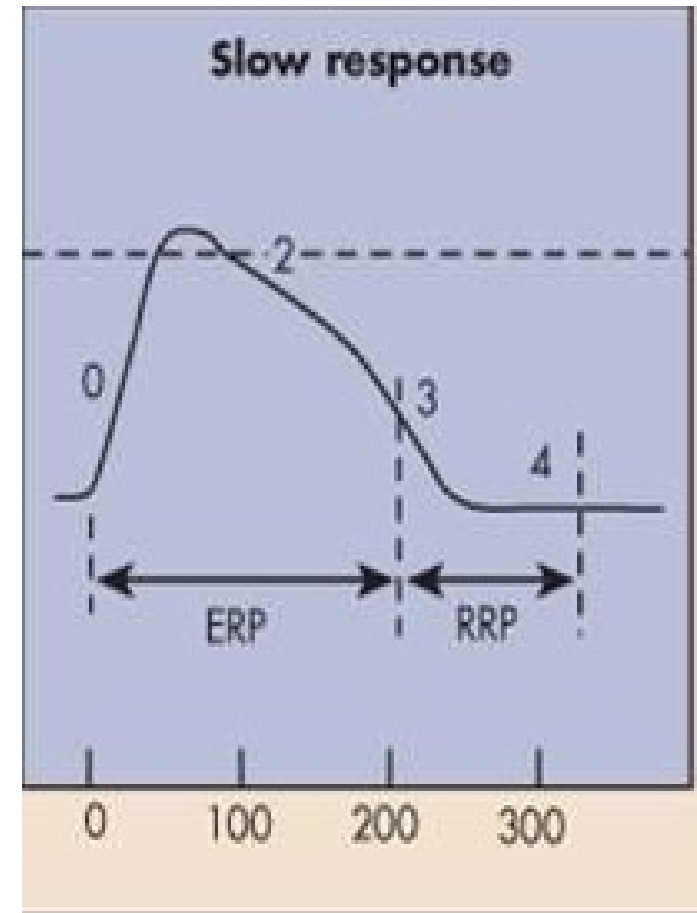
~100 ms hosszú  $\text{Ca}^{2+}$  potenciál alakul ki.

Depolarizáció:

f áram, T áram, L áram

Repolarizáció:

késői  $\text{K}^+$ , ACh aktivált  $\text{K}^+$  áram,



## Szakaszok:

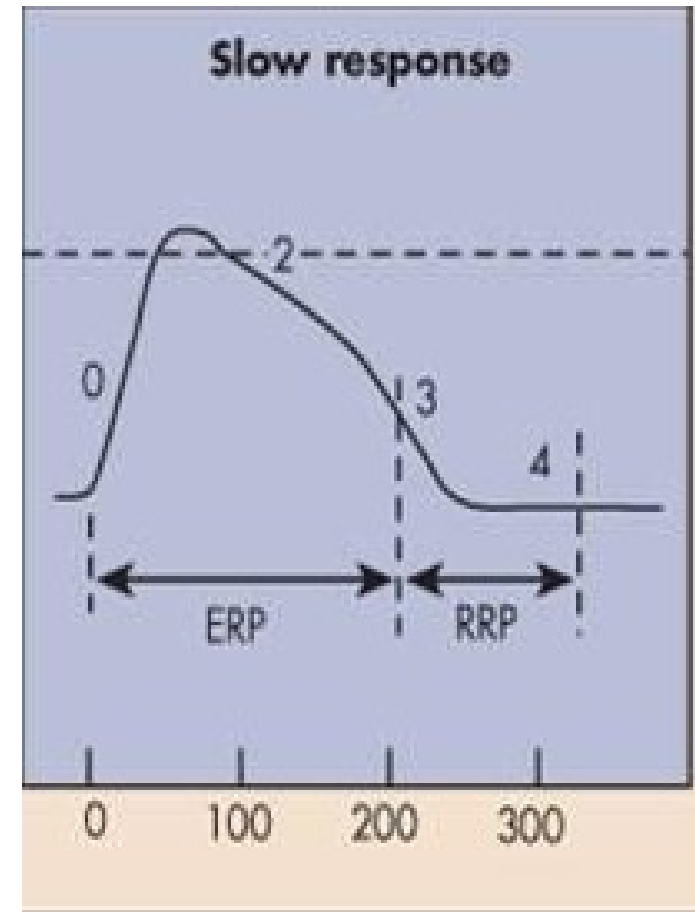
T típusú  $\text{Ca}^{2+}$  áram: lassú depolarizáció (0)

Legdepolarizáltabb részeken L áram is aktiválódik

T áram inaktiválódik, megkezdődik a repolarizáció (2)

$\text{K}^+$  áramok (késői  $\text{K}^+$  áram és ACH aktivált  $\text{K}^+$  áram) segítségével további repolarizáció és hiperpolarizáció (3)

Hiperpolarizáció hatására f áram aktiválódása, enyhe depolarizáció, újabb ciklus beindulása (4)



## Gyors AP:

Ingerületvezető rendszer sejtjei, pitvari és kamrai izomsejtek

Depolarizáció:

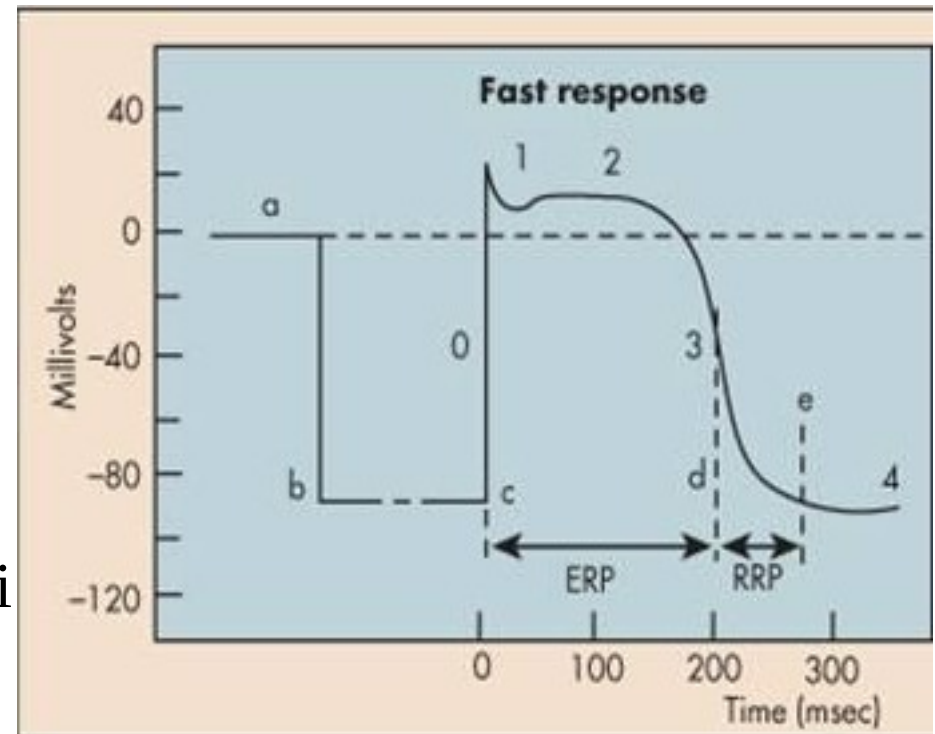
Gyors  $\text{Na}^+$  áram, L áram

Repolarizáció:

tranziens korai  $\text{K}^+$  áram,  $\text{Cl}^-$  áram, késői

$\text{K}^+$  áram (delayed rectifier), inward

rectifier  $\text{K}^+$  áram (hyperpolarizált membránpotenciálon nyit ki)



Szakaszok:

korai, gyors depolarizáció: gyors  $\text{Na}^+$  áram, (0)

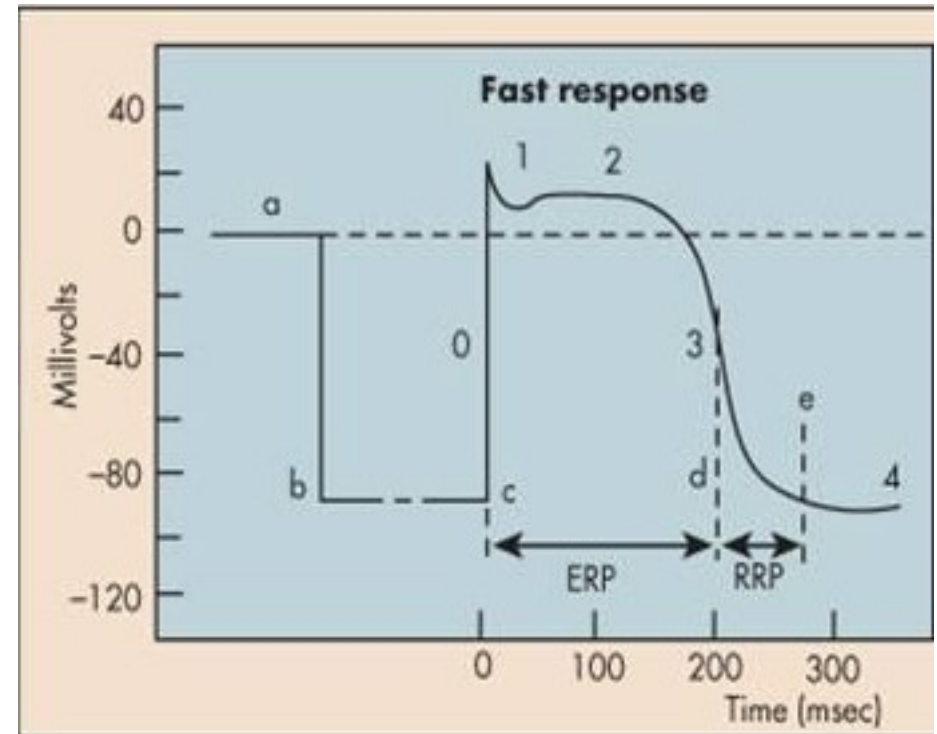
korai repolarizáció: tranziens korai  $\text{K}^+$  áram,  $\text{Cl}^-$  áram, (1)

késői depolarizáció (plató): L típusú  $\text{Ca}^{2+}$  csatornák (2)

késői repolarizációs fázis: késői  $\text{K}^+$  áram (delayed rectifier) (3)

Hiperpolarizált membránpotenciálon

inward rectifier  $\text{K}^+$  áram is kinyit és a membránpotenciáalt a nyugalmi potenciál közelében stabilizálja (4)



## Refrakter állapotok:

*abszolút*: nem lehet újabb kontrakciót kiváltani

AP plató fázisa

*relatív*: nagyobb ingerek már kiváltják az újabb

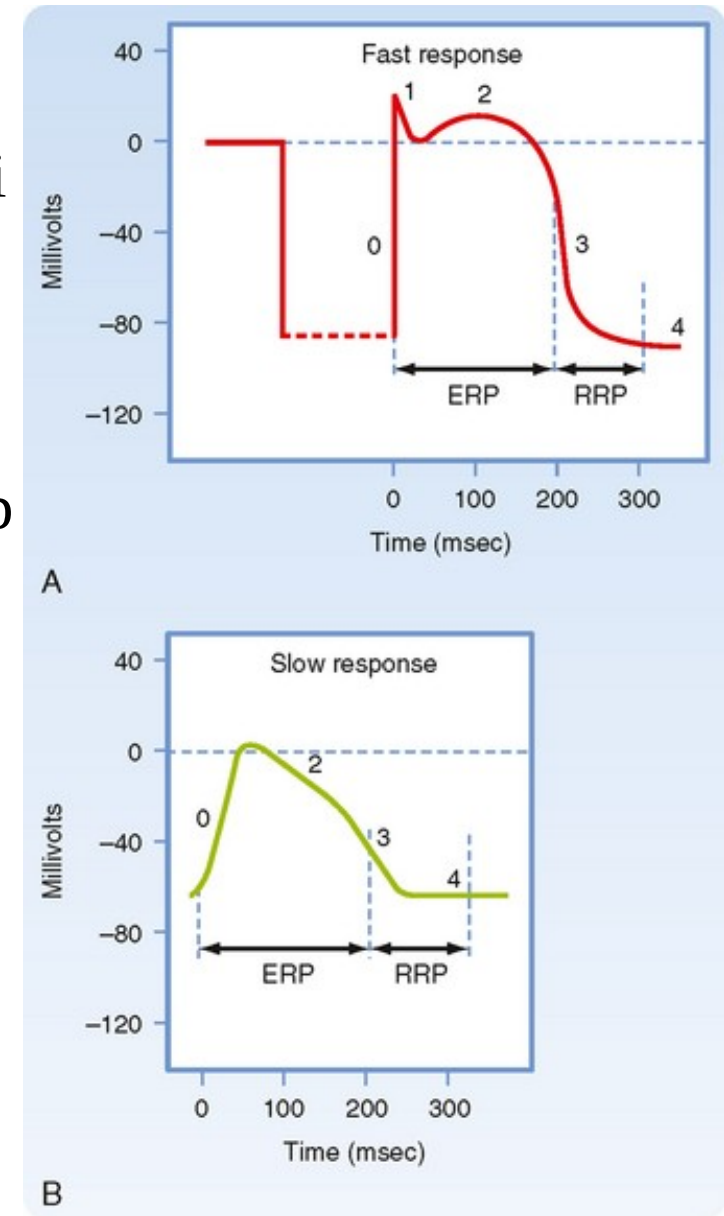
AP-t de a  $\text{Na}^+$  csatorna aktivációja még nem

teljes

repolarizáló  $\text{K}^+$  áramok alatt

ERP: abszolút refrakter periódus

RRP: relatív refrakter periódus



## **Izomösszehúzódás:**

Szívizomsejtek: sejtek syncytiumot alkotnak: egyes sejtek gap junctionnal kapcsolódnak. AP áterjed a szomszédos rostokra.

## **Akciós potenciál és izom kontrakció kapcsolódása** (Nature. 2002 Jan 10;415:198-205.)

Ca<sup>2+</sup> koncentráció növekedés kapcsolja az akciós potenciált a kontraktilis filamentumok elmozdulásához.

Szívizomrostok kontraktilis filamentumai:

- Aktin
- Miozin

## Szabályozó elemek:

- Tropomiozin: kettős hélix, aktin filamentek között helyezkedik el. Nyugalmi állapotban megakadályozza a miozin fejek és az aktin közötti kapcsolat kialakulását.
- Troponin: aktin filamenthez kötődő 3 alegységből álló komplex
  - Troponin T (**TnT**) – troponin komplex aktinhoz és tropomiozinhoz rögzítése
  - Troponin I (**TnI**) – ATPáz gátló
  - Troponin C (**TnC**) –  $\text{Ca}^{2+}$



## **Ca<sup>2+</sup>-aktivált Ca<sup>2+</sup> felszabadulás (CICR)**

A kezdeti Ca<sup>2+</sup> beáramlás a miociták L-típusú Ca<sup>2+</sup> csatornáin keresztül történik. Ez a Ca<sup>2+</sup> mennyiség nem elég a kontrakció kialakításához. Az L-típusú Ca<sup>2+</sup> csatornákon beáramló Ca<sup>2+</sup> további Ca<sup>2+</sup> felszabadulást vált ki a szarkoplazmatikus retikulumból (SR): ez a CICR.

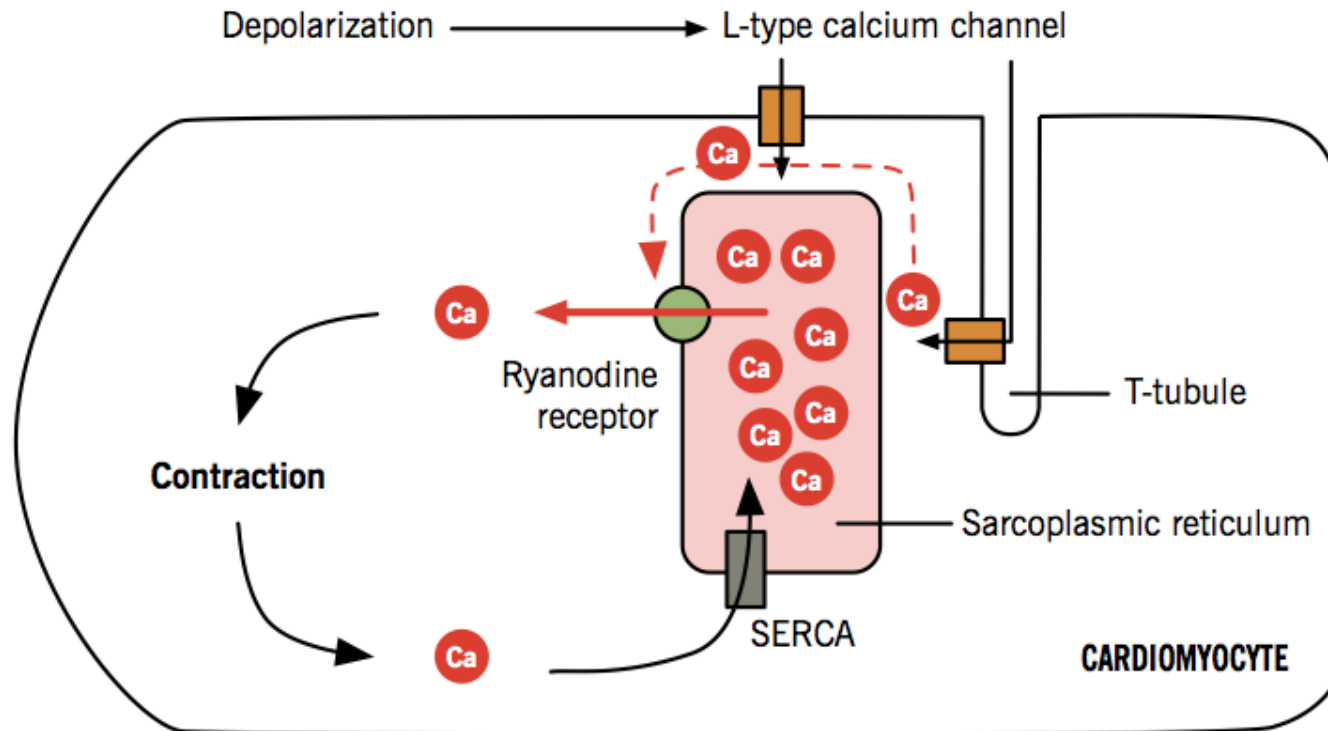
CICR folyamata:

- A miociták sejtmembránja betűrődéseket (T tubulusok) tartalmaz amelyek a sejtmembrán L-típusú Ca<sup>2+</sup> csatornáit a SR rianodin receptoraihoz közel viszik.
- Ca<sup>2+</sup> hatására a rianodin receptorok konformációja megváltozik, és a SR-ból Ca<sup>2+</sup> áramlik ki a citoplazmába. Az SR-ból kiáramló Ca<sup>2+</sup> mennyisége nagyobb, mint az L-típusú Ca<sup>2+</sup> csatornákon eredetileg beáramló Ca<sup>2+</sup> mennyisége volt.
- A megnövekedett intracelluláris Ca<sup>2+</sup> szint elég a kontrakció kiváltásához.

# Calcium-induced calcium release

Grigoriy Ikonnikov and Eric Wong

After a depolarization via sodium channels, calcium enters the cardiomyocyte via L-type calcium channels (orange). Calcium then activates ryanodine receptors (green) on the sarcoplasmic reticulum (SR). This special receptor senses intracellular calcium and triggers calcium release from the SR to further increase calcium availability in the cell. As the contraction ends, intracellular calcium returns to the SR via the SERCA calcium channel (grey).



## Kontrakciós ciklus:

$\text{Ca}^{2+}$  TnC hez köt  $\rightarrow$  TnI gátlódik  $\rightarrow$  tropomiozin konformációja úgy változik, hogy az aktinon a miozin kötőhely felszabadul.

A miozin fej bólogató mozgása közben a miozin a következő kötőhelyéhez kötve elmozdul az aktinszál mentén:

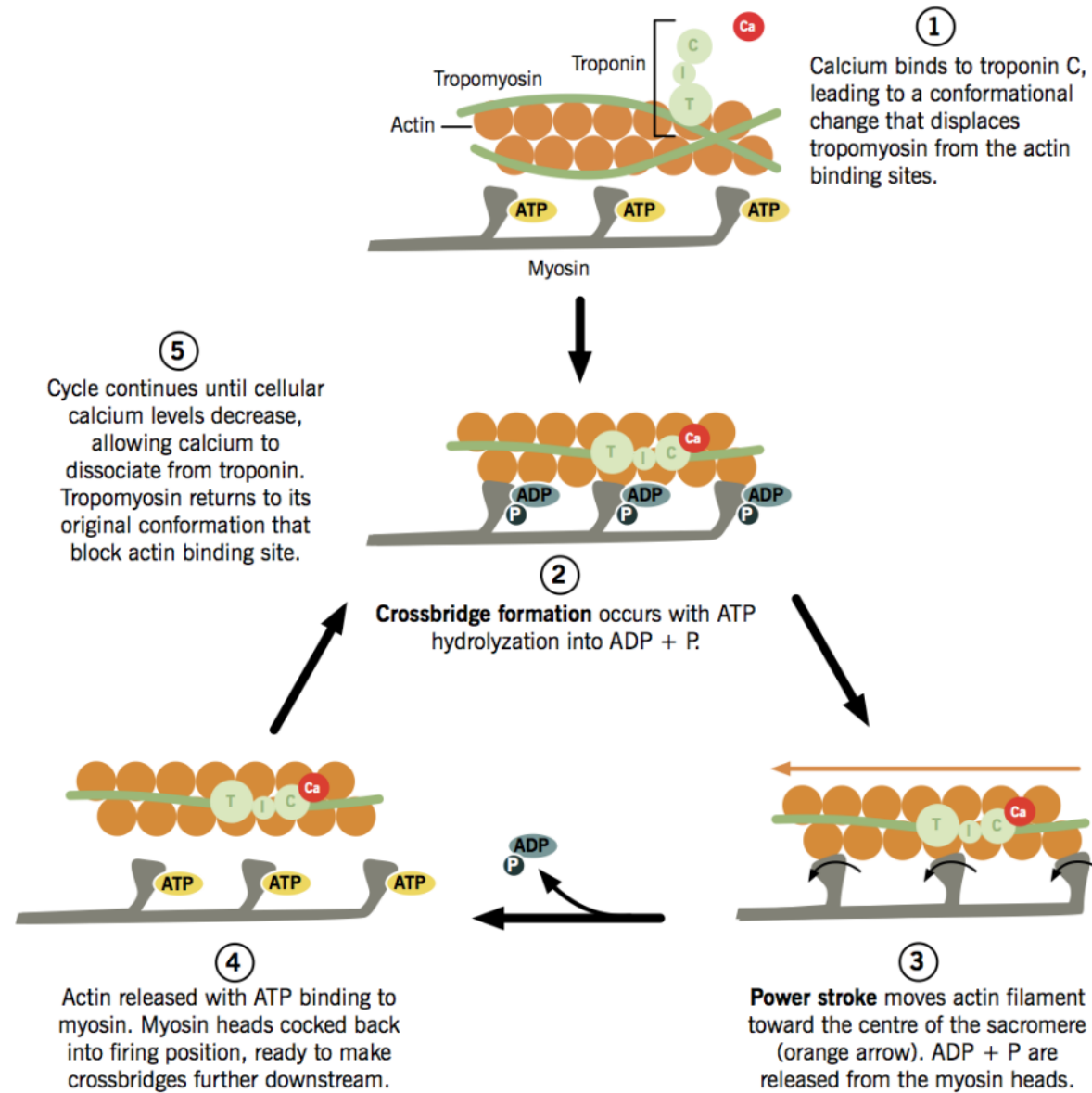
- A miozinon levő ATP-t a TnI gátlása alól felszabadult ATPáz hidrolizálja, ez segíti elő kötődését az aktinhoz. Az izomösszehúzóerő erőssége a actin-miozin kötések mennyiségétől függ.
- A miozin fej és az aktin közötti kölcsönhatás a miozin fej elmozdulását váltja ki.

ADP leválik a miozin fejről és az új ATP-t köt meg, ezzel elengedve az aktint.

A ciklus ismétlődésével a miozin halad az aktin szál mentén ezzel rövidítve az izomrostot. A ciklus addig ismétlődik amíg (i) a citoplazmális  $\text{Ca}^{2+}$  koncentráció elég magas ahhoz, hogy a TnI aktivitást gátolja és (ii) van elég ATP, hogy az aktin – miozin kötés kialakításához az energiát biztosítsa.

# Cardiomyocyte contractile cycle

Grigoriy Ikonnikov and Eric Wong



## **Miociták elernyedése:**

A sejtben kialakult akciós potenciálhoz kötődik ez is:

- L-típusú  $\text{Ca}^{2+}$  csatornák inaktiválódnak a repolarizációs fázisban,  $\text{Ca}^{2+}$  beáramlás megszűnik, rianodin receptorokon keresztüli Ca kiáramlás a SR-ból befejeződik.
- A citoplazmából a  $\text{Ca}^{2+}$ -t a szarkoplazmatikus retikulum  $\text{Ca}^{2+}$  ATPáz (**SERCA**) visszaviszi az SR-be és kisebb mértékben  $\text{Ca}^{2+}$  pumpák kijuttatják a sejtből.
- $\text{Ca}^{2+}$  ionok leválnak a TnC-ről tropomiozin eltakarja az aktinon a miozin kötőhelyet.