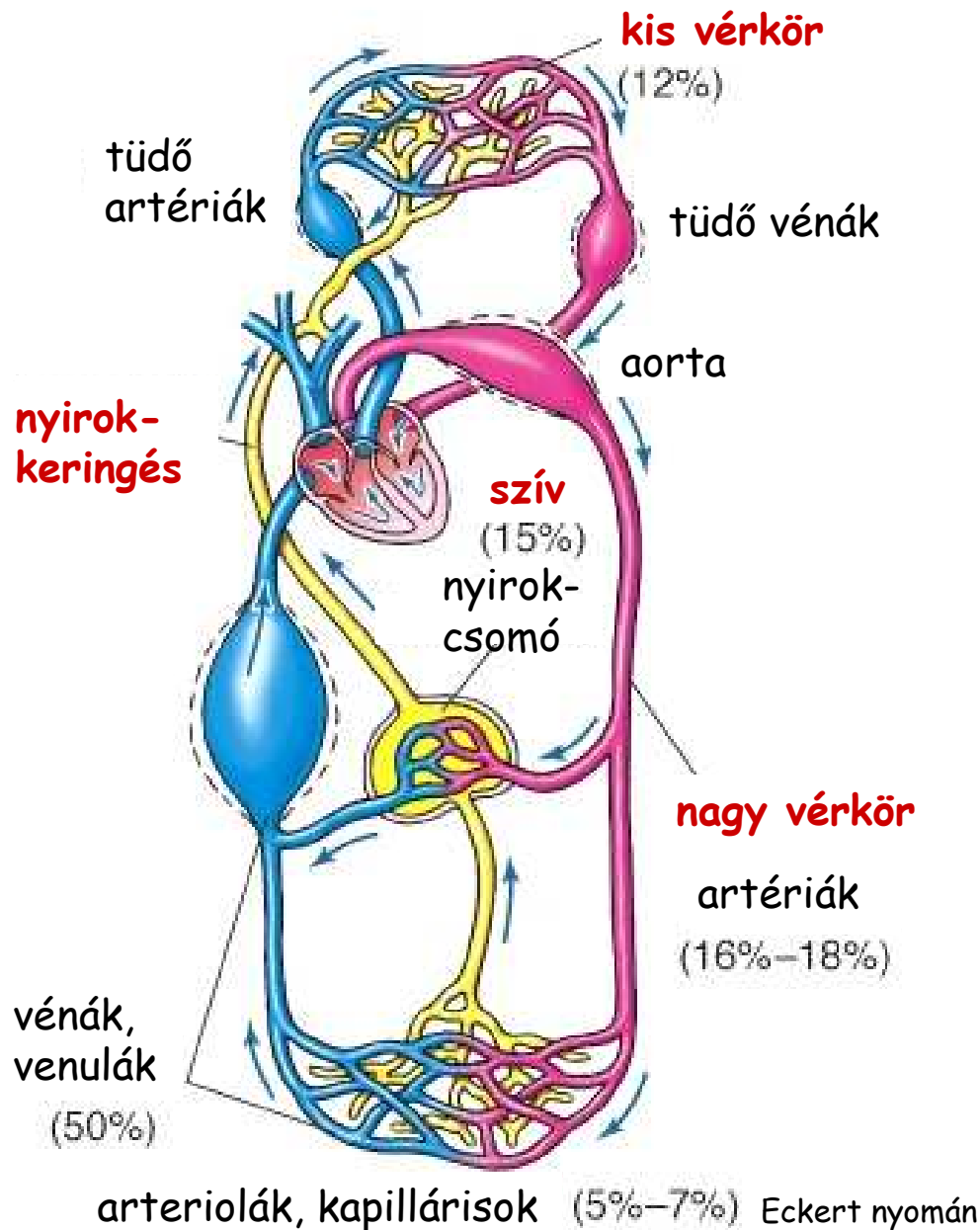
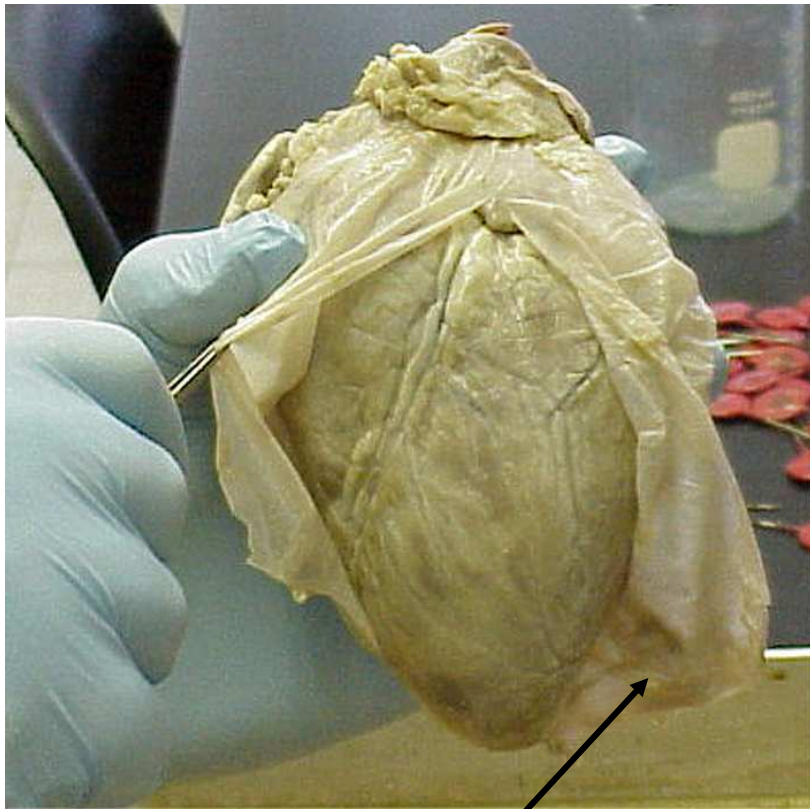


# Az emlős keringési rendszer felépítése

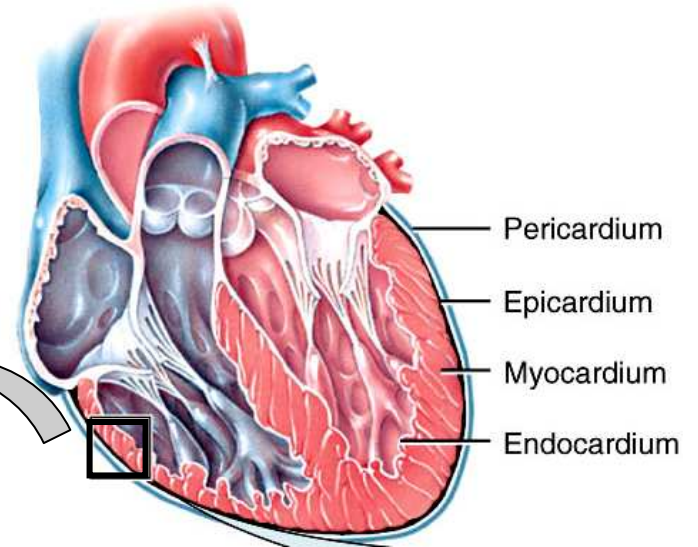


- zárt keringés: magas nyomás, gyors áramlás, gyors szabályozás (diffúzió nem lenne elég)
- két elkülönült vérkör
- fő pumpa: **szív**
- **arteriás rendszer**: elosztó és nyomás-kiegyenlítő
- **kapillárisok**: anyagcsere
- **vénás rendszer**: térfogati rezervoár (kapacitáserek)
- **nyirokrendszer**: immunsejtek, szövet közötti folyadék keringése

# Az emberi szív felépítése



**perikardium**



**endokardium**

rostos perikardium

szerózus perikardium,  
parietális réteg

koronária erek

perikardiális üreg

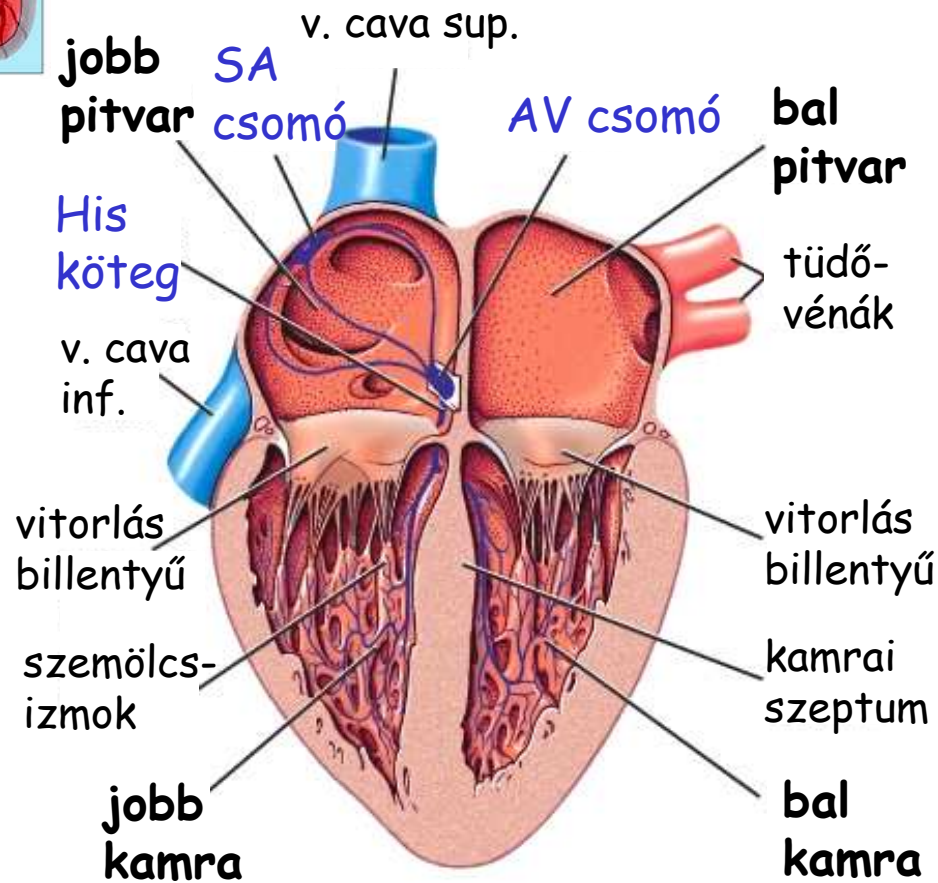
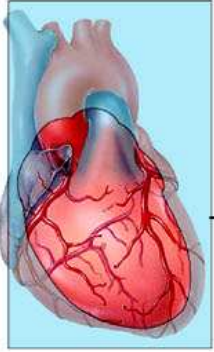
**miokardium**

**epikardium**

(szerózus perikardium,  
zsigeri réteg)

Tortora nyomán

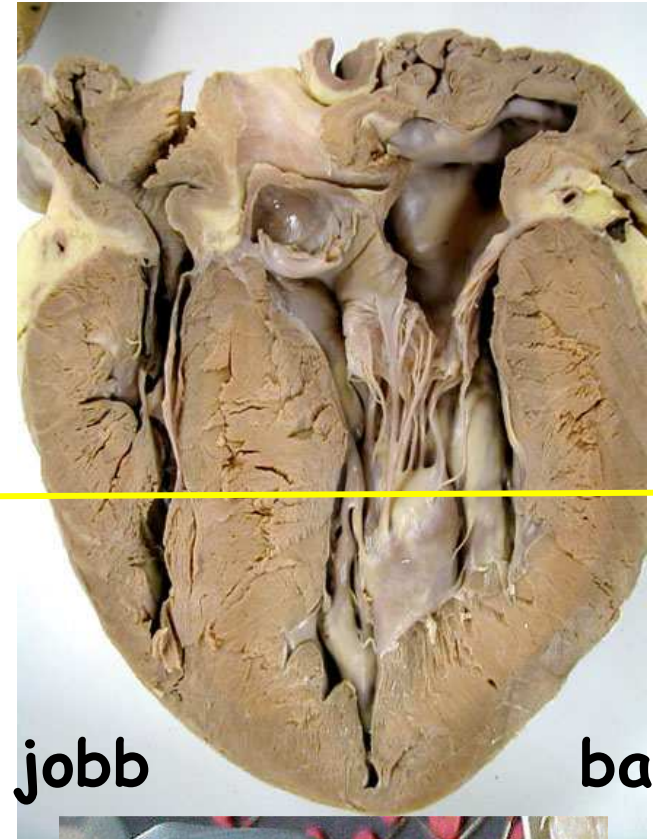
# Az emberi szív felépítése



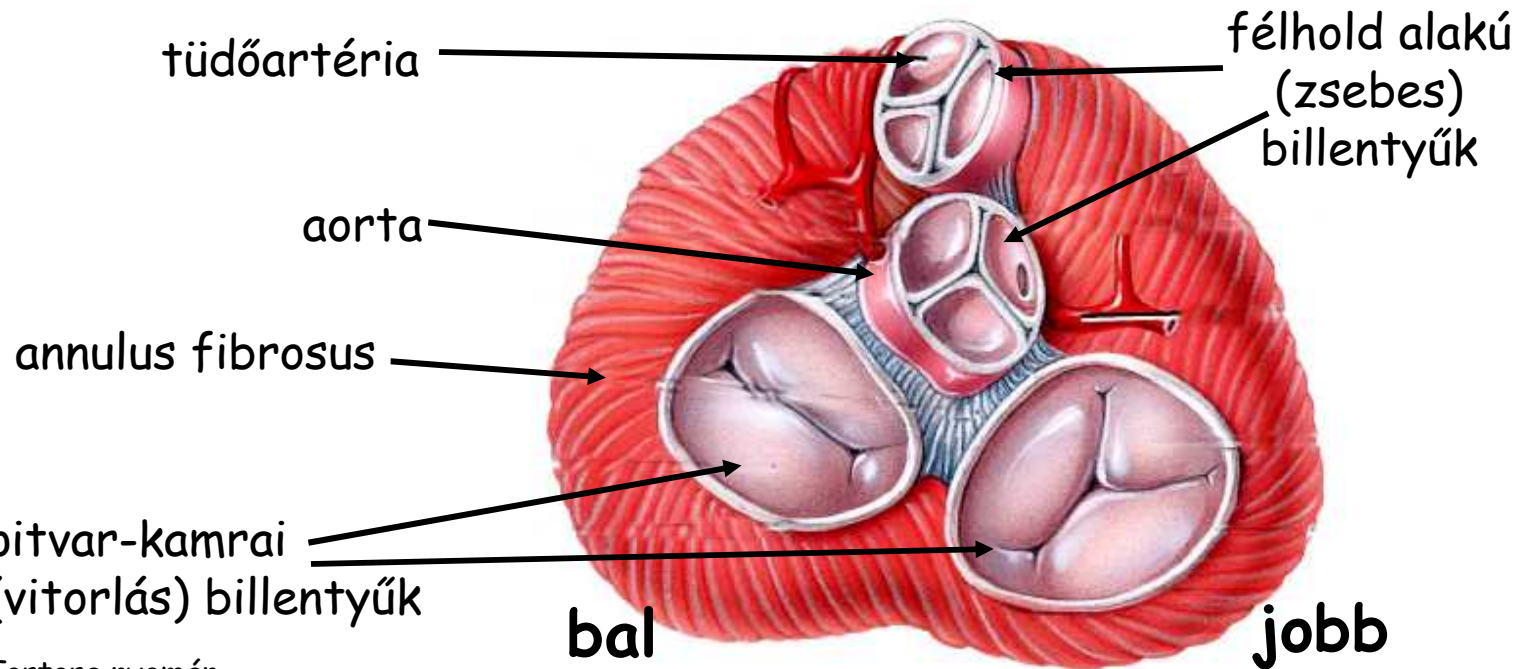
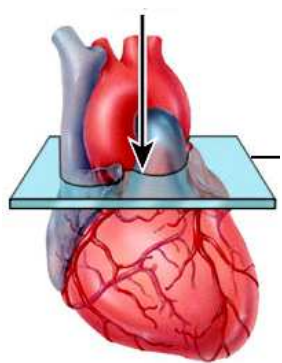
Eckert nyomán

SA csomó: szinusz csomó

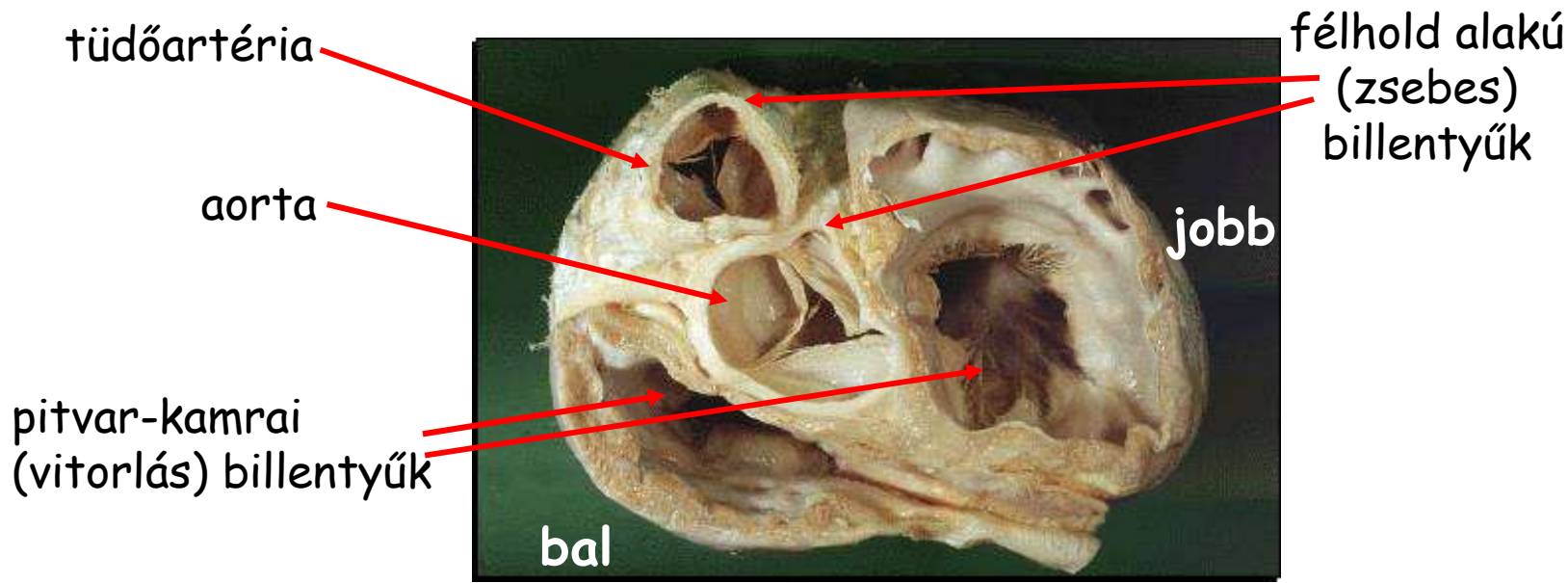
AV csomó: pitvar-kamrai csomó



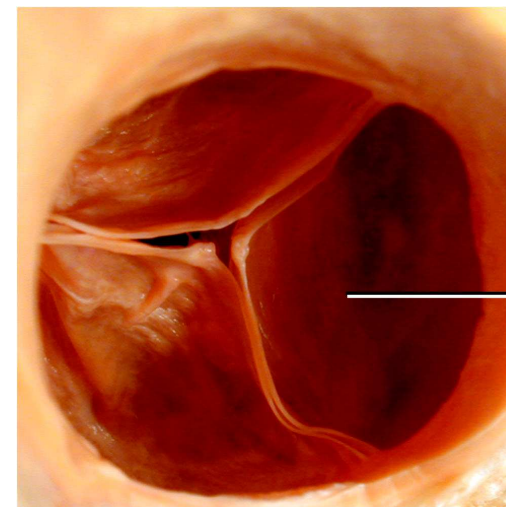
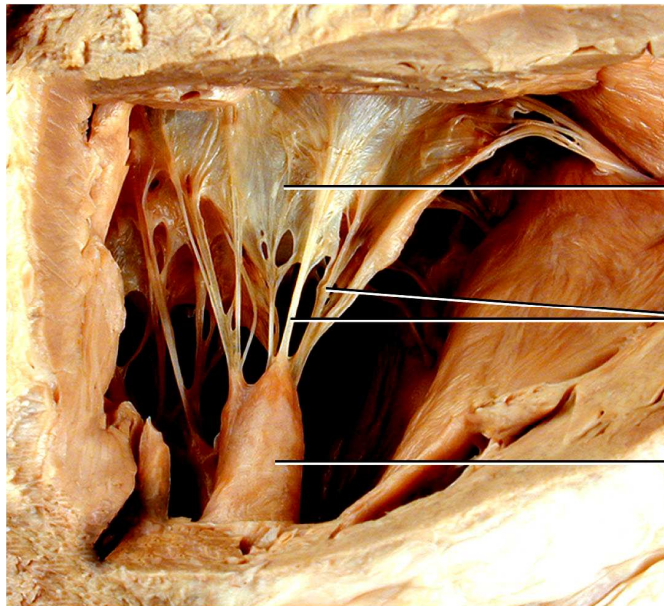
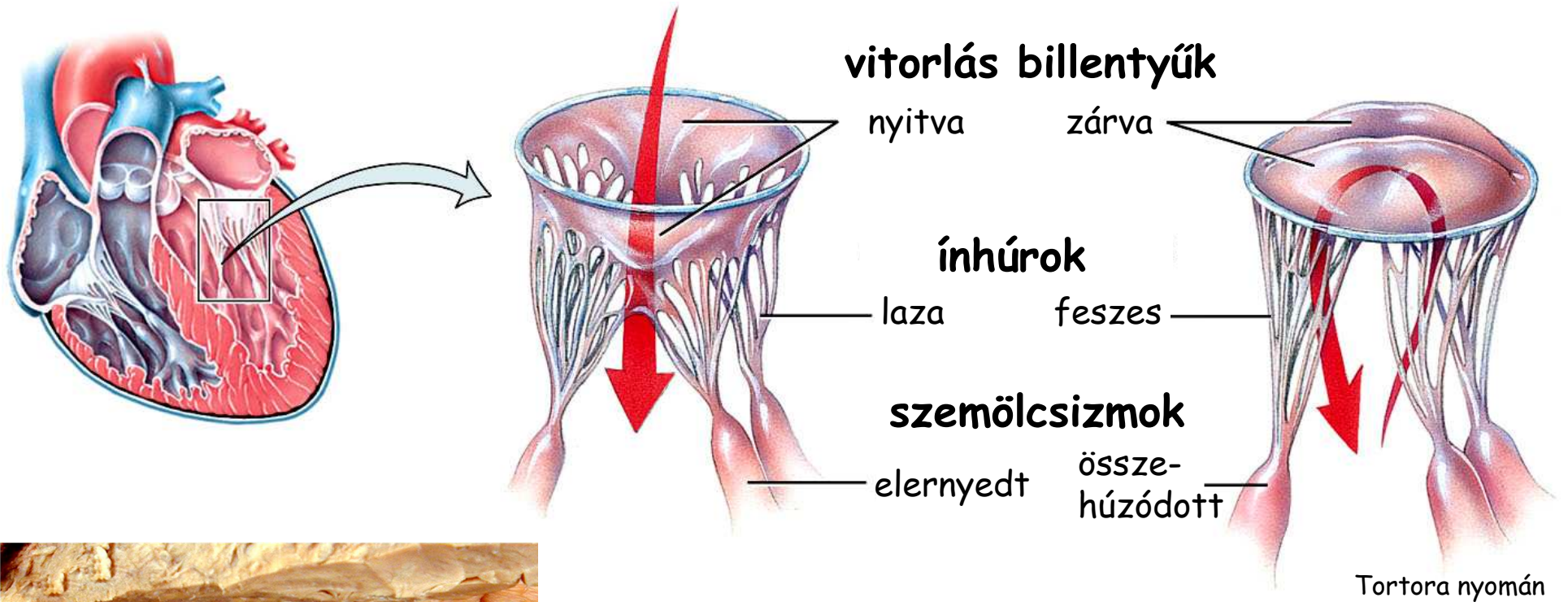
# Az emberi szív felépítése



Tortora nyomán



# Az emberi szív felépítése: a billentyűk

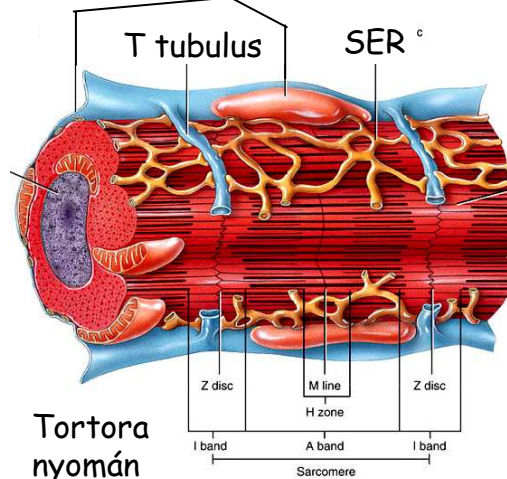
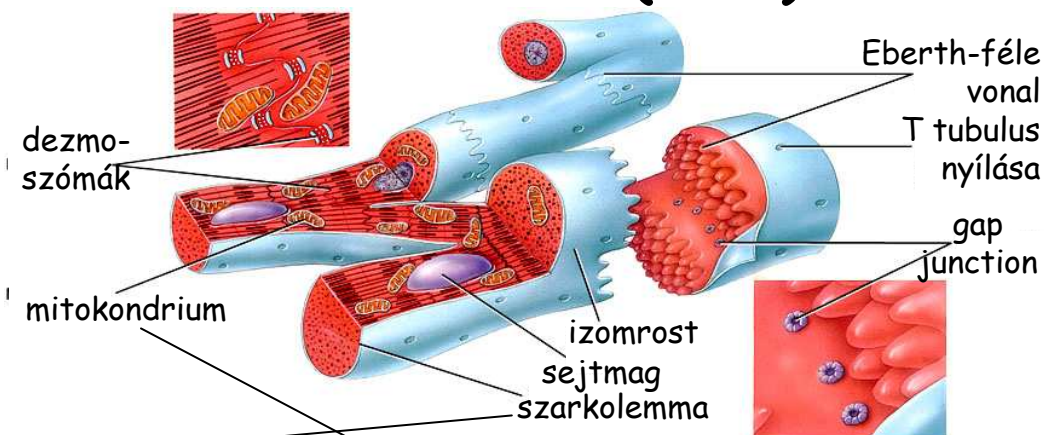


# A szívizomszövet - a munkaizomrostok (ism.)

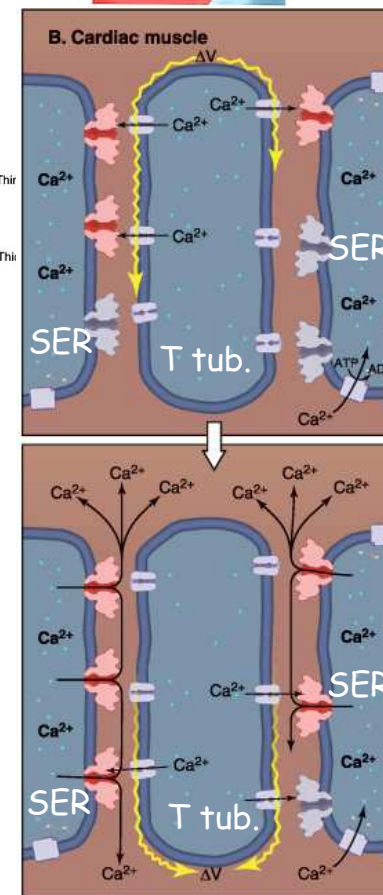
- egy sejtmagvú, "valódi" sejtek
- elektromos szinapszis = gap junction; funkcionális szincícium (pitvarok - kamrák!)
- SER kevésbé, T tubulus jobban fejlett, mint vázizomban
- pacemaker sejtekből kiinduló AP a munkaizomrost membránjára terjed  
 T-tubulusokon feszültség-függő  $Ca^{2+}$  csatornák nyílnak

az extracelluláris térből beáramló  $Ca^{2+}$  indítja be a SER-ből történő  $Ca^{2+}$  kiáramlást

- $Ca^{2+}$  eltávolítás:  $Ca^{2+}$  pumpa (SER);  $Na^+/Ca^{2+}$  antiport (sejtmembrán)
- az aktin/miozin kontrakció mechanizmusa a vázizomhoz hasonló



Tortora nyomán



# A munkaizomrostok akciós potenciálja

- -90 mV nyugalmi membrán potenciál

(1) gyors depolarizáció:  $\text{Na}^+$  beáramlás

(2) gyors repolarizáció:  $\text{Cl}^-$  be- és  $\text{K}^+$  kiáramlás

(3) plató szakasz:  $\text{Ca}^{2+}$  beáramlás és  $\text{K}^+$  kiáramlás egyensúlya

(4) repolarizáció:  $\text{K}^+$  kiáramlás

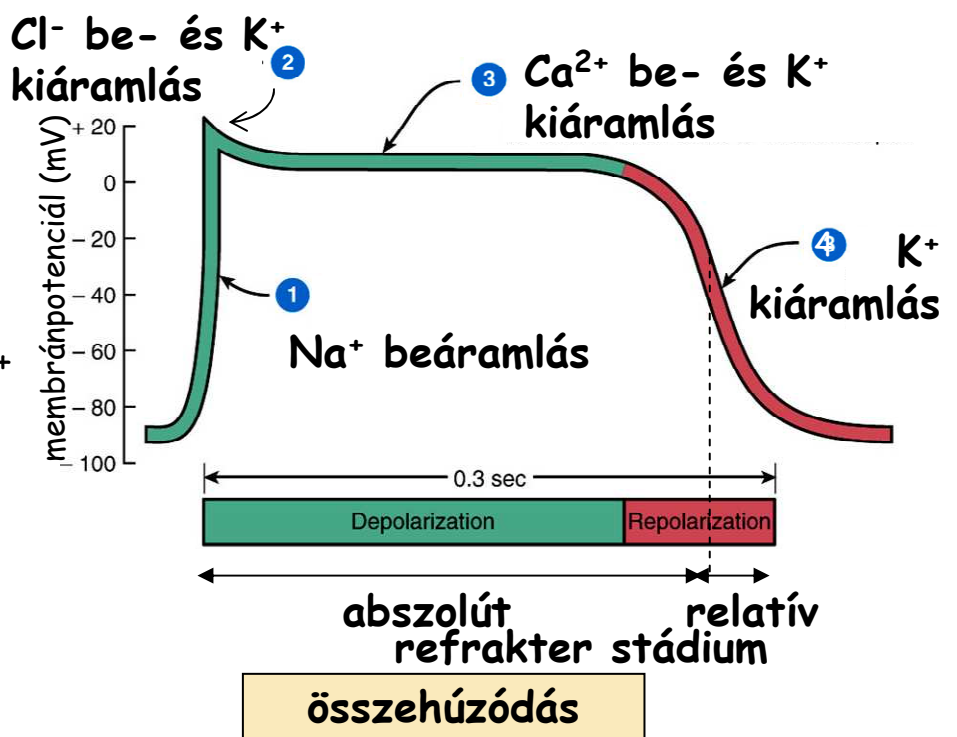
- elhúzódó refrakter stádium (~250 ms: abszolút refrakter stádium)



- a szívizomszövet nem tetanizálható

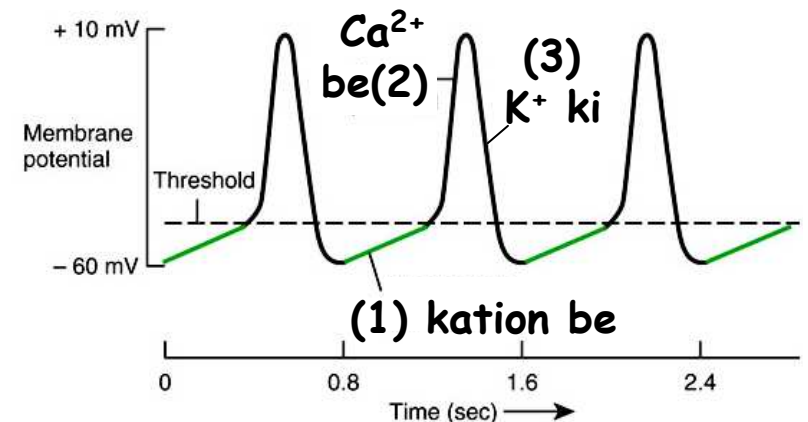
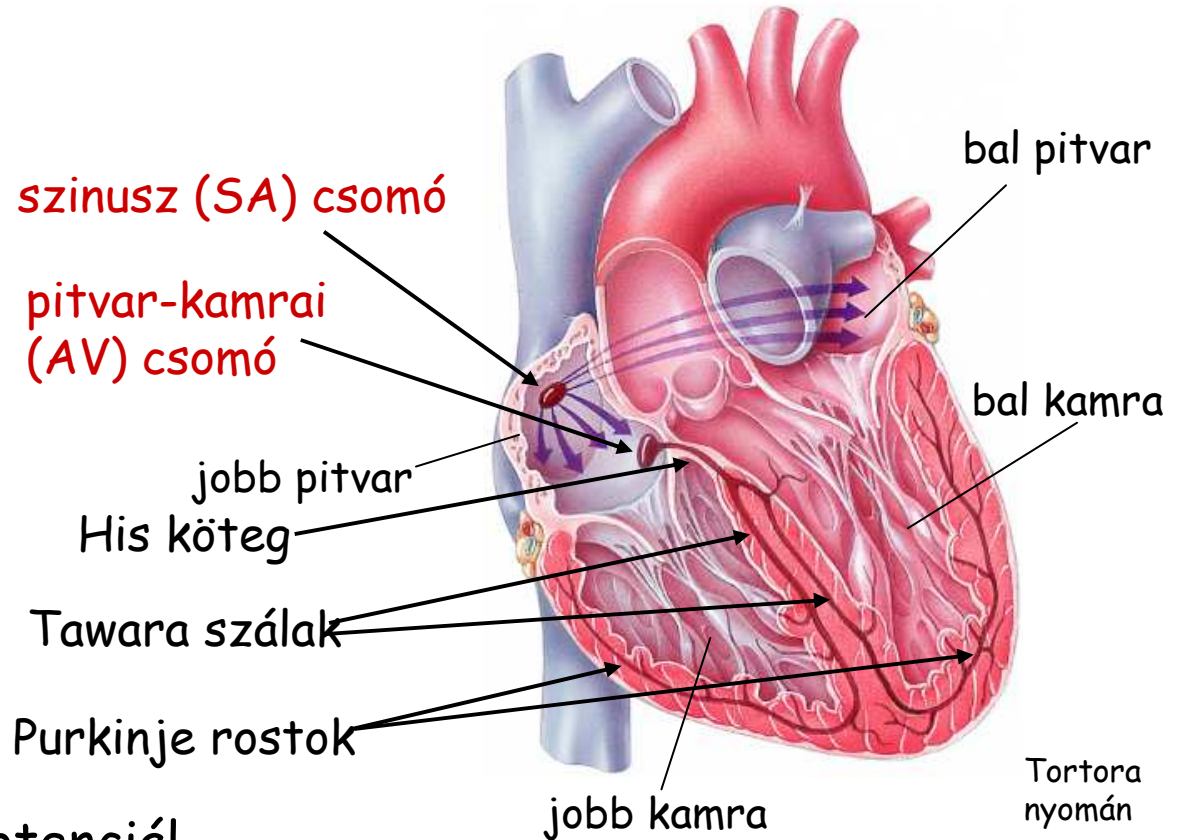
- gyors vezetési sebesség (0,3 - 1 m/s)

- az ingerületvezető rendszer (His-köteg, Tawara szál, Purkinje rostok) is így vezetnek (<4 m/s)



# A pacemaker (ritmusgeneráló) sejtek

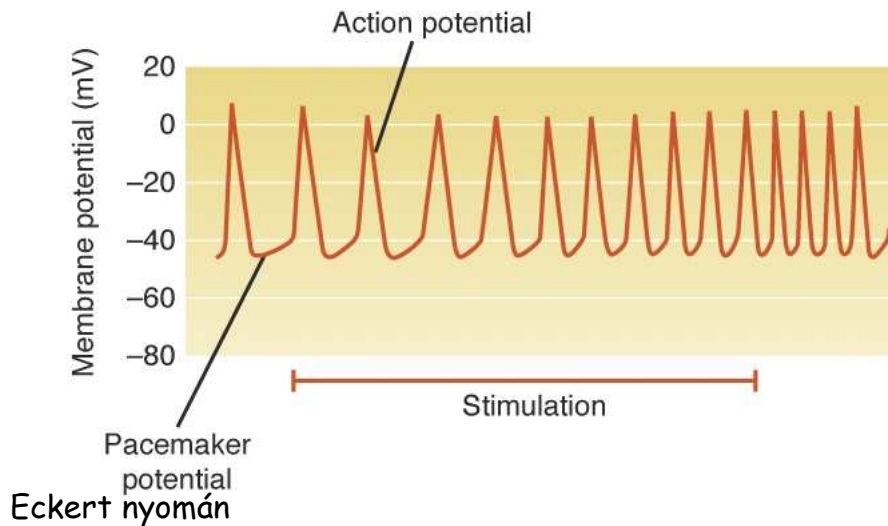
- módosult (nodális) szívizomszövet
  - ingerületképző és -vezető rendszer
  - SA és AV csomó:
    - spontán diasztólés depolarizáció: ritmusgenerálás
    - AP: ~ 100 ms
    - nincs nyugalmi membránpotenciál
- (1)  $I_f$  áram: szívárgási kation csatornák (prepotenciál / pacemaker potenciál)
  - (2) depolarizáció:  $Ca^{2+}$  beáramlás
  - (3) repolarizáció:  $K^+$  kiáramlás
- lassú vezetési sebesség (0,02 - 0,1 m/s)



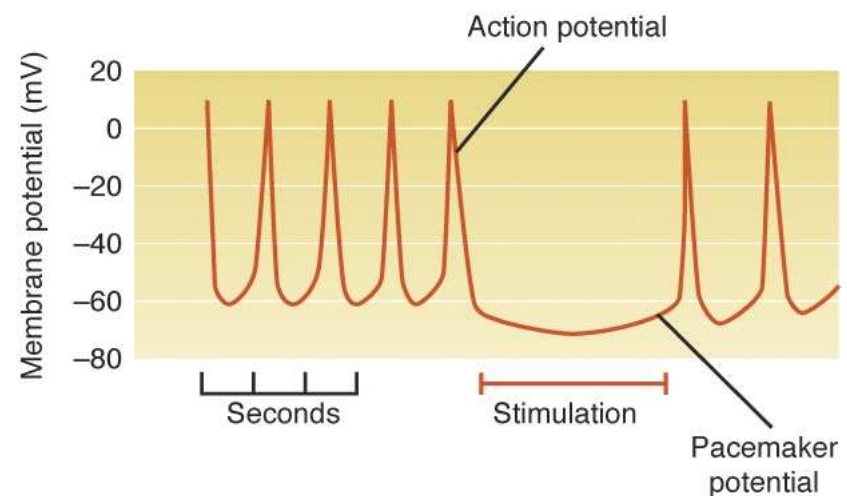


# A pacemaker sejtek ritmusgenerálásának szabályozása

## szimpatikus ingerlés

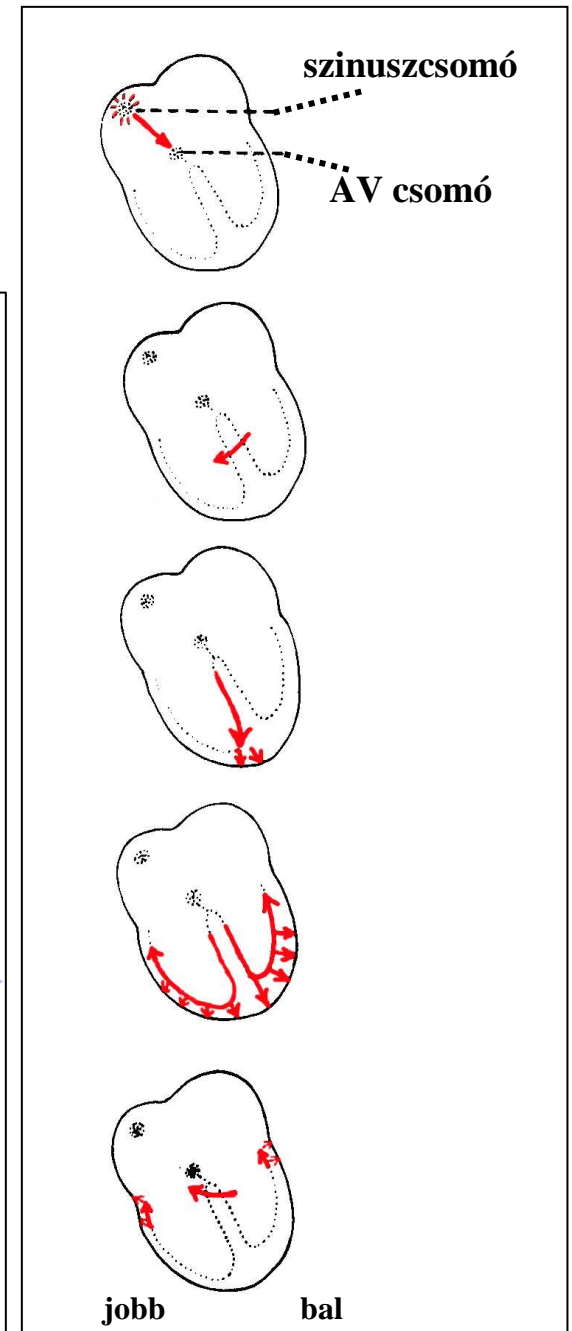
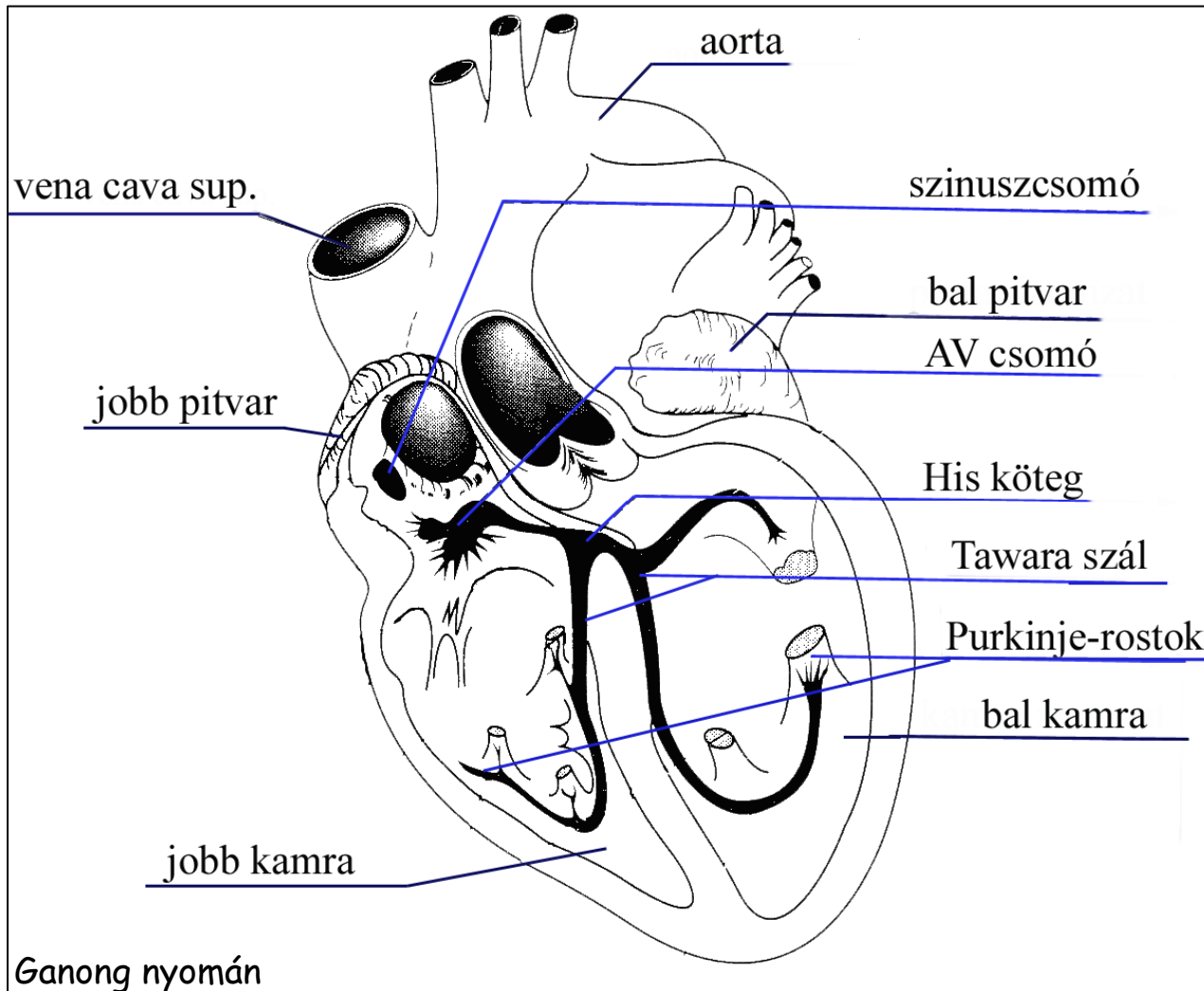


## paraszimpatikus (n. vagus) ingerlés

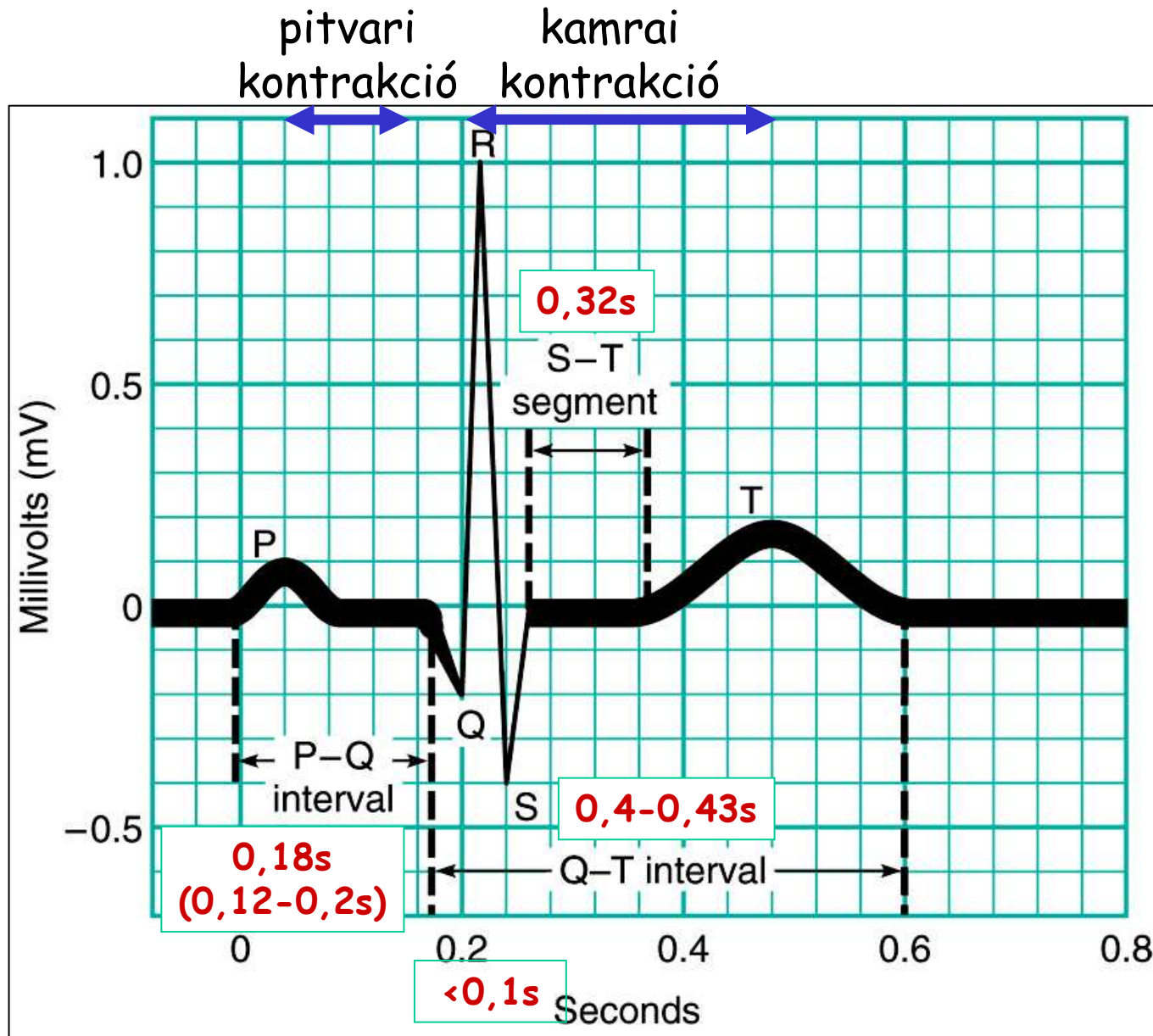


- pacemaker potenciál "meredekségének" változtatása
  - konduktancia-változás, depolarizáció ütemének befolyásolása
    - $\beta_1$  adrenerg hatás: adenilát-cikláz aktiválás, cAMP szint nő,  $I_f$  nő
    - mAChR kolinerg hatás: adenilát-cikláz gátlás,  $I_f$  csökken
- pacemaker potenciál "kiindulásának" változtatása
  - a sejtmembrán hipo- vagy hiperpolarizációja
    - mAChR kolinerg hatás:  $K^+$  konduktancia fokozása

# A szív ingerületvezetési rendszere és az elektromos aktivitás terjedése

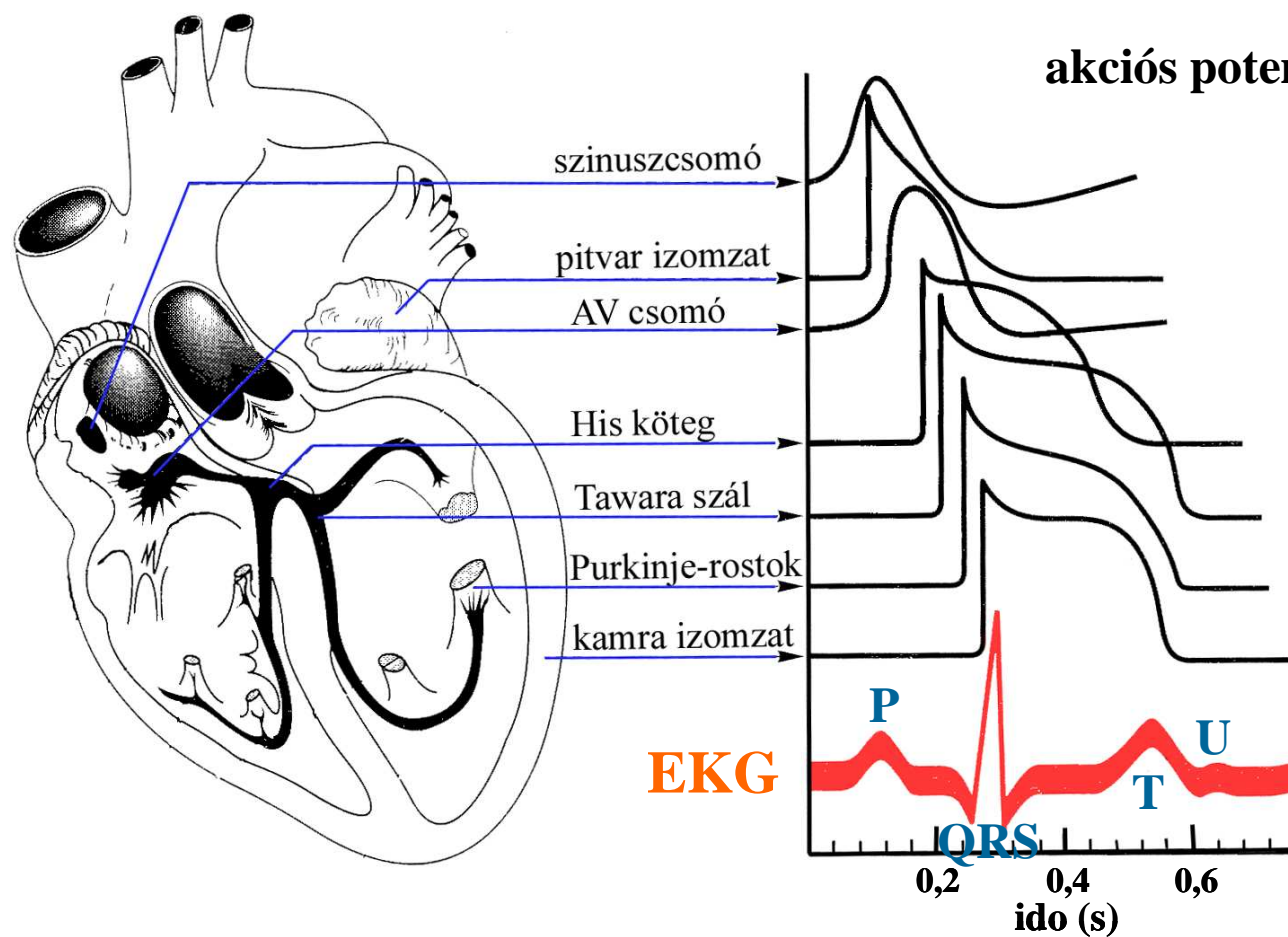


# A szív működést kísérő potenciálváltozások testfelszínen mérhető eredménye - az elektrokardiogram (EKG)



Tortora nyomán

# Akciós potenciál változások az EKG szakaszai alatt



## akciós potenciál

**P:** pitvari depolarizáció

**P-Q szakasz:** pitvari szisztole; pitvar-kamrai átvezetés

**QRS:** kamrai depolarizáció (és pitvari repolarizáció)

**QRS-T:** kamrai szisztole

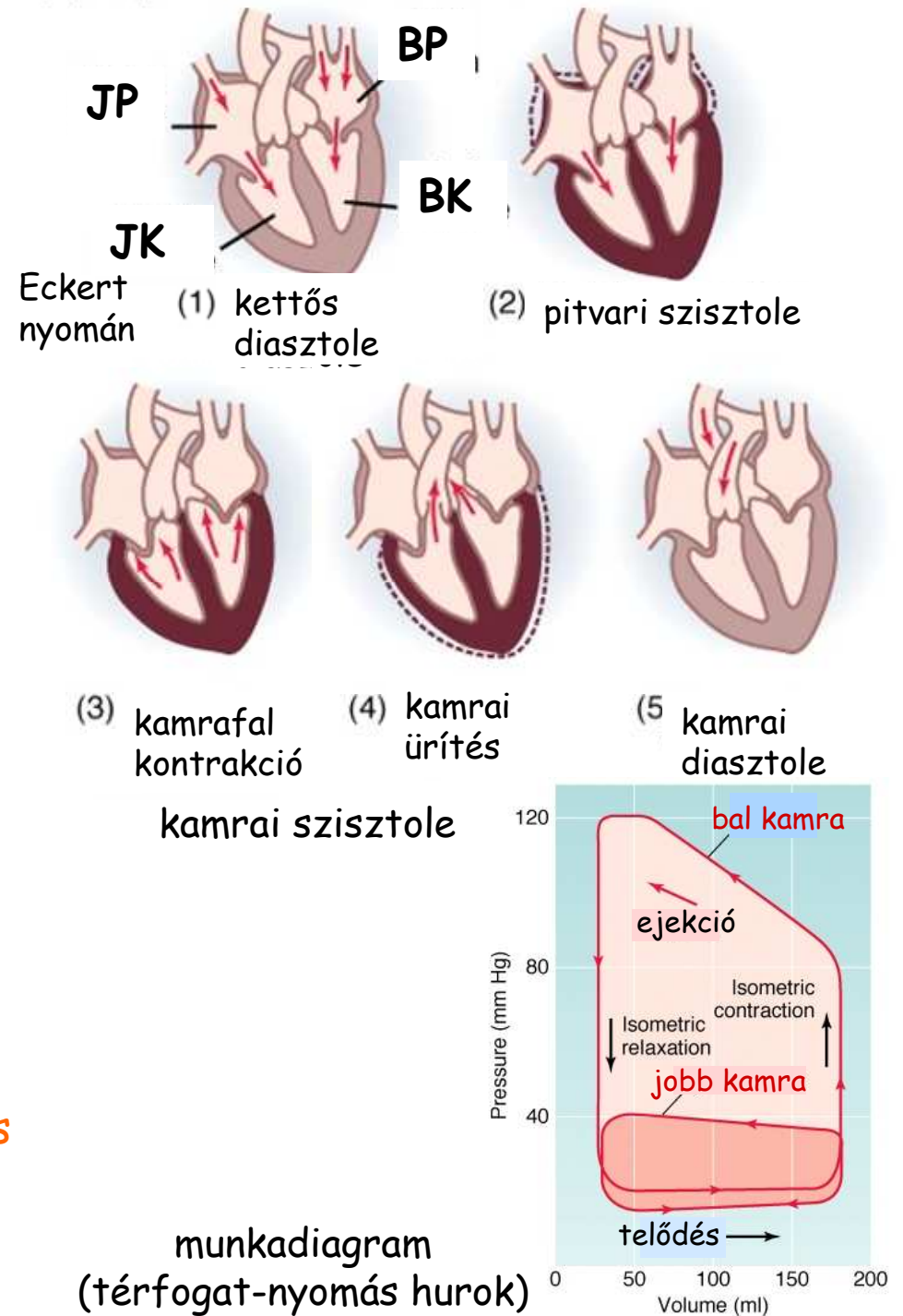
**T:** kamrai repolarizáció

**U:** szemölcsizomok repolarizációja

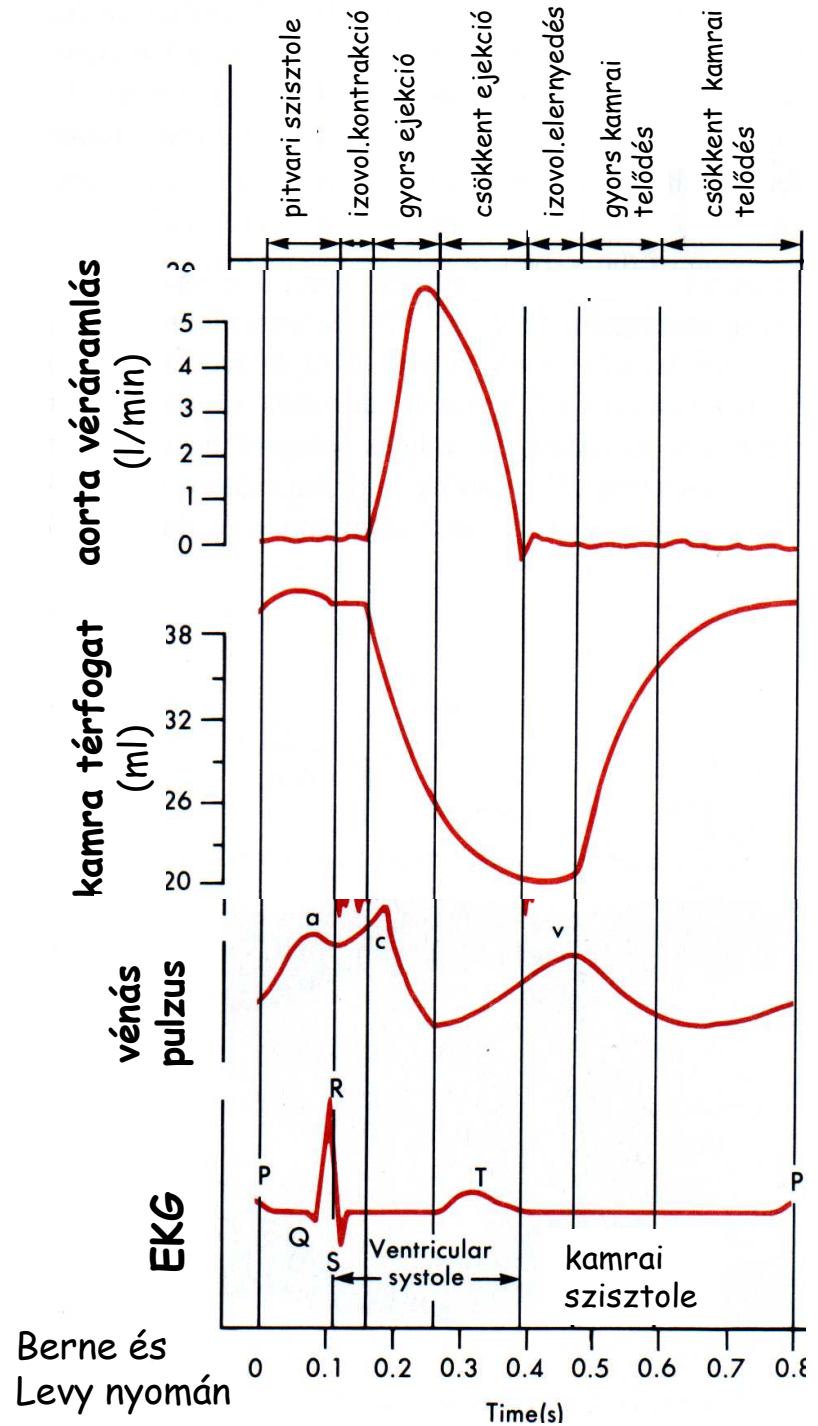
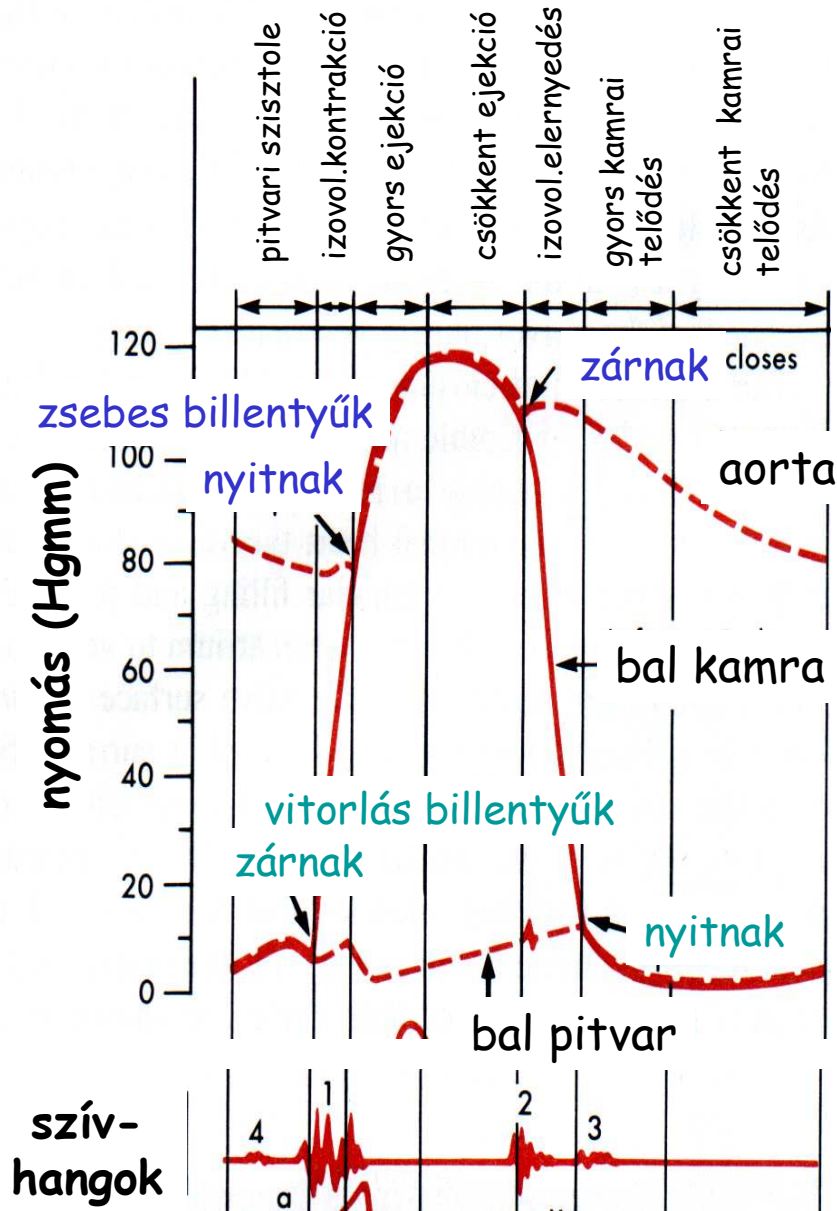
Ganong nyomán

# A szívciklus

1. Kettős diasztole: JP/JK és BP/BK közös ürtér, passzív telődés és feszülés
2. Pitvari szisztole: kamrai telődés fokozódása (fiatal 20%, öreg 50%); kamra még diasztolében
- 3-4. Kamrai szisztole: emelkedő kamrai nyomás, vitorlás billentyűk záródása (1. szívhang); **izovolumetriás** kontrakció és nyomásnövekedés; zsebes billentyűk nyílása és **izotóniás** kontrakció
5. Kamrai diasztole: kamrai **izovolumetriás** ellazulás, zsebes billentyűk záródása (2. szívhang); vitorlás billentyűk nyitásával **izotóniás** telődés

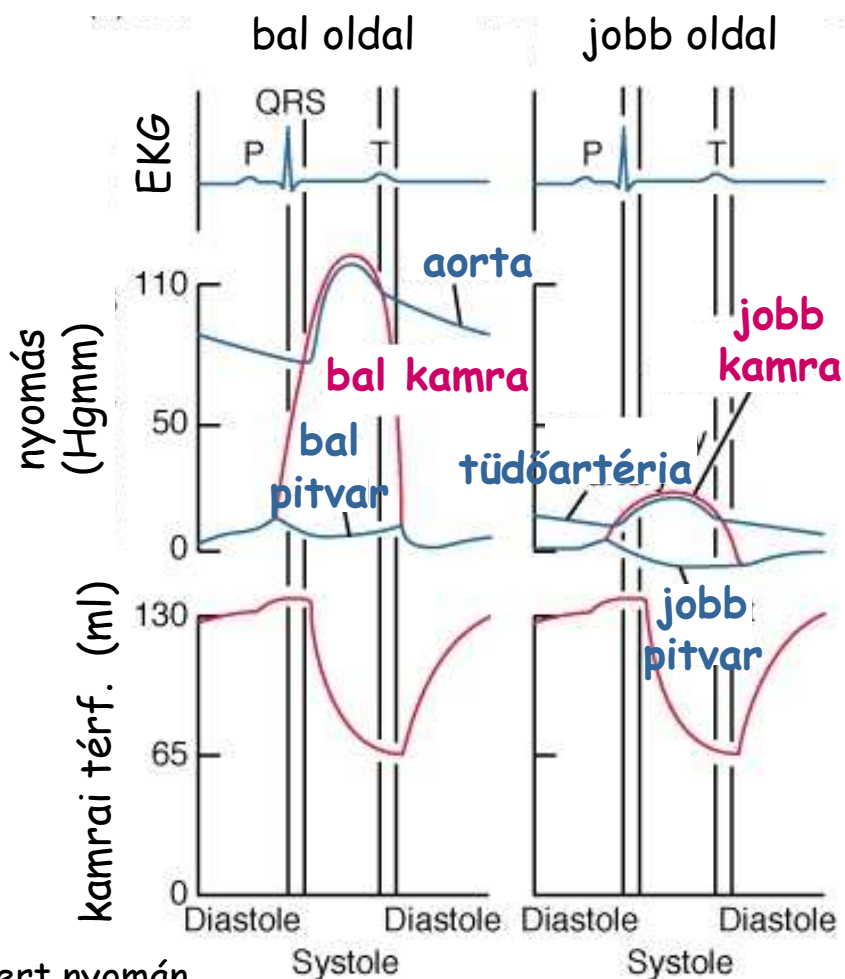


# A szívciklus alatti változások



# A szívciklus

- a szív jobb és bal oldalán közel azonos térfogat-, de eltérő nyomásváltozások!



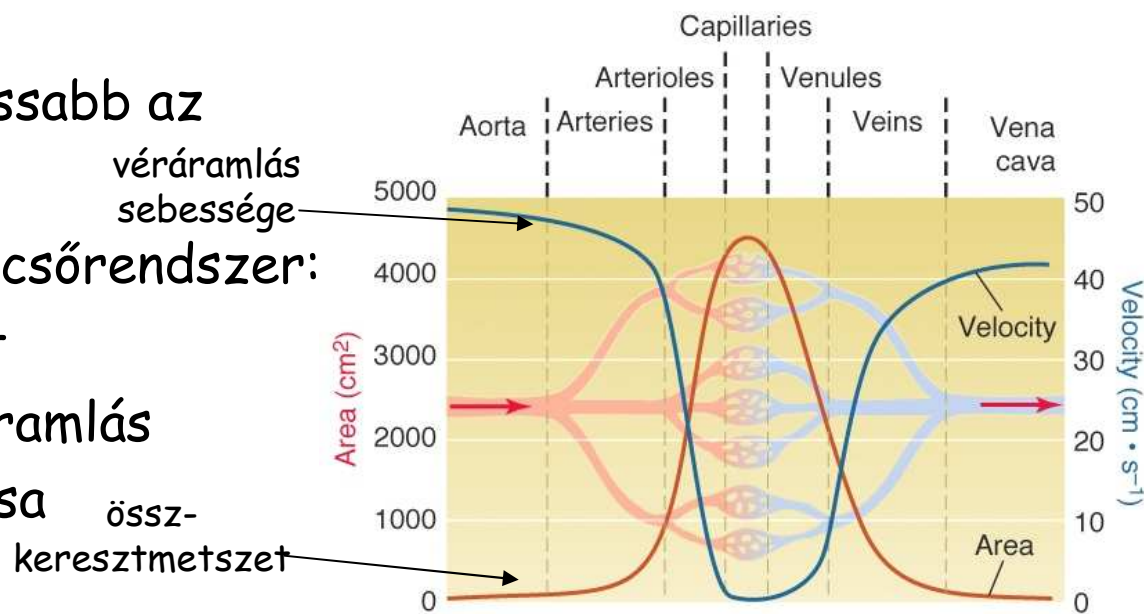
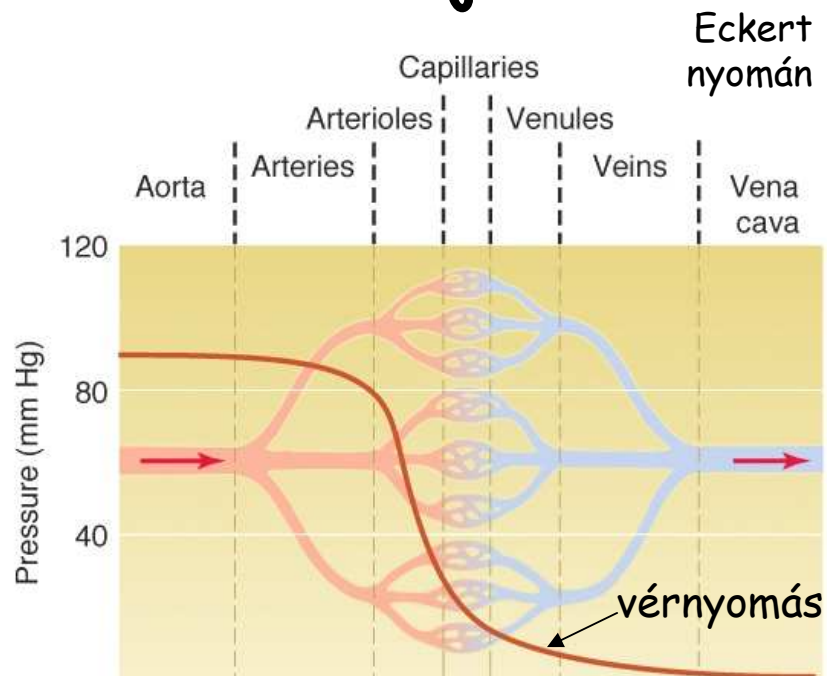
	nagy vérkör	kis vérkör
perctérfogat	5-5,5 l	5-5,5 l
kamrai diasztolés nyomás	>5	1-2
kamrai szisztolés nyomás	120	24
artériás diasztolés nyomás	120	24
artériás szisztolés nyomás	80	9
pulzusnyomás	40	13

[Hgmm]

Eckert nyomán

# Hemodinamika: a keringési rendszer fizikai jellemzői

- perfúziós **nyomás**: a vérkeringés fenntartása
  - a vérnyomás a vénás rendszer felé csökken
    - nagy vérkör:  $P_{\text{aorta}} - P_{\text{jobb pitvar}}$
    - kis vérkör:  $P_{\text{a. pulmonalis}} - P_{\text{bal pitvar}}$
- perctérfogat: a különböző erek összkeresztmetszetén azonos idő alatt azonos vérmennyiségnek kell áthaladnia;
  - minél nagyobb az **összkeresztmetszet**, annál lassabb az áramlás **sebessége**
- az érrendszer nem "ideális" csőrendszer:
  - viszkozitás - hematokrit
  - turbulens és lamináris áramlás
  - arteriolák nagy ellenállása
  - rugalmas érfal

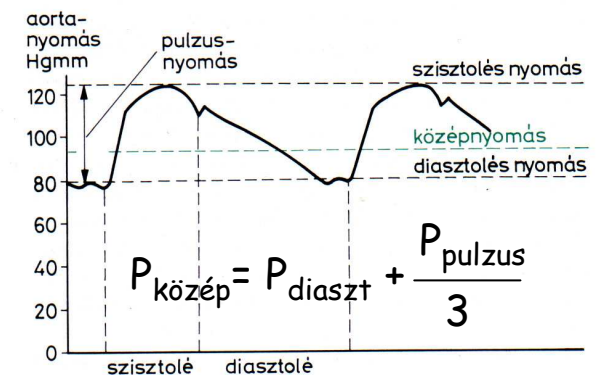
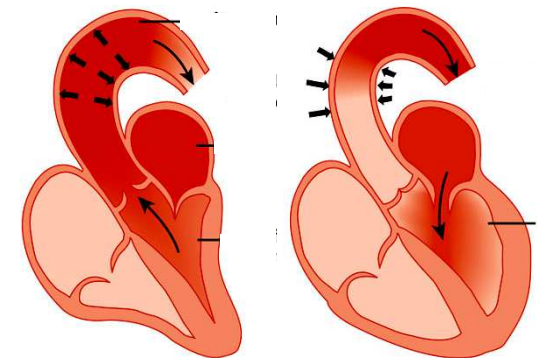
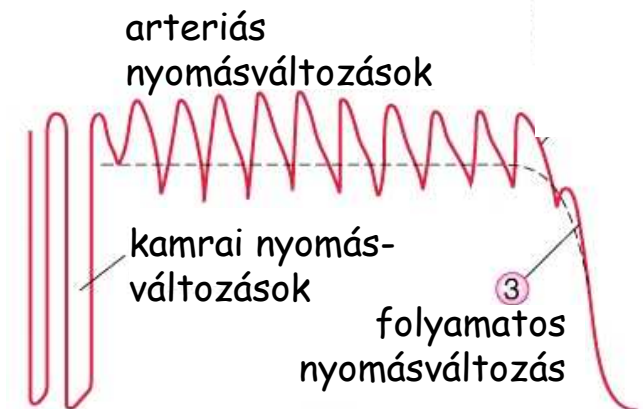






## 1. a magas nyomású érszakasz (80-120 Hgmm) - az arteriális rendszer:

- aorta + nagyobb, elasztikus + muszkuláris, vékonyabb arteriák
  - vastag, elasztikus és simaizmot is tartalmazó érfal
- belső nyomás nagy (<40 Hgmm) mértékben, szélső értékek között ingadozik
  - "szélkazán" funkció: mérsékeli a nyomásváltozások amplitúdóját
  - viszonylag nagy térfogat, rugalmas fal, kimeneten nagy ellenállás - kis nyomásváltozással folyamatos áramlás biztosítása
- **pulzusnyomás**: a pulzustérfogattól és a tágulékonyaságtól függ (compliance)
- **artériás középnyomás**: az arteriális vértérfogattól és az aorta/artéria falának rugalmasságától függ
- idős korban érfal rugalmassága csökken - szisztolés nyomás nő

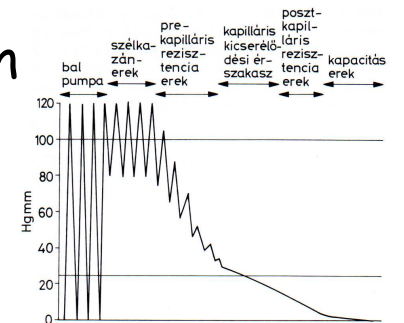
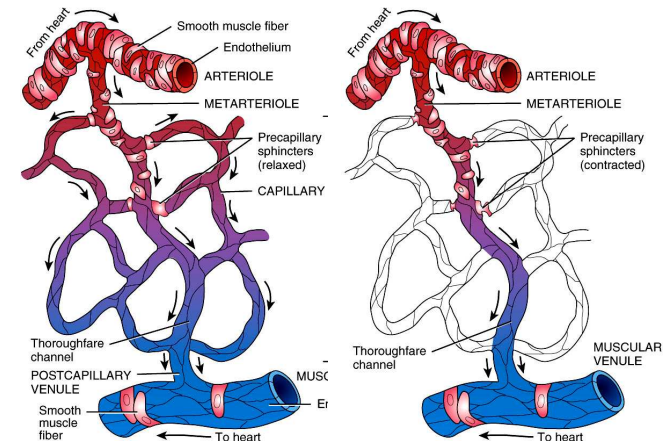


## 2. prekapilláris rezisztanciaerek (100-40 Hgmm):

- kis artériák + arteriolák + prekapilláris szfinkterek:
  - a nagy vérkör perifériás ellenállásának, a nyomásviszonyok beállításának nagy részéért felelősek
- az érkeresztmetszet kis változása már jelentős változásokat okoz (Hagen-Poiseuille egyenlet) - mechanikai, kémiai és idegi tényezők hatékony szabályozó szerepe
  - ha tágulnak:
    - a magas nyomású érszakaszon az artériás nyomás csökken;
    - véráramlás sebessége nő;
    - kapillárisokban vérnyomás nő
  - ha szűkülnek:
    - artériás nyomás nő
    - áramlás sebessége és a kapilláris nyomás csökken
- arteriolák kezdete és vége között nagy nyomáscsökkenés
- az artériák pulzáló áramlása és nyomása a kapillárisok elejére megszűnik - folyamatos áramlás

$$Q = \frac{(P_1 - P_2) \times \pi \times r^4}{8 \times l \times \eta}$$

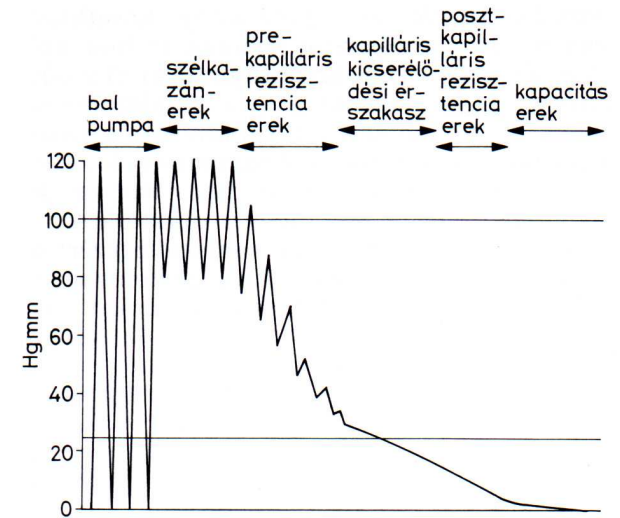
$Q$            áramlás intenzitása  
 $P_1 - P_2$      perfúziós nyomás  
 $r$              keresztmetszet  
 $\eta$             viszkozitás



9-5. ábra  
A nyomás változásai a nagy vérkör ereiben az aortától a nagy vénáig

### 3. az alacsony nyomású érszakasz (<20 Hgmm):

- kapillárisok, teljes vénás rendszer, jobb szívfél, tüdőkeringés, bal pitvar (bal kamra nem!)
- kapillárisok: **kicserélődési szakasz**
- venulák, vénák: kapacitáserek, **térfogati rezervoárok** (össz-vérmennyiség 55%-a)



9-5. ábra  
A nyomás változásai a nagy vérkör ereiben az aortától a nagy vénáig

### 4. + bal kamra (8-120 Hgmm)

[Hgmm]	nagy vérkör	kis vérkör
perctérfogat	5-5,5 l	5-5,5 l
kamrai diasztolés nyomás	>5	1-2
kamrai szisztolés nyomás	120	24
artériás diasztolés nyomás	120	24
artériás szisztolés nyomás	80	9
pulzusnyomás	40	13
artériás középnyomás	93	14
perfúziós nyomás	91	6
vérmennyiség eloszlása	73%	27%

## A kapilláris keringés

- terminális arteriolák, metarteriolák, prekapilláris szfinkterek, kapillárisok és posztkapilláris venulák

- metarteriolák, venulák falában nem összefüggő simaizomsejtek

- áramlás, nyomásviszonyok szabályozása:  
**prekapilláris szfinkter**

- kapilláris hely és funkció-függő zárása/nyitása

- 1 mm hossz, 3-10  $\mu\text{m}$  átmérő; növekedés igény-függő

- **arterio-venózus anasztomózis** v. átkötés (bőr, bőr alatti kötőszövet)

- ellátási (nutritional) és nem-ellátási (pl. hőszabályozás) keringés

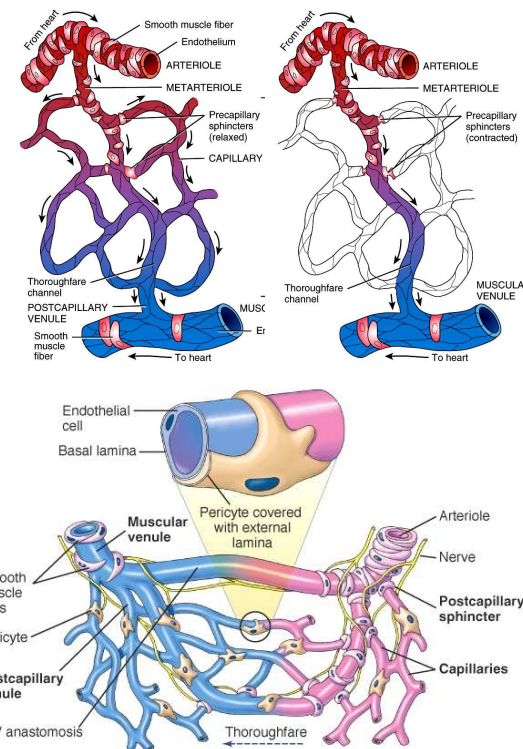
- anyagkicserélés: kapillárisok és posztkapilláris venulák

- ált. lassú átáramlás (0,5-1 mm/sec; vörösvértest átl. 1 sec-t tölt a kapillárisban), szöveti sejtek max. 3-4 sejtnyi távolságra

- anyagok átjutása:

- lipid-oldékony: érfalon keresztül

- vízdoldékony: endotél sejtek típusától függően



## A kapillárisok típusai

### 1. folyamatos

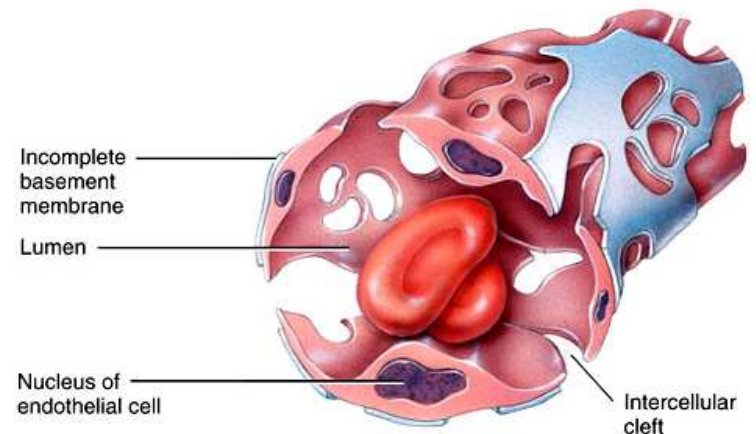
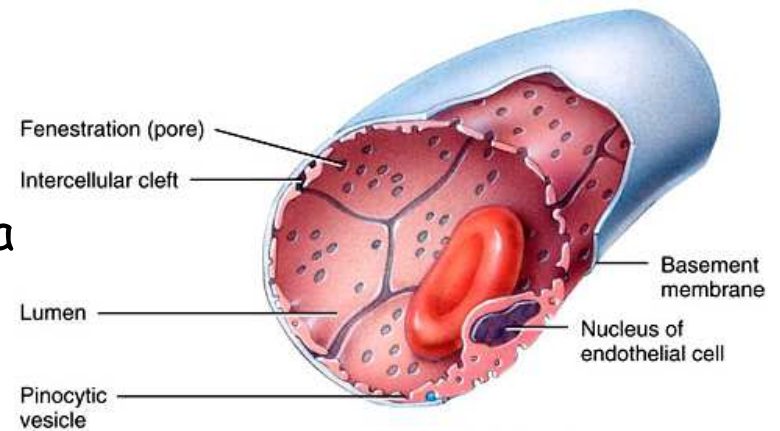
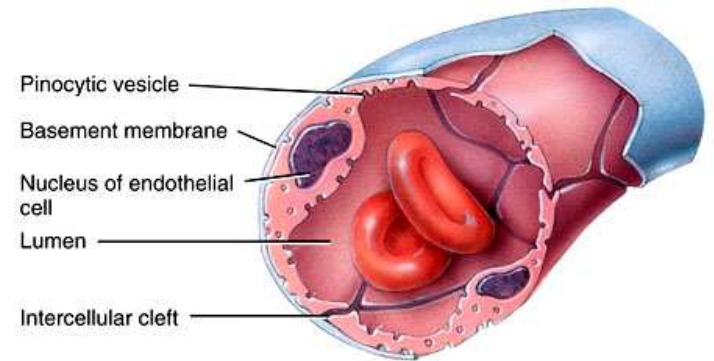
- folyamatos alaphártya, egymás melletti sejtek között pórusok; junkciók (víz, kis molekulák - ultrafiltráció)
- szabályozható permeabilitás
- izom-, idegszövet (de spec. vér-agy gát!), tüdő, kötőszövet

### 2. feneztrált (ablakos)

- 50-60 nm "ablakok", folyamatos alaphártya
- fehérjéken és vvt-n kívül gyak. minden átjuthat
- gyomor-bél, mirigyek, vese; cirkumventrikuláris szervek

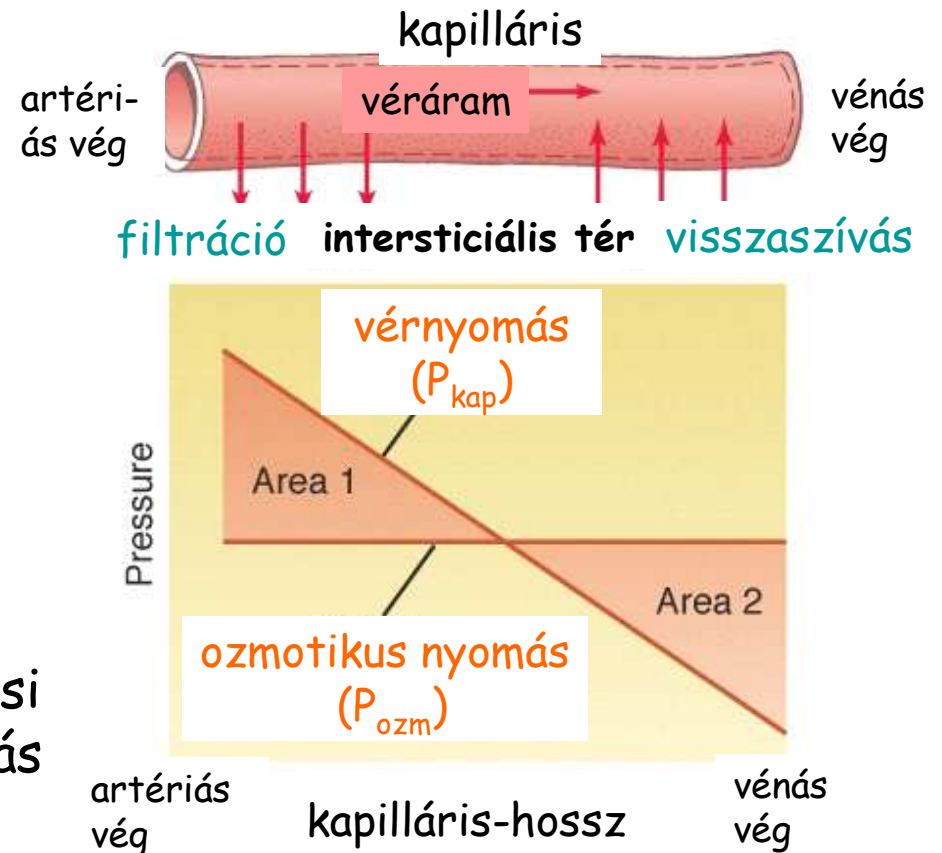
### 3. szinuszoid

- alaphártyán átnyúló, nagy paracelluláris nyílások
- szabad anyagáramlás
- máj, csontvelő, lép, mellékvese

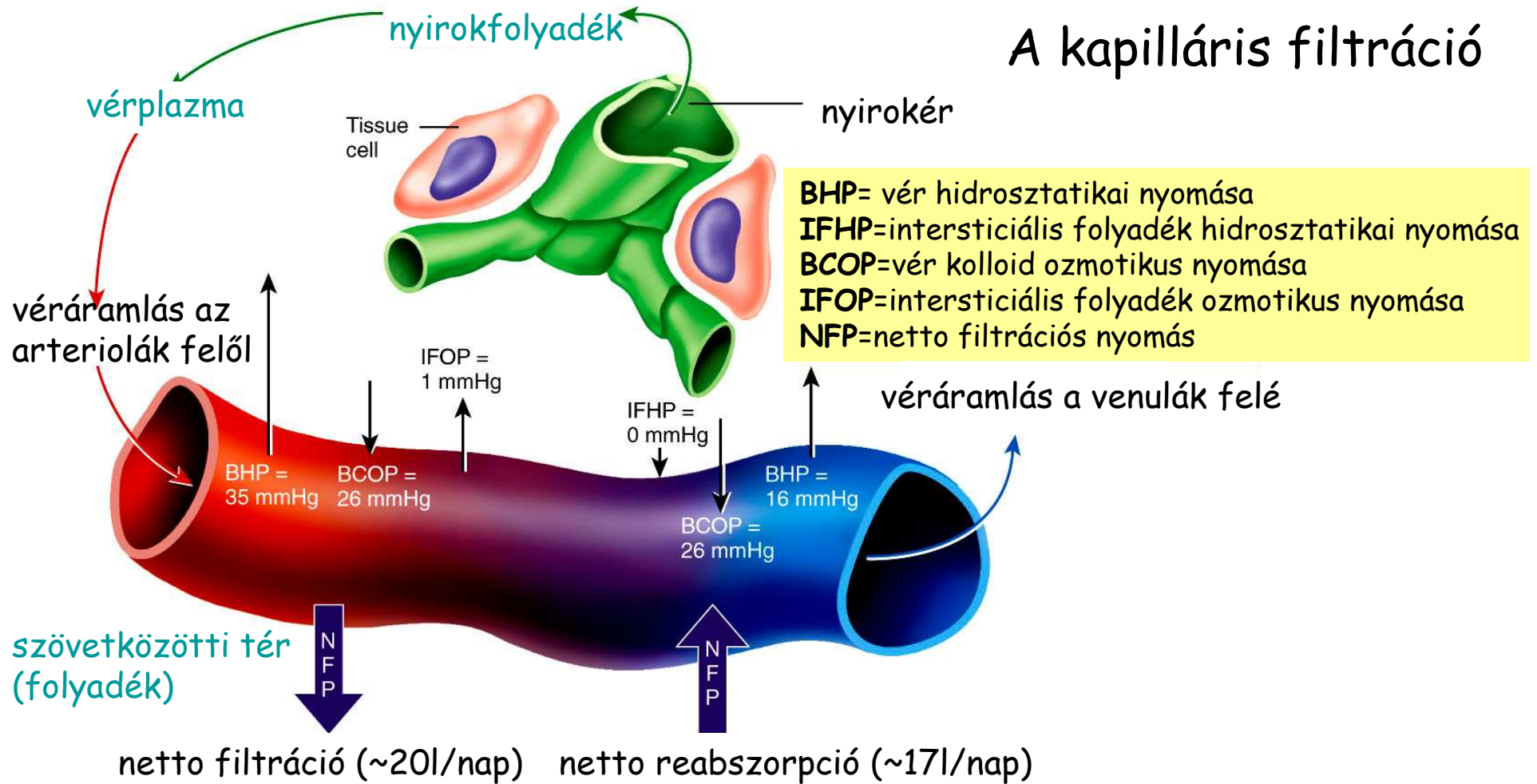


## A kapilláris filtráció

- nyomásviszonyok miatt filtráció: sokkal hatékonyabb, mint a diffúzió
- kapillárisfal fehérjére ált. nem permeábilis - **ultrafiltráció** (csak víz és kis molekula jut át)
- Starling-féle filtrációs mechanizmus: a filtrációt a kapillárisokon belüli és kívüli **hidrosztatikai** (vérnyomás) és **kolloidozmotikus** (vérplazma fehérjék) **nyomáskülönbség** befolyásolja - **effektív filtrációs nyomás**
- plazmafehérjék konc-ja nagyobb, mint az intersticiális folyadéké -  $P_{ozm}$  kevésbé változik a kapillárisban
- kapilláris hidrosztatikai nyomása ( $P_{kap}$ ) a pre- és posztkapilláris érellenállástól függ
  - Pl.: arteriola tágulás, venula szűkülés  $\rightarrow P_{kap} \uparrow$ ;
  - arteriola szűkül  $\rightarrow P_{kap} \downarrow$
- az eff. filtrációs nyomást az áramlási autoreguláció függetleníti az arteriális vérnyomásváltozástól



# A kapilláris filtráció



$$NFP = (BHP + IFOP) - (BCOP + IFHP)$$

artériás vég

$NFP = (35 + 1) - (26 + 0)$   
 $= 10 \text{ mmHg}$

**netto filtráció**

vénás vég

$NFP = (16 + 1) - (26 + 0)$   
 $= -9 \text{ mmHg}$

**netto reabszorpció**



## A vénás rendszer

- vékony fal, nagy tágulékonyság - kapacitáserek
- legnagyobb vénák kivételével billentyűk
- sok "átkötés" (anasztomózis) a mély és a felületi vénák között
- alacsony nyomás (max. 11 Hgmm) - jobb pitvarban nyugalomban 0 Hgmm (centrális vénás nyomás)

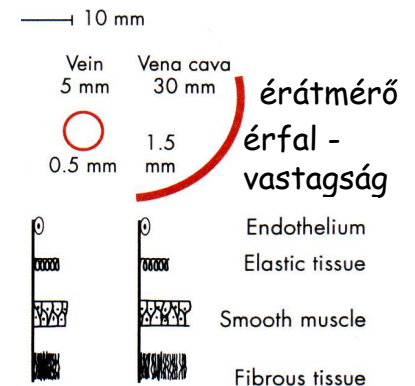
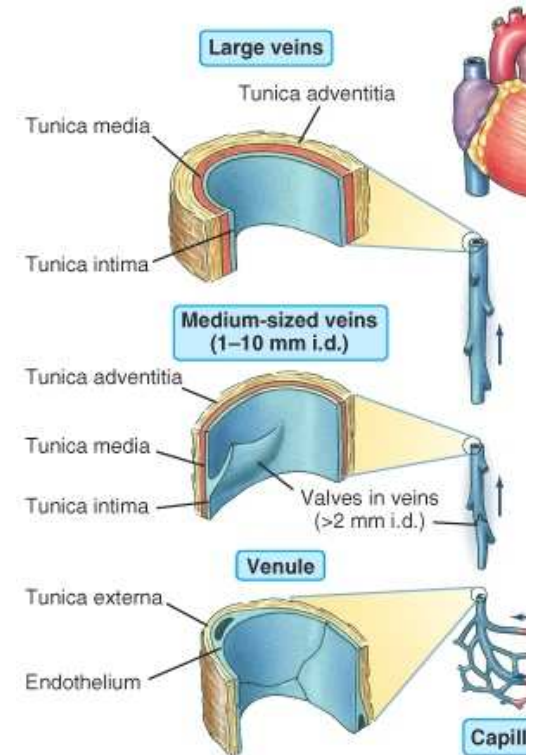
vénás nyomás befolyásolása:

### 1. keringési tényezők:

- vénás telődés, kapillárisnyomás
- jobb szívfél, kis vérkör működése
- saját simaizomsejtek tónusa

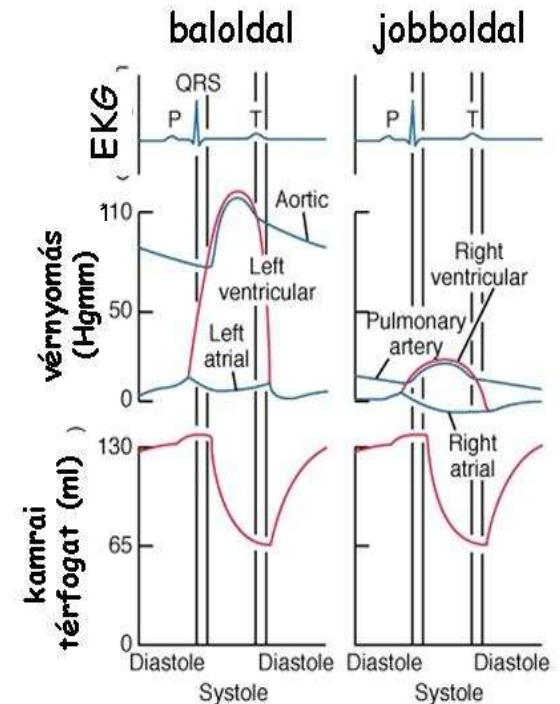
### 2. keringésen kívüli tényezők:

- intratorakális és intraabdominális nyomás változása (pl. Valsalva)
- testhelyzet (alsó vénák kitágulnak; visszér)
- vázizomzat működése (izompumpa)



## A kis vérköri keringés

- jobb kamra - a. pulmonalis - artériák - arteriolák - tüdőkapillárisok - venulák - vénák - v. pulmonalis - bal pitvar
- **alveoláris hipoxia: vazokonstriktió** - a nem megfelelően ventillált tüdőréteg kiesik a keringésből (nagy vérkörben hipoxia vazodilatációt okoz!)
- a kis és a nagy vérkörben az átáramló vérmennyiség (a perctérfogat) azonos, de a nyomásviszonyok jelentősen eltérnek
- az **artériás középnyomás csak 1/7-e a nagy vérkörnek** és csak kis mértékben csökken, így
  - a tüdő arteriolák **nem rezisztencia-erek** (nincs prekap. szfinkter!)
  - a kis vérköri ellenállás sokkal kisebb (érfal vékonyabb, kevesebb izom, jóval tágulékonyabb)
  - az alacsonyabb hidrosztatikai nyomás miatt a tüdőben csak **kevés intersticiális folyadék** keletkezik



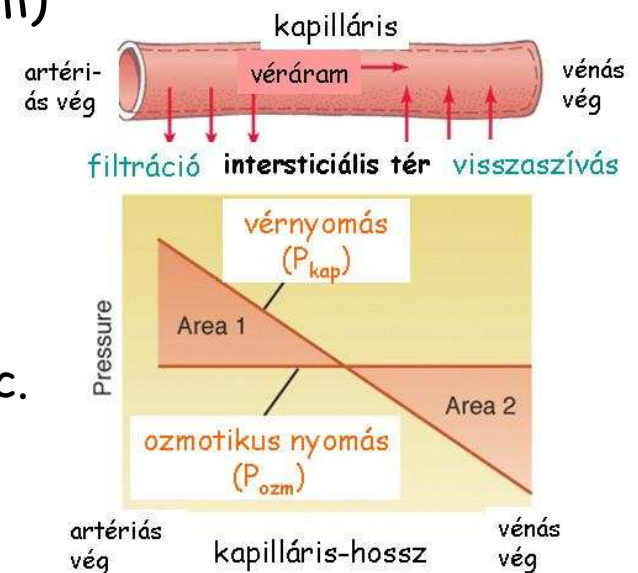
DE pl. szívelégtelenség, bal kamra csökkent működés  $\Rightarrow$  bal pitvari nyomás nő  $\Rightarrow$  tüdőerekben nyomás nő  $\Rightarrow$  nagyobb filtráció  $\Rightarrow$  ödéma (hacsak a nyirokáramlás nem fokozódik)

# A nyirokáramlás

- szövetközi tér (intersticiális tér; ICF): kötőszöveti rostállomány, mátrixanyagok (fehérjék), elektrolit oldat
- nyirokkapilláris - nyirokér - nyirokcsomó - ductus thoracicus, tr. lymphaticus - vénás rendszer
- intersticiális folyadék: folyamatos kicserélődés; kb. 1%-a nyirokkapillárisokba kerül (nyirok)
- immunológiai funkció: nyiroksejtek, védekezés
- keringésdinamikai funkció: szövetközi folyadék állandó szinten tartása (kapilláris filtráció > reabszorpció)
- nyirokkeringés fenntartása:
  - izommunka (nyirokerekek simaizmai, vázizom)
  - billentyűk

**ödéma:** filtráció - reabszorpció - nyirokáramlás egyensúlyának felborulása

- vénás visszaáramlás gátlása (gravitáció)
- effektív filtráció növekedése (plazmafehérje konc. csökkenés - éhezés; máj-, veseelégtelenség)
- nyirokér elzáródás (elkötés; mozdulatlan végtag)



## Az agy folyadékterei

- 1) intracelluláris tér (ideg- és gliasejtek)
- 2) vérplazma (erek)
- 3) szövetközi tér (intersticiális tér, ICF)
- 4) cerebrospinális folyadék (CSF; agykamrák, szubarachnoidális tér)

**vér-agy gát:** vérplazma - intersticiális tér között

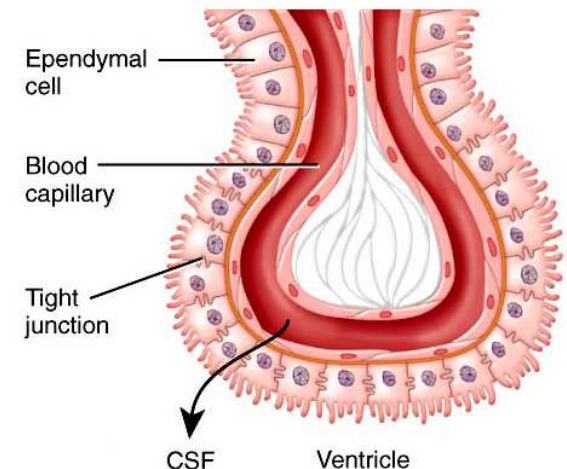
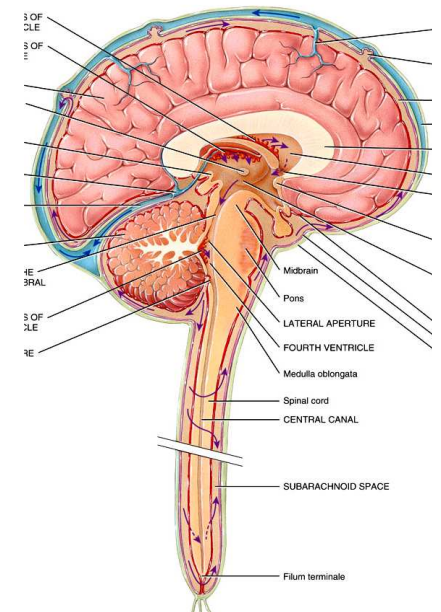
- kapilláris endotélsejtek szorosan zártak, speciális transzport (kivéve cirkumventrikuláris szervek!)
- ICF: endotélsejtek szekréciós terméke

**vér-liquor gát:** vérplazma - CSF tér között

- fenesztrált kapilláris endotélsejtek, szorosan zárt endodima sejtek: **plexus chorioideus**

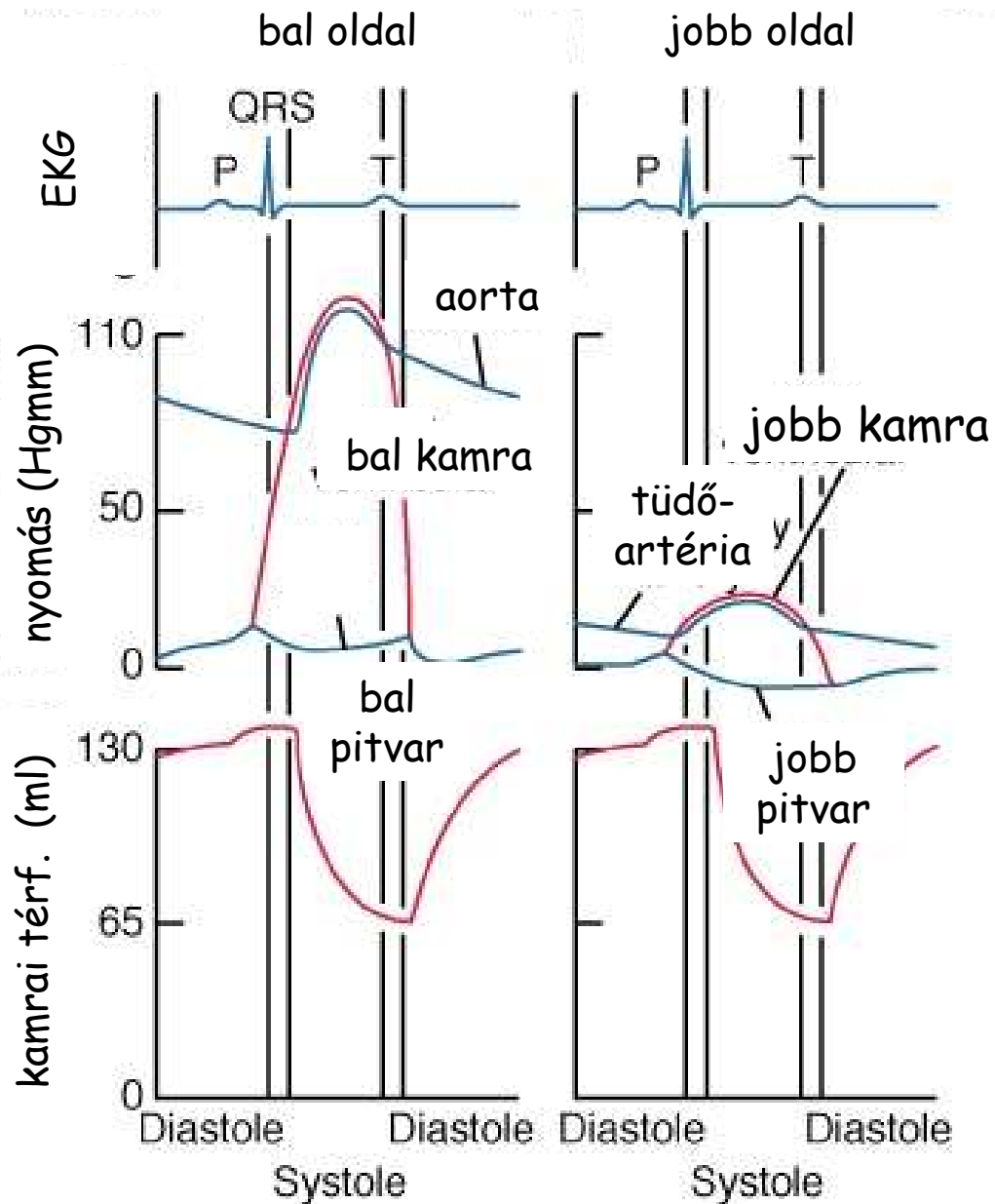
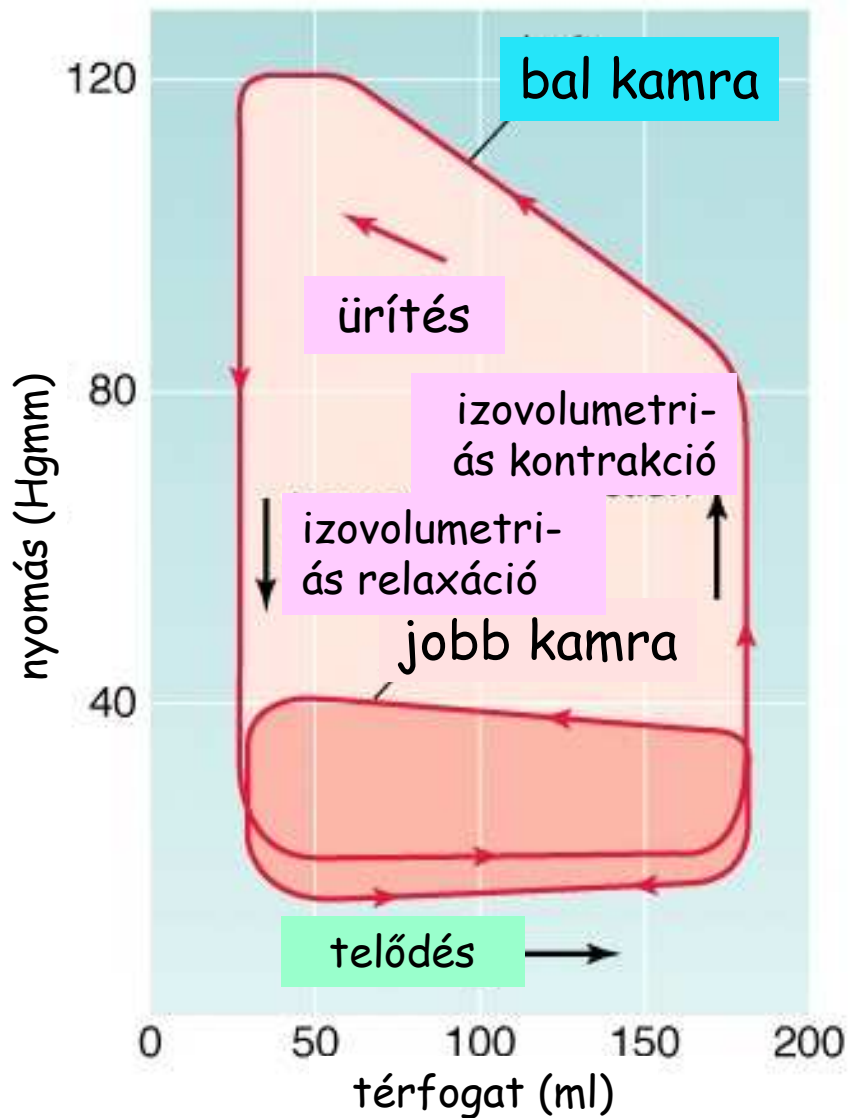
**liquor**

- ~150 ml; 550 ml/nap termelődés
- ~70% chorioid plexus endodima sejtekből, ~30% ICF-ből származik
- visszaszívódás agyi vénás szinuszokból (villi arachnoidales) hidrosztatikai nyomáskülönbség alapján
- fizikai védelem, anyagtranszport

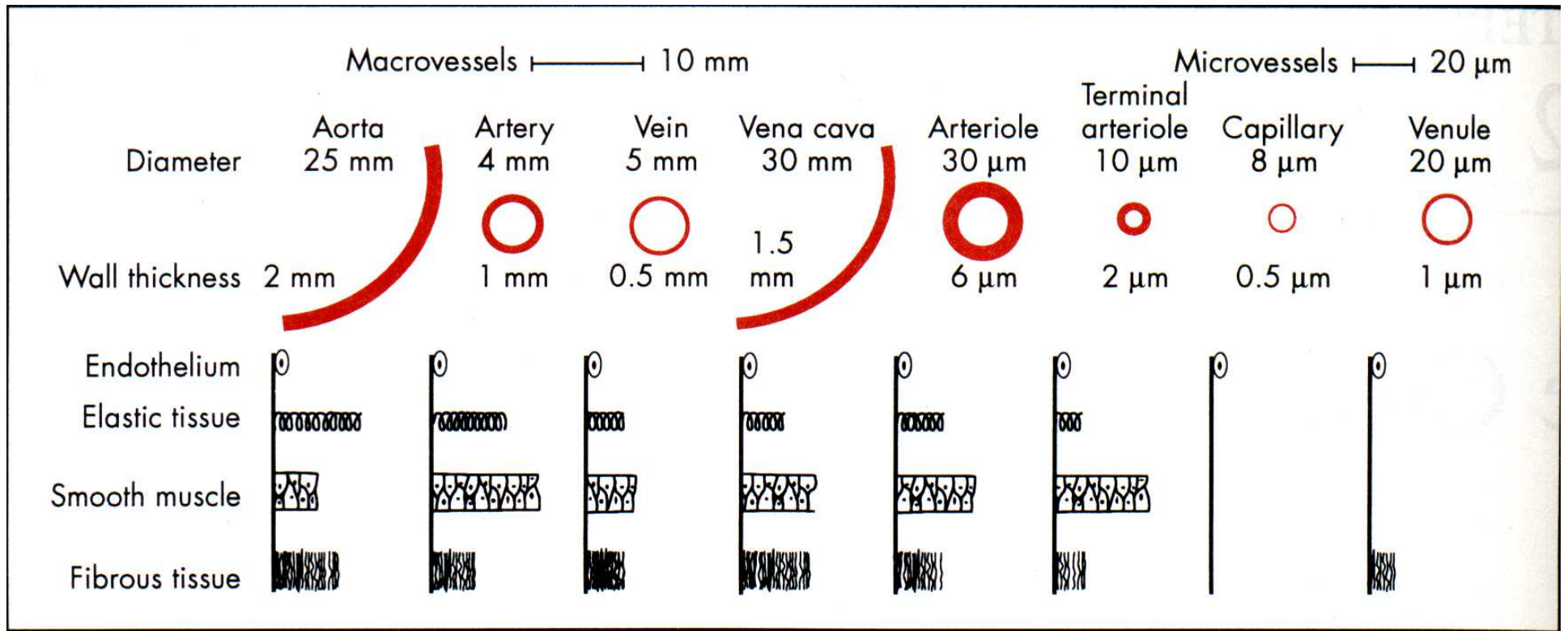


**Ábrák**

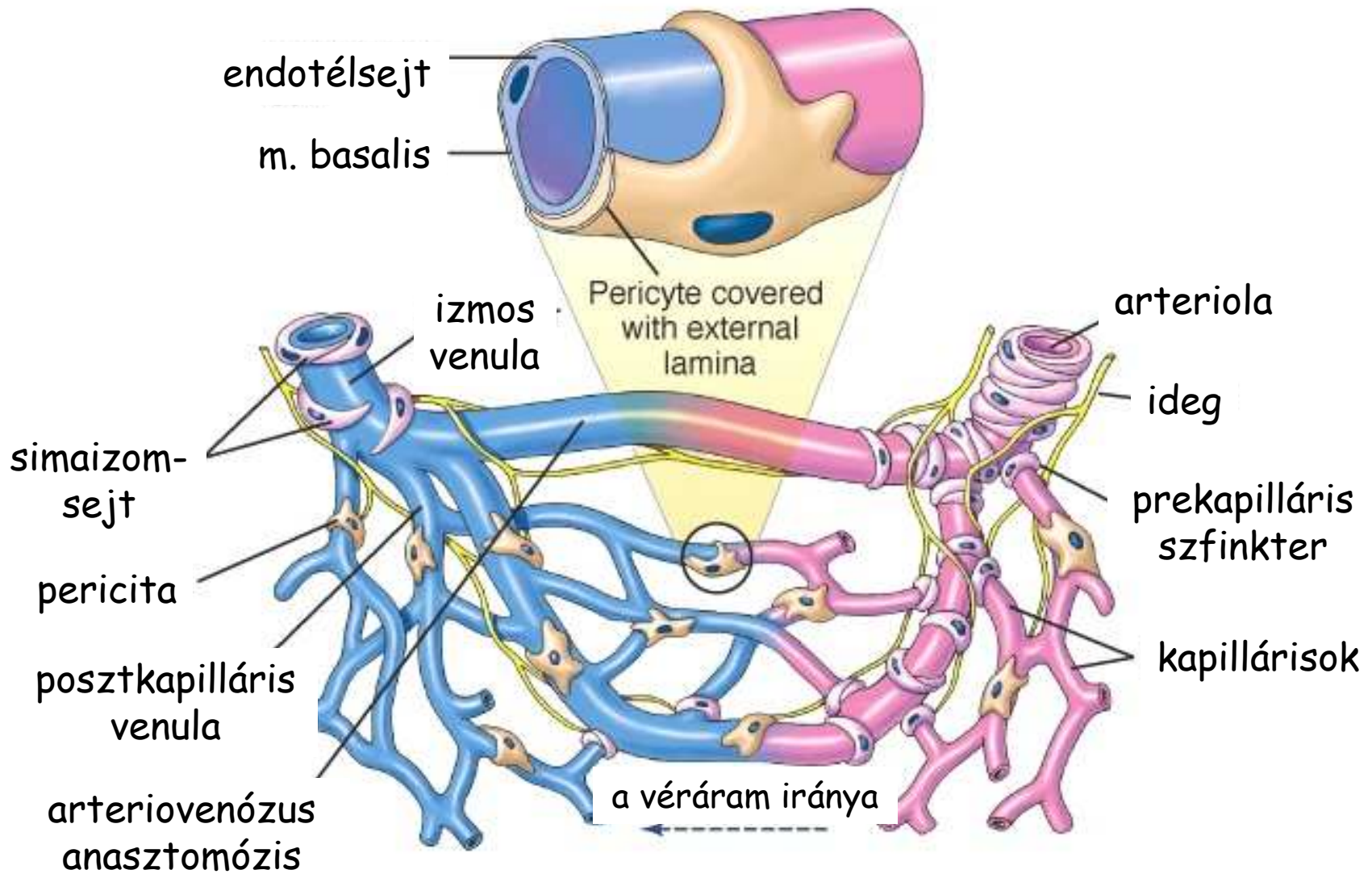
# Nyomás- és térfogatváltozás a szívciklus során



# Az érfalak összehasonlítása

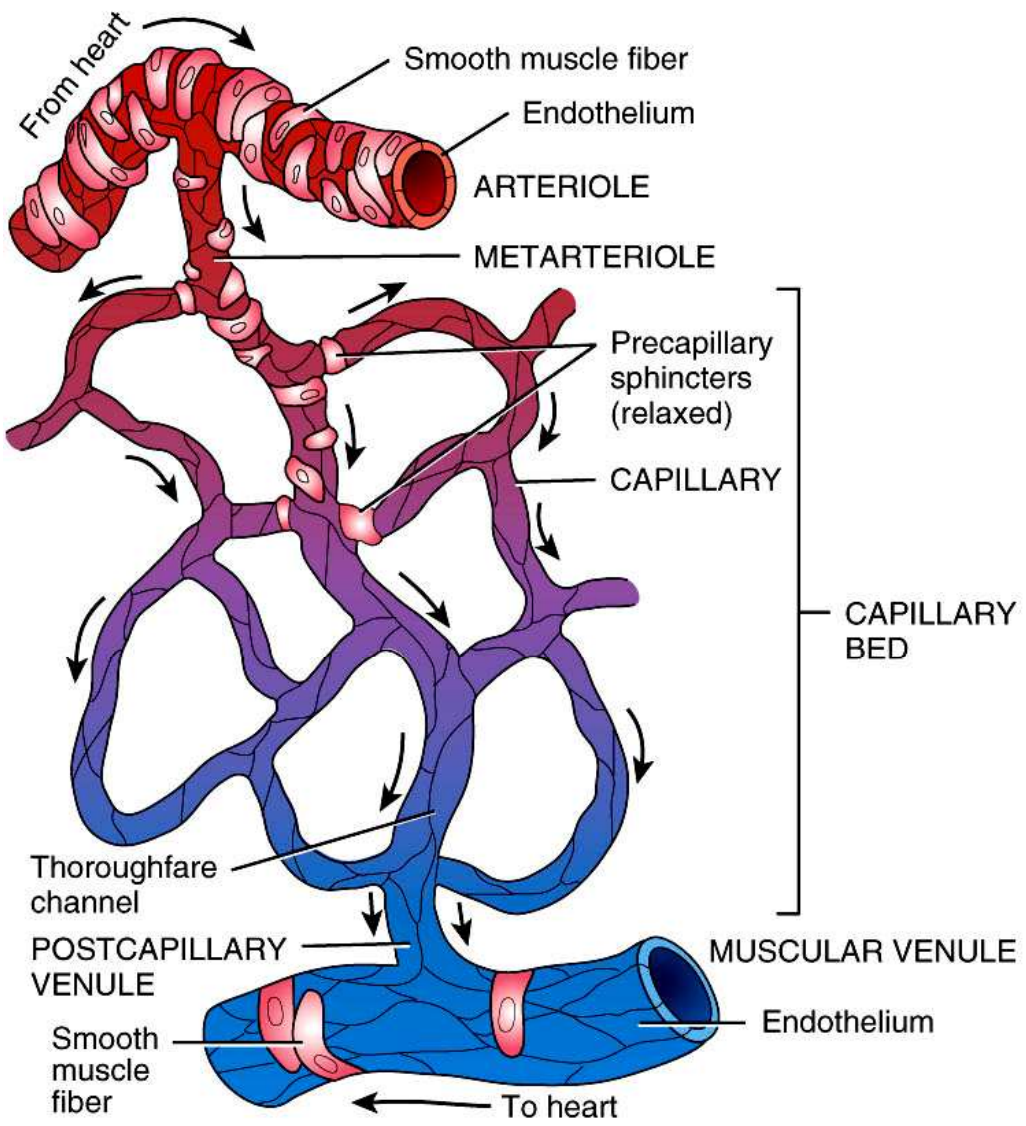


# A kapilláris keringés

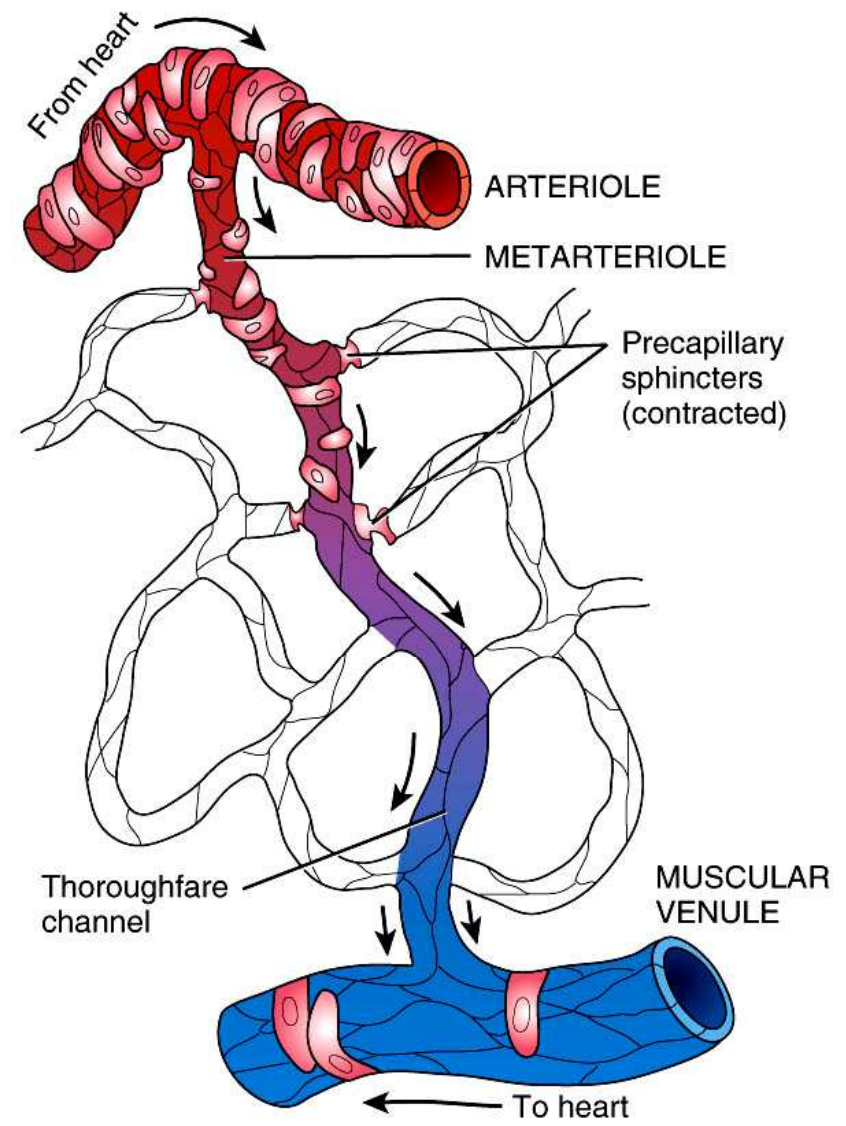




# A prekapilláris szfinkterek működése



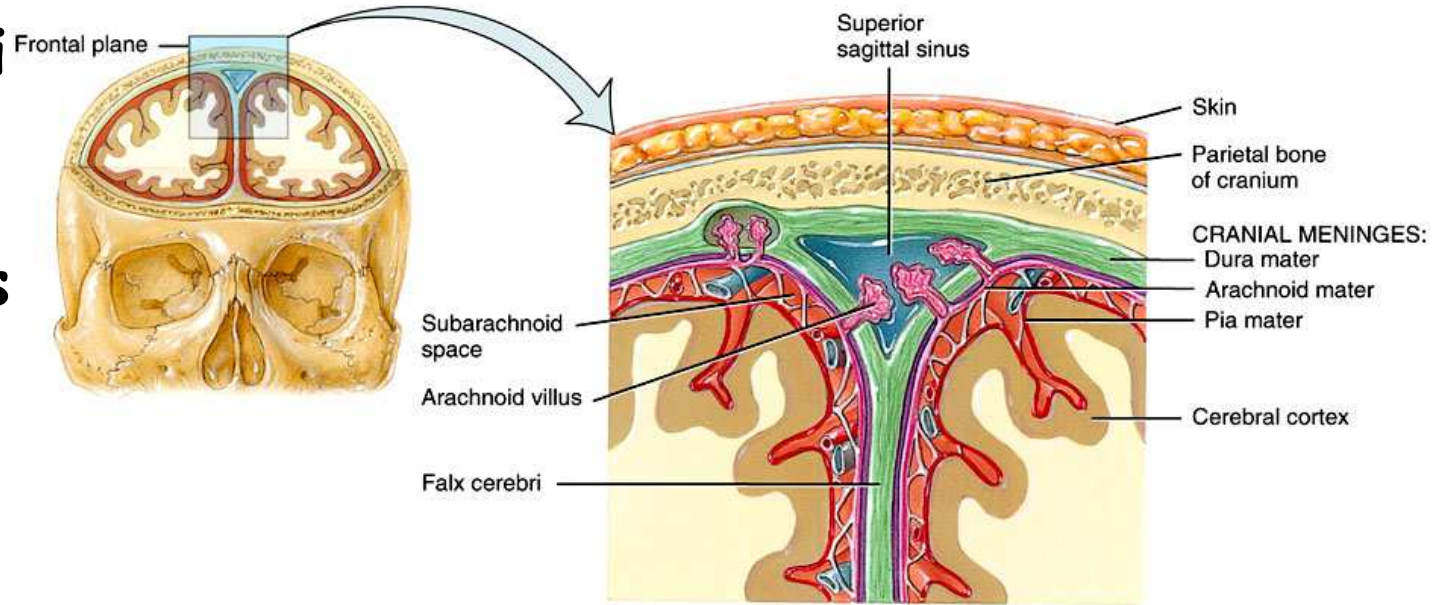
(a) Sphincters relaxed: blood flowing through capillaries



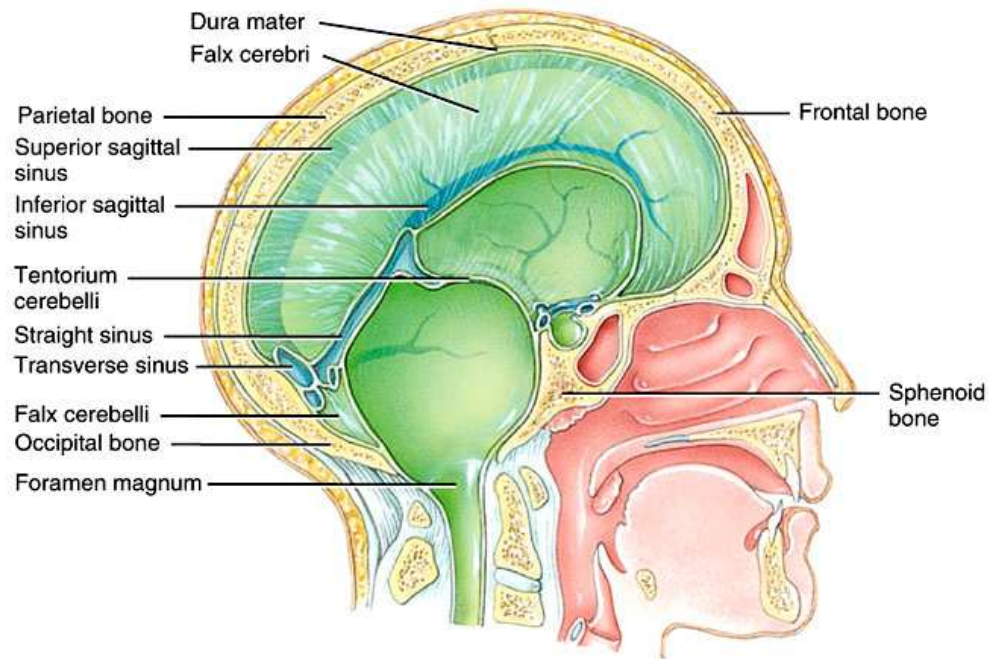
(b) Sphincters contracted: blood flowing through thoroughfare channel

Figure 21.03 Tortora - PAP 12/e  
 Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

**Az agy fizikai  
védelme:  
koponya,  
agyhártyák és  
a CSF**

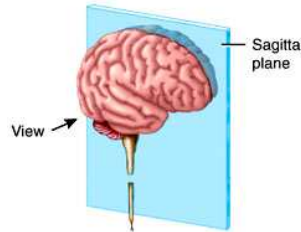
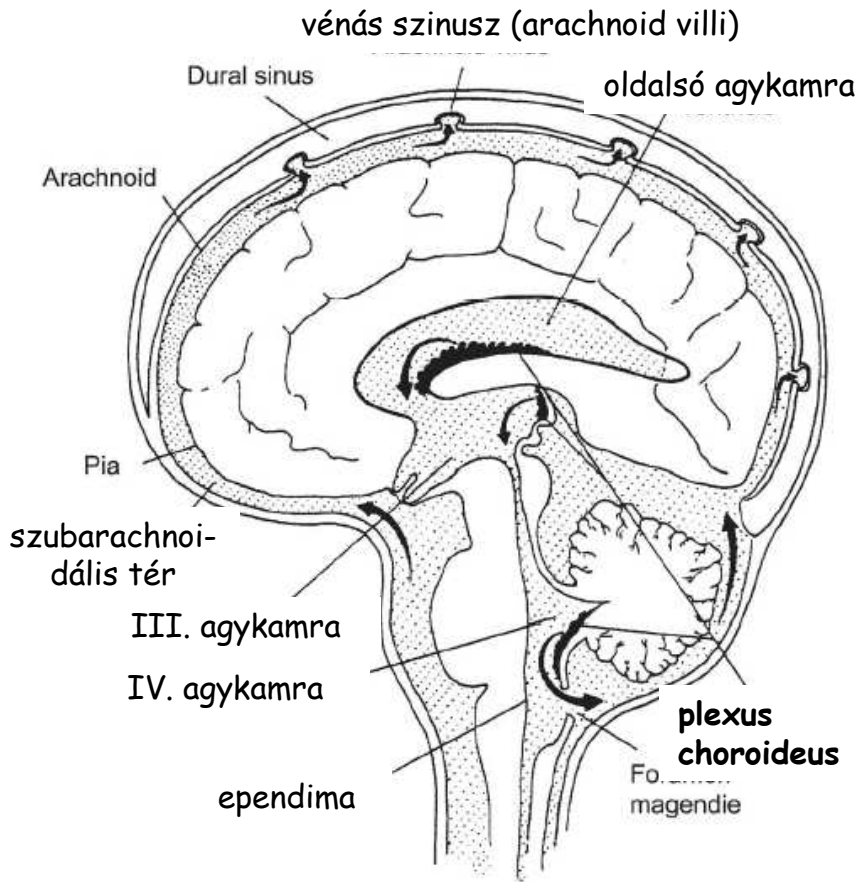
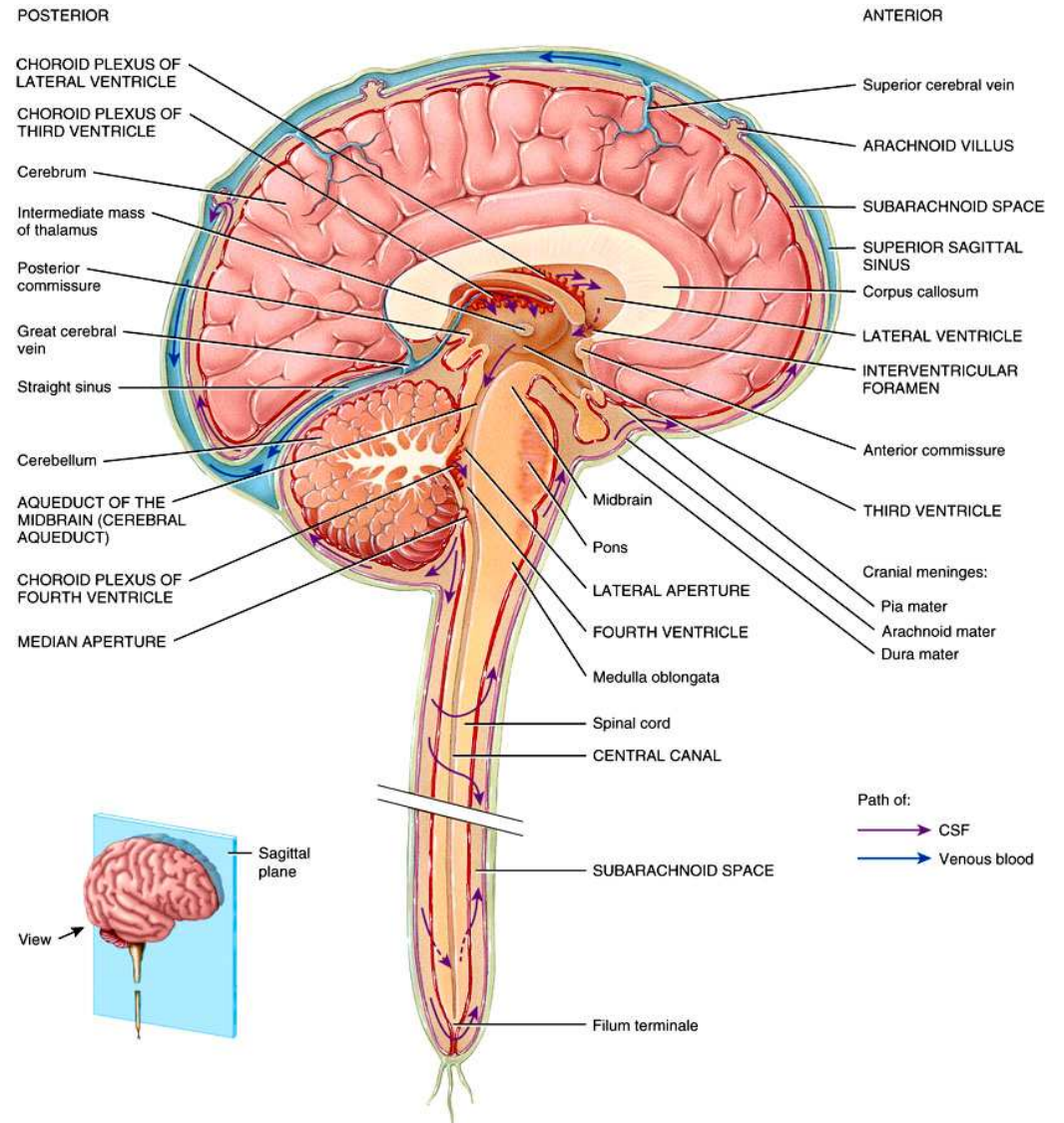


(a) Anterior view of frontal section through skull showing the cranial meninges



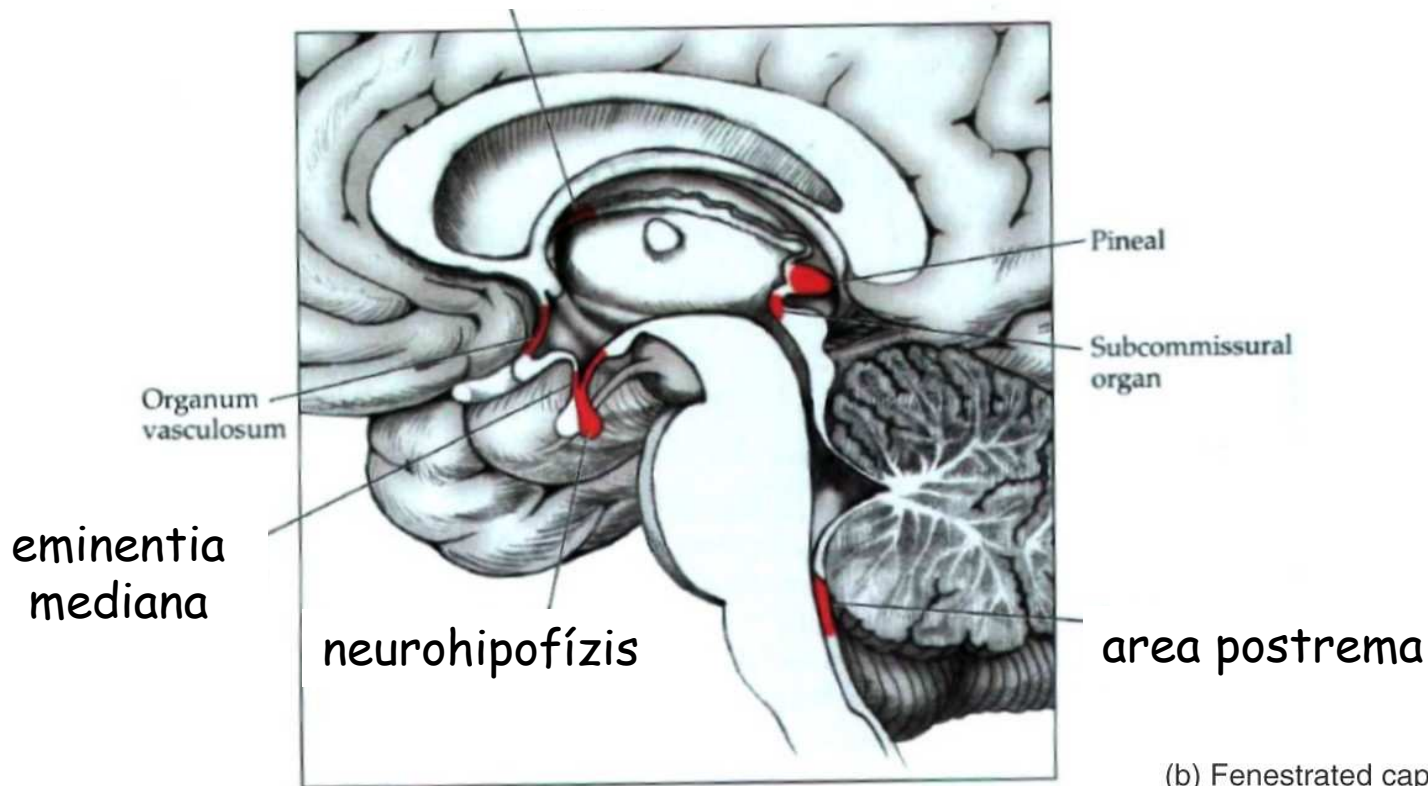
(b) Sagittal section of extensions of the dura mater

# A cerebrospinális folyadék

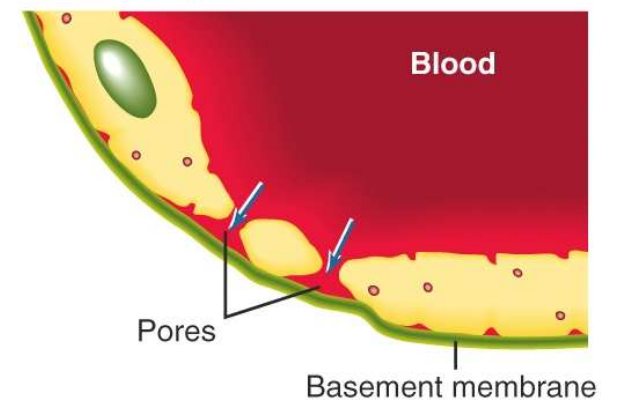


# A cirkumventrikuláris szervek

szubfornikális szerv



(b) Fenestrated capillary



feneztrált (ablakos) kapilláris