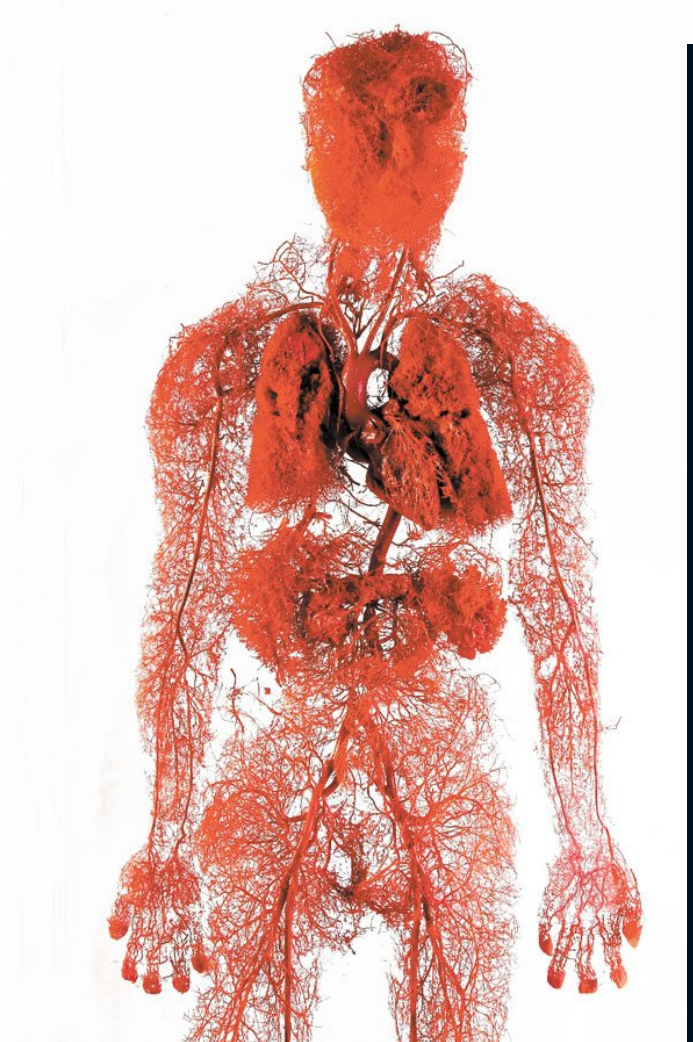
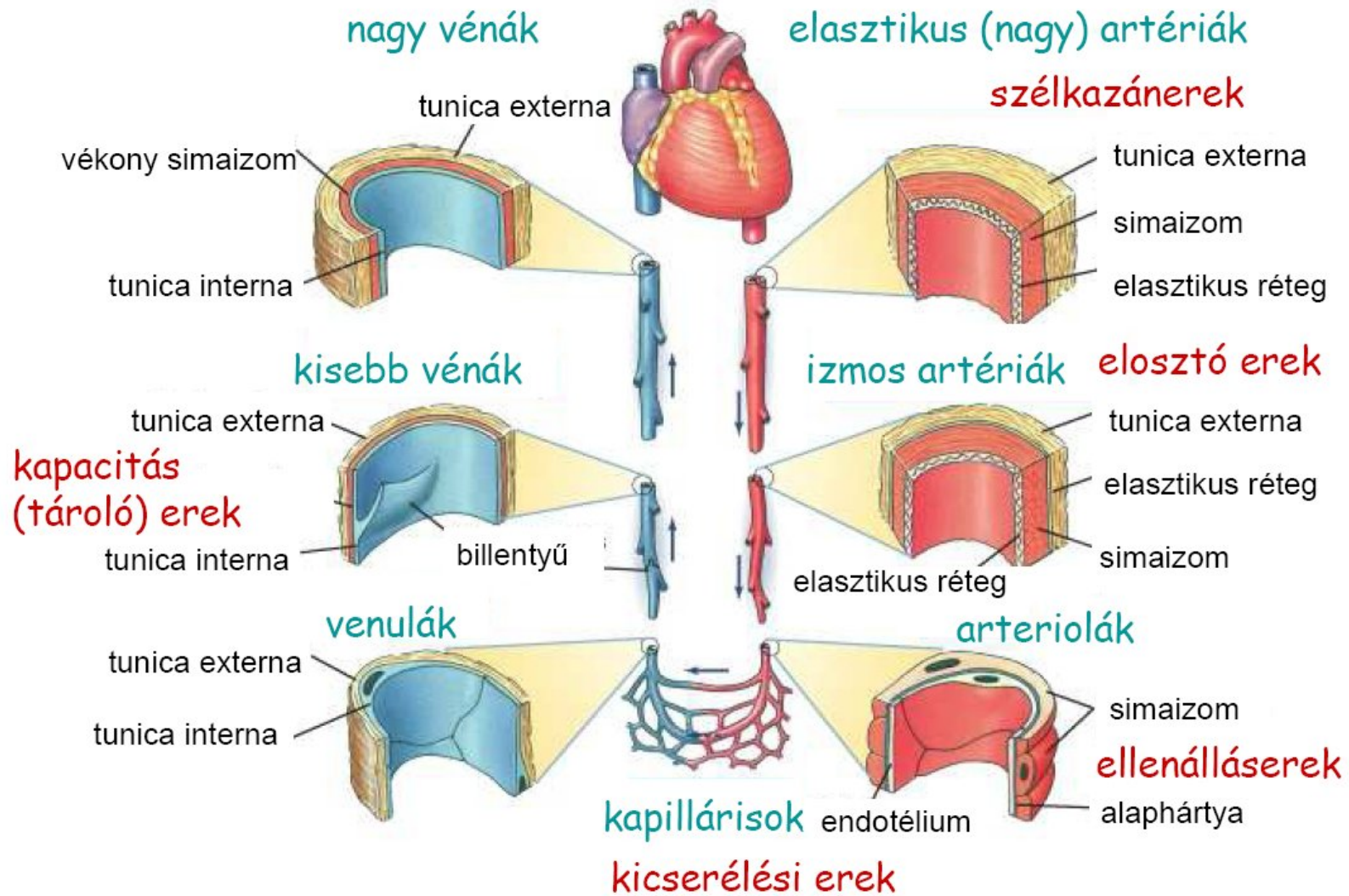


# Az érrendszer jellegzetességei, a vérkeringés szabályozása



# A keringési rendszer szakaszai



# A keringési rendszer szakaszai I.

## I. magas nyomású szakasz (80-120 Hgmm) - az artériás rendszer

### I./1. szélkazan erek

- ❖ folyamatos véráramlás biztosítása
- ❖ nyomásingadozások amplitúdójának mérséklése
- ❖ vastag, rugalmas fal
- ❖ a rugalmasságot az érfal merev kollagén rostjai korlátozzák

### I./2. konduktív erek

- vezető funkció

## II. prekapilláris rezisztenciaerek (100-40 Hgmm)

kis artériák + arteriolák + prekapilláris szfinkterek (záróizmok)

### ❖ megszabják, hogy mekkora a nyomás az előttük fekvő erekben

- ha általánosan kitágulnak (vazodilatáció): artériás nyomás csökken
- ha általánosan összeszűkülnek (vazokonstriktió): artériás nyomás nő

### ❖ megszabják, hogy az utánuk jövő erekben mekkora a vérátáramlás

- tágulás: fokozott áramlás és nyomás a kapillárisokban
- összeszűkülés: csökken áramlás és nyomás a kapillárisokban

# A keringési rendszer szakaszai II.

## III. alacsony nyomású érszakasz (20 Hgmm alatt)

kapillárisok + teljes vénás rendszer + jobb szívfél +  
tüdőkeringés + bal pitvar

- egyenletes a véráramlás bennük

### III/1. kicserélődési érszakasz:

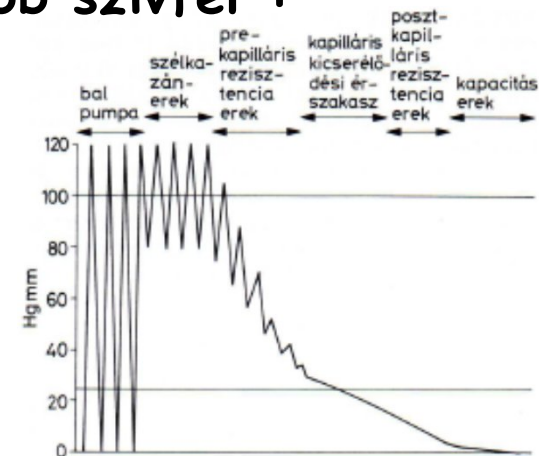
kapillárisok + posztkapilláris venulák

### III/2. kapacitáserek: venulák és vénák

- vékony fal, benne kevés rugalmas elem
- ovális lehet a keresztmetszetük
- kis nyomásnövekedés is nagyon megnöveli bennük a vér mennyiségét
- a teljes vérmennyiség 55 %-a (!) a nagy vérkör kapacitásereiben van

## IV. bal kamra

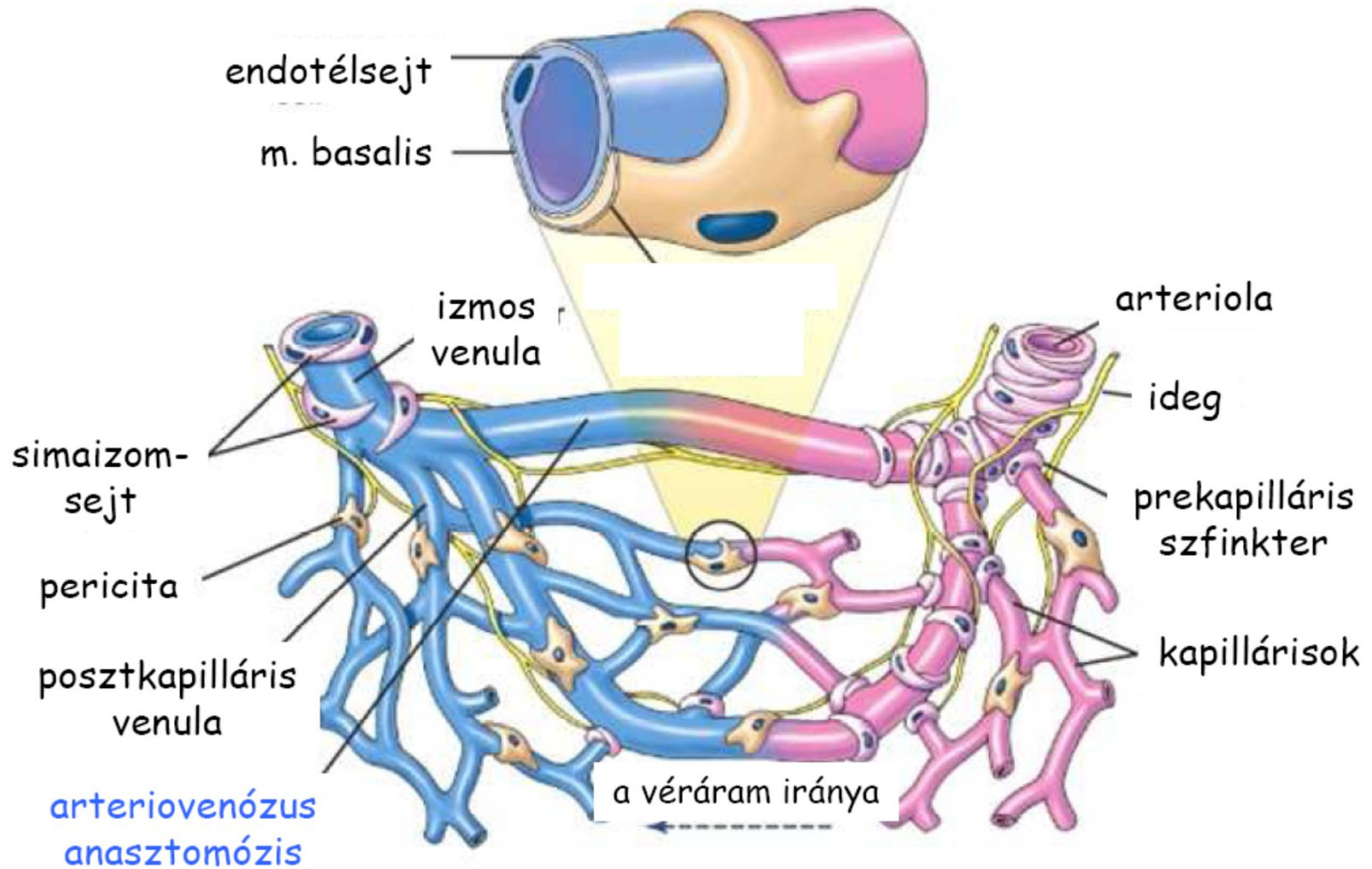
- külön kategória, sehova sem sorolható (8 és 120 Hgmm között ingadozik benne a nyomás)



9-5. ábra

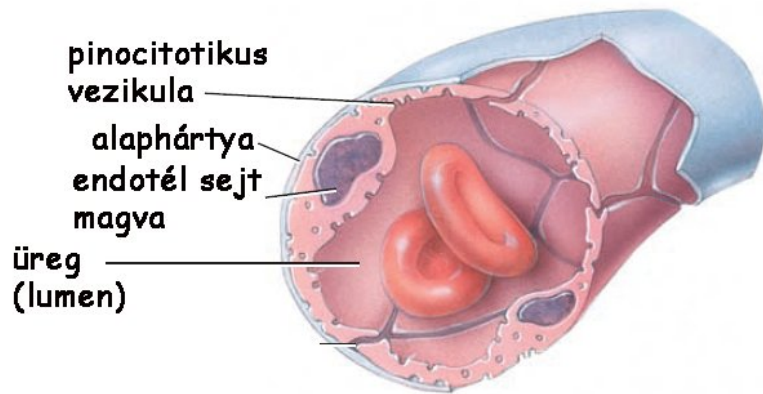
A nyomás változásai a nagy vérkör ereiben az aortától a nagy vénáig

# Kapilláris keringés



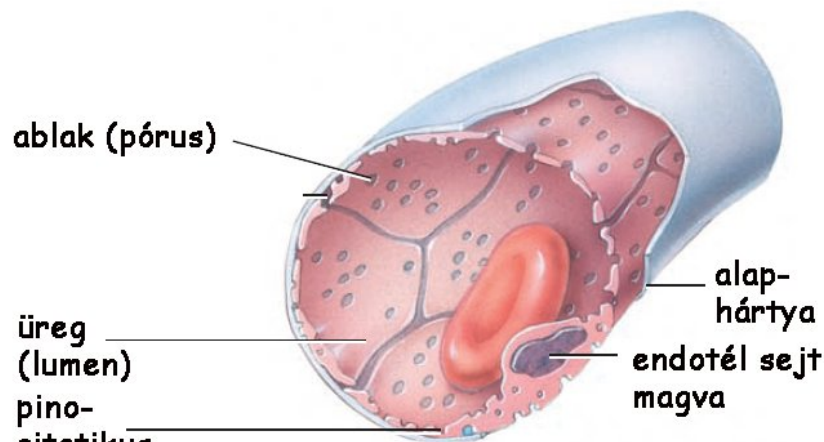
# Kapillárisok

- kicserélődési érszakasz tagjai,
- szövetek ellátása a feladatuk
- faluk szerkezete:
  - ✓ egyetlen endothelsejt-réteg + bazális membrán
  - ✓ nincs simaizom → nem tud összehúzódni



folyamatos ("valódi") kapilláris

**folyamatos („valódi”) kapilláris**  
✓ kapillárisok túlnyomó része



fenesztrált („ablakos”) kapilláris

**fenesztrált („ablakos”) kapilláris**  
✓ endotél sejtek membránjában 70-100 nm átmérőjű „lyukak”  
✓ vesében  
✓ bélbolyhokban  
✓ plexus choroideus (agy-gerincvelői folyadék termelése)  
✓ endokrin szövetekben

# Kapilláris anyagtranszport

3 fő mechanizmus

- **diffúzió**

- légzési gázok, glükóz, aminosavak, hormonok
- agyban vér-agy gát: szoros kapcsolatok az endotél sejtek között, szinte semmi sem jut át szabadon

- **transzcitózis**

- ❖ pinocitotikus vezikulák endo- majd a sejt másik végén exocitózisa
- ❖ nagyméretű, nem-lipidoldékony anyagoknál
- ❖ pl. inzulin bejutása a véráramba vagy antitestek átjutása az anyai keringésből a magzati véráramba

- **tömegáramlás**

- **filtráció (szűrés) és reabszorpció (visszaszívás)**
- filtráció: nagyobb nyomású helyről kisebb nyomású helyre rengeteg ion, molekula, részecske stb. mozog vizes közegben együtt, egy irányban (kapillárisok → intersticiális folyadék)
- ellenkező irányú mozgás a reabszorpció
- lásd még → kapilláris filtráció, glomeruláris filtráció (vesében)

# Kapilláris filtráció I.

- a kapilláris fala fehérjékre nem átjárható
- ultrafiltráció: csak víz és kis anyag jut át, fehérje nem
- az artériás végen filtráció lesz, a vénás végen visszaszívás

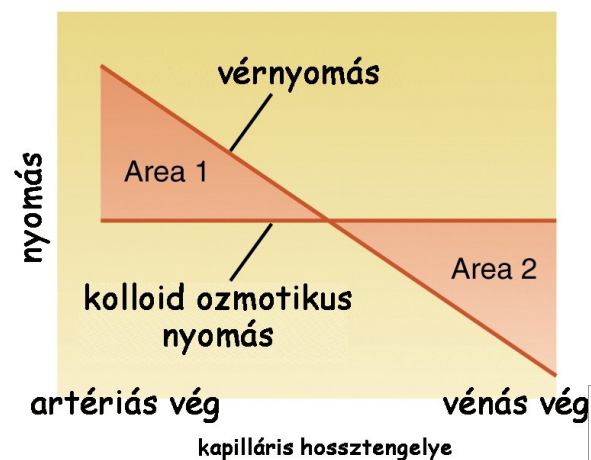
## Starling-féle filtrációs mechanizmus

- az anyagáramlást az irányítja, hogy az ér belseje és a szövet közti tér (intersticiális tér) között eltér:
  - a hidrosztatikai nyomás (vérnyomás)
    - a kapilláris artériás végén a vérnyomás nagyobb (35 Hgmm), a vénás végén kisebb (16 Hgmm)
    - az intersticiális tér nyomása mindenhol közel állandó (~0 Hgmm)
  - és a kolloid ozmotikus nyomás ( $P_{ozm}$ )
    - a vérplazmában nagyobb a fehérjék koncentrációja, mint az intersticiális térben → ( $P_{ozm}$ )(vérplazma): 26 Hgmm ↔ ( $P_{ozm}$ )(intersticiális tér): 1 Hgmm
    - tehát: a magasabb ( $P_{ozm}$ )(vérplazma) „bevonzza” a vizet a kapillárisba
    - az alacsonyabb ( $P_{ozm}$ ) (intersticiális tér) „kiveszi” a vizet a kapillárisból
    - a ( $P_{ozm}$ ) ugyanakkora a kapilláris mindkét végén, ugyanígy az intersticiális térenél is



# Kapilláris filtráció II.

- a hidrosztatikai nyomás és a kolloid ozmotikus nyomás különbsége adja az effektív filtrációs nyomást (EFP)
- az EFP szabja meg, hogy a filtráció vagy a visszaszívás erősebb-e
  - **artériás vég:**
    - $EFP = (35 - 1) - (26 + 0) = 10 \text{ Hgmm} \rightarrow$  nettó filtráció  
(~ 20 liter/nap)
  - ❖ **vénás vég:**
    - $EFP = (16 + 1) - (26 + 0) = - 9 \text{ Hgmm} \rightarrow$  nettó visszaszívás  
(~ 17 liter/nap)
- a különbség 3 l folyadék naponta, ami kiszűrődik a kapillárisokból az intersticiális térbe  $\rightarrow$  a nyirokrendszer szállítja el



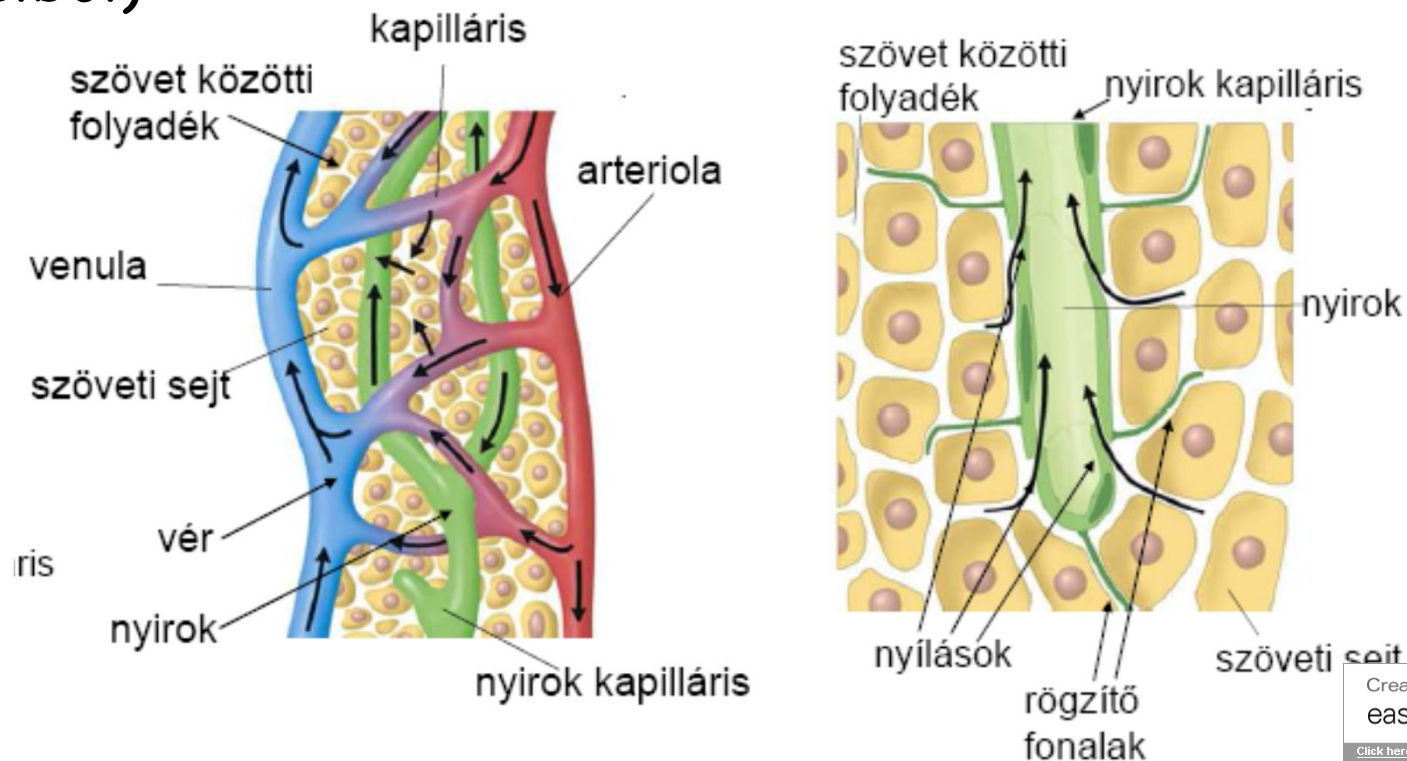
# A nyirokkeringés I.

- ❖ intersticiális tér (szövetközi tér):
  - kötőszöveti rostok + mátrixfehérjék + intersticiális folyadék (benne ionok és kevés fehérje)
- ❖ intersticiális folyadék folyamatosan cserélődik (szűrés és visszaszívás folyamatosan), 1 %-a kerül be a nyirokkapillárisokba és mint nyirok (lymphá) szállítódik el
- ❖ **nyirokkapillárisok - nyirokerek - vas afferens - nyirokcsomók - vas efferens**
- ❖ nyirokerek már nem engedik át a fehérjéket

# A nyirokkeringés II.

## nyirokkeringés funkciói:

- ✓ intersticiális folyadék mennyiségét állandó szinten tartja (+3 liter/nap a „szűrési” többlet a kapillárisoknál)
- ✓ immunológia védekezés (nyirokcsomók: limfocitákat és ellenanyagokat adnak a nyirokhoz)
- ✓ lipidek, zsírban oldódó vitaminok szállítása (bélből)



# A nyirokkeringés III.

## Ödéma

- a szűrés - a visszaszívás - és a nyirokkeringés egyensúlya felborul
- több folyadék keletkezik, mint amit a nyirokkeringés el tud szállítani vagy csökken a keringés mértéke stb.
- lehetséges okai:
  - **mozdulatlan végtag** (a vázizmok nem működnek, pedig fontosak a nyirok áramoltatásában)
  - **gravitáció** (vénás visszaáramlás gátolt, vénás billentyűk nem működnek)
  - **nyirokerek elzáródnak**
  - **effektív filtráció nő**
  - **máj- vagy veseelégtelenség** (csökkent fehérjeszintézis illetve fehérjevizezés)
  - **afrikai éhezők: fehérjehiányos táplálkozás** → plazmafehérjék koncentrációja csökken →  $(P_{ozm})$ (vérplazma) csökken → filtráció nő



kwashiorkor

Created using  
easyPDF Printer

[Click here](#) to purchase a license to remove this image

# A véráramlást befolyásoló fizikai tényezők I.

**Miért is áramlik egyáltalán a vér a keringési rendszerben?**

- ❖ szív, mint szívó-nyomó szerv → mindkét vérkör eleje és vége között nyomáskülönbség (perfúziós nyomás; nyomásfő) keletkezik
- ❖ áramló vérben súrlódás lép fel (vér részecskéi között illetve vér és érfal között)
- ❖ a súrlódás az áramlással szembeni ellenállás

## Ohm-törvény

- elektromosságban
- ellenállás (R), feszültségekülönbség (U) és az áram intenzitása (I) közti összefüggés

vérkeringésre vonatkoztatva az Ohm-törvényt:

- elektromos ellenállás = keringési (súrlódási) ellenállás
- feszültségekülönbség = nyomáskülönbség (nyomásfő)
- áram intenzitása = véráramlás intenzitása

$$R = \frac{U}{I}$$

**Tehát: adott vérnyomás mellett az szabja meg a szövet vérátáramlását, hogy mekkora benne az ellenállás**

- ❑ nagy vérkör: az artériákból párhuzamos keringési al-rendszerek ágaznak ki (agy-, szív-, vese-, vázizom- stb. keringés)
- ❑ **teljes perifériás ellenállás:** az egyes al-rendszerek ellenállásának reciprokát összeadjuk

# A véráramlást befolyásoló fizikai tényezők II.

- ❖ a modell szerint az erek vékony falú, merev csövek, amelyekben a vér laminárisan (lemezesen) áramlik
- ❖ lamináris áramlásnál áramlási profil alakul ki a csövön belül: a cső melletti rétegek le vannak maradva a súrlódás miatt, a középső rétegek viszont gyorsak

## Hagen-Poiseuille törvény

- ✓ áramlási intenzitás
- ✓ nyomásfő
- ✓ érgeometria
- ✓ vér folyékonyság (viszkozitás)

összefüggése

$$R = \frac{8\eta l}{r^4 \pi} \quad Q = \frac{(p_1 - p_2)r^4 \pi}{8\eta l}$$

R = ellenállás

Q = áramlás intenzitása

$p_1 - p_2$  = nyomásfő (nyomáskülönbség két pont között)

l = cső hossza

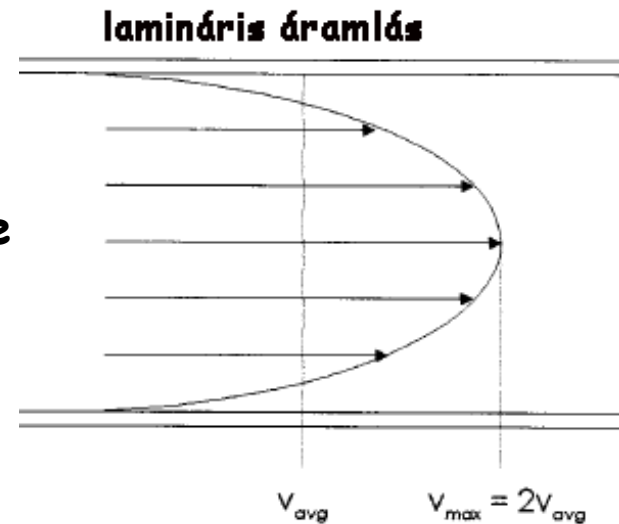
$\eta$  = viszkozitás (folyékonyság)

r = cső sugara

Mikor folyik tehát át gyorsan és könnyen sok vér az ereken?

✓ rövid érszakasz + nagy az ér átmérője + a vér „hígan folyó” (nem viszkózus)

✓ akut keringésszabályozás: az ér átmérőjét változtatja



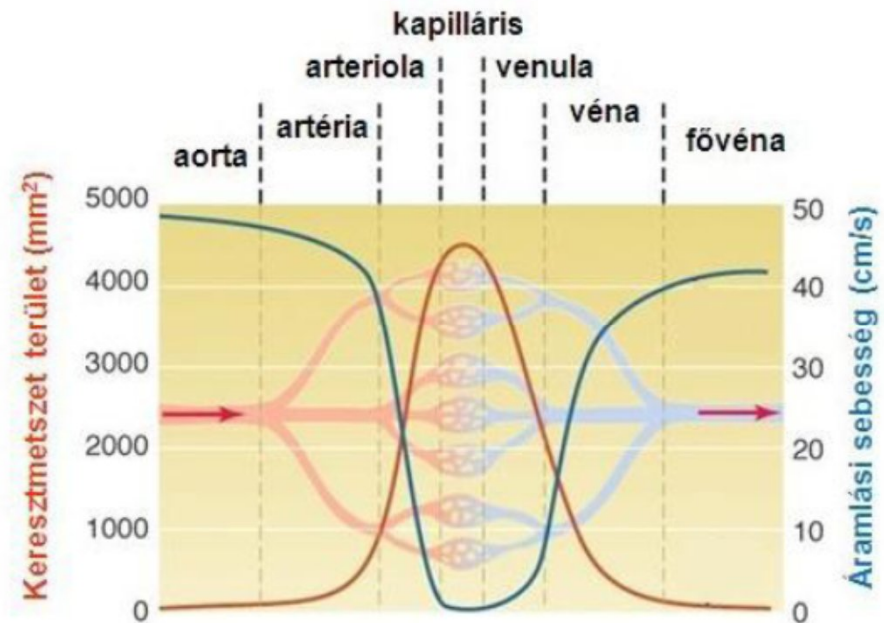
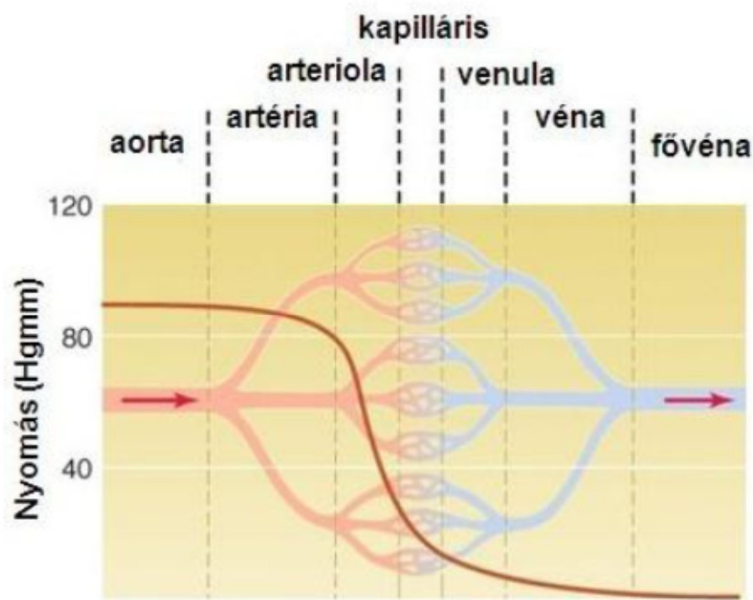
# Összkeresztmetszet és áramlási sebesség az érrendszerben

## összkeresztmetszet

- ✓ aortától a kapillárisokig egyre nő
- ✓ kapillárisoktól a fővénáig egyre csökken

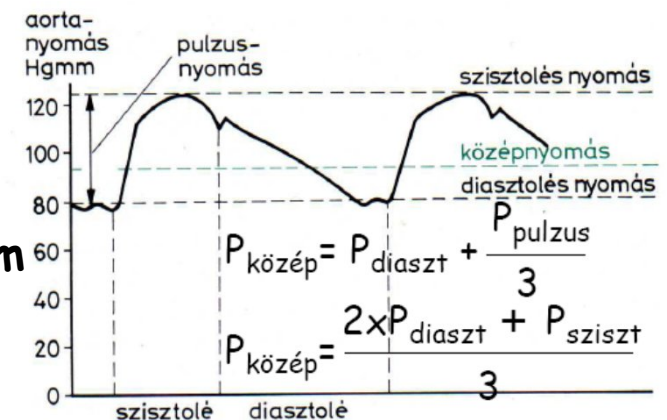
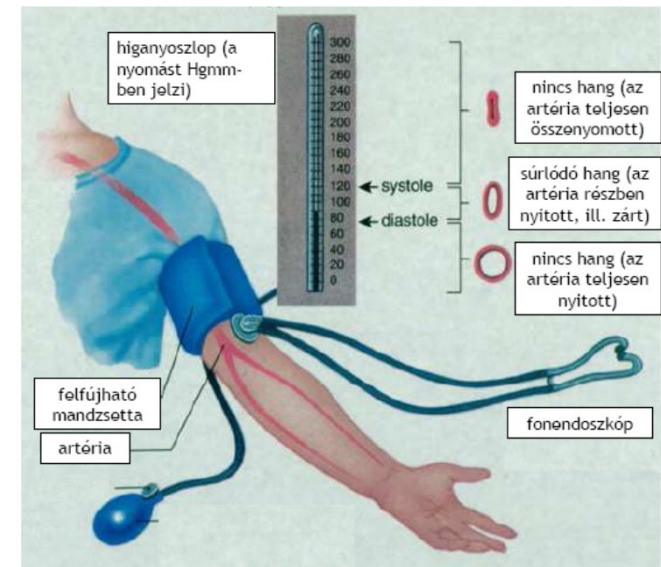
## áramlási sebesség

- ❖ egyetlen vérrészecske (pl. vörösvértest) mennyit megy odébb időegység alatt
- ❖ fordítottan arányos az összkeresztmetszettel, így:
  - ✓ aortától a kapillárisokig egyre csökken
  - ✓ kapillárisoktól a fővénáig egyre nő



# Nyomás- és térfogatviszonyok a nagy vérkörben

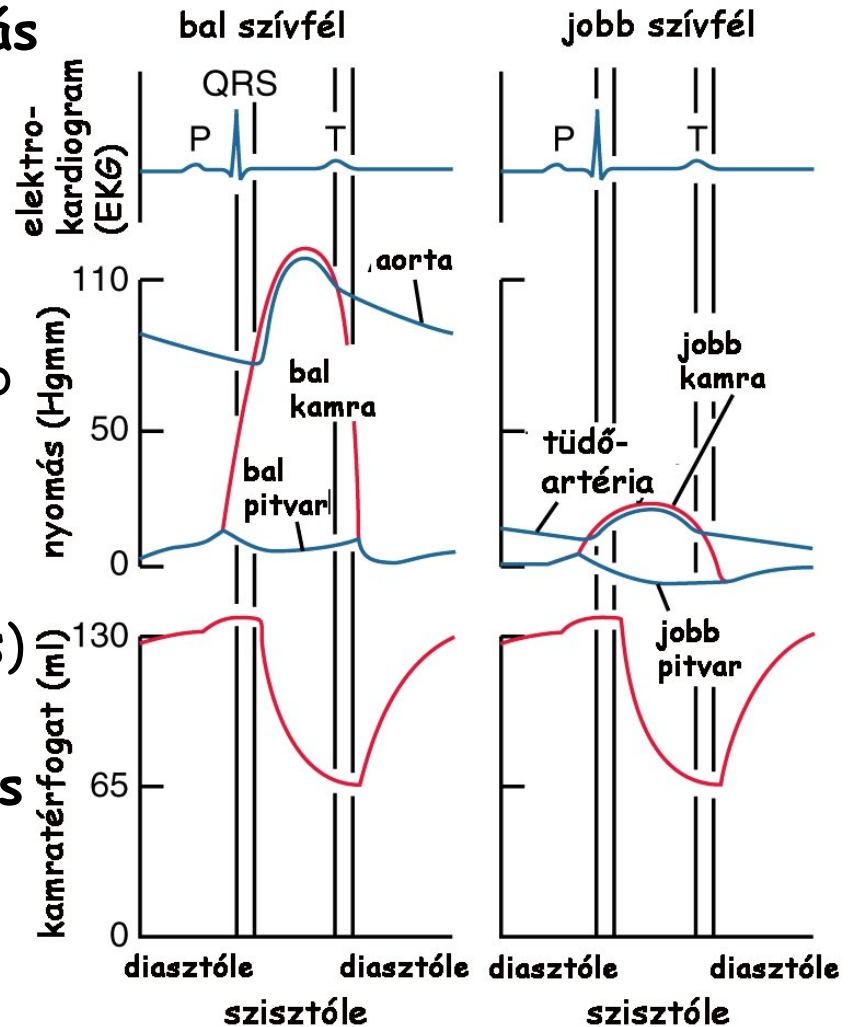
- „vérnyomás” - a nagy vérkör magas nyomású részében (artériák) mérhető nyomást értik rajta
- **szisztolés nyomás** (120 Hgmm): az a maximális nyomás, amely az aortában a szív ciklus alatt létrejön
- **diasztolés nyomás** (80 Hgmm): az a legkisebb nyomásérték, ami az aortában a diasztóle végén mérhető (80 Hgmm)
- a bal kamra szisztoléja után a nyomáshullám (pulzus) továbbterjed az artériákon
- a vérnyomást tradicionálisan a bal felkaron, a szívvel egy magasságban mérik (arteria brachialisban)
- az átlagos vérnyomást jobban jellemzi az **artériás középnyomás**
  - figyelembe veszi, hogy a diasztole 2 X olyan hosszú, mint a szisztóle
- a nagy vérkörben jelentős a nyomásfő: 91 Hgmm
  - ❖ 93 Hgmm az artériás középnyomás
  - ❖ 2 Hgmm a nyomás a jobb pitvarban





# Nyomás- és térfogatviszonyok a kis vérkörben

- a két vérkörben a perctérfogat azonos
- sokkal kisebb az áramlási ellenállás (kb. tizede a nagy vérkörnek)
  - vékonyabb az artériák fala, kevesebb simaizom, tágulékonyabbak
  - kapillárisok átmérője nagyobb
- artériás középnyomás csak kb. 1/7-e a nagy vérkörnek (14 Hgmm) és alig csökken a bal pitvar felé haladva (ott 8 Hgmm a nyomás) → kicsi a nyomásfő
- alacsonyabb hidrosztatikai nyomás az erekben → kisebb EFP → kevés intersticiális folyadék → nincs tüdővizényő (de ha bal kamra bekrepál - már van...)



# Az egyes szervek keringése

Szív: perctérfogat 5 %-a  
 $O_2$  fogyasztás 12 %-a

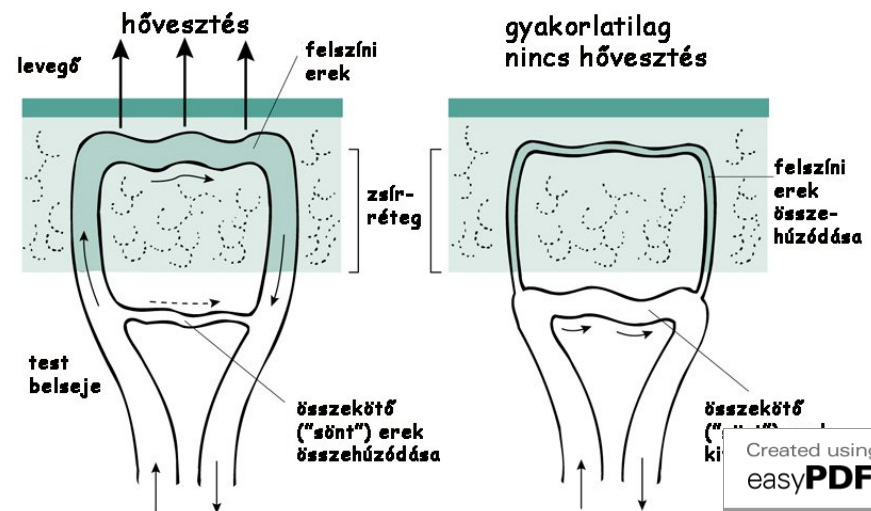
Agy: perctérfogat 15 %-a  
 $O_2$  fogyasztás 20 %-a

Izom: perctérfogat 15 %-a  
 $O_2$  fogyasztás 20 % (80% is lehet)

Vese: perctérfogat 22 %-a  
 $O_2$  fogyasztás 7 %-a

Máj: perctérfogat 28 %-a (arteria hepatica 20-30 %;  
vena portae hepatica 70-80 %)  
 $O_2$  fogyasztás 20 %-a

Bőr: perctérfogat 5 %-a  
 $O_2$  fogyasztás 12 %-a



# A keringés szabályozása: az érátmérő szabályozása I.

## Önszabályozás (autoreguláció) - a bazális értónus

- arteriolák és prekapilláris szfinkterek esetében
- érfal simaizomzat saját tónusa
- kisebb nyomásváltozásokat az erek kiküszöbölnék, így a vérátáramlás mértéke állandó marad
- **Bayliss-effektus**: megnő a nyomás → érfal simaizom jobban feszül → simaizom összehúzódik → ér átmérője csökken
- anyagcseretermékek (metabolitok) hatása
  - az **aktív szövetek vérellátása fokozódik, prekapilláris ellenállás csökken** (szfinkterek nyitnak)
    - CO<sub>2</sub> szint emelkedése**
    - O<sub>2</sub> szint csökkenése**
    - pH csökkenése**
    - hőmérséklet növekedése**
    - tejsav-szint növekedése**
- **ér sérülése vagy hőmérséklet csökkenése: ér összehúzódik, átáramlás csökken**
- **endotél sejtekből helyben felszabaduló anyagok**
  - ✓ **nitrogénmonoxid (NO)**: erős értágító (lásd - Sildenafil alias Viagra)
  - ✓ **prosztaciklin I<sub>2</sub> (PGI<sub>2</sub>)**: értágító, vérlemezkek aggregációját gátolja (az Aszpirin így okozhat véralvadási zavarokat)
  - ✓ **kininek (bradikinin)**: értágító, NO-t szabadít fel
  - ✓ **hisztamin**: értágító, NO-t szabadít fel

# A keringés szabályozása: az érátmérő szabályozása II.

## Hormonális szabályozás I.

- a szervezet megterhelésekor fontosak a szabályozásban
- adrenalin és noradrenalin
  - ❖ mellékvesevelő kromaffin sejtjei termelik őket
  - ❖ érszűkítők általában, de vázizomzatban, koronária ereknél, vesében és tüdő arterioláknál tágítanak!
  - ❖ szimpatikus hatást közvetítenek, terheléshez való alkalmazkodást szolgálják
  - ❖ kis mennyiségű adrenalin:
    - ✓ átrendezi az egyes szervek vérellátását
    - ✓ a vénákban lévő vért „áttereli” az artériákba (pl. zsigerekben)
  - ❖ nagy mennyiségű adrenalin:
    - ❑ artériás vérnyomás nő
    - ❑ arteriola simaizmok összehúzódnak (bőr, zsigerek) → perifériás ellenállás nő
- vazopresszin (antidiuretikus hormon, ADH)
  - hipotalamuszban termelődik (nucleus supraopticus és nucleus paraventricularis), neurohipofízisből szabadul fel a vérbe
  - érszűkítő hatás
  - erős stressz, kiszáradás, nagyobb vérzések után lehet szerepe

# A keringés szabályozása: az érátmérő szabályozása III.

## Hormonális szabályozás II.

### Renin-angiotenzin-aldoszteron rendszer

#### • renin

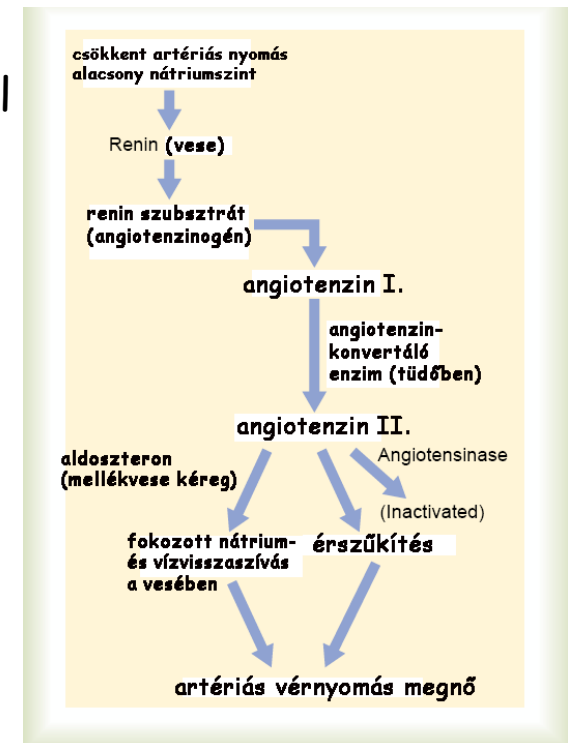
- vese juxtaglomeruláris sejtjei termelik, egy fehérjebontó enzim
- alacsony  $\text{Na}^+$ -szint és a folyadéktérfogat (vértérfogat) csökkenése váltja ki a termelődését
- a vérplazmában az angiotenzinogénből angiotenzin I-et hasít le
- az angiotenzin konvertáló enzim az angiotenzin I-ből angiotenzin II-őt csinál

#### • angiotenzin II

- **rendkívül erős érszűkítő** → perifériás ellenállás jelentősen nő → emelkedik az artériás vérnyomás (szisztolés és diasztolés is)
- fokozza az aldoszteron elválasztást a mellékvese kérgében

#### • aldoszteron

- mineralokortikoid hormon, fokozza az  $\text{Na}^+$ -visszaszívást a vesében
- a nátriummal együtt szívódik vissza a víz is, így a folyadéktérfogatok helyreállnak



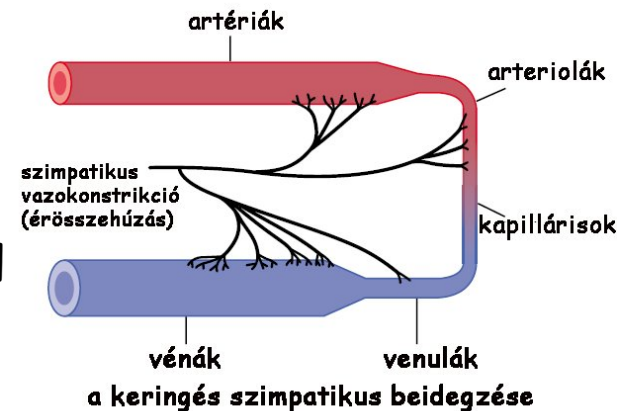
# A keringés szabályozása: az érátmérő szabályozása IV.

## Idegi szabályozás

az értónus idegi szabályozása főként a **szimpatikus vegetatív idegrendszeren** keresztül történik

### • szimpatikus érszűkítő hatás

- perifériás ellenállás nő
- noradrenalin** transzmitter
- szimpatikus posztganglionáris idegrostokból



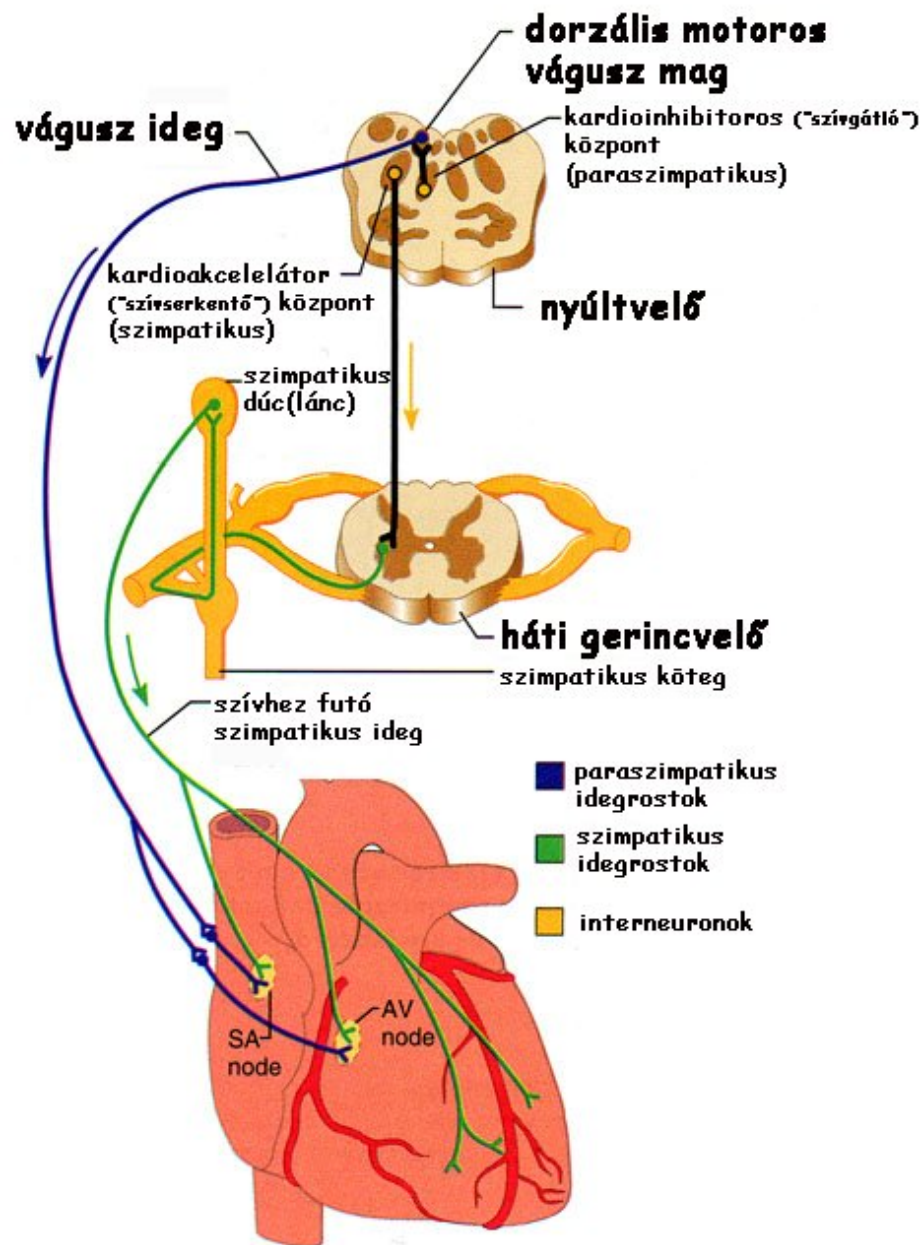
### • szimpatikus értágító hatás

❖ hasonlóan a hormonális hatásához, szív koronáriereiben, vesében, vázizmokban és tüdő arterioláknál a szimpatikus izgalom fokozza az átáramlást

### • paraszimpatikus értágító hatás

- agyban, nyálmirigyben, hasnyálmirigyben, nemi szervekben (erekció!)
- nem acetilkolin a transzmitter, hanem **NO** (agyban) és **VIP** (vazoaktív intesztinális polipeptid; nyálmirigyben és nemi szervekben) váltja ki

# Az agytörzsi kardiovaszkuláris központok működése I.



## nyúlvelői „presszor” központ

- ✓ együttműködik a légzőközponttal: belégzéskor nő a szívfrekvencia és az artériás vérnyomás
- ✓ mellékvese adrenalin-termelést fokozza
- ✓ érszűkítés, vérnyomás emelése
- ✓ fokozott szív munka (frekvencia, erő nő), érzelmek („meglátom a kedvesem”) és fájdalom hatására is
- ✓ felkészítés a megterhelésre

## nyúlvelői „depresszor” központ

- ✓ gátolja a presszor központot
- ✓ felsőbb központokból leszálló hatások (agykéreg → hipotalamusz → nyúlvelő)
- ✓ ájulás (hirtelen vérnyomásesés)

# Az agytörzsi kardiovaszkuláris központok működése II.

## Kemoreceptorok ingerületeinek hatása

- perifériás és centrális receptorok (lásd majd a légzést is)
- normál körülmények mellett nincs nagy szerepük a keringésben, sokkal inkább a légzésritmus beállításában
- O<sub>2</sub>-hiány (hipoxia): erek összehúzódnak, vérnyomás nő
- magas CO<sub>2</sub>-szint (hiperkapnia): periférián értágulat (kipirul a bőr), de centrálisan érszűkület (kiegyensúlyozódás)



# Az agytörzsi kardiovaszkuláris központok működése III.

## Baroreceptorok ingerületeinek hatása

### I. magas nyomású receptorzóna (sinus caroticum, aortaív)

- ❑ 50 és 200 Hgmm vérnyomás között működnek
- ❑ azonnal korrigálják a megváltozott vérnyomást
- ❑ különböző testhelyzetekhez való keringési alkalmazkodást teszik lehetővé

#### ❑ baroreflex

- ✓ pl. felállás: a vér az alsó végtagok felé mozdul el → baroreceptorok vérnyomásesést érzékelnek → agytörzsi presszor központ aktiválása → vérnyomás és szívfrekvencia nő

### II. alacsony nyomású receptorzóna (vena cava, tüdőartéria és tüdővéna beszájadásánál)

- fal feszülését érzékelik, a térfogat növekedésére reagálnak
- depresszor központot serkentik, presszor gátlódik

# Keringési változások fizikai munkánál

## Munkavégzés keringési hatása:

- ❖ a perifériás vérrellátás fokozása az izommunkához
  - ✓ kapillárisok nyitnak
  - ✓ perctérfogat növekedik
- ❖ terhelés hatása a szív működésre:
  - ✓ **tréningezett szív: a pulzustérfogat nő** (→ sportemberek)
  - ✓ **nem tréningezett szív: a frekvencia nő** (→ edzetlen emberek)
- ❖ statikus munkavégzés: az erek összenyomódnak, keringés romolhat
- ❖ dinamikus munka: nő a szervezet oxigénigénye, az izmok összehúzódása segíti a keringést

