

# Regionální oběh (plicní, kožní, svalový, mozkový, splachnický)

doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.

Fyziologický ústav, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita

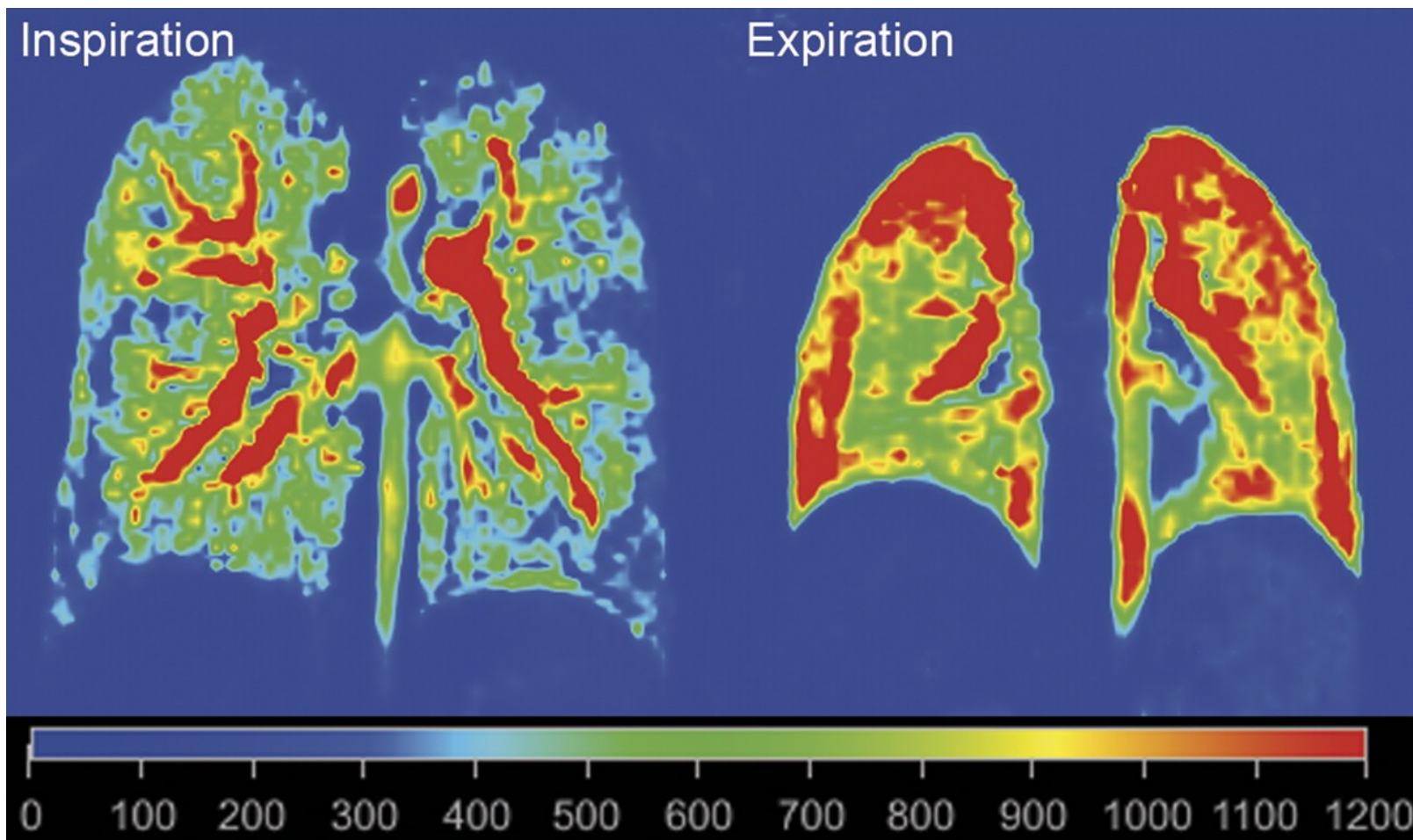


**Tato prezentace obsahuje pouze stručný  
výťah nejdůležitějších pojmů a faktů. V  
žádném případě není sama o sobě  
dostatečným zdrojem pro studium ke  
zkoušce z Fyziologie.**

# Specifika oběhu orgány

- Jeden orgán může mít i dvojí přítok krve, jeden orgán vyživuje a druhý tvoří funkční oběh.
- různé formy anatomické a funkční adaptace řečiště zajišťující optimální funkci orgánu
- různý význam jednotlivých forem regulace cévního tonu a tedy krevního průtoku v jednotlivých orgánech

# Plicní oběh

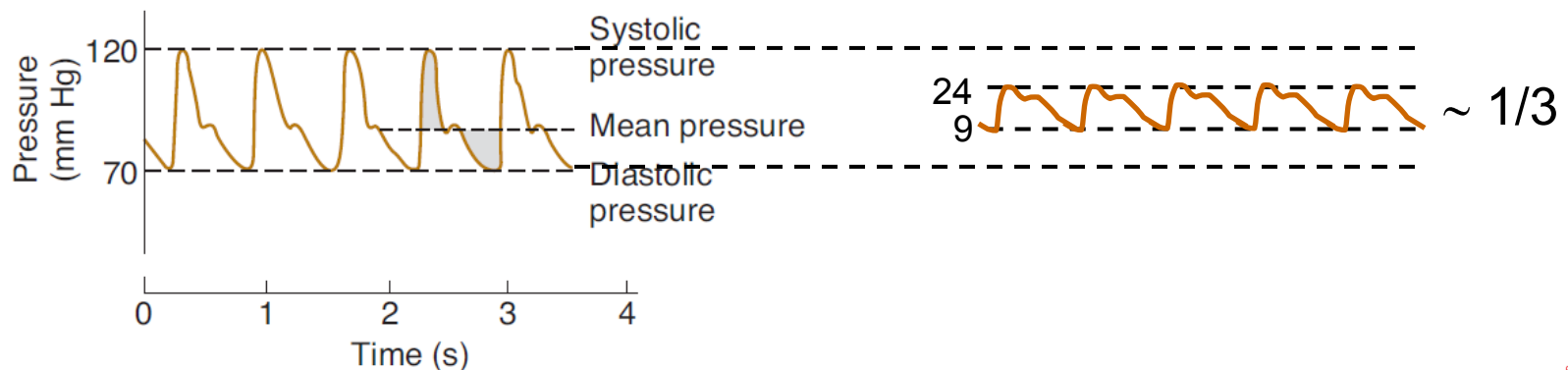


# Plicní oběh

- Průtok plícemi je prakticky téměř stejný jako průtok všemi ostatními orgány.
- **Funkce:**
  - zprostředkování výměny dýchacích plynů
  - rezervoár krve
  - mechanický, chemický a imunologický filtr

# Plicní oběh

- **Tepny** (rozdíly oproti tepnám velkého oběhu)
  - větší celkový průřez všech plicních tepen
  - menší tloušťka stěn
  - arterioly mají malé množství svaloviny → nižší odpor (1/10 odporu ve velkém oběhu; nejmenší při mírném vdechu), menší pokles TK v jejich oblasti
  - velká poddajnost (*compliance*)



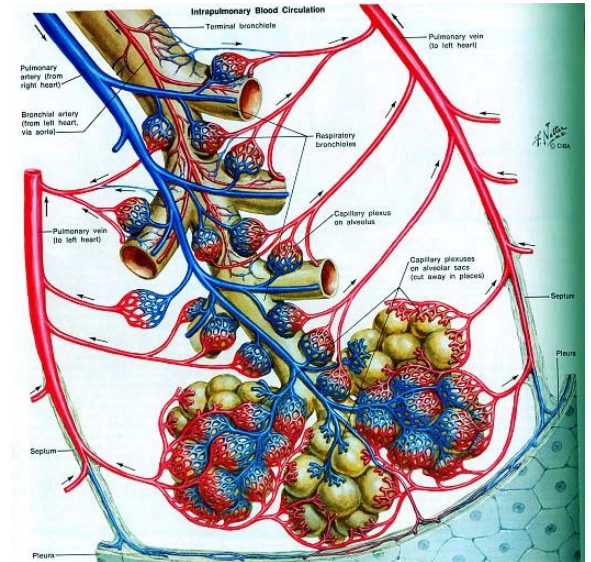
# Plicní oběh

- **Kapiláry**

- široké, bohaté anastomózy, vytváří síť obklopující alveoly
- čas průtoku  $\sim 0,75$  s (výměna dýchacích plynů)
- plocha perfundovaných kapilár: v klidu  $\sim 60$  m<sup>2</sup>, při těžké práci  $\sim 90$  m<sup>2</sup>

- **Žíly**

- velká poddajnost (rezervoár krve, autoregulační mechanismus při udržování krevního tlaku při ortostáze – vleže se do plic přesouvá cca 400 ml krve, v poklepitě (kapacita))
- selhání levého srdce → *ortopnoe*



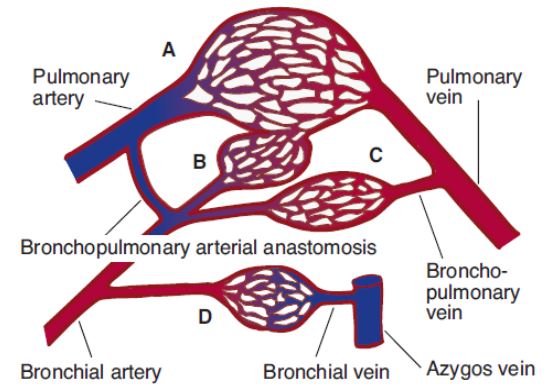
<http://www.percussionnaire.com/historyreview.asp>

# Plicní oběh

- **Výživový oběh**

- *aa. bronchiales, vv. bronchiales, vv. pulmonales*

(fyziologický A-V zkrat spolu s částí krve z koronárních arterií → saturace krve kyslíkem ve velkém oběhu 98%, tepový objem levé komory o 1-2% větší než pravé komory)



Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

- **Lymfatické cévy**

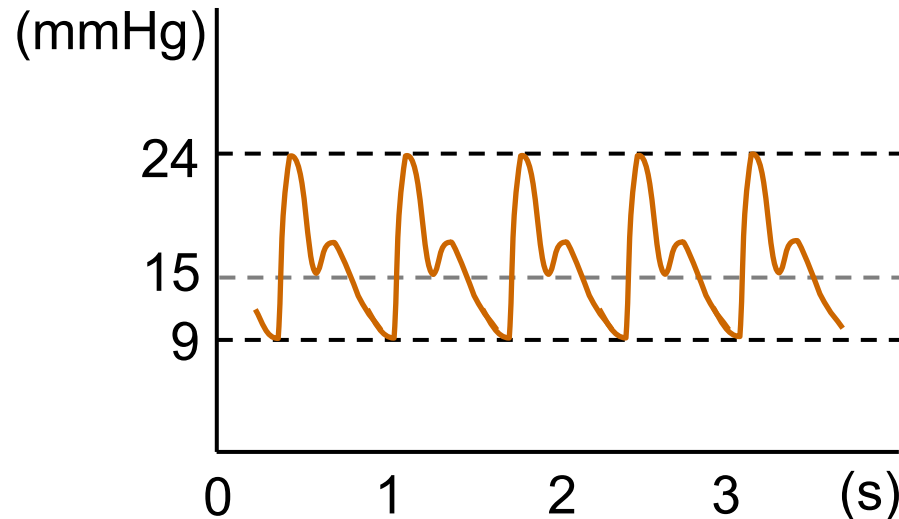
- rychlý transport bílkovin a různých částic z peribronchiálního a perivaskulárního prostoru → ↓ tvorba tkáňového moku ~ předcházení vzniku otoku plic



# Plicní oběh

- Krevní tlak v plicním řečišti

- tlak v a. pulmonalis



- plicní kapilární tlak – měřen jako tzv. obturační tlak neboli tlak v zaklínění katetrizací (~7,5 mmHg)
- tlak v plicních žilách pulsuje mezi 1 a 6 mmHg (jako tlak v levé síni)

# Plicní oběh

- Faktory ovlivňující filtraci tekutiny do intersticia:  
Fyziologicky v plicních kapilárách k filtraci nedochází!
  1. tlakové poměry v intersticiu a plicních kapilárách  
kapilární tlak cca 10 mmHg, onkotický tlak 25 mmHg  
→ tlakový gradient více než 15 mmHg do lumen cév
  2. permeabilita plicních kapilár
- Plicní otok brání efektivní výměně dýchacích plynů.

# Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu
  - A. Systémové mechanismy
  - B. Lokální mechanismy

# Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu

## A. Systémové mechanismy

### 1) Nervová regulace

- sympatická vlákna

přes  $\alpha_1$  rec. – kontrakce

(málo ovlivňují odpor a tedy i tlak, ale snižují kapacitu plicního řečiště, tedy vyprazdňují plicní rezervoár krve)

přes  $\alpha_2$  a  $\beta_2$  rec. – relaxace - NO

- parasympatická vlákna ( $M_3$  receptory → relaxace - NO)

### 2) Humorální regulace (cirkulující působky)

*kontrakce:* adenzin ( $A_1$ ), endotelin ( $ET_A$ ), angiotenzin II, aj.

*relaxace:* adenzin ( $A_2$ ), endotelin ( $ET_B$ ), histamin ( $H_1, H_2$ ), aj.

# Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu

## B. Lokální mechanismy

- chemická (metabolická) autoregulace

reakce opačná než ve velkém oběhu

( $\downarrow$   $pO_2$  – i systémová hypoxie,  $\uparrow$   $pCO_2$ ,  $\downarrow$  pH, histamin  $\rightarrow$  vazokonstrikce  $\rightarrow$  odklon perfúze od neventilovaných alveolů během 5-10 min)

funguje i naopak: obstrukce perfúze v určité části plic

$\rightarrow$   $\downarrow$   $pCO_2$   $\rightarrow$  konstrikce zásobujícího bronchu  
(zajištění optimálního poměru ventilace a perfúze)

# Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu

## C. Pasivní faktory

- srdeční výdej

tělesná námaha → ↑ srdečního výdeje → saturace hemoglobinu je stabilní, otvírají se dříve málo perfundované kapiláry → ↑ průtoku krve plicemi a celkového množství  $O_2$  dodaného do těla

- gravitace

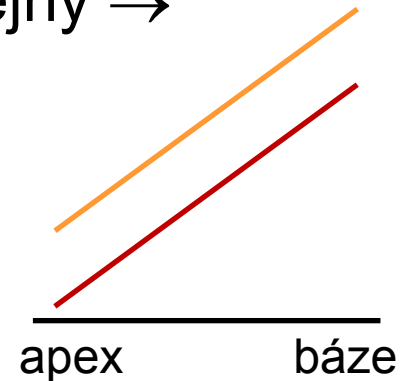
# Plicní oběh

- **Distribuce krve v plicích - gravitace**

- **nerovnoměrná**, působení hydrostatického tlaku
- plicní hroty – cca 15 cm nad odstupem *a. pulmonalis*, hydrostatický a arteriální tlak je zhruba stejný → minimální průtok

- **průtok lineárně narůstá od hrotu k bázi**

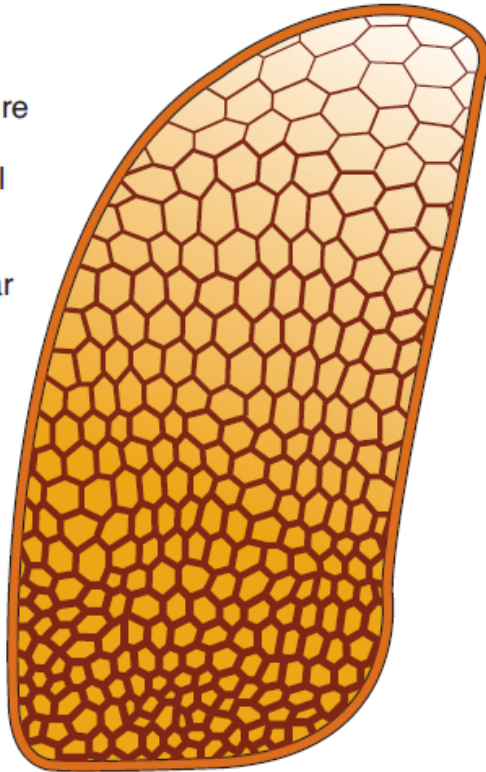
- ↑ celkového průtoku (např. fyzická zátěž) ~ ekvivalentní ↑ průtoku jednotlivými oblastmi



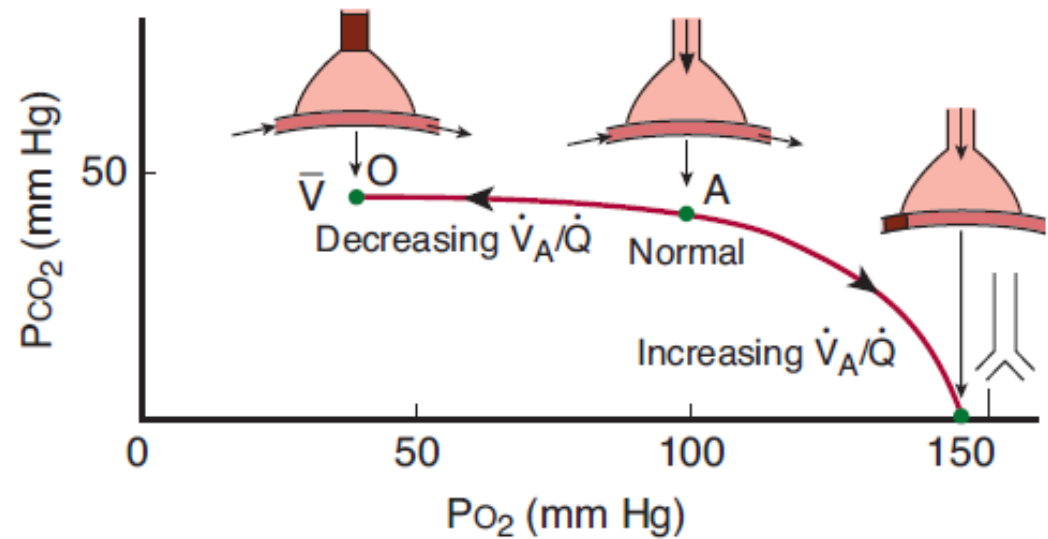
- těžká fyzická práce → ↑ srdečního výdeje až 6x → otvírání kapilár, které v klidu nebyly perfundovány → tlak v *a. pulmonalis* roste nepatrně (šetření práce pravého srdce + zábrana vzniku plicního otoku v důsledku zvýšení kapilárního tlaku)

# Plicní oběh

**At apex**  
Intrapleural pressure  
more negative  
Greater transmural  
pressure  
Large alveoli  
Lower intravascular  
pressure  
Less blood flow  
So less ventilation  
and perfusion



## Ventilace / perfúze

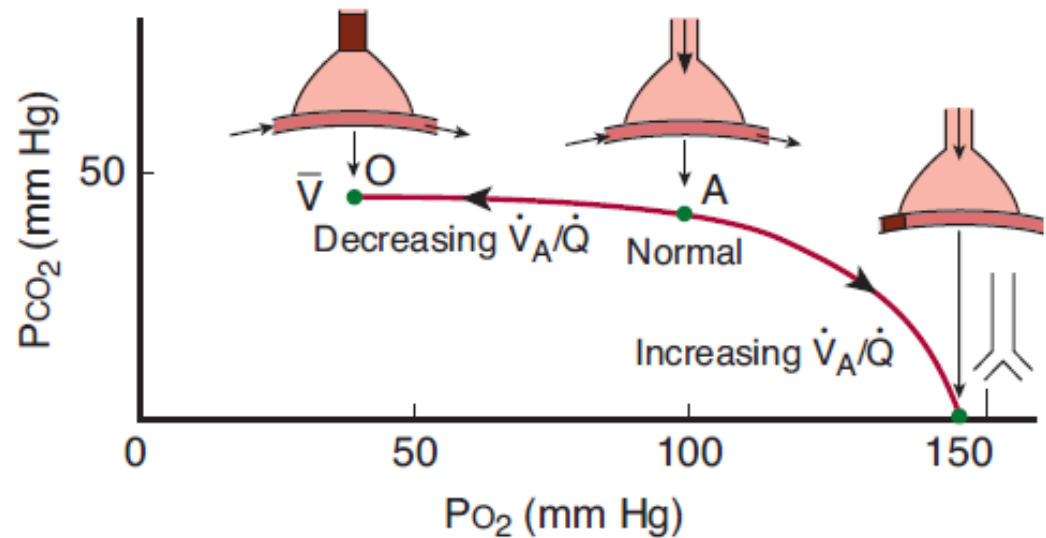




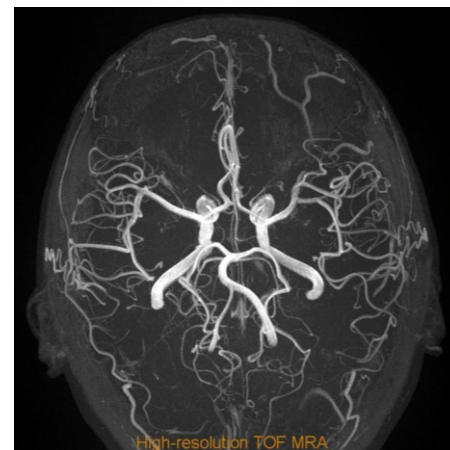
# Plicní oběh

- **Poruchy poměru ventilace a perfúze**
  - v klinice nejčastější příčinou hypoxické hypoxie
  - průtok krve neventilovanými alveoly → **pravo-levý zkrat** (neokysličená krev přímo do levého srdce) → ↓ saturace arteriální krve  $O_2$
  - obsah  $CO_2$  obvykle není změněn (kompenzační hyperventilace v ostatních alveolech)

## Ventilace / perfúze



# Mozková cirkulace



# Mozková cirkulace

**TABLE 34–1** Resting blood flow and O<sub>2</sub> consumption of various organs in a 63-kg adult man with a mean arterial blood pressure of 90 mm Hg and an O<sub>2</sub> consumption of 250 mL/min.

| Region          | Mass (kg) | Blood Flow |              | Arteriovenous Oxygen Difference (mL/L) | Oxygen Consumption |              | Resistance (R units) <sup>a</sup> |        | Percentage of Total |                    |
|-----------------|-----------|------------|--------------|--|--------------------|--------------|-----------------------------------|--------|---------------------|--------------------|
|                 |           | mL/min     | mL/100 g/min |  | mL/min             | mL/100 g/min | Absolute                          | per kg | Cardiac Output      | Oxygen Consumption |
| Liver           | 2.6       | 1500       | 57.7         | 34                                     | 51                 | 2.0          | 3.6                               | 9.4    | 27.8                | 20.4               |
| Kidneys         | 0.3       | 1260       | 420.0        | 14                                     | 18                 | 6.0          | 4.3                               | 1.3    | 23.3                | 7.2                |
| Brain           | 1.4       | 750        | 54.0         | 62                                     | 46                 | 3.3          | 7.2                               | 10.1   | 13.9                | 18.4               |
| Skin            | 3.6       | 462        | 12.8         | 25                                     | 12                 | 0.3          | 11.7                              | 42.1   | 8.6                 | 4.8                |
| Skeletal muscle | 31.0      | 840        | 2.7          | 60                                     | 50                 | 0.2          | 6.4                               | 198.4  | 15.6                | 20.0               |
| Heart muscle    | 0.3       | 250        | 84.0         | 114                                    | 29                 | 9.7          | 21.4                              | 6.4    | 4.7                 | 11.6               |
| Rest of body    | 23.8      | 336        | 1.4          | 129                                    | 44                 | 0.2          | 16.1                              | 383.2  | 6.2                 | 17.6               |
| Whole body      | 63.0      | 5400       | 8.6          | 46                                     | 250                | 0.4          | 1.0                               | 63.0   | 100.0               | 100.0              |

<sup>a</sup>R units are pressure (mm Hg) divided by blood flow (mL/s).

Reproduced with permission from Bard P (editor): *Medical Physiology*, 11th ed. Mosby, 1961.

Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.



# Mozková cirkulace

- musí zajistit:

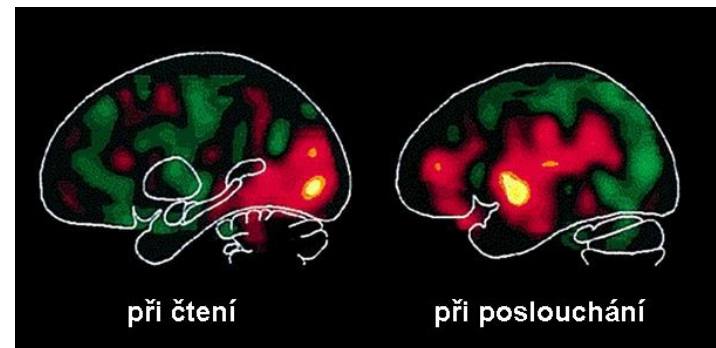
## 1) konstantní dostatečný přísun krve

intenzivní oxidativní metabolismus šedé hmoty (40 % hmoty mozku), je **metabolicky aktivnější – šedá hmota je velmi citlivá na hypoxii !**

(ztráta vědomí během několika sekund mozkové ischemie, ireverzibilní poškození během několika minut)

## 2) dynamickou redistribucí krve

neuronová aktivita a tedy i **rychlost metabolismu jednotlivých oblastí šedé hmoty výrazně kolísá** (metabolická hyperémie)



[http://observatory.cz/static/vystavy/castice/p2\\_PET-tomogram.jpg](http://observatory.cz/static/vystavy/castice/p2_PET-tomogram.jpg)

# Mozková cirkulace

- musí zajistit:
  - 1) konstantní dostatečný přísun krve
  - 2) dynamickou redistribuci krve

Zajištění těchto specifických nároků mozku, zejména jeho šedé hmoty, **vyžaduje jak anatomickou, tak funkční adaptaci** mozkové cirkulace.

# Mozková cirkulace

- Anatomické zvláštnosti mozkové cirkulace:

1) *circulus arteriosus cerebri*

(propojení hlavních mozkových tepen anastomózami)

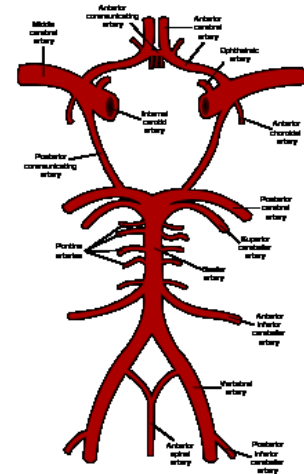
2) velmi vysoká kapilarizace

(3000 – 4000 kapilár / mm<sup>2</sup> šedé hmoty)

~ minimalizace difúzní dráhy pro plyny i jiné látky

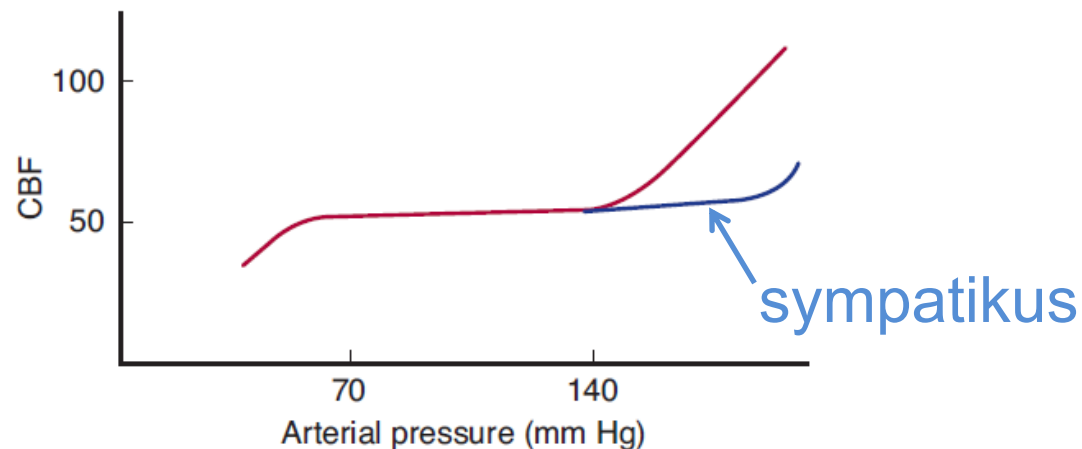
3) velmi krátké arterioly

(téměř 1/2 cévního odporu připadá na artérie, které jsou bohatě inervovány)



# Mozková cirkulace

- Funkční adaptace mozkové cirkulace:
  - 1) vysoký a stabilní průtok krve (šedá hmota: 1 l/kg/min)
  - 2) vysoká extrakce kyslíku (35 %)
  - 3) dobře vyvinutá autoregulace (myogenní i metabolická)



# Mozková cirkulace

- Funkční adaptace mozkové cirkulace:
  - 1) vysoký a stabilní průtok krve (šedá hmota: 1 l/kg/min)
  - 2) vysoká extrakce kyslíku (35 %)
  - 3) dobře vyvinutá autoregulace (myogenní i metabolická)
  - 4) vysoká reaktivita na změny koncentrace CO<sub>2</sub>
  - 5) lokální vs. celková hypoxie
  - 6) inervace
    - sympatická vazokonstr. vlákna (noradrenalin, neuropeptid Y)
    - parasympatická cholinergní vlákna (acetylcholin, VIP)
    - senzorická vlákna (substance P, CGRP; migréna)



# Mozková cirkulace

- Zvláštní fyzikální podmínky mozkové cirkulace:

## 1) pevný obal mozku lebkou

Sumární hodnota aktuálního objemu krve v mozku, mozkové tkáně a likvoru je konstantní (Monro-Kelliova teorie).

→ zvýšení průtoku se může uskutečnit pouze zrychlením krevního toku, nikoliv zvětšením kapacity řečiště

→ Cushingův reflex (nádor, krvácení)

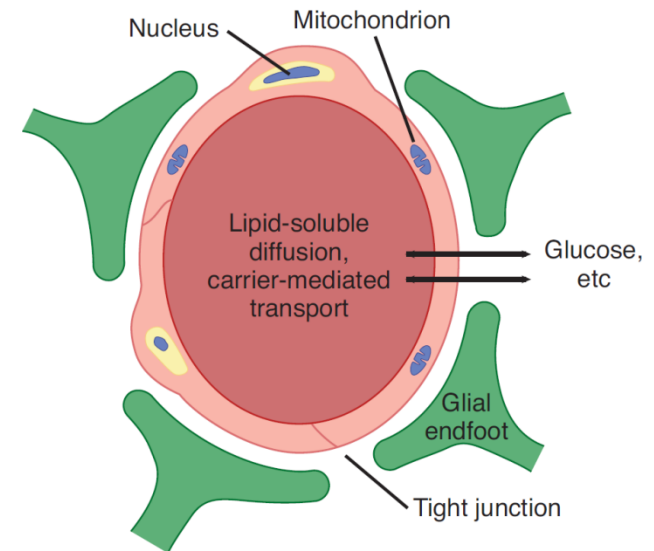
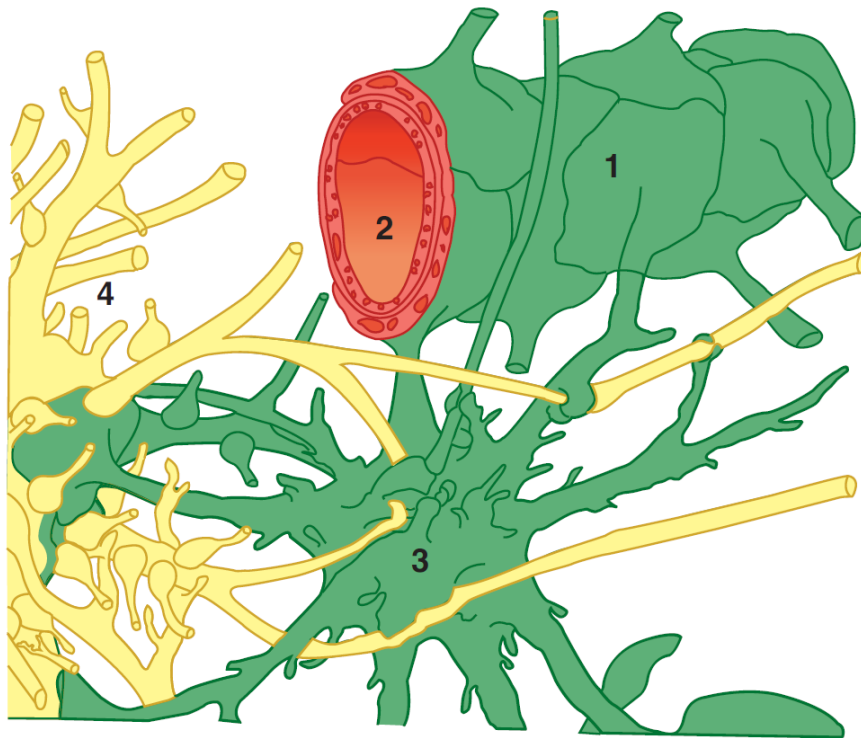
## 2) gravitace

ortostáza (snížený centrální venózní tlak + snížený tepový objem → hypotenze → posturální synkopa)

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

mozkové kapiláry – těsné interendotelové spoje



Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

## Volně difundují:

→ **látky rozpustné v tucích** ( $O_2$ ,  $CO_2$ , xenon; nevázané formy steroidních hormonů)

→ **voda** (aquaporiny; osmolalita krve a mozkomíšního moku je stejná!)

→ **glukóza** – hlavní zdroj energie pro nervové buňky (volná difúze pomalá - urychleno díky GLUT)

## Transcelulárním transportem (regulovaně):

→ **ionty** (např.  $H^+$ ,  $HCO_3^-$  vs.  $CO_2$  !)

→ dále transportéry pro **hormony štítné žlázy**, některé organické kys., cholin, prekurzory nukleových kys., aminokyseliny, ...

# Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra
- Funkce:
  - udržení konstantního složení prostředí obklopujícího neurony
  - ochrana mozku před endogenními i exogenními toxiny
  - prevence úniku neurotransmitterů do cirkulace

# Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**
  - vyplňuje mozkové komory a subarachnoidální prostor
  - objem ~150 ml, rychlost tvorby ~550 ml/d (výměna 3,7x/den)

**Mozkomíšní mok má stále složení odlišné od krevní plazmy.**

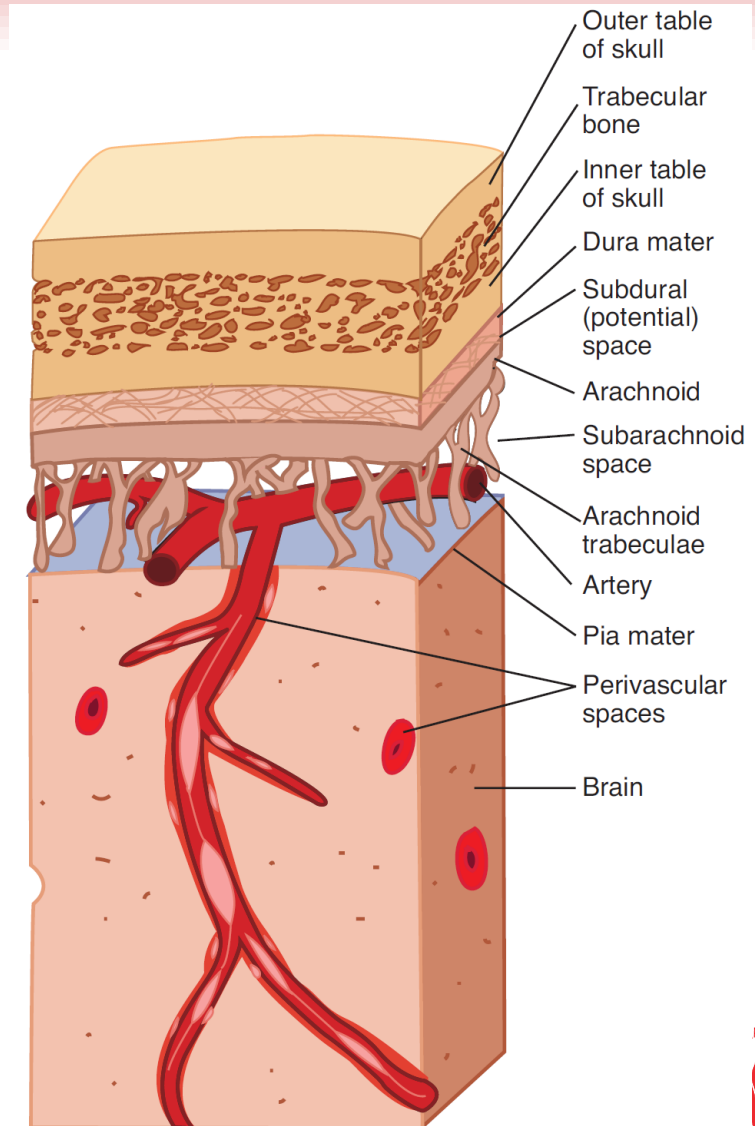
| Substance                     |                            | CSF   | Plasma | Ratio CSF/Plasma |
|-------------------------------|----------------------------|-------|--------|------------------|
| Na <sup>+</sup>               | (meq/kg H <sub>2</sub> O)  | 147.0 | 150.0  | 0.98             |
| K <sup>+</sup>                | (meq/kg H <sub>2</sub> O)  | 2.9   | 4.6    | 0.62             |
| Mg <sup>2+</sup>              | (meq/kg H <sub>2</sub> O)  | 2.2   | 1.6    | 1.39             |
| Ca <sup>2+</sup>              | (meq/kg H <sub>2</sub> O)  | 2.3   | 4.7    | 0.49             |
| Cl <sup>-</sup>               | (meq/kg H <sub>2</sub> O)  | 113.0 | 99.0   | 1.14             |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | (meq/L)                    | 25.1  | 24.8   | 1.01             |
| PCO <sub>2</sub>              | (mm Hg)                    | 50.2  | 39.5   | 1.28             |
| pH                            |                            | 7.33  | 7.40   | ...              |
| Osmolality                    | (mosm/kg H <sub>2</sub> O) | 289.0 | 289.0  | 1.00             |
| Protein                       | (mg/dL)                    | 20.0  | 6000.0 | 0.003            |
| Glucose                       | (mg/dL)                    | 64.0  | 100.0  | 0.64             |
| Inorganic P                   | (mg/dL)                    | 3.4   | 4.7    | 0.73             |
| Urea                          | (mg/dL)                    | 12.0  | 15.0   | 0.80             |
| Creatinine                    | (mg/dL)                    | 1.5   | 1.2    | 1.25             |
| Uric acid                     | (mg/dL)                    | 1.5   | 5.0    | 0.30             |
| Cholesterol                   | (mg/dL)                    | 0.2   | 175.0  | 0.001            |

# Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**

Funkce:

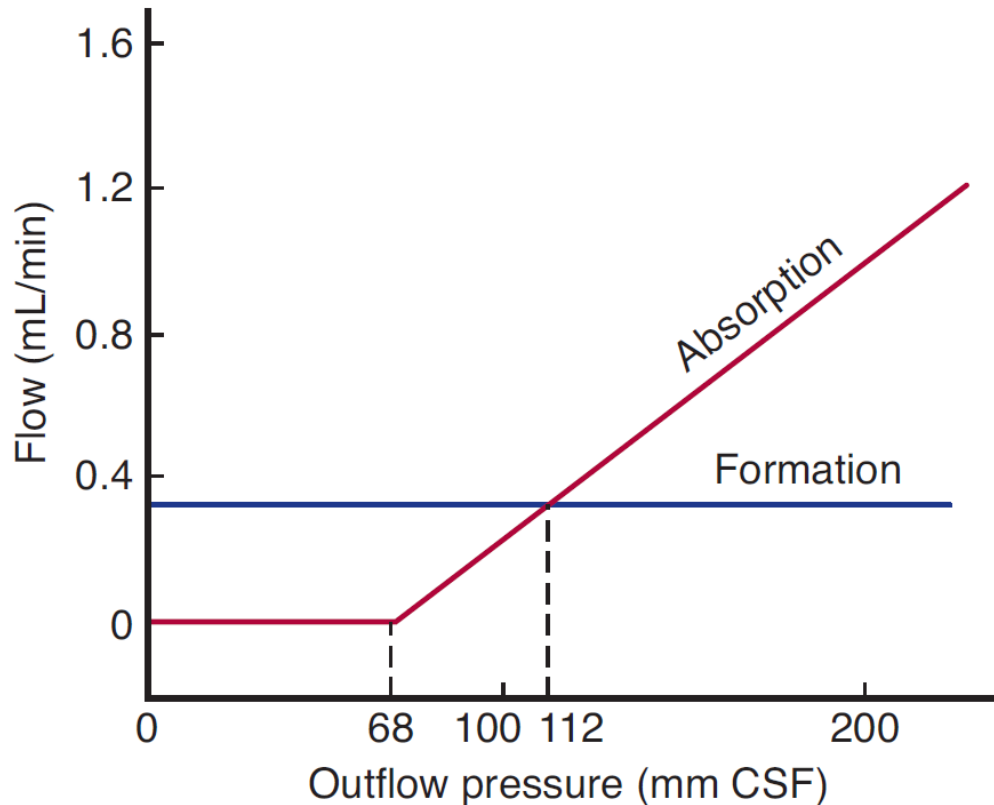
- ochrana mozku  
(spolu s mozkovými plenami)



Ganong s Review of Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Mozková cirkulace

- Mozkomíšní mok

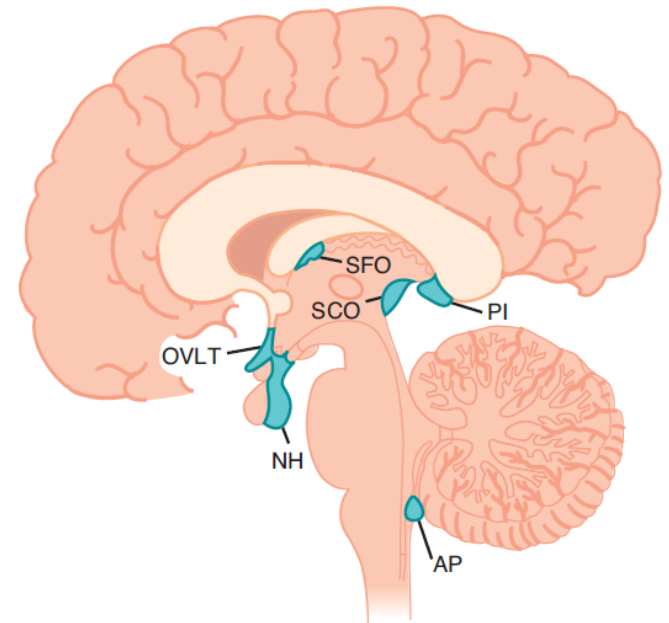


# Mozková cirkulace

- **Paraventriculární orgány**

~ oblasti mozku, kde **chybí hematoencefalická bariéra** (fenestrované kapiláry)

- zadní lalok hypofýzy + přilehlá ventrální část *eminentia medialis*
- *area postrema* (AP)
- *organum vasculosum laminae terminalis* (OVLT)
- subfornikální orgán (SFO)



Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.

Jde o **oblasti secernující polypeptidy** do oběhu (oxytocin, vazopresin, hypothalamické hypofýzotropní hormony), **chemorecepční zóny** (AP), **osmorecepční zóny** (OVLT).




# Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem

## Ketyho metoda

- Fickův princip, metoda indikátorového plynu
- oxid dusný  $N_2O$

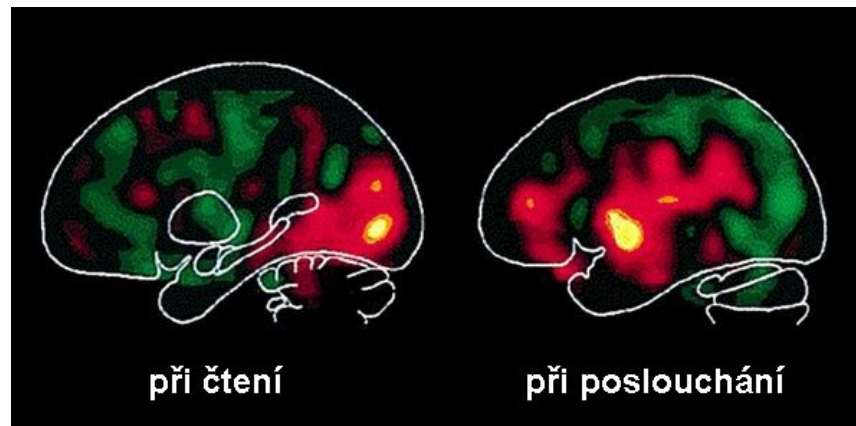
množství  $N_2O$  ve venózní krvi


$$\text{průtok krve mozkiem} = \frac{N_2O \text{ extrahovaný mozkiem z krve} / \text{čas}}{\text{průměrný arteriovenózní rozdíl } N_2O}$$

→ průměrný průtok všemi perfundovanými oblastmi !

# Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem - regionální PET (pozitronová emisní tomografie)
  - látka označena radionuklidy s krátkou životností
  - látku injikujeme, její přibývání a následné ubývání sledujeme scintilačními detektory umístěnými kolem hlavy
  - např. označená 2-deoxyglukóza – spotřeba dobrým ukazatelem průtoku



# Mozková cirkulace

- **Měření průtoku krve mozkiem - regionální**

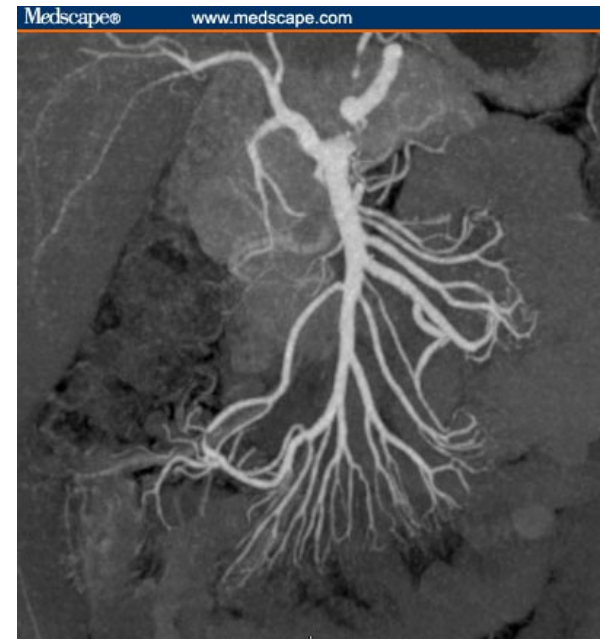
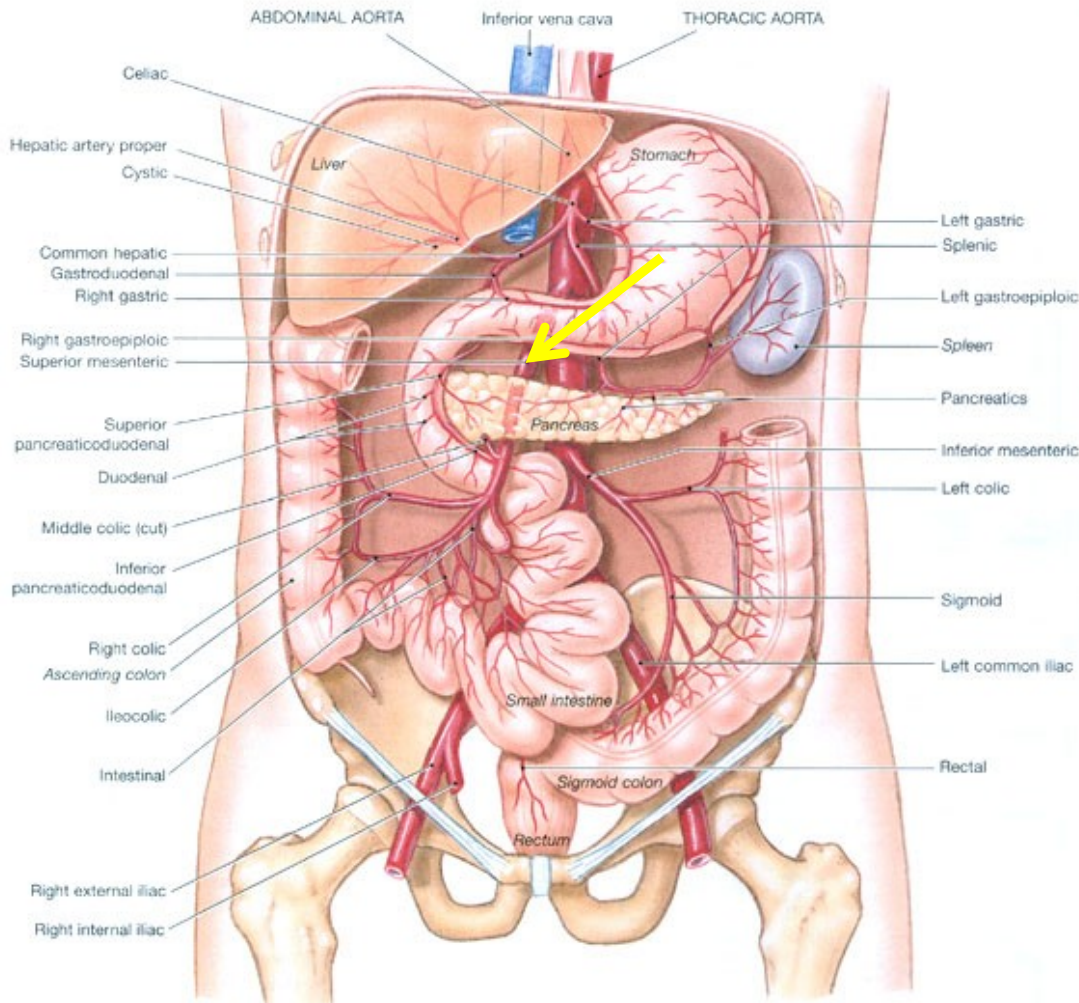
## PET (pozitronová emisní tomografie)

- látka označena radionuklidy s krátkou životností
- látku injikujeme, **její přibývání a následné ubývání sledujeme scintilačními detektory** umístěnými kolem hlavy
- např. označená 2-deoxyglukóza – spotřeba dobrým ukazatelem průtoku

## fMRI (funkční magnetická rezonance)

- lepší rozlišení
- redukovaný hemoglobin se stává paramagnetickým, mění signál emitovaný krví, lze tak **měřit množství oxy- a deoxyhemoglobinu jako ukazatel průtoku krve**

# Cirkulace splanchnikem



# Cirkulace splachnikem

- průtok GIT včetně jater a slinivky
- průtok slezinou
- Hlavní funkční role:
  - metabolické funkce trávicího ústrojí
  - rezervoár krve
  - speciální (např. slezina – odstraňování a degradace starých/poškozených erytrocytů)

# Cirkulace splachnikem

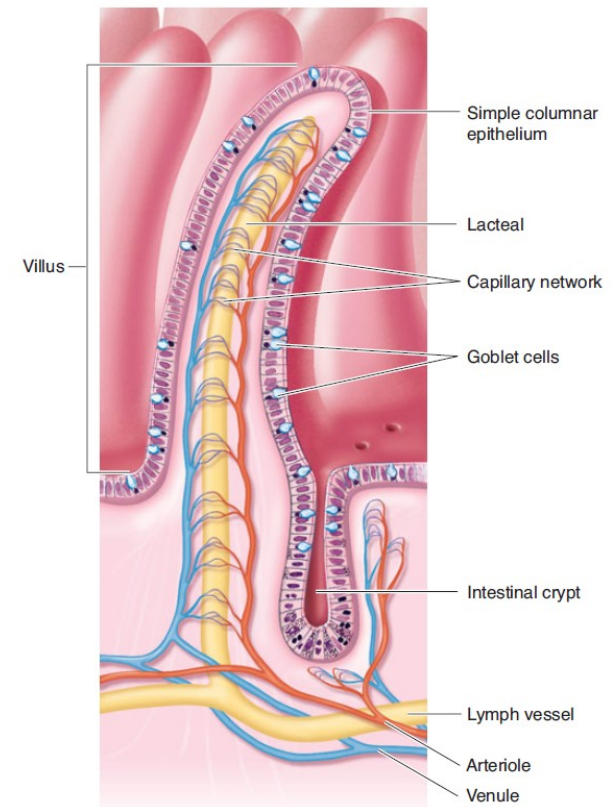
- Rezervoár krve
- kapacitní schopnosti splachnických cév – velký význam pro systémovou regulaci krevního oběhu
- v klidu zhruba 20 % celkového objemu krve
- **bohatá inervace sympatickými vazokonstrikčními vlákny -  $\alpha$  rec. → vazokonstrikce při  $\uparrow$  aktivitě sympatiku či  $\uparrow$  koncentrace cirkulujících katecholaminů → přesun až 350 ml krve do systémového oběhu během několika minut ! → stabilizace tepového objemu i tlaku (hypotenze – krvácení, těžká práce, ...)**

# Cirkulace splanchnikem

- **Střevní oběh**

*(a. coeliaca, a. mesenterica superior a inferior)*

- drobné arterioly vytváří v submukóze pleteň, ze které vystupují větve do svaloviny i do klků
- protiproudová výměna látek mezi arteriolou a venulou v klku (voda,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{O}_2$ )



Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splachnikem

- **Střevní oběh**

*(a. coeliaca, a. mesenterica superior a inferior)*

- regulace krevního průtoku:

- **metabolická vazodilatace** (mediátory: adenosin,  $\downarrow [K^+]_e$  a  $\uparrow$  osmolarity)

*(funkční hyperémie po požití potravy: vyvoláno GIT hormony – gastrinem a cholecystokininem – a vlivem resorbovaných látek – glukóza a mastné kyseliny)*

- **nervová regulace** – téměř výlučně sympatikus, více  $\alpha$  než  $\beta$  rec. → převažuje **vazokonstrikce**

*(během obranné reakce je krev odkloněna vazokonstrikcí z GIT do svalů a srdce)*



# Cirkulace splachnikem

- **Střevní oběh**  
(*a. coeliaca, a. mesenterica superior a inferior*)
- regulace krevního průtoku:
  - **metabolická vazodilatace** (mediátory: adenosin, méně  $[K^+]_e$  a  $\uparrow$  osmolarity)
  - **nervová regulace** – téměř výlučně sympatikus, více  $\alpha$  než  $\beta$  rec.  $\rightarrow$  převažuje **vazokonstrikce**

Při ischemii dojde k metabolické vazodilataci bez ohledu na případné vazokonstrikční působení sympatiku (tzv. autoregulační únik).

# Cirkulace splachnikem

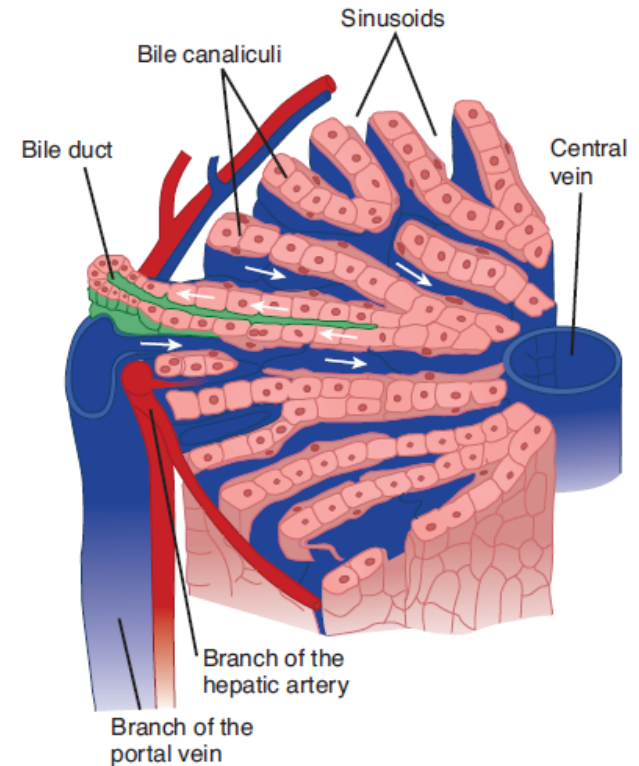
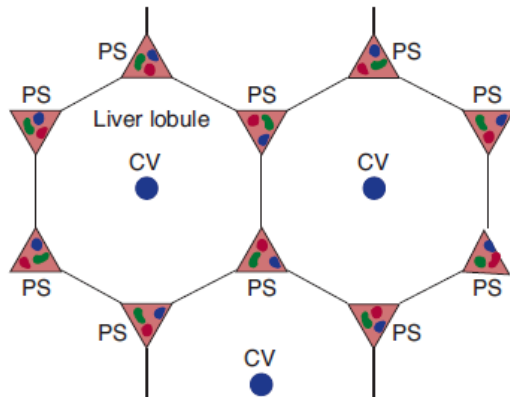
- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- krev přitékající do jater – 25 % srdečního výdeje (~1,5 l/min)
  - $\frac{3}{4}$  *v. portae*,  $\frac{1}{4}$  *a. hepatica*
- **portální oběh** - dvě kapilární řečiště v sérii:
  - 1) v oblasti střevních klků – resorpce ve vodě rozpustných látek ze střeva
  - 2) v oblasti jaterních sinusů – vysoká propustnost pro bílkoviny syntetizované v játrech a vylučované do oběhu

# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- krev přitékající do jater – 25 % srdečního výdeje (~1,5 l/min) **Co se týká přísunu O<sub>2</sub>, je poměr opačný!**
  - $\frac{3}{4}$  *v. portae*,  $\frac{1}{4}$  *a. hepatica*
- **portální oběh** - dvě kapilární řečiště v sérii
- portální krev, která již prošla první kapilární sítí ve střevě, má snížený obsah O<sub>2</sub> → **nutriční jaterní oběh** představuje *a. hepatica* (zastavení průtoku → letální nekróza jater)

# Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- terminální portální venuly a jaterní arterioly ústí v jaterních lalůčcích do sítě sinusů, smíšená krev opouští lalůčky centrální vénou

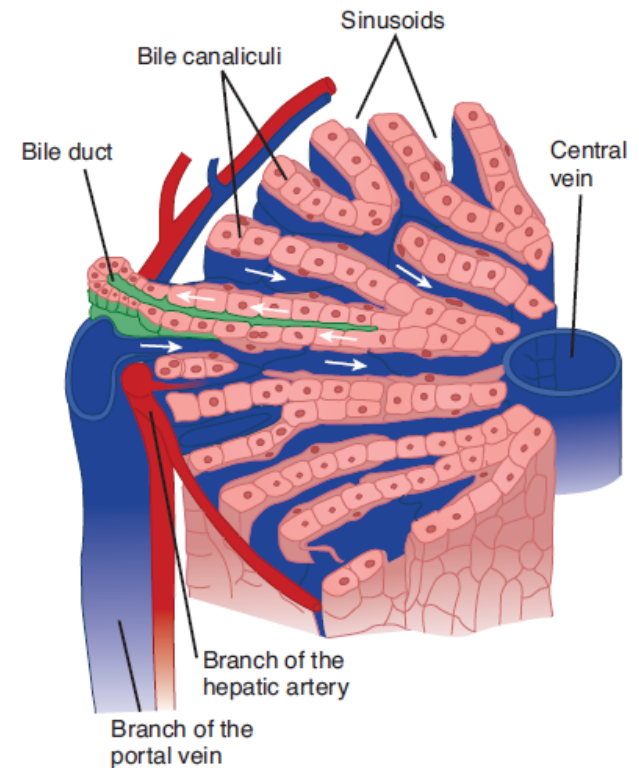


- funkční jednotka - acinus

Ganong s Review of  
Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh (*v. portae, a. hepatica*)**
- tlaky odlišné od jiných tkání:
  - *a. hepatica*: 90 mmHg
  - *v. hepatica*: 5 mmHg
  - *v. portae*: 10 mmHg
  - sinusy: 2.25 mmHg  
(velká redukce tlaku díky velkému odporu ve větvích *a. hepatica*)



Tlak v sinusech je nižší než tlak ve *v. portae*!

Ganong s Review of  
Medical Physiology,  
23<sup>rd</sup> edition

# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- díky prudkému ↓ tlaku v průběhu *a. hepatica* → inverzní regulace toku ve *v. portae* a *a. hepatica*:
  - mezi jídly: mnoho sinusů kolabováno, **průtok *v. portae* malý**, adenosin tvořen konstantně a nyní je méně odplavován → **dilatace terminálních jaterních arteriol**)
  - po jídle: **průtok *v. portae* roste**, adenosin rychleji odplavován → **konstrikce jaterních arteriol**, větší průtok ve *v. portae* ale otvírá doposud kolabované sinusoidy (díky tomu tlak ve *v. portae* výrazně neroste – ochrana před ztrátami tekutin ve vysoce permeabilní jaterní tkáni)
- **vzrůst jaterního tlaku (cirhóza) → ascites**

# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- průtok *a. hepatica* a průtok *v. portae* se doplňují - **vzájemná kompenzace** změn, ale neúplná vzhledem k odlišnému způsobu autoregulace
  - *a. hepatica* – schopná autoregulace
  - *v. portae* - ne
- Pro funkci jater je **nezbytný dostatečný přísun  $O_2$** ! - při  $\downarrow$  průtoku  $\rightarrow$   $\uparrow$  extrakce  $O_2$   
(rezerva pro možné  $\uparrow$  extrakce  $O_2$  – anatomické uspořádání, arterie a žíly vzdáleny  $\rightarrow$  nedochází k ochuzení arteriální krve o  $O_2$  protiproudovou výměnou)

# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- Regulation of blood flow:
  - **nervová:** sympatická vazokonstrikční vlákna –  $\alpha$  rec. → **vazokonstrikce**
  - **metabolická:** adenosin → **vazodilatace**
  - **pasivní:**  $\uparrow$  TK → pasivní dilatace větví *v. portae* →  $\uparrow$  objem krve v játrech

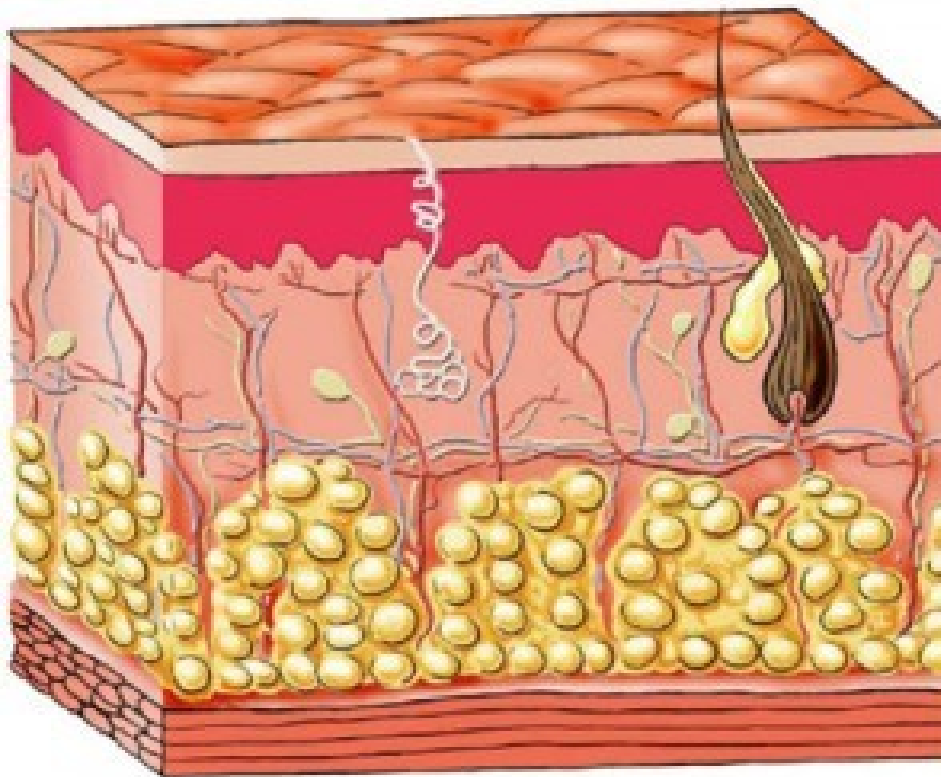
městnavé srdeční selhání → extrémní překrvení jater  
difúzní aktivace sympatiku díky  $\downarrow$  TK → zúžení větví  
portální vény →  $\uparrow$  portálního tlaku → krevní průtok  
obchází většinu jater a vstupuje do systémového  
oběhu



# Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- jaterní lymfatický oběh
  - tvorba téměř  $\frac{3}{4}$  tělesné lymfy
  - lymfa bohatá na bílkoviny (řada plazmatických bílkovin je tvořena v hepatocytech + bílkoviny z plazmy díky vysoké propustnosti stěny sinusů)

# Kožní oběh



# Kožní oběh

- Průtok krve kůží velmi kolísá (0,02 až 5 l/min).
- Průtok krve kůží je řízen:
  - Sympatickými nervy
  - Humorálně – lokální faktory  
(histamin → vazodilatace, serotonin → vazokonstrikce)

# Kožní oběh

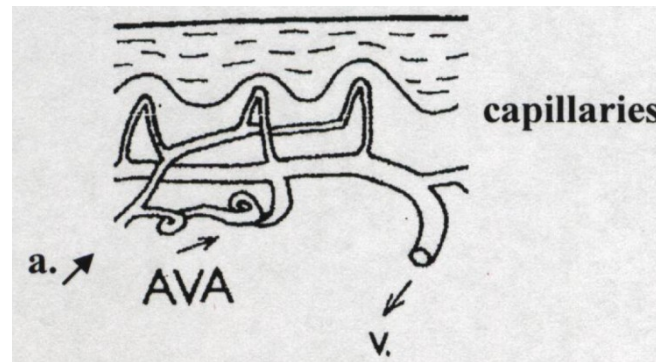
- Metabolické potřeby kůže – malé (*decubitus*)
  - **Udržování teploty tělesného jádra**
    - přísun tepla z jádra (závislé na přítoku krve)
    - ztráty tepla (kondukce, konvekce, radiace, evaporace)
- poikilotermní tkáň (tolerance velkých výkyvů teplot mezi 0 a 45 C)

## Arteriovenosní anastomosy

- **Ochrana proti prostředí**
- **Udržení středního arteriálního tlaku**

# Kožní oběh

- **Arteriovenosní anastomozy**
  - jde o svinuté svalové cévy přímo spojující arterioly a venuly (nízkoodporový zkrat)



Honzíková N - Poznámky k přednáškám z fyziologie (1992)

- řízené sympatickými vazokonstrikčními nervy (aktivita regulována centrem pro řízení tělesné teploty umístěným v hypotalamu)

# Kožní oběh

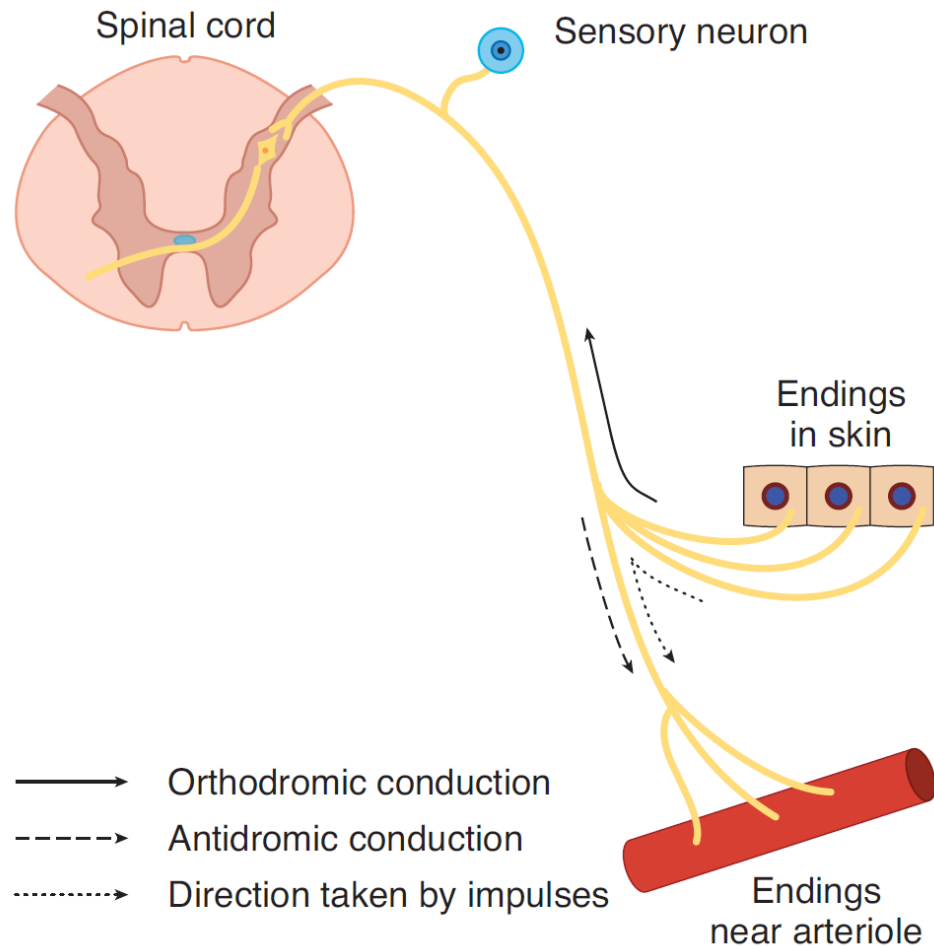
- Odpověď na změny teploty:
  - 1) přímé ovlivnění cévního tonu okolní teplotou
  - 2) dráždění kožních teplotních receptorů
  - 3) dráždění teplotních receptorů v mozku



reflexní modulace  
sympatické vazokonstrikční aktivity

# Kožní oběh

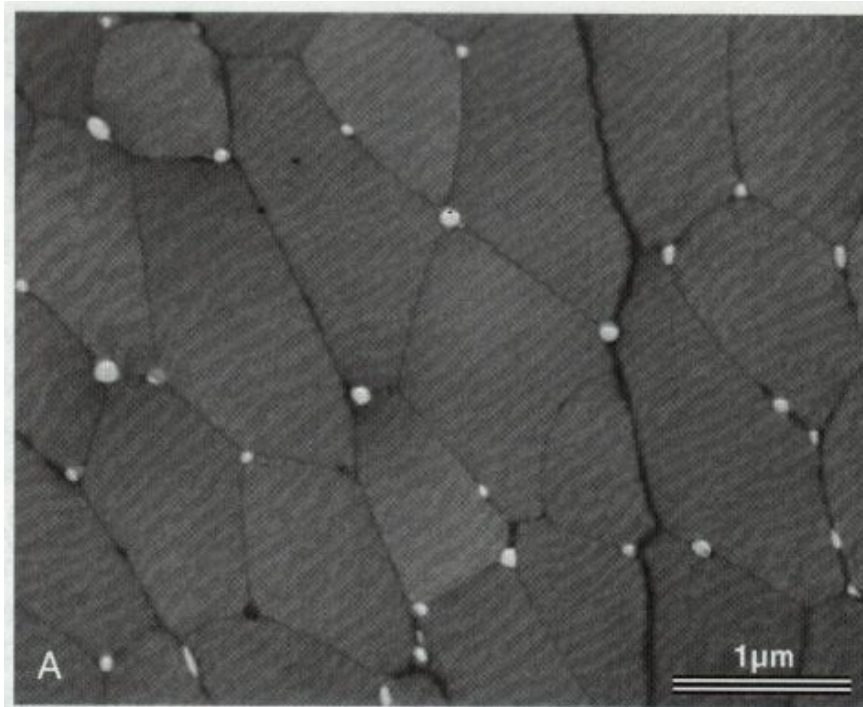
- Axonový reflex



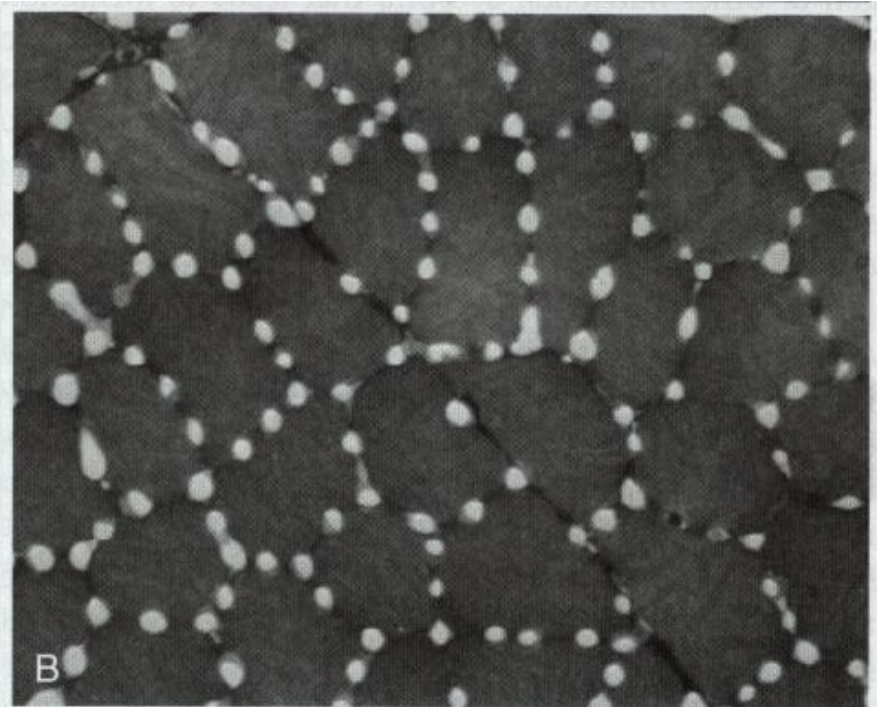
Ganong s Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> edition.

# Svalový oběh

nestimulovaný sval



pravidelně stimulovaný sval



Guyton and Hall. Textbook of Medical Physiology, 12<sup>th</sup> edition



# Svalový oběh

- Funkce:

## 1) Krevní zásobení svalu

přísun  $O_2$  a živin, zejména glukózy

odvod produktů metabolismu ( $CO_2$ ) a tepla

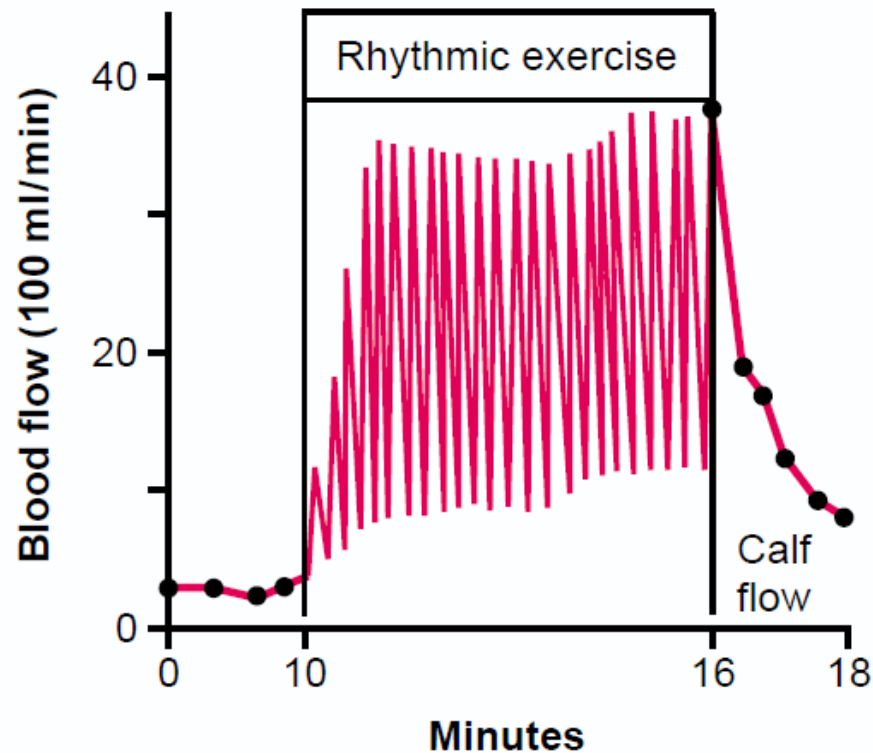
klidový průtok – 18 % srdečního výdeje vs. až 90 % při maximální práci (lokální průtok se ↑ až 20x)

## 2) Regulace krevního tlaku

kosterní svaly – 40 % hmotnosti těla → cévní odpor svalového řečiště má velký vliv na celkový periferní odpor

# Svalový oběh

- Průtok během svalové práce je intermitentní.



# Svalový oběh

- Průtok během svalové práce je intermitentní.
- Během tetanického stahu se může průtok téměř zastavit.

Zásoba  $O_2$  v myoglobinu stačí na cca 5-10 s ischemie. Následuje anaerobní glykolýza s tvorbou a hromaděním laktátu (únava, bolest).

- Svalová pumpa (masáž hlubokých žil během kontrakcí, zvýšení žilního návratu)

# Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:
  - 1) **Nervová regulace**  
převládá v klidu
  - 2) **Lokální chemická regulace**  
převládá během cvičení

# Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:

## 1) Nervová regulace

převládá v klidu

bohatá inervace tonicky aktivními **sympatickými vazokonstrikčními vlákny (noradrenalin)** → vysoký tonus arteriol v klidu ~ velká dilatační rezerva

aktivita řízena **reflexně z baroreceptorů** – významný podíl na řízení celkového periferního odporu (ortostáza, hypovolémie – pokles průtoku až na pouhou 1/5 klidového)

**noradrenalin** – při nízké dávce vazodilatace (dráždění baroreceptorů), při vyšších dávkách vazokonstrikce ( $\alpha$  rec.)

**adrenalin** – **vazodilatace** (více  $\beta$  receptorů)

# Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:

## 1) Nervová regulace

převládá v klidu

**sympatická cholinergní vazodilatační vlákna**

(odporové cévy ve svalech a kůži) → zvýšení průtoku  
ještě před započítím svalové aktivity ~ anticipace

svalové aktivity během stresu

(+ vazokonstrikce jinde – prevence náhlého poklesu  
krevního tlaku)

# Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:

## 2) Lokální chemická regulace

převládá během cvičení

uvolňování  $K^+$  z kontrahujících se svalů  $\rightarrow \uparrow$   
koncentrace  $K^+$  v intersticiu +  $\uparrow$  osmolarity (i laktát)  
+  $\downarrow$   $pO_2$  (živin) +  $\uparrow$   $pCO_2$  +  $\downarrow$  pH (i laktát)

$\rightarrow$  **metabolická vazodilatace**

téměř lineární vzestup průtoku se vzrůstající  
metabolickou aktivitou

# Svalový oběh

- Dostatečné uvolňování energie pro svalovou práci je závislé na:
  - 1) zvýšeném průtoku krve (zvýšený přísun  $O_2$ )
  - 2) zvýšené extrakci  $O_2$  (z 25 na 80 %)



# Svalový oběh

- **Anaerobní glykolýza**

Množství vytvořeného laktátu je mírou deficitu  $O_2$  (kyslíkového dluhu).

**laktát** → acidóza → metabolická vazodilatace + bolest (nociceptivní C vlákna) – ta ukončuje usilovnou svalovou práci

hyperémie přetrvává po skončení práce → **laktát odplaven a z většiny metabolizován** v játrech na glykogen + primární zdroj energie pro srdce

# Svalový oběh

- Lokální vazodilatace v pracujících svalech
  - ↑ průtoku krve
  - ↑ kapilárního tlaku + ↑ osmolarita ( $K^+$ , laktát)
  - ↑ filtrace → otok v pracujících svalech