

Regionální oběhy

(plicní, kožní, svalový, mozkový,
splachnický, renální, fetální)

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
 - filtr

Plicní oběh

- **Tepny** (rozdíly oproti tepnám velkého oběhu)
 - větší celkový průřez
 - menší tloušťka stěn, tenká svalová vrstva
 - velká poddajnost (*compliance*)
- **Kapiláry**
 - široké, bohaté anastomózy, síť obklopující alveoly
 - čas průtoku, plocha perfundovaných kapilár v klidu a při zátěži
- **Žíly**
 - velká poddajnost (rezervoár krve; ortopnoe)

Krevní tlak v plicním řečišti

Plicní oběh

- **Výživový oběh**
fyziologický A-V zkrat
- **Lymfatické cévy**
 - rychlý transport bílkovin a různých částic z peribronchiálního a perivaskulárního prostoru → ↓ tvorba tkáňového moku ~ předcházení vzniku otoku plic

Fyziologicky v plicních kapilárách k filtraci nedochází!

1. tlakové poměry v intersticiu a plicních kapilárách
2. permeabilita plicních kapilár

Plicní oběh

- Regulace plicního oběhu
 - A. Systémové mechanismy
 - 1) Nervová regulace
(sympatikus a parasympatikus)
 - 2) Humorální regulace (cirkulující působky)
 - B. Lokální mechanismy
 - chemická (metabolická) autoregulace
reakce opačná než ve velkém oběhu (vazokonstrikce)
 - C. Pasivní faktory
 - srdeční výdej
 - gravitace (distribuce krve v plicích)

Plicní oběh

- Poměr ventilace a perfúze

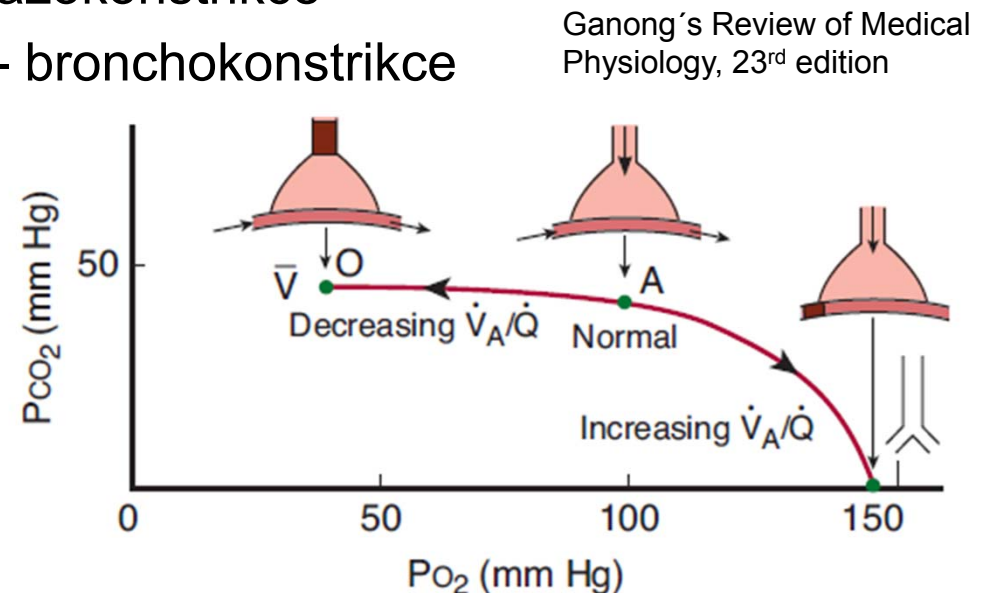
- snaha zachovat konstantní (lokální metabolická autoregulace)

neventilovaný alveolus - vazokonstrikce

neperfundovaný alveolus - bronchokonstrikce

- pokles poměru - v klinice nejčastější příčinou hypoxické hypoxie (pravo-levý zkrat) → ↓ saturace arteriální krve O_2

- obsah CO_2 obvykle není změněn (kompenzační hyperventilace v ostatních alveolech)



Kožní oběh

Kožní oběh

- Průtok krve kůží velmi kolísá (0,02 až 5 l/min).

Funkce:

- Metabolické potřeby kůže – malé (*decubitus*)

- **Udržování teploty tělesného jádra**

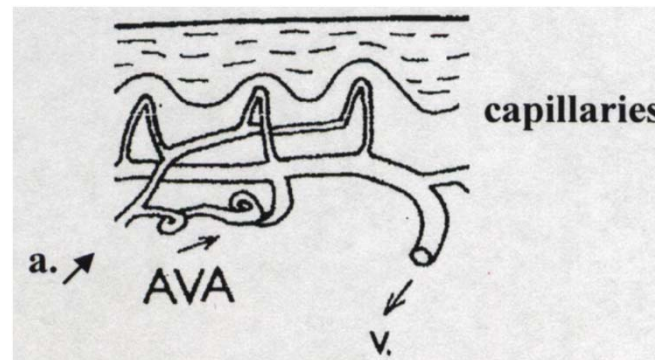
poikilothermní tkáň

Arteriovenosní anastomosy

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

Kožní oběh

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



Honzíková N - Poznámky k přednáškám z fyziologie (1992)

- průtok řízen sympatickými vazokonstrikčními nervy

Skin Circulation

- Regulace průtoku krve kůží:
 - Sympatická nervová vlákna
 - Humorální – lokální faktory
(histamin, serotonin)

Kožní oběh

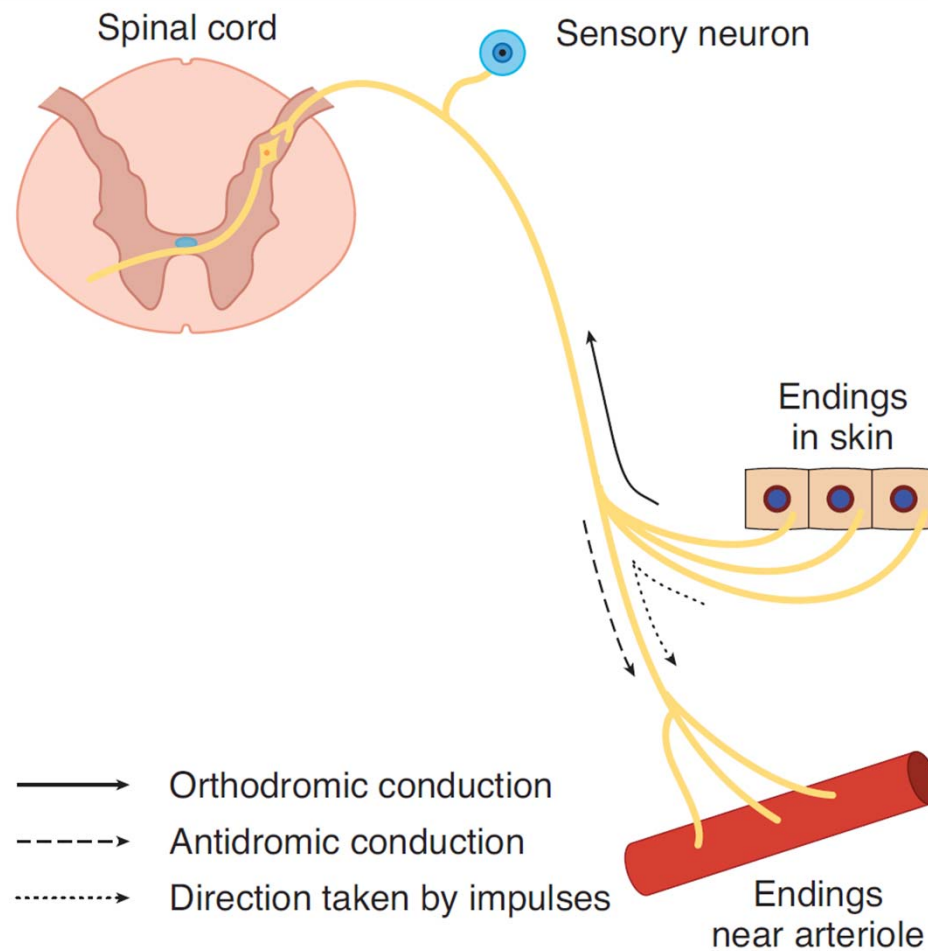
- Odpověď na změny teploty:
 - 1) přímé ovlivnění cévního tonu okolní teplotou
 - 2) dráždění kožních teplotních receptorů
 - 3) dráždění teplotních receptorů v mozku



reflexní modulace
sympatické vazokonstrikční aktivity

Kožní oběh

- Axonový reflex



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Svalový oběh

Svalový oběh

- Funkce:

- 1) Krevní zásobení svalu

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

- Průtok během svalové práce je intermitentní, během tetanického stahu až nulový (kyslíkový dluh).

Svalový oběh

- Regulace krevního průtoku ve svalech:

1) Nervová regulace

převládá v klidu (vazokonstrikce přes sympatikus – velká dilatační rezerva)

2) Lokální chemická regulace

převládá během cvičení (metabolická vazodilatace)

téměř lineární vzestup průtoku se vzrůstající metabolickou aktivitou

zvýšený průtok + zvýšená extrakce O_2

současně \uparrow kapilárního tlaku + \uparrow osmolarita \rightarrow

\uparrow filtrace \rightarrow otok v pracujících svalech

Mozková cirkulace

Mozková cirkulace

TABLE 34–1 Resting blood flow and O₂ consumption of various organs in a 63-kg adult man with a mean arterial blood pressure of 90 mm Hg and an O₂ consumption of 250 mL/min.

Region	Mass (kg)	Blood Flow		Arteriovenous Oxygen Difference (mL/L)	Oxygen Consumption		Resistance (R units) ^a		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

^aR 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, 23rd edition.



Mozková cirkulace

- musí zajistit:
 - 1) **konstantní dostatečný přísun krve**
(ztráta vědomí během několika sekund mozkové ischemie, ireverzibilní poškození během několika minut)
 - 2) **dynamickou redistribuci krve**
(metabolická hyperémie)

Mozková cirkulace

- Anatomické zvláštnosti mozkové cirkulace:

- 1) *circulus arteriosus cerebri*

(propojení hlavních mozkových tepen anastomózami)

- 2) **velmi vysoká kapilarizace**

(3000 – 4000 kapilár / mm² 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
 - 2) vysoká extrakce kyslíku
 - 3) dobře vyvinutá autoregulace (myogenní i metabolická)
 - 4) vysoká reaktivita na změny koncentrace CO_2
 - 5) lokální vs. celková hypoxie
 - 6) inervace

Mozková cirkulace

- Zvláštní fyzikální podmínky mozkové cirkulace:

1) pevný obal mozku lebkou

Monro-Kelliova teorie

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

→ Cushingův reflex (nádor, krvácení)

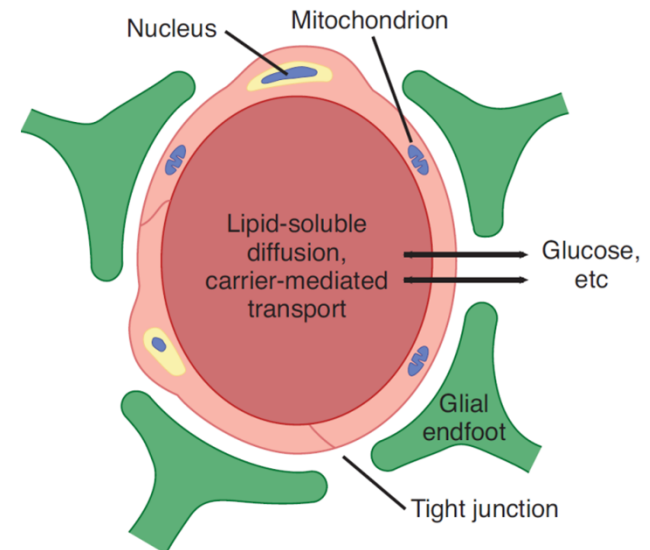
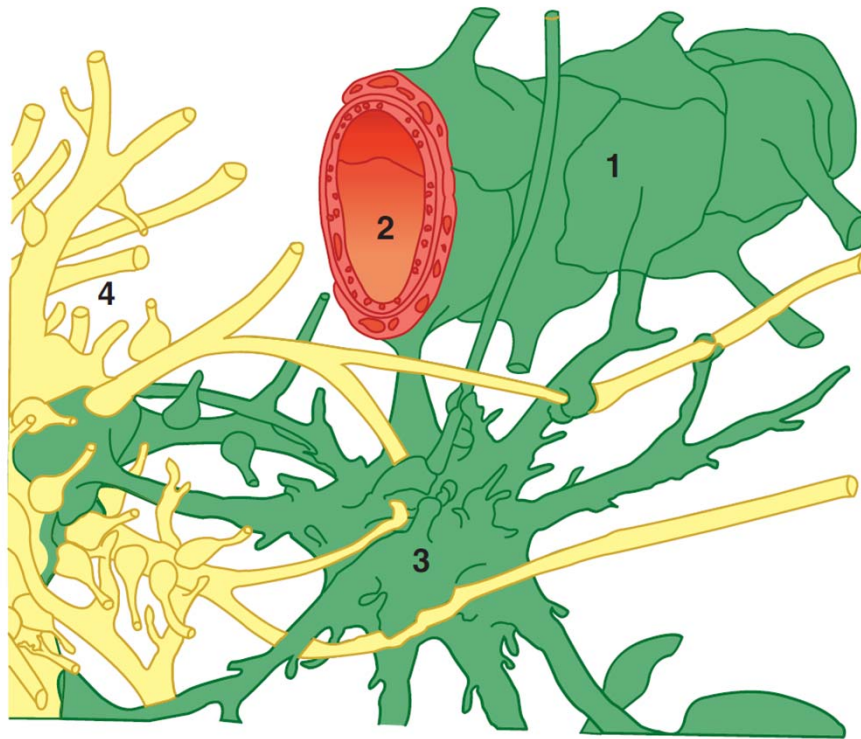
2) gravitace

ortostáza (posturální synkopa)

Mozková cirkulace

- Hematoencefalická bariéra

mozkové kapiláry – těsné interendotelové spoje



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd 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

- **Mozkomíšňní mok**
 - lokalizace
 - složení
 - objem ~150 ml,
rychlost tvorby ~550 ml/d
(výměna 3,7x/den)

Substance		CSF	Plasma	Ratio CSF/Plasma
Na ⁺	(meq/kg H ₂ O)	147.0	150.0	0.98
K ⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.9	4.6	0.62
Mg ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.2	1.6	1.39
Ca ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.3	4.7	0.49
Cl ⁻	(meq/kg H ₂ O)	113.0	99.0	1.14
HCO ₃ ⁻	(meq/L)	25.1	24.8	1.01
PCO ₂	(mm Hg)	50.2	39.5	1.28
pH		7.33	7.40	...
Osmolality	(mosm/kg H ₂ 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

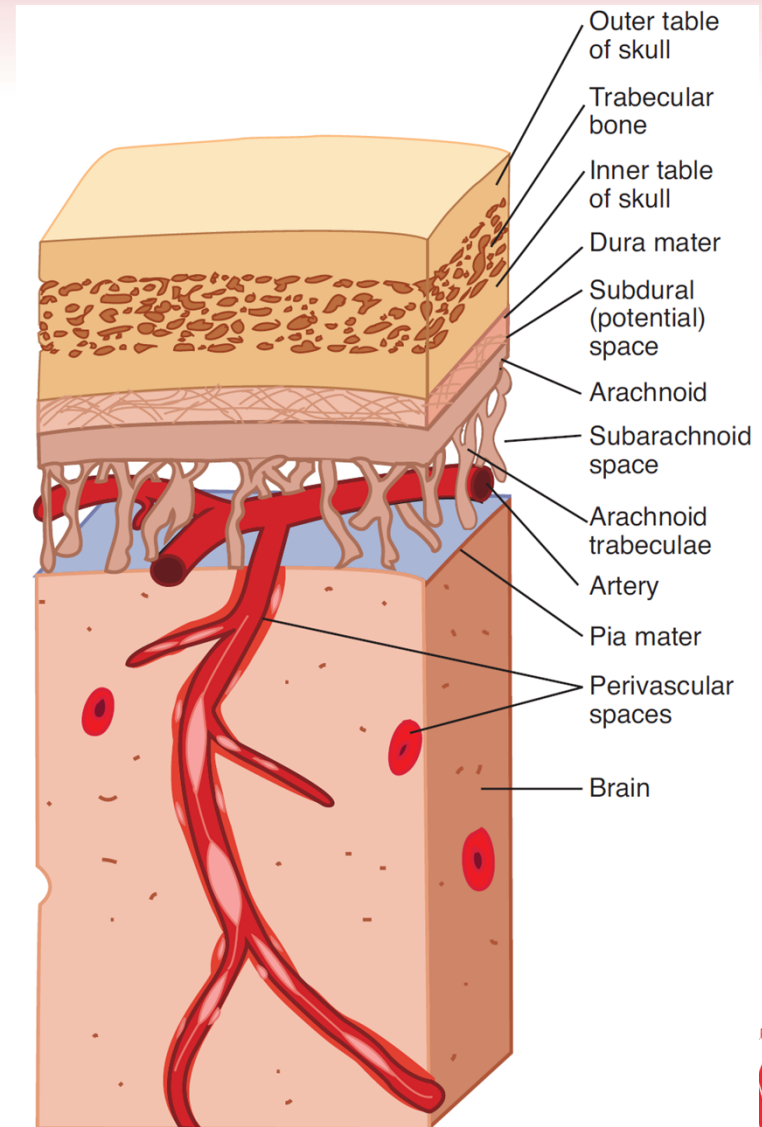
Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**

Funkce:

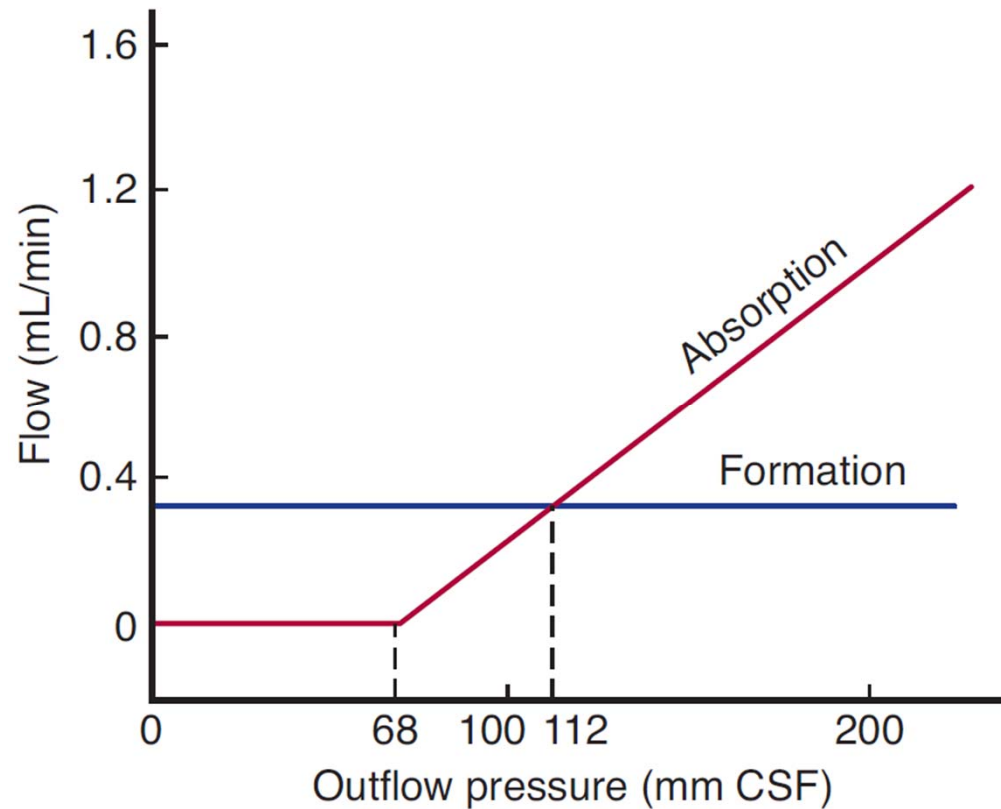
- ochrana mozku
(spolu s mozkovými plenami)



Ganong's Review of Medical Physiology,
23rd edition

Mozková cirkulace

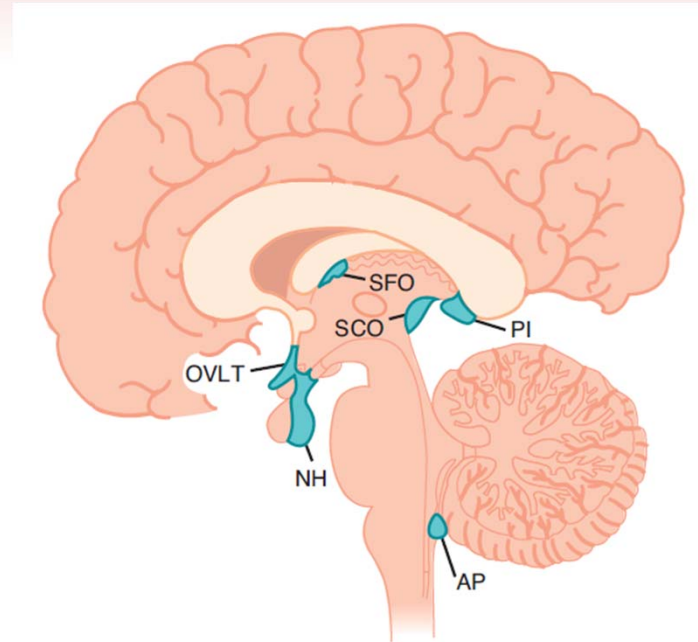
- Mozkomíšní mok



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Mozková cirkulace

- **Paraventriculární orgány**
 - ~ oblasti mozku, kde **chybí hematoencefalická bariéra** (fenestrované kapiláry)
 - sekrece **polypeptidů** do oběhu (oxytocin, vazopresin, ...),
 - **chemorecepční zóny** (AP)
 - **osmorecepční zóny** (OVLT)



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem

Ketyho metoda

- Fickův princip, metoda indikátorového plynu
- oxid dusný N_2O

množství N_2O ve venózní krvi

$$\text{průtok krve mozkiem} = \frac{\text{N}_2\text{O extrahovaný mozkiem z krve} / \text{čas}}{\text{průměrný arteriovenózní rozdíl N}_2\text{O}}$$

→ průměrný průtok všemi perfundovanými oblastmi !

Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem - regionální
PET (pozitronová emisní tomografie)
fMRI (funkční magnetická rezonance)

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

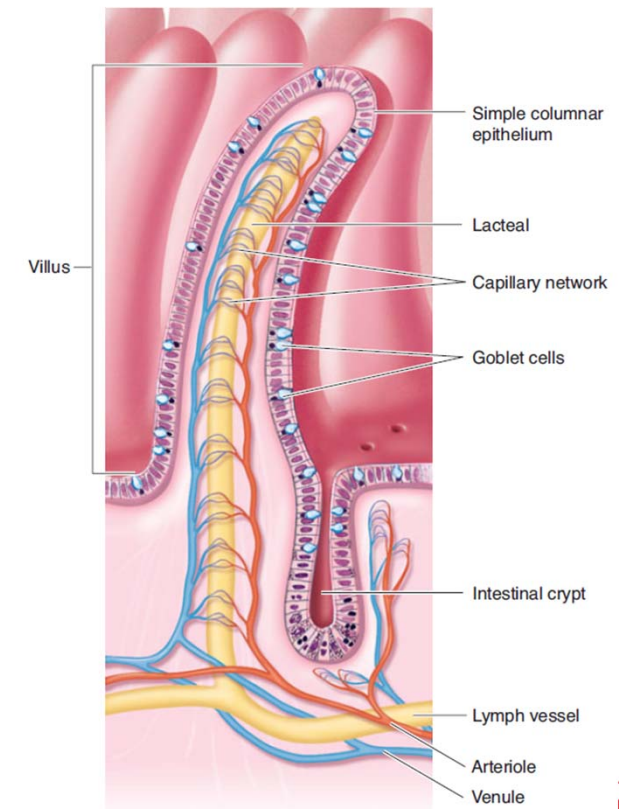
- Rezervoár krve
- v klidu zhruba 20 % celkového objemu krve
- bohatá inervace sympatickými vazokonstrikčními vlákny - α rec. (přesun až 350 ml krve do systémového oběhu během několika minut !)

Cirkulace splanchnikem

- **Střevní oběh**

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

- submukózní pleteň, větve do svaloviny i do klků
- protiproudová výměna látek



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Cirkulace splachnikem


- **Střevní oběh**

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

- regulace krevního průtoku:

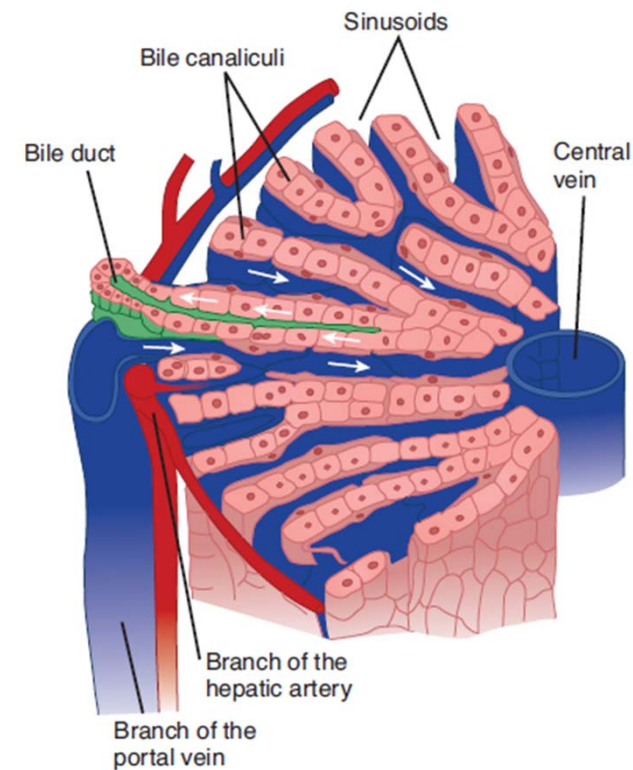
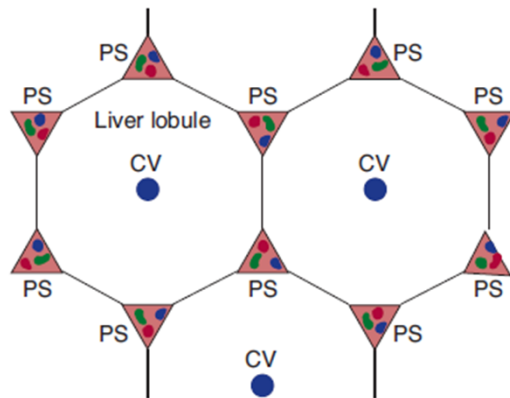
- **metabolická vazodilatace** (mediátory: adenosin, $\downarrow [K^+]_e$ a \uparrow osmolarity)
- **nervová regulace** – téměř výlučně sympatikus, více α než β rec. → převažuje **vazokonstrikce**

Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- 25 % srdečního výdeje
 - $\frac{3}{4}$ *v. portae*, $\frac{1}{4}$ *a. hepatica*

přísun O₂
- **portální oběh:**
 - dvě kapilární řečiště v sérii (střevní klky, jaterní sinusy)
 - snížený obsah O₂ → **nutriční jaterní oběh** - *a. hepatica*

Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh (*v. portae, a. hepatica*)**
- funkční jednotka - acinus

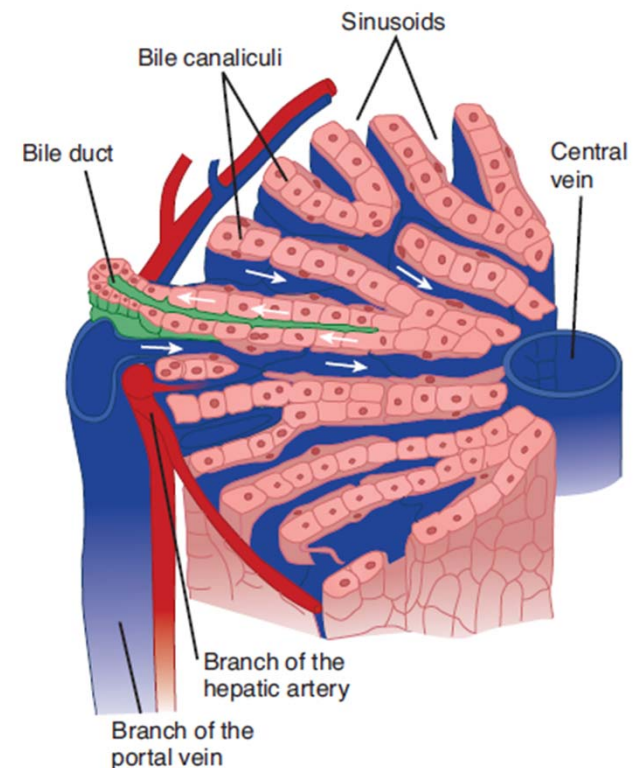


Ganong's Review of
Medical Physiology,
23rd edition



Cirkulace splanchnikem

- **Jaterní oběh (*v. portae, a. hepatica*)**
- tlaky:
 - *a. hepatica*: 90 mmHg
 - *v. hepatica*: 5 mmHg
 - *v. portae*: 10 mmHg
 - sinusy: 2.25 mmHg



Ganong's Review of
Medical Physiology,
23rd edition



Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- inverzní regulace toku ve *v. portae* a *a. hepatica*:
 - mezi jídly: **průtok *v. portae* malý**, adenosin tvořen konstantně, méně odplavován → **dilatace terminálních jaterních arteriol**
 - po jídle: **průtok *v. portae* roste**, adenosin rychleji odplavován → **konstrikce jaterních arteriol**, větší průtok ve *v. portae* otvírá doposud kolabované sinusoidy
- **vzrůst jaterního tlaku (cirhóza) → ascites**

Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- Regulace průtoku:
 - **nervová**: symp. vazokonstrikční vlákna – α rec.
 - **metabolická**: adenosin → **vazodilatace**
 - **pasivní**: \uparrow TK → pasivní dilatace větví *v. portae*
→ \uparrow objem krve v játrech
městnavé srdeční selhání
difúzní aktivace sympatiku při \downarrow TK
- Pro funkci jater je **nezbytný dostatečný přísun O_2** ! -
při \downarrow průtoku → \uparrow extrakce O_2

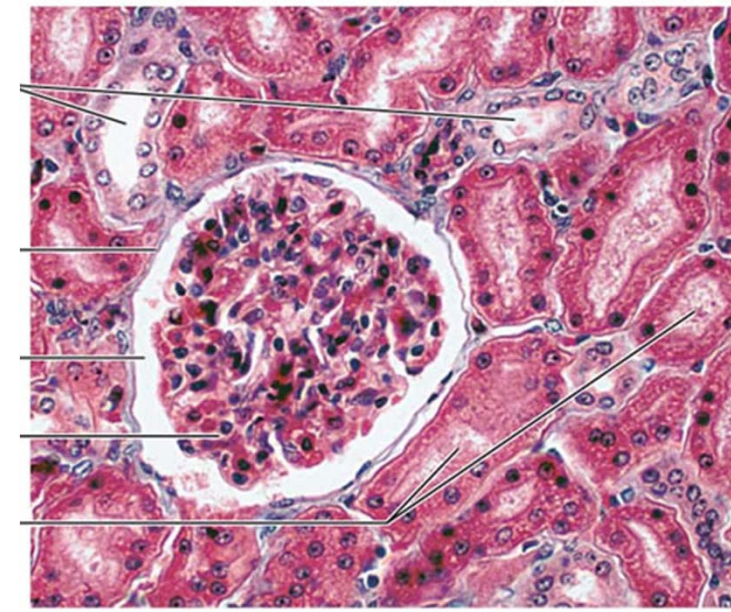
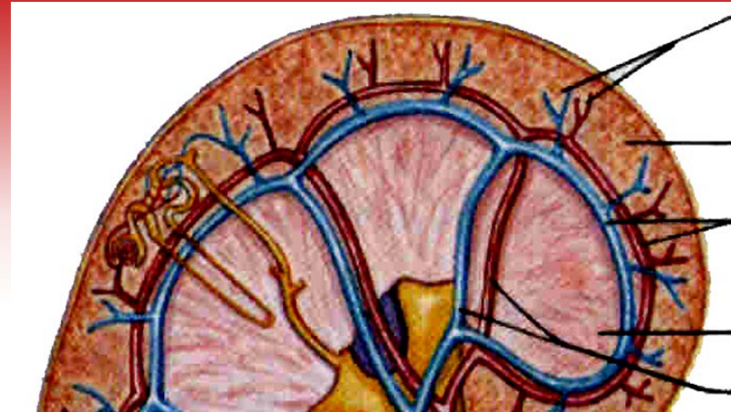
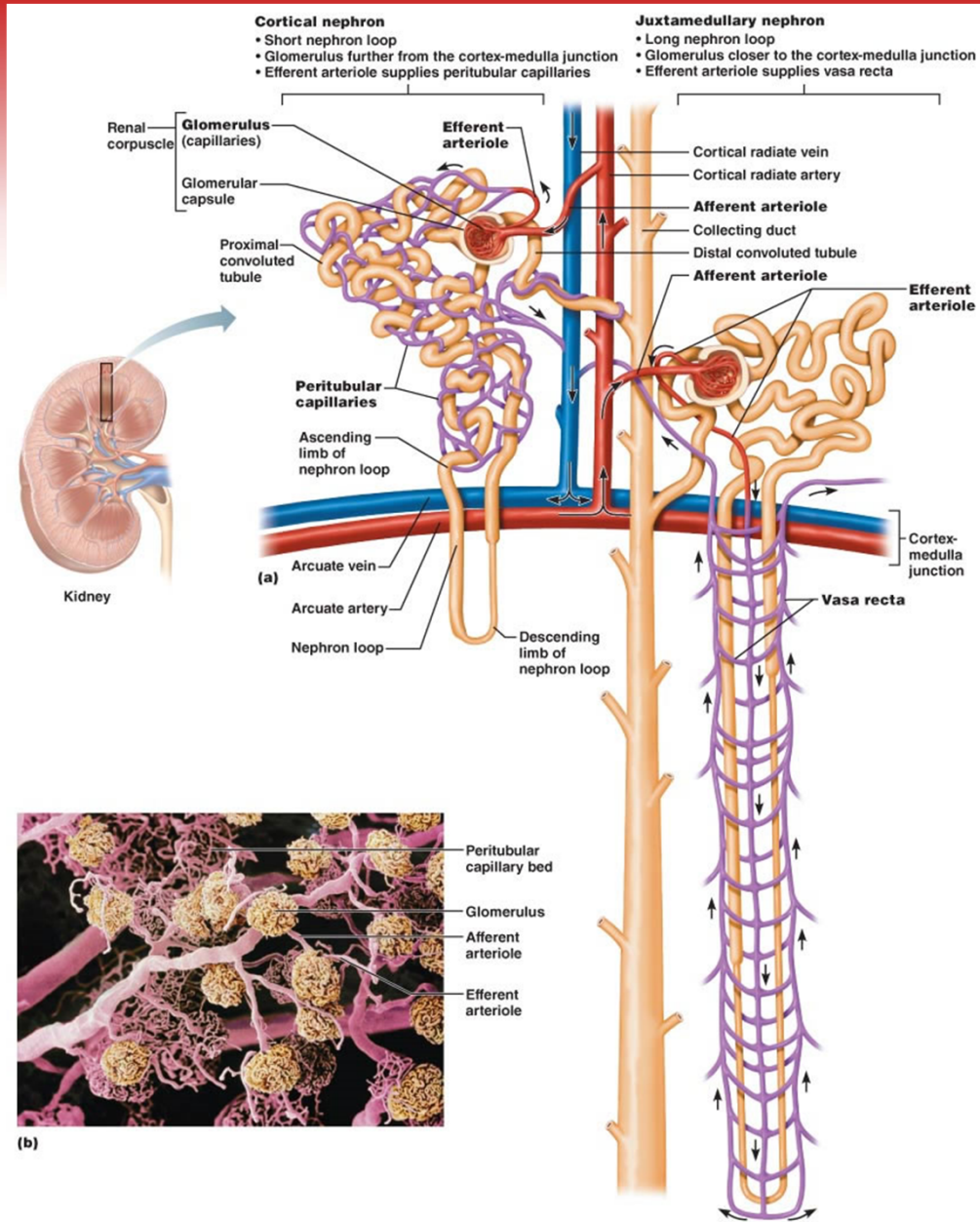
Cirkulace splachnikem

- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- jaterní lymfatický oběh
 - tvorba téměř $\frac{3}{4}$ tělesné lymfy
 - lymfa bohatá na bílkoviny (plazmatické bílkoviny tvořené v hepatocytech + bílkoviny z plazmy - vysoká propustnost stěny sinusů)

Renální cirkulace

Renální cirkulace

- hlavní funkce ledvin
- **Vysoký filtrační výkon vyžaduje adekvátní prokrvení!**
 - ledviny tvoří cca 0,4 % hmotnosti těla
 - průtok 1,2 l/min, ~25 % srdečního výdeje
- rozložení průtoku **nerovnoměrné**, většina protéká kůrou (glomeruly – filtrace)

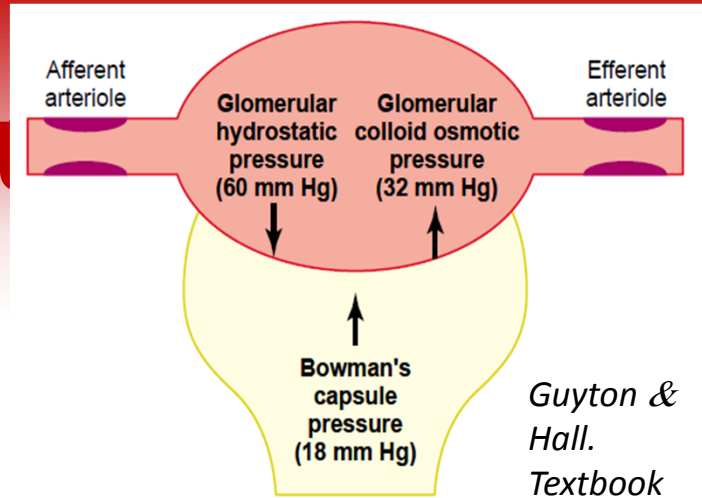


renal cortical tissue (180X)

© 2013 Pearson Education, Inc.



Renální cirkulace



Guyton & Hall.
Textbook
of Medical
Physiology

- *v. aff.*, *v. eff.*

- průtok krve glomerulem =
$$\frac{P_{v.a.} - P_{v.e.}}{R_{v.a.} + R_{v.e.} + R_{g.k.}}$$

- **vzestup odporu** ve *vas aff.* či *vas eff.* **sníží průtok** ledvinou (pokud je stabilní arteriální tlak)
- **řídí glomerulární filtrační tlak:**

konstrikce *vas aff.* → ↓ tlaku v glomerulu → ↓ filtrace
konstrikce *vas eff.* → ↑ tlaku v glomerulu → ↑ filtrace

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**
 - 1) Myogenní autoregulace
 - 2) Nervová regulace
 - 3) Humorální regulace

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

- 1) **Myogenní autoregulace**

- dominuje
- zajišťuje stabilní filtrační činnost ledvin udržováním stabilního krevního průtoku ledvinami při kolísajícím systémovém krevním tlaku

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

2) Nervová regulace

- podřízena potřebám systémového oběhu

- **sympatikus - noradrenalin**

lehká zátěž/vzpřímená polohy těla → ↑ sympatického tonu → ↑ tonu v. aff. i eff. → ↓ průtoku ledvinami, ale bez snížení GFR (↑ FF)

sympatický tonus významně ↑ **během anestezie a vlivem bolesti** - GFR pak může ↓

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin

- **noradrenalin, adrenalin**

→ konstrikce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR

v souladu se ↑ aktivitou sympatiku (význam tedy malý s výjimkou vážných stavů, např. závažného krvácení)

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin

- **noradrenalin, adrenalin**

→ konstrikce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR

- **endotelin**

→ konstrikce aff. a eff. arterioly → ↓ průtok krve ledvinami a GFR

uvolňován lokálně z poškozeného endotelu (fyziologicky význam při hemostáze; patologicky je jeho hladina zvýšena např. při preeklampsii, akutním selhání ledvin, chronické urémii)

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

3) Humorální regulace

- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin

- **NO**

kontinuální bazální produkce → vazodilatace v ledvině → stabilní úroveň průtoku krve ledvinami a GFR

- **prostanglandiny (PGE_2 , PGI_2), bradykinin**

→ vazodilatace

omezují vliv vazokonstrikčních působků, což zabraňuje velkému ↓ průtoku krve ledvinou a GFR

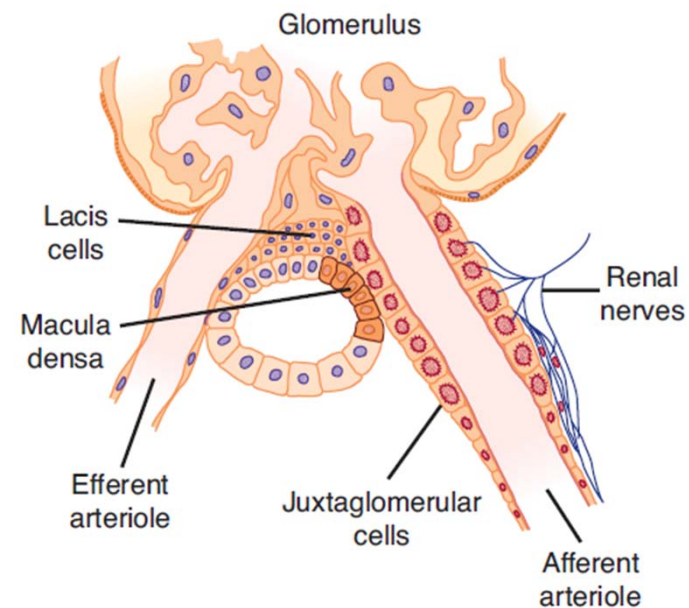
nesteroidní antiflogistika během stresu (chirurgický výkon, ↓ objemu tekutin) může → významný ↓ GFR

Renální cirkulace

- **Řízení průtoku krve ledvinami:**

3) Humorální regulace

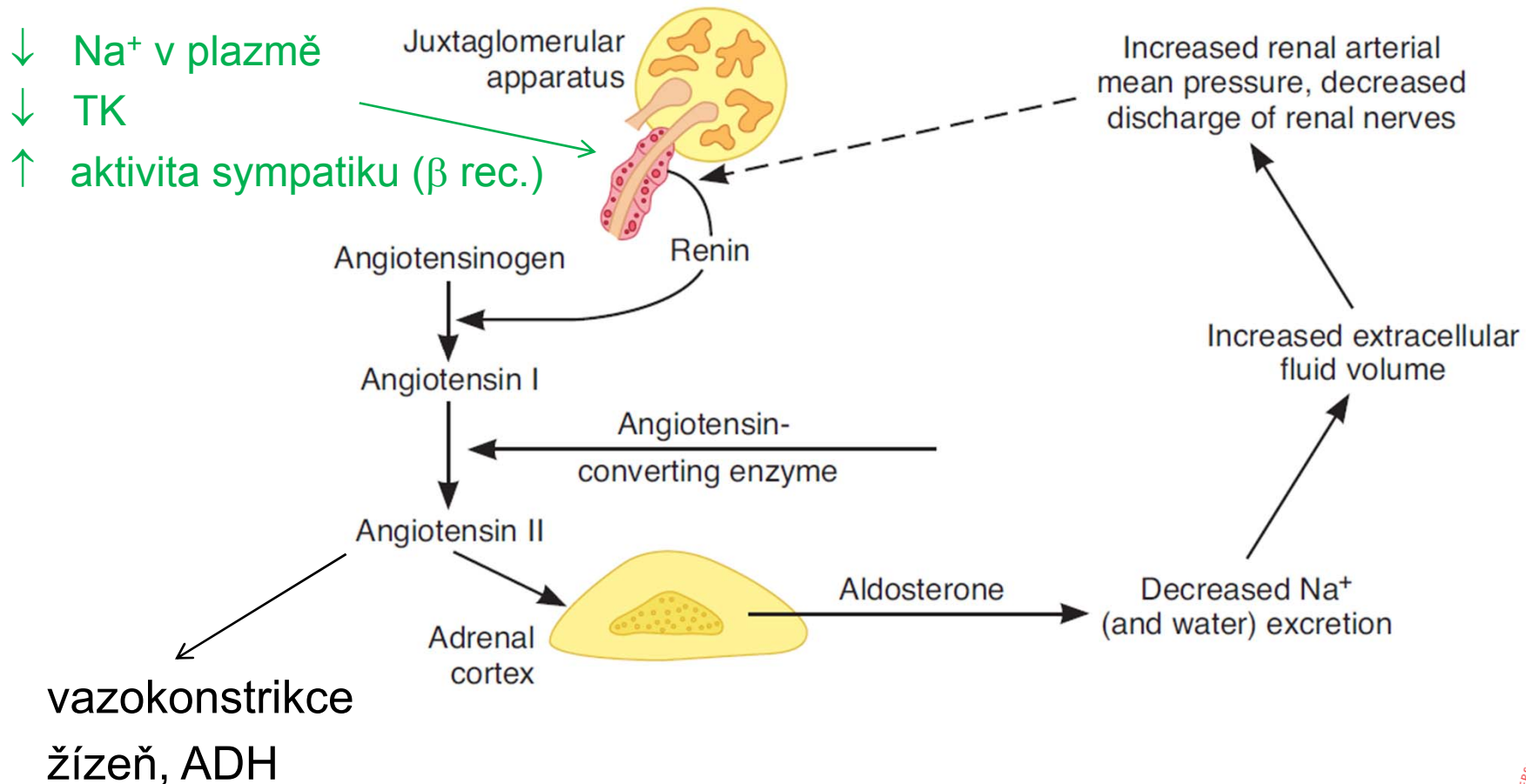
- podílí se na řízení systémového tlaku a řízení tělesných tekutin
- **Renin-angiotensinový systém**



Ganong's Review of Medical
Physiology, 23rd edition

Renální cirkulace

Renin-angiotensinový systém



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

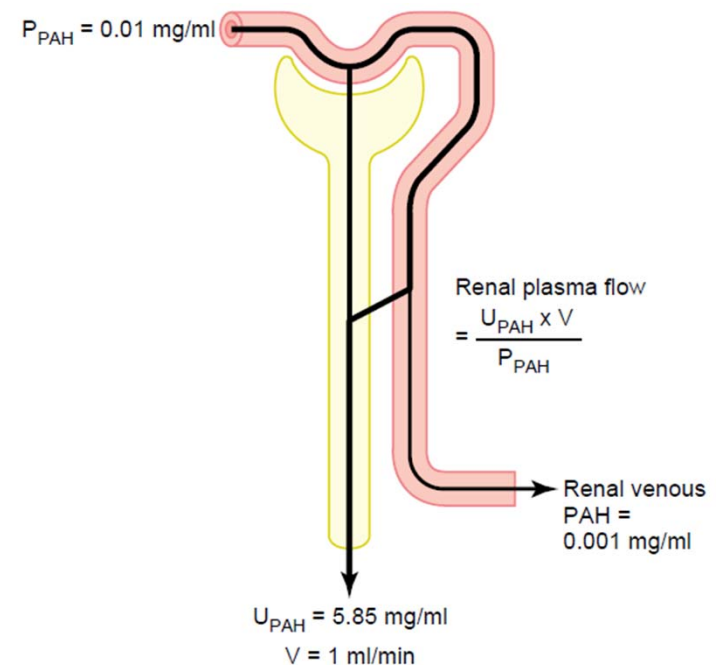
Renální cirkulace

Stanovení rychlosti průtoku plazmy ledvinami (RPF)

Clearance látky, která je v glomerulotubulárním aparátu nefronu plně očištěna z plazmy.

PAH (paraaminohippurová kyselina) - očištěna z 90%

$$RPF = \frac{5,85 \times 1 \text{ mg/min}}{0,01 \text{ mg/ml}} = 585 \text{ ml/min}$$



Guyton & Hall. Textbook of Medical Physiology

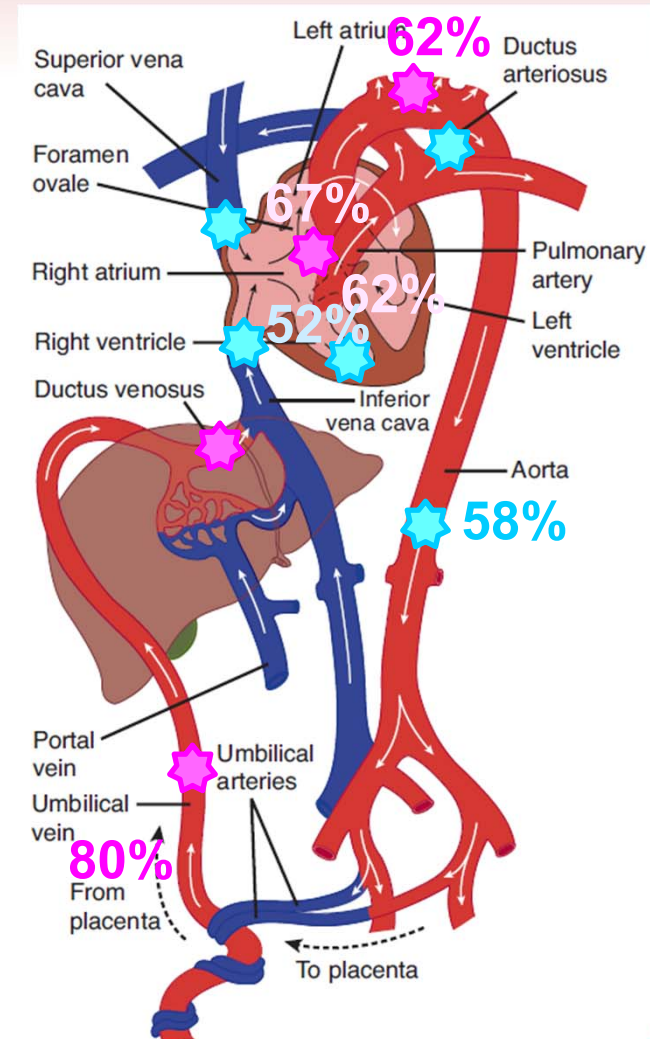
Korekce na extrakční poměr PAH (E_{PAH}):

$$E_{PAH} = \frac{P_{PAH} - V_{PAH}}{P_{PAH}} = 0,9 \longrightarrow RPF = \frac{585 \text{ ml/min}}{0,9} = 650 \text{ ml/min}$$

Fetální cirkulace

Fetální cirkulace

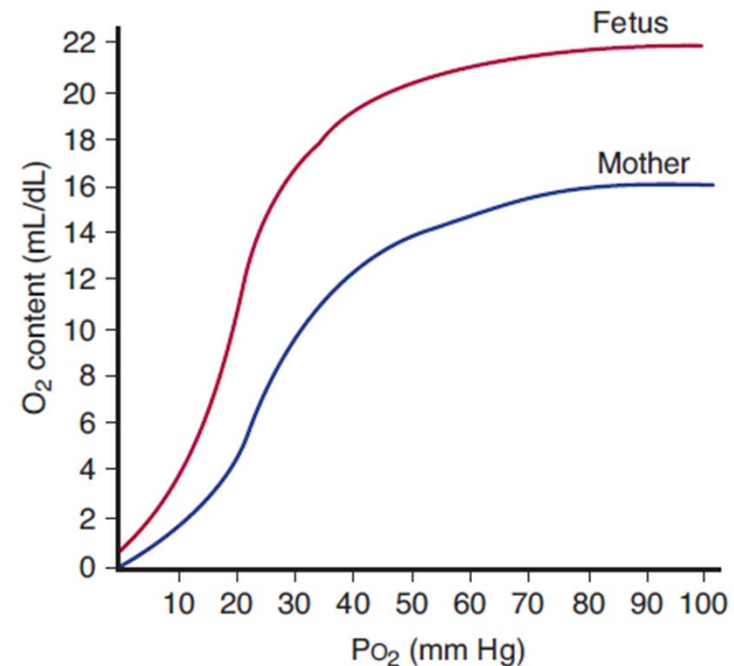
- placenta, pupeční žíla
- játra, *ductus venosus*
- *crista dividens*, *foramen ovale*
- krevní zásobení hlavy a horních končetin
- dolní a horní dutá žíla
- pravá komora
- *ductus arteriosus*
- aorta – zásobení dolní poloviny těla + 60 % srdečního výdeje do placenty



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Fetální cirkulace

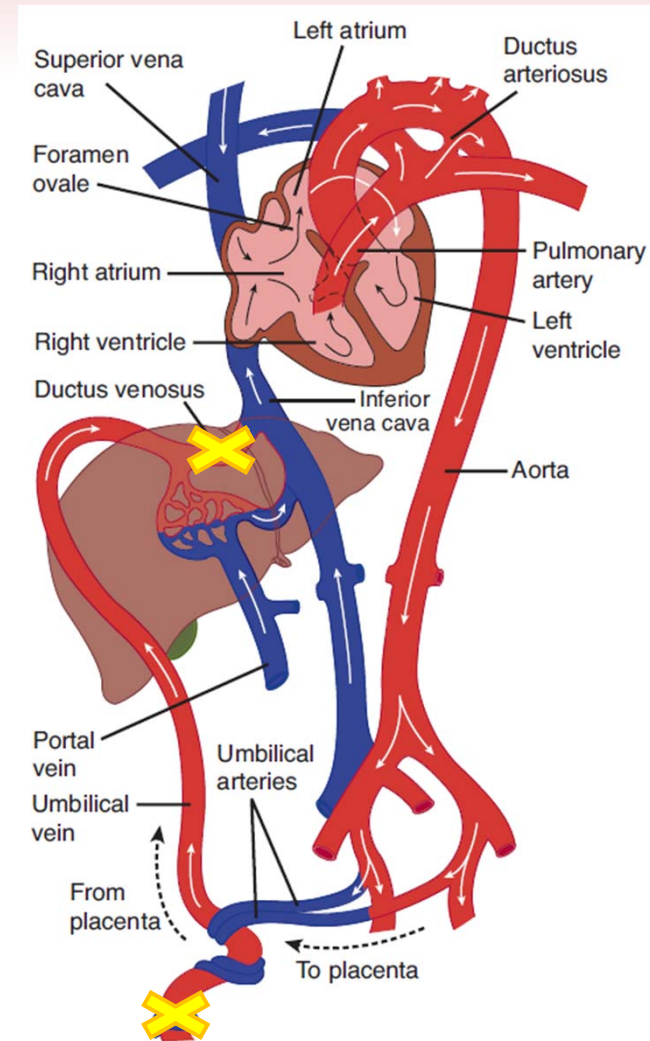
- fetální hemoglobin
- krátkodobá hypoxie
- delší hypoxie
- silná svalová stěna pupečních cév



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

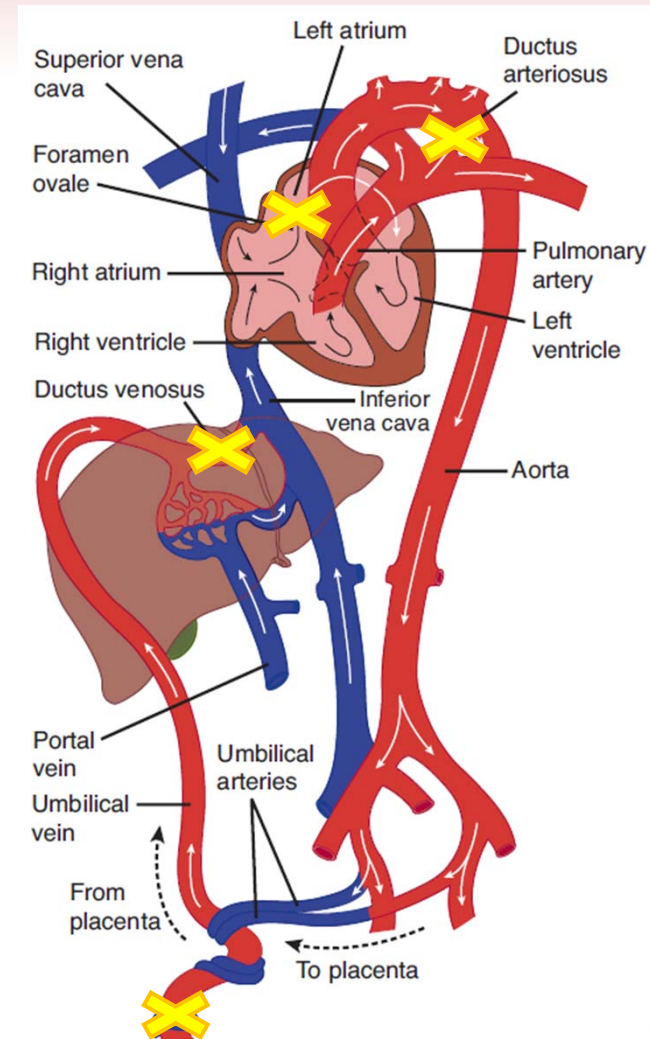
Fetální cirkulace

- **Změny po porodu**
- **Uzavření pupeční žíly**
 - náhlé zvýšení periferního odporu a krevního tlaku
 - stah svaloviny *ductus venosus* a jeho uzavření
- **První nádech** (vlivem asfyxie a ochlazení těla)
 - pokles odporu plicního řečiště
 - do plic mnohem více krve



Fetální cirkulace

- **Změny po porodu**
- **Pokles tlaku v pravé síni a jeho navýšení v síni levé díky:**
 - ↑ plnění levé síně krví z plic
 - ↓ žilní návrat do pravé síně díky uzávěru pupeční žíly
 - levá komora čerpá proti zvýšenému odporu v aortě
- **Uzávěr *foramen ovale***
- **Uzávěr *ductus arteriosus***



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.