

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

doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.

Fyziologický ústav, Lékařská fakulta, Masarykova univerzita

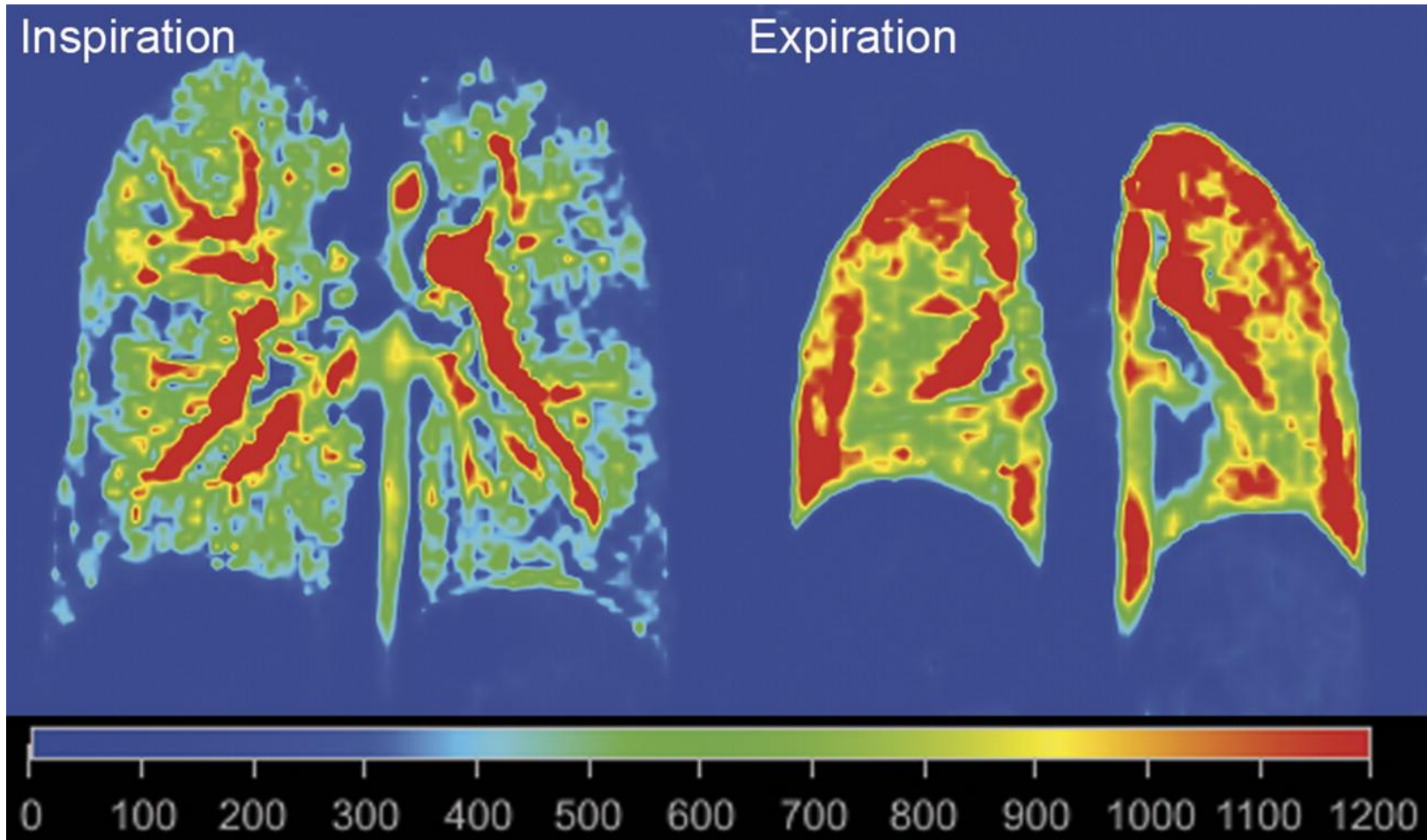


**Tato prezentace obsahuje pouze stručný
výťah nejdůležitějších pojmů a faktů. V
žádném případě není sama o sobě
dostatečným zdrojem pro studium ke
zkoušce z Fyziologie.**

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

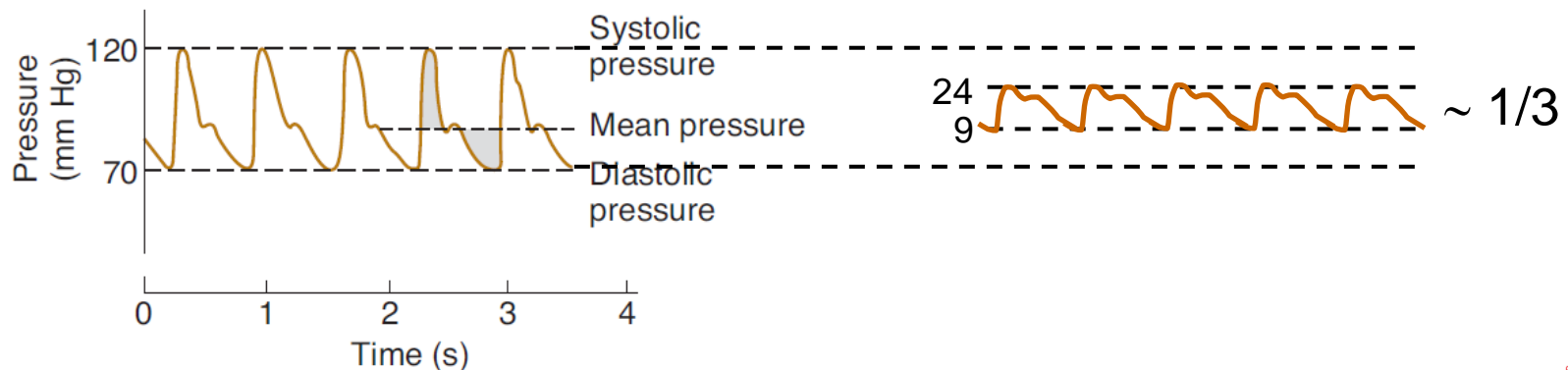


Plicní oběh

- 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*)



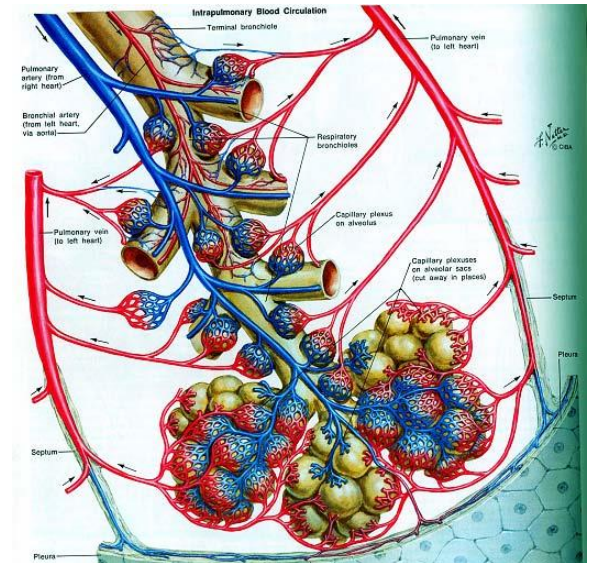
Plicní oběh

- **Kapiláry**

- široké, bohaté anastomózy, vytváří síť obklopující alveoly
- čas průtoku $\sim 0,75$ s (výměna dýchacích plynů)
- plocha perfundovaných kapilár: v klidu ~ 60 m², při těžké práci ~ 90 m²

- **Žíly**

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



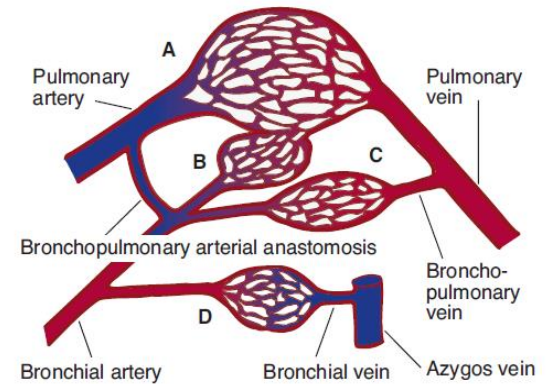
<http://www.percussionnaire.com/historyreview.asp>

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, 23rd edition

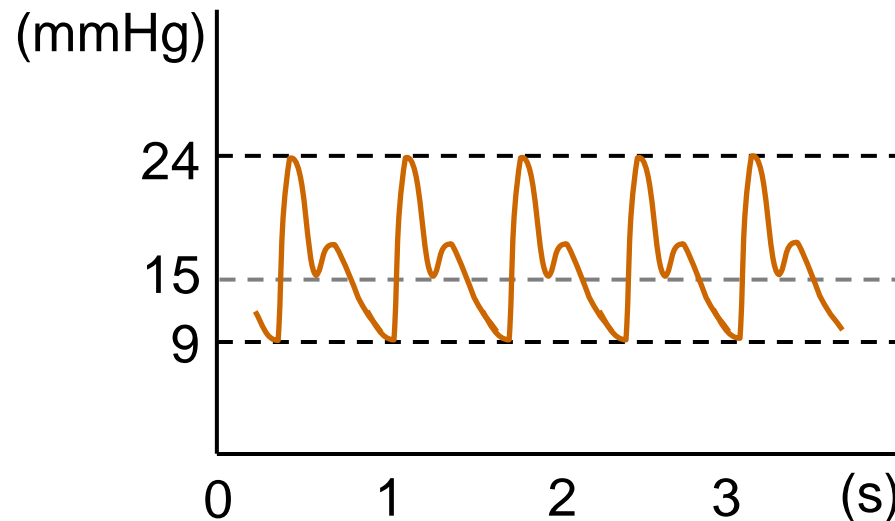
- **Lymfatické cévy**

- 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 α_1 rec. – kontrakce

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

přes α_2 a β_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

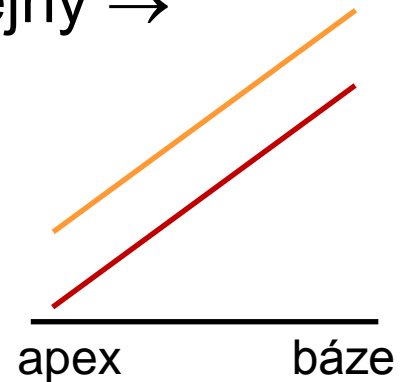
Plicní oběh

- **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**

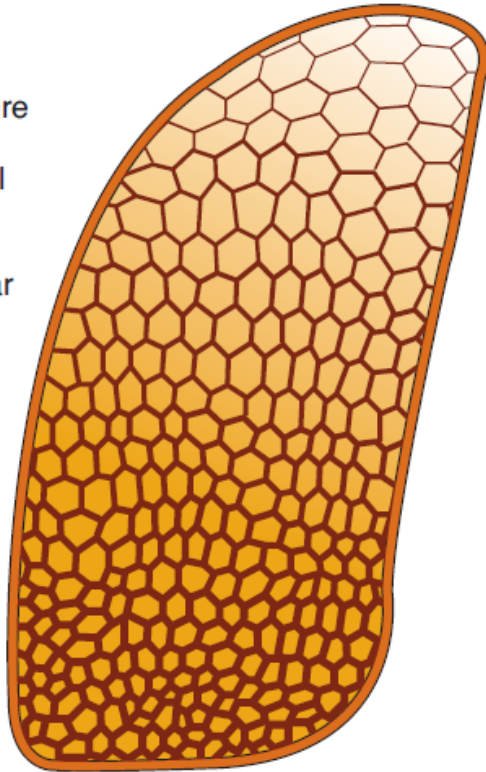
- ↑ celkového průtoku (např. fyzická zátěž) ~ ekvivalentní ↑ průtoku jednotlivými oblastmi



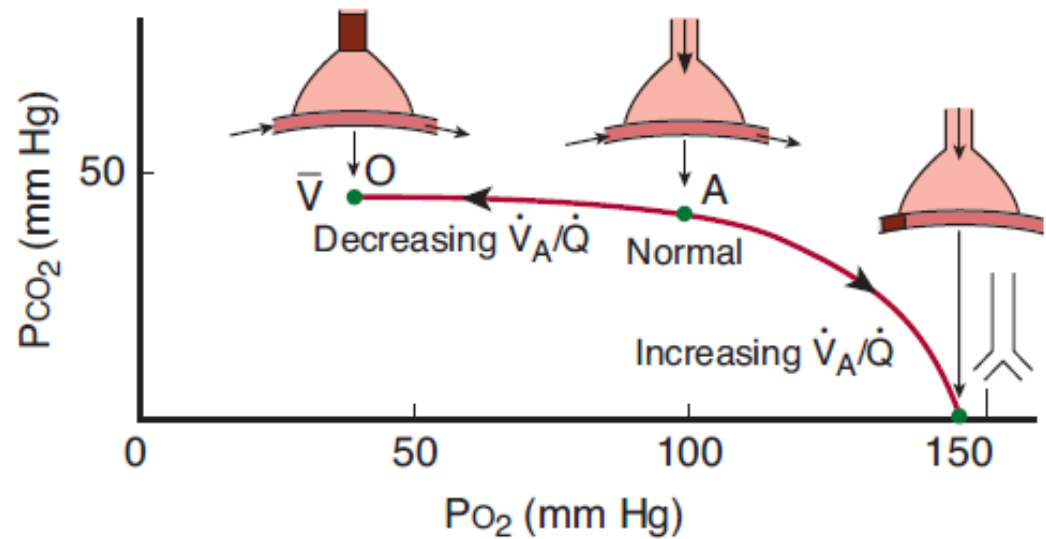
- těžká fyzická práce → ↑ srdečního výdeje až 6x → otvírání kapilár, které v klidu nebyly perfundovány → tlak v *a. pulmonalis* roste nepatrně (šetření práce pravého srdce + zábrana vzniku plicního otoku v důsledku zvýšení kapilárního tlaku)

Plicní oběh

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



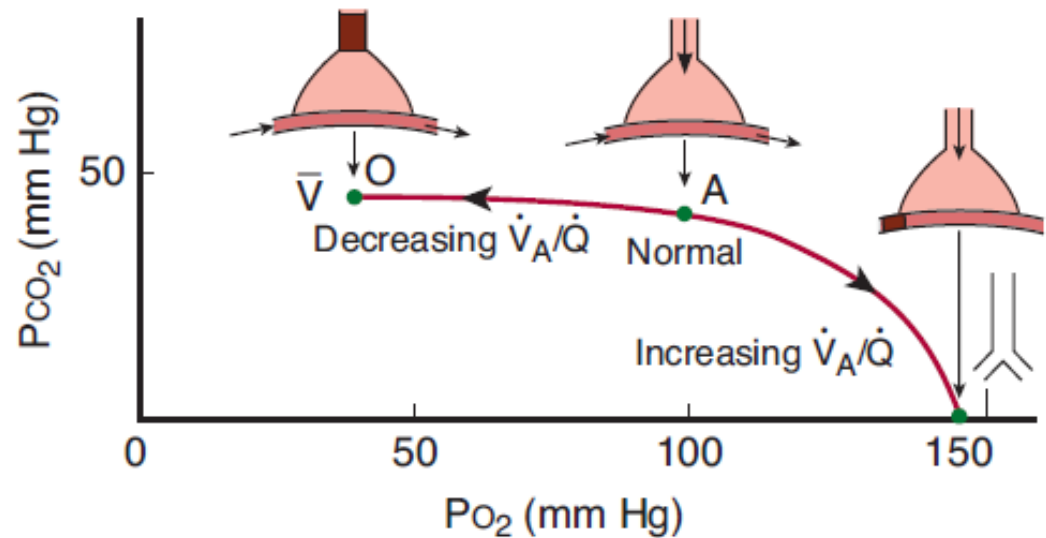
Ventilace / perfúze



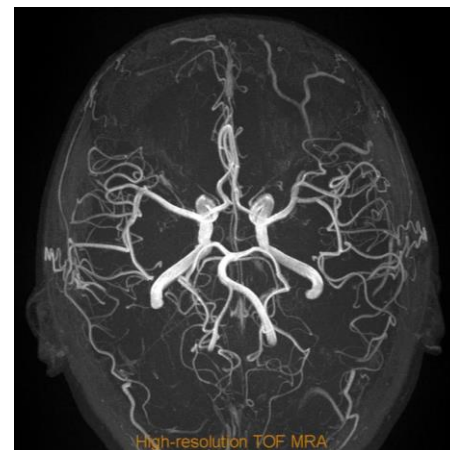
Plicní oběh

- **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 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:

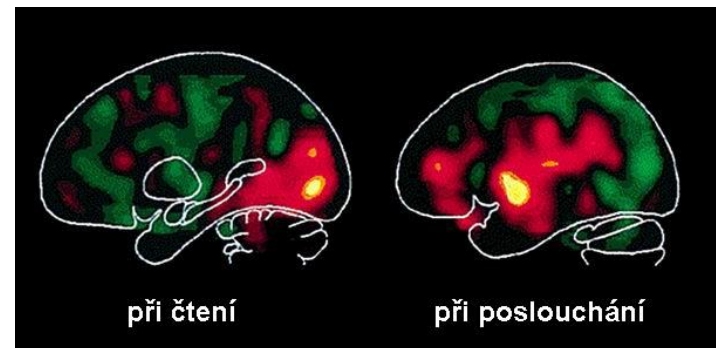
1) konstantní dostatečný přísun krve

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

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)

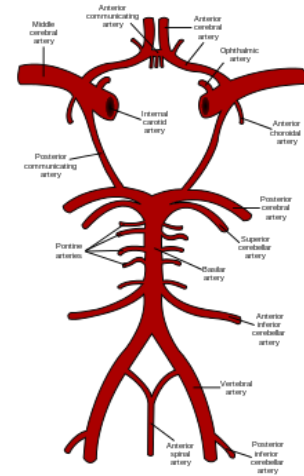
2) velmi vysoká kapilarizace

(3000 – 4000 kapilár / mm² šedé hmoty)

~ minimalizace difúzní dráhy pro plyny i jiné látky

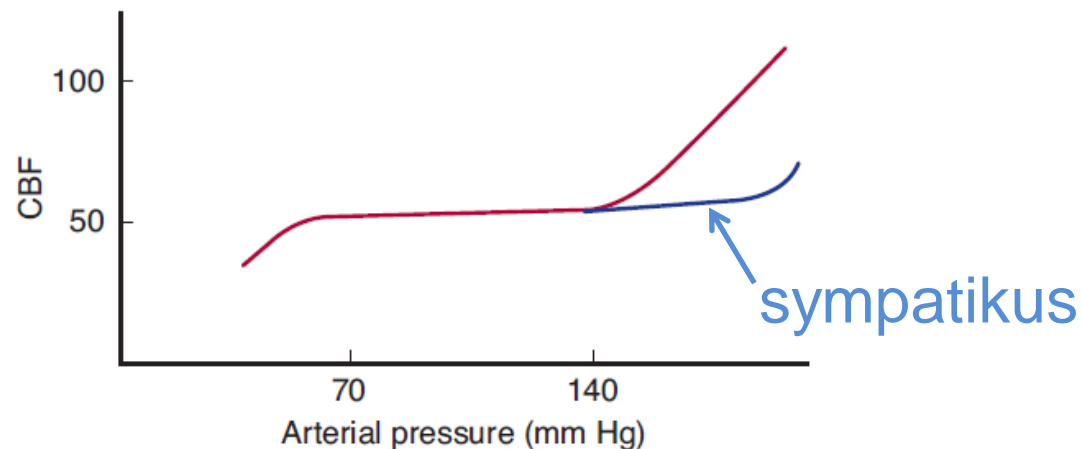
3) velmi krátké arterioly

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



Mozková cirkulace

- Funkční adaptace mozkové cirkulace:
 - 1) **vysoký a stabilní průtok krve** (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 CO₂
 - 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)

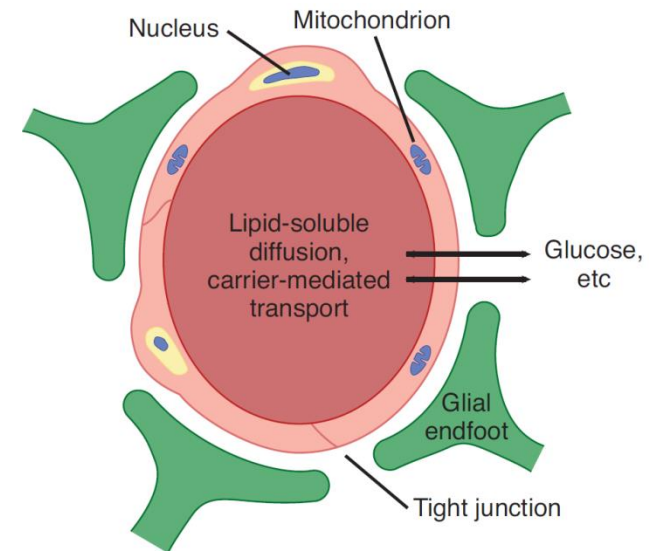
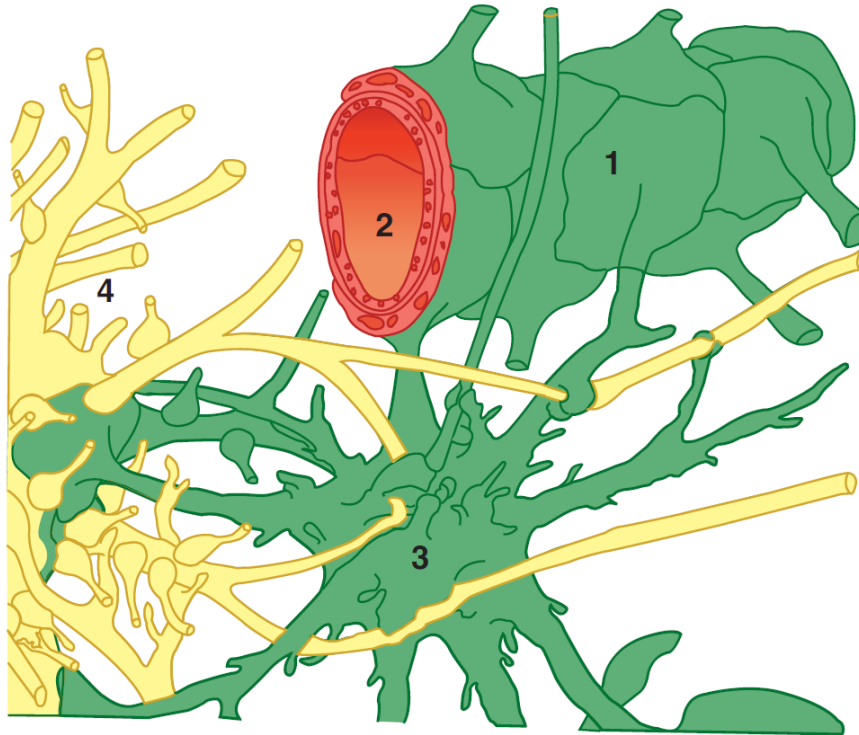
2) gravitace

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, 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 neurotransmiterů 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.

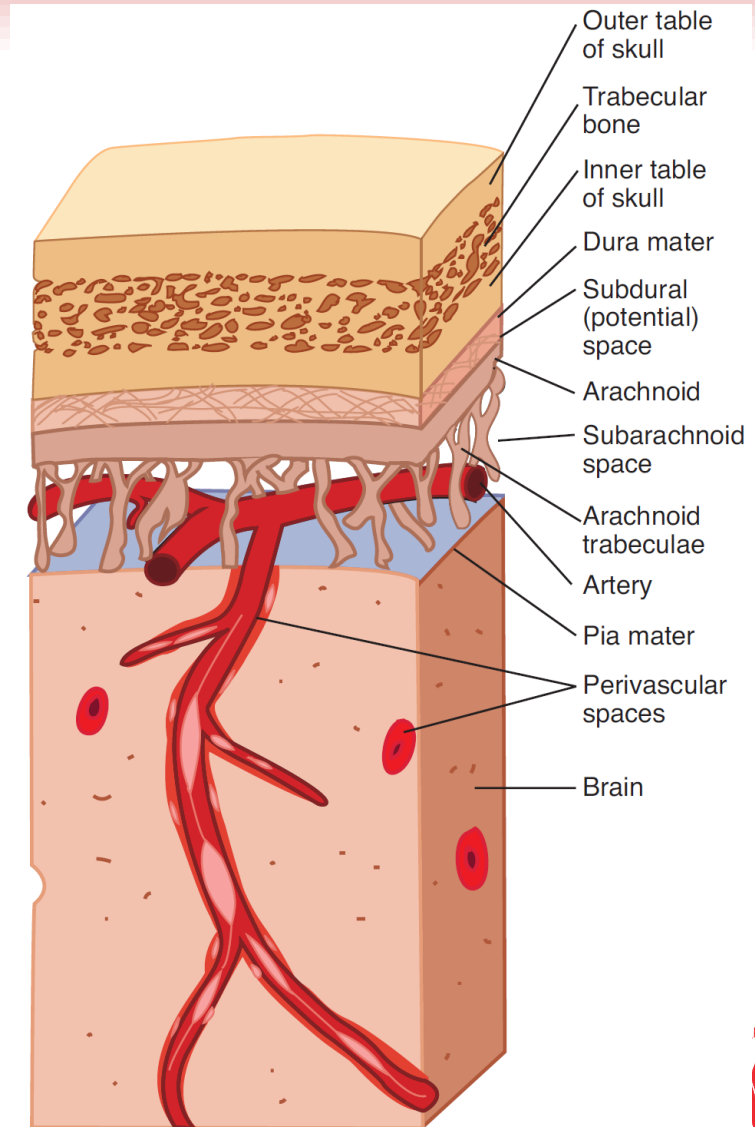
Substance		CSF	Plasma	Ratio CSF/Plasma
Na ⁺	(meq/kg H ₂ O)	147.0	150.0	0.98
K ⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.9	4.6	0.62
Mg ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.2	1.6	1.39
Ca ²⁺	(meq/kg H ₂ O)	2.3	4.7	0.49
Cl ⁻	(meq/kg H ₂ O)	113.0	99.0	1.14
HCO ₃ ⁻	(meq/L)	25.1	24.8	1.01
PCO ₂	(mm Hg)	50.2	39.5	1.28
pH		7.33	7.40	...
Osmolality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

Mozková cirkulace

- **Mozkomíšní mok**

Funkce:

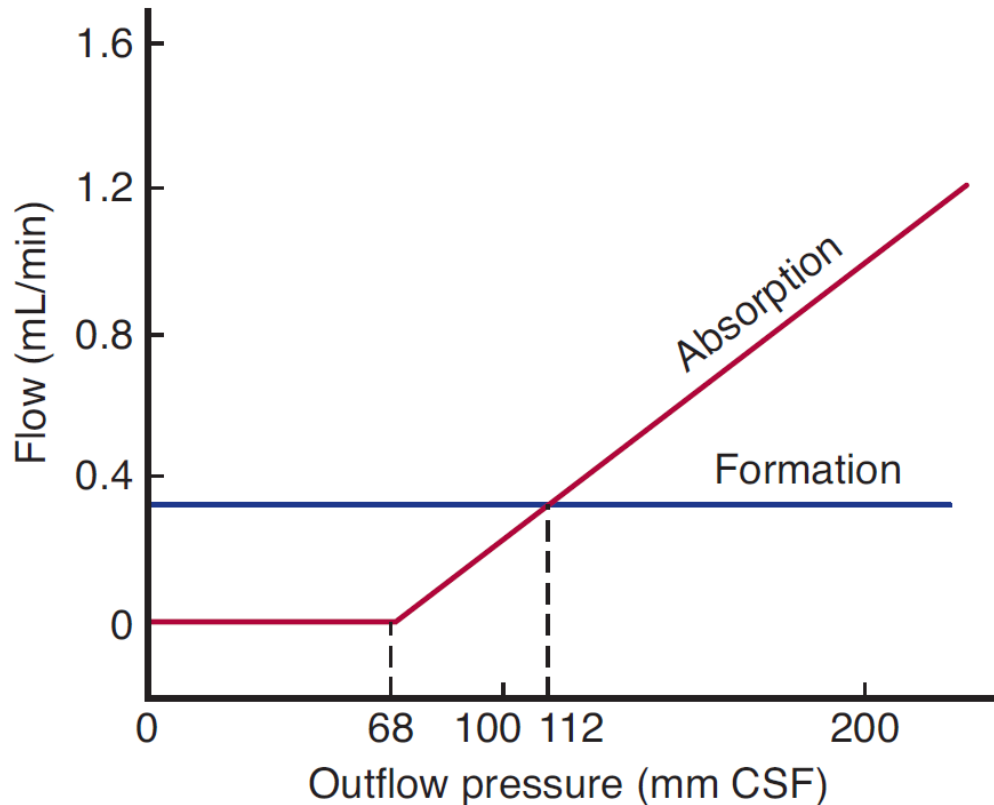
- ochrana mozku
(spolu s mozkovými plenami)



Ganong's Review of Medical Physiology,
23rd edition

Mozková cirkulace

- Mozkomíšní mok

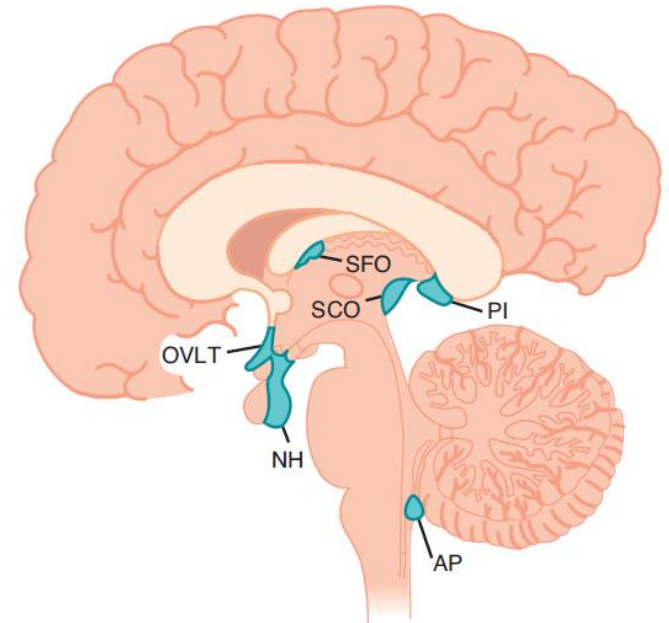


Mozková cirkulace

- **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, 23rd 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

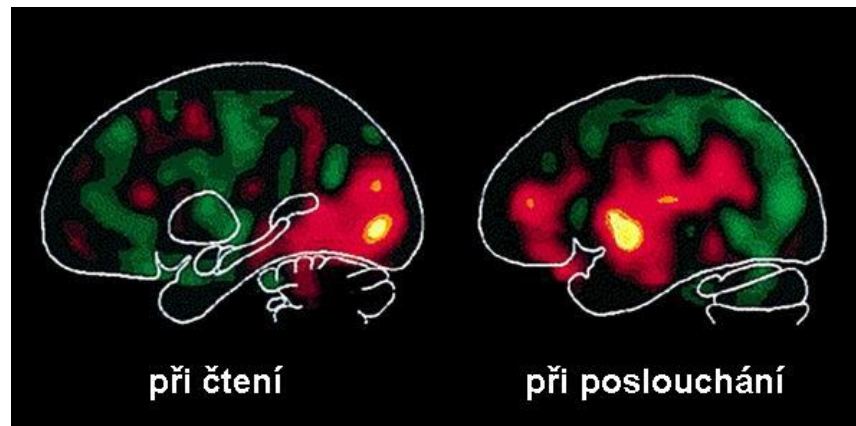
množství N_2O ve venózní krvi


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

→ 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



http://observatory.cz/static/vystavy/castice/p2_PET-tomogram.jpg

Mozková cirkulace

- Měření průtoku krve mozkiem - regionální

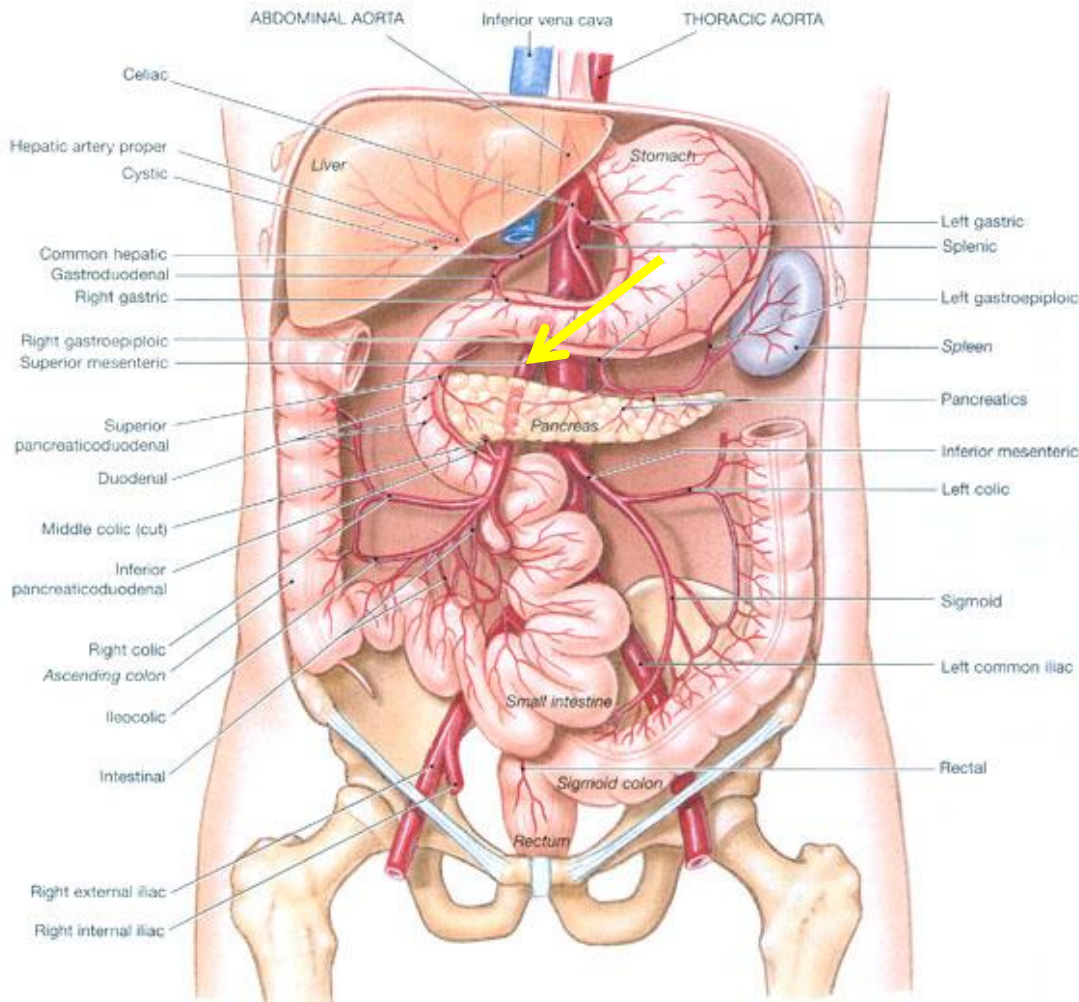
PET (pozitronová emisní tomografie)

- 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 splanchnikem

- 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

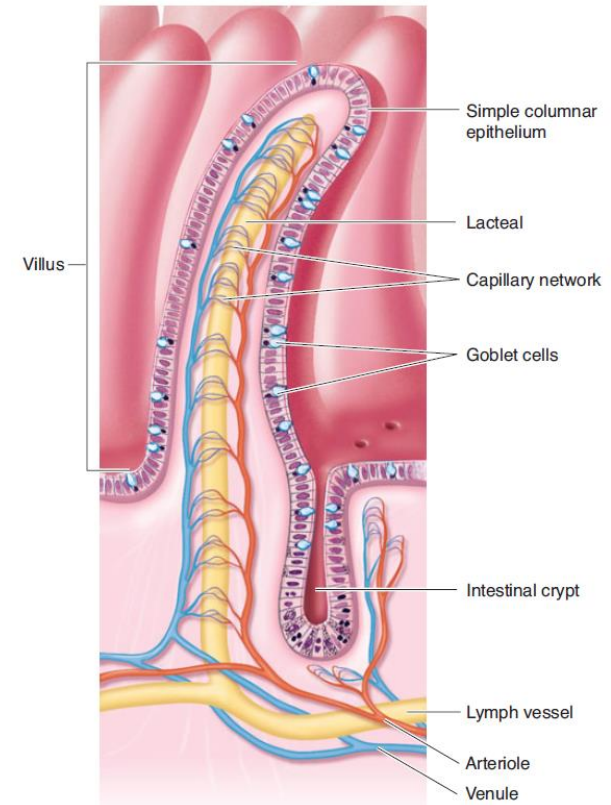
- Rezervoár krve
- kapacitní schopnosti splachnických cév – velký význam pro systémovou regulaci krevního oběhu
- v klidu zhruba 20 % celkového objemu krve
- **bohatá inervace sympatickými vazokonstrikčními vlákny - α rec. → vazokonstrikce při \uparrow aktivitě sympatiku či \uparrow koncentrace cirkulujících 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, Na^+ , O_2)



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Cirkulace splanchnikem

- **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 α než β 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 α než β rec. → převažuje **vazokonstrikce**

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

Cirkulace splachnikem

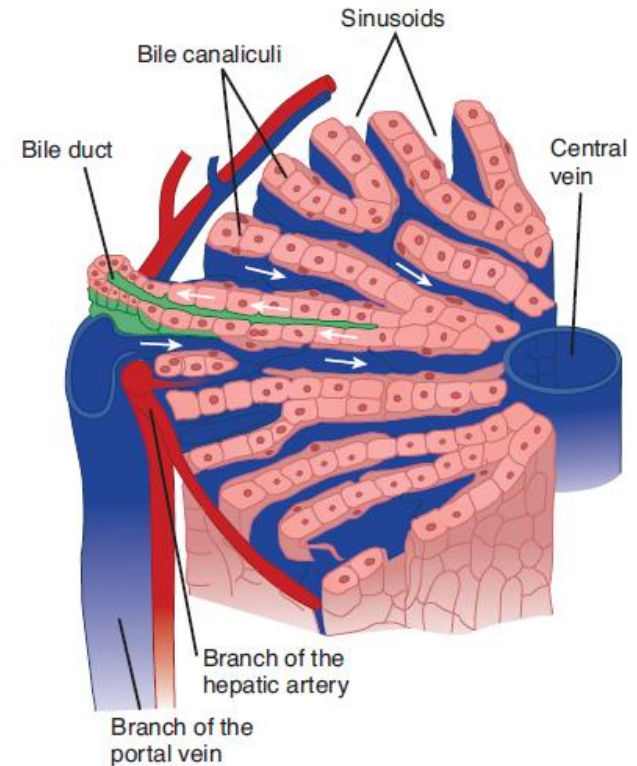
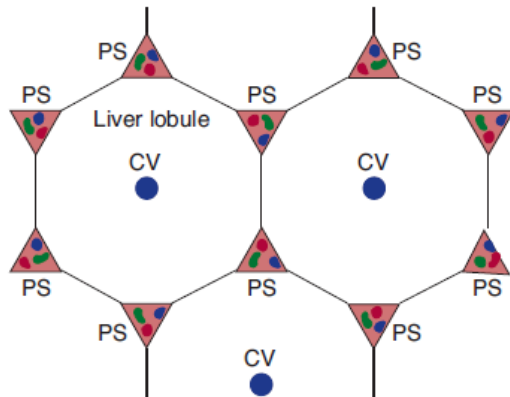
- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- krev přitékající do jater – 25 % srdečního výdeje (~1,5 l/min)
 - $\frac{3}{4}$ *v. portae*, $\frac{1}{4}$ *a. hepatica*
- **portální oběh** - dvě kapilární řečiště v sérii:
 - 1) v oblasti střevních klků – resorpce ve vodě rozpustných látek ze střeva
 - 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_2 , 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_2 → **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

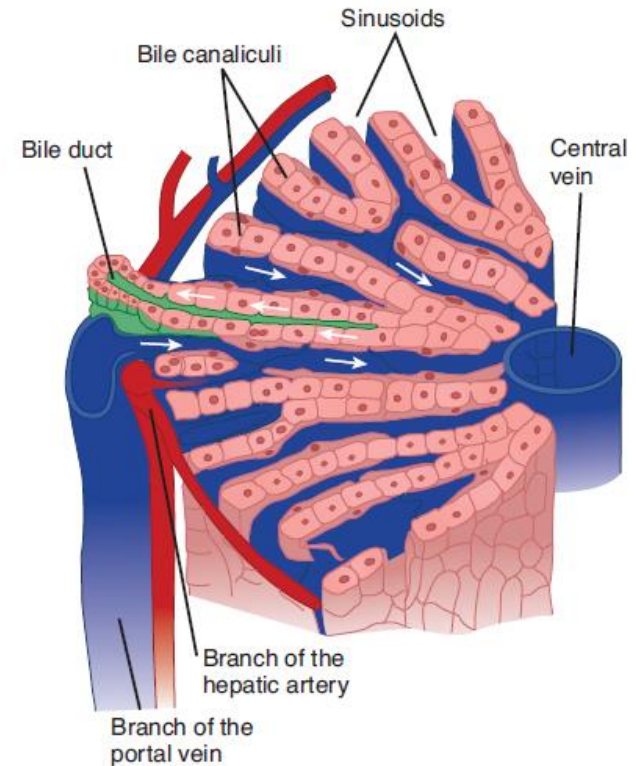


- funkční jednotka - acinus

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

Cirkulace splanchnikem

- **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

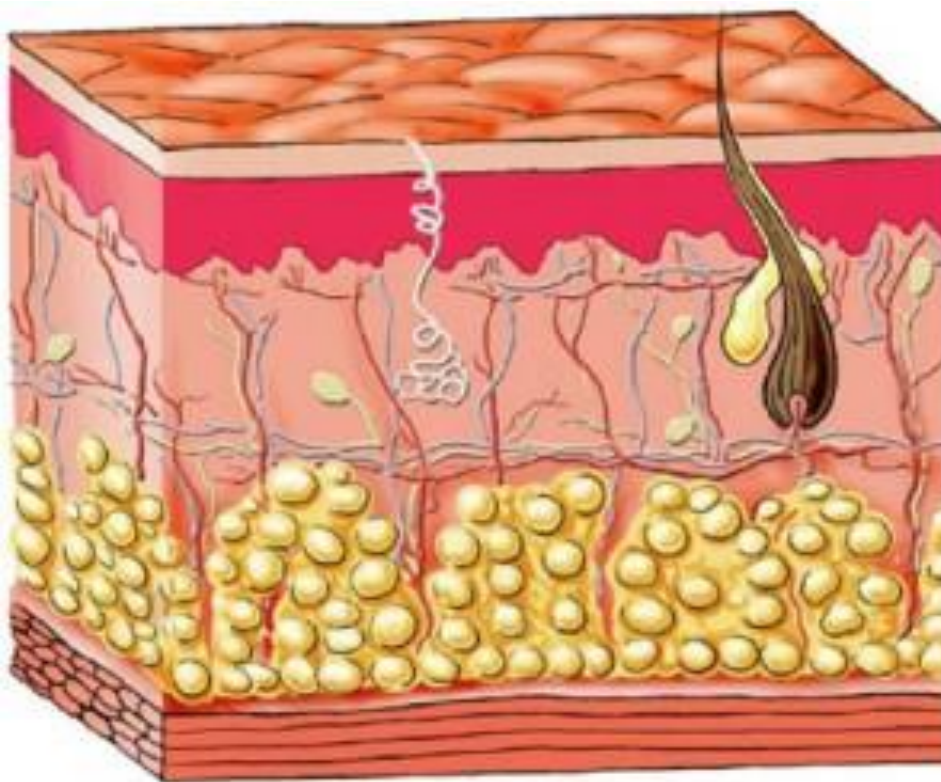
- **Jaterní oběh** (*v. portae, a. hepatica*)
- Regulation of blood flow:
 - **nervová:** sympatická vazokonstrikční vlákna – α rec. → **vazokonstrikce**
 - **metabolická:** adenosin → **vazodilatace**
 - **pasivní:** \uparrow TK → pasivní dilatace větví *v. portae* → \uparrow objem krve v játrech

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

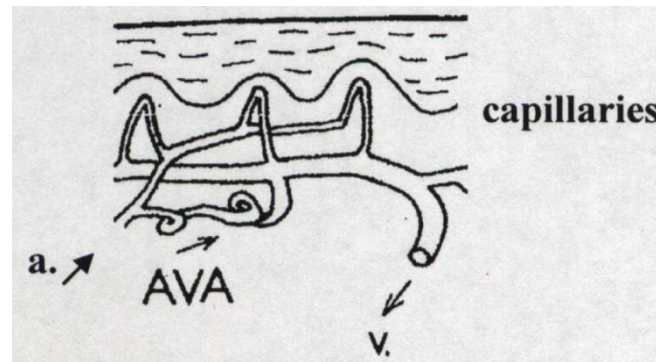
- Metabolické potřeby kůže – malé (*decubitus*)
 - **Udržování teploty tělesného jádra**
 - přísun tepla z jádra (závislé na přítoku krve)
 - ztráty tepla (kondukce, konvekce, radiace, evaporace)
- poikilotermní tkáň (tolerance velkých výkyvů teplot mezi 0 a 45°C)

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

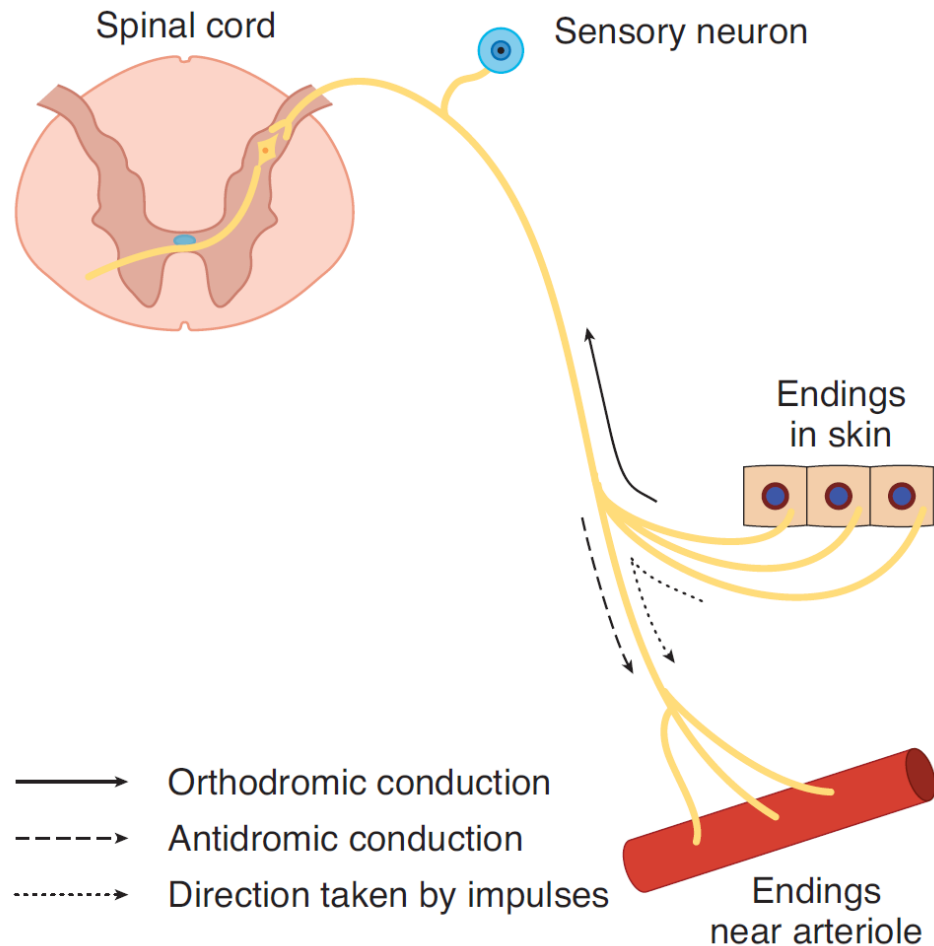
- Odpověď na změny teploty:
 - 1) přímé ovlivnění cévního tonu okolní teplotou
 - 2) dráždění kožních teplotních receptorů
 - 3) dráždění teplotních receptorů v mozku



reflexní modulace
sympatické vazokonstrikční aktivity

Kožní oběh

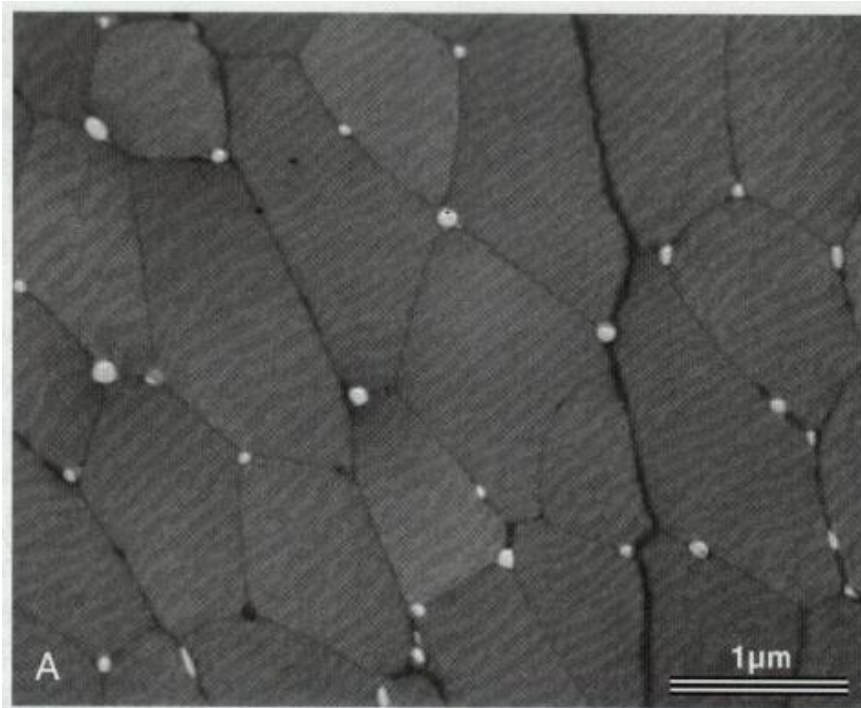
- Axonový reflex



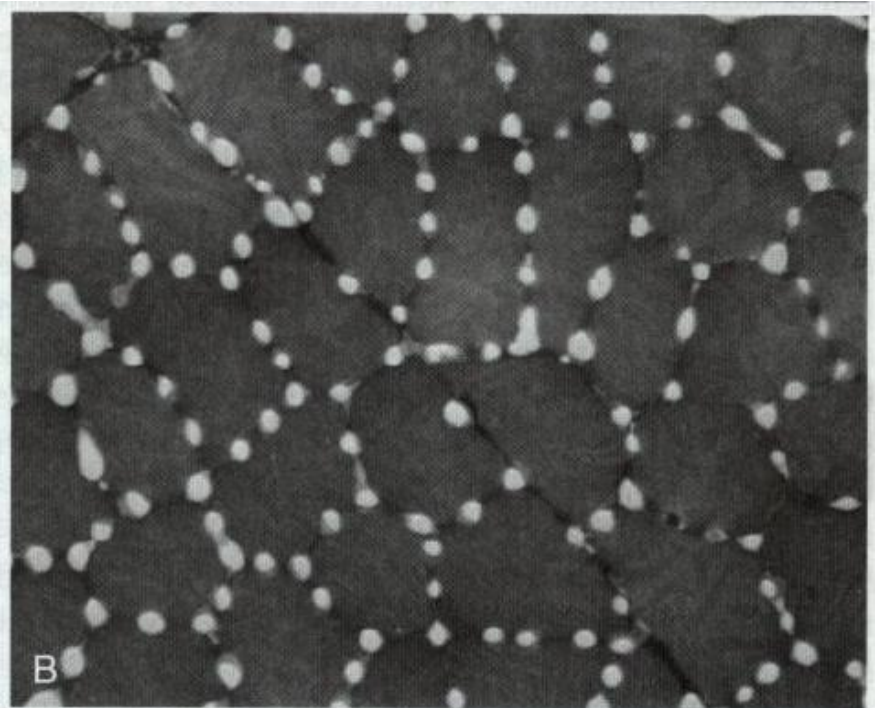
Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition.

Svalový oběh

nestimulovaný sval



pravidelně stimulovaný sval



Guyton and Hall. Textbook of Medical Physiology, 12th edition

Svalový oběh

- Funkce:

1) Krevní zásobení svalu

přísun O_2 a živin, zejména glukózy

odvod produktů metabolismu (CO_2) a tepla

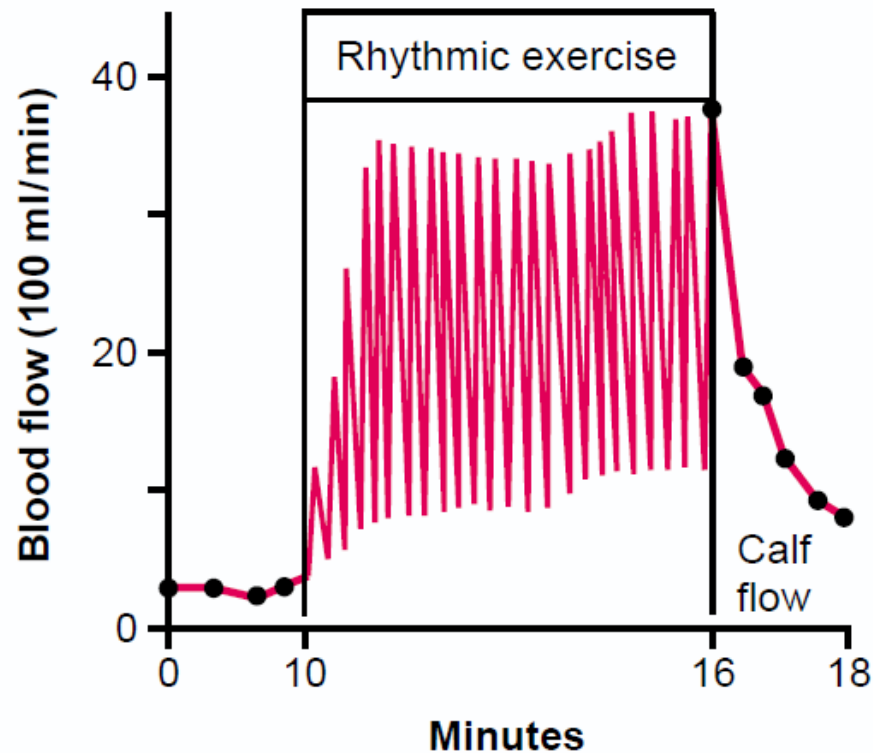
klidový průtok – 18 % srdečního výdeje vs. až 90 % při maximální práci (lokální průtok se ↑ až 20x)

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 (α rec.)

adrenalin – **vazodilatace** (více β 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