

Regulace krevního průtoku

Doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.

Fyziologický ústav LF MU



**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.**

Definice krevního průtoku

matematické vyjádření - analogie s elektrickým proudem

Ohmův zákon

$$I = U / R \longrightarrow$$

$$Q = \Delta P / R$$

- Q krevní průtok
- ΔP rozdíl tlaků na začátku a konci cévy (cévního řečiště)
- R odpor cévy (cévního řečiště - periferní odpor)

Definice krevního průtoku

$$Q = \Delta P / R$$

$$R = 8\eta l / \pi r^4$$

Poiseuilleův - Hagenův zákon

$$Q = \Delta P \cdot \pi r^4 / 8\eta l$$

- r poloměr průsvitu cévy
- η viskozita krve
- l délka cévy

Platí pro ustálené laminární proudění v rigidní trubici !

Viskozita krve není konstantní, *plasma skimming*, turbulentní proudění, elasticita cév!

Definice krevního průtoku

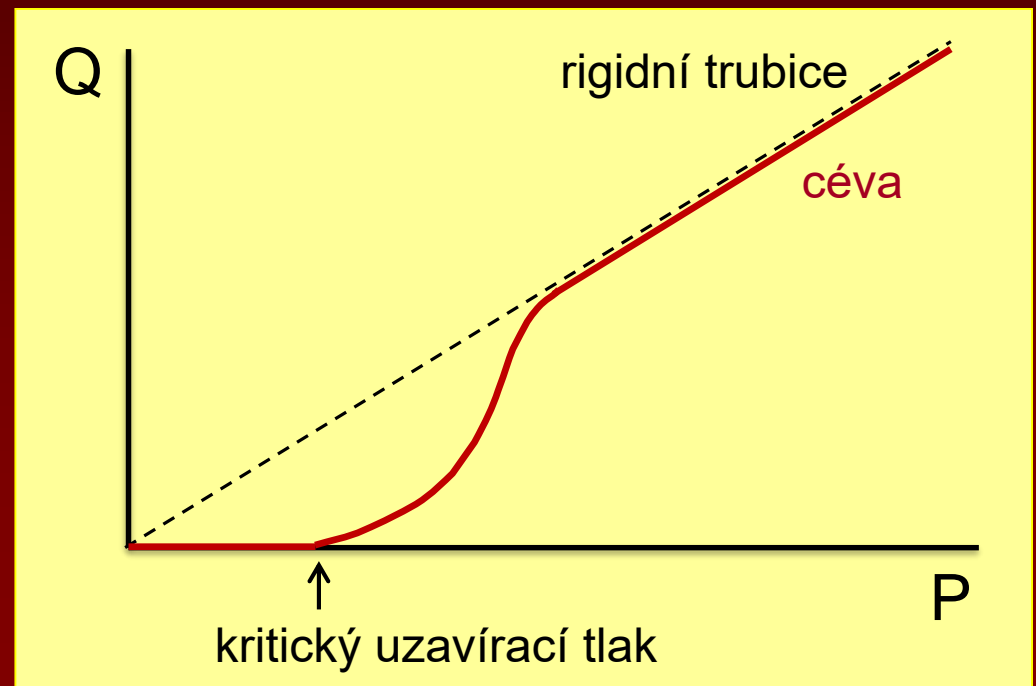
$$Q = \Delta P / R$$

$$R = 8\eta l / \pi r^4$$

r poloměr průsvitu cévy
 η viskozita krve
l délka cévy

Poiseuilleův - Hagenův zákon

$$Q = \Delta P \cdot \pi r^4 / 8\eta l$$



Metody měření krevního průtoku

A. kanylou zavedenou do cévy

B. bez nutnosti přímého kontaktu s krevním proudem

1. princip elektrické indukce

2. Dopplerův jev

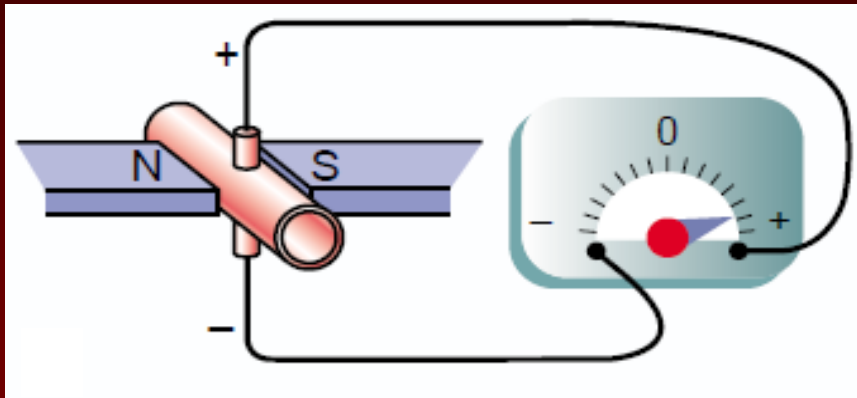
3. pletysmografie

4. Fickův princip

Metody měření krevního průtoku

1. princip elektrické indukce

- ❖ elektromagnetický průtokoměr



Guyton and Hall.
Textbook of Medical Physiology, 11th edition

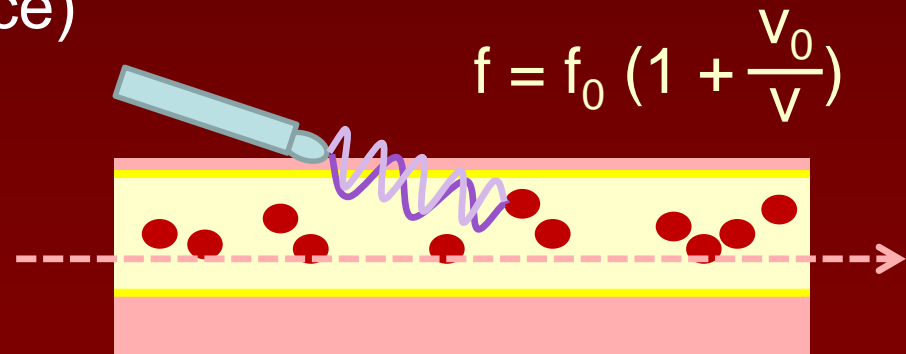
- ❖ generovaná elektromotorická síla je úměrná rychlosti krevního toku
- ❖ umožňuje detekovat změny rychlosti menší než 0,01 s → měření stabilního krevního toku i jeho rychlých změn (pulzace)

Metody měření krevního průtoku

2. Dopplerův jev

- ❖ ultrazvukový Dopplerův průtokoměr; nejčastěji užívané
 - ultrazvukové vlny známé vlnové délky (frekvence) vysílány
 - odrazí se od krvinek → změna (↑) vlnové délky (↓ frekvence)
 - odražené vlny jsou opět vychytávány krystalem

- ❖ změna vlnové délky (frekvence) ultrazvukových vln po jejich odrazu od krvinek je úměrná rychlosti krevního proudu

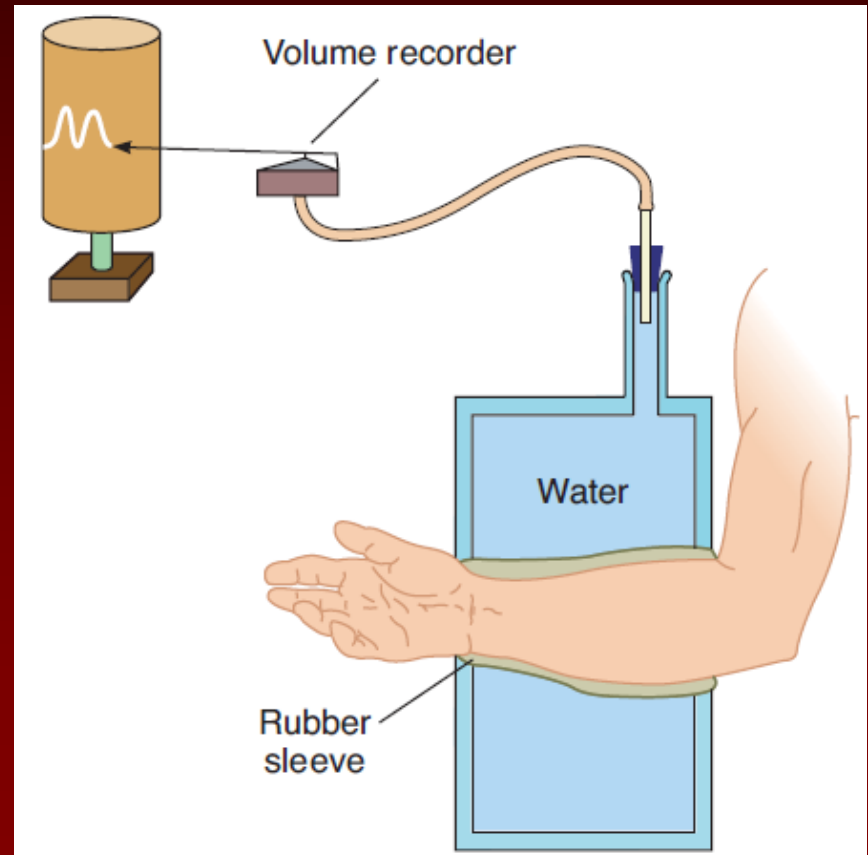


- ❖ rovněž umožňuje měřit jak stabilní rychlost krevního toku, tak i jeho rychlé změny

Metody měření krevního průtoku

3. pletysmografie

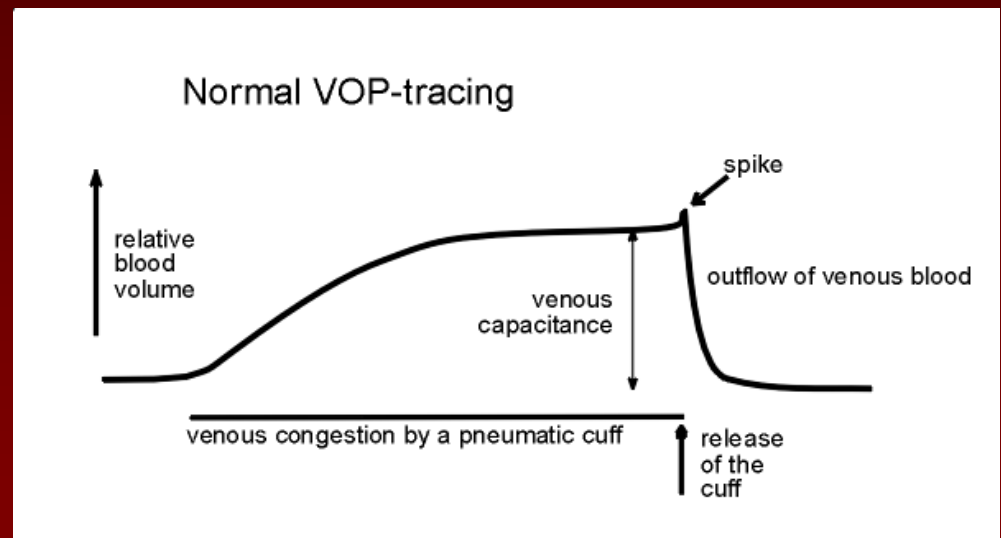
- ❖ obvykle jako venózní okluzní pletysmografie
- ❖ na končetinách
- venózní drenáž končetiny uzavřena (např. manžetou)
- narůstající objem končetiny je pak přímo úměrný arteriálnímu přítoku krve



Metody měření krevního průtoku

3. pletysmografie

- ❖ obvykle jako venózní okluzní pletysmografie
- ❖ na končetinách
- venózní drenáž končetiny uzavřena (např. manžetou)
- narůstající objem končetiny je pak přímo úměrný arteriálnímu přítoku krve



Metody měření krevního průtoku

4. Fickův princip - přímá Fickova metoda

$$Q = \frac{M / \text{čas}}{\text{AV rozdíl}}$$

- krev vstupující z pravého srdce do plic – cca 150 ml O₂ / 1 l
- krev vystupující z plic do levého srdce – cca 200 ml O₂ / 1 l

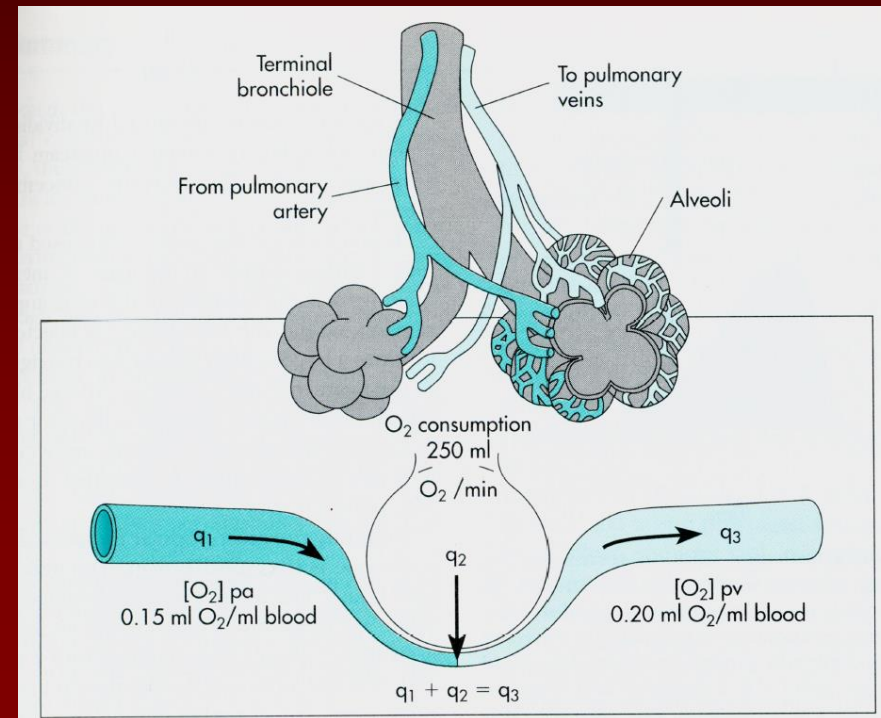


Každý litr krve zachytí během průchodu plícemi 50 ml O₂.

- celkově z plic do krve absorbováno 250 ml O₂ za 1 min



$$SV = \frac{250 \text{ ml O}_2 / \text{min}}{50 \text{ ml O}_2 / \text{l}} = 5 \text{ l / min}$$



Metody měření krevního průtoku

4. Fickův princip – metoda indikátorového plynu

- ❖ ke stanovení okamžitého průtoku krve konkrétní tkání
- ❖ např. stanovení průtoku krve mozkiem (či koronární průtok) pomocí oxidu dusného N_2O – Ketyho metoda

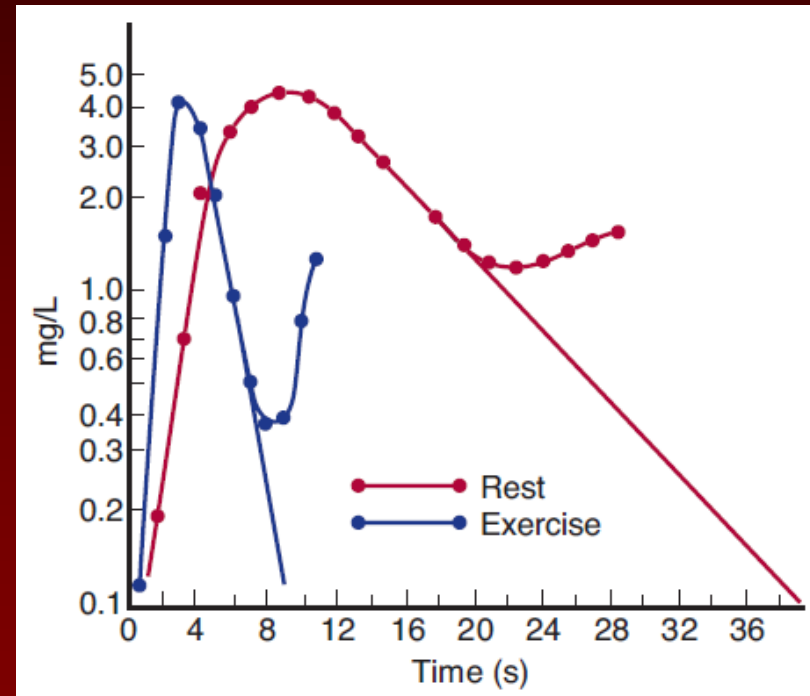
$$\text{průtok krve mozkiem} = \frac{\text{množství } N_2O \text{ ve venózní krvi} \downarrow \text{N}_2O \text{ extrahovaný mozkiem z krve} / \text{čas}}{\text{průměrný arteriovenózní rozdíl } N_2O}$$

Metody měření krevního průtoku

4. Fickův princip - indikátorová diluční technika

- vstříknutí známého množství indikátoru (barviva či radioaktivního izotopu) do periferní žíly (A , [mg])
- sledování koncentrace indikátoru v sérii vzorků tepenné krve
- stanovení průměrné koncentrace indikátoru v tepenné krvi během jednoho oběhu (C , [mg/ml])

$$SV = \frac{A}{C (t_2 - t_1)} \quad \begin{matrix} \text{[mg]} \\ \text{[mg.ml}^{-1}\text{.s]} \end{matrix}$$



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

❖ termodiluční metoda

Regulace krevního průtoku

$$Q = \Delta P \cdot \pi r^4 / 8\eta l$$

klidový cévní tonus (stav středního napětí cév)

- ❖ tonická vzrušovací aktivita vazokonstrikčních sympatických vláken
- ❖ roli by mohla hrát i: myogenní odpověď na napětí v cévách dané tlakem protékající krve (dále), vysoká tenze O_2 v arteriální krvi, přítomnost Ca^{2+}

bazální cévní tonus

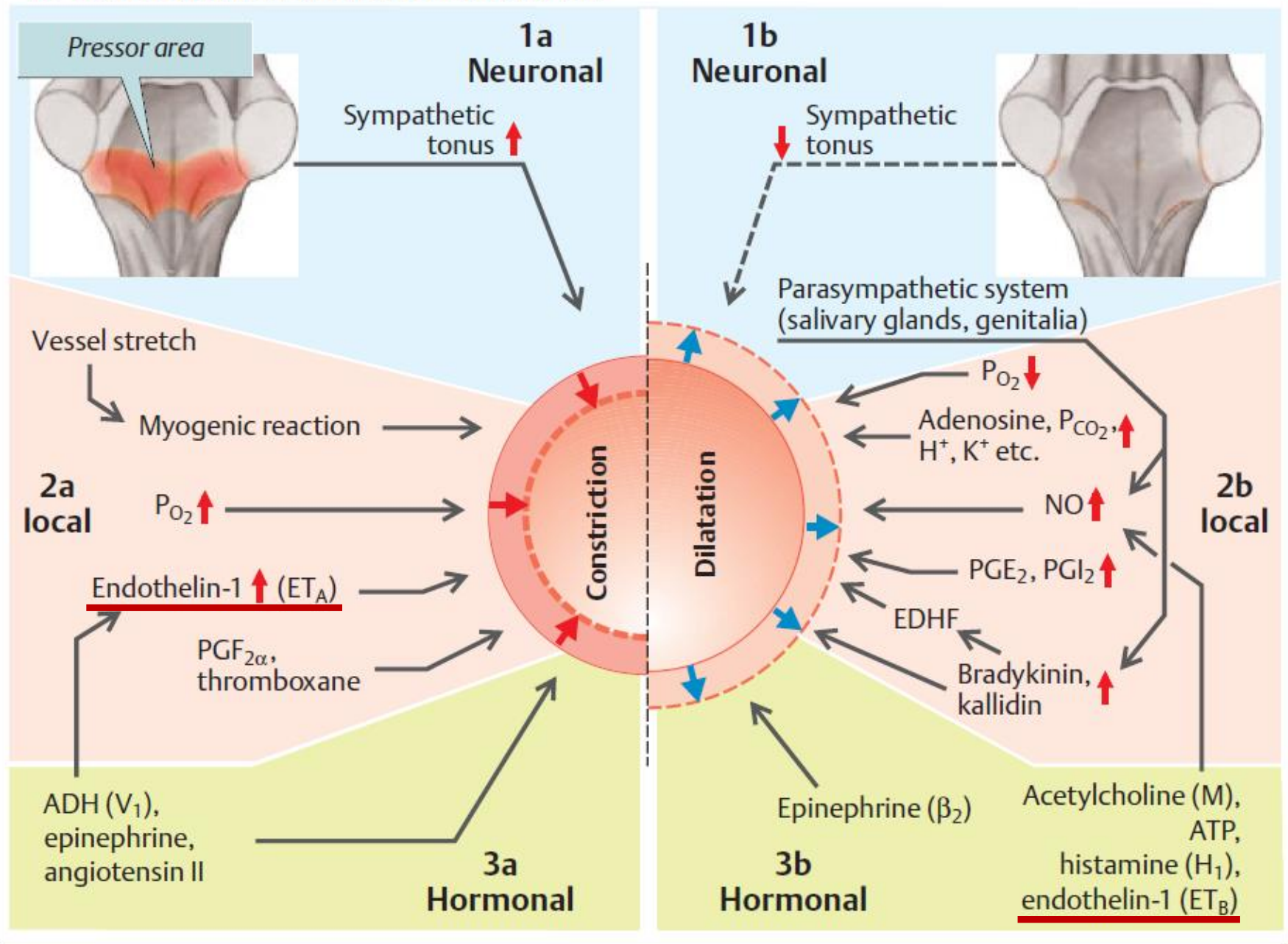
- ❖ po denervaci; dán spontánními depolarizacemi hladké svaloviny cév

Regulace

Místní

Systemová

B. Vasoconstriction and vasodilatation



Regulace krevního průtoku - místní

A. Akutní

sekundy až minuty, ale nekompletní (zhruba ze 3/4)

1. Metabolická autoregulace
2. Myogenní autoregulace
3. Regulace zprostředkovaná endotelem

B. Chronická

hodiny, dny až týdny

Regulace krevního průtoku - místní

Metabolická autoregulace

nedostatečný krevní průtok $\begin{cases} \nearrow \uparrow \text{metabolické nároky tkáně} \\ \searrow \downarrow \text{nebo zastavené zásobení krví} \end{cases}$

→ hromadění metabolitů, \downarrow pH, \uparrow osmolarity v intersticiu, \uparrow teploty tkáně; \downarrow pO_2 a živin

→ **vazodilatace**

V zájmu zachování nutného prokrvení tkání při vznikající hypoxii má přednost před systémovou regulací.

Klíčovou roli hraje např. v mozku, srdci a kosterních svalech.

Regulace krevního průtoku - místní

Metabolická autoregulace

aktivní hyperémie

reaktivní hyperémie

Regulace krevního průtoku - místní

Myogenní autoregulace (Baylissův efekt)

↑ krevního tlaku

→ ↑ krevního průtoku i ↑ napětí cévní stěny

$$Q = \Delta P / R$$

Laplaceův zákon

$$T = P \cdot r$$

→ mechanické podráždění, depolarizace a následná kontrakce buněk hladké svaloviny cévní stěny → vazokonstrikce

→ návrat krevního průtoku k původní hodnotě

Výrazně se uplatňuje zejména v mozku a ledvinách.

Regulace krevního průtoku - místní

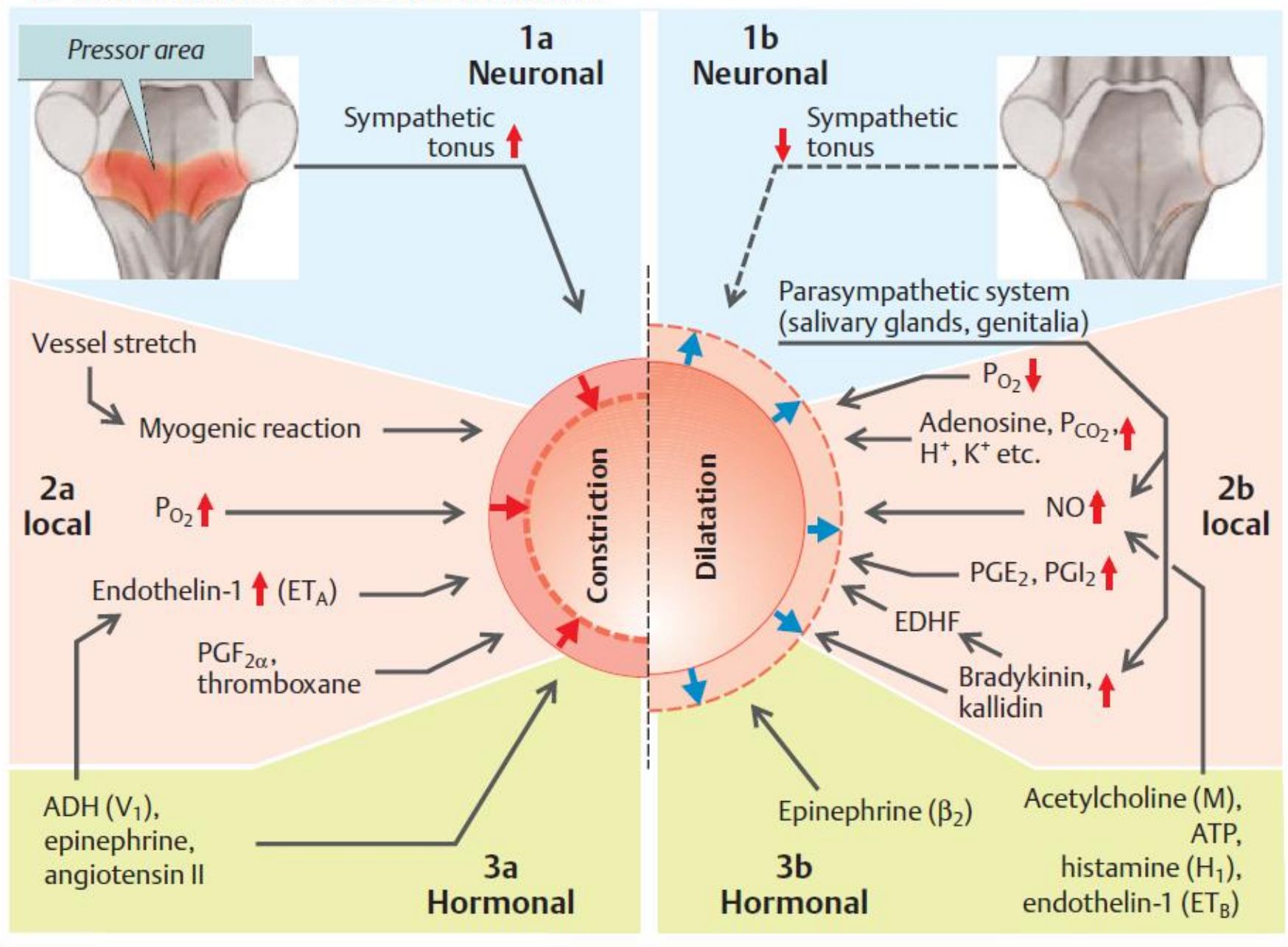
Regulace zprostředkovaná endotelem

endothelial-derived relaxing factor (EDRF) – NO

→ vazodilatace

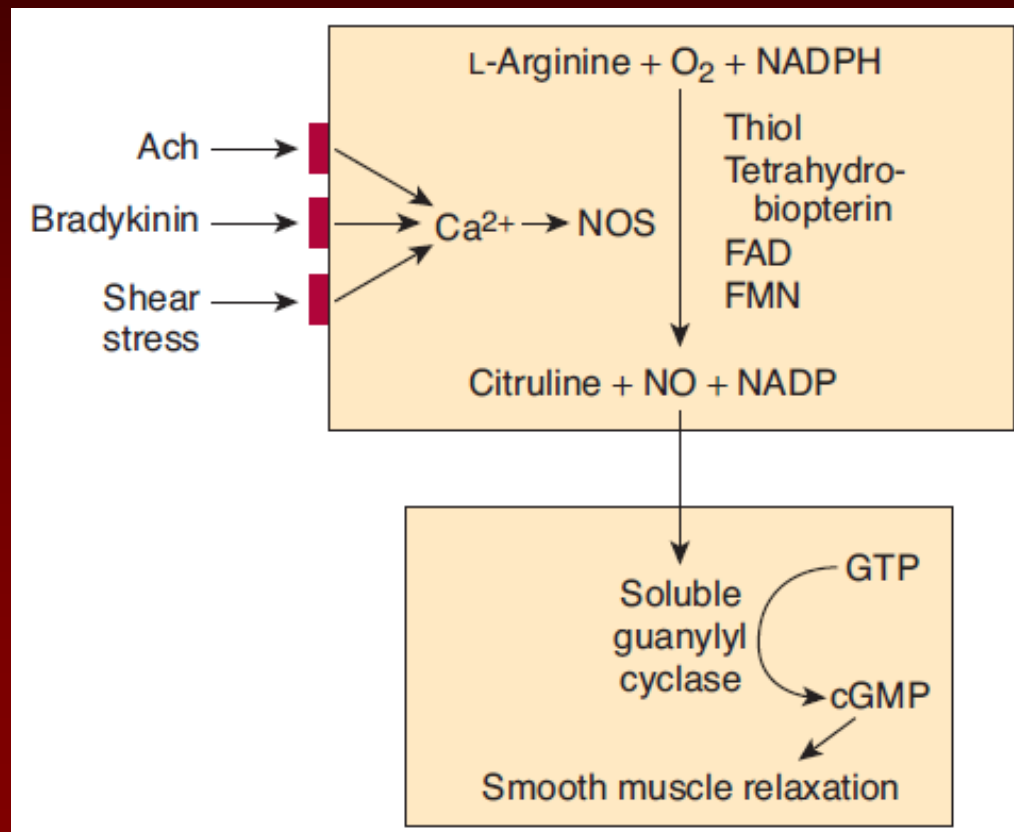
- ❖ je syntetizován v **endoteliálních buňkách** arteriol a malých arterií v závislosti na **tzv. smykovém napětí** vyvolaném proudící krví
- ❖ jeho **syntéza stimulována** produkty shlukování destiček (udržuje průchodnost cév s neporušeným endotelem) a také řadou primárně vazokonstrikčních látek

B. Vasoconstriction and vasodilatation



Regulace krevního průtoku - místní

Regulace zprostředkovaná endotelem *endothelial-derived relaxing factor (EDRF) – NO*



Regulace krevního průtoku - místní

Regulace zprostředkovaná endotelem

prostacyklin

- ❖ syntetizován v endoteliích z arachidonové kyseliny
- ❖ inhibice agregace destiček a vyvolání **vazodilatace**

tromboxan A_2

- ❖ syntetizován z arachidonové kyseliny destičkami
- ❖ podpora agregace destiček a vyvolání **vazokonstrikce**

Pro vytvoření lokalizované sraženiny a zachování krevního průtoku nutná rovnováha mezi těmito dvěma látkami.

Regulace krevního průtoku - místní

Regulace zprostředkovaná endotelem endoteliny

- ❖ polypeptidy syntetizované endotelem (ET-1 až 3)
- ❖ 2 endotelinové **receptory**:
 - ET_A – specifický pro ET-1, především v cévách různých tkání,
→ **vazokonstrikce**
 - ET_B – ET-1 až ET-3, funkce?
- ❖ **ET-1 - nejúčinnější doposud izolovaná vazokonstrikční látka**
- ❖ přesná fyziologická role není známa
- ❖ omezení krvácení, role při uzavírání *ductus arteriosus* při narození

Regulace krevního průtoku - místní

Serotonin (5-OH tryptamin)

❖ vazokonstrikční efekt

- v poškozené tkáni
- přímý lokální efekt
- uvolněn z trombocytů

❖ vazodilatační efekt

- ve zdravé, nepoškozené tkáni
- přes zvýšenou produkci NO

Regulace krevního průtoku - místní

Další, specifické mechanismy

- ❖ teplota, ...
- ❖ poškozené cévy
- ❖ specializované tkáně (ledviny, mozek apod.)

Regulace krevního průtoku - místní

A. Akutní

sekundy až minuty, ale nekompletní (zhruba ze 3/4)

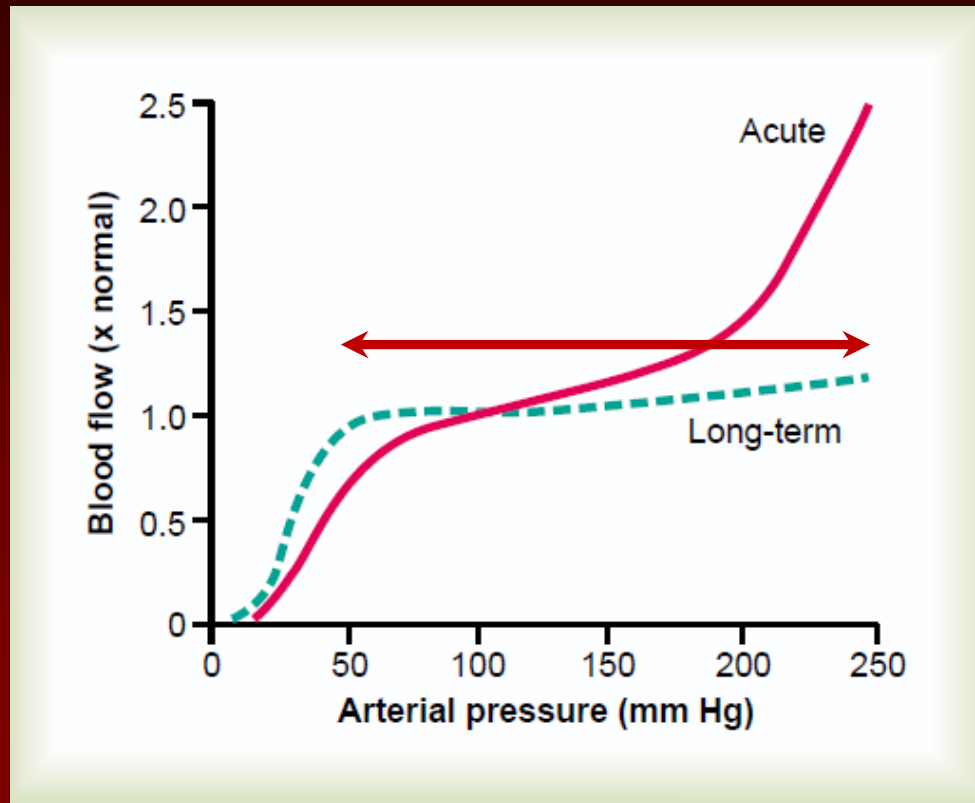
1. Metabolická autoregulace
2. Myogenní autoregulace
3. Regulace zprostředkovaná endotelem

B. Chronická

hodiny, dny až týdny

Regulace krevního průtoku - místní

Chronická regulace



Guyton and Hall.
Textbook of Medical
Physiology, 11th edition

Při dlouhodobé změně metabolických nároků tkáně - dostatečný průtok bez nadměrného zatížení.

Regulace krevního průtoku - místní

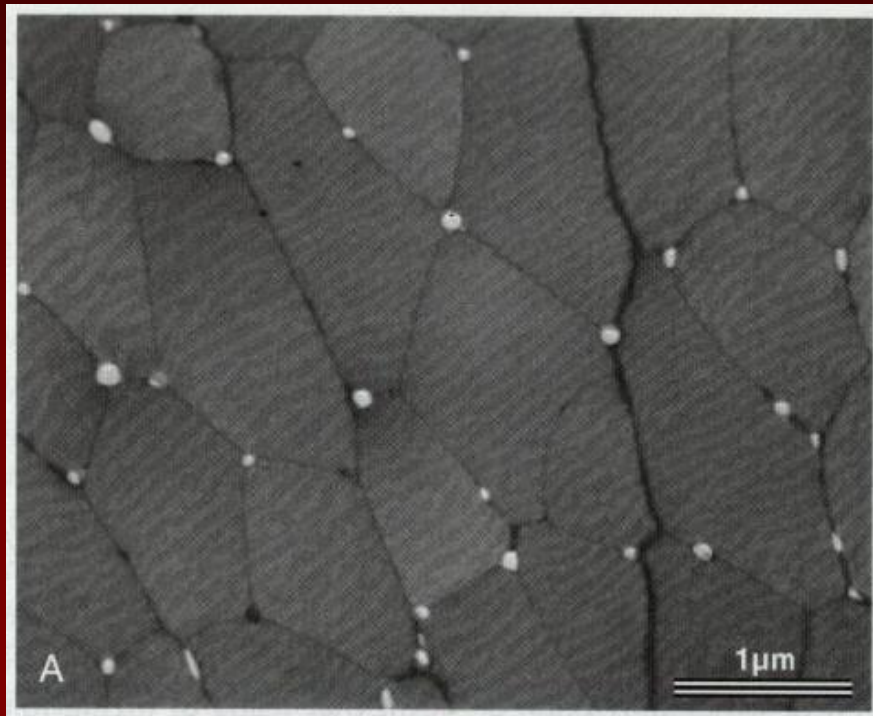
Chronická regulace

- ❖ prostřednictvím změny vaskularizace tkáně
- ❖ klíčová role – **nedostatek O_2** , rovněž živin
- ❖ **angiogenní (cévní růstové) faktory**, malé peptidy, nejlépe charakterizované: vaskulární endoteliální růstový faktor, růstový faktor produkovaný fibroblasty a angiogenin
- ❖ probíhá rychle u mladých jedinců a v nově formované tkáni

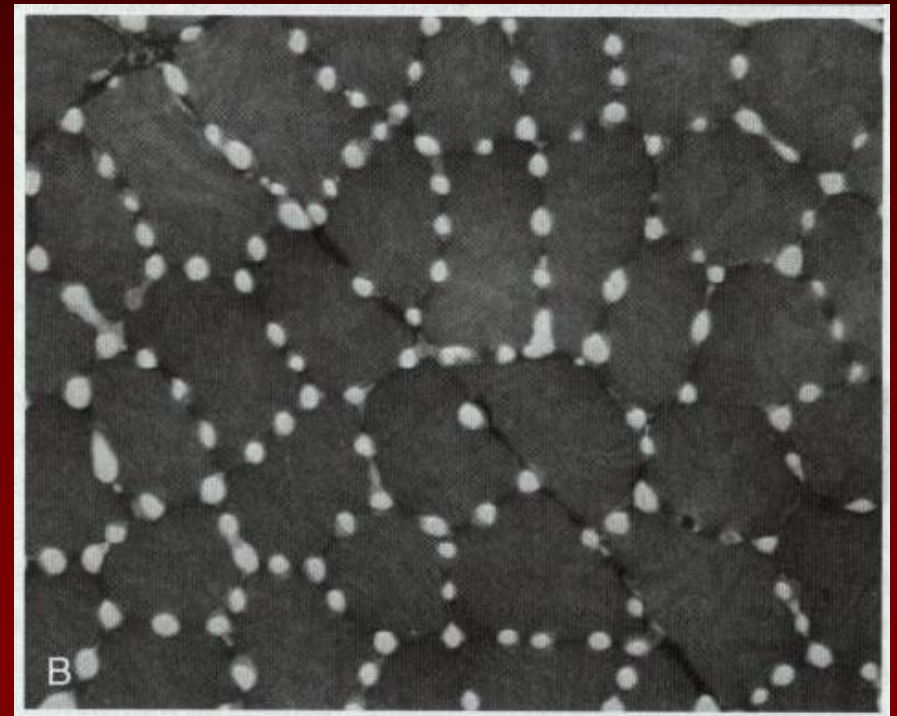
Regulace krevního průtoku - místní

Chronická regulace

nestimulovaný sval



pravidelně stimulovaný sval



Regulace krevního průtoku

Místní

Systemová

A. Nervová

B. Humorální

Regulace krevního průtoku - systémová

Humorální regulace

Vazokonstrikční látky

❖ noradrenalin

→ generalizovaná vazokonstrikce (α_1 -rec.)

❖ adrenalin (vysoká hladina)

→ vazodilatace v kosterním svalstvu, játrech a koronárních arteriích (β_2 -rec.)

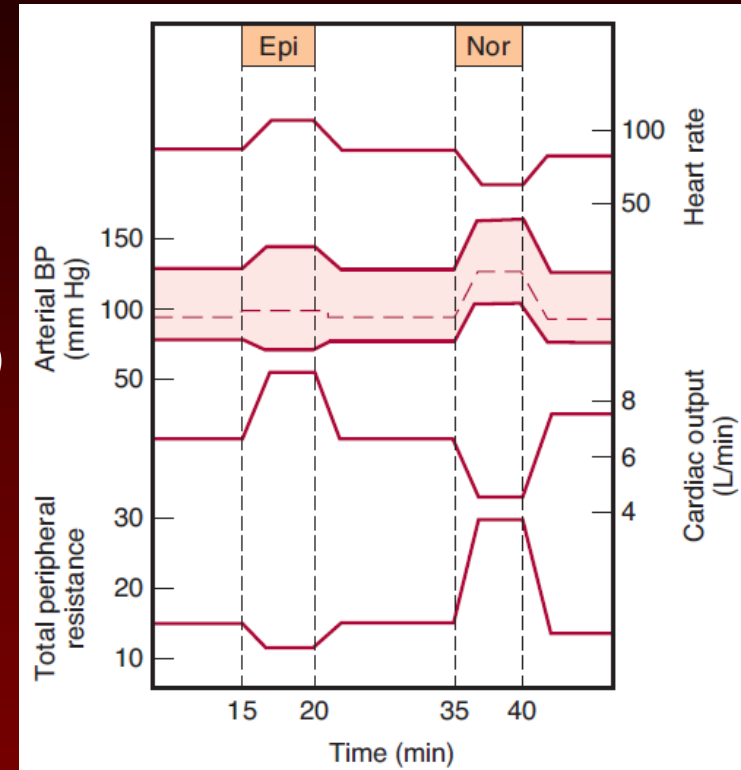
→ vazokonstrikce v ostatních tkáních

❖ angiotensin II

→ generalizovaná vazokonstrikce (+ \uparrow příjmu vody a \uparrow tvorba aldosteronu)

❖ vazopresin (antidiuretický hormon)

→ generalizovaná vazokonstrikce (+ \uparrow reabsorpce vody v ledvinách)



Ganong's Review of Medical Physiology, 23rd edition

Regulace krevního průtoku - systémová

Humorální regulace

Vazodilatační látky

❖ atriální natriuretický peptid (ANP)

→ ↓ reaktivity hladkého svalstva cév na vazokonstrikční podněty (+ ↑ natriuréza - mechanismy)

❖ VIP (vazoaktivní intestinální peptid)

→ vazodilatace (+ mnoho dalších vlivů v GIT, zejména relaxace hladké svaloviny střev včetně svěračů)

❖ histamin

- uvolňován tkáněmi (mastocyty) při jejich poškození či zánětu (i alergickém), případně basofily v krvi;

→ vazodilatace arterioli + ↑ permeability kapilární stěny (otoky)
(anafylaktický šok) ↙
cestou NO

Regulace krevního průtoku - systémová

Humorální regulace

Vazodilatační látky

❖ kininy - bradykinin a lysylbradykinin (neboli kalidin)

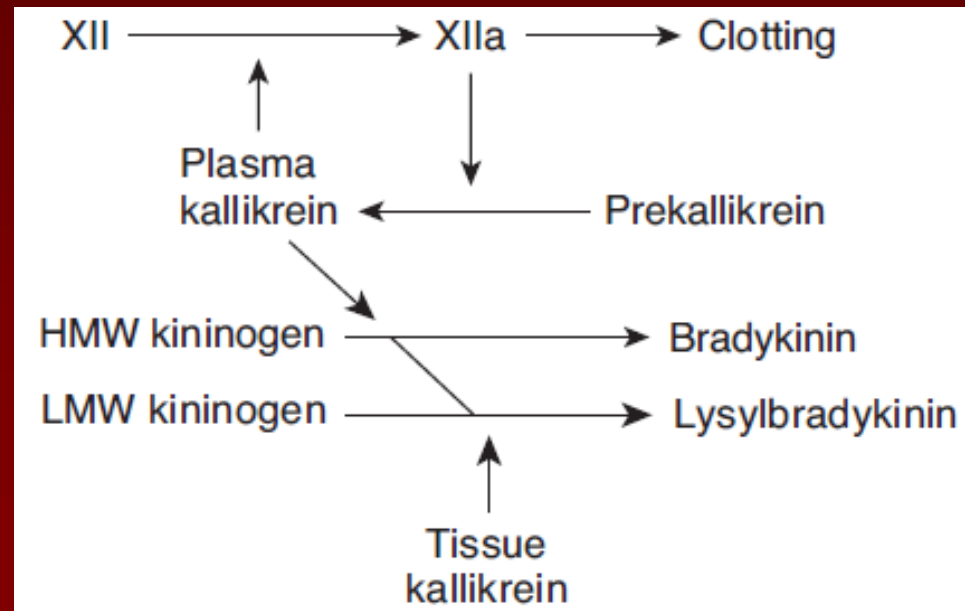
- malé polypeptidy, poločas rozpadu několik minut

→ vazodilatace arterioli + ↑ permeability kapilární stěny
(podobné histaminu)

zanícená tkáň

+

kůže, slinné a GIT žlázy (za běžných podmínek)



Regulace krevního průtoku - systémová

Humorální regulace

Další vlivy

❖ ionty

vazokonstrikce: $\uparrow \text{Ca}^{2+}$, mírný $\downarrow \text{H}^+$

vazodilatace: $\uparrow \text{K}^+$, $\uparrow \text{Mg}^{2+}$; $\uparrow \text{H}^+$, výrazný $\downarrow \text{H}^+$
acetát, citrát (anionty) – jen mírný vliv