

# 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

$\Delta P$  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
- $\eta$  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

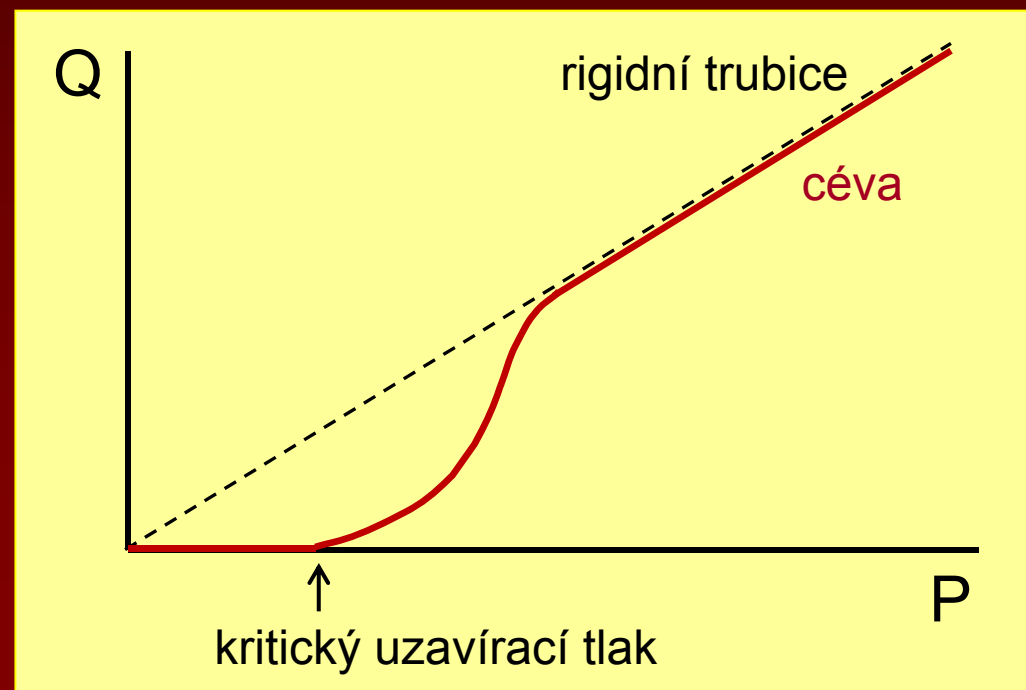
$$Q = \Delta P / R$$

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

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

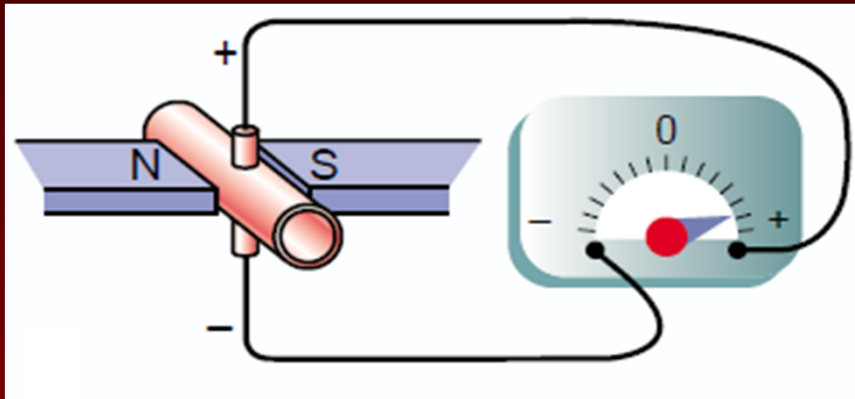
B. bez nutnosti přímého kontaktu s krevním proudem

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, 11<sup>th</sup> edition

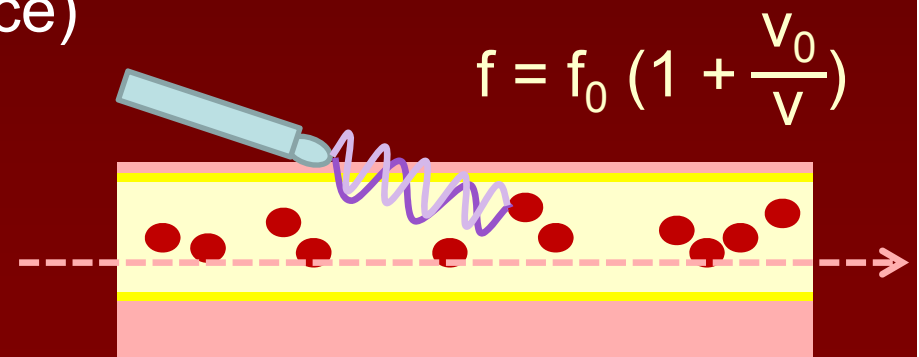
- ❖ generovaná elektromotorická síla je úměrná rychlosti krevního toku
- ❖ umožňuje detekovat změny rychlosti menší než 0,01 s → měření stabilního krevního toku i jeho rychlých změn (pulzace)

# 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



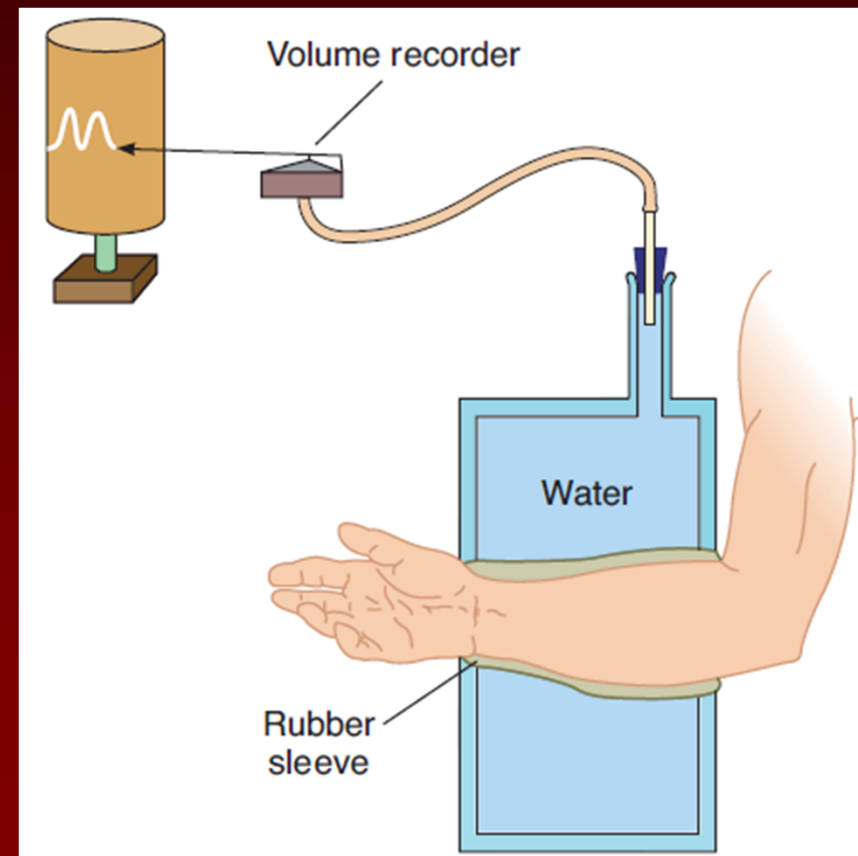
- ❖ rovněž umožňuje měřit jak stabilní rychlost krevního toku, tak i jeho rychlé změny



# Metody měření krevního průtoku

## 3. pletysmografie

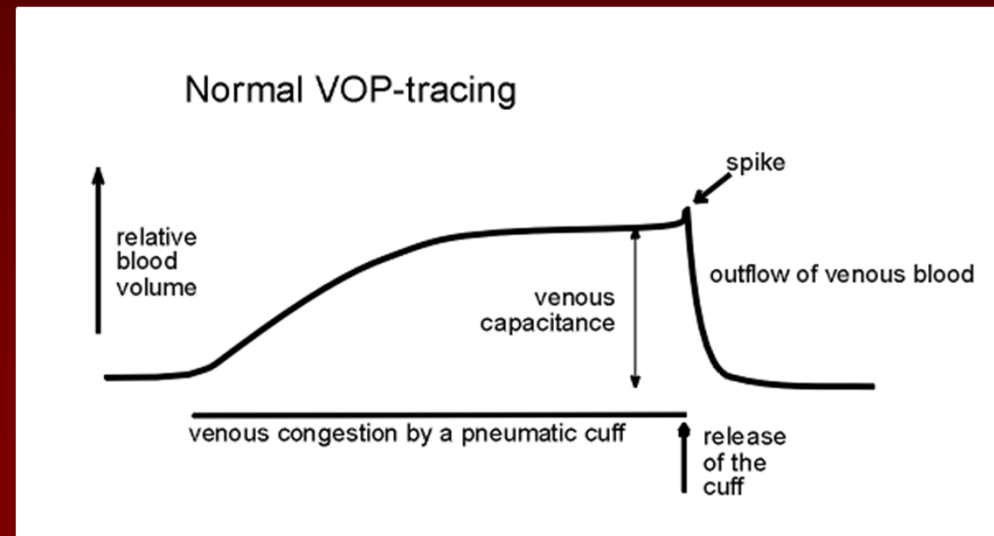
- ❖ obvykle jako venózní okluzní pletysmografie
- ❖ na končetinách
- venózní drenáž končetiny uzavřena (např. manžetou)
- narůstající objem končetiny je pak přímo úměrný arteriálnímu přítoku krve



# 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

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

- krev vstupující z pravého srdce do plic – cca 150 ml O<sub>2</sub> / 1 l
- krev vystupující z plic do levého srdce – cca 200 ml O<sub>2</sub> / 1 l

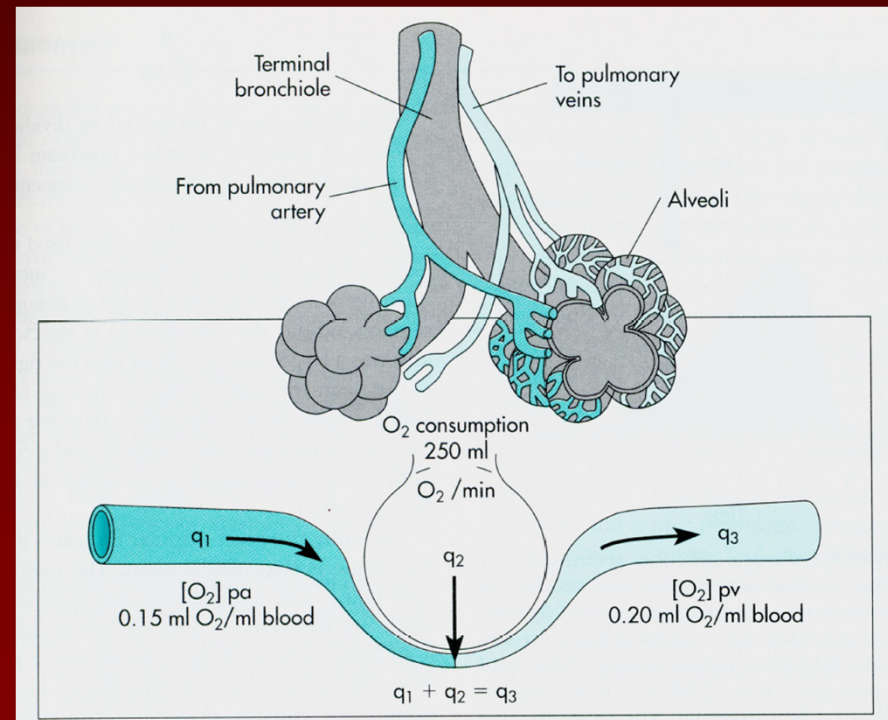


Každý litr krve zachytí během průchodu plícemi 50 ml O<sub>2</sub>.

- celkově z plic do krve absorbováno 250 ml O<sub>2</sub> za 1 min



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



# Metody měření krevního průtoku

## 4. Fickův princip – metoda indikátorového plynu

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

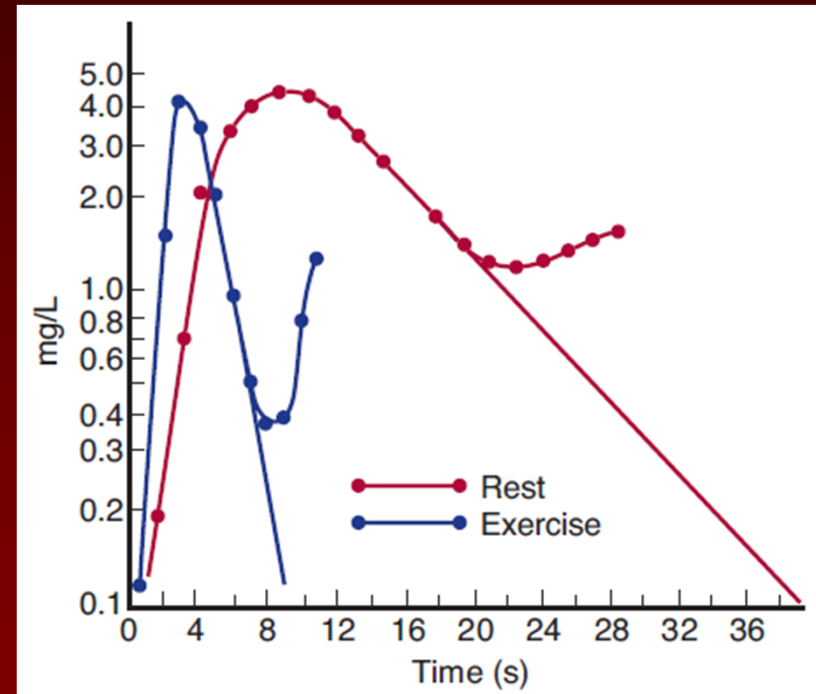
$$\text{průtok krve mozem} = \frac{\text{množství } N_2O \text{ ve venózní krvi} \downarrow \text{ } N_2O \text{ extrahovaný mozem z krve} / \text{čas}}{\text{průměrný arteriovenózní rozdíl } N_2O}$$

# 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, 23<sup>rd</sup> edition.

❖ termodiluční metoda

# Regulace krevního průtoku

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

**klidový cévní tonus** (stav středního napětí cév)

- ❖ tonická vzruchová 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**

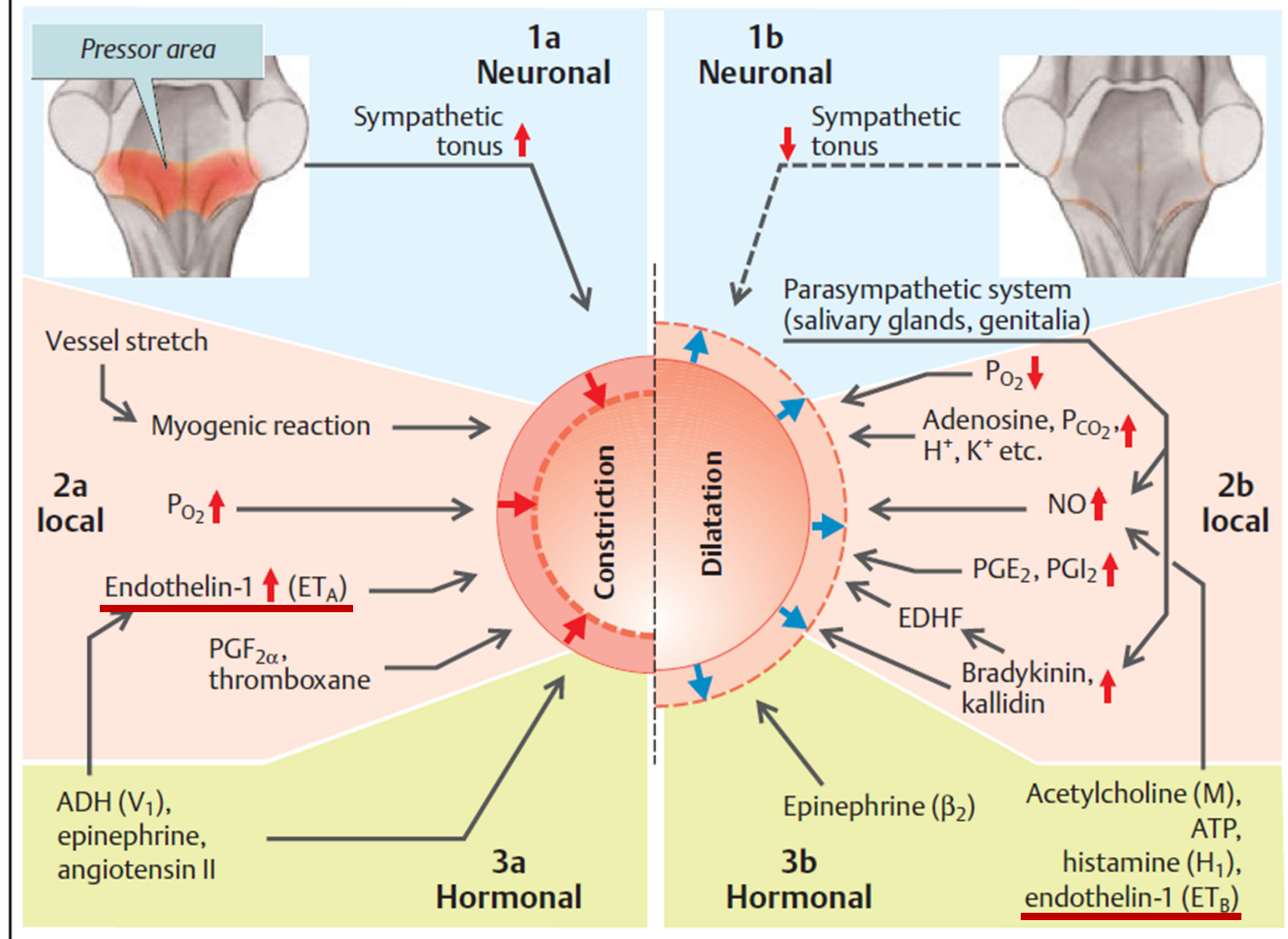
- ❖ po denervaci; dán spontánními depolarizacemi hladké svaloviny cév

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, ↓ pH, ↑ osmolarity v intersticiu, ↑ teploty tkáně; ↓ pO<sub>2</sub> 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

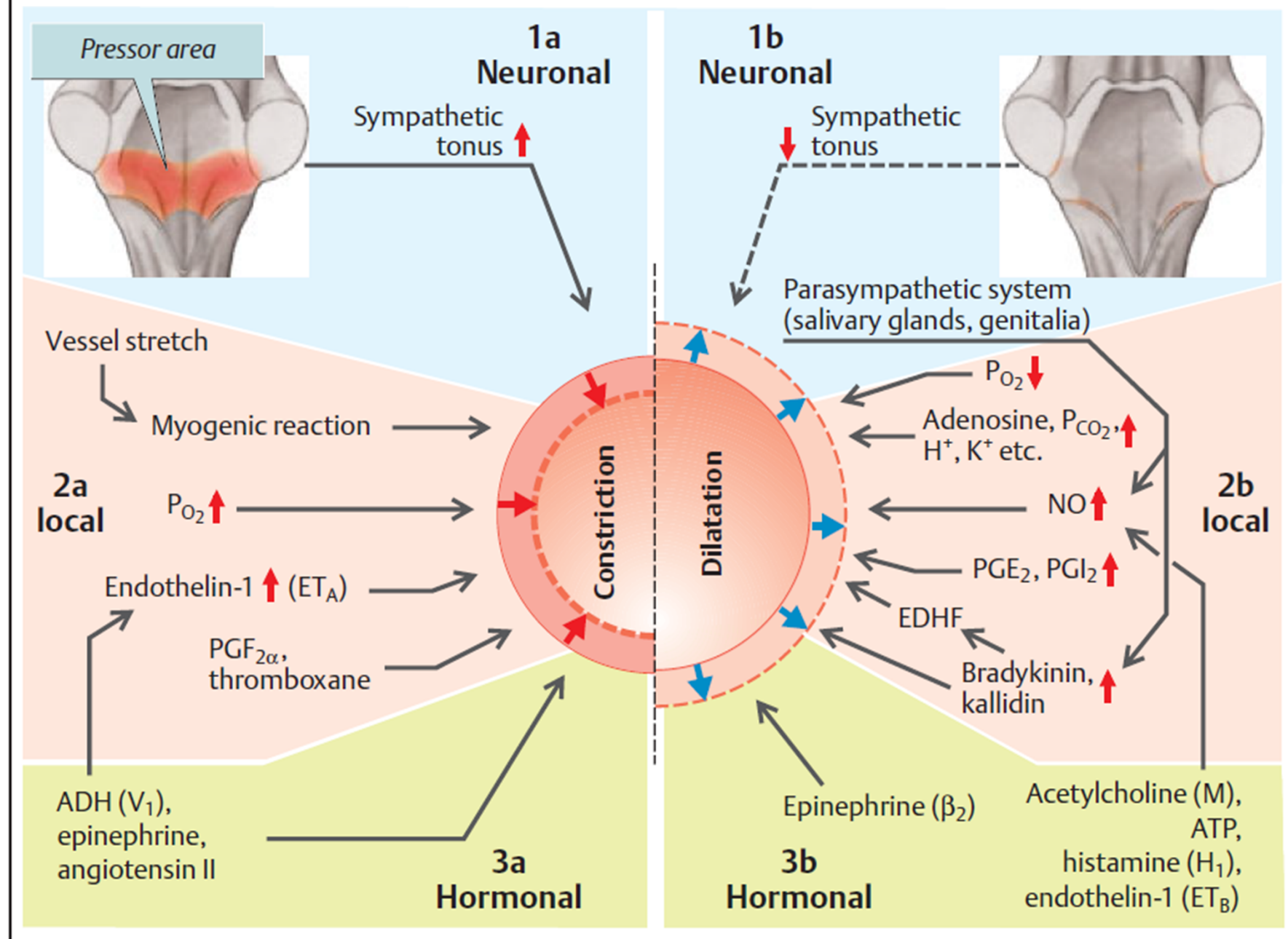
## Regulace zprostředkovaná endotelem

*endothelial-derived relaxing factor (EDRF) – NO*

→ vazodilatace

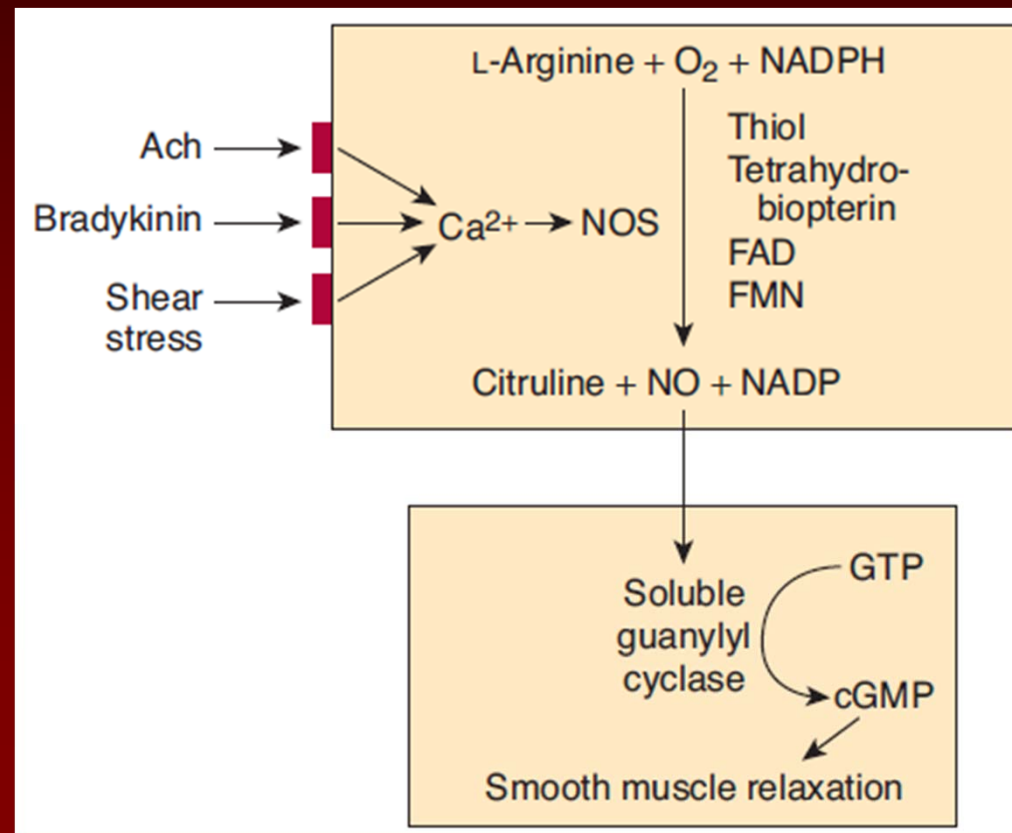
- ❖ je syntetizován v **endoteliálních buňkách** arteriol a malých arterií v závislosti na **tzv. smykovém napětí** vyvolaném proudící krví
- ❖ jeho **syntéza stimulována** produkty shlukování destiček (udržuje průchodnost cév s neporušeným endotelem) a také řadou primárně vazokonstrikčních látek

## 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<sub>A</sub> – specifický pro ET-1, především v cévách různých tkání,  
→ **vazokonstrikce**
  - ET<sub>B</sub> – 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)*

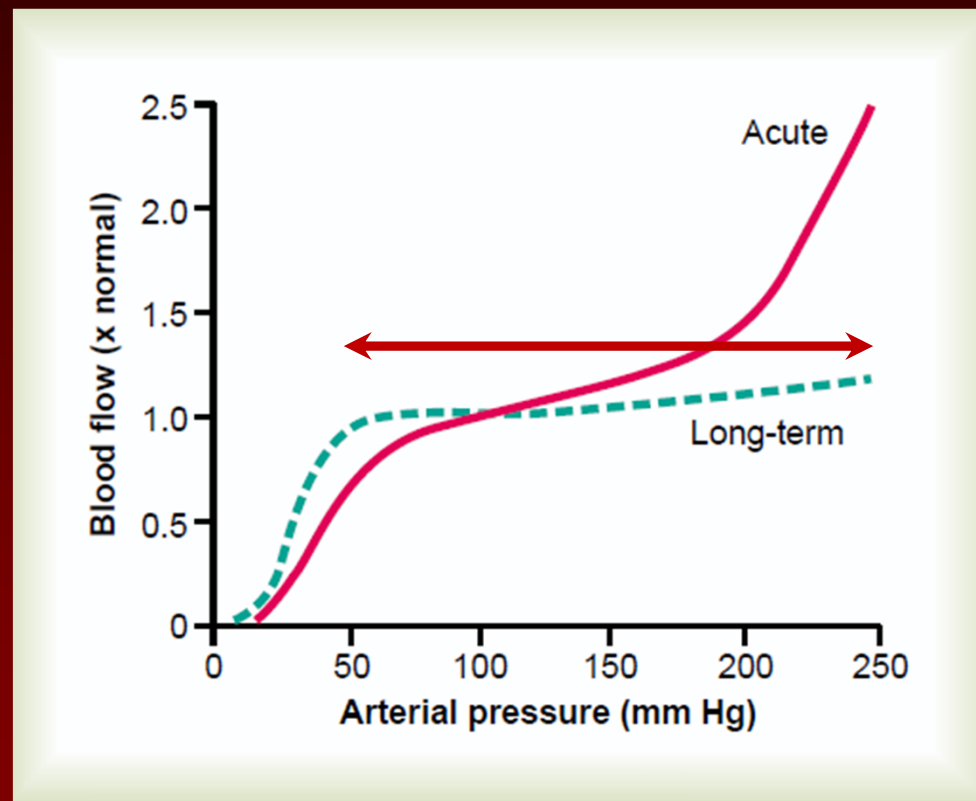
1. Metabolická autoregulace
2. Myogenní autoregulace
3. Regulace zprostředkovaná endotelem

## B. Chronická

*hodiny, dny až týdny*

# Regulace krevního průtoku - místní

## Chronická regulace



Guyton and Hall.  
Textbook of Medical  
Physiology, 11<sup>th</sup> edition

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

# Regulace krevního průtoku - místní

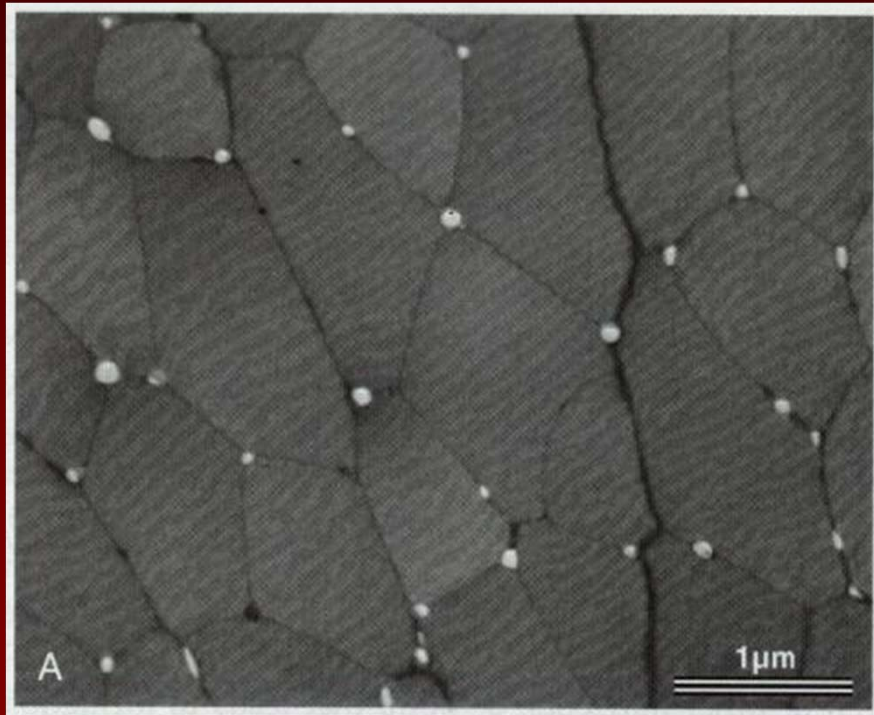
## Chronická regulace

- ❖ 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

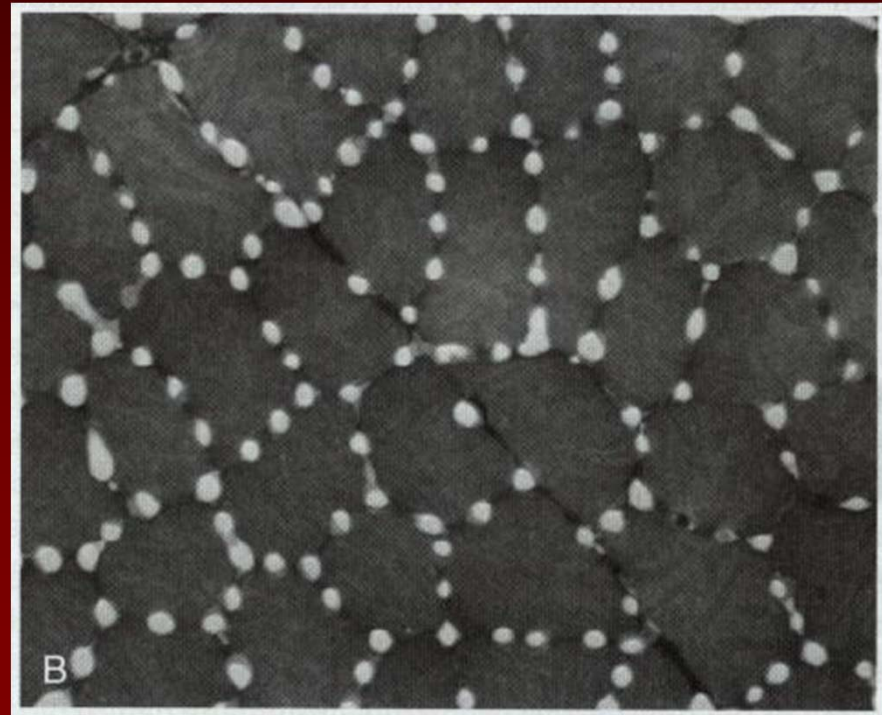
# Regulace krevního průtoku - místní

## 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 ( $\alpha_1$ -rec.)

#### ❖ adrenalin (vysoká hladina)

→ vazodilatace v kosterním svalstvu, játrech a koronárních arteriích ( $\beta_2$ -rec.)

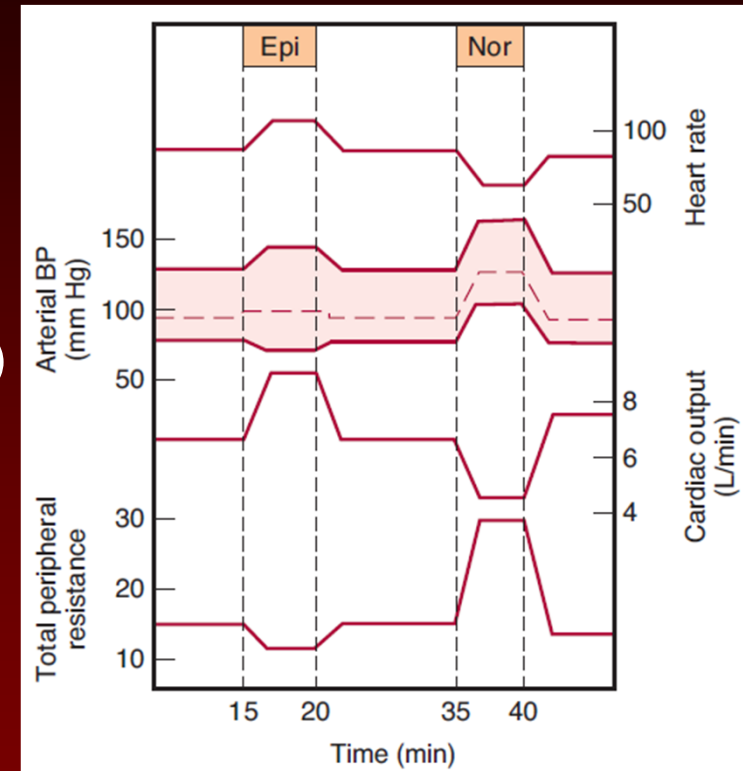
→ vazokonstrikce v ostatních tkáních

#### ❖ angiotensin II

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

#### ❖ vazopresin (antidiuretický hormon)

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



Garang's Review of Medical Physiology, 23<sup>rd</sup> 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)

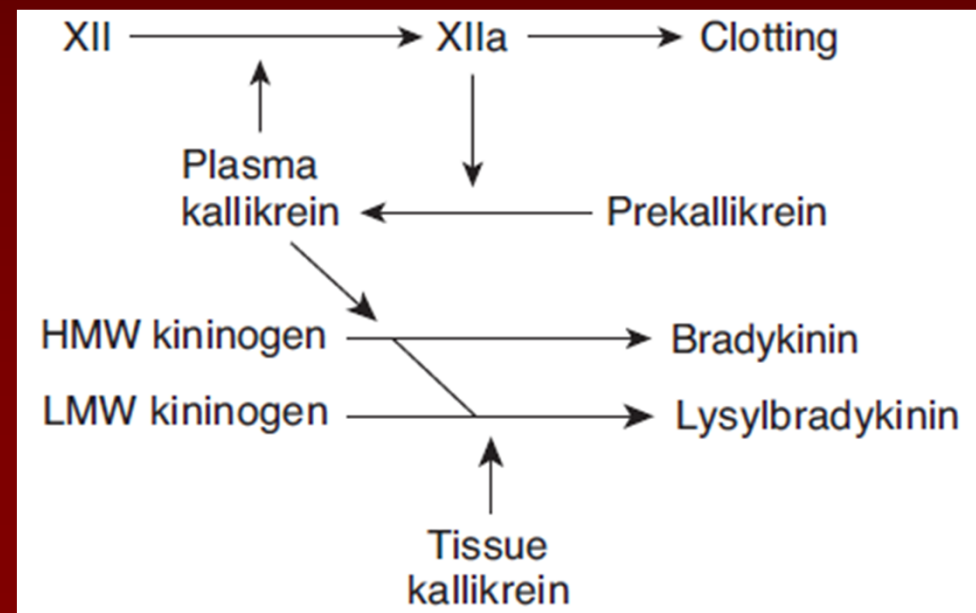
- malé polypeptidy, poločas rozpadu několik minut

→ vazodilatace arteriol + ↑ 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