

# Integrace fyziologických funkcí za různých okolností

Jana Svačinová

**EXAMS ARE COMING...**



## Regulace

vs.

## Adaptace

- Rychlé fyziologické změny probíhající po předem připravených drahách vyvolané jednorázovým podnětem
- Rychlá odpověď organismu na jednorázový podnět

- Biologicky výhodné fyziologické změny způsobené kvalitativně odlišnými ekologickými faktory
- Úprava (zefektivnění, posílení/oslabení) regulačních mechanismů
- Pomalá odpověď organismu na dlouho trvající nebo pravidelně se vyskytující podnět (ekologické faktory)



### **Klíčový rozdíl mezi regulací a adaptací je ČAS**

- Působení podnětu
- Odpovědi organismu

fyziologie

## Regulace

- Regulační mechanismus je vrožený



## Adaptace

- Adaptací se upravuje jeho efektivita (síla odpovědi)

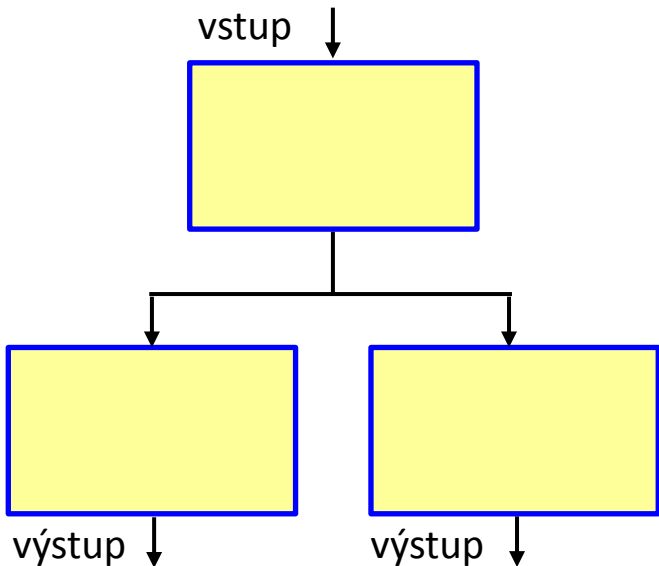


## Evoluce

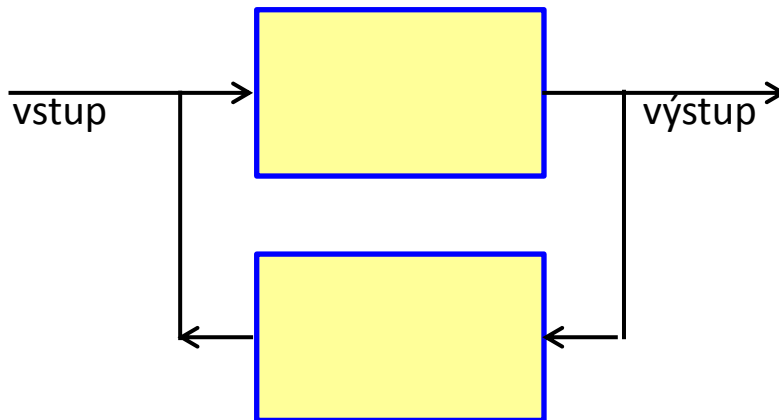
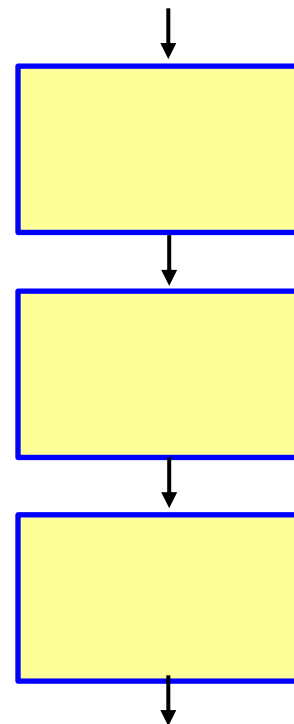
- Přenos změn do dalších generací (geneticky, epigeneticky)

# Zapojení systémů

paralelní



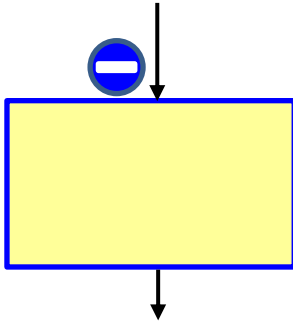
sériové



zpětnovazební

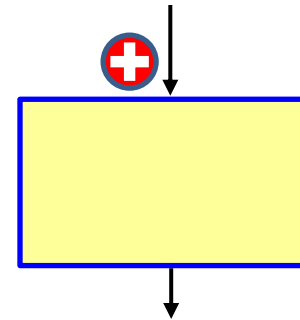
# Vliv na systém

negativní



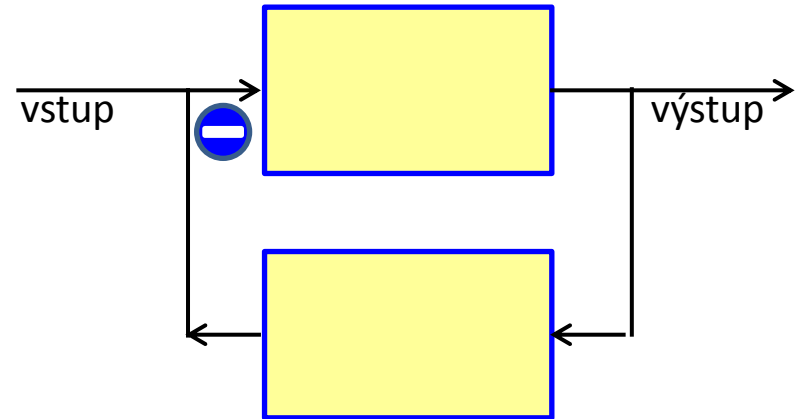
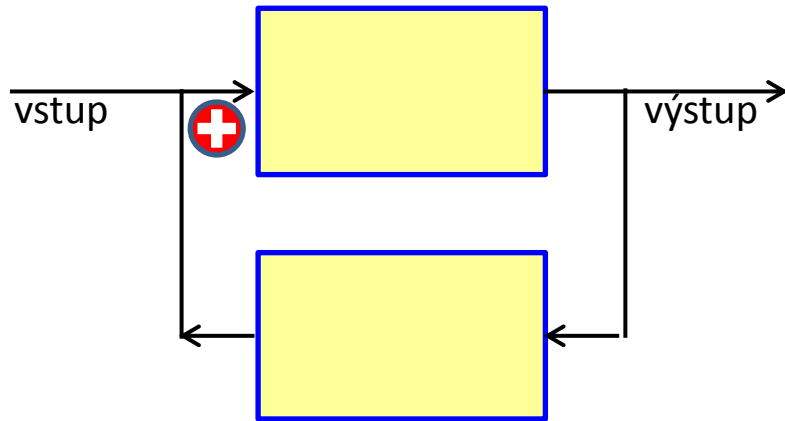
System je inhibován,  
výstup snižován

pozitivní



System je aktivován  
(excitován), výstup zvyšován

# Pozitivní vs. negativní zpětná vazba



## Pozitivní

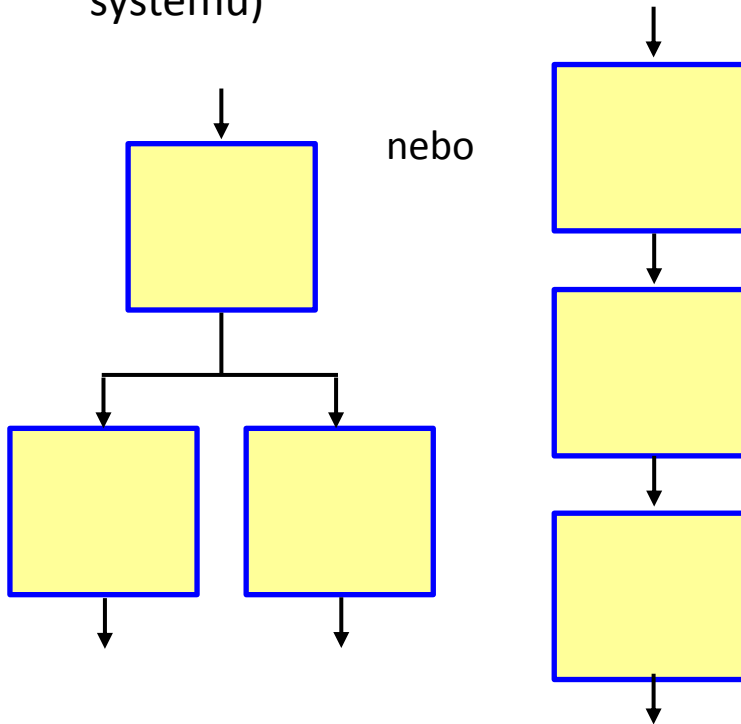
- Cílem je rychle excitovat systém, rychle zvýšit parametr pro uskutečnění nějakého děje
- Vychyluje systém z homeostázy
- Je dočasná, musí být ukončena
- Například zesílení kontrakcí u porodu, zvýšení intracelulárního  $Na$  u akčního potenciálu (málo příkladů)

## Negativní

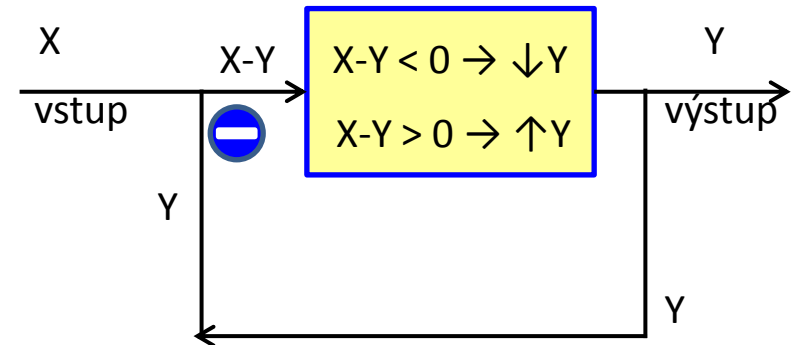
- Je podstatou regulace
- Cílem je stabilizovat fyziologický parametr (dle potřeb organismu), tlumit výchylky parametru
- Udržuje homeostázu
- Pracuje stále
- Všechny fyziologické regulace (hormonální, nervové – všechny reflexy,...)

# Řízení vs. regulace

Vstup z nadřazených řídicích center (nebo receptoru, který není zpětnovazebně vázán na soubor systémů)



Cíl: změna výstupu (fyziologického parametru)



**Regulace je založena na negativní zpětné vazbě**

Cílem je stabilizace a tlumení výchylek daného fyziologického parametru: dojde-li ke zvýšení fyziologického parametru, tento zvýšený parametru utlumí systém zvyšující parametru (inhibiční vliv)

Regulace je většina fyziologických dějů

Jen mezi námi, řízení je často regulace vytržená z kontextu



# Typy regulací podle druhu systému

1. Lokální/autoregulační  
fyzikální nebo chemická, orgány autonomně regulují svoji funkci , rychlá odpověď
2. Metabolická  
taky autonomní, regulace funkce orgánů na základě produkce metabolitů, rychlá odpověď na změnu produkce metabolitů
3. Hormonální
  - Endokrinní
  - Parakrinní
  - Autokrinní
4. Nervová

**Výsledný efekt je součtem vlivu všech systémů, které se mohou podporovat nebo vzájemně rušit**

## **Příklad – regulace průtoku krve orgánem**

1. Lokální autoregulace: myogenní autoregulace
2. Metabolická autoregulace: změny pCO<sub>2</sub> a pO<sub>2</sub>, pH, K, adenosinu atd. při zvýšené metabolické aktivitě orgánu vede k vazodilataci
3. Hormonální
  - endokrinně: adrenalin, angiotensin
  - parakrinně: histamin, serotonin
4. Nervově: sympatická inervace cév

# Typy regulací podle rychlosti

1. Rychlé – rychlá odpověď, ale taky větší šance na „přestřelení odpovědi“, mohou se rychle vyčerpat, často zprostředkované nervovým systémem, také autoregulace bývají rychlé
2. Pomalé – pomalejší odpověď, přesnější nalezení homeostázy/stability, větší kapacity, nejčastěji hormonální, ale i jiné (např. tlaková diuréza)

**Vývoj regulace parametru funguje na mnoha časových škálách zároveň**

## **Příklad – regulace krevního tlaku**

1. Rychlá odpověď – baroreflex
2. Pomalá – regulace volémie pomocí ADH

# Regulace acidobazické rovnováhy

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Jeden z úzce regulovaných parametrů homeostázy – výchyly pH vedou k disfunkci metabolických drah a mění funkci (konformaci) bílkovin

- Intracelulární pH má větší rozmezí v závislosti na funkci buňky
- **Extracelulární pH - mezibuněčné i v krvi – má úzké rozmezí 7.4 +- 0,04**  
(lehce vyšší ve venózní krvi než v arteriální kvůli pCO<sub>2</sub>)
- **Regulační mechanismy**
  - Chemické – pufry: směs slabých kyselin a jejich solí, které snadno vážou nebo uvolňují H<sup>+</sup>, okamžitá regulace pH, má omezenou kapacitu
    - Podle složení: Hydrogenuhličitanové/Nehydrogenuhličitanové
    - Podle umístění: Intracelulární/extracelulární
  - Fyziologické (dle orgánu) – ovlivňují vylučování H<sup>+</sup> z těla – ledviny a plíce

# Pufrovací systémy

- **Hydrogenuhličitanový** (pufrovací kapacita 24 mmol/l)
  - $\text{HCO}_3^-$  a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  v poměru 20:1
- **Bílkovinný systém** (pufrovací kapacita 15 mmol/l)
  - Plazmatické nebo intracelulární bílkoviny (amfolyty – podle prostředí přijímají nebo uvolňují  $\text{H}^+$ ) – za normálního pH se chovají jako slabé kyseliny
  - V krvi např. albumin
- **Hemoglobinový systém** (kapacita 7 mmol/l) –
  - Plíce: navázáním  $\text{O}_2$  na Hb v plicích se uvolňuje  $\text{H}^+$ , ten reaguje s  $\text{HCO}_3^-$  v plazmě za vzniku  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  je následně vydýchán
  - Tkáň: Hb odevzdá  $\text{O}_2$  tkáni a přijímá  $\text{H}^+$ , lehce tak koriguje pH kyselější tkáně
- **Fosfátový systém** (slabá 2mmol/l)
  - Dihydrofosfát a monohydrofosfát ( $\text{HPO}_4^{2-}$   $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )
    - nejdůležitější intracelulární pufrovací systém
    - v krevní plazmě slabá pufrovací funkce
    - důležitý při vylučování  $\text{H}^+$  močí (korekce kyselosti výsledné moči)

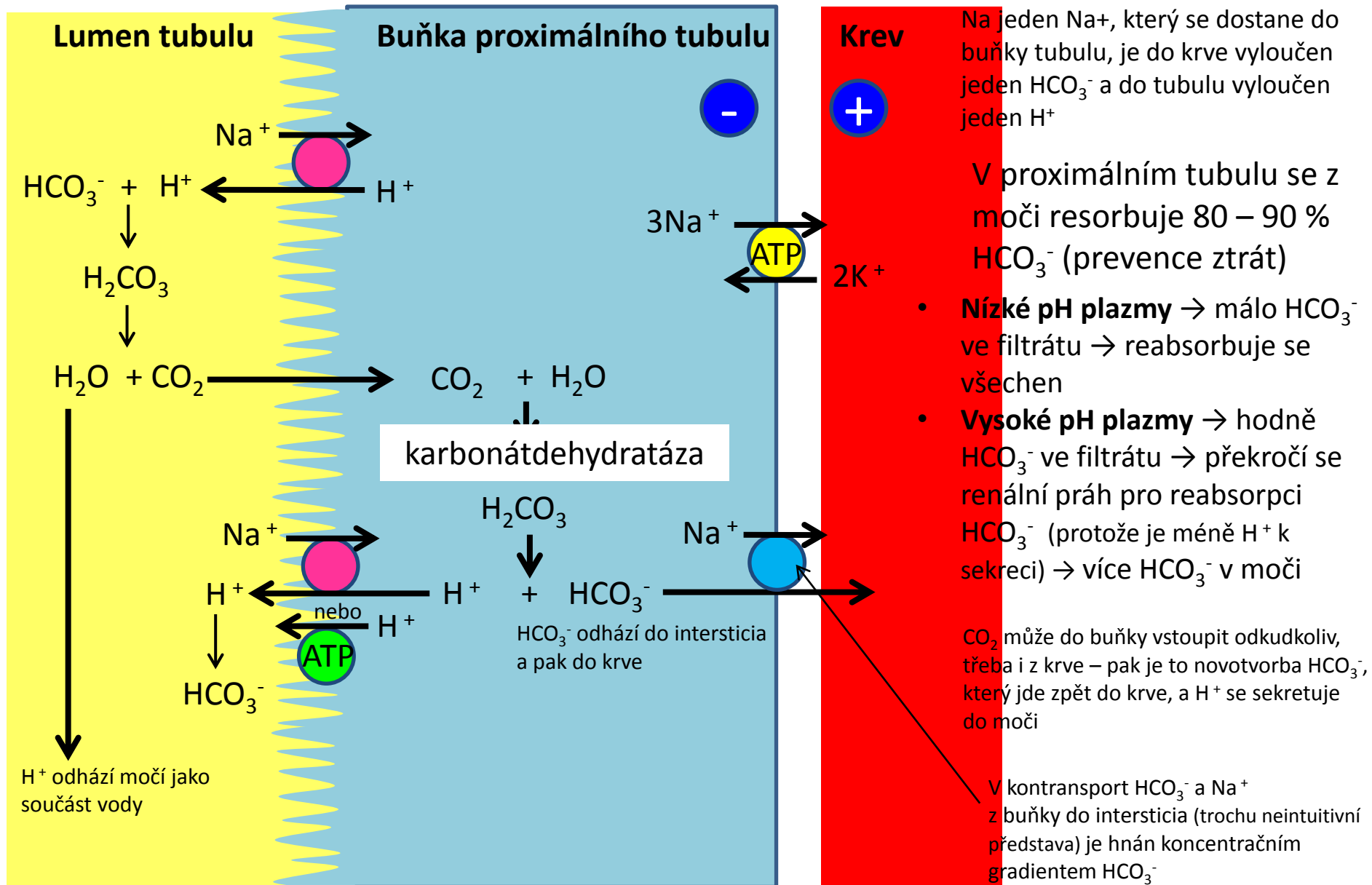
# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

Pomalejší ale dlouhodobější regulace pH, která úspěšně doplňuje rychlé pufrovací mechanismy (pufry mají ale omezenou kapacitu)

- Vylučování fixních kyselin močí (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, kys. mléčná), které jsou v krvi ve formě sodných nebo draselných solí a které organismus nedokáže zpracovat nebo jinak odstranit – při vylučování těchto kyselin ledvinami se K a Na vyměňují za H<sup>+</sup>
- Regulace plazmatické koncentrace HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$$
  - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> je do primární moče vylučován ve velkém množství (dle koncentrace v plazmě) – je potřeba zpětná resorpce, aby bylo zabráněno ztrátám
  - 80 – 90% HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> je vychytáváno a resorbováno v primárním tubulu – primární účel je zabránění ztrátám
  - Na konci distálního tubulu a ve sběracím kanálku je upravováno výsledné pH moči dle potřeb regulace plazmatického pH –
    - novotvorba HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (z vody a CO<sub>2</sub>) a jeho přesun do krevní plazmy,
    - pumpování H<sup>+</sup> do moči, kde se váže na NH<sub>3</sub>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> nebo H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (moč má pro volné H<sup>+</sup> omezenou kapacitu), už neslouží primárně k vychytávání HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
    - pH moči může být v rozsahu až 4,5 - 8

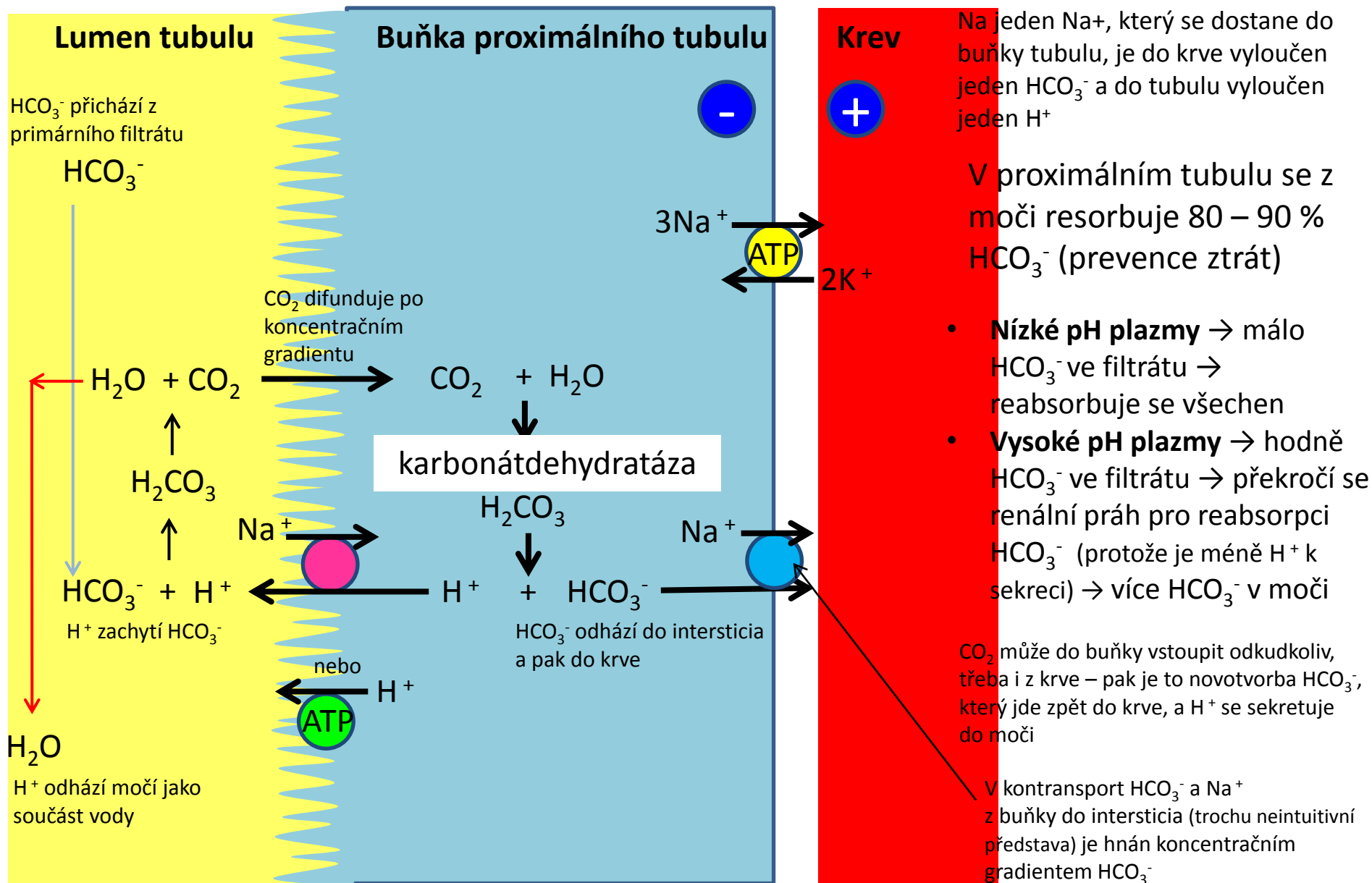
# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

## - proximální tubulus



# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

- proximální tubulus (to stejné zobrazené trochu jinak)

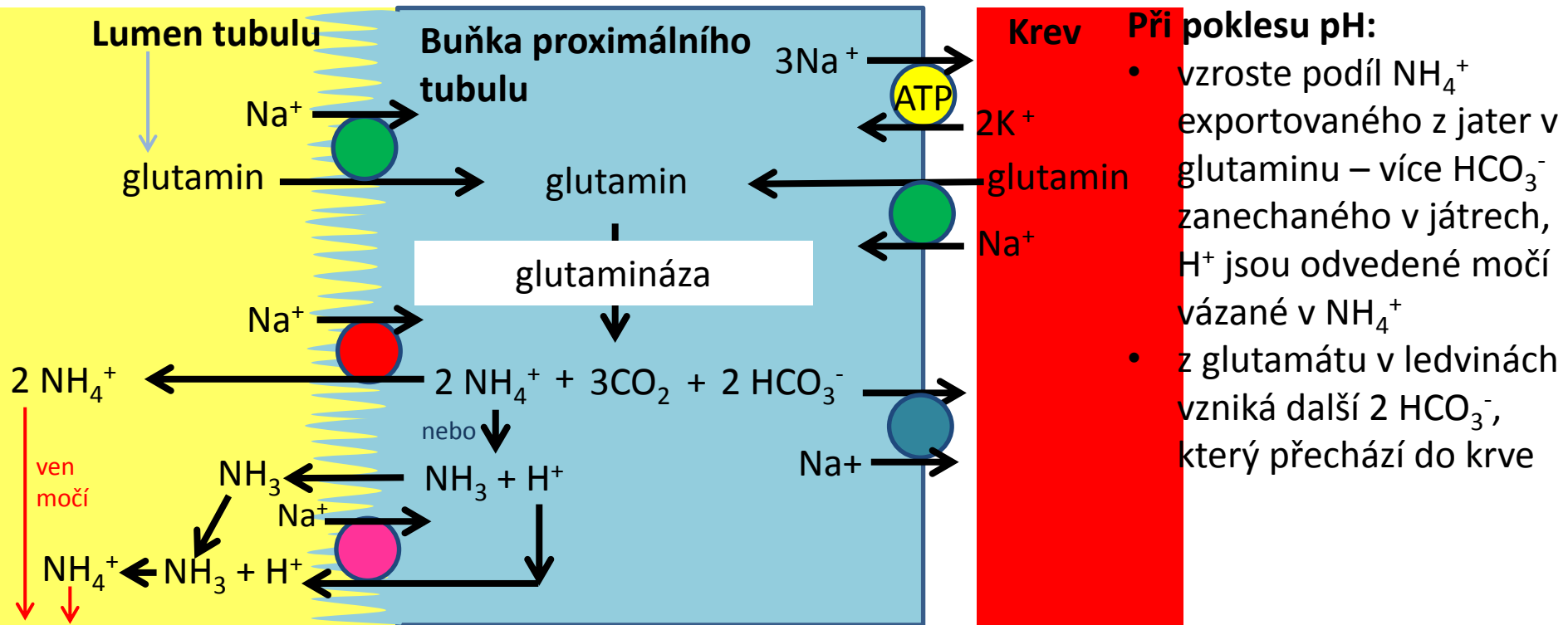


# Regulace pH ledvinami – spolupráce jater a ledvin

**Odbourání bílkovin v játrech vede k tvorbě  $\text{HCO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  :**  $\text{NH}_4^+$  odchází do ledvin v podobě:

- většina  $\text{NH}_4^+$  zabudována do **močoviny**:  $2\text{HCO}_3^- + 2\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{močovina} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{NH}_4^+$  odchází z těla v močovině)
- méně  $\text{NH}_4^+$  zabudovaná do **glutaminu** (glutamát<sup>-</sup> +  $\text{NH}_4^+$ ) – v ledvinách je glutamin opět rozložen a  $\text{NH}_4^+$  odchází v této podobě
- troška  **$\text{NH}_4^+$**  je do ledvin a do moče exportována nezabudovaná do sloučeniny (fakt jen málo, je toxický)

Pokud je  $\text{NH}_4^+$  odvedeno v podobě glutaminu či nevázané (v obou případech  $\text{NH}_4^+$  odchází močí), zůstává v játrech volné i  $\text{HCO}_3^-$ , který může sloužit jako pufr a vázat  $\text{H}^+$



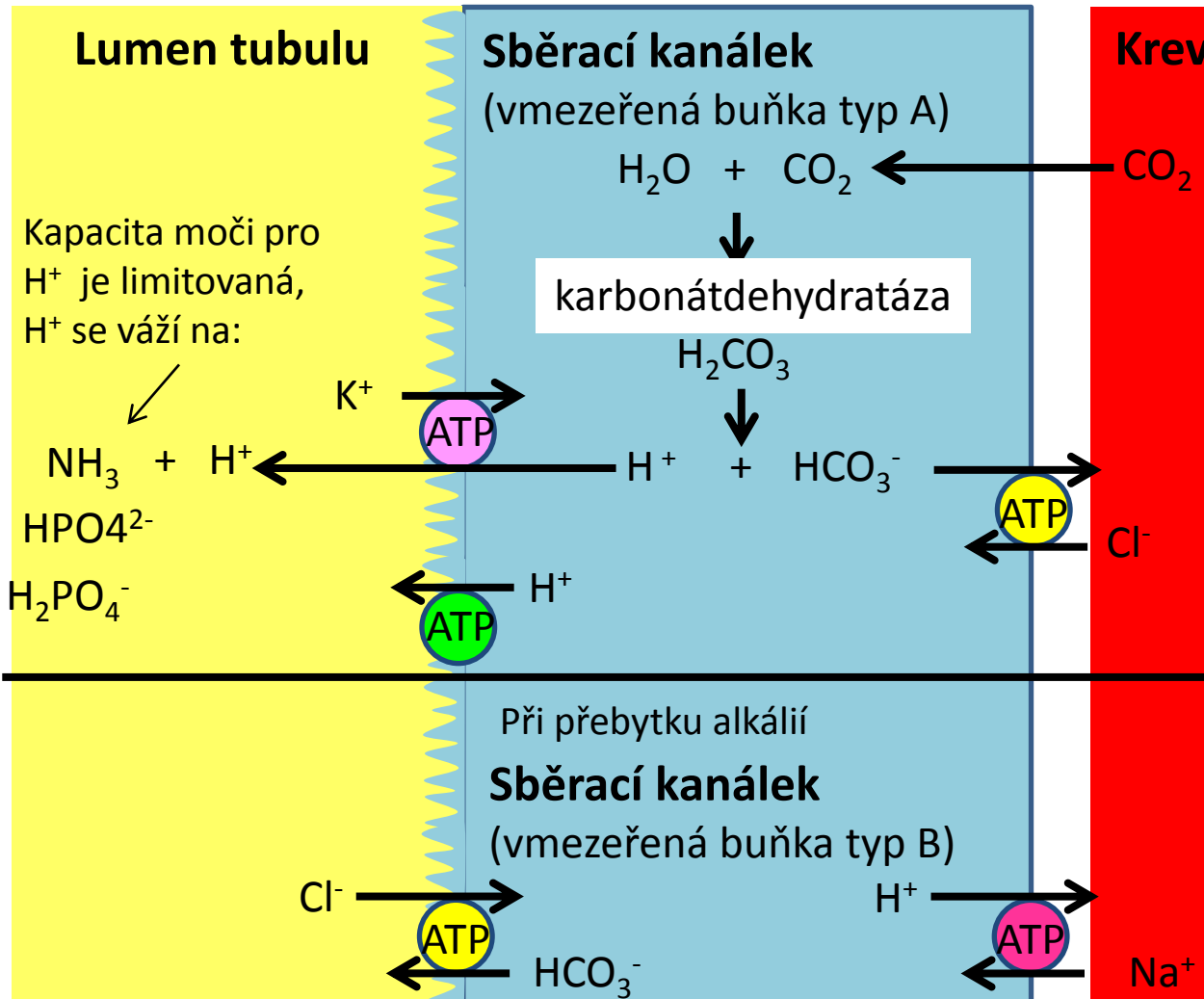


# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

## Konec distálního tubulu a sběrací kanálek: definitivní úprava pH moči

**Nízké pH:** novotvorba  $\text{HCO}_3^-$  z  $\text{CO}_2$  z krve, sekrece vzniklého do  $\text{H}^+$  moči

**Vysoké pH:** sekrece  $\text{HCO}_3^-$  do krve



### pH v tubulu

- Primární filtrát: 7,4
- Pozdní proximální tubulus: 6,6
- Výsledná moč max: 4,5 – 8,2

### Fosfátový pufr

$\text{HPO}_4^{2-}$  a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (4:1) v distálním tubulu a sběracím kanálku váže vylučované  $\text{H}^+$

### Amoniak:

V buňkách sběrných kanálků je  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NH}_3$  v rovnováze.  $\text{NH}_3$  difunduje do lumen kanálku a váže tam volné  $\text{H}^+$  - udržuje se tak koncentrační gradient pro difuzi  $\text{NH}_3$

# Termoregulace

Jádro (dutina břišní, hrudní, lebeční) – homeotermní - stabilní teplota 37 °C (podle některých zdrojů 37,5 +/-0.5°C)

Periferie („čouhající“ oblasti těla) – poikilotermní – větší variabilita, rozdíl periferie může být až desítky stupňů oproti jádru

posterior hypothalamus:  
reakce na chlad

**HYPOTHALAMUS**

anterior hypothalamus:  
reakce na teplo

## Aktivace chladem

- Zvýšení produkce tepla
- Snížení výdej tepla

## Aktivace teplem

- snížení produkce tepla
- zvýšení výdeje tepla

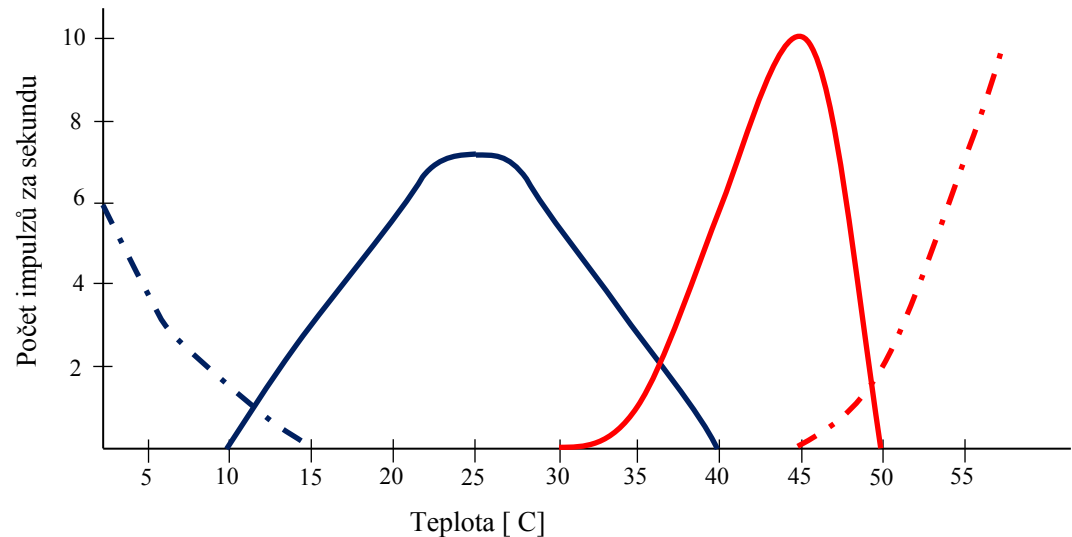
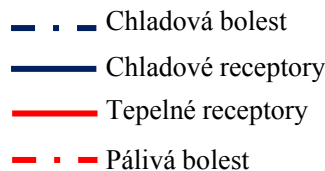
## Neurony

- Preoptical area - termorecepce
- Regio hypothalamica anterior – set point
- Posterior/anterior hypotalamus – reakce na chlad/teplo

Hlavní tepelné zdroje – mozek,  
játra, srdce, pracující sval

# Termorecepce

- Teplota je vnímána dvěma typy smyslových orgánů: jedny reagují maximálně na teploty o něco málo vyšší, než je tělesná teplota, druhé na teploty o něco nižší, než je tělesná teplota. První z nich jsou čidla pro teplo a druhé čidla pro chlad.
- Na kůži existují odděleně místa citlivá na chlad a na teplo. Přitom je 4–10krát více míst citlivých na chlad než na teplo. Chladové receptory reagují v rozmezí teploty mezi 10–40 °C a tepelné receptory v rozmezí 30–49 °C.
- Na změnu teploty také reagují receptory bolesti. Receptory bolesti jsou stimulovány pouze při extrémní teplotě nebo extrémním chladu, a proto jsou zodpovědné spolu s chladovými a tepelnými receptory za pocity pálení a mrznutí.



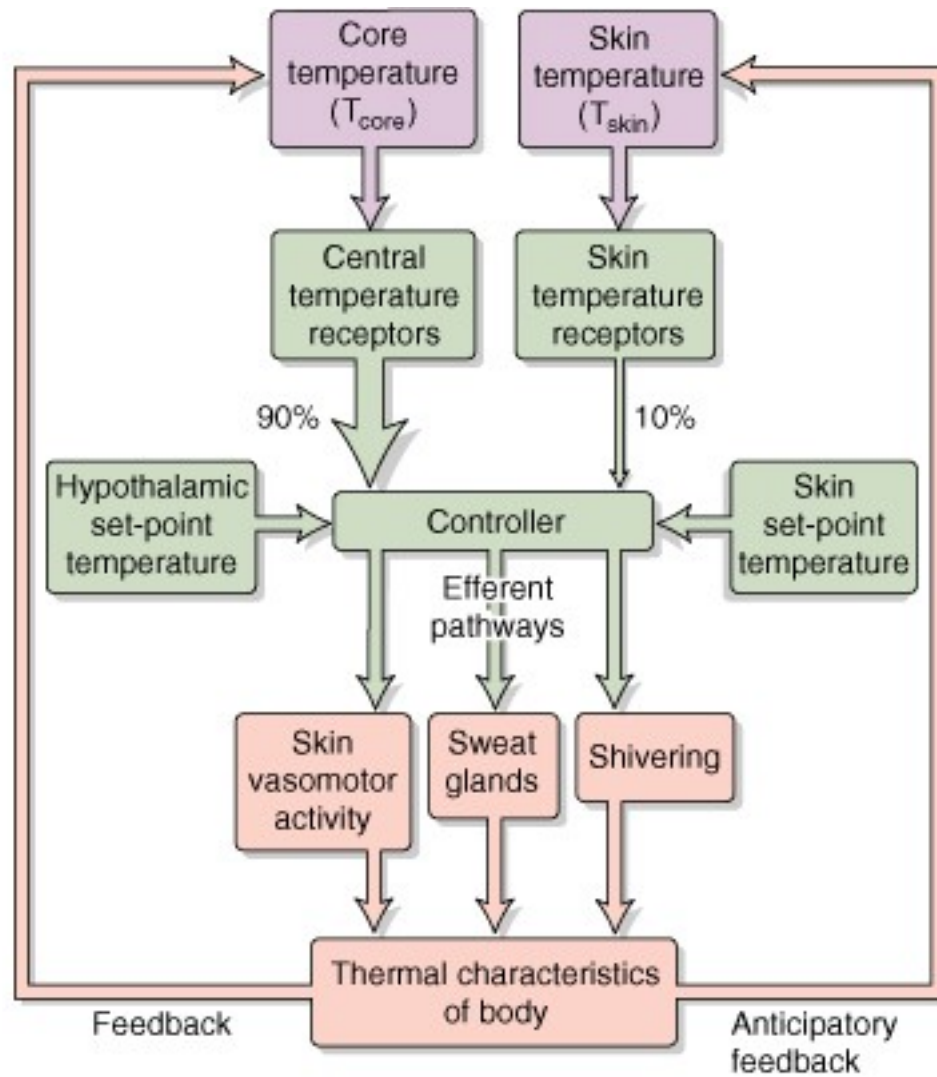
# Termorecepce

- **Krauseho tělíska:**
  - oválná, složená z větvení jednoho dendritu mezi Schwannovými buňkami, obalené epineuriem
  - receptory chladu
- **Ruffiniho tělíska:**
  - jedno nervové vlákno silně rozvětvené a obalené pouzdrém
  - receptory tepla
- Poměr tepelných receptorů k chladovým 1 : 3-10; v různých částech těla je hustota receptorů různá (15-25 chladových receptorů na 1 cm<sup>2</sup> v ústech a 3-5 chladových receptorů na 1 cm<sup>2</sup> na prstu).



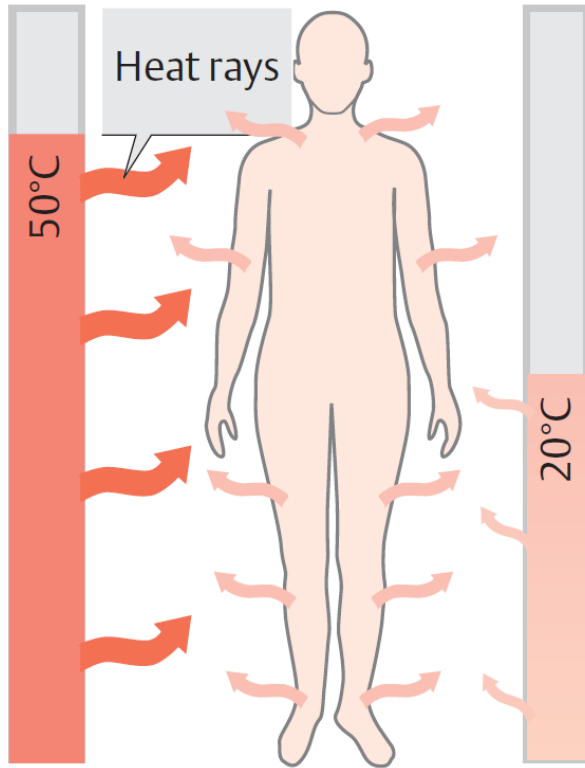
Termoreceptory (obecně) se nachází nejenom v kůži ale i v hypotalamu, v orgánech dutiny břišní a kolem velkých cév v horní části břicha a hrudníku (reagují více na snížení než zvýšení teploty) a podílí se na termoregulaci. Stejně tak i chemoreceptory (glomus caroticum) registrují změny teploty krve.

# Termoregulace

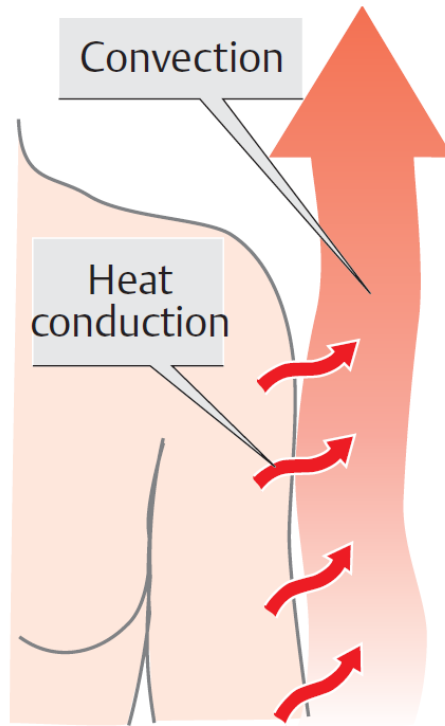


# Mechanismy tepelných ztrát

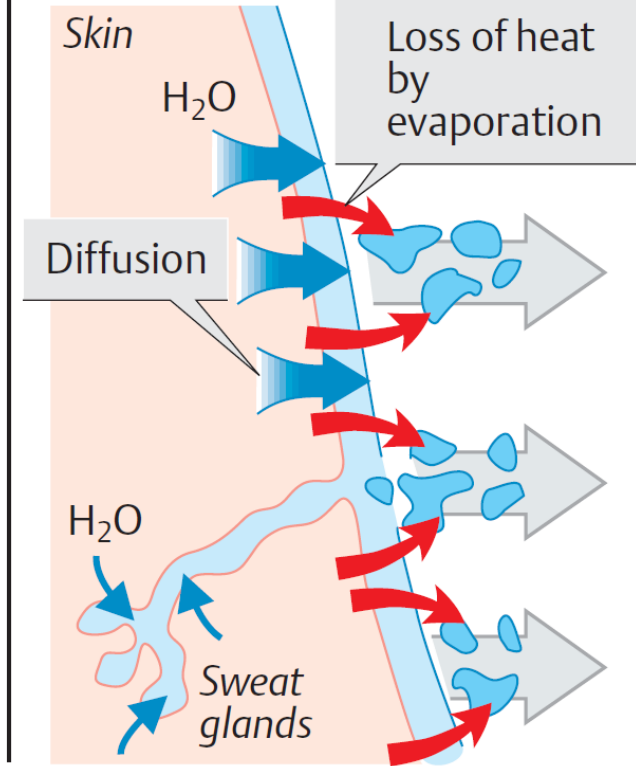
## 1 Radiation



## 2 Conduction and convection



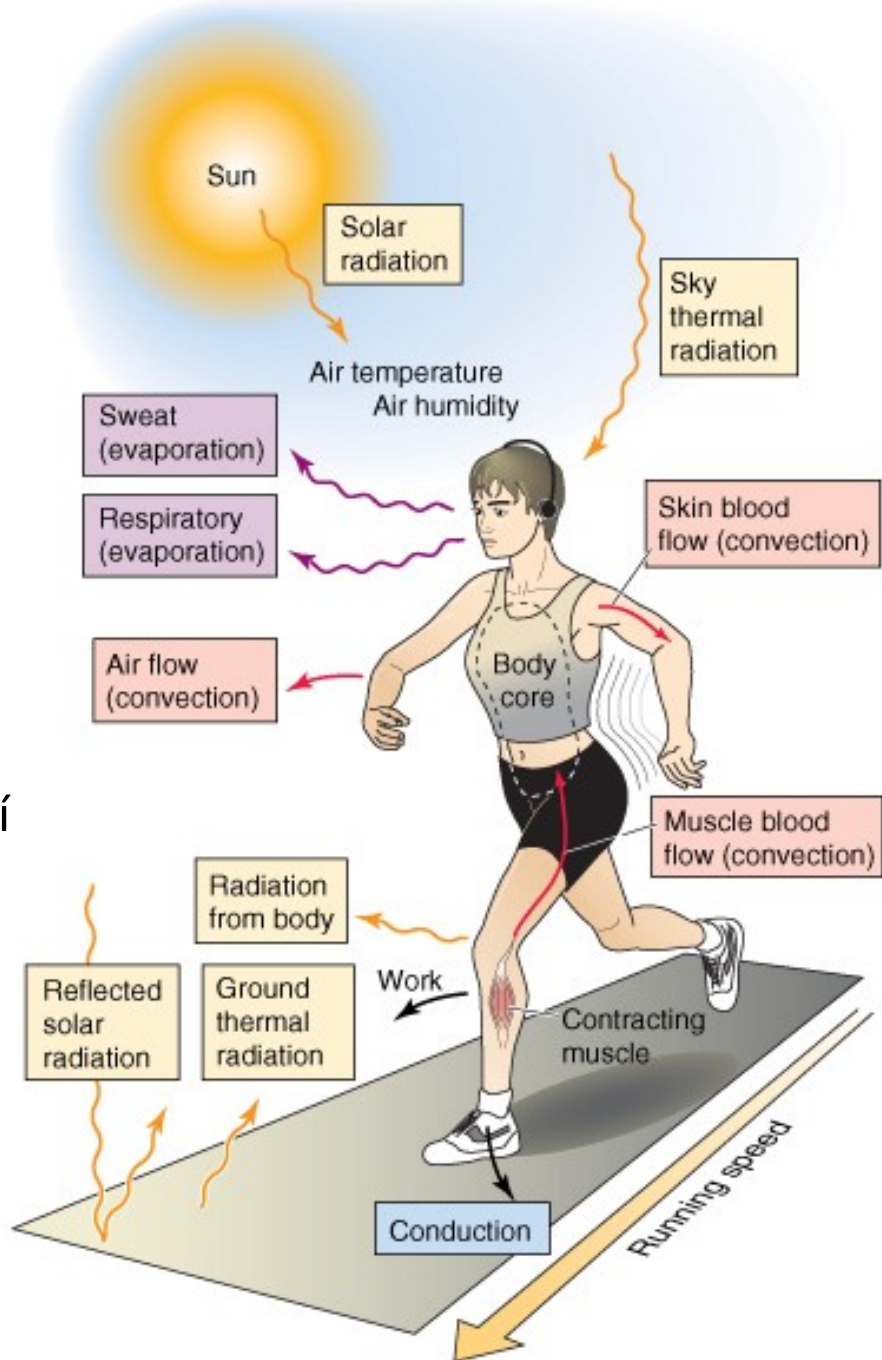
## 3 Evaporation



# Výměna tepla s prostředím

## Mechanismy

- Záření (radiace)
- Kondukce (vedení) – odvádění tepla kontaktu s pevným tělesem
- Konvekce (proudění) – vzduch/voda při kontaktu s tělem přebírá teplo a prouděním odvádí teplo od těla
- Vypařování (evaporace)



# Pocitová teplota v závislosti na větru

Wind Chill (pocitová teplota) - od +5 do -20°C												
$T_{\text{air}}$ (°C) $V_{10}$ (km/h)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81



# Pocitová teplota v závislosti na větru

# Reakce na zvýšenou teplotu



# Reakce na zvýšenou teplotu

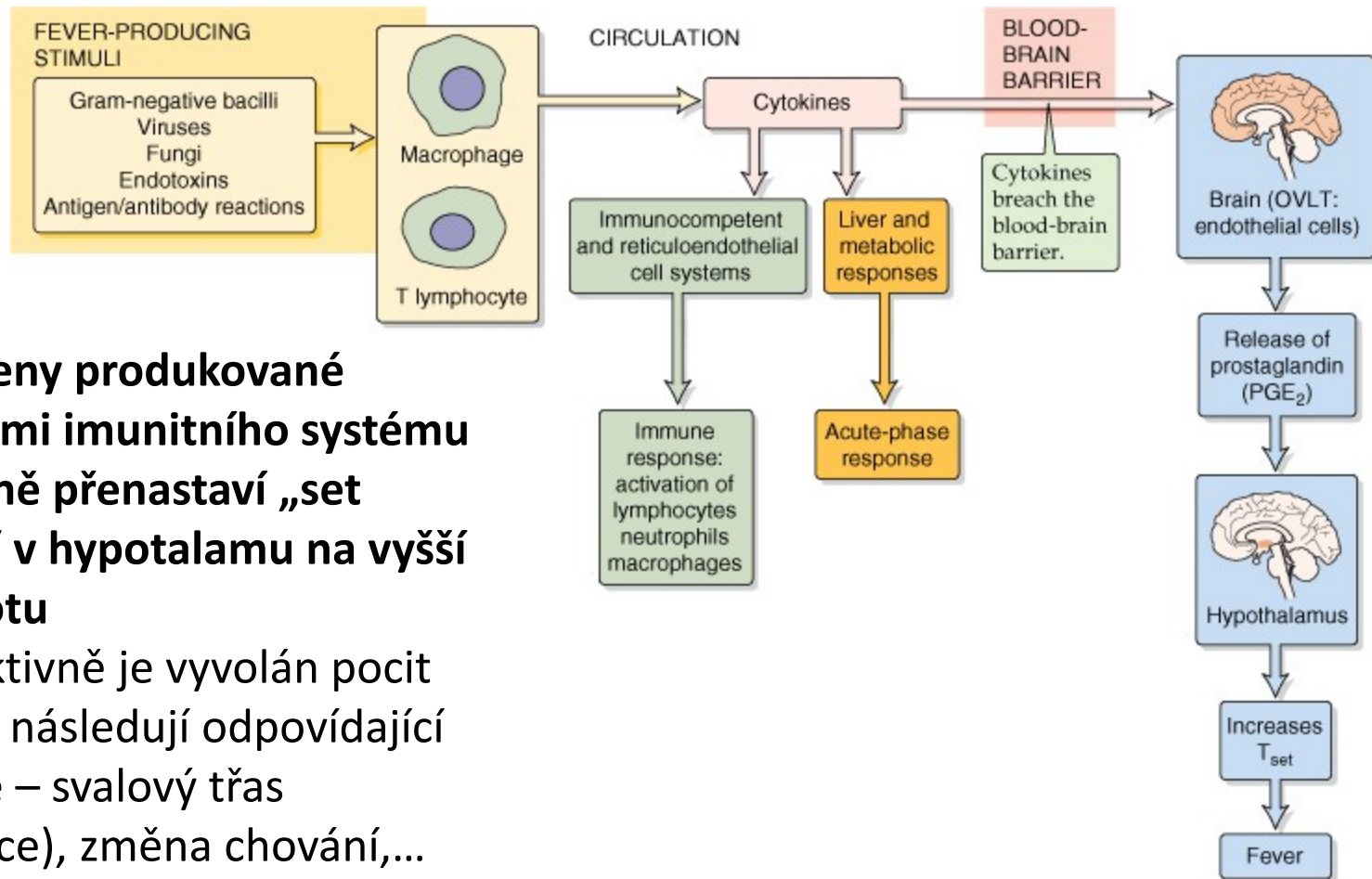
## Mimovolní mechanismy

- Inhibice sympatického vlivu na cévy na povrchu těla: vazodilatace a cirkulace teplé krve z jadra na povrch (až 30% srdečního výdeje)
  - Arteriovenózní anastomózy – jejich dilatace převádí arteriální krev rovnou do povrchových žilních pletení (zčervenání kůže, mimo jiné prevence otoků)  
(pokles periferní rezistence může vést k významnému poklesu krevního tlaku - mdloby)
- Pocení – aktivace sympatických cholinergních jader inervujících potní žlázy
- Inhibice tvorby tepla, snížení pocitu hladu

## Volní mechanismy - chování

- Snížení pohybové aktivity, vyhledání stínu nebo chladu, chladné nápoje, větší přísun tekutin (kompenzace ztrát vody pocením), atd...

# Horečka



**Pyrogeny produkované buňkami imunitního systému dočasně přenastaví „set point“ v hypotalamu na vyšší hodnotu**

Subjektivně je vyvolán pocit zimy a následují odpovídající reakce – svalový třas (zimnice), změna chování,...

# Reakce na sníženou teplotu



# Reakce na sníženou teplotu

## Mimovolní mechanismy

- **Vazokonstrikce v kůži** (jádro pod  $36,8^{\circ}\text{C}$ ) : Stimulace sympatických center zadního hypotalamu
- **Piloerekce** (husí kůže) – sympatiku způsobí kontrakci drobných svalů vázaných na ochlupení - dojde k jeho vzpřímení – málo efektivní, evoluční relikv
- **Zvýšení tvorby tepla**
  - **Svalový třes** (jádro pod  $35,5^{\circ}\text{C}$ ) – primární motorické centrum třesové termogeneze v zadním hypotalamu (v teple je inhibováno, aktivace při poklesu teploty) – vzruchy se přenáší na motoneurony předních rohů míchy – zvýšení citlivosti na podněty ze svalových vřetének – opakující se zvýšení svalového tonu (vzestup tepla až 15x)
  - **Chemická termogeneze** (jádro pod  $36^{\circ}\text{C}$ ) – (beta adrenergní regulace) tvorba tepla v hnědém tuku (elektronový gradient v mitochondriích netvoří ATP ale teplo) – významný u novorozenců, ale hnědý tuk je přítomný i u některých dospělých kolem krku a lopatek
  - Snížená teplota v oblasti area preoptika vyvolá uvolnění tyreoliberinu z hypotalamu a **aktivaci štítné žlázy** a zvýšení syntézy tyroxinu – zvýšení metabolismu, zvýšení tvorby tepla – nastává až po několika dnech až týdnech v chladu – souvisí s aklimatizací v chladovém prostředí

## Volní mechanismy - chování

- Zvýšení pohybové aktivity, schoulení se (snížení povrchu pro únik tepla), oblečení, přesun do tepla, hlad

Odpověď organismu na chlad	Redukce ztráty tělesného tepla	Tvorba tělesného tepla
<b>Mimovolní</b>	<p><b><u>Vazokonstrikce</u></b>            = chladové zúžení cév na periferii v kůži, podkoží a neaktivních svalech, tvoří až 85% celkové izolace organismu</p>	<p><b><u>Chladový třes</u></b> – vzestup srdeční a dechové frekvence, energeticky nevýhodné - vysoká spotřeba energie a kyslíku, na ohřátí těla o 0,6 °C vzroste spotřeba kyslíku až o 360%, svalová práce - třes - zvyšuje prokrvení povrchových oblastí těla, které ruší chladovou vazokonstrikci</p>
	<p><b><u>Netřesová termogeneze</u></b> – metabolické zvýšení produkce tepla, termogeneticky nejúčinnější, indukována působením katecholaminů, u novorozenců v hnědé tukové tkáni, u dospělého člověka pravděpodobně v bílém tuku a kosterním svaistvu</p>	
<b>Volní</b>	<p>Úkryt před chladem, redukce povrchu těla (schoulení), volba vhodného oděvu</p>	<p>Tělesné cvičení, dostatek energie</p>
	<p>Omezení tepelných ztrát – podložka, alufolie, deky, výměna mokrého oblečení za suché</p>	<p>Zevní ohřívání</p>

# Klasifikace HT

Klasifikace dle teploty tělesného jádra	Teplota	Swiss staging system, REGA	Klinický stav = užití na místě nehody => „on site triage“		Spotřeba O <sub>2</sub> tkáněmi
Lehká, nezávažná	35 – 32 °C	I.	Jasně vědomí, chladový třes 	35 – 32 °C	↑ až o 300% !!
Střední, mírná	32 – 28 °C	II.	Postupný útlum vědomí, není třes	32 – 28 °C	↓ o 50%
Těžká	< 28 °C	III.	Bezvědomí, základní životní funkce zpomalené, ale zachovány	28 – 24 °C	
		IV.	Bezvědomí, apnoe, KF, ASY	24 – 15 °C	↓ o 75% (22°C)
		V.	Ireverzibilní HT	< 15 °C (13,7 °C)	↓ o 92% (10°C)





# Příznaky hypovolemického šoku

- Tachykardie
- Tachypnoe
- Slabý periferní pŕlž
- Bledá, chladná, opocená kŕže
- Prodloužený kapilární návrat
- Porucha vědomí
- Hypotenze

# Reakce na krváčení, oběhový šok

- Fyziologické kompenzační mechanismy nastupují s různou rychlostí
- Podnětem nástupu těchto mechanismů je hypovolémie, hypotenze nebo ischemie (a jejich kombinace), které aktivují sympatikus – sympatikus ve spolupráci s jednotlivými přímými regulačními cestami spouští další kompenzační mechanismy
- Síla odpovědi záleží na objemu krevní ztráty
- Ztráta krve nad cca 15% krve – hrozí rozvoj hemoragického šoku (jen pro představu, je to individuální, různé zdroje, asi jsou někde guideliny)
- **Šok:** závažný stav organismu, jehož příčinou je nepoměr mezi velikostí cévního řečiště a množstvím obíhající tekutiny
  - Jinými slovy - nabídka kyslíku (především) neodpovídá poptávce tkání

# Reakce na krvácení - projev

- Projev: Nízký systolický objem vede ke snížení pulzové amplitudy, takže pulz je slabý, ale má vysokou frekvenci. Označuje se jako nitkovitý pulz. Díky nízkému tlaku je hůře hmatatelný. Při velké ztrátě krve je oběh v končetinách tak omezen, že pulz na a. radialis nemusí být hmatný. Proto je třeba tep palpovat na karotidách. Orientačně se tak dá vyhodnotit krevní tlak. Pulz hmatný na a. radialis znamená, že systolický tlak je vyšší než 90 mmHg (a. femoralis 80-90 mmHg). Pulz hmatný pouze na karotidách znamená, že systolický tlak poklesl pod 70 mmHg.
- Přesun krve z kůže se projevuje jako bledost. Kromě bledosti je kůže studená a může být opocená (studený pot). Kapilární návrat je delší než 2 s.

# Odpovědi na větší ale regulovatelné krvácení (cca víc jak darování krve, méně jak 40%)

- **Baroreflex** (reaguje okamžitě)
  - ↓žilní návrat → ↓ plnění komor → ↓ systolický objem (SV) → ↓ krevní tlak (TK) → registrace baroreceptory → baroreflex: aktivace sympatiku a inhibice parasympatiku →
    - ↑srdeční frekvence → zachování TK
    - ↑síla srdečního stahu → zachování TK
    - Arteriokonstrikce → zvýšení arteriální rezistence → zachování TK, omezení dalšího krvácení, centralizace oběhu (přesun krve z GIT, ledvin, kůže, periferie obecně)
    - Venokonstrikce → redistribuce objemu krve z kapacitního řečiště (obsahuje až 50% krve) → zachování žilního návratu
- **RAAS** (reaguje po minutách)
  - ↓ Průtok krve ledvinami → renin → ... → angiotensin II → aldosteron
    - angiotensin II → vazokonstrikce → zachování TK, centralizace oběhu → stimulace vyplavení ADH
    - Aldosteron → resorpce Na<sup>+</sup> → zachování volémie
- **ADH** (reaguje po minutách)
  - Sympatická aktivace, angII, hypovolémie, ↑osmolarita (důsledek aldosteronu) → sekrece ADH → vazokonstrikce, ↑ resorpce vody v ledvinách → zachování TK a volémie
- **erytrocyty** – ischemie ledvin → erythropoetin - první vyplavení retikulocytů relativně rychle, další krvetvorba dny
- trombocyty – jsou vyčerpané ztrátou krve a srážením
- leukocyty
- plazmatické bílkoviny, hlavně albumin a koagulační faktory (dny)

# Reakce na krvácení – symptomy

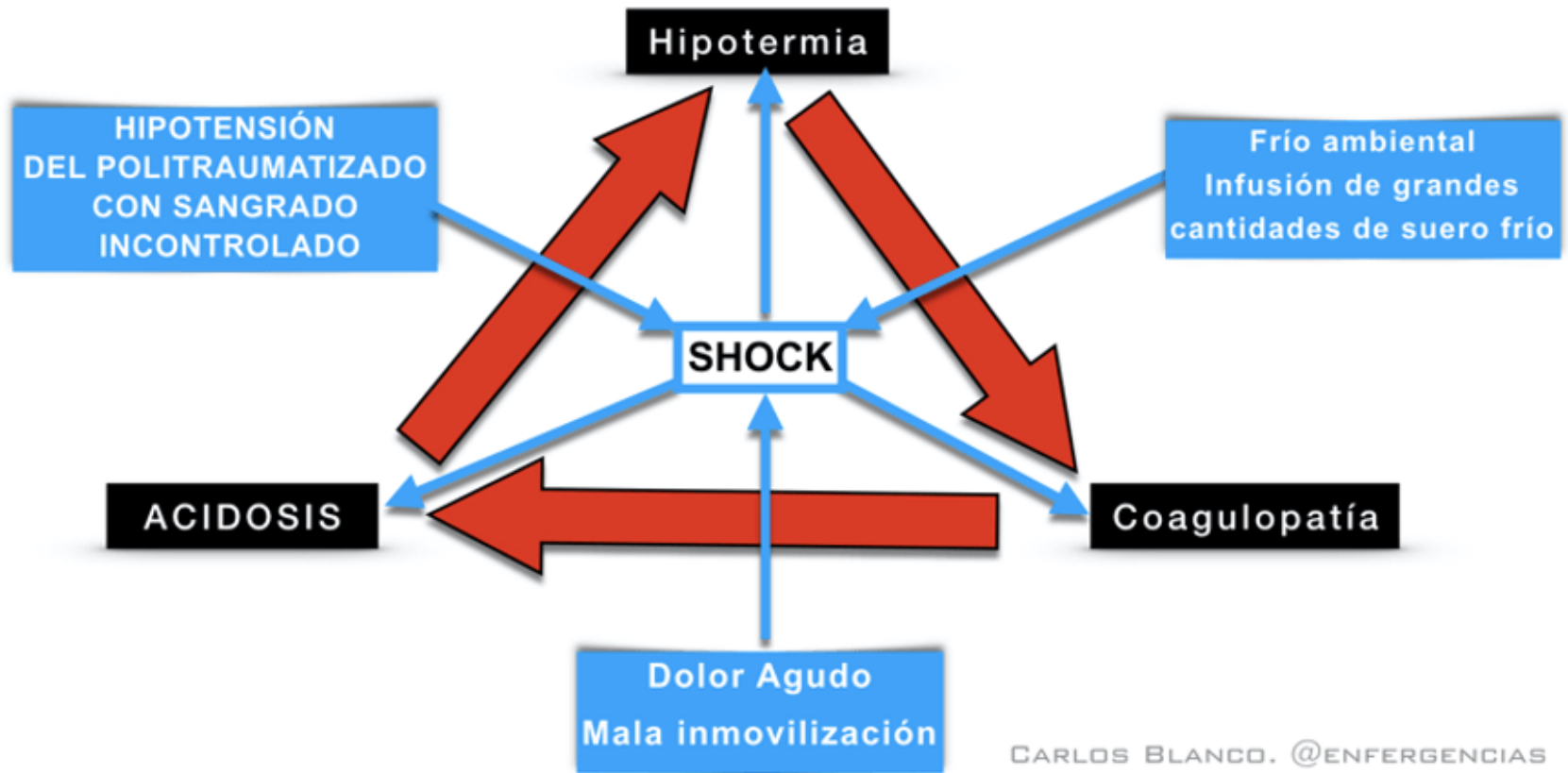
- Příklad je uveden při absolutním objemu krve 5 000 ml u 70 kg muže (je zřejmé, že drobnou většou stařenku položí na lopatky mnohem menší ztráta krve)
- Reakce jsou samozřejmě individuální, zhoršená výchozí kondice a každá další komplikace stav zhoršují

Stupeň krevní ztráty	I. třída	II. třída	III. třída	IV. třída
% ztracené krve	do 15%	do 30%	do 40%	nad 40%
Krevní ztráta	Do 750 ml	750 – 1000 ml	1500 – 2000 ml	nad 2000 ml
Srdeční frekvence	Do 100/min	100 – 120/min	120 – 140/min	nad 140/min
Systolický tlak	normální	normální	snížený	Snížený, neměřitelný
Kvalita pulzu	normální	oslabený	oslabený	Slabý, nehmatný
Kapilární návrat	normální	nad 2 s	nad 2 s	Není
Dechová frekvence	14 – 20/min	20 – 30/min	na 30/min	nad 35/min
Diuréza	nad 30 ml/hod	20 – 30 ml/hod	5 – 30 ml/hod	zanedbatelná
Fce CNS	normální	úzkost	Úzkost, zmatenost	Zmatenost, nereaktivita

# Fáze hemoragického šoku

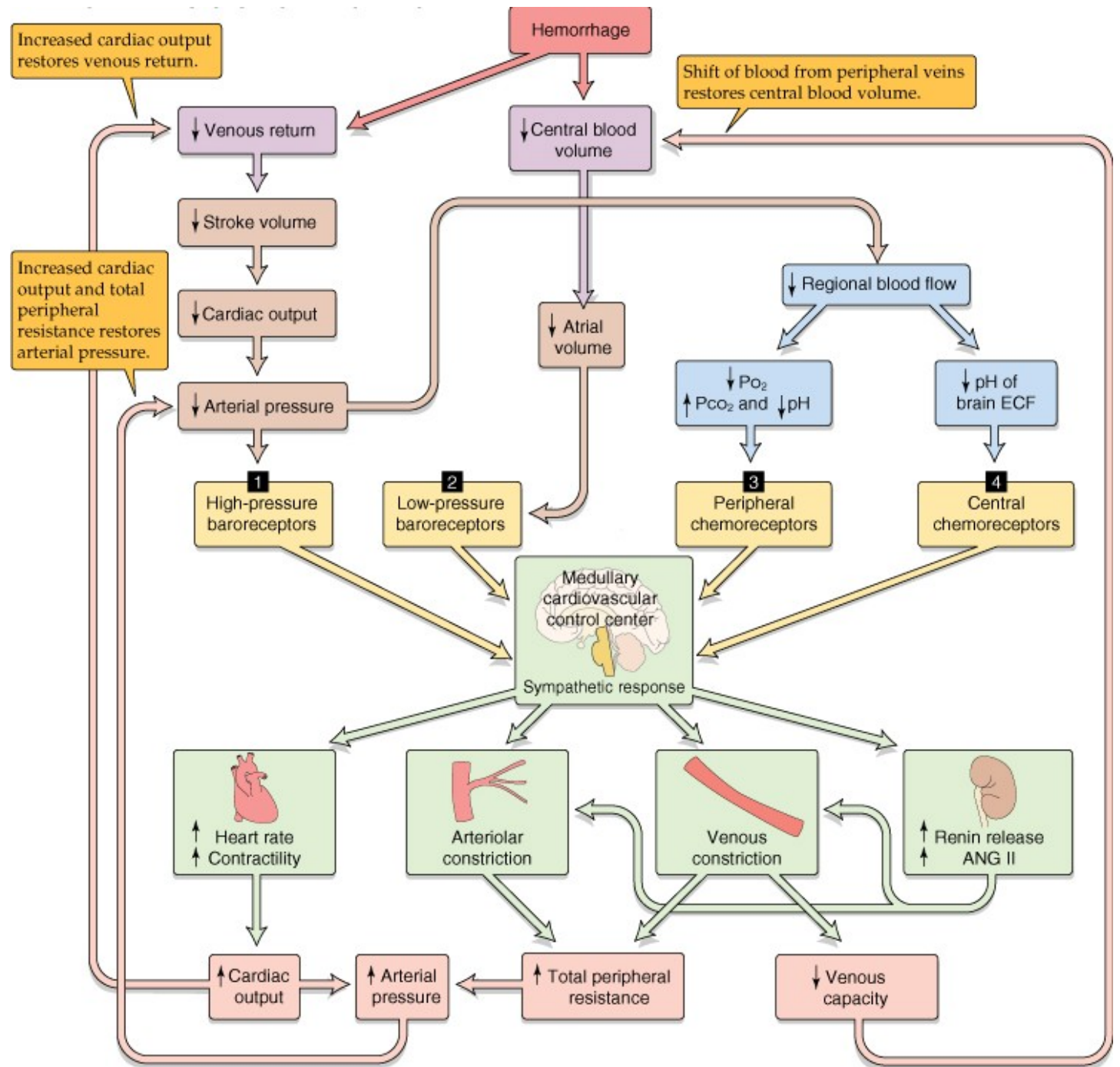
- Fáze kompenzace
- Fáze dekompenzace
- Ireverzibilní fáze

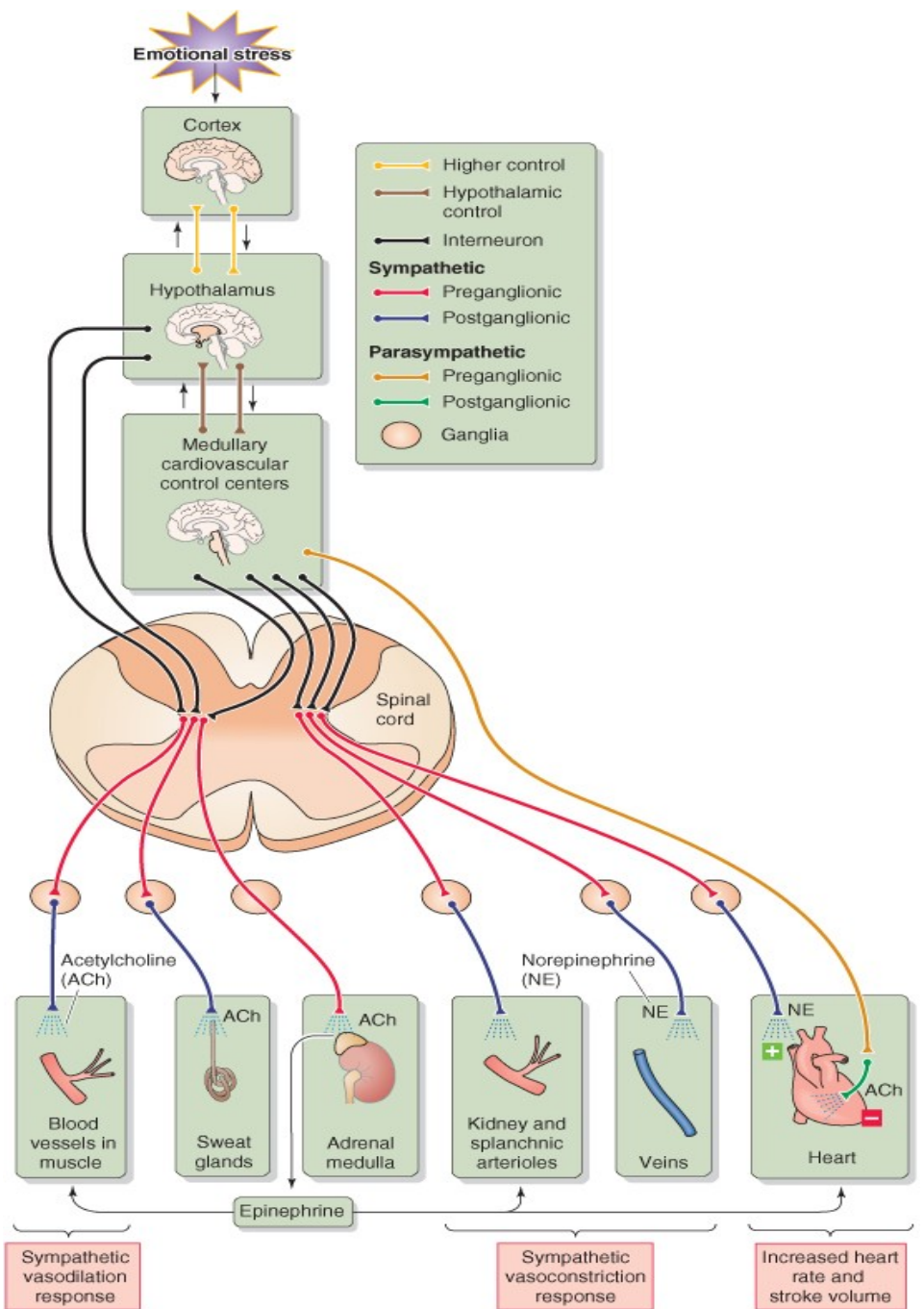
# Letálmí triáda



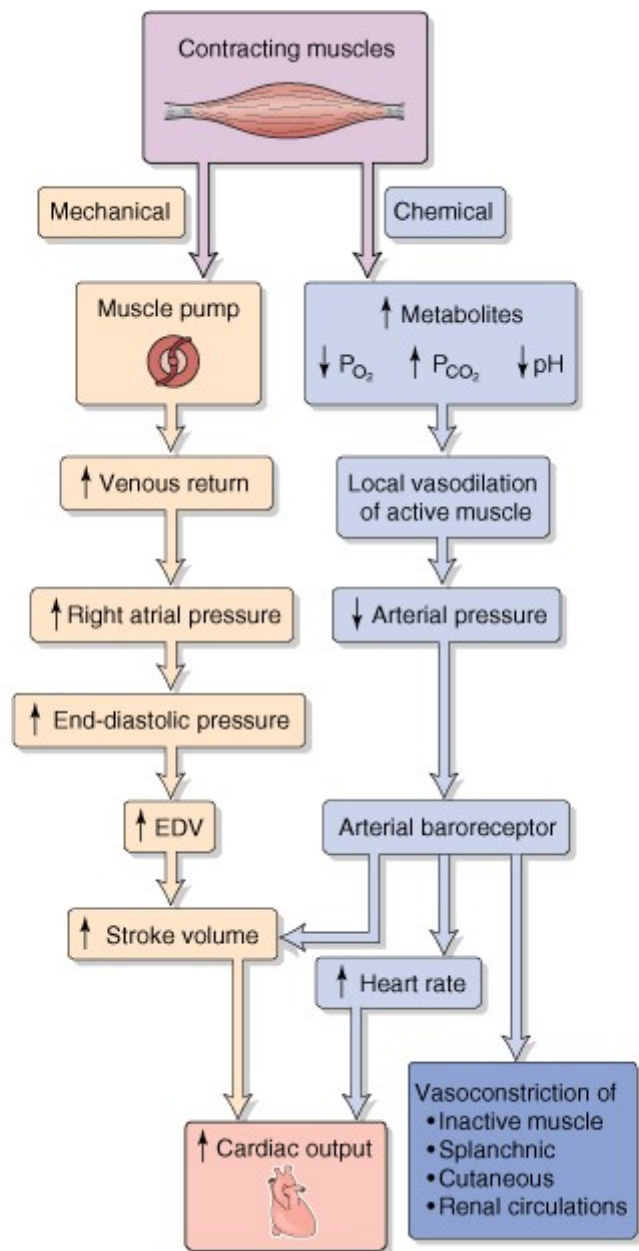


# Reakce na krváčení





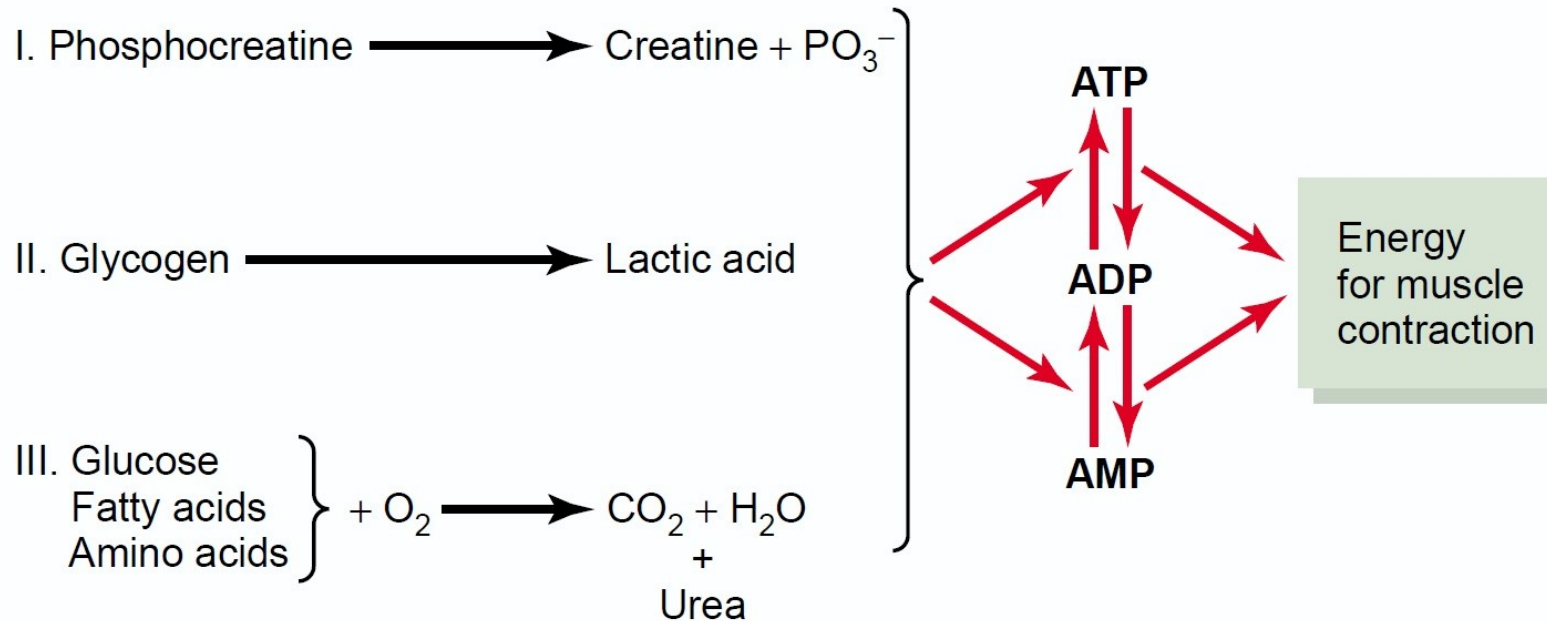
# REACTION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM TO WORKLOAD



parameter	rest	workload
<b>CO</b> (l/min)	5-6	25(35)
<b>HR</b> (t/min)	70	210 (250-190)
<b>SV</b> (ml)	70	115
<b>SBP</b> (mmHg)	120	115 ↑
<b>DBP</b> (mmHg)	70	↑ or = or ↓

... reserve = maximum .../resting...

# METABOLISM RESPONSE TO WORKLOAD



## Energy Systems Used in Various Sports

### Phosphagen system, almost entirely

100-meter dash  
Jumping  
Weight lifting  
Diving  
Football dashes

### Phosphagen and glycogen-lactic acid systems

200-meter dash  
Basketball  
Baseball home run  
Ice hockey dashes

### Glycogen-lactic acid and aerobic systems

800-meter dash  
200-meter swim  
1500-meter skating  
Boxing  
2000-meter rowing  
1500-meter run  
1-mile run  
400-meter swim

### Glycogen-lactic acid system, mainly

400-meter dash  
100-meter swim  
Tennis  
Soccer

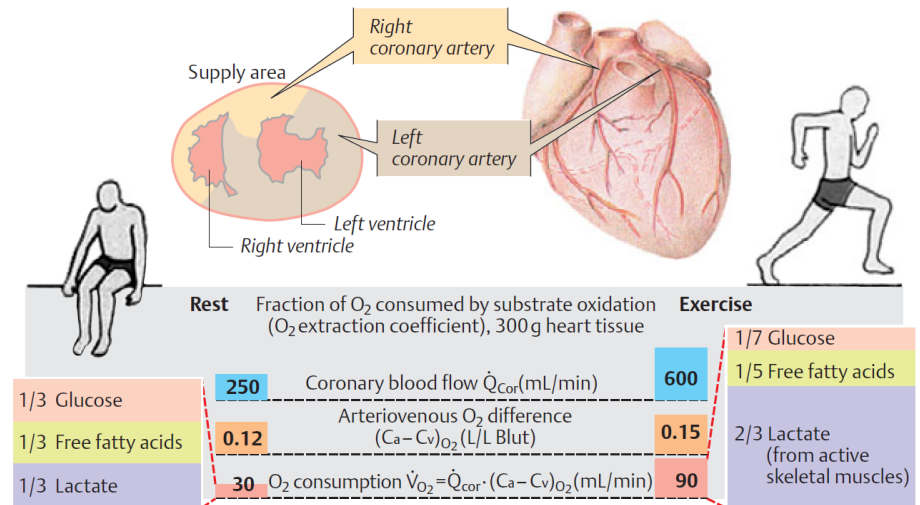
### Aerobic system

10,000-meter skating  
Cross-country skiing  
Marathon run (26.2 miles, 42.2 km)  
Jogging

# Adaptace KVS na zátěž

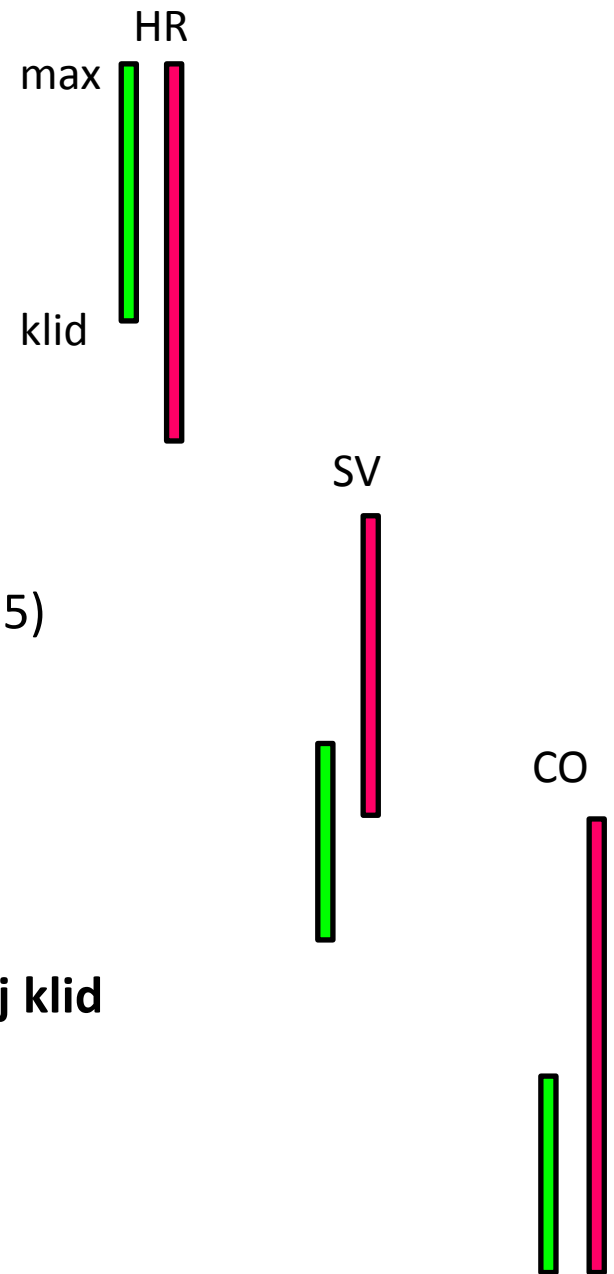
Atletické srdce:

- „Fyziologická“ hypertrofie + dilatace – větší síla stahu a objem komor (dostatečná vaskularizace svalu)
- Větší objemová rezerva, větší klidový i maximální systolický objem (1,5x)
- Vyšší chronotropní rezerva (zesílený parasympatický tonus)



# Srdeční rezerva

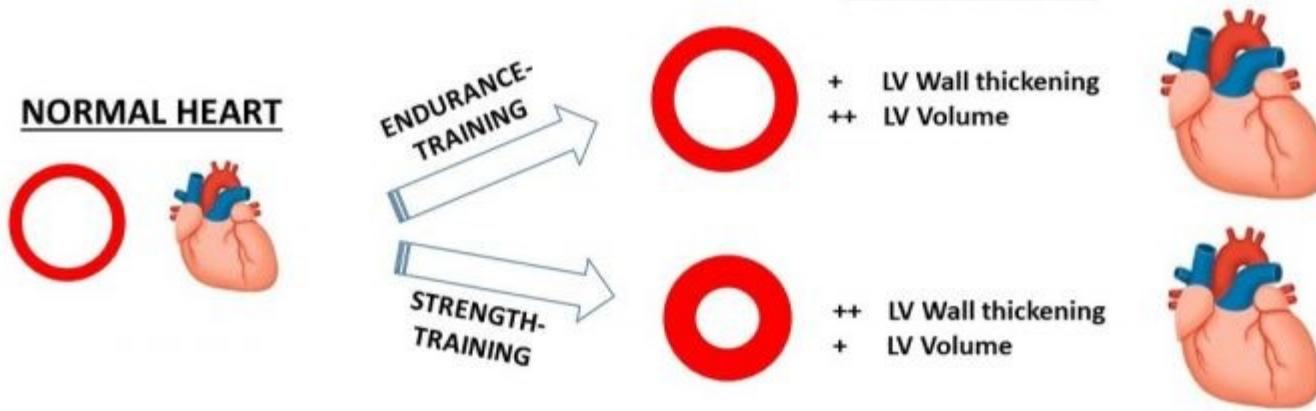
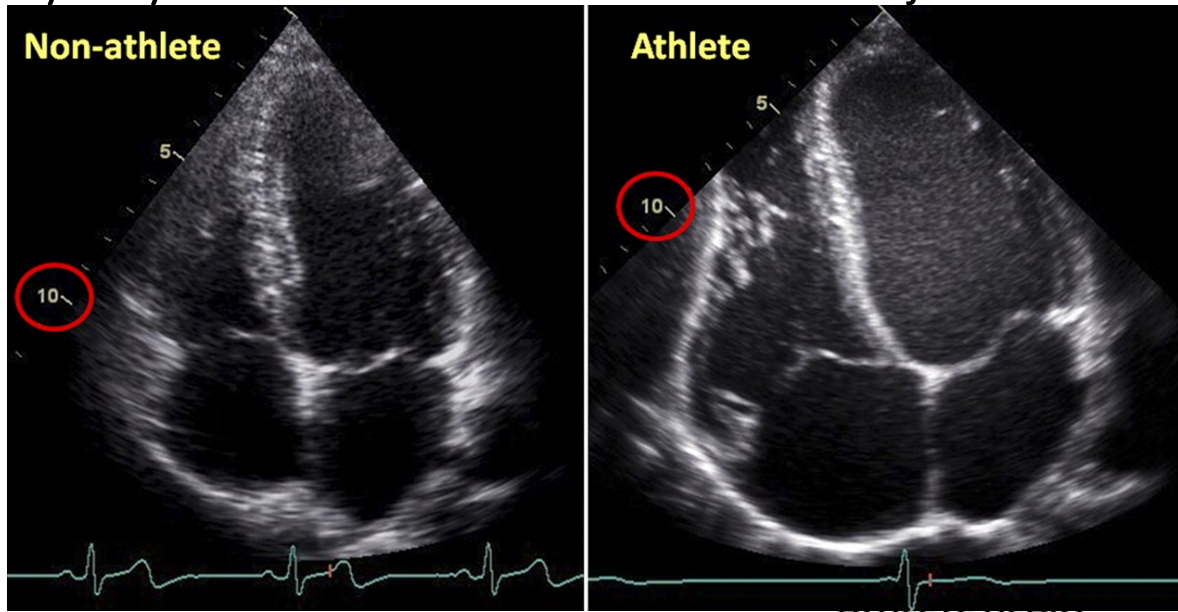
- **Chronotropní rezerva** =  $HR_{max} / HR_{klid}$  (3 -5)
  - **Netrenovaný**: klid 80 bpm, max 180 bpm
  - **Trenovaný**: klid 40, max 180 bpm
- **Rezerva systolického objemu** =  $SV_{max} / SV_{klid}$  (1,5)
  - **Netrenovaný**: klid 70 ml, max 100 ml
  - **Trénovaný**: klid 140 ml, max 190 ml
- **Srdeční rezerva** =  $srdeční\ výdej\ max / srdeční\ výdej\ klid$ 
  - **Netrenovaný** (3): klid 5,6 l/min, max 18 l/min
  - **Trénovaný** (6): klid 5,6 l/min, max 35 l/min
- Koronární rezerva: 3,5





# Atletické srdce – zátěžová adaptace

- Pravidelným vytrvalostním tréninkem zvětšení objemu komor a síly stěn



LV = Left Ventricle

**PHYSIOLOGICAL  
HYPERTROPHY**  
(Mongaroth 1975)

# Adaptace svalu na zátěž

## Silová zátěž

- Hypertrofie vláken IIB, ↑aktivita myokinázy ( $ADP + ADP \rightarrow ATP + AMP$ )

## Rychlostní zátěž

- ↑obsah a utilizace ATP CP, hypertrofie vláken IIB

## Vytrvalostně rychlostní zátěž

- ↑aktivita glykolytického systému, ↑utilizace glykogenu vláken II, ↑pufrovací kapacita

## Zátěž vytrvalostní

- ↑mitochondrií, ↑aktivita enzymů dýchacího řetězce, ↑kapilarizace, hypertrofie I, ↑hladina svalového glykogenu, ↑aktivita lipázy
- Svalové vlákno I: pomalá, červená, vysoký obsah myoglobinu, velká oxidační kapacita, málo unavitelné
- Svalové vlákno IIA: rychlá oxidační glykolytická (červená), střední oxidační kapacita, rychlá kontrakce, středně rychlá unavitelnost
- Svalové vlákno II B: rychlá glykolytická vlákna s nízkou oxidační kapacitou (bílá), vysoká glykolytická kapacita, rychlá kontrakce, rychlá únavnost



# Metabolismus svalů - restituce ATP

## Myokinázová reakce

- $(ADP + ADP \rightarrow ATP + AMP)$

## Lohmanova reakce

- $CrP + ADP + H^+ \rightarrow Cr + ATP + H_2O$

## Glykolytická fosforylace (anareobní)

- Štěpení glukózy bez přítomnosti kyslíku
- Glukoza  $\rightarrow$  laktát + 2ATP

## Oxidační fosforylace

- Odbourávání látek (glu, laktát, volné mastné kyseliny, AMK) za přítomnosti kyslíku
- $Glukoza + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 36ATP$



**Nikdo se nemůže naučit na zkoušku z  
fyziologie za jeden týden...**



**...jestli nechcete skončit jako oni...**

