

# Integrace fyziologických funkcí za různých okolností

Jana Svačínová

**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 vrozený



## Adaptace

- Adaptací se upravuje jeho efektivita (síla odpovědi)

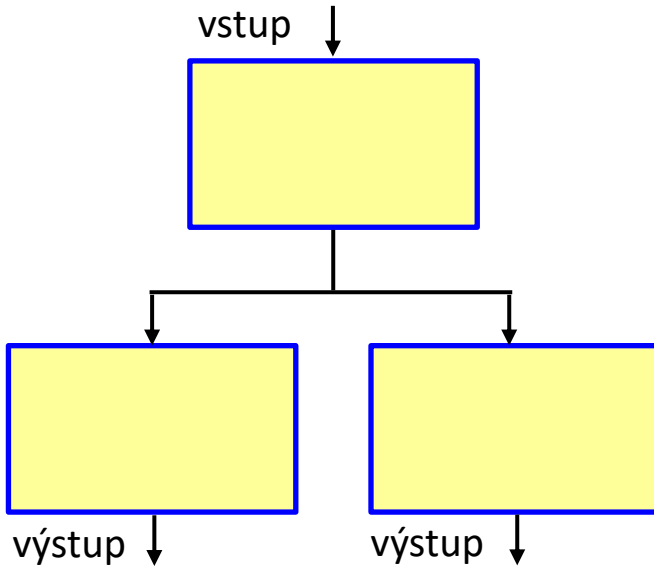


## Evoluce

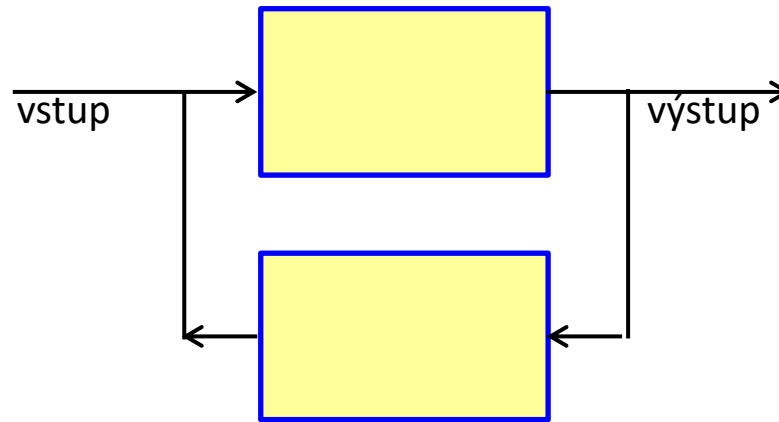
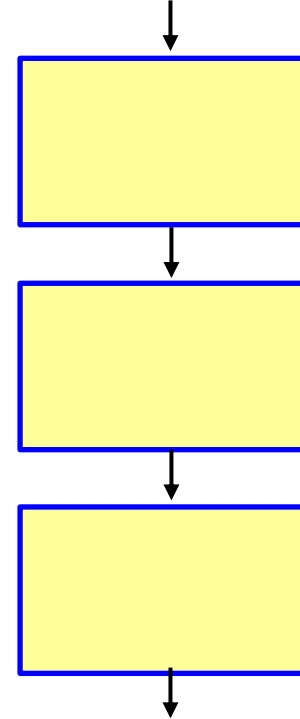
- Přenos změn do dalších generací (geneticky, epigeneticky)

# Zapojení systémů

paralelní



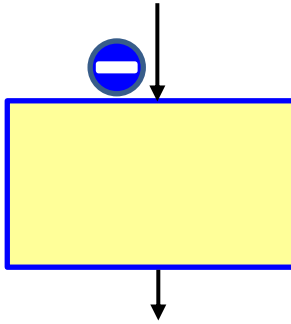
sériové



zpětnovazební

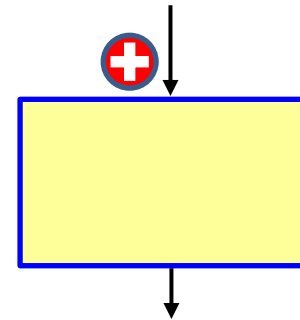
# Vliv na systém

negativní



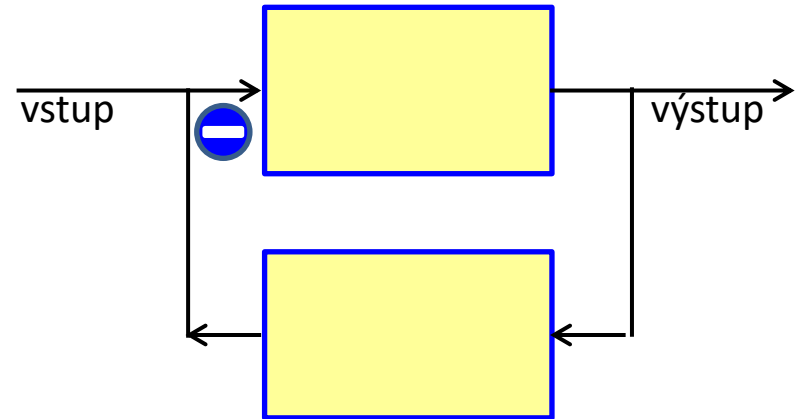
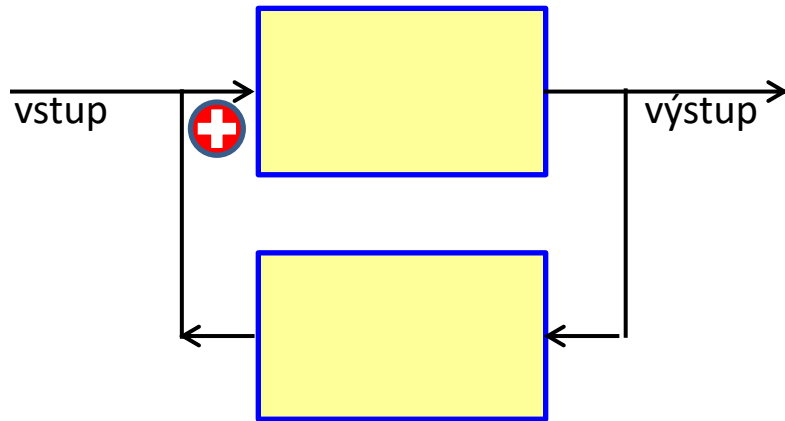
System je inhibován,  
výstup snižován

pozitivní



System je aktivován  
(excitován), výstup zvyšován

# Pozitivní vs. negativní zpětná vazba



## Pozitivní

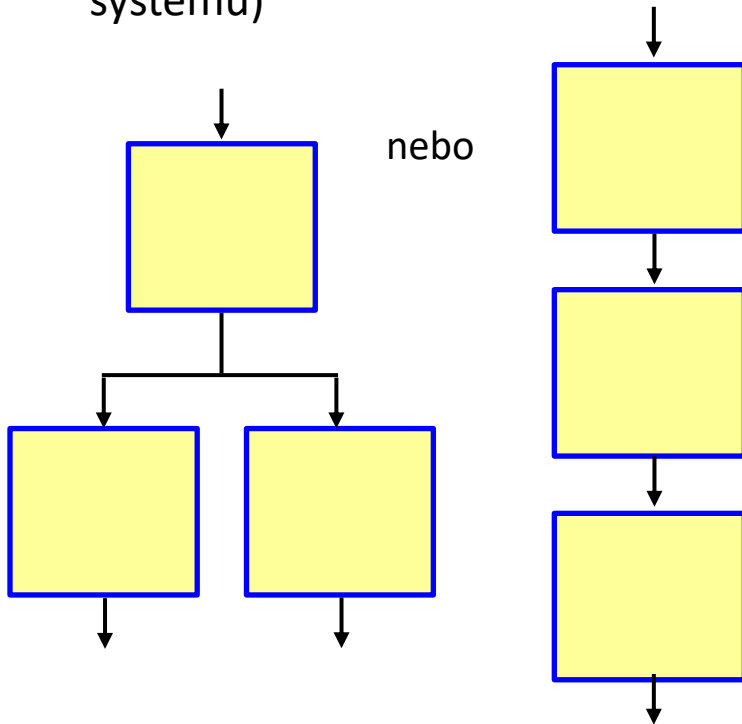
- Cílem je rychle excitovat systém, rychle zvýšit parametr pro uskutečnění nějakého děje
- Vychyluje systém z homeostázy
- Je dočasná, musí být ukončena
- Například zesílení kontrakcí u porodu, zvýšení intracelulárního Na u akčního potenciálu (málo příkladů)

## Negativní

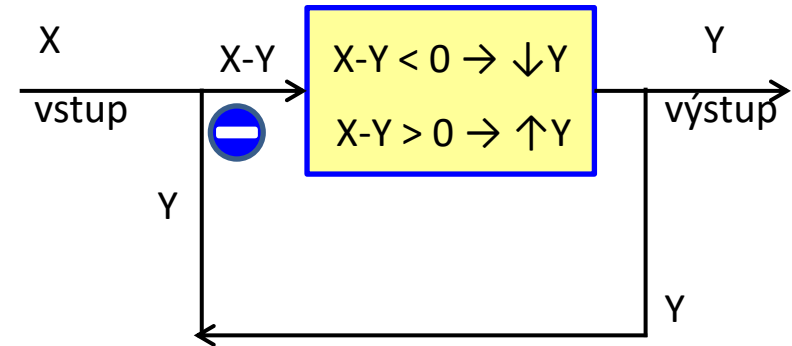
- Je podstatou regulace
- Cílem je stabilizovat fyziologický parametr (dle potřeb organismu), tlumit výchylky parametru
- Udržuje homeostázu
- Pracuje stále
- Všechny fyziologické regulace (hormonální, nervové – všechny reflexy,...)

# 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“, můžou 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 (pufrý mají ale omezenou kapacitu)

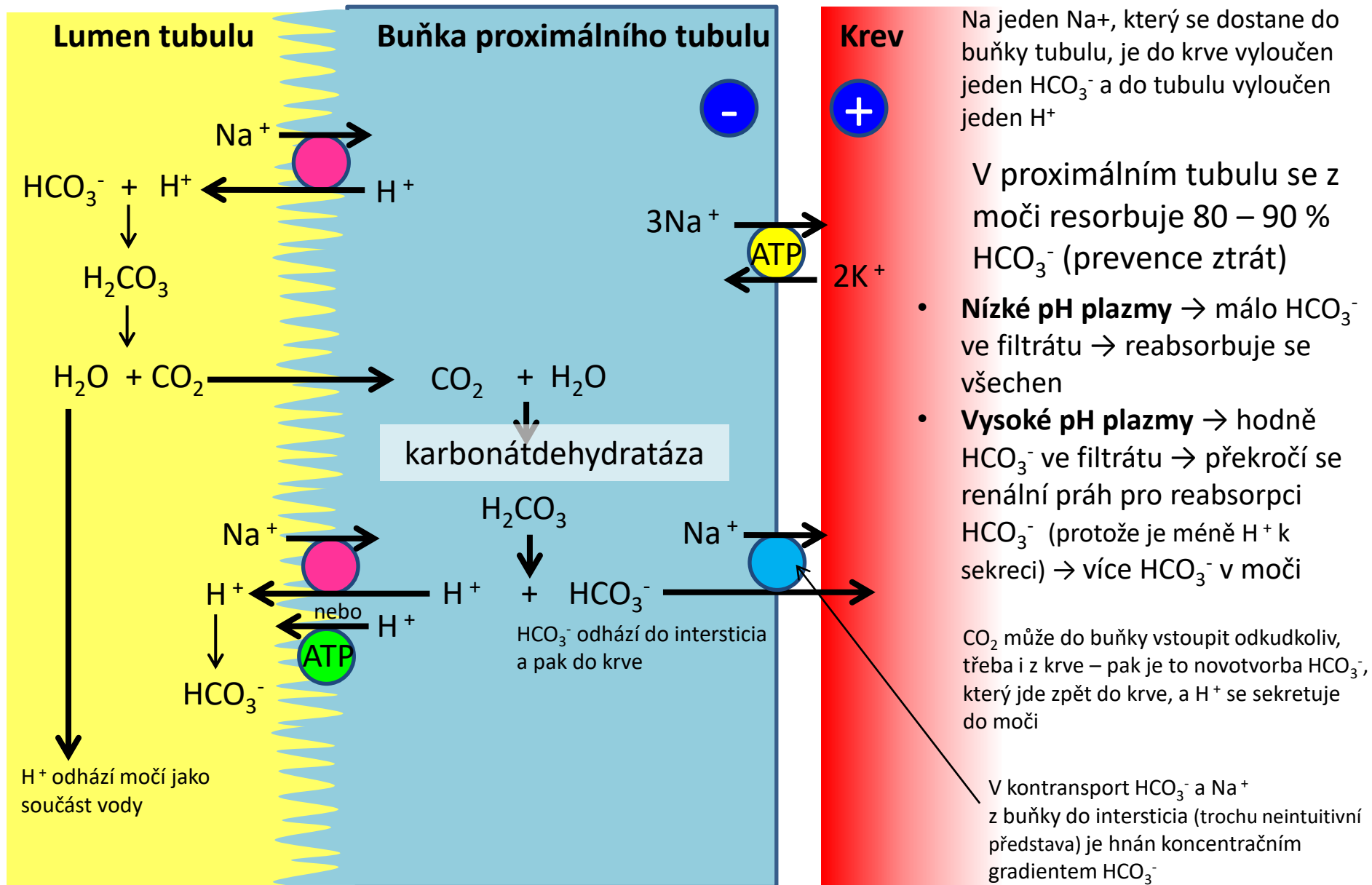
- Vylučování fixních kyselin močí (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, kys. mléčná), které jsou v krvi ve formě sodných nebo draselných solí a které organismus nedokáže zpracovat nebo jinak odstranit – při vylučování těchto kyselin ledvinami se K a Na vyměňují za H<sup>+</sup>
- Regulace plazmatické koncentrace HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>



- 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

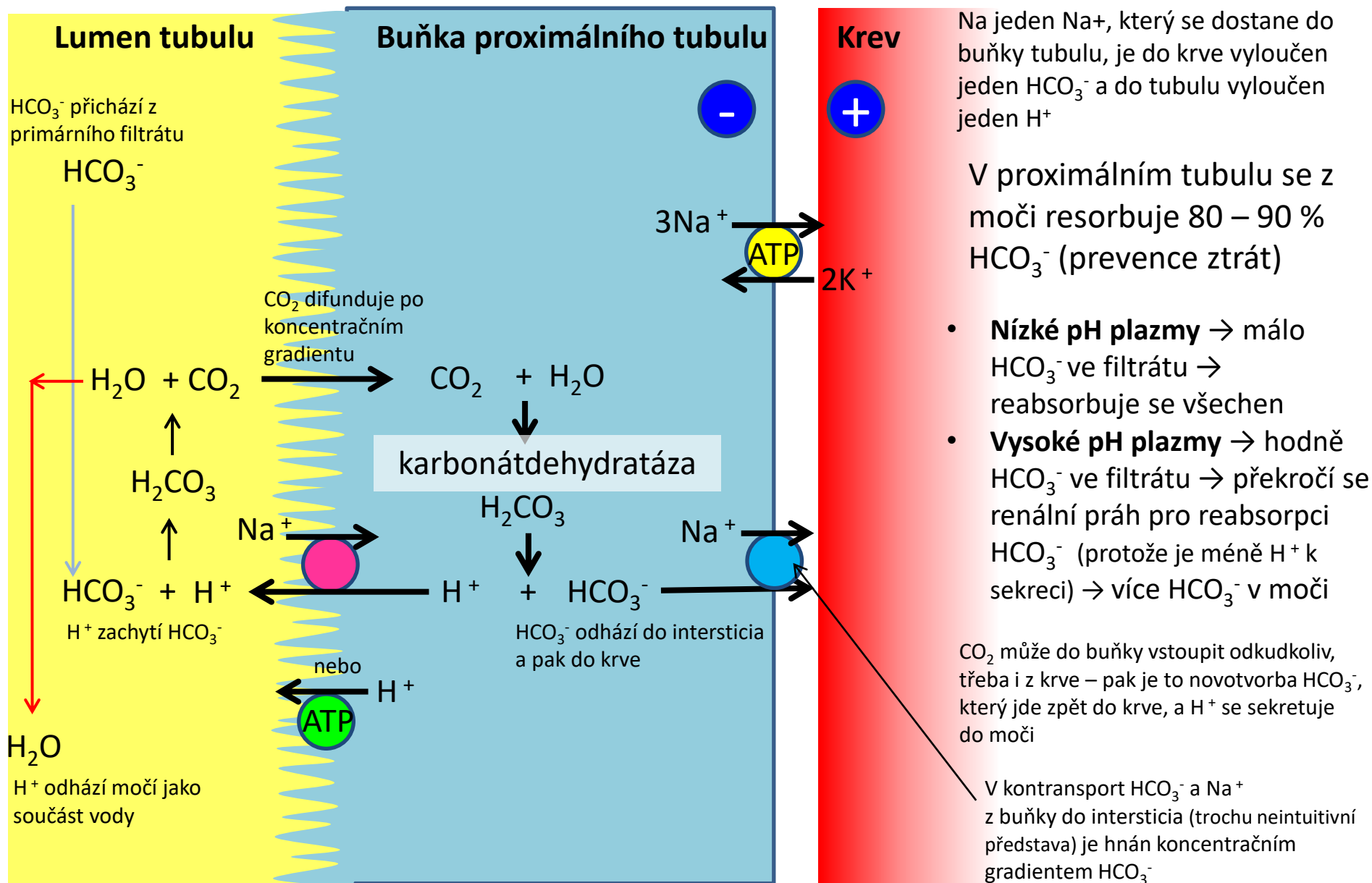
# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

## - proximální tubulus



# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

- proximální tubulus (to stejné zobrazené trochu jinak)

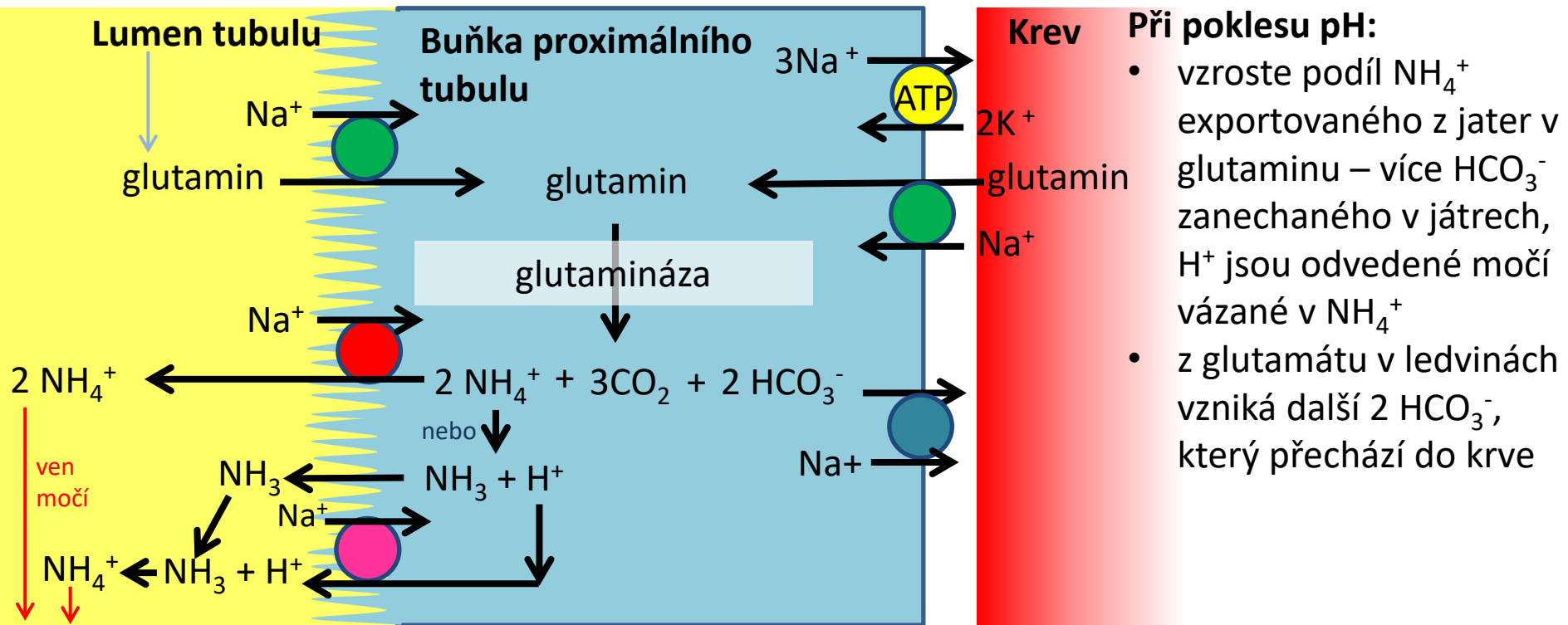


# Regulace pH ledvinami – spolupráce jater a ledvin

**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  $\text{H}^+$



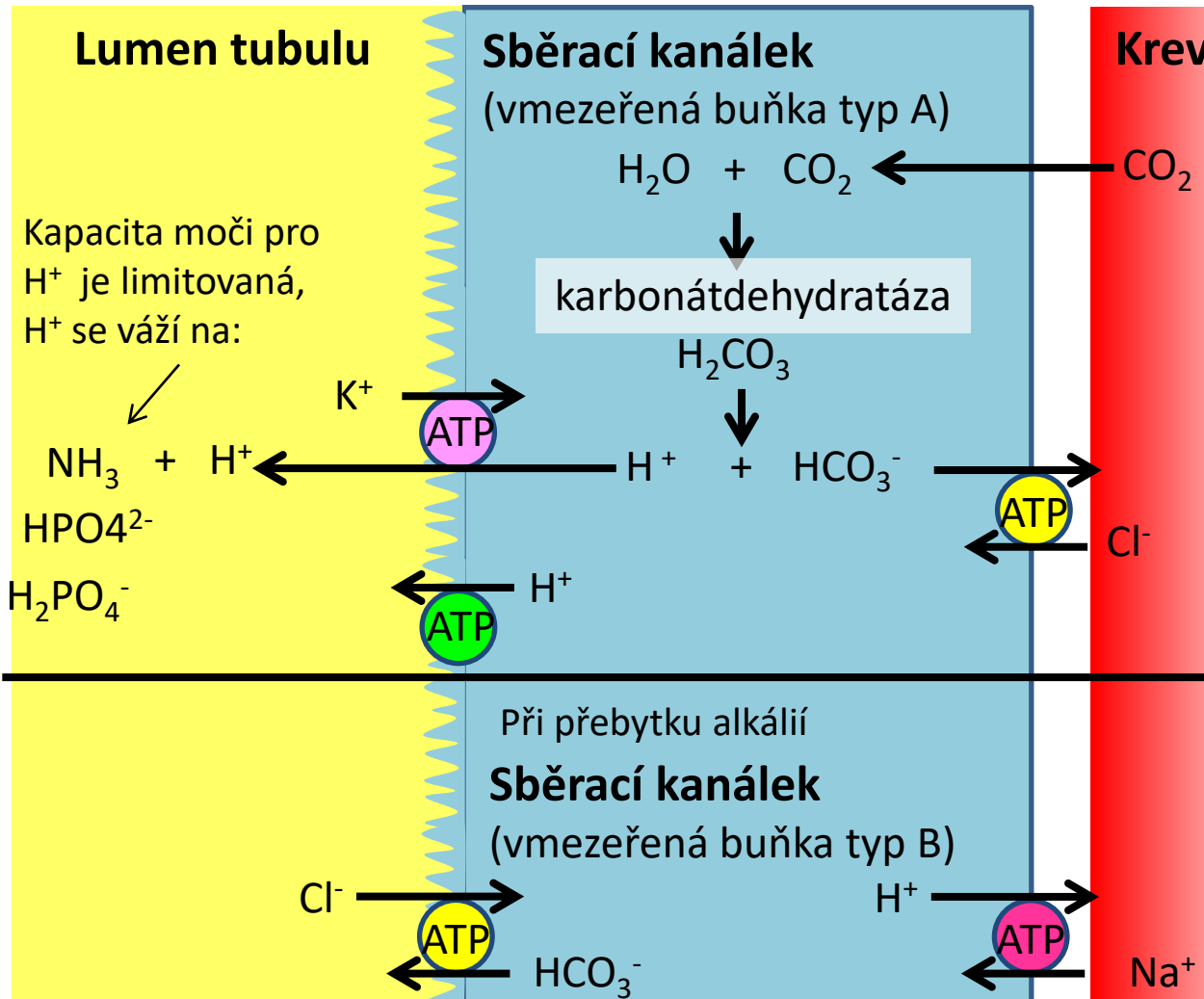


# Regulace acidobazické rovnováhy ledvinami

## 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

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

## Aktivace teplem

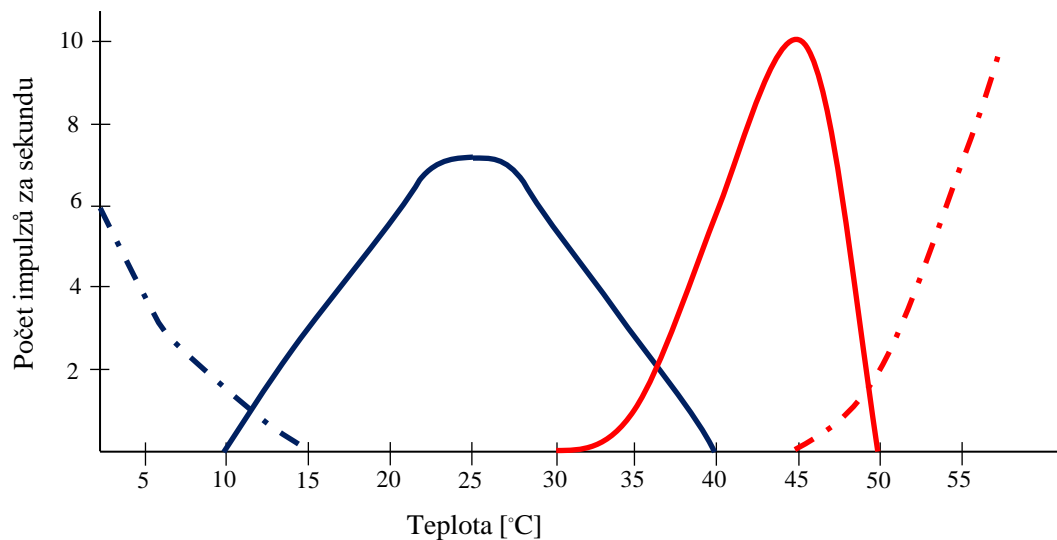
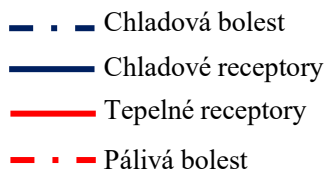
- snížení produkce tepla
- zvýšení výdeje tepla

## Neurony

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

# 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.



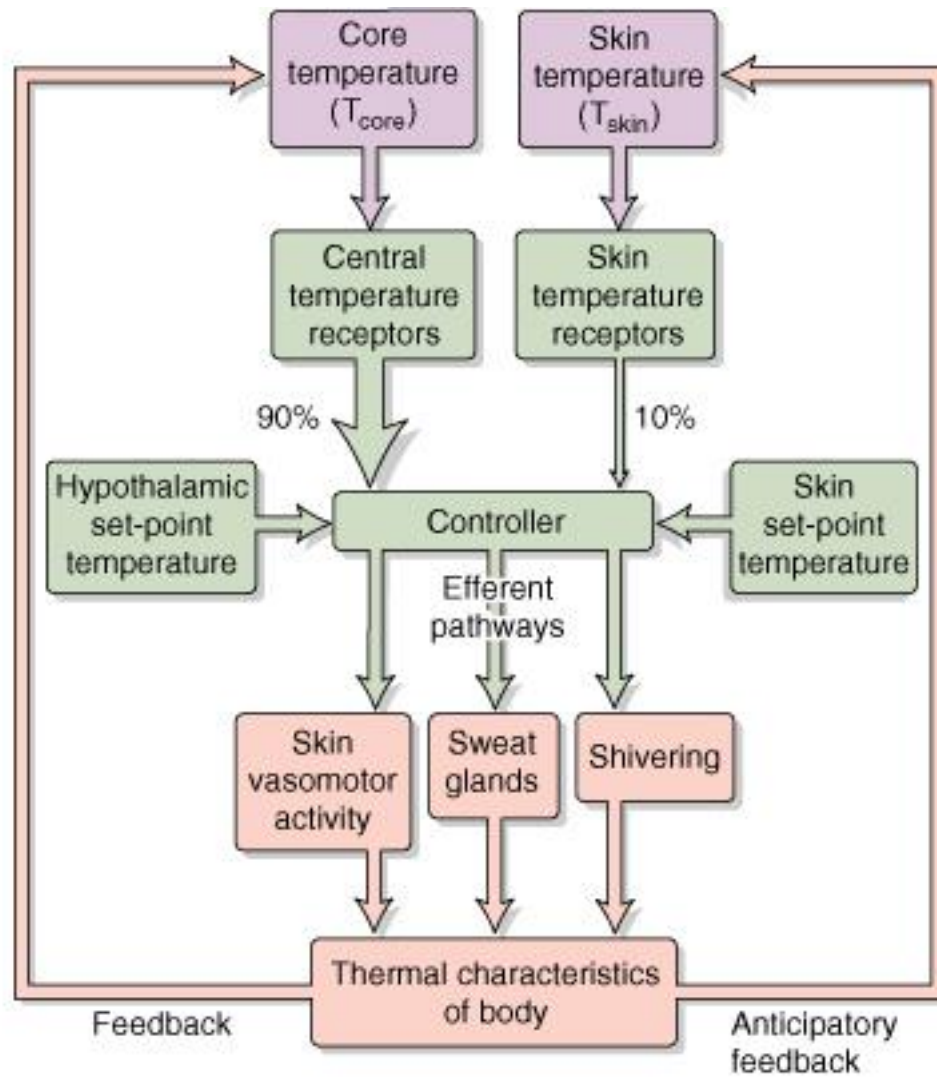
# Termorecepce

- **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).



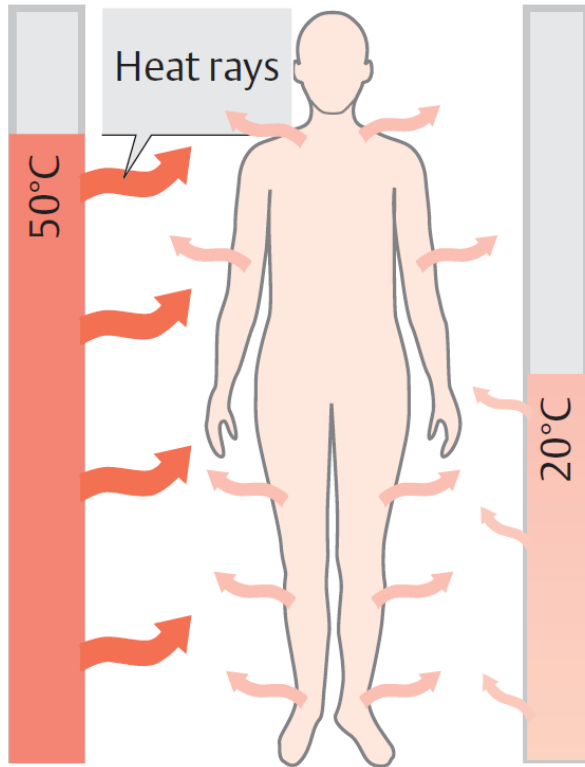
Termoreceptory (obecně) se nachází nejenom v kůži ale i v hypotalamu, v orgánech dutiny břišní a kolem velkých cév v horní části břicha a hrudníku (reagují více na snížení než zvýšení teploty) a podílí se na termoregulaci. Stejně tak i chemoreceptory (glomus caroticum) registrují změny teploty krve.

# Termoregulace

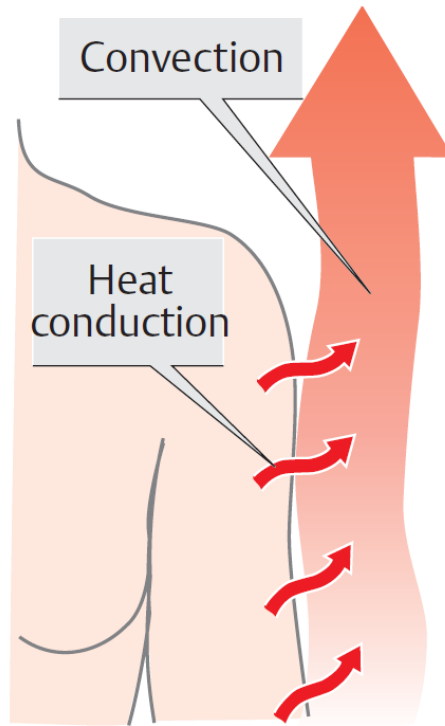


# Mechanismy tepelných ztrát

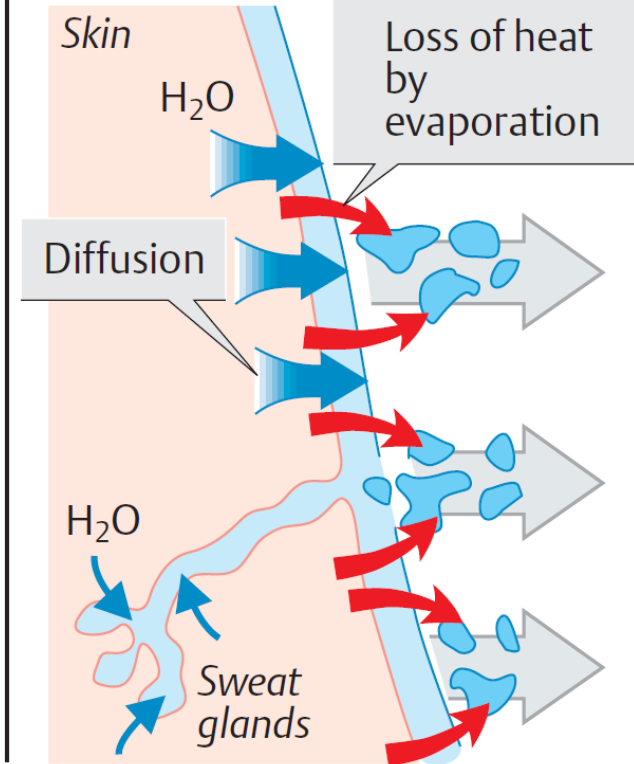
## 1 Radiation



## 2 Conduction and convection



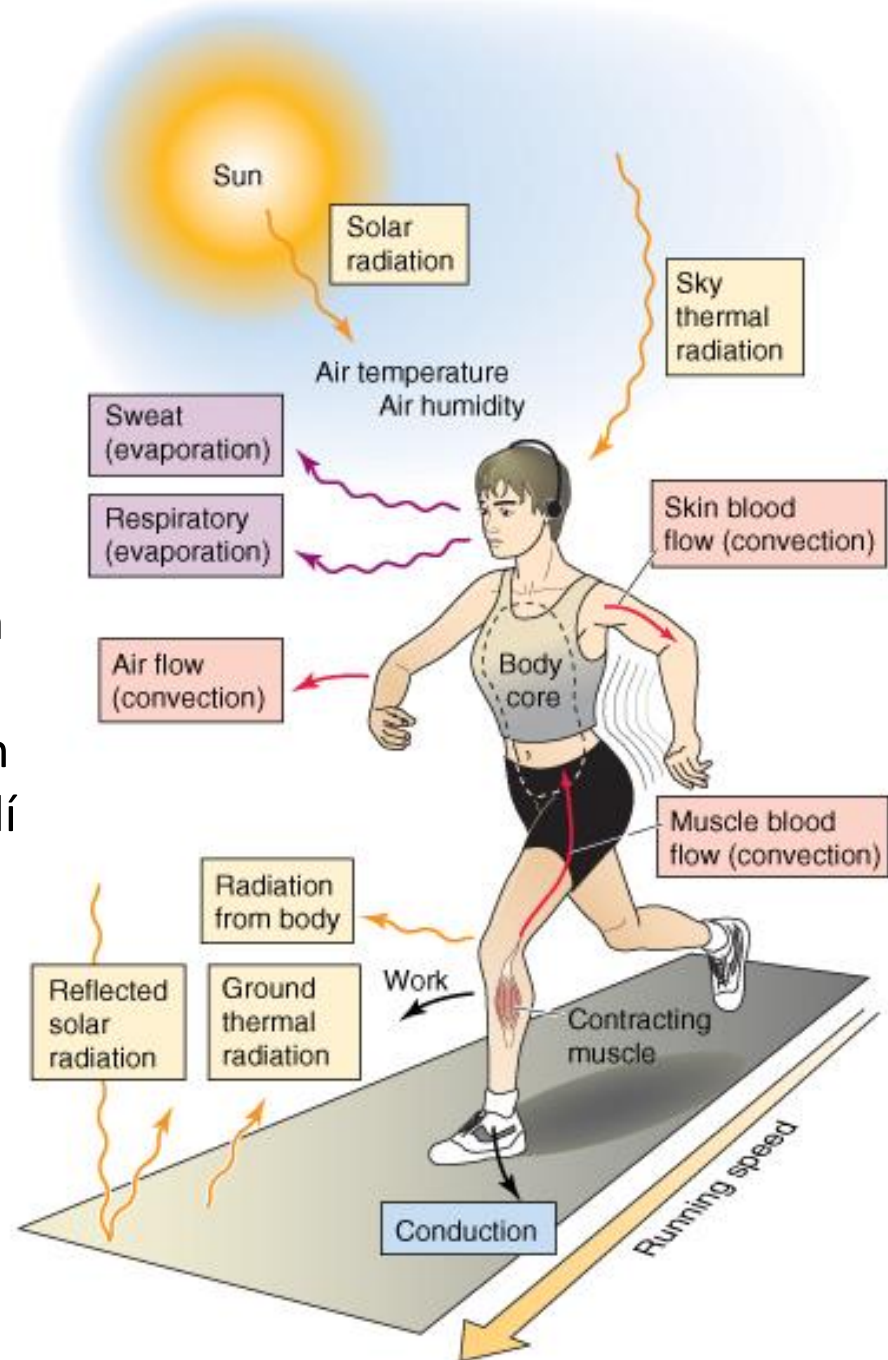
## 3 Evaporation



# 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



# 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

## Volní mechanismy - chování

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

# Reakce na sníženou teplotu



# Reakce na sníženou teplotu

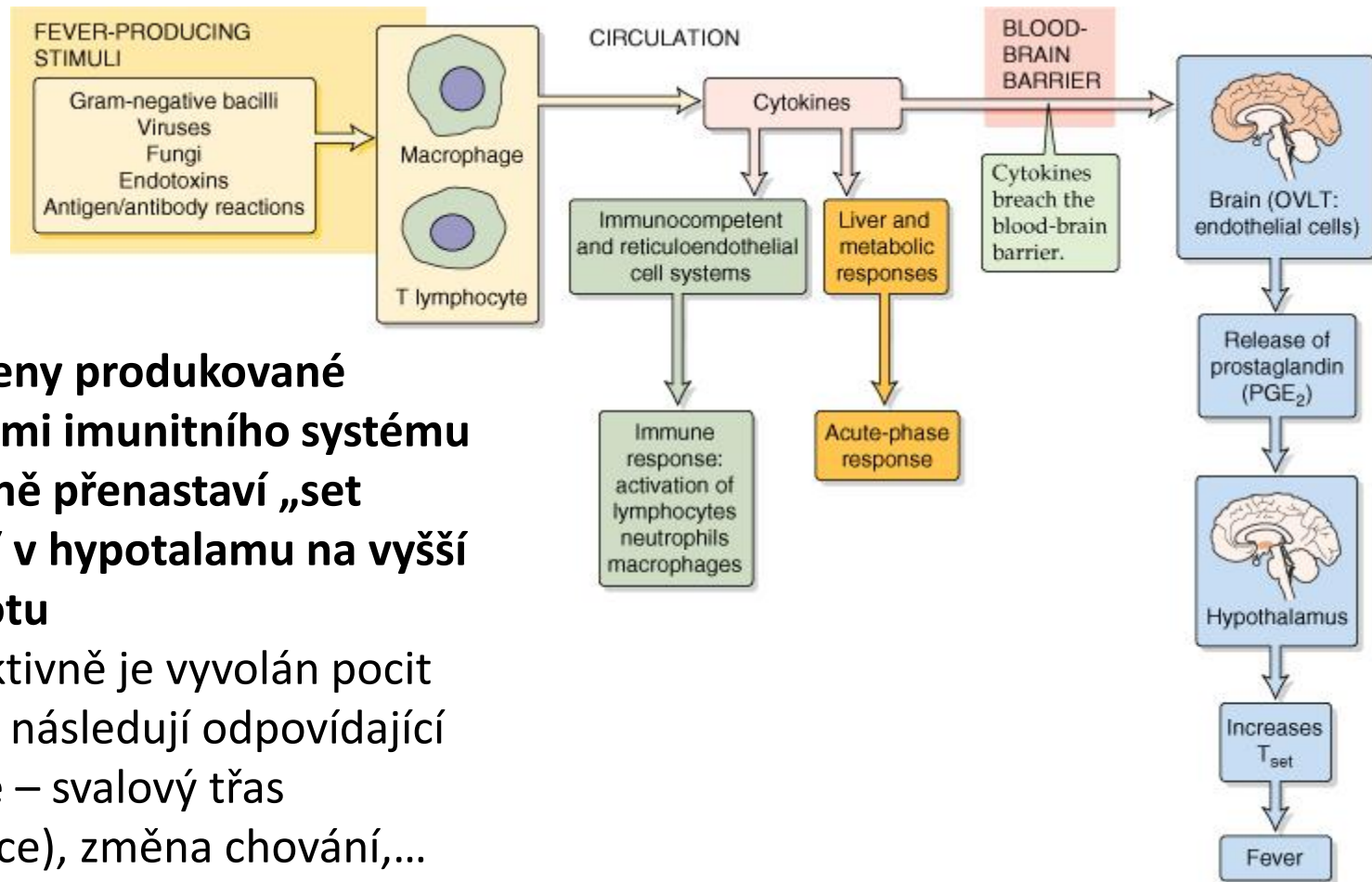
## Mimovolní mechanismy

- **Vazokonstrikce v kůži** (jádro pod  $36,8^{\circ}\text{C}$ ) : Stimulace sympatických center zadního hypotalamu
- **Piloerectio** (husí kůže) – sympatiku způsobí kontrakci drobných svalů vázaných na ochlupení – dojde k jeho vzpřímení – málo efektivní, evoluční relikt
- **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 větének – 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 preoptica 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

# Horečka



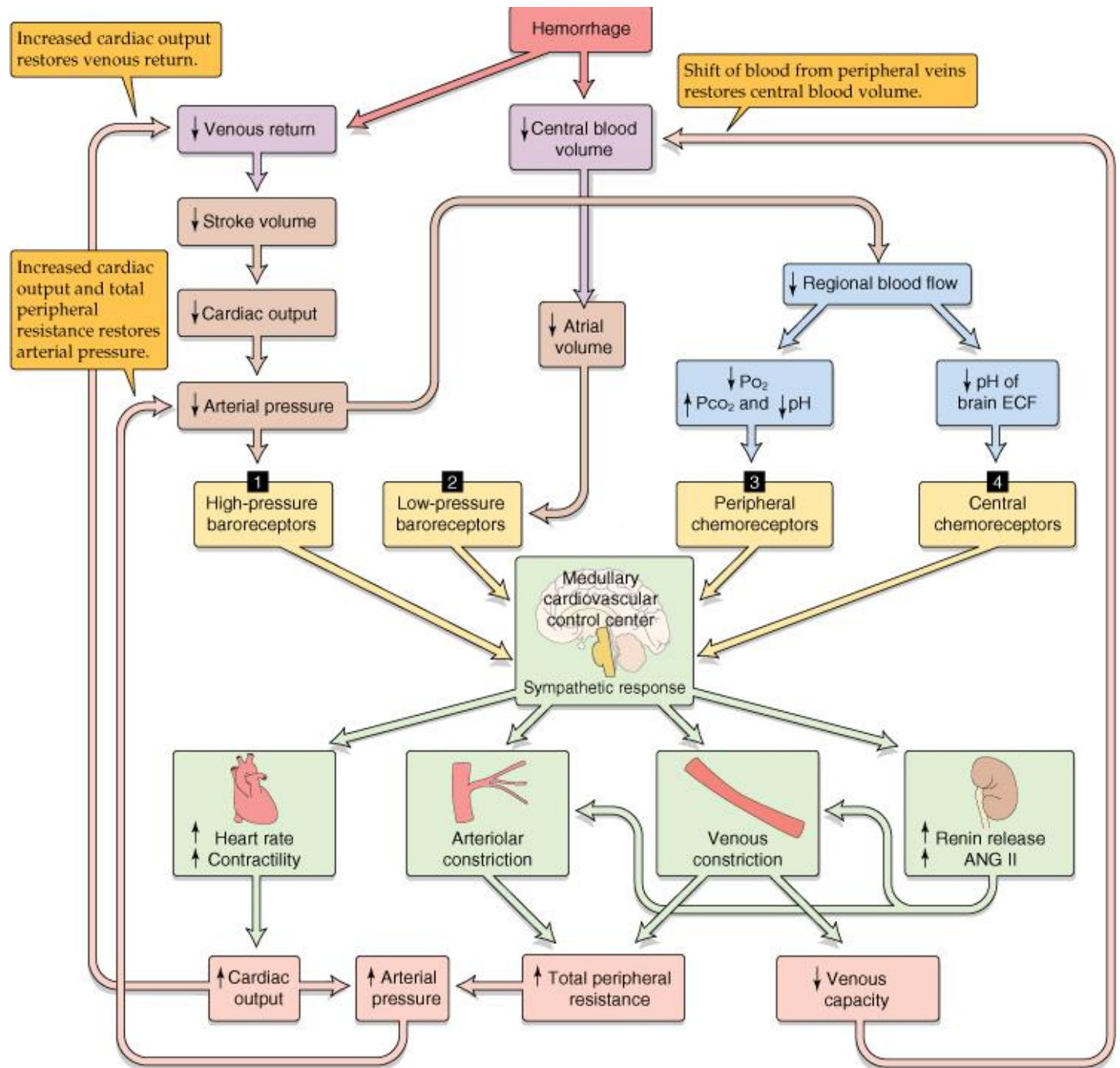
**Pyrogeny produkované buňkami imunitního systému dočasně přenastaví „set point“ v hypotalamu na vyšší hodnotu**

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

# Adaptace na teplo a chlad

- Větší produkce potu
- Větší produkce aldosteronu zabraňuje ztrátě Na potem

# Reakce na krváčení



# Reakce na krvácení

- 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



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

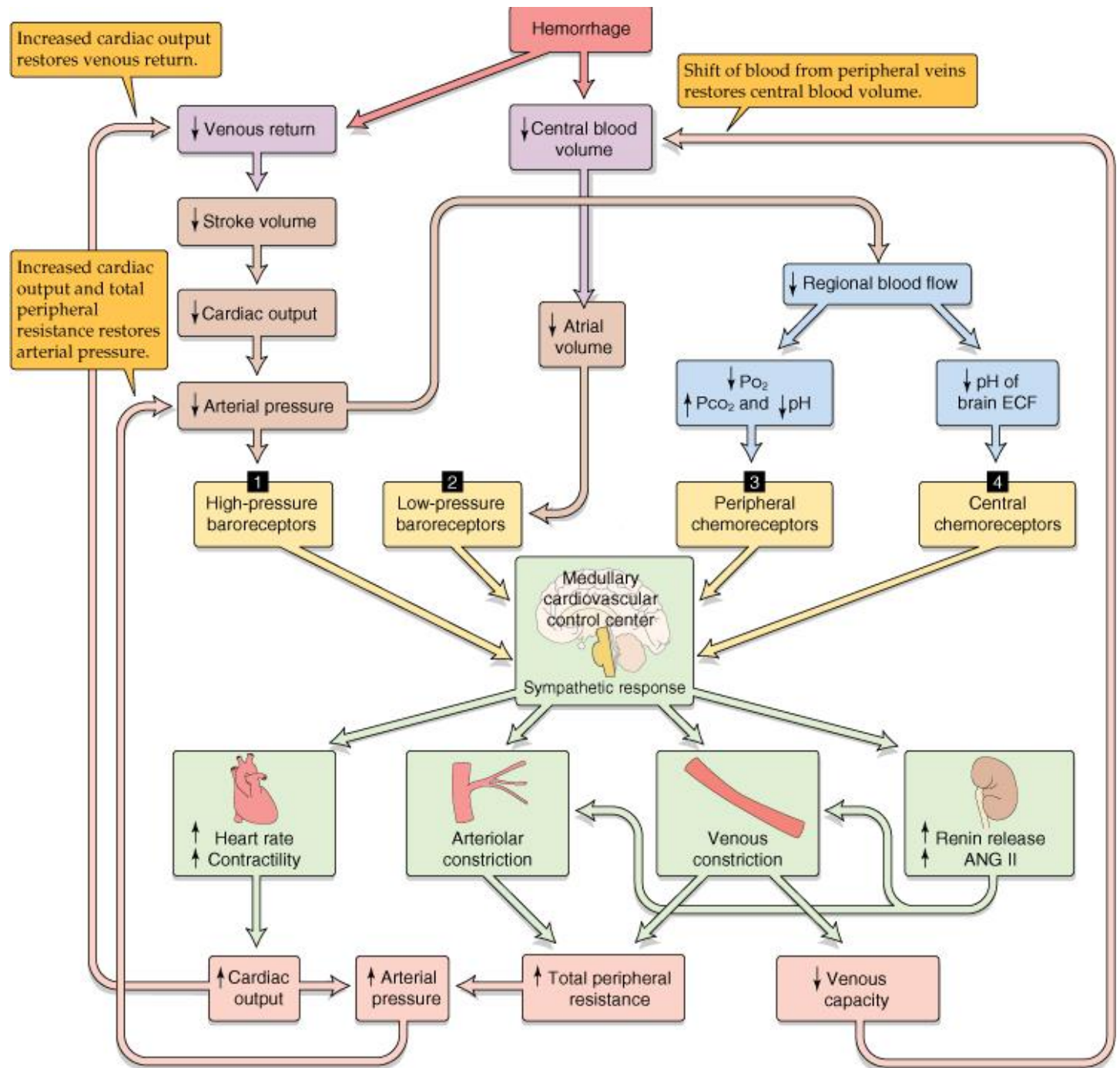
- **Baroreflex** (reaguje okamžitě)
  - ↓žilní návrat → ↓ plnění komor → ↓ systolický objem (SV) → ↓ krevní tlak (TK) → registrace baroreceptory → baroreflex: aktivace sympatiku a inhibice parasympatiku →
    - ↑srdeční frekvence → zachování TK
    - ↑síla srdečního stahu → zachování TK
    - Arteriokonstrikce → 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)

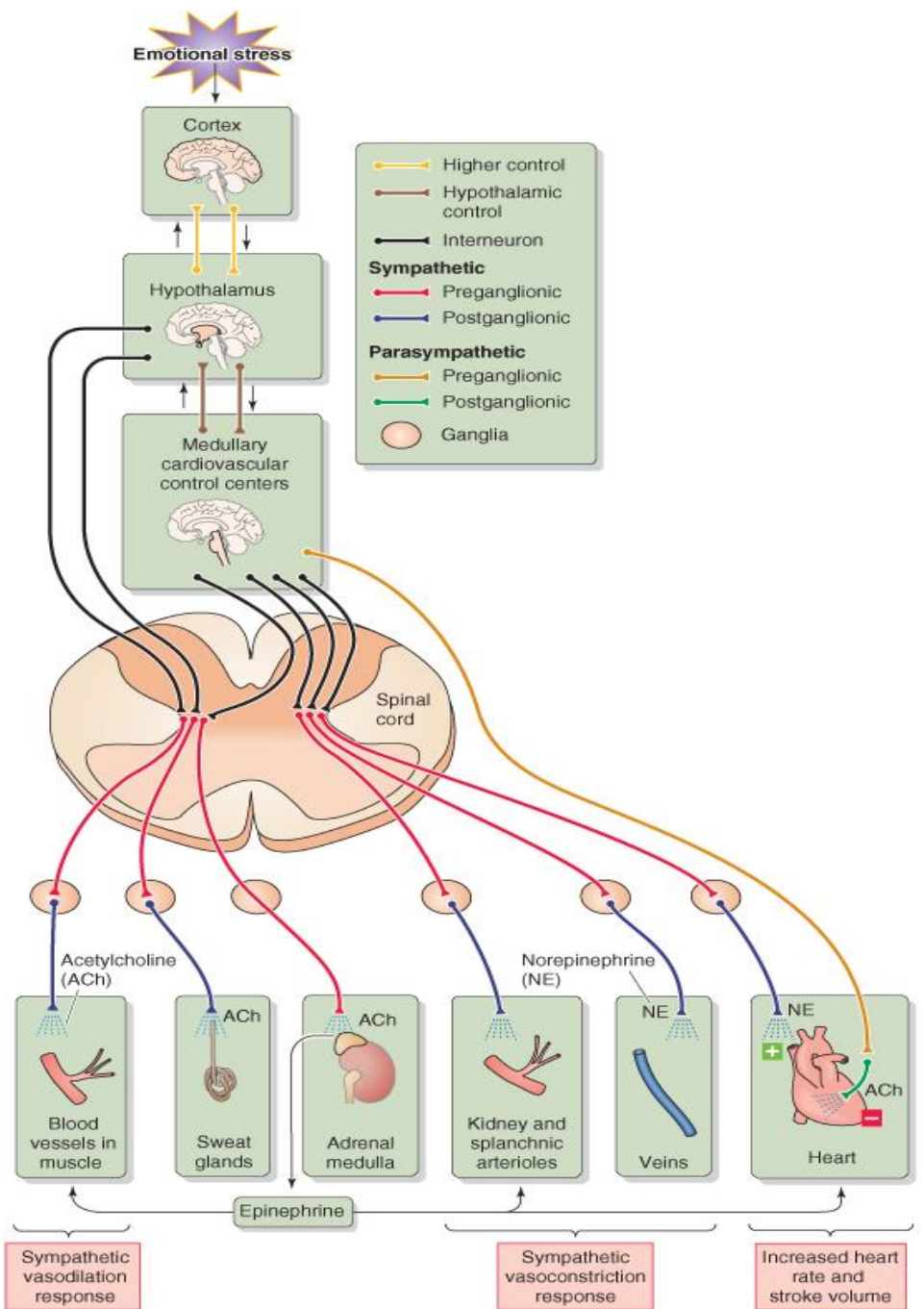
# Reakce na krvácení – symptomy

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

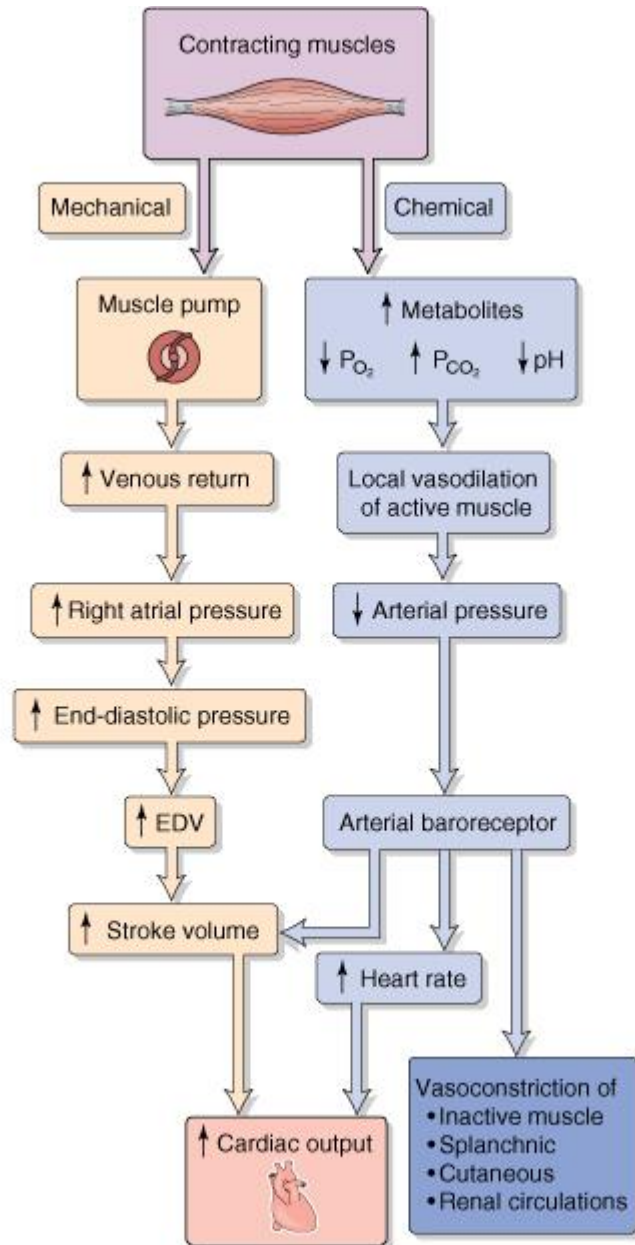
Stupeň krevní ztráty	I. třída	II. třída	III. třída	IV. třída
% ztracené krve	do 15%	do 30%	do 40%	nad 40%
Krevní ztráta	Do 750 ml	750 – 1000 ml	1500 – 2000 ml	nad 2000 ml
Srdeční frekvence	Do 100/min	100 – 120/min	120 – 140/min	nad 140/min
Systolický tlak	normální	normální	snížený	Snížený, neměřitelný
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

# Reakce na krváčení





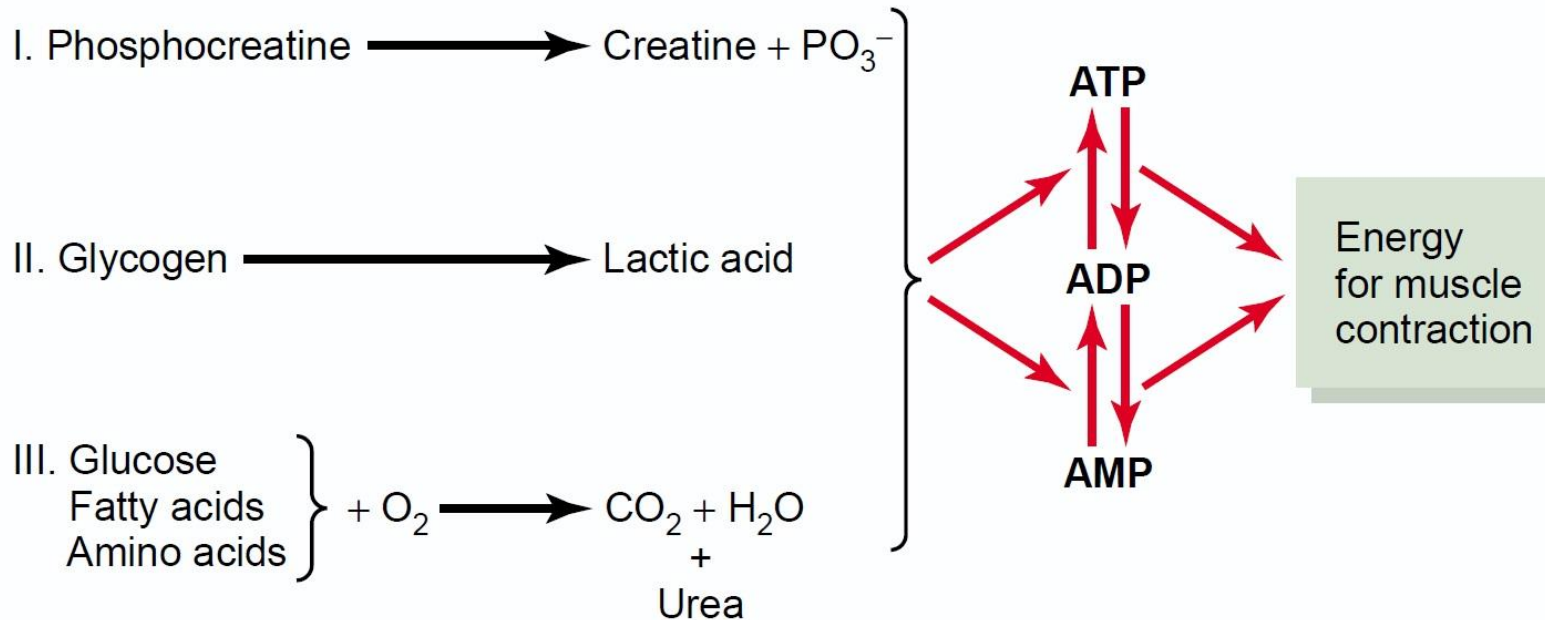
# REACTION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM TO WORKLOAD



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

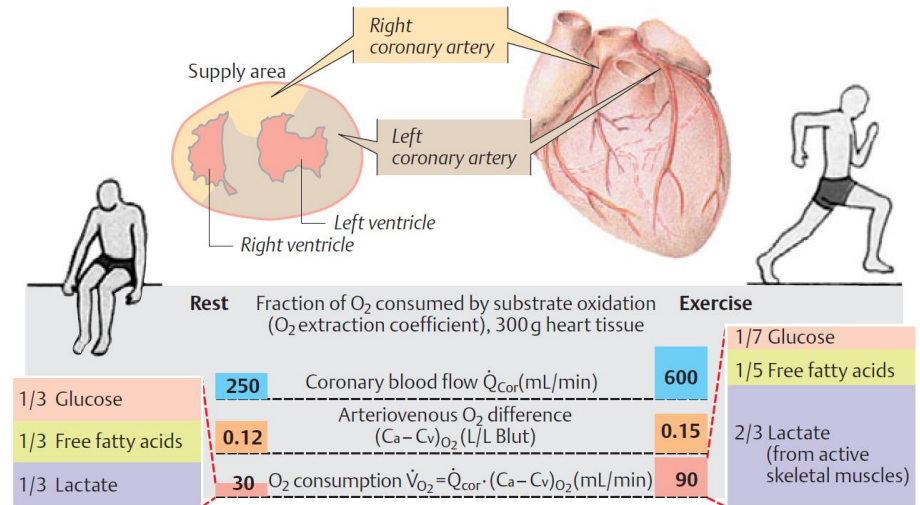
### Aerobic system

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)



# 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...**

