

# Acidobazická rovnováha

Martin Vejražka

# Fyziologické pH

- Plasma a většina extracelulární tekutiny

$$\text{pH} = 7,40 \pm 0,02$$

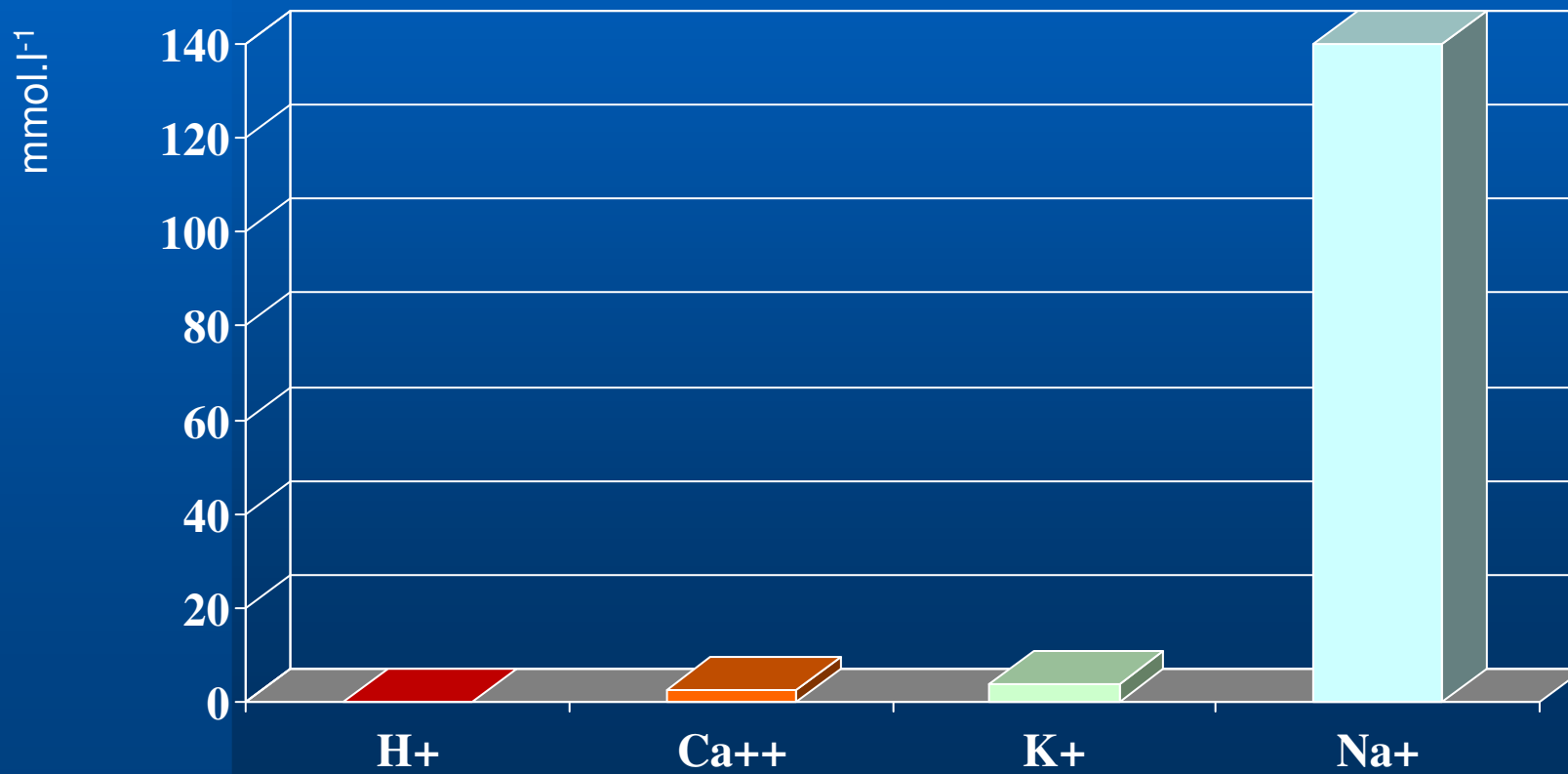
# Význam stálého pH

## Na pH závisí

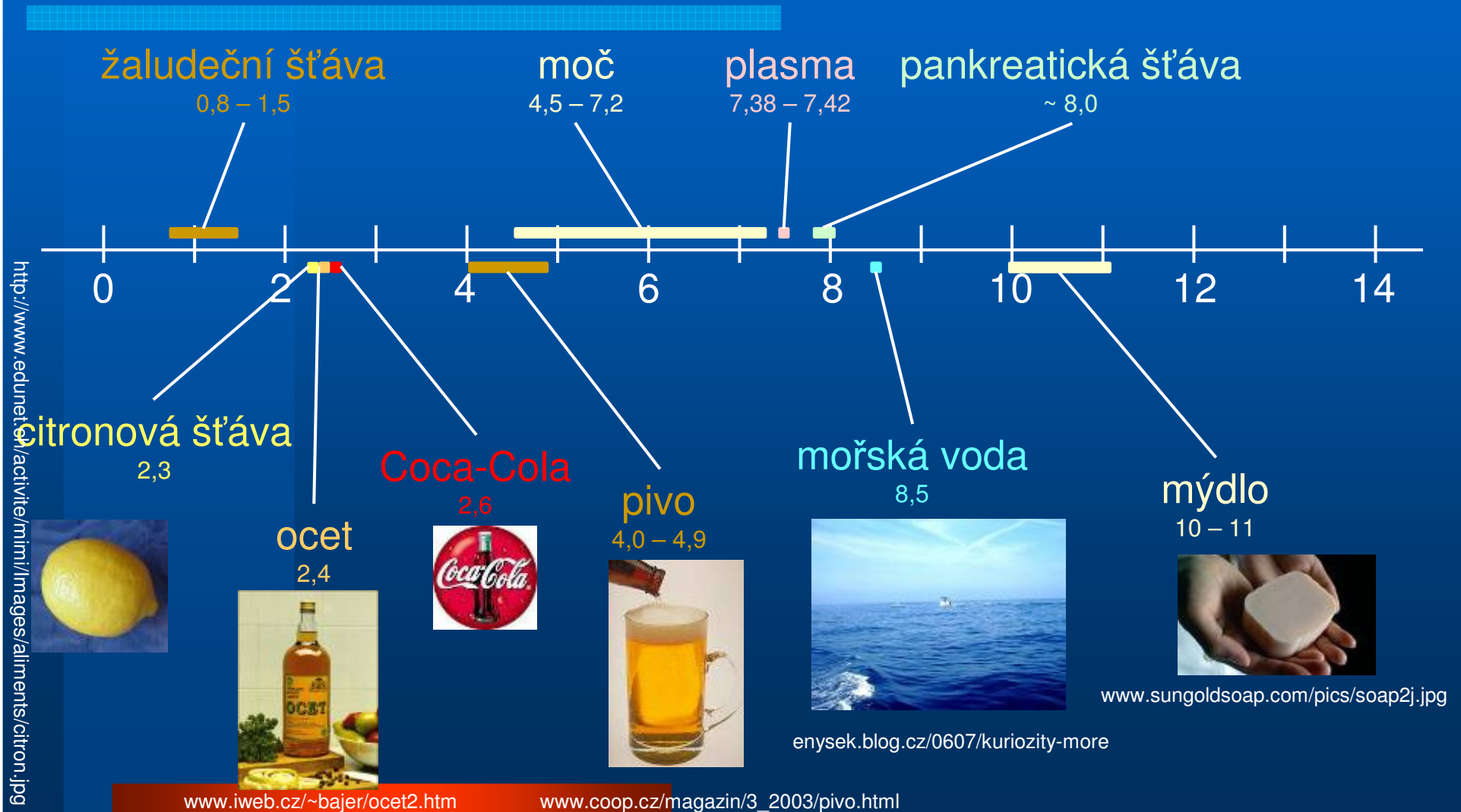
- **vlastnosti bílkovin**
  - aktivita enzymů
  - struktura součástí buňky
- **propustnost membrán**
  - distribuce elektrolytů

pH < 7,0 nebo > 7,7 není slučitelné se životem

# H<sup>+</sup> a jiné kationty



# pH



# Zdroje protonů

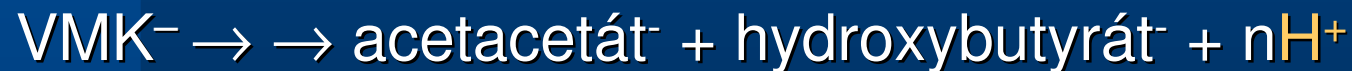
- **Anaerobní glykolýza**



- **Lipolýza**



- **Ketogeneze**



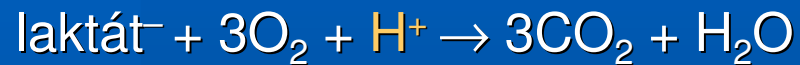
# Zdroje protonů

- Oxidace sirných AMK
- Metabolismus org. fosfátů
- Oxidace dalších AMK
- Syntéza urey z  $\text{NH}_4^+$

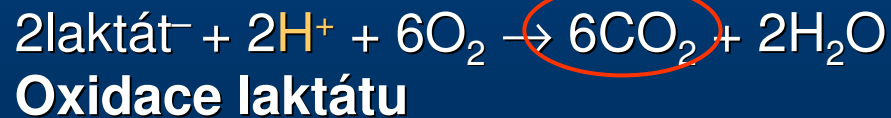


# Spotřeba protonů

- **Oxidace laktátu**



## Anaerobní glykolýza

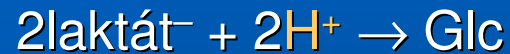


Může dojít k časovému  
nebo prostorovému  
oddělení



# Spotřeba protonů

- **Glukoneogeneze**



- **Oxidace neutrálních AMK**

- **Oxidace dikarboxylových AMK**

- **Oxidace aniontů organických kyselin**

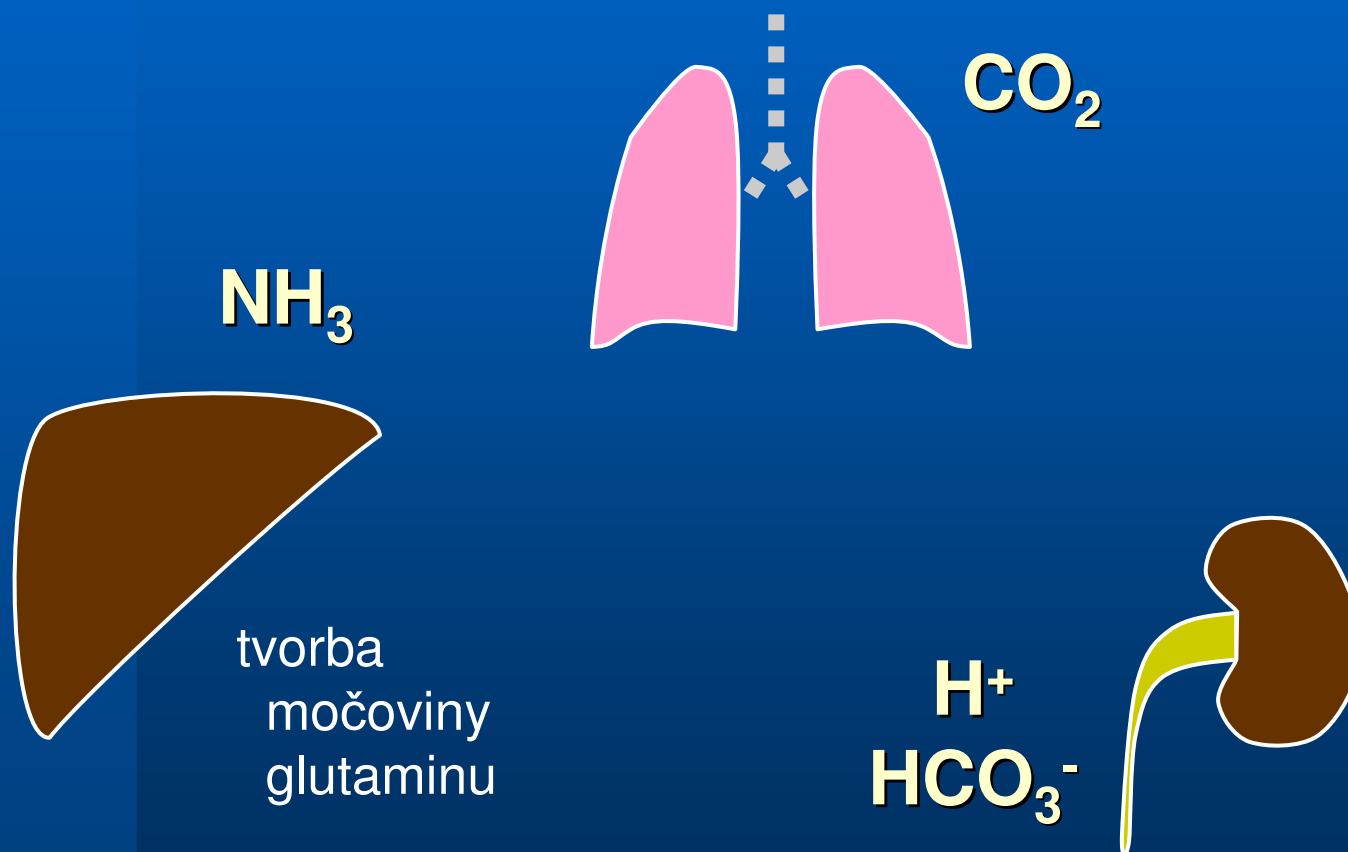
# Zdroje protonů

- **Strava obsahuje**
  - soli organických kyselin
  - látky metabolizované na kys. sírovou
  - látky metabolizované na kys. fosforečnou

# Udržování pH

- Okamžitě, ale neúplně  
– PUFRY
- Úplně, ale pomalu  
– REGULACE METABOLISMU  
respirace, transportních dějů...

# Regulace kyselosti vnitřního prostředí



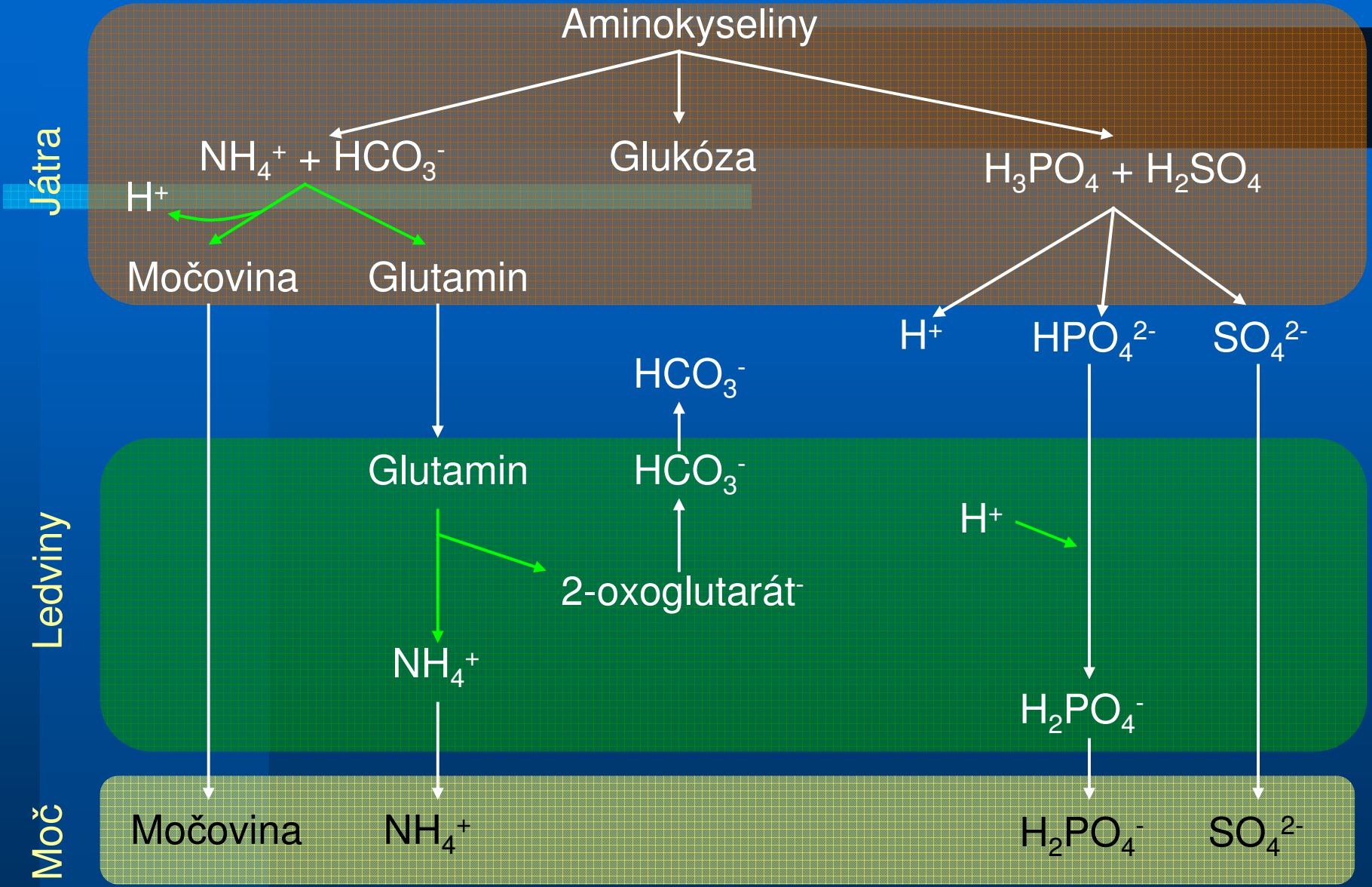
# Respirace



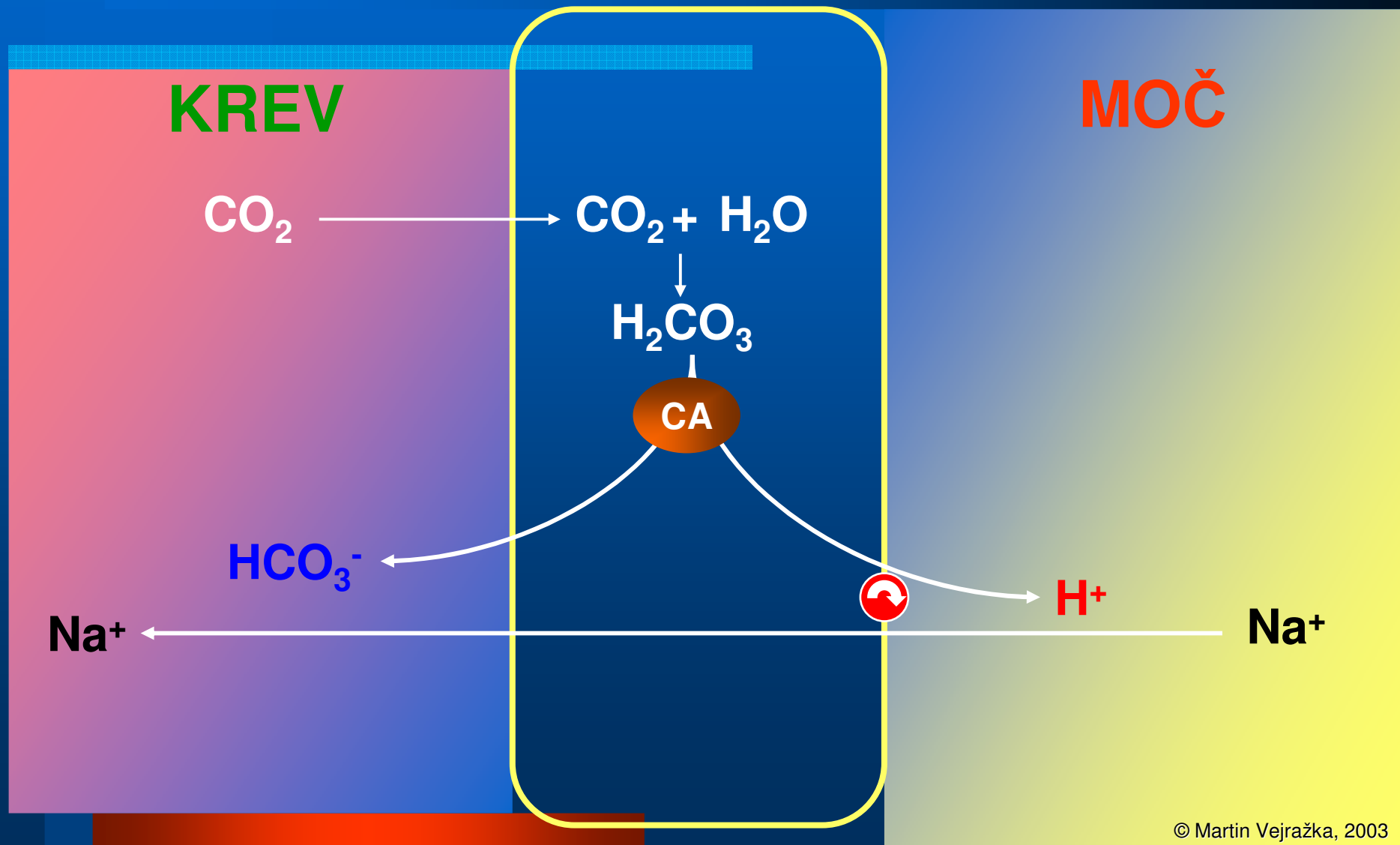
- $\uparrow$  ventilace  $\rightarrow$   $\downarrow$   $\text{pCO}_2$   $\rightarrow$  alkalizace
- $\downarrow$  ventilace  $\rightarrow$   $\uparrow$   $\text{pCO}_2$   $\rightarrow$  okyselení

# Játra





# Ledvina





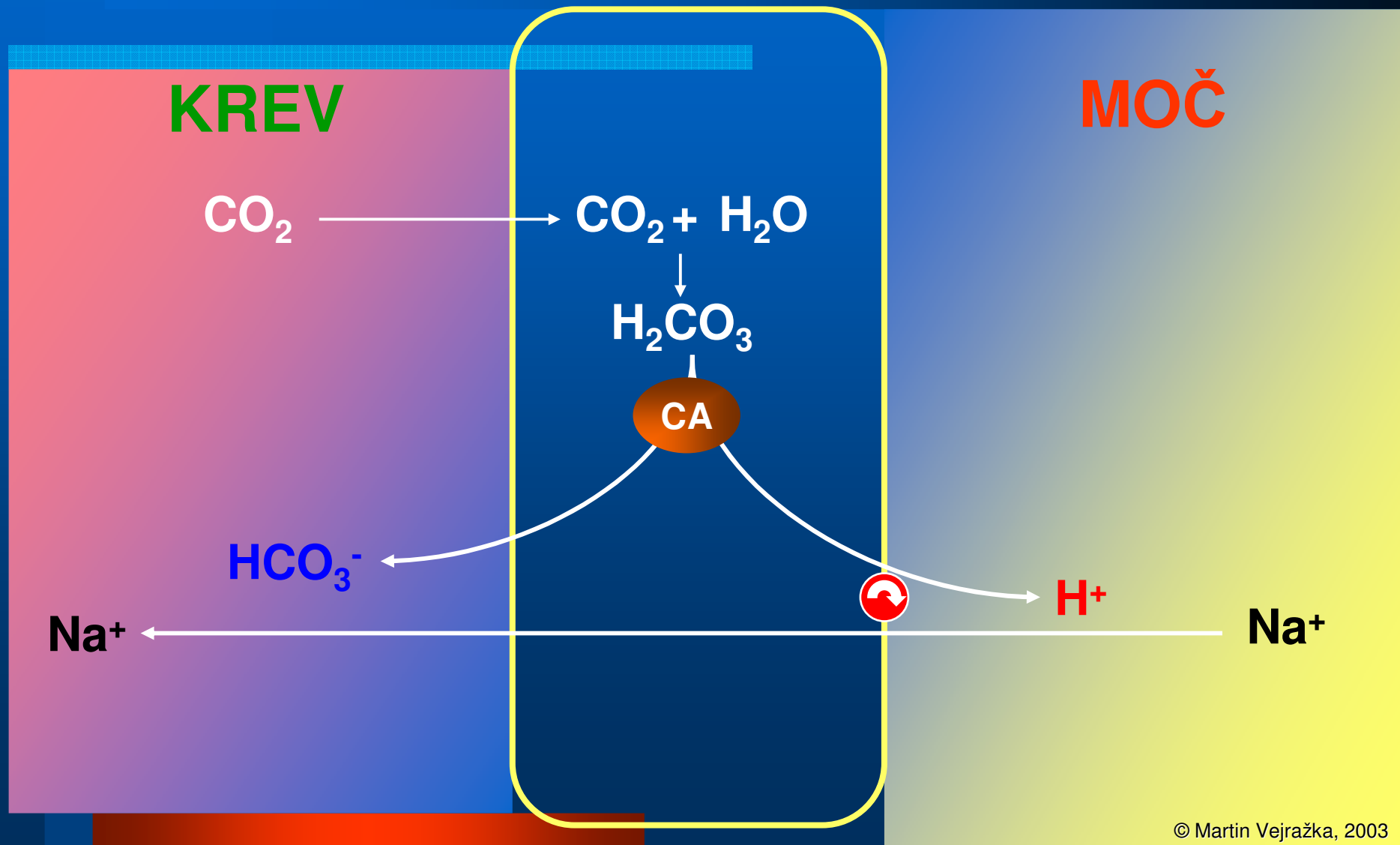
# Ledvina

**KREV**

**MOČ**



# Ledvina



# Ledvina

**KREV**

**MOČ**

$\text{HCO}_3^-$

$\text{Na}^+$

$\text{CO}_2$   
+  
 $\text{H}_2\text{O}$

CA

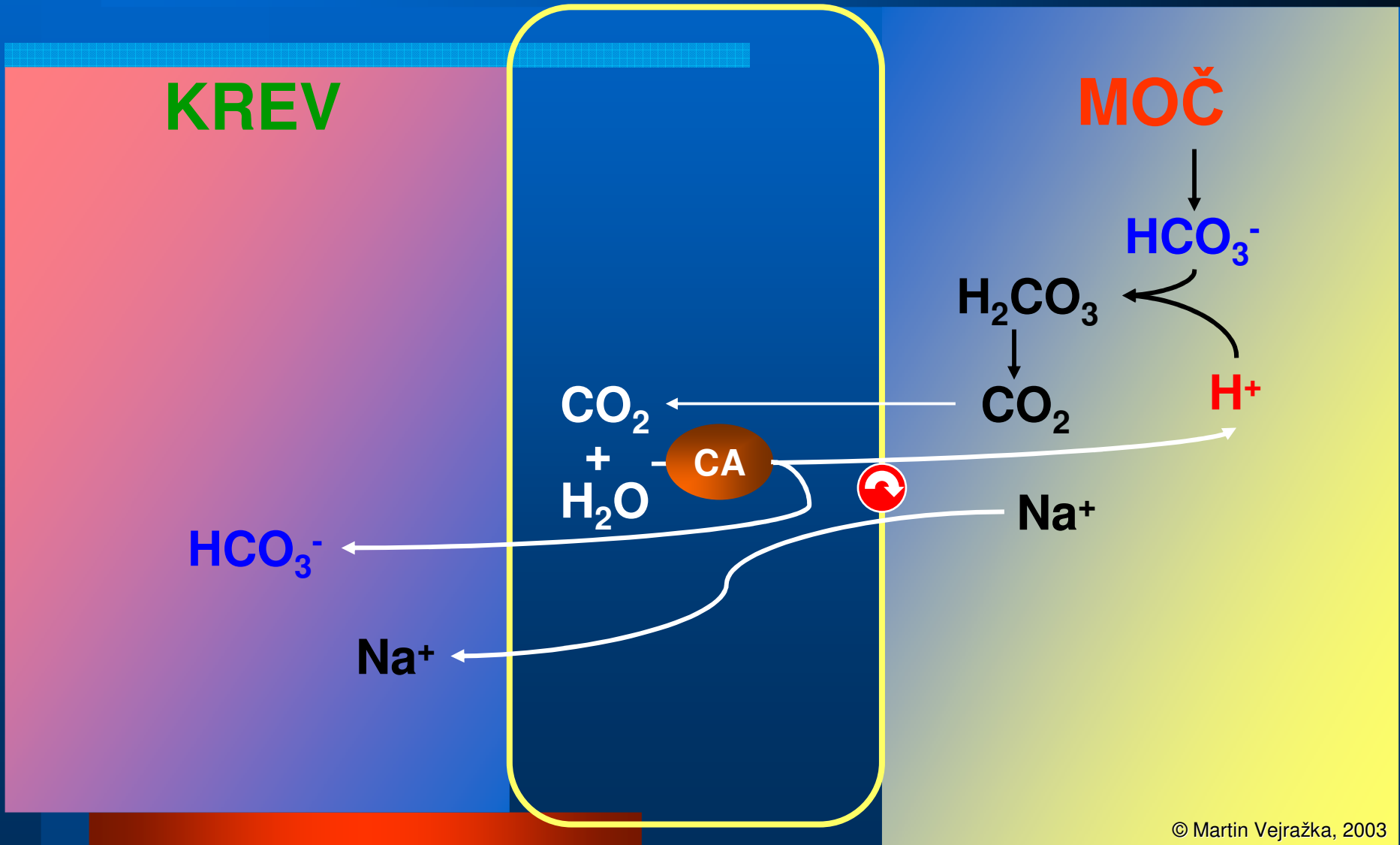


$\text{H}_2\text{CO}_3$   
↓  
 $\text{CO}_2$

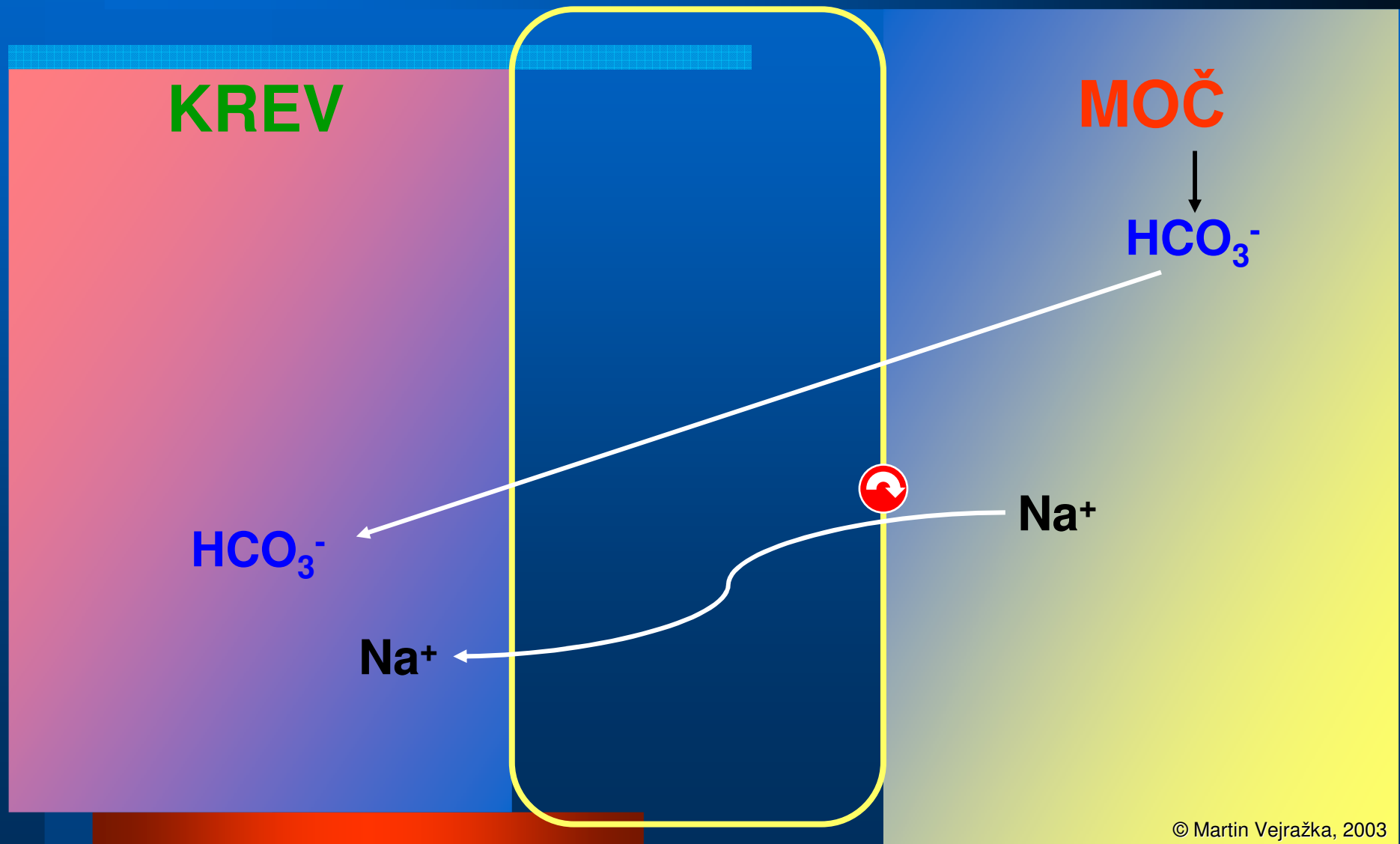
$\text{Na}^+$

$\text{HCO}_3^-$

$\text{H}^+$



# Ledvina



# Ledvina

**KREV**

**MOČ**

$\text{HCO}_3^-$

$\text{Na}^+$

$\text{CO}_2$   
+  
 $\text{H}_2\text{O}$

CA

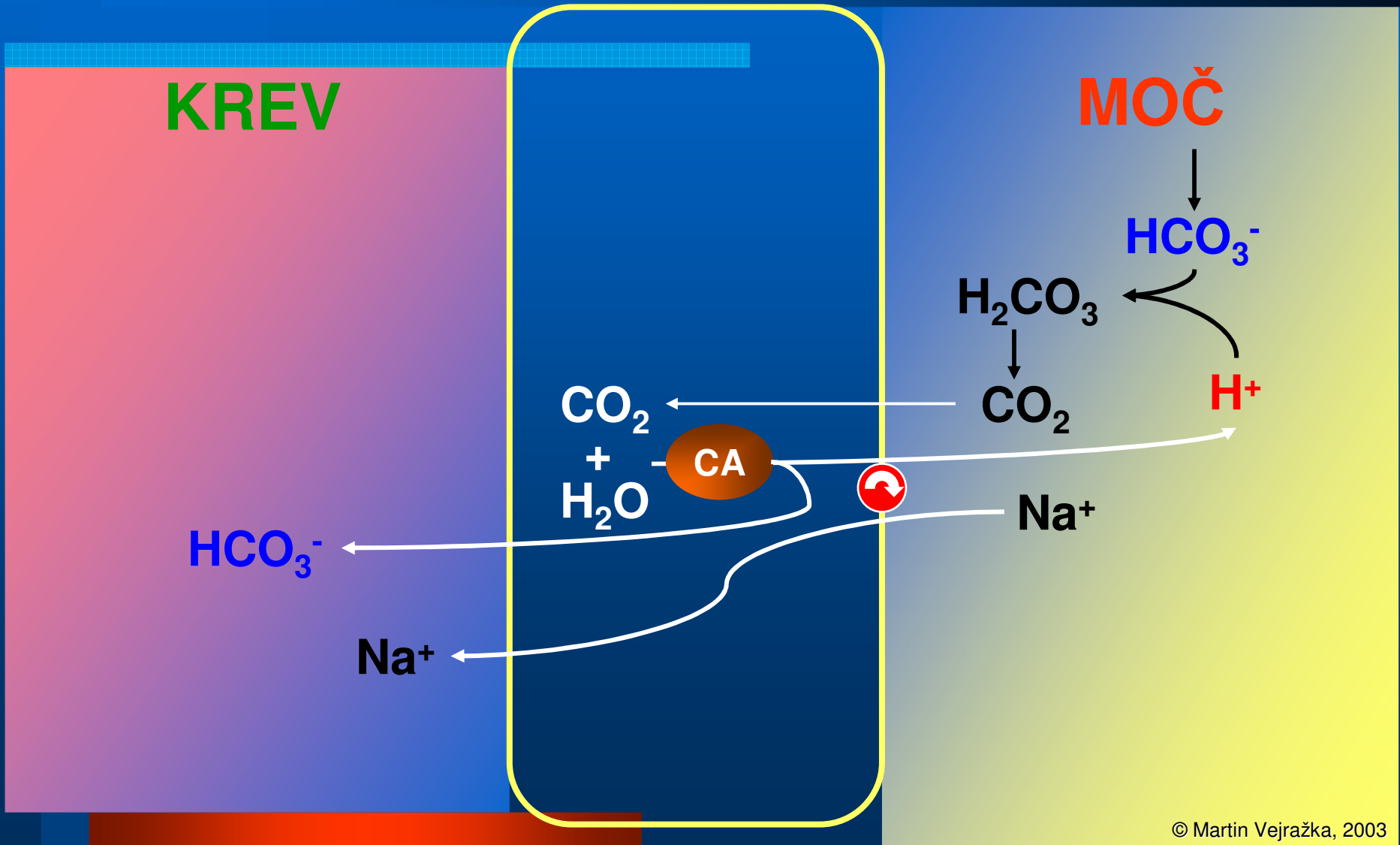


$\text{H}_2\text{CO}_3$   
↓  
 $\text{CO}_2$

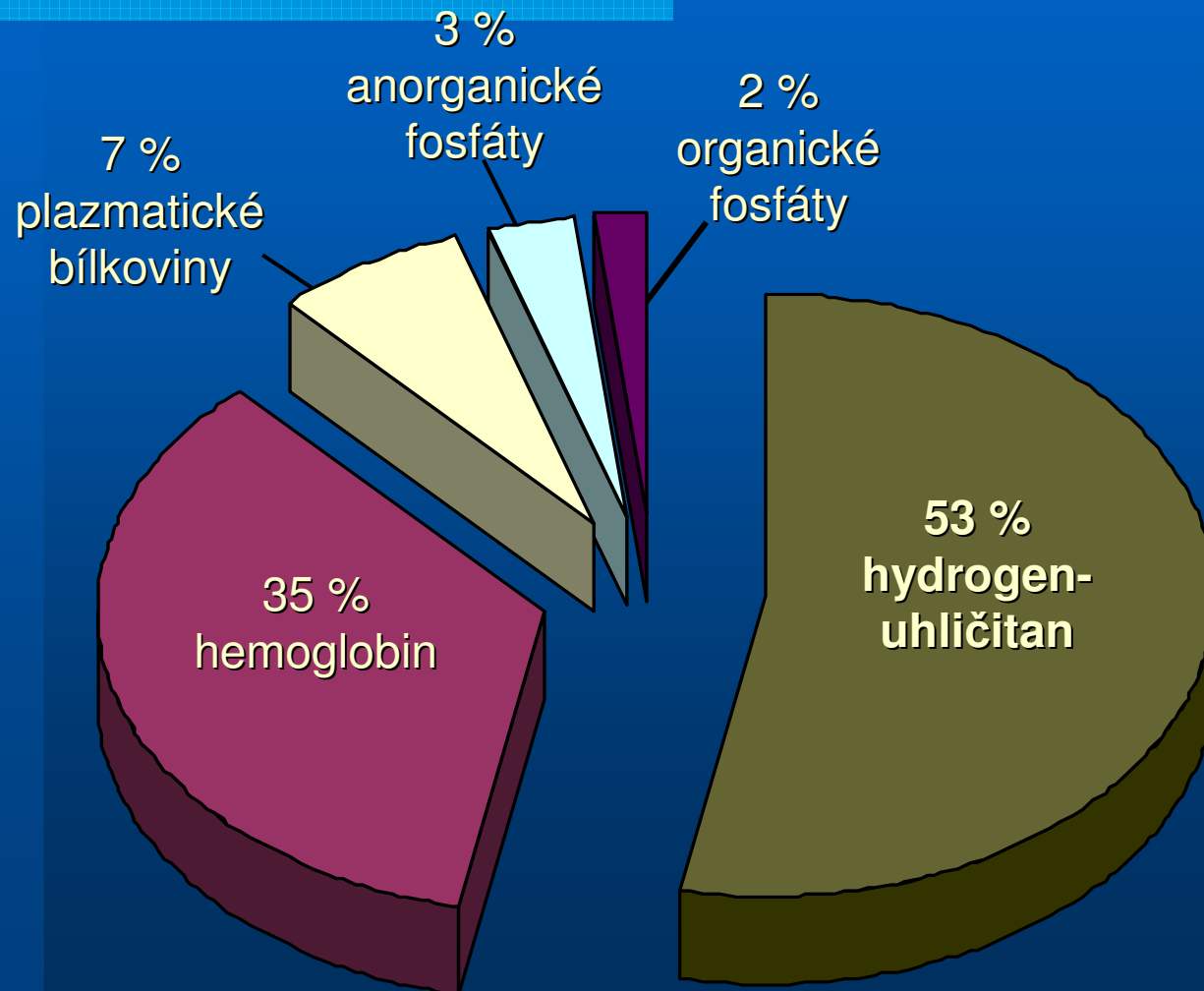
$\text{Na}^+$

$\text{HCO}_3^-$

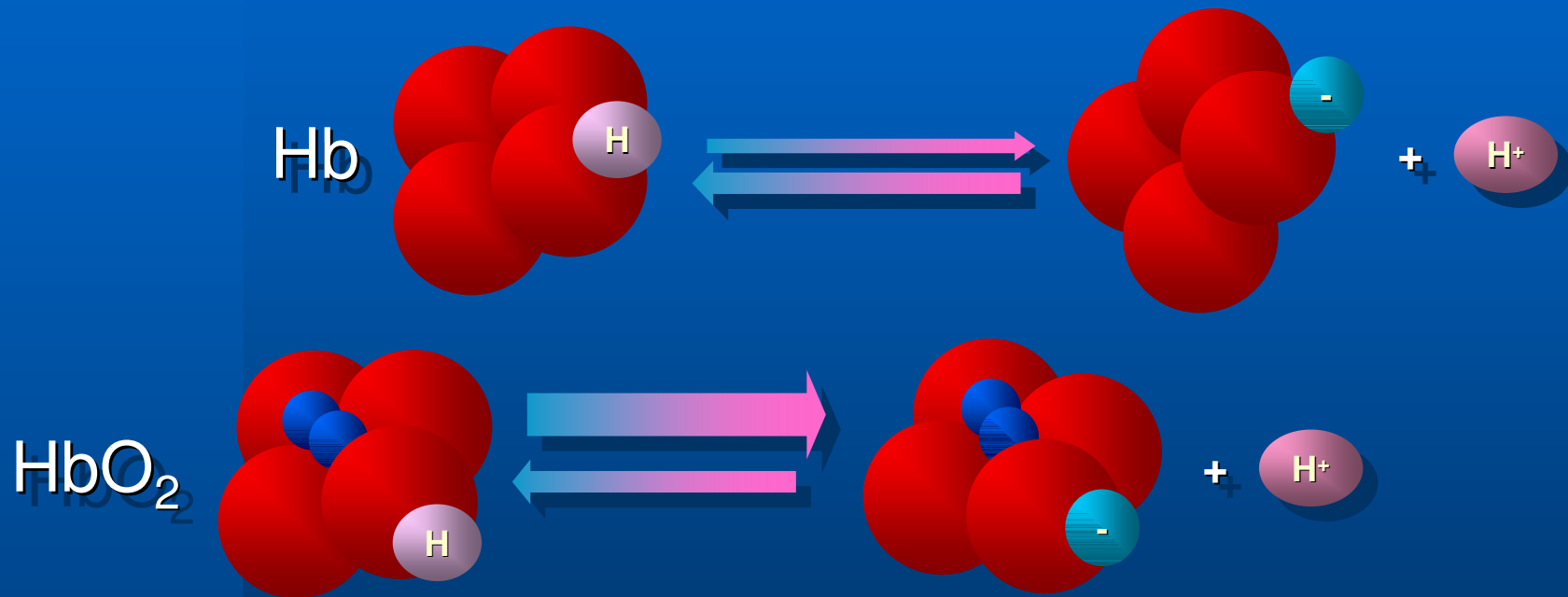
$\text{H}^+$



# Podíl nárazníků



# Hemoglobinový pufr



Oxygenovaný hemoglobin je kyselejší než desoxygenovaný

- částečné vyrovnání pH v plicích po vydýchání CO<sub>2</sub>
- snažší uvolnění O<sub>2</sub> v kyselém prostředí (hypoxická tkáň)

# Bikarbonátový pufr





# Hendersonova-Hasselbalchova rovnice

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

V tabulkách:  
**pK<sub>a</sub> = 6,35**

- pK<sub>a</sub> = 6,1
- [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] = 24 mmol.l<sup>-1</sup>
- [H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>] = 1,2 mmol.l<sup>-1</sup>

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 20$$

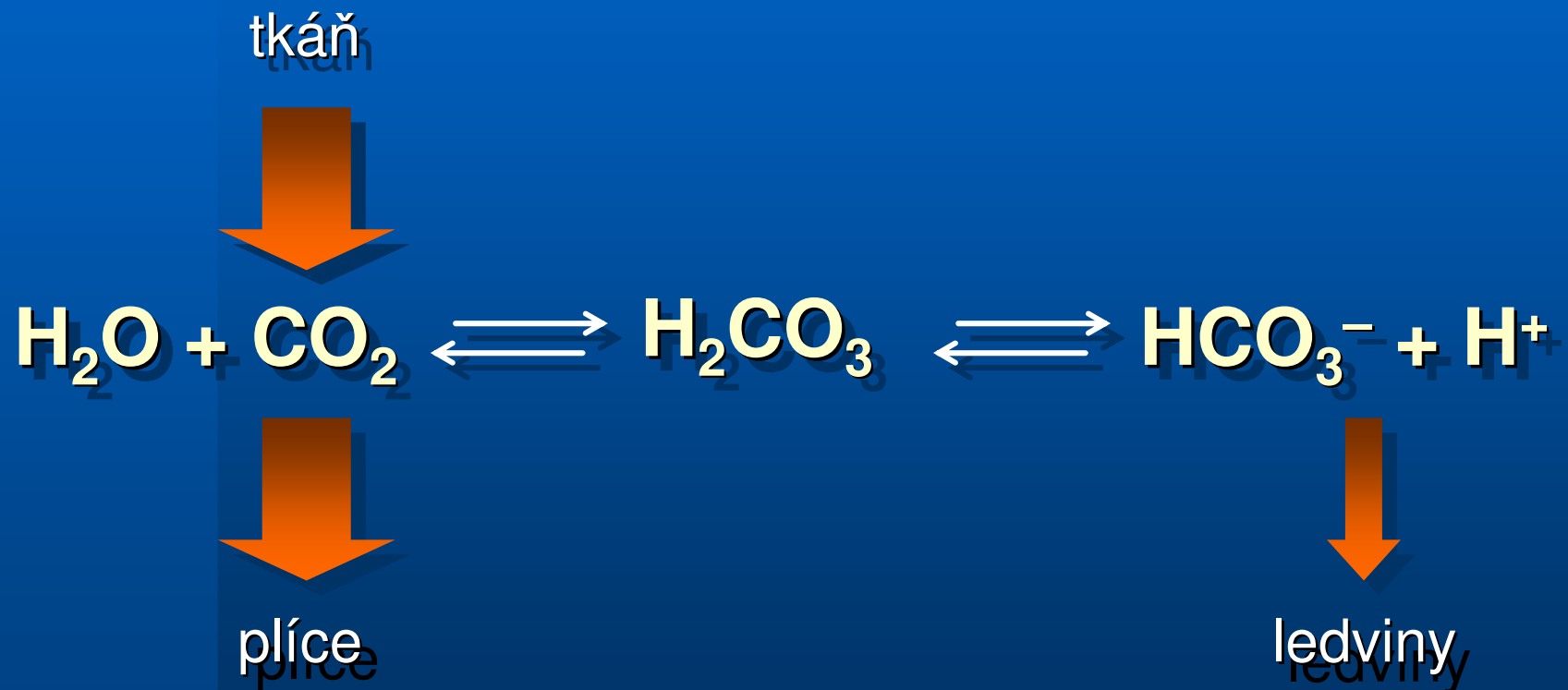
**> 10 !**

# Hendersonova-Hasselbalchova rovnice

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\alpha \cdot \text{pCO}_2}$$

- $\text{pK}_a = 6,1$
- $[\text{HCO}_3^-] = 24 \text{ mmol.l}^{-1}$
- $\alpha = 0,224 \text{ mmol.l}^{-1} / \text{kPa}$        $\text{pCO}_2 = 5,3 \text{ kPa}$

# Bikarbonátový pufr



# Změna pH při zvracení

- ztráta asi 0,5 l žaludeční šťávy, pH 0,8

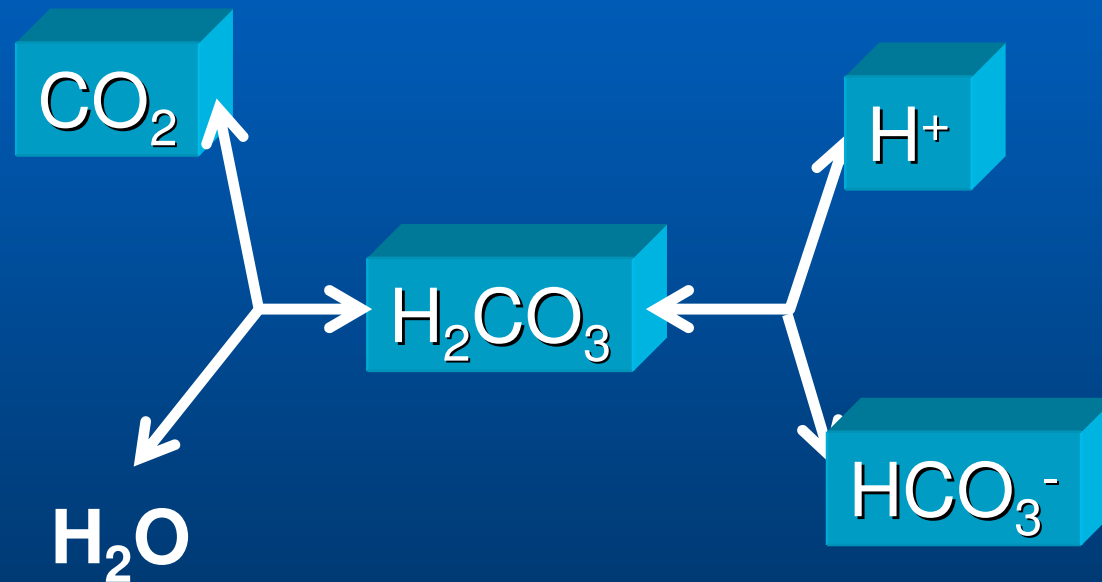
– bez pufru                      pH 7,4 → > 14

– uzavřený systém              7,4 → 7,9

– **otevřený systém              7,4 → 7,415**

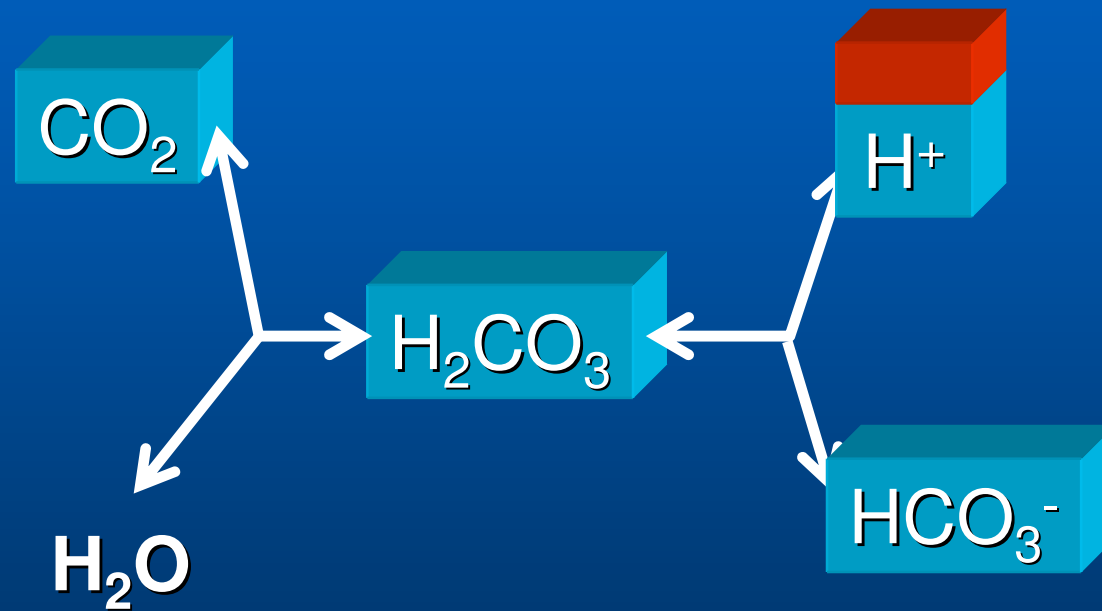


# Bikarbonátový pufr

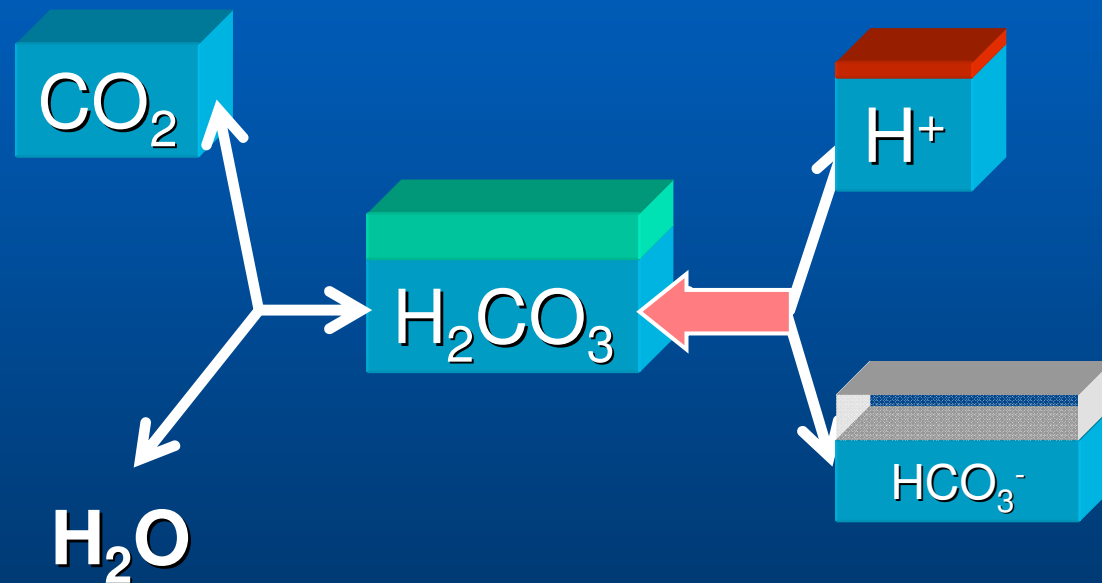


Pozn.: Velikost „krabiček“ nemá pevné měřítko!

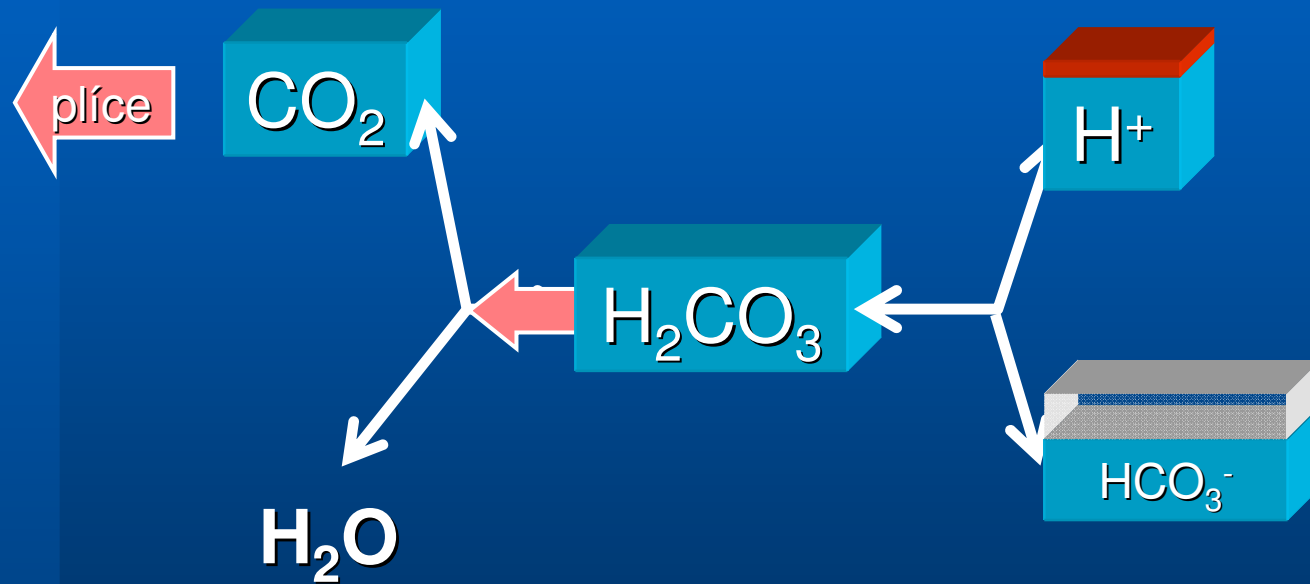
# Bikarbonátový pufr



# Bikarbonátový pufr

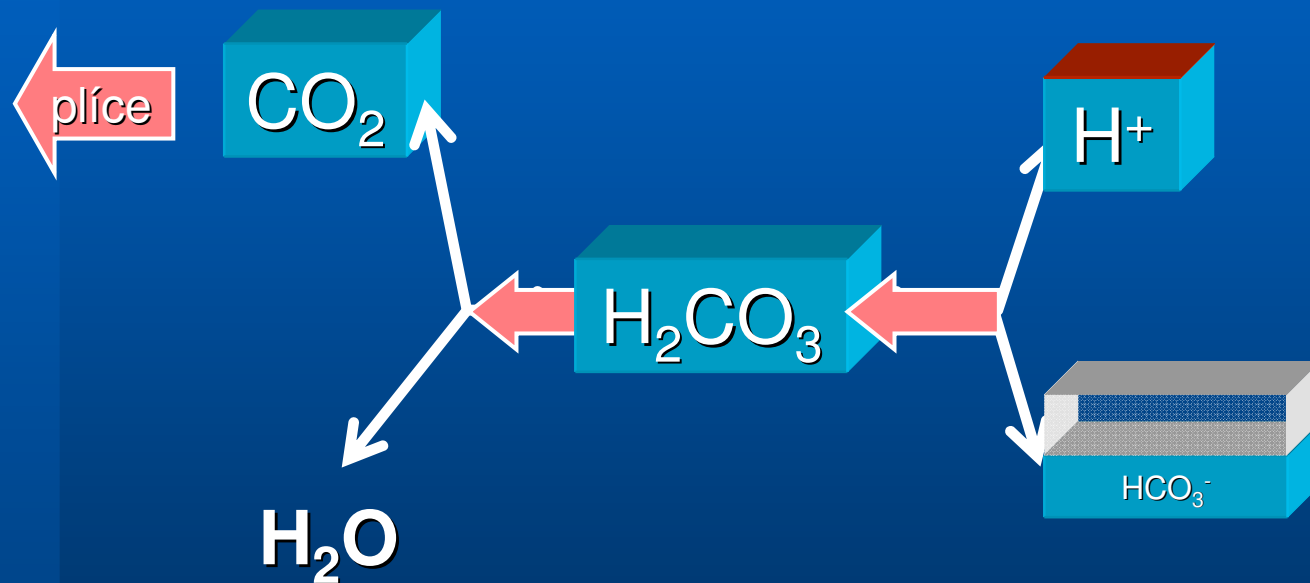


# Bikarbonátový pufr

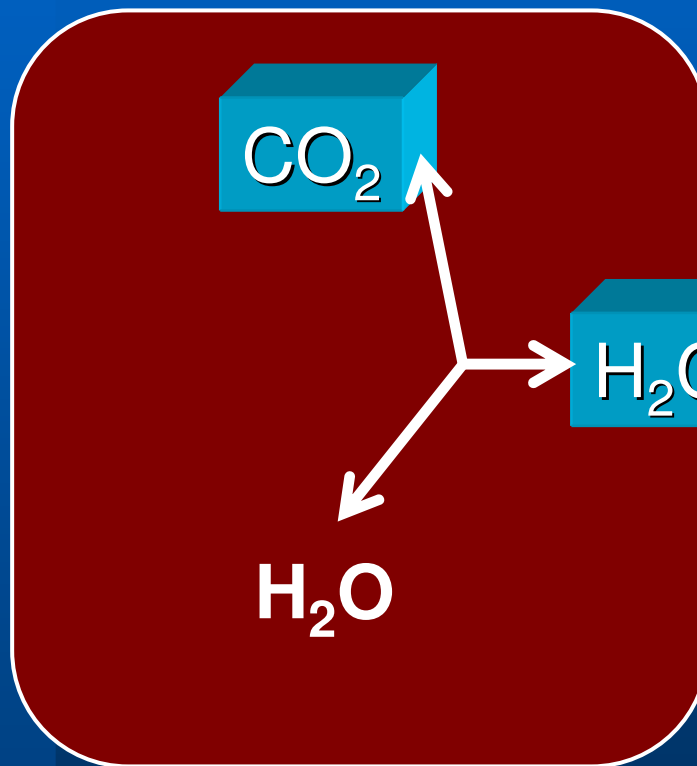
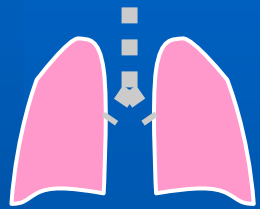




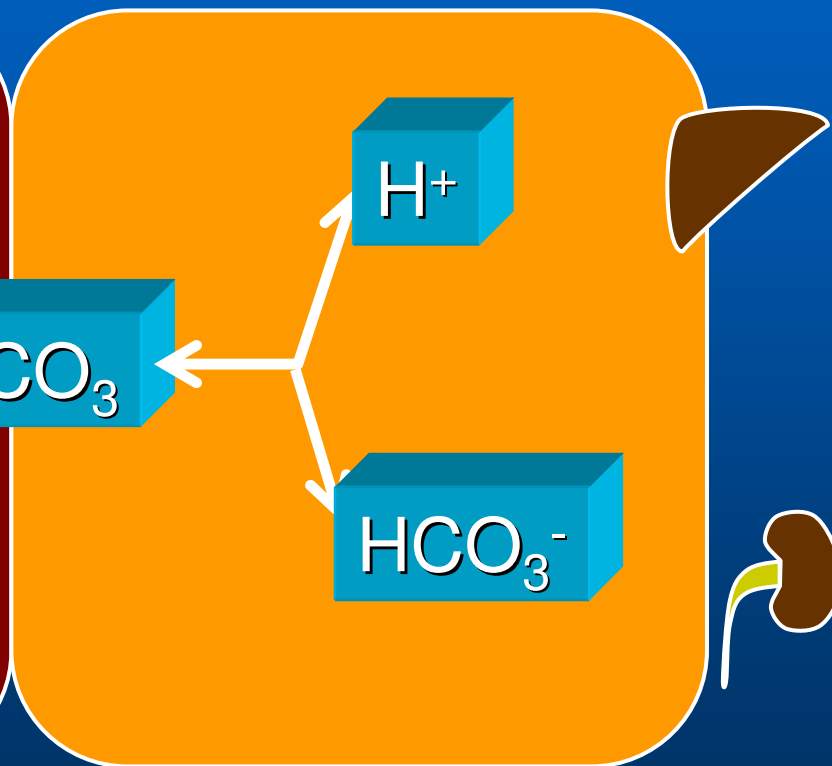
# Bikarbonátový pufr



# Bikarbonátový pufr

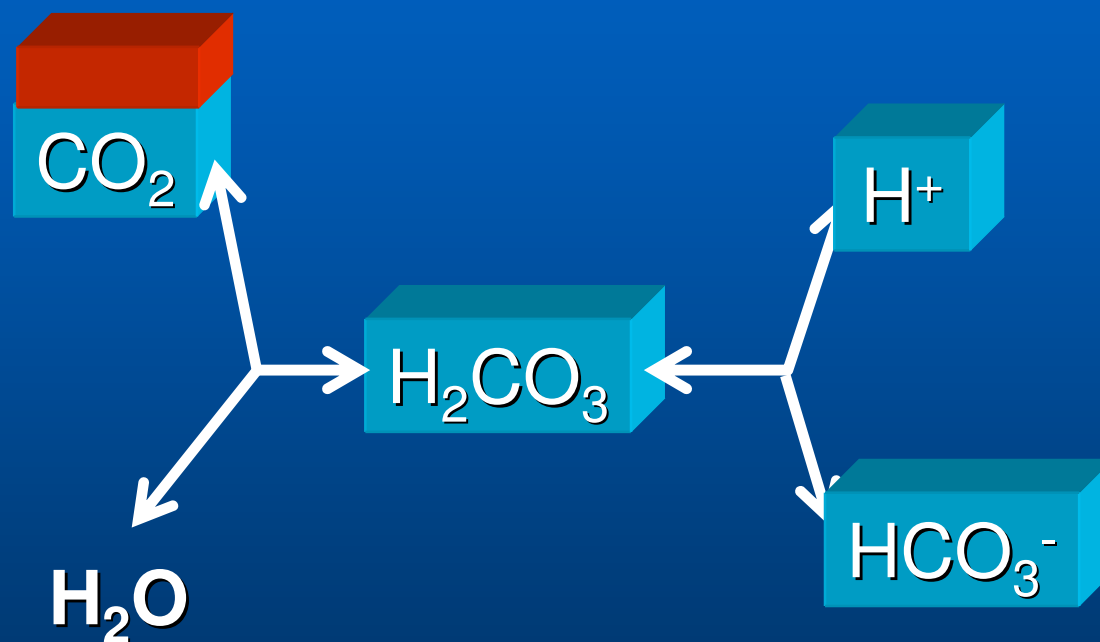


Respirační složka

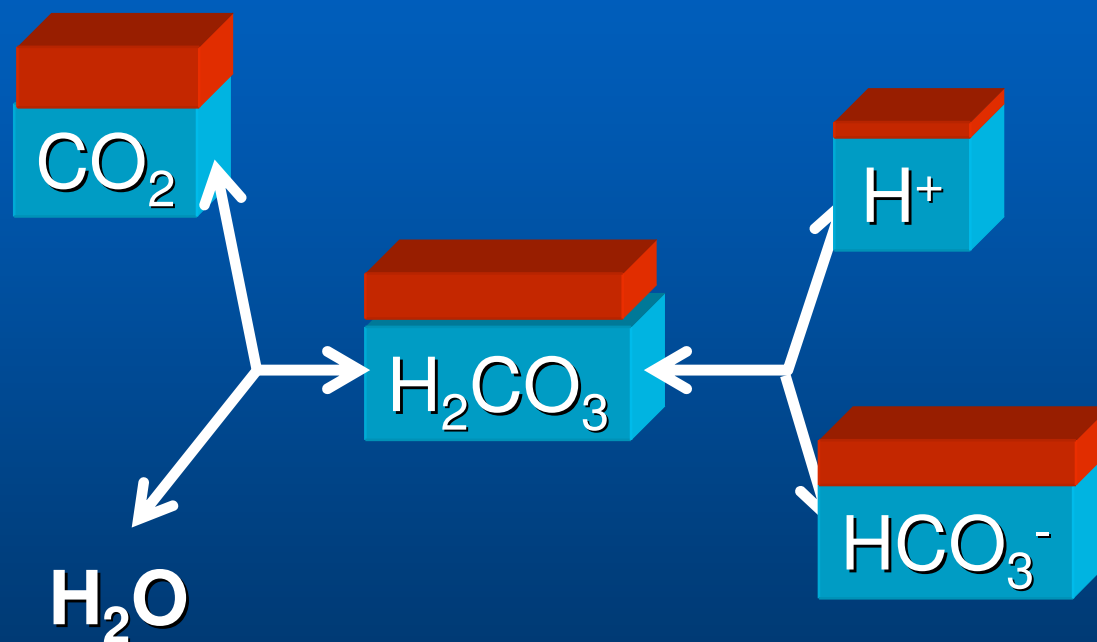


Metabolická složka

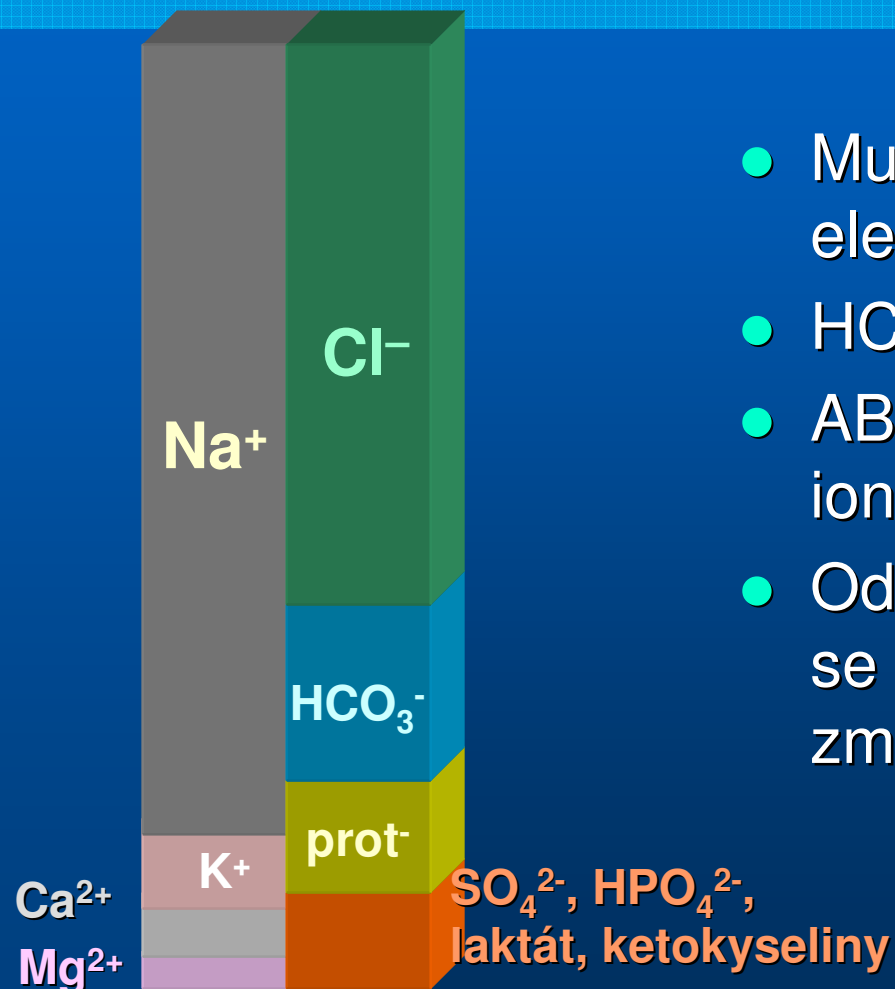
# Aktuální a standardní hydrogenuhličitany



# Aktuální a standardní hydrogenuhličitany

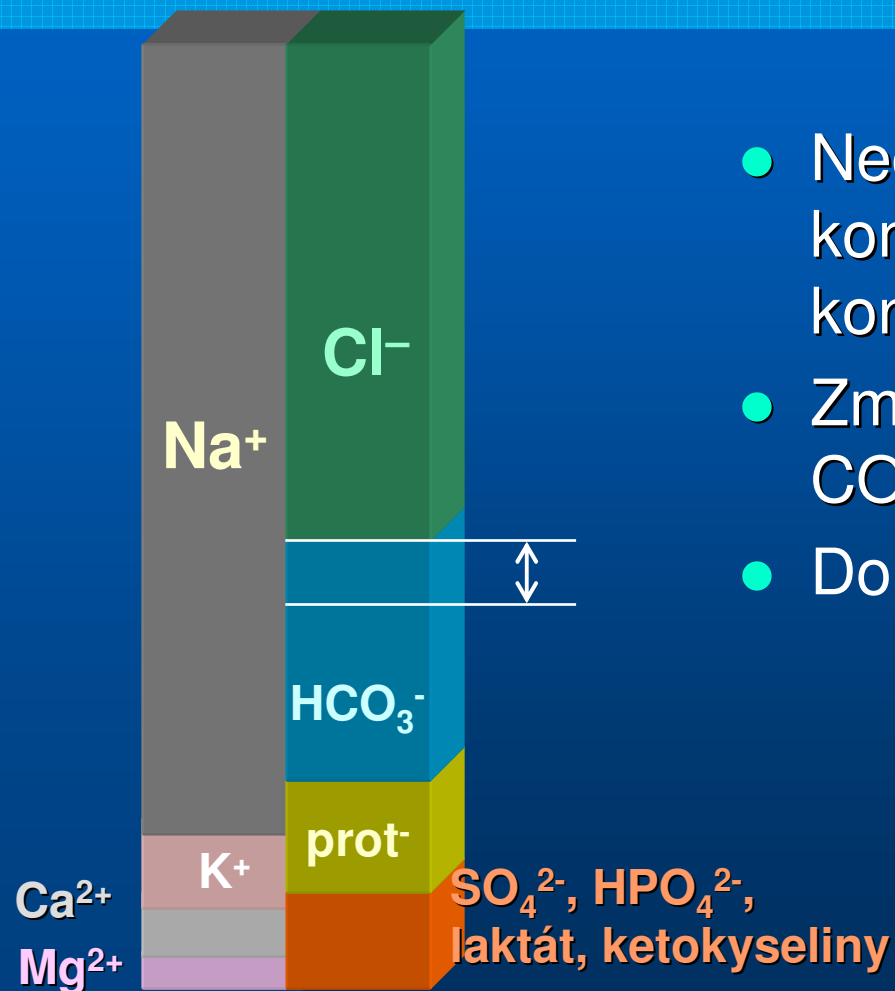


# ABR a ionty



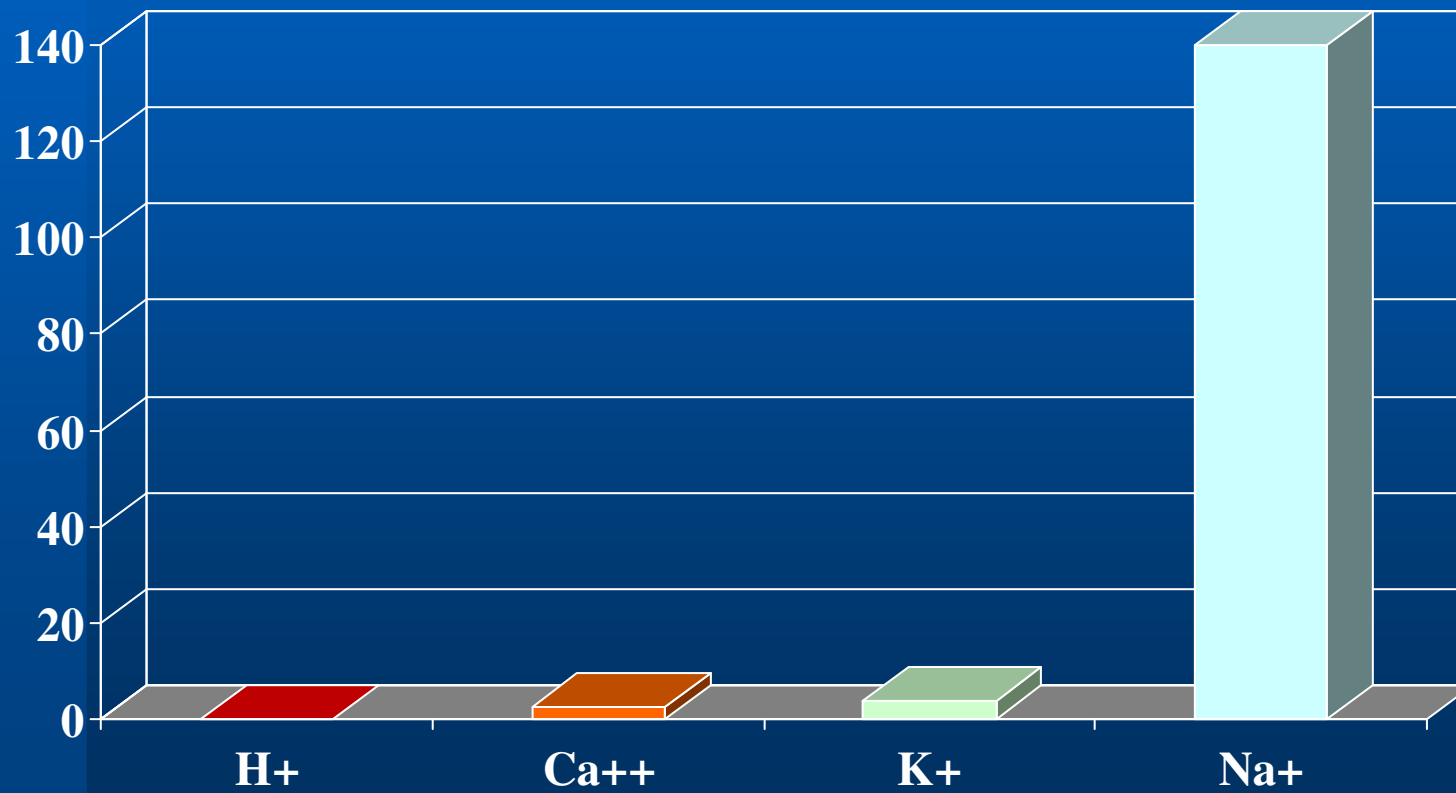
- Musí být zachována elektroneutralita
- $\text{HCO}_3^{-}$  má náboj,  $\text{CO}_2$  nikoliv
- ABR souvisí s metabolismem iontů
- Odchytky koncentrace iontů se nejnáze kompenzují změnou koncentrace  $\text{HCO}_3^{-}$

# Hypochloremická alkalóza



- Nedostatek  $\text{Cl}^-$  je kompenzován zvýšením koncentrace  $\text{HCO}_3^-$
- Změna poměru bikarbonátu a  $\text{CO}_2$  vede k alkalóze
- Doprovází např. zvracení

# H<sup>+</sup> a jiné kationty



# Hendersonova-Hasselbalchova rovnice

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

o 5 – 6 řádů více než  $[\text{H}^+]$

- $\text{pK}_a = 6,1$
- $[\text{HCO}_3^-] = 24 \text{ mmol.l}^{-1}$
- $[\text{H}_2\text{CO}_3] = 1,2 \text{ mmol.l}^{-1}$

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 20$$



# Změna pH při zvracení

- ztráta asi 0,5 l žaludeční šťávy, pH 0,8

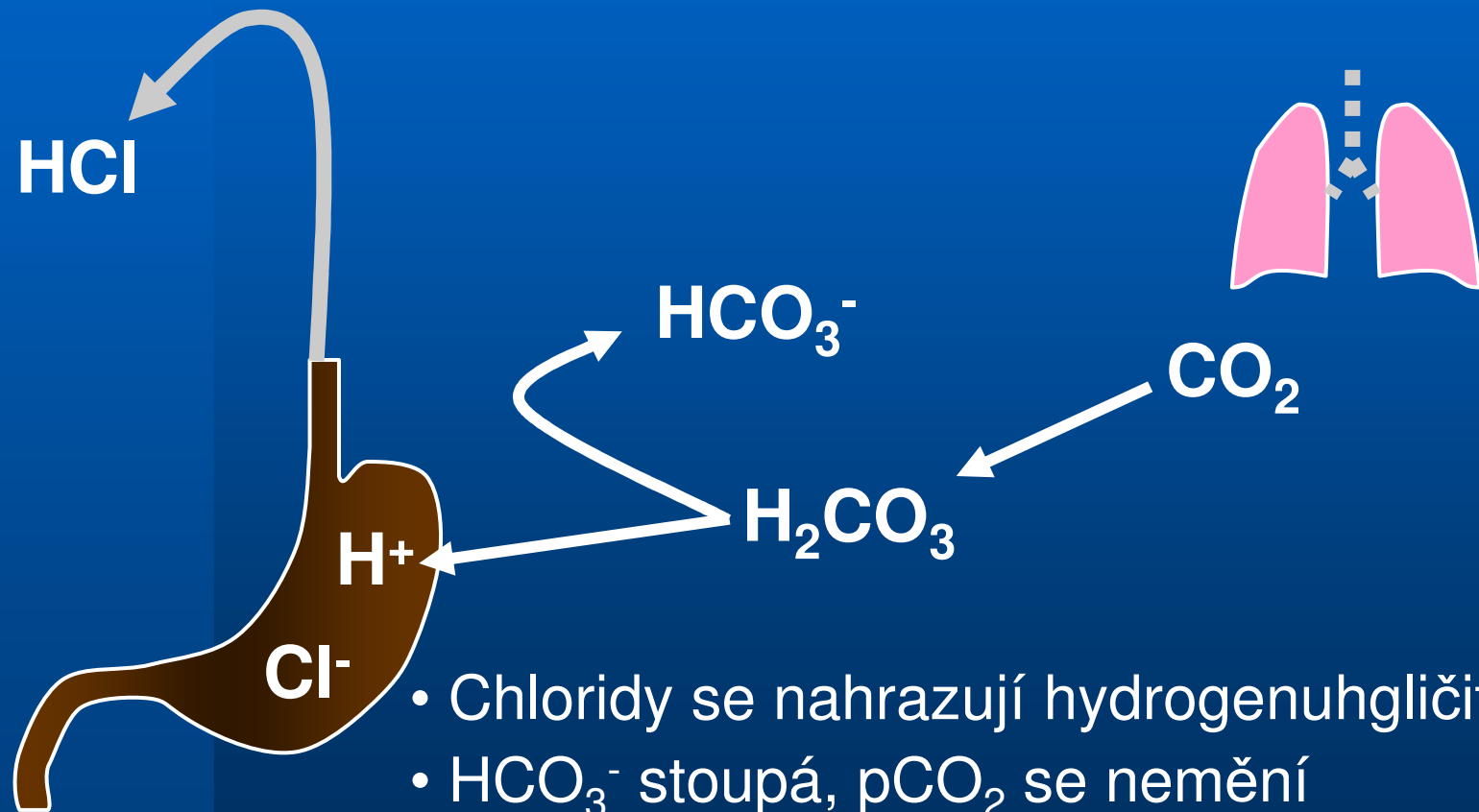
– bez pufru                      pH 7,4  $\rightarrow$   $> 14$

– uzavřený systém            7,4  $\rightarrow$  7,9

– otevřený systém            7,4  $\rightarrow$  7,415

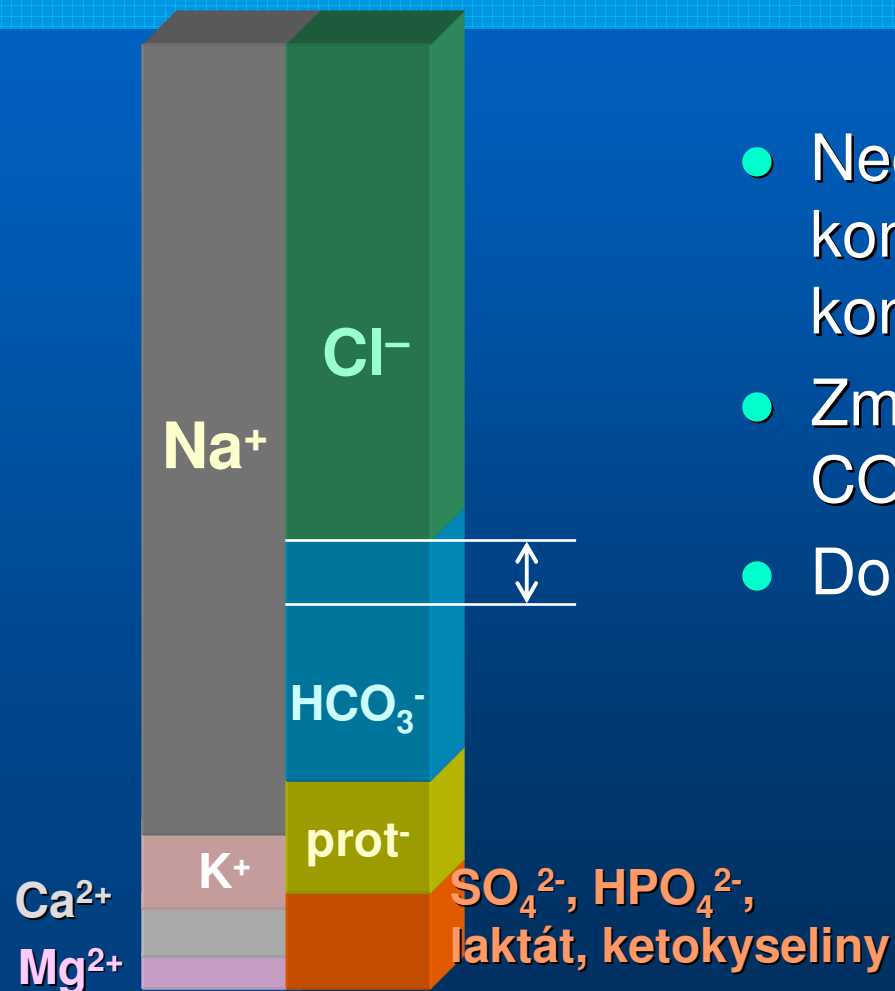


# Hypochloremická alkalóza



- Chloridy se nahrazují hydrogenuhličitany
- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> stoupá, pCO<sub>2</sub> se nemění

# Hypochloremická alkalóza



- Nedostatek  $\text{Cl}^-$  je kompenzován zvýšením koncentrace  $\text{HCO}_3^-$
- Změna poměru bikarbonátu a  $\text{CO}_2$  vede k alkalóze
- Doprovází např. zvracení

# Acidobazická rovnováha

Neuvažuj v první řadě o změně  
koncentrace

~~H<sup>+</sup> nebo OH<sup>-</sup>~~

ale o změně

koncentrace hlavních iontů

změna pH je až druhotná v důsledku změny  
poměru v  $\text{HCO}_3^- / \text{pCO}_2$

# Zdroje protonů

- **Anaerobní glykolýza**



- **Lipolýza**

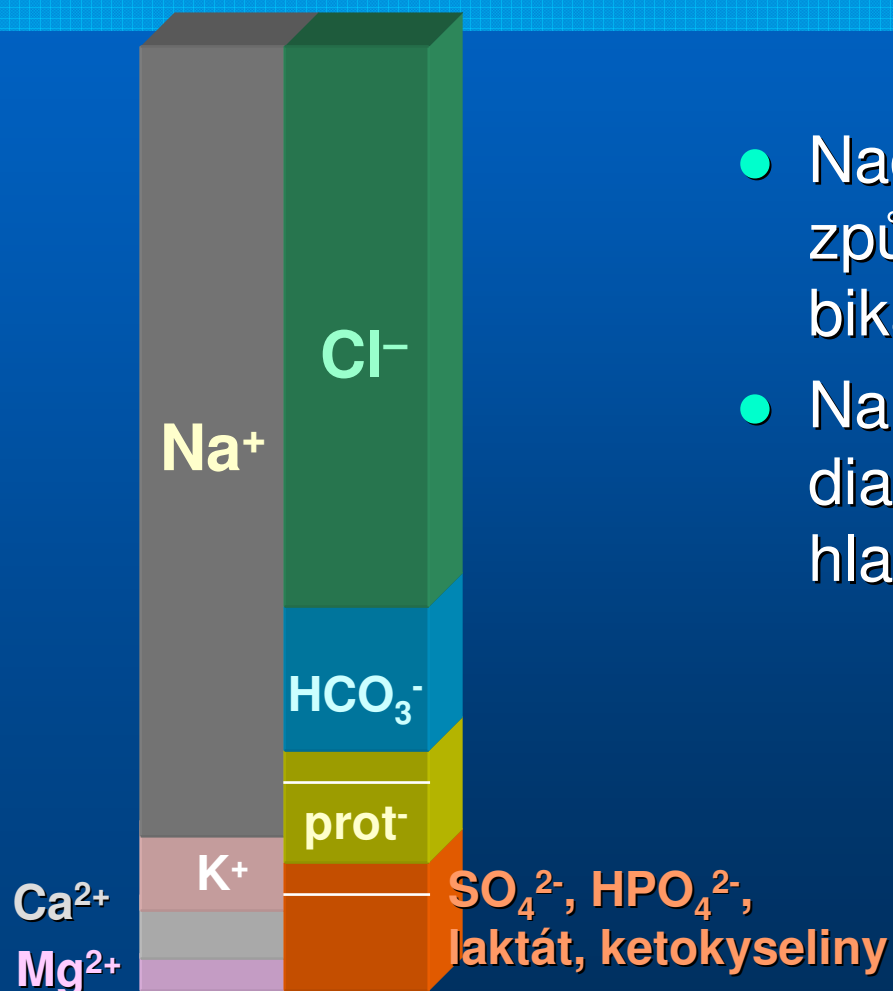


- **Ketogeneze**



„silné“ kyseliny

# Ketoacidóza



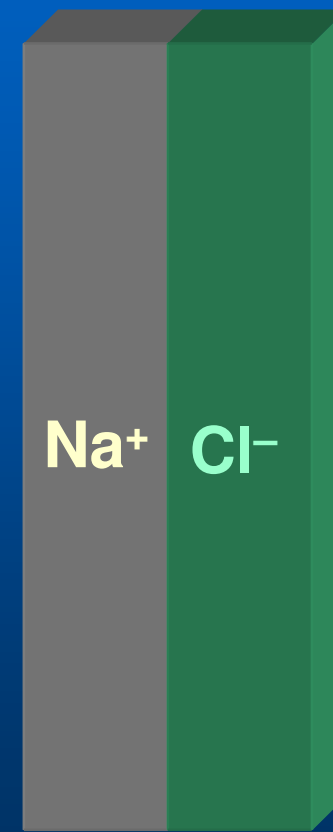
- Nadbytek aniontů ketokyselin způsobí pokles koncentrace bikarbonátu
- Např. dekompenzovaný diabetes mellitus 1. typu, hladovění...

# Fyziologický roztok je „kyselý“



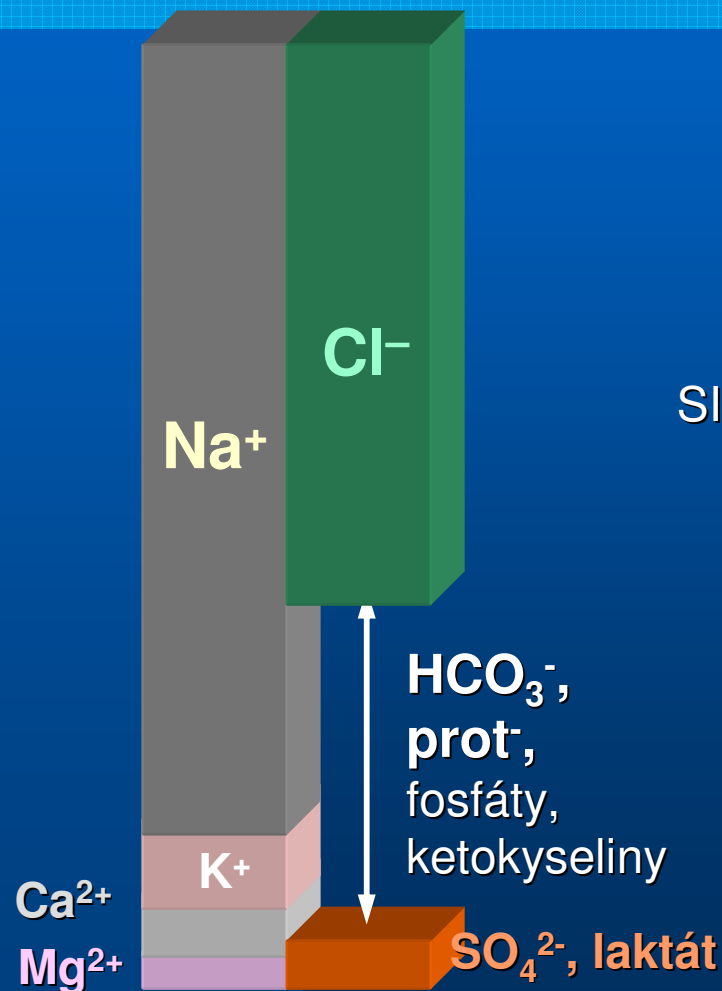
plasma

Fyziologický roztok  
obsahuje relativní  
nadbytek chloridů



fyziologický roztok

# Strong ion difference (SID)



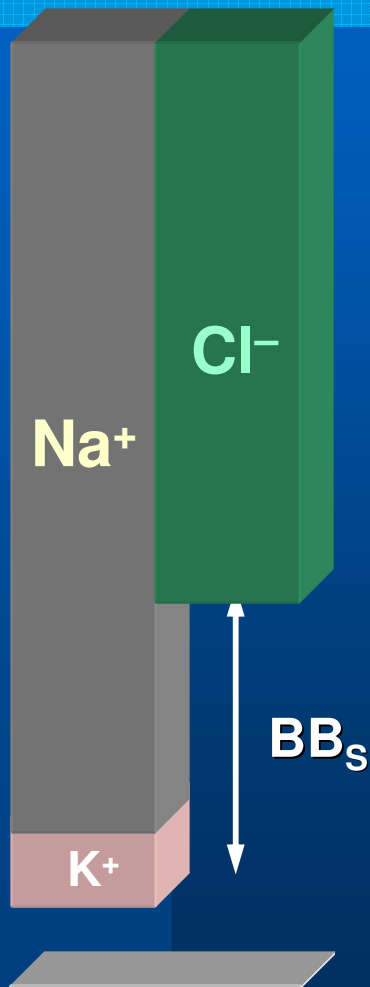
- Rozdíl koncentrací iontů silných kyselin a silných bazí

$$\text{SID} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{Cl}^- + \text{laktát}^- + \text{SO}_4^{2-})$$

- Vyžaduje stanovení méně běžných parametrů ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , laktát)

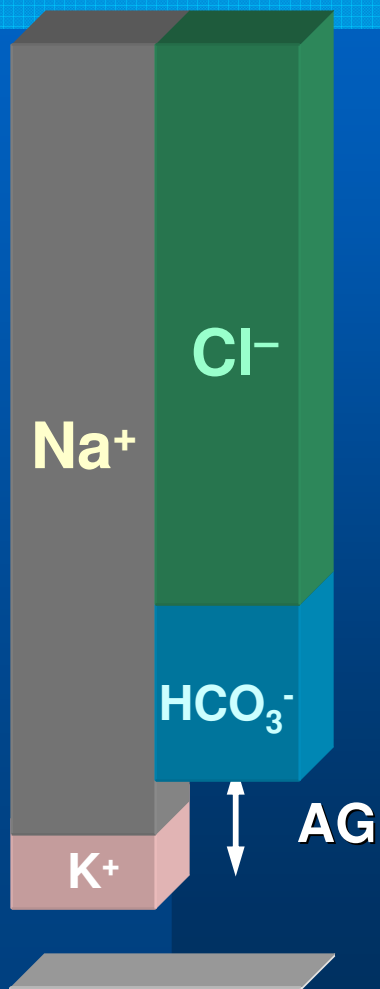


# Pufrové báze séra ( $BB_S$ )



- Zjednodušení SID
- Odpovídá především  $HCO_3^-$ ,  $prot^-$  a fosfátům, tj. celkové koncentraci pufrů

# Anion gap (AG)



- Popisuje odchylky v koncentraci laktátu, ketokyselin, fosfátů, síranů a dalších aniontů

SID

BB<sub>S</sub>

AG

Lépe:

hodnotit přímo vliv jednotlivých složek ionogramu na acidobazickou rovnováhu

(výpočtem se ztrácí informace!)

Ca<sup>2+</sup>

Mg<sup>2+</sup>

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, laktát

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

fosfáty,  
ketokyseliny

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

AG

Cl<sup>-</sup>

Cl<sup>-</sup>

Cl<sup>-</sup>

# ABR a draslík

- **Dochází ke směně  $K^+$  a  $H^+$  na buněčné membráně**
  - acidémie → hyperkalémie
  - alkalémie → hypokalémie
  - hyperkalémie → acidémie
  - hypokalémie → alkalémie

# ABR a vápník

- **Výměna  $H^+$  a  $Ca^{2+}$  vázaných na plazmatických bílkovinách**
- **acidémie → hyperkalcémie**
- **alkalémie → hypokalcémie**