

## Acidobazická rovnováha

homeostasa  $H^+$  iontů

Regulace vnitřního prostředí

- Udržování osmotické koncentrace solí, minerálů, ...
- Vztahy acidobazické rovnováhy
  - Stálost = acidobazická rovnováha (stav)
  - Regulace = acidobazický metabolismus (děj)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Hodnoty pH tělových buněk a tělních tekutin

tělní tekutiny		tělní buňky	
krev	7.36 - 7.42	erythrocyty	7.28
žaludeční šťáva	1.2 - 3.0	thrombocyty	7.0
duodenální šťáva	6.5 - 7.6	buňky kosterního svalstva	6.9
tračnicková šťáva	7.9 - 8.0	Osteoblasty	8.5
moč	4.5 - 8.5	buňky prostaty	4.5
žluč	6.2 - 8.5		

---

---

---

---

---

---

---

---

## Stálé pH (ECT)

proč???

- ionizace slabých kyselin aází může ovlivnit jejich aktuální dispozici
- stálost pH je významným parametrem pro mnoho fyziologických dějů (enzymy,..)
- pH gradient na membránách – hnací síla
- ..

denně vyprodukuje tělo cca 60 mmol  $H^+$   
⇒ cca 4 mmol/l ECT ~ **pH 2.4 !!!**

normální hodnoty 35 - 45 mmol/l  $H^+$  ~ **pH 7.34 – 7.43**

---

---

---

---

---

---

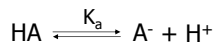
---

---

## Pufrační systémy

- Pufř = roztok slabé kyseliny a její soli, která je schopna vázat H<sup>+</sup>

Hendersen-Hasselbalchova rovnice:



$$K_a = \frac{[A^-][H^+]}{[AH]}$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

! neodstraní H<sup>+</sup> z těla !

likviduje" aktuální nadbytek ⇒ pouze dočasné řešení ⇒ vyloučení močí

---

---

---

---

---

---

---

---

## Transport CO<sub>2</sub> ~ 20 000 mmol/24 h

- Transport v plasmě

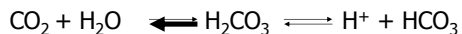
nedostačující

### 1. Rozpouštění ( ~ pCO<sub>2</sub>)

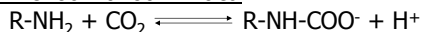
C<sub>s</sub> pro pCO<sub>2</sub> = 0.226 mmol/l.kPa (37 °C)

$$\left. \begin{array}{l} pCO_2 \text{ kapil} = 6.1 \text{ kPa} \\ pCO_2 \text{ arter} = 5.3 \text{ kPa} \end{array} \right\} \Delta = 0.8 \text{ kPa} \Rightarrow 0.18 \text{ mmol/l}$$

### 2. Hydratace



### 3. Tvorba karbaminátů




---

---

---

---

---

---

---

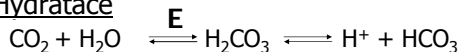
---

## Transport CO<sub>2</sub> ~ 20 000 mmol/24 h

- Transport v erythrocytech

### 1. Rozpouštění (viz plasma)

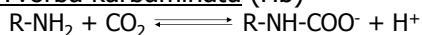
### 2. Hydratace



E = karbonátdehydratasa (*karboanhydratasa*)  
plicní alveoly, Ery, tubulární buňky..

⇒ Běží 13 tis. rychleji

### 3. Tvorba karbaminátů (Hb)




---

---

---

---

---

---

---

---

## Transport CO<sub>2</sub> (mmol/l)

	arteriální	venosní
<i>celá krev</i>	21.5	23.5
<b><i>plasma</i></b>	<b>15.9</b>	<b>17.0</b>
rozpuštěno	0.7	0.8
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>15.2</b>	<b>16.2</b>
<b><i>Erythrocyty</i></b>	<b>5.6</b>	<b>6.2</b>
rozpuštěno	0.3	0.4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.3	4.4
karbamináty	1.0	1.4

---

---

---

---

---

---

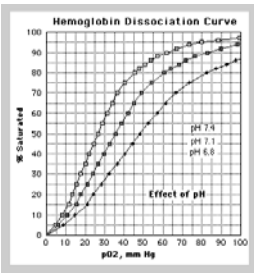
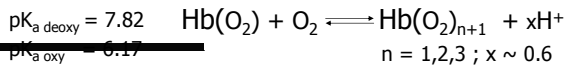
---

---

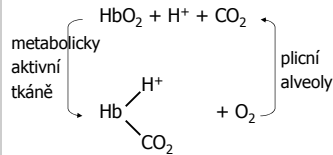
---

---

## Hemoglobin Bohrův efekt (1904)



kapiláry ⇌ H<sup>+</sup>  
 plíce ⇌ pO<sub>2</sub>




---

---

---

---

---

---

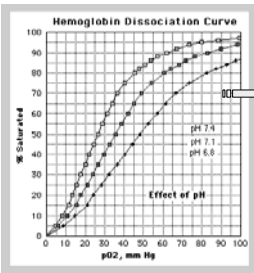
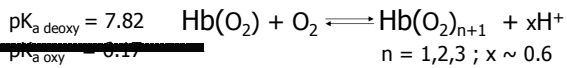
---

---

---

---

## Hemoglobin Bohrův efekt (1904)



posun

⇌ pH ⇌ pH  
 ⇌ pCO<sub>2</sub> ⇌ pCO<sub>2</sub>  
 ⇌ T ⇌ T  
 ⇌ 2,3-BPG ⇌ 2,3-BPG

- Vztahy Hb – O<sub>2</sub>:
1. Změna kyselosti
  2. Vazba či uvolňování H<sup>+</sup>
  3. Vazba CO<sub>2</sub>

---

---

---

---

---

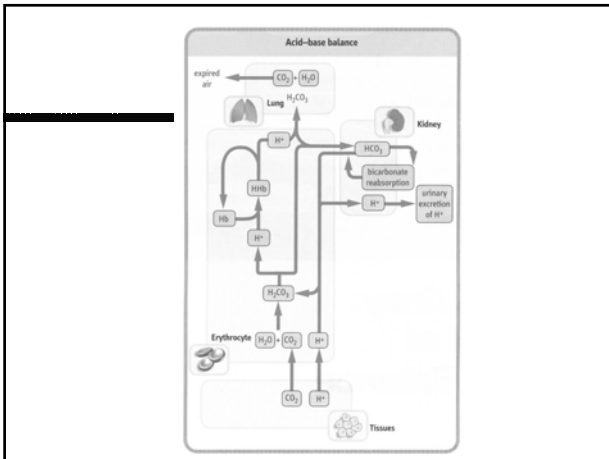
---

---

---

---

---




---

---

---

---

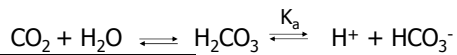
---

---

---

---

### Hydrogenuhličitanový pufr



$$K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \sim \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{CO}_2]_t}$$

pH  
pCO<sub>2</sub>

$$\text{p}K_a = \text{pH} + \log \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

pK<sub>a</sub>' = 6.1 plasma, krev (37 °C)

$$\text{pH} = 7.4 \Rightarrow \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]} \sim 0.05 !$$

---

---

---

---

---

---

---

---

### důležité si uvědomit!

- $\text{pH} = \text{p}K_a \Rightarrow \begin{matrix} [\text{A}^-] = [\text{HA}] \\ \text{[deprotonovaný]} = \text{[protonovaný]} \end{matrix}$
- $\text{pH} < \text{p}K_a \Rightarrow \begin{matrix} [\text{A}^-] < [\text{HA}] \\ \text{[deprotonovaný]} < \text{[protonovaný]} \end{matrix}$
- $\text{pH} > \text{p}K_a \Rightarrow \begin{matrix} [\text{A}^-] > [\text{HA}] \\ \text{[deprotonovaný]} > \text{[protonovaný]} \end{matrix}$

⇔⇔⇔ výhoda hydrogenuhličitanového pufru – špatný pufr pro nízké [H<sup>+</sup>], naštěstí tělo hlavně tvoří H<sup>+</sup> (+ pufrací kapacita)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Fyziologické pufrы v jednotlivých kompartmentech

Ery	Plasma	IST	ICT
(Hb <sup>-</sup> , HbO <sup>-</sup> )	proteiny <sup>-</sup>		proteiny <sup>-</sup>
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

---

---

---

---

---

---

---

---

## Kombinovaný pufráční systém pufráční kapacita (plná krev)

Kombinovaný pufráční systém krve	rel. kapacita	pK <sub>a</sub>	
Hemoglobin (Hb/HbO <sub>2</sub> )	35 %	7.2	reagují pomalu
anorg. a org. fosfáty (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> / H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	5 %	6.8	
bílkoviny krevní plazmy (prot./proth)	7 %		
nehydrohenuhličitanové pufrы celkem	47 %		
erythrocytární hydrohenuhlič. systém	18 %		
plasmatický hydrohenuhlič. systém	35 %		
hydrohenuhličitanový systém plné krve (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	53 %	6.1	reagují rychle

---

---

---

---

---

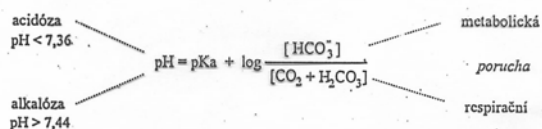
---

---

---

## Poruchy acidobazické rovnováhy

### Třídění poruch ABR



Podle časového projevu: akutní (dekompenzované)  
ustálené (kompenzované)  
kombinované

---

---

---

---

---

---

---

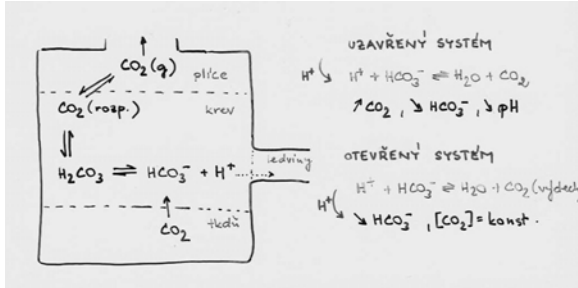
---

## acidobazická rovnováha

uzavřený vs. otevřený systém

$$[H^+] \sim \frac{pCO_2}{[HCO_3^-]}$$

$[H^+], pCO_2, [HCO_3^-] \sim \text{pH}$




---

---

---

---

---

---

---

---

## acidobazická rovnováha

uzavřený vs. otevřený systém

$$[H^+] \sim \frac{pCO_2}{[HCO_3^-]}$$

FYZIOLOG. HODNOTY  $[HCO_3^-] = 24 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 1.2 \text{ mmol/l}$   
 $pCO_2 = 5.33 \text{ kPa}$   
 $\text{pH} = 6.1 + 1.3 = 7.4$

+1 mmol  $H^+$ : uzavřený  $[HCO_3^-] = 23 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 2.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 6.1 + 1.0 = 7.1$

otevřený  $[HCO_3^-] = 23 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 1.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 6.1 + 1.28 = 7.38$

+1 mmol  $OH^-$ : uzavřený  $[HCO_3^-] = 25 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 0.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 6.1 + 2.1 = 8.2$

otevřený  $[HCO_3^-] = 25 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 1.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 7.42$

---

---

---

---

---

---

---

---

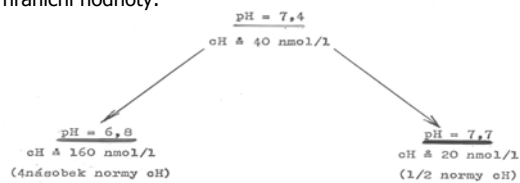
## acidobazická rovnováha

uzavřený vs. otevřený systém

+10 mmol/l  $H^+$ : uzavřený  $[HCO_3^-] = 14 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] = 11.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 6.2$

otevřený  $[HCO_3^-] = 14 \text{ mmol/l}$ ,  $[CO_2] < 1.2 \text{ mmol/l}$   
 $\text{pH} = 7.17$

hraniční hodnoty:




---

---

---

---

---

---

---

---

## Poruchy acidobazické rovnováhy

### ■ acidémie vs. alkalémie

### ■ acidosa vs. alkalosa

pH odráží rovnováhu mezi primární poruchou a účinností její kompenzace

- kompenzace – děje, kterými jeden systém nahrazuje porušenou funkci jiného systému
- korekce – pochody, kterými postižený systém upravuje vlastními prostředky parametry ABR k normě
- reparace – odstranění příčin

---

---

---

---

---

---

---

---

## Poruchy acidobazické rovnováhy

### METABOLICKÉ PORUCHY (změny v koncentraci $\text{HCO}_3^-$ v ECF)

#### Metabolická acidosa ( $\downarrow \text{HCO}_3^-$ )

- poškození ledvin (porušené vylučování  $\text{H}^+$  ledvinami)
- zvýšená produkce  $\text{H}^+$  - diabetická ketoacidosa  
otrava - (požití kyselin nebo látek, které se na kyseliny metabolizují - salicyláty, methanol, ethylenglykol)
- ztráta  $\text{HCO}_3^-$  (průjem)

#### Metabolická alkalosa ( $\uparrow \text{HCO}_3^-$ )

- ztráta silných kyselin (zvracení, odsávání žaludečního obsahu)
- vysoký příjem  $\text{HCO}_3^-$  nebo jiných alkalizujících látek
- vysoký příjem organických solí (Na-laktát, Na-citrát)  $\Rightarrow$  anion organické povahy je metabolicky zpracován na  $\text{CO}_2$  a vodu (při dostatku  $\text{O}_2$ ).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Poruchy acidobazické rovnováhy

### RESPIRAČNÍ PORUCHY

primární příčina jsou změny v  $\text{pCO}_2$  v arteriální krvi.

#### Respirační acidosa ( $\uparrow \text{pCO}_2$ )

- ztížené vydechování, hypoventilace, obstrukce (bronchitida, nádor, záněty), extrapulmonální poškození (pneumotorax)

#### Respirační alkalosa ( $\downarrow \text{pCO}_2$ )

zvětšený výdej  $\text{CO}_2$  organismem - příčinou bývá hyperventilace

- přímé dráždění dýchacího centra (emoce, infekce)
- reflexní dráždění resp. centra z chemoreceptorů (nejč. nedostatek  $\text{O}_2$  a z toho plynoucí hypoxémie)
- stimulace  $\text{H}^+$  ionty

---

---

---

---

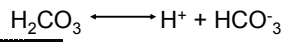
---

---

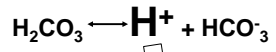
---

---

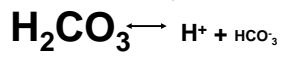
## regulace acidobazické rovnováhy



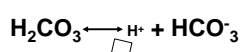
Acidosa ( $\uparrow \text{H}^+$ )



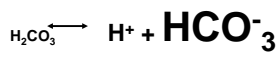
*kompenzace*



Alkalosa ( $\downarrow \text{H}^+$ )



*kompenzace*



---

---

---

---

---

---

---

---