Acidobazická rovnováha

homeostasa H^+ iontů

Regulace vnitřního prostředí

- Udržování osmotické koncetrace 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
tračníková 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 a bází 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 !!!**

fyziologické hodnoty 35 - 45 nmol/l H^+ **~ pH 7.34 – 7.43**

Pufrační systémy

- Pufr = roztok slabé kyseliny a její soli, která je schopna vázat H^+

Hendersen-Hasselbalchova rovnice:

$$HA \underset{}{\overset{K_a}{\rightleftharpoons}} A^- + H^+$$

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

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

!neodstraní H+ z těla !

likviduje" aktuální nadbytek ⇨ pouze dočasné řešení ⇨ vyloučení močí

pKa=7	pH	< pKa	= pKa	> pKa
	A/AH	**1/99**	**50/50**	**99/1**
	pH	**5.00**	**7.00**	**9.00**
+0.5 H+	**pH**	**4.70**	**6.99**	**8.82**
+1 H+	**pH**	**0.00**	**6.98**	**8.69**
+10 H+	**pH**	**-**	**6.82**	**7.91**

Transport CO_2 ~ 20 000 mmol/24 h

- Transport v plasmě — nedostačující

1. <u>Rozpouštění</u> (~ pCO_2)

   C_s pro CO_2 =0.226 mmol/l.kPa (37 °C)

   $pCO_{2\ kapil}$ = 6.1 kPa
   $pCO_{2\ arter}$ = 5.3 kPa
   } Δ = 0.8 kPa ⇨ 0.18 mmol/l

2. <u>Hydratace</u>

   $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$

3. <u>Tvorba karbaminátů</u>

   $R\text{-}NH_2 + CO_2 \rightleftharpoons R\text{-}NH\text{-}COO^- + H^+$

Transport CO_2 ~ 20 000 mmol/24 h

- Transport v erythrocytech

1. Rozpouštění (viz plasma)
2. Hydratace

$$CO_2 + H_2O \xrightleftharpoons{E} H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3$$

E = karbonátdehydratasa *(~~karbonátanhydratasa~~)*
plicní alveoly, Ery, tubulární buňky..
⇨ Běží 13 tis. rychleji

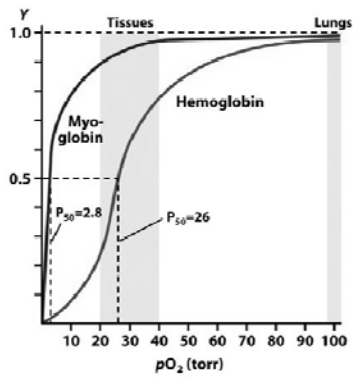
3. Tvorba karbaminátů (Hb)

$$R\text{-}NH_2 + CO_2 \rightleftharpoons R\text{-}NH\text{-}COO^- + H^+$$

Transport CO_2 (mmol/l)

	arteriální	venosní
celá krev	21.5	23.5
plasma	***15.9***	***17.0***
rozpuštěno	0.7	0.8
HCO_3^-	**15.2**	**16.2**
Erythrocyty	***5.6***	***6.2***
rozpuštěno	0.3	0.4
HCO_3^-	4.3	4.4
karbamináty	1.0	1.4

Hemoglobin vers. myoglobin

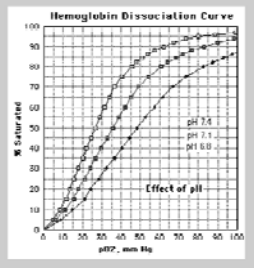


Hemoglobin — Bohrův effekt (1904)

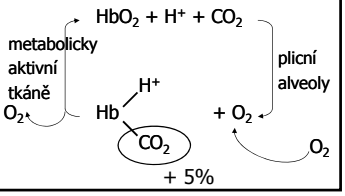
$pK_{a\ deoxy} = 7.82$
$pK_{a\ oxy} = 6.17$

$$Hb(O_2)_n + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_{n+1} + xH^+$$

n = 0,1,2,3 ; x ~ 0.6



kapiláry ⇗ H^+
plíce ⇗ pO_2

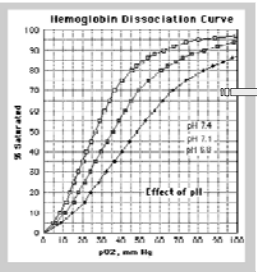


Hemoglobin — Bohrův effekt (1904)

$pK_{a\ deoxy} = 7.82$
$pK_{a\ oxy} = 6.17$

$$Hb(O_2) + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_{n+1} + xH^+$$

n = 1,2,3 ; x ~ 0.6



posun

←	→
⇗ pH	⇘ pH
⇘ pCO_2	⇗ pCO_2
⇘ T	⇗ T
⇘ 2,3-BPG	⇗ 2,3-BPG

Vztahy Hb – O_2:

1. Změna kyselosti
2. Vazba či uvolňování H^+
3. Vazba CO_2

Hydrogenuhličitanový pufr

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \overset{K_a}{\rightleftharpoons} H^+ + HCO_3^-$$

$$K_a = \frac{[HCO_3^-]\,[H^+]}{[H_2CO_3]} \sim \frac{[HCO_3^-]\,[H^+]}{[CO_2]_t}$$

pH

pCO_2

$$pK_a = pH + \log \frac{[CO_2]}{[HCO_3^-]}$$

$pK_a' = 6.1$ plasma, krev (37 °C)

pH = 7.4 ⇨ $\frac{[CO_2]}{[HCO_3^-]} \sim$ **0.05** **!**

důležité si uvědomit!

- $pH = pK_a$ ⇨ $[A^-] = [HA]$
- $pH < pK_a$ ⇨ $[A^-] < [HA]$
- $pH > pK_a$ ⇨ $[A^-] > [HA]$

⇨⇨⇨ výhoda hydrogenuhličitanového pufru – špatný pufr pro nízké $[H^+]$, naštěstí tělo hlavně tvoří H^+ (+ pufrační kapacita)

Fyziologické pufry v jednotlivých kompartmentech

Ery	Plasma	IST	ICT
(Hb^-, HbO^-)	*proteiny* $^-$		proteiny $^-$
HPO_4^{2-}	HPO_4^{2-}	HPO_4^{2-}	HPO_4^{2-}
HCO_3^-	HCO_3^-	HCO_3^-	HCO_3^-

Kombinovaný pufrační systém

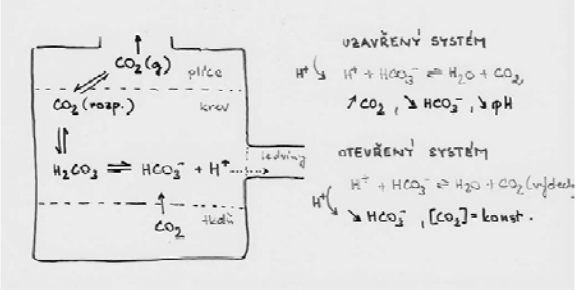
pufrační kapacita (plná krev)

Kombinovaný pufrační systém krve	rel. kapacita	pK_a	
Hemoglobin (Hb/HbO_2)	35 %	7.2	reagují pomalu
anorg. a org. fosfáty (HPO_4^{2-}/ $H_2PO_4^-$)	5 %	6.8	
bílkoviny krevní plasmy ($prot^-/protH$)	7 %		
nehydrogenuhličitanové pufry celkem	47 %		
erythrocytární hydrogenuhličit. systém	18 %		
plasmatický hydrogenuhličit. systém	35 %		
hydrogenuhličitanový systém plné krve ($HCO_3^-/CO_2 + H_2CO_3$)	53 %	6.1	reagují rychle

acidobazická rovnováha
uzavřený vs. otevřený systém

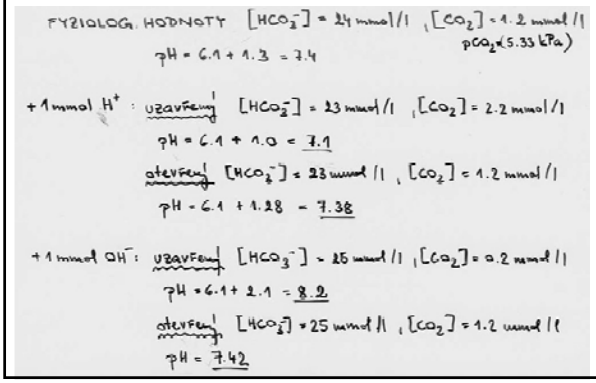
$[H^+] \sim \frac{pCO_2}{[HCO_3^-]}$

⇗[H⁺] , ⇗ pCO_2, ⇘ $[HCO_3^-]$, ~ ⇘ pH

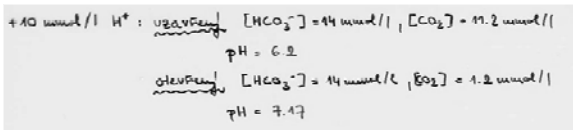


acidobazická rovnováha
uzavřený vs. otevřený systém

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



acidobazická rovnováha
uzavřený vs. otevřený systém



hraniční hodnoty:

pH ~ **7.4**

($[H^+]_{fyz}$ ~ **40** nmol/l

pH ~ **6.8**

($[H^+]$ ~ **160** nmol/l

4 x $[H^+]_{fyz}$

pH ~ **7.7**

($[H^+]$ ~ **20** nmol/l

½ $[H^+]_{fyz}$

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 HCO_3^- v ECF)

Metabolická acidosa ($\downarrow HCO_3^-$)
- poškození ledvin (porušené vylučování H^+ ledvinami)
- zvýšená produkce H^+ - diabetická ketoacidosa
  otrava - (požití kyselin nebo látek, které se na kyseliny metabolizují-salicyláty, methanol, ethylenglykol)
- ztráta HCO_3^- (průjem)

Metabolická alkalosa ($\uparrow HCO_3^-$)
- ztráta silných kyselin (zvracení, odsávání žaludečního obsahu)
- vysoký příjem HCO_3^- nebo jiných alkalizujících látek
- vysoký příjem organických solí (Na-laktát, Na-citrát) $\Rightarrow$ anion organické povahy je metabolicky zpracován na CO_2 a vodu (při dostatku O_2).

Poruchy acidobazické rovnováhy

RESPIRAČNÍ PORUCHY
primární příčinou jsou změny v pCO_2 v arteriální krvi.

Respirační acidosa ($\Uparrow pCO_2$)
- ztížené vydechování, hypoventilace, obstrukce (bronchitis, nádor, záněty), extrapulmonální poškození (pneumotorax)

Respirační alkalosa ($\Downarrow pCO_2$)
zvětšený výdej CO_2 organismem - příčinou bývá hyperventilace

- přímé dráždění dýchacího centra (emoce, infekce)
- reflexní dráždění resp. centra z chemoreceptorů (nejč. nedostatek O_2 a z toho plynoucí hypoxémie)
- stimulace H^+ ionty

regulace acidobazické rovnováhy

$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3$

Acidosa (↑H^+)

$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3$

kompenzace

$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3$

Alkalosa (↓H^+)

$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3$

kompenzace

$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO^-_3$