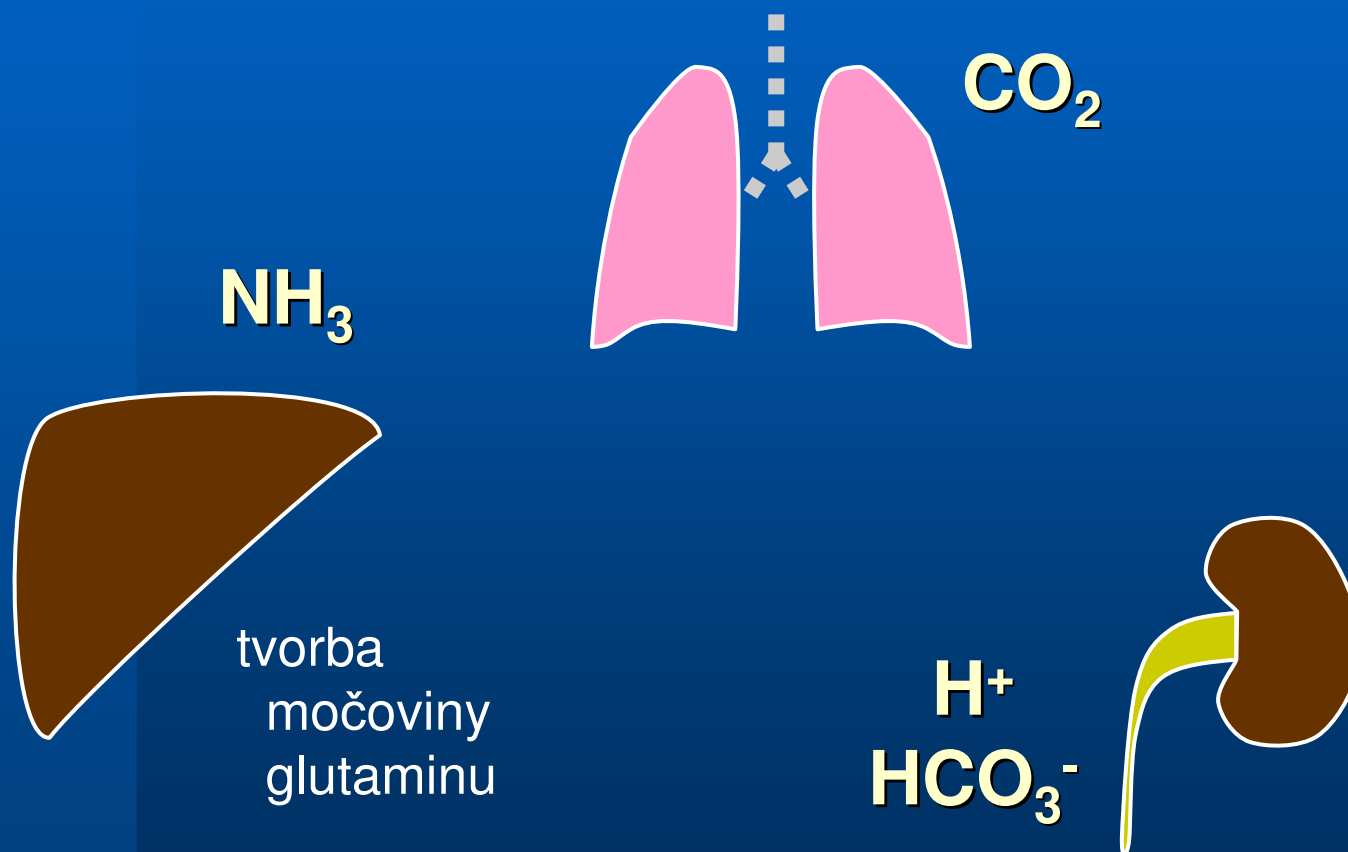


Poruchy acidobazické rovnováhy

Patobiochemie a diagnostika poruch
ABR a iontového hospodářství

Regulace kyselosti vnitřního prostředí



Bikarbonátový pufr



Hendersonova-Hasselbalchova rovnice

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

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

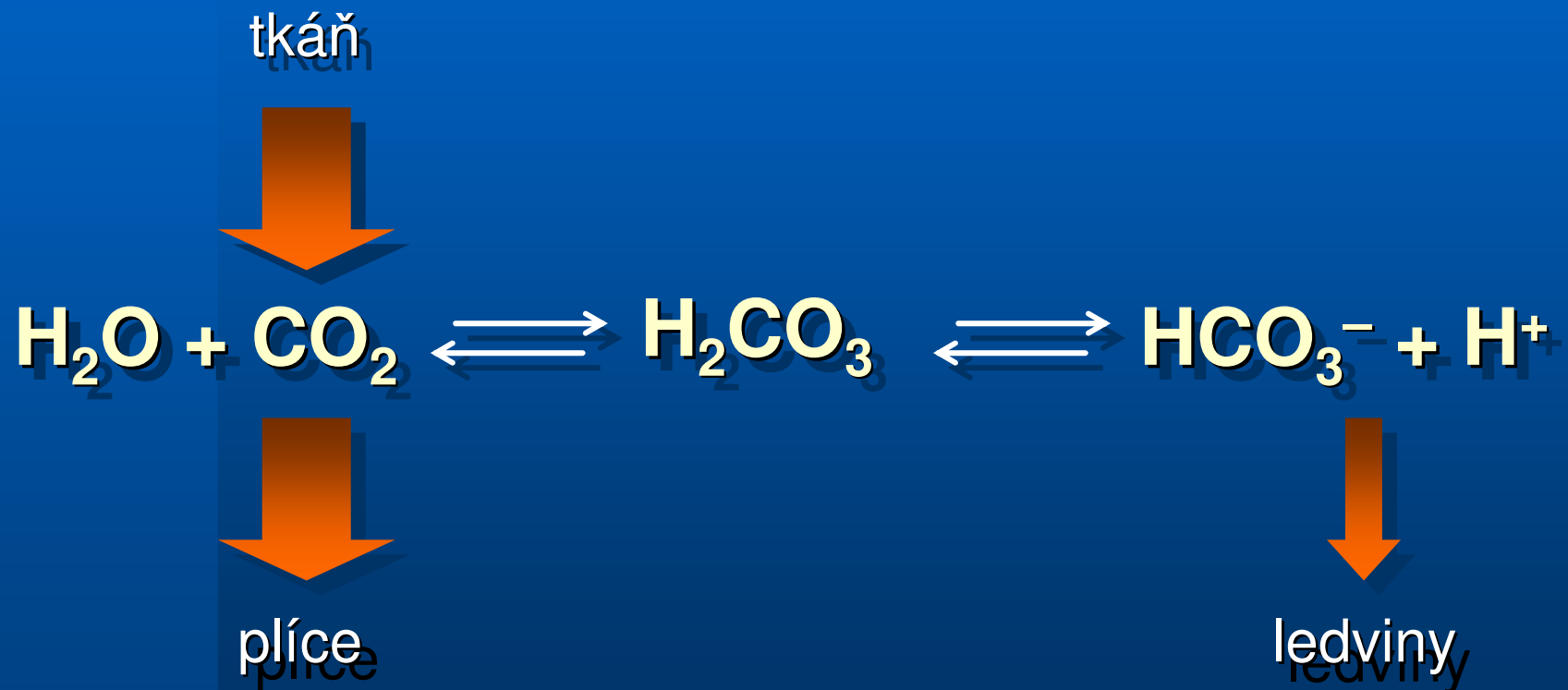
$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 20$$

Hendersonova-Hasselbalchova rovnice

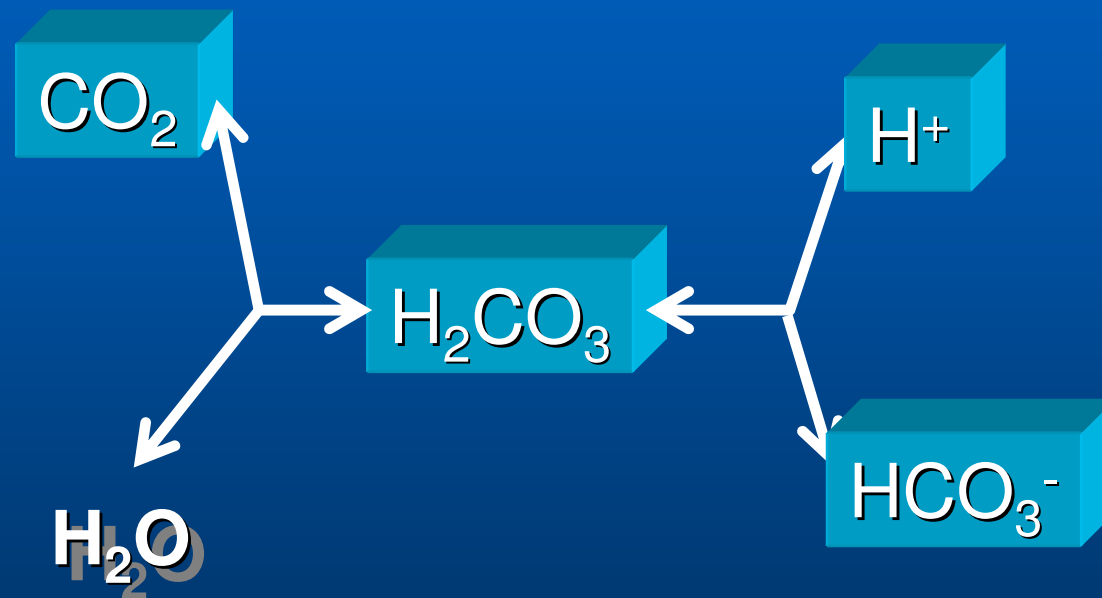
$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\alpha \cdot \text{pCO}_2}$$

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

Bikarbonátový pufr

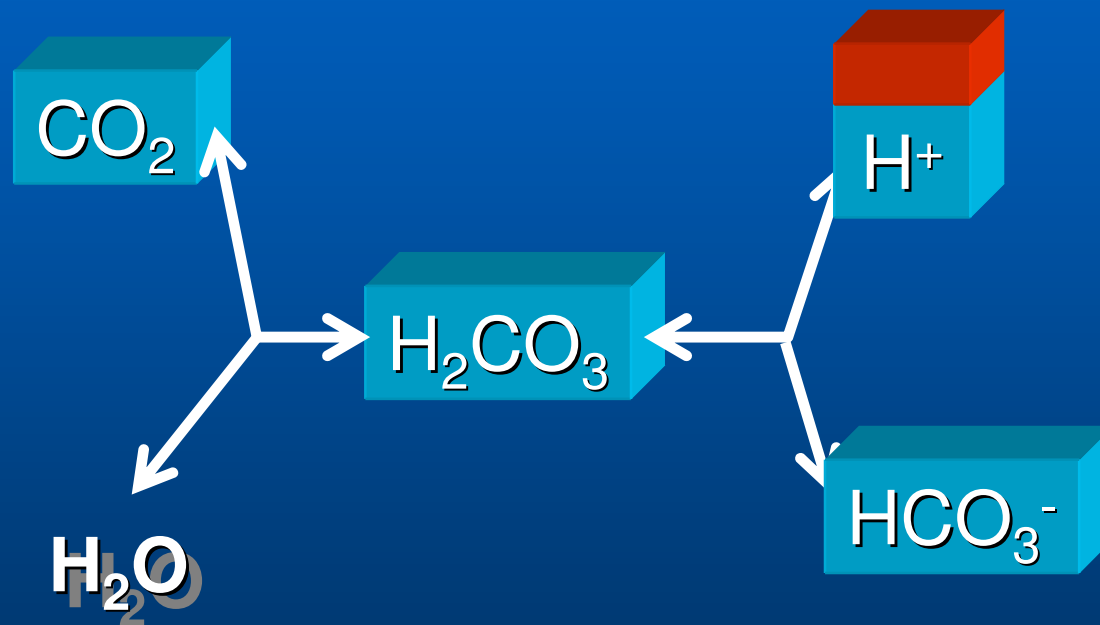


Bikarbonátový pufr

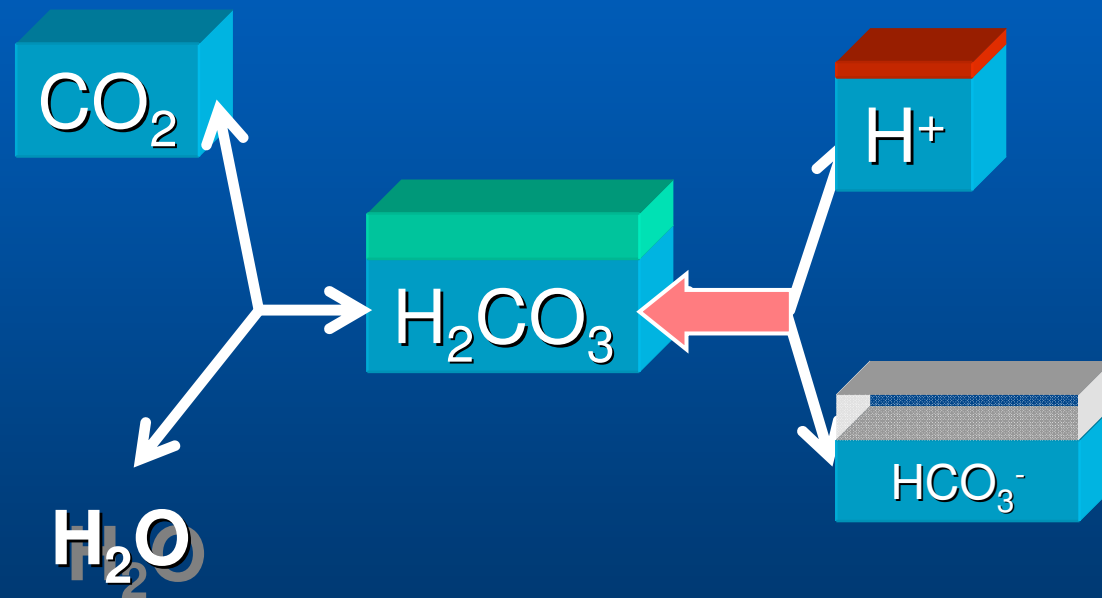


Pozn.: Velikost „krabiček“ v tomto obrázku nemá stálé měřítko!

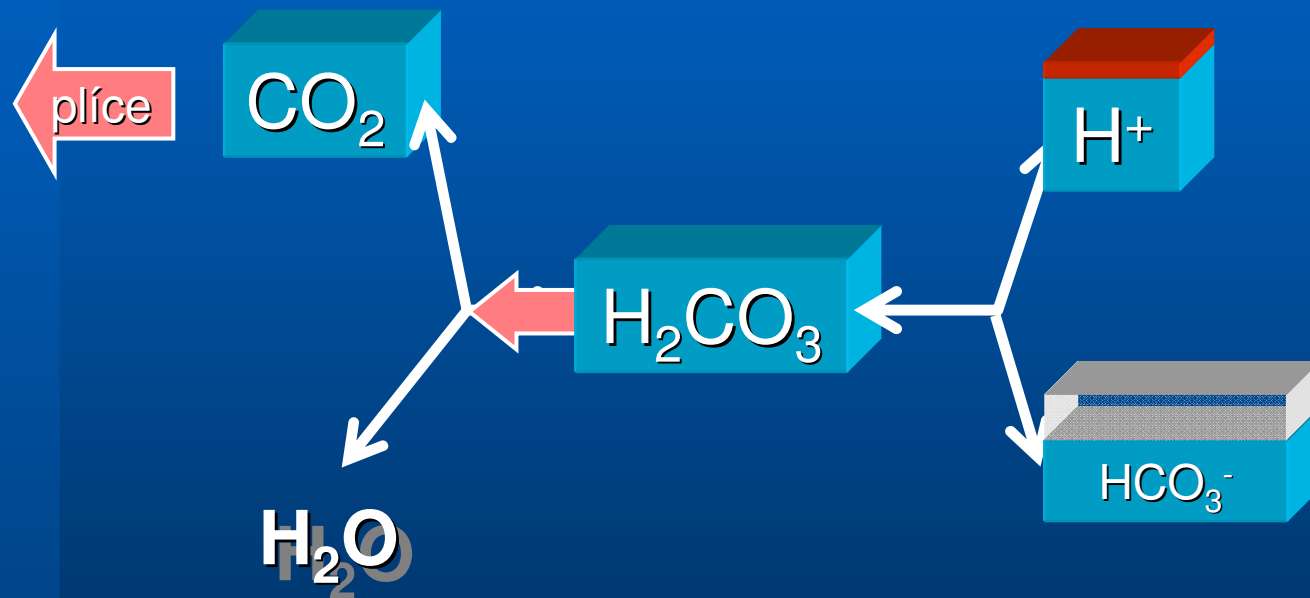
Bikarbonátový pufr



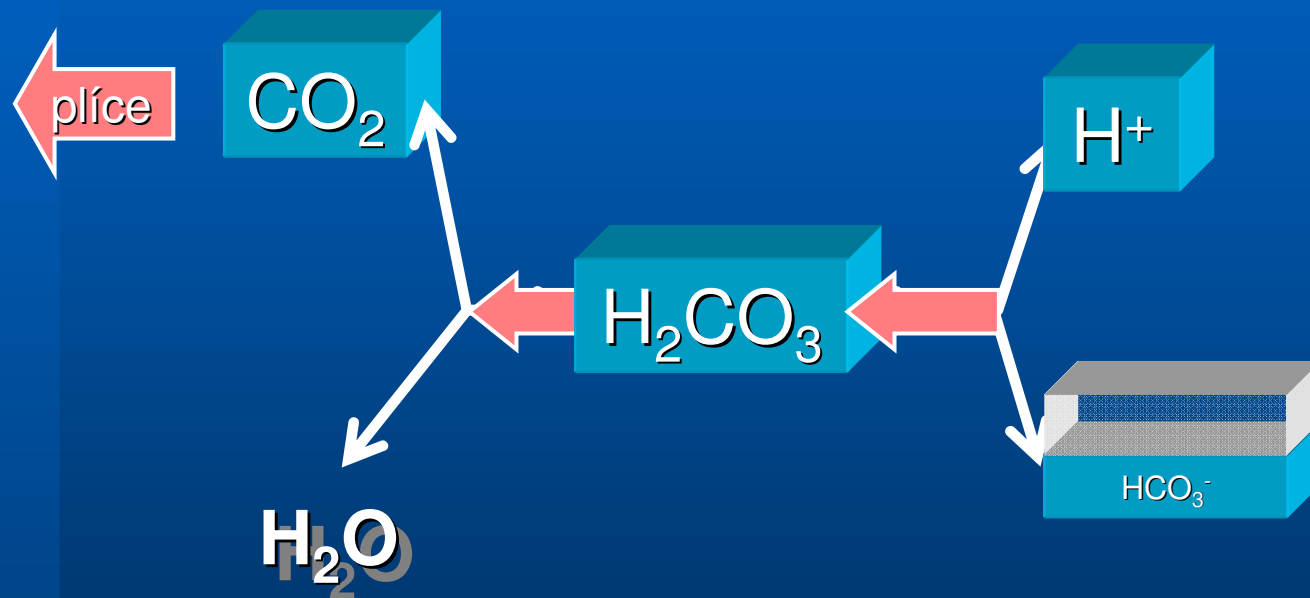
Bikarbonátový pufr



Bikarbonátový pufr



Bikarbonátový pufr



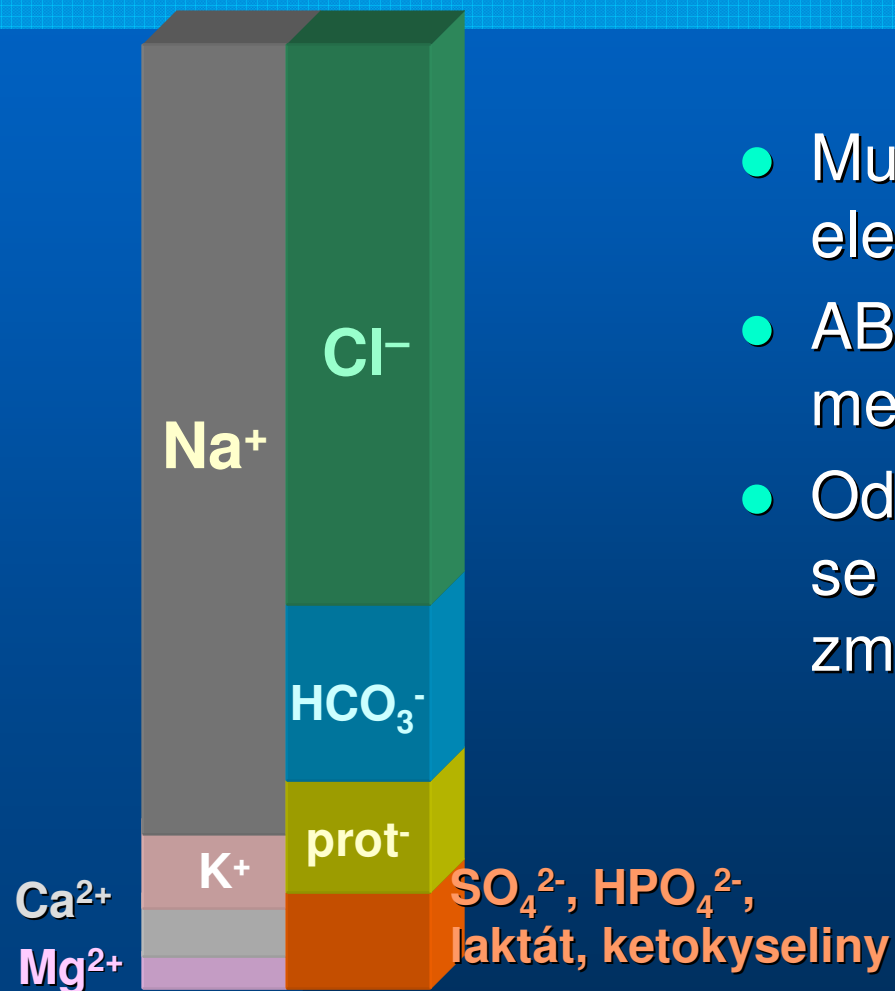
ABR a draslík

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

ABR a vápník

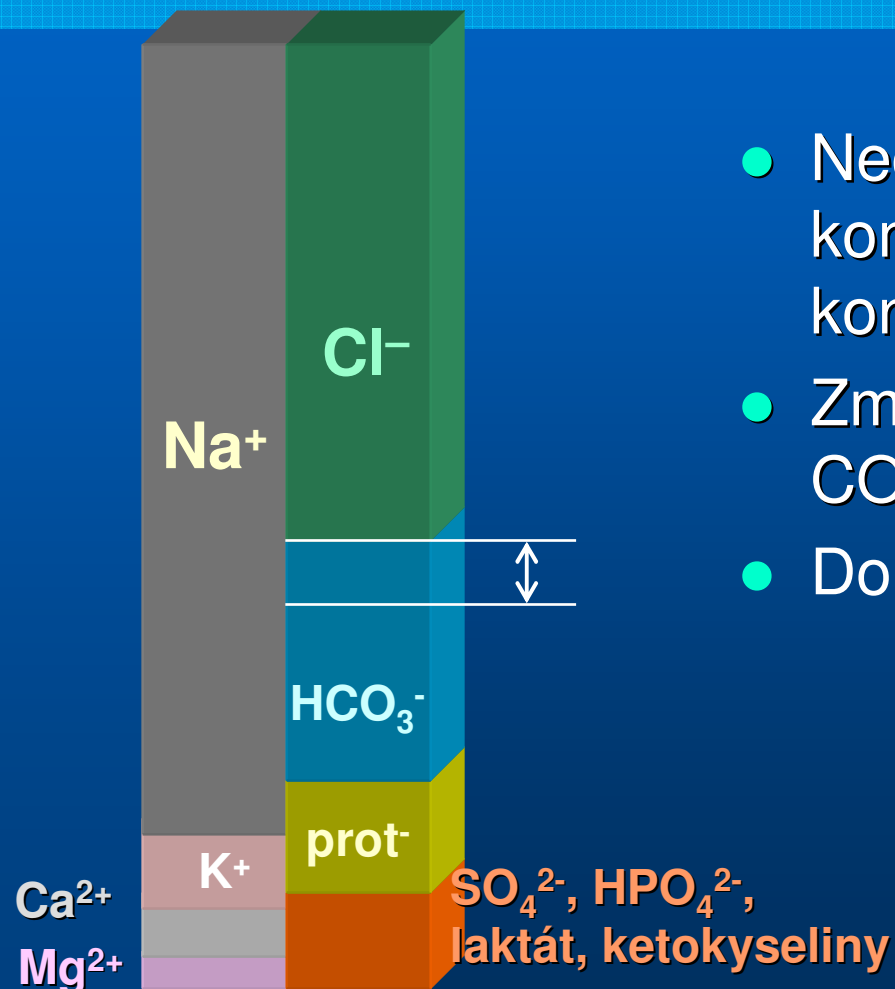
- **Výměna H^+ a Ca^{2+} vázaných na plazmatických bílkovinách**
- **acidémie → hyperkalcémie**
- **alkalémie → hypokalcémie**

ABR a ionty



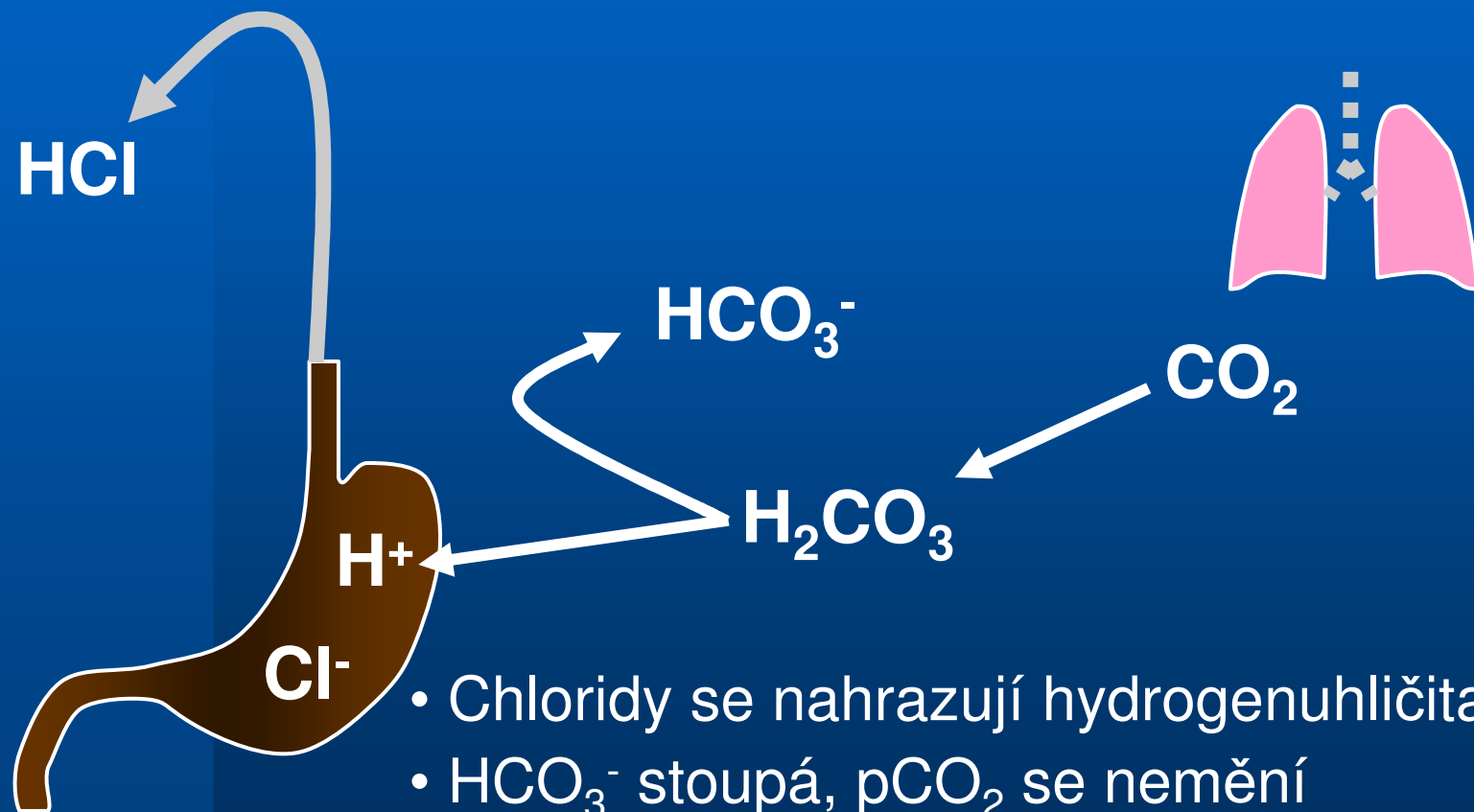
- Musí být zachována elektroneutralita
- ABR tak ovlivňuje minerálový metabolismus
- Odchytky koncentrace iontů se nejnáze kompenzují změnou koncentrace HCO_3^-

Hypochloremická alkalóza



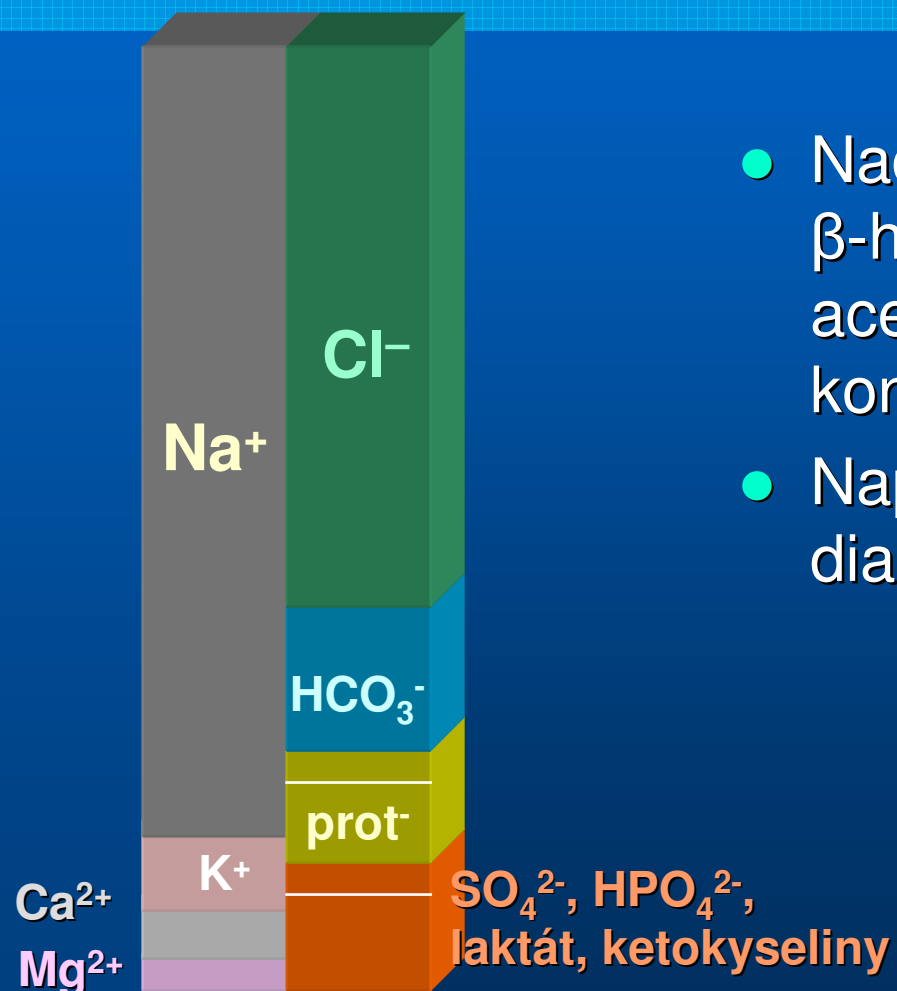
- Nedostatek Cl⁻ je kompenzován zvýšením koncentrace HCO₃⁻
- Změna poměru bikarbonátu a CO₂ vede k alkalóze
- Doprovází např. zvracení

Hypochloremická alkalóza



- Chloridy se nahrazují hydrogenuhličitany
- HCO₃⁻ stoupá, pCO₂ se nemění

Ketoacidóza



- Nadbytek kyseliny β -hydroxymáselné a acetocové způsobí pokles koncentrace bikarbonátu
- Např. dekompenzovaný diabetes mellitus, hladovění...

Acidobazická rovnováha

Neuvažuj v první řadě o změně
koncentrace

~~H⁺ nebo OH⁻~~

ale o změně

koncentrace hlavních iontů

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

Poruchy ABR

- **Acidémie, alkalémie**
 - odchylka pH krve od normy
- **Acidóza, alkalóza**
 - přebytek/nedostatek kyselin/bazí

Alkalémie

- $\downarrow \text{Ca}^{2+} \rightarrow \uparrow$ neuromuskulární dráždivosti
- $\downarrow \text{K}^+ \rightarrow$ poruchy srdečního rytmu
- Posun disociační křivky hemoglobinu
 \rightarrow hypoxie tkání

Poruchy ABR

- **Kompenzace**

- Metabolická porucha se kompenzuje respirací a naopak

- **Korekce**

- metabolická porucha se koriguje metabolicky

Rozvoj kompenzačních mechanismů:

- respirace: 12 až 24 hodin
- ledviny: asi 5 dní

Metabolická acidóza (MAC)

- **Laktátová acidóza**
 - hypoxie, snížené odbourávání laktátu
- **Ketoacidóza**
 - diabetes, hladovění, alkoholismus...
- **Renální acidóza**
 - hromadění sulfátů, fosfátů
- **Intoxikace**

MAC ze ztrát HCO_3^-

- **Průjmy a jiné ztráty z GIT**
- **Renální tubulární acidóza**
 - porucha resorpce HCO_3^- v tubulech
- **Diluční acidóza**
 - podání většího množství infuzí bez nárazníkového systému
(pCO_2 konstantní, HCO_3^- se rychle naředí)

Princip léčby MAC

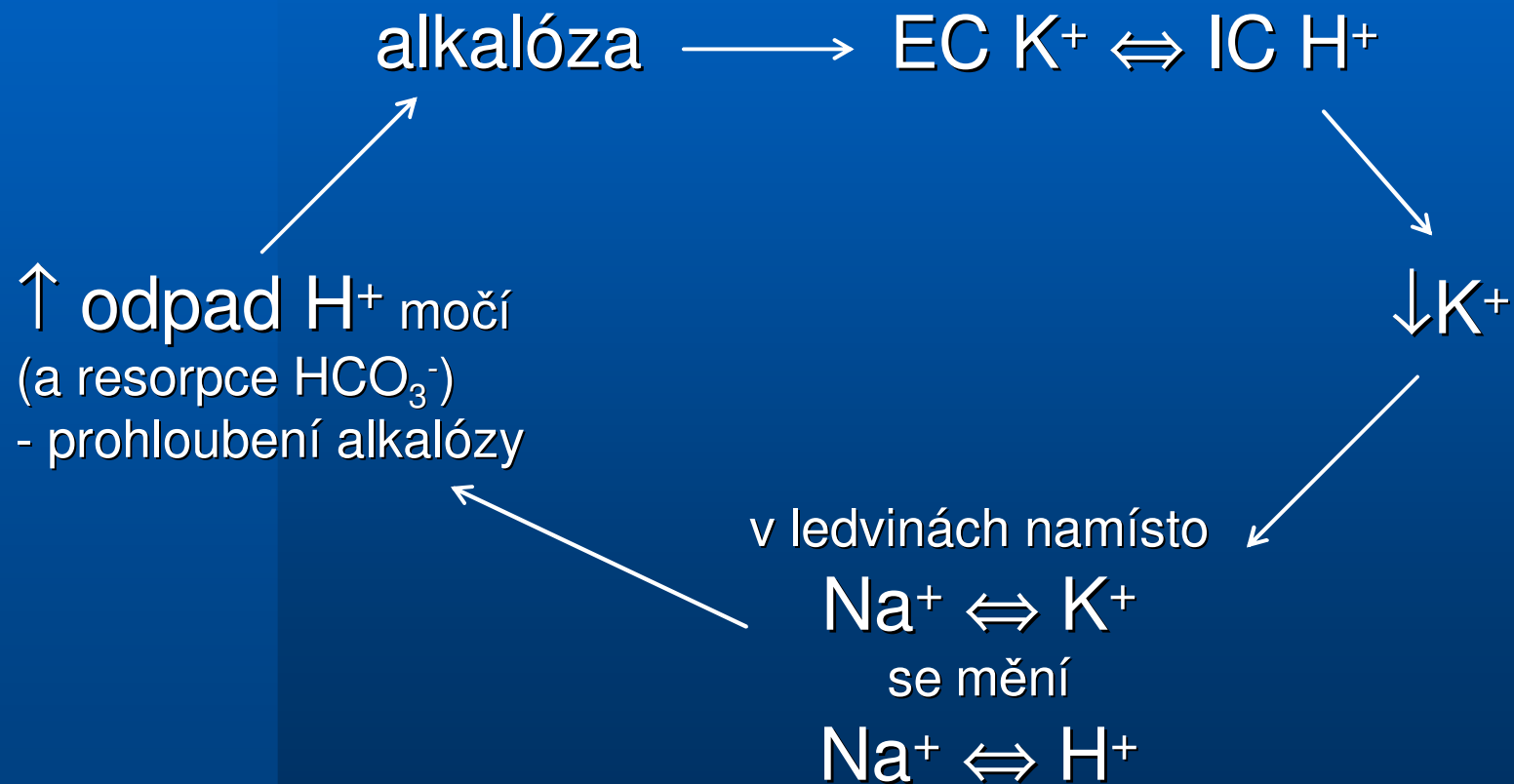
- **NaHCO₃**
- **soli organických kyselin**
 - org. kyseliny se metabolizují v Krebsově cyklu na HCO₃⁻

Ringerův roztok s laktátem

Metabolická alkalóza (MAL)

- **Nadměrné ztráty chloridů**
 - zvracení, některá diuretika
- **Dehydratace (koncentrační alkalóza)**
- **Hypoproteinémie**
- **Hyperaldosteronismus**
 - retence Na^+ na úkor K^+ a H^+

Paradoxní acidurie



Princip léčby MAL

- **Argininchlorid**
- **NaCl**
 - doplnění Cl^-
 - místo NaH_2PO_4 se vylučuje Na_2HPO_4
 - diluce HCO_3^-
- **KCl**
 - navíc i korekce hypokalémie

Vyšetření podle Astrupa

7,4

5,3

24,0

24,0

0,0

12,0

98,0

27,0

Vyšetření podle Astrupa

pH

7,4

5,3

24,0

24,0

0,0

12,0

98,0

27,0

- Aktuální pH krve

NH: $7,40 \pm 0,04$

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4
pCO ₂	5,3 kPa
	24,0
	24,0
	0,0
	12,0
	98,0
	27,0

- Parciální tlak CO₂
NH: 5,3 ± 0,5 kPa
– Respirační složka

Vyšetření podle Astrupa

pH 7,4

pCO₂ 5,3 kPa

HCO₃⁻ akt. 24,0 mmol.l⁻¹

24,0

0,0

12,0

98,0

27,0

● Aktuální

hydrogenuhličitany

NH: 24 ± 2 mmol.l⁻¹

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4
pCO ₂	5,3 kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	24,0 mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,0 mmol.l ⁻¹
	0,0
	12,0
	98,0
	27,0

- Standardní HCO₃⁻ kolik by bylo HCO₃⁻ při nasycení krve na 5,3 kPa CO₂
NH: 24 ± 2 mmol.l⁻¹

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4	
pCO ₂	5,3	kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	24,0	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,0	mmol.l ⁻¹
BE	0,0	mmol.l ⁻¹
	12,0	
	98,0	
	27,0	

- Přebytek bazí (base excess)
kolik by bylo nutné přidat silné kyseliny při nasycení krve na pCO₂ = 5,3 kPa, aby pH = 7,4
NH: 0 ± 2,5 mmol.l⁻¹
– Metabolická složka

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4
pCO ₂	5,3 kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	24,0 mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,0 mmol.l ⁻¹
BE	0,0 mmol.l ⁻¹
pO ₂	12,0 kPa
	98,0
	27,0

- Parciální tlak O₂
NH: 10,0 - 13,3 kPa
– Podíl respirace na
změnách ABR

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4
pCO ₂	5,3 kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	24,0 mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,0 mmol.l ⁻¹
BE	0,0 mmol.l ⁻¹
pO ₂	12,0 kPa
sat. O ₂	98,0 %
	27,0

- Saturace hemoglobinu kyslíkem
NH: 94 - 99 %
 - Výhodný pro kontrolu validity výsledků

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,4	
pCO ₂	5,3	kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	24,0	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,0	mmol.l ⁻¹
BE	0,0	mmol.l ⁻¹
pO ₂	12,0	kPa
sat. O ₂	98,0	%
celk. CO ₂	27,0	mmol.l ⁻¹

- Celkové uhličitany,
tj. CO₂ + H₂CO₃ + HCO₃⁻

Vyšetření podle Astrupa

- **Plná heparinizovaná krev**
 - kapilární (arterializovaná)
 - arteriální
 - venózní

Vyšetření podle Astrupa

- **pH**
 - skleněná elektroda
- **Parciální tlak CO₂**
 - skleněná elektroda v roztoku bikarbonátu, od vzorku oddělena membránou propustnou pro CO₂
- **Parciální tlak O₂**
 - Clarkova kyslíková elektroda (polarografie)
- **Koncentrace a saturace hemoglobinu**
 - přímá fotometrie

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,423	
pCO ₂	4,88	kPa
HCO ₃ ⁻ akt.		mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.		mmol.l ⁻¹
BE		mmol.l ⁻¹
pO ₂	10,6	kPa
sat. O ₂	95,2	%
celk. CO ₂		mmol.l ⁻¹

Vyšetření podle Astrupa

pH	7,423	
pCO ₂	4,88	kPa
HCO ₃ ⁻ akt.	23,5	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	24,2	mmol.l ⁻¹
BE	-0,1	mmol.l ⁻¹
pO ₂	10,6	kPa
sat. O ₂	95,2	%
celk. CO ₂	20,3	mmol.l ⁻¹

- Krev není ideální roztok!

Selhání jater

- **Alkalóza**

- hypoproteinémie
- hyperaldosteronismus
- pokles ureosyntézy z amoniaku

Selhání ledvin

- **Acidóza**

- pokles eliminace fosfátů a sulfátů
- nedostatečná acidifikace moči

Kombinované poruchy ABR

- **MAC + MAL**

- zvracení + hladovění
- zvracení + průjem
- urémie + zvracení
- hepatorenální selhání

- **MAC + RAL**

- otrava salicyláty

Kombinované poruchy ABR

- **2× MAC**

- dekompenzovaný diabetes mellitus
ketoacidóza + hypovolémie → laktátová MAC

- **RAC + MAC**

- kardiopulmonální selhání

Kazuistika 1

pH	7,156		Na	141	mmol.l ⁻¹
pCO ₂	4,15	kPa	K	6,2	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ akt.	11,1	mmol.l ⁻¹	Cl	110	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	12,4	mmol.l ⁻¹	CB	58,8	g.l ⁻¹
BE	-15,7	mmol.l ⁻¹			
pO ₂	10,1	kPa			
sat. O ₂	90,8	%			
celk. CO ₂	12,1	mmol.l ⁻¹			

Kazuistika 2

pH	7,378		Na	141	mmol.l ⁻¹
pCO ₂	4,49	kPa	K	4,6	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ akt.	19,4	mmol.l ⁻¹	Cl	106	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	20,7	mmol.l ⁻¹	CB	65,7	g.l ⁻¹
BE	-4,4	mmol.l ⁻¹			
pO ₂	8,8	kPa			
sat. O ₂	92,4	%			
celk. CO ₂	16,9	mmol.l ⁻¹			

Kazuistika 3

pH	7,454		Na	137	mmol.l ⁻¹
pCO ₂	5,0	kPa	K	4,6	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ akt.	25,9	mmol.l ⁻¹	Cl	107	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	26,1	mmol.l ⁻¹	CB	48,8	g.l ⁻¹
BE	2,6	mmol.l ⁻¹			
pO ₂	5,2	kPa			
sat. O ₂	76,4	%			
celk. CO ₂	22,4	mmol.l ⁻¹			

Kazuistika 4

pH	7,39		Na	137	mmol.l ⁻¹
pCO ₂	3,94	kPa	K	5,8	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ akt.	17,5	mmol.l ⁻¹	Cl	???	mmol.l ⁻¹
HCO ₃ ⁻ std.	19,6	mmol.l ⁻¹	CB	62,3	g.l ⁻¹
BE	-5,7	mmol.l ⁻¹			
pO ₂	7,1	kPa			
sat. O ₂	87,2	%			
celk. CO ₂	15,3	mmol.l ⁻¹			

Poruchy acidobazické rovnováhy

Patobiochemie a diagnostika poruch
ABR a iontového hospodářství