



V O D A I O N T Y

© Biochemický ústav LF MU (V.P.) 2010

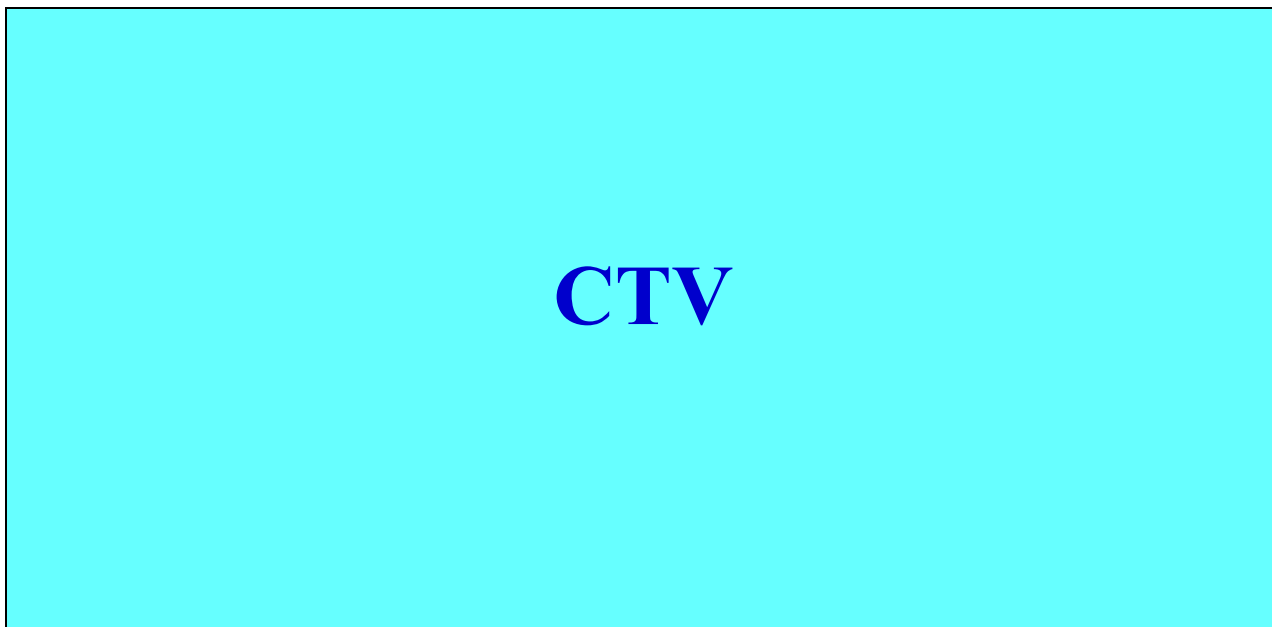
Celková tělesná voda :

hmotnost



60 %

(méně obvykle:
u žen počítáno
s 55 % hmotností)



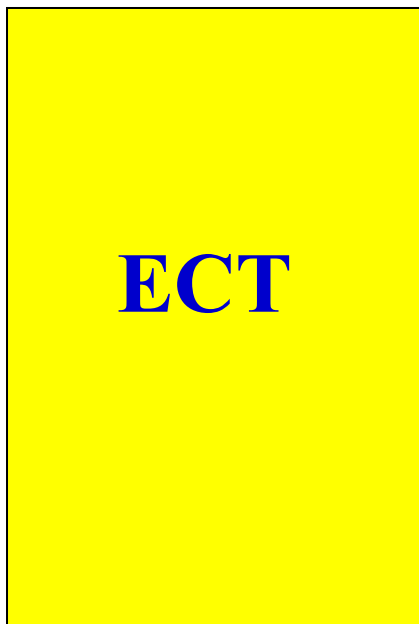
celková tělesná voda

ECT a ICT :

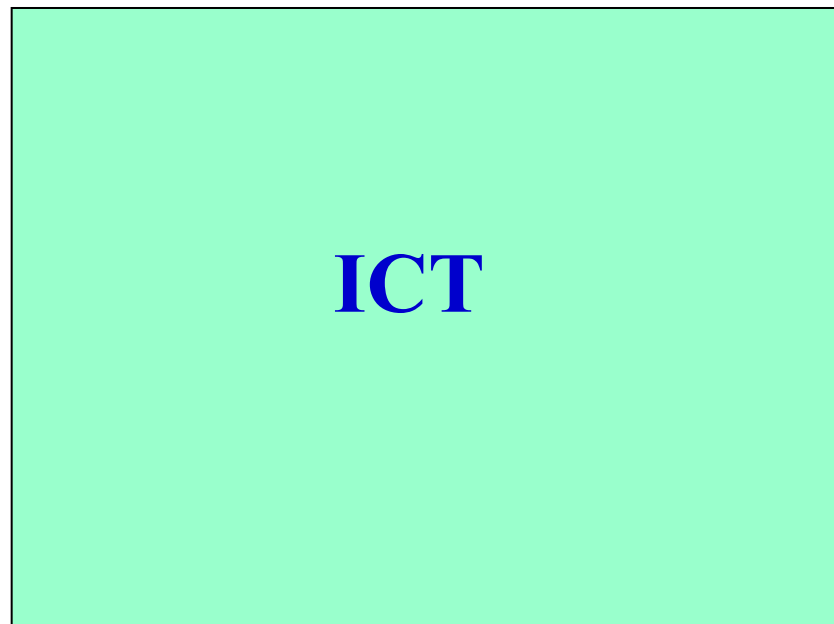
celková tělesná voda

$1/3$

$2/3$



extracelulární
tekutina



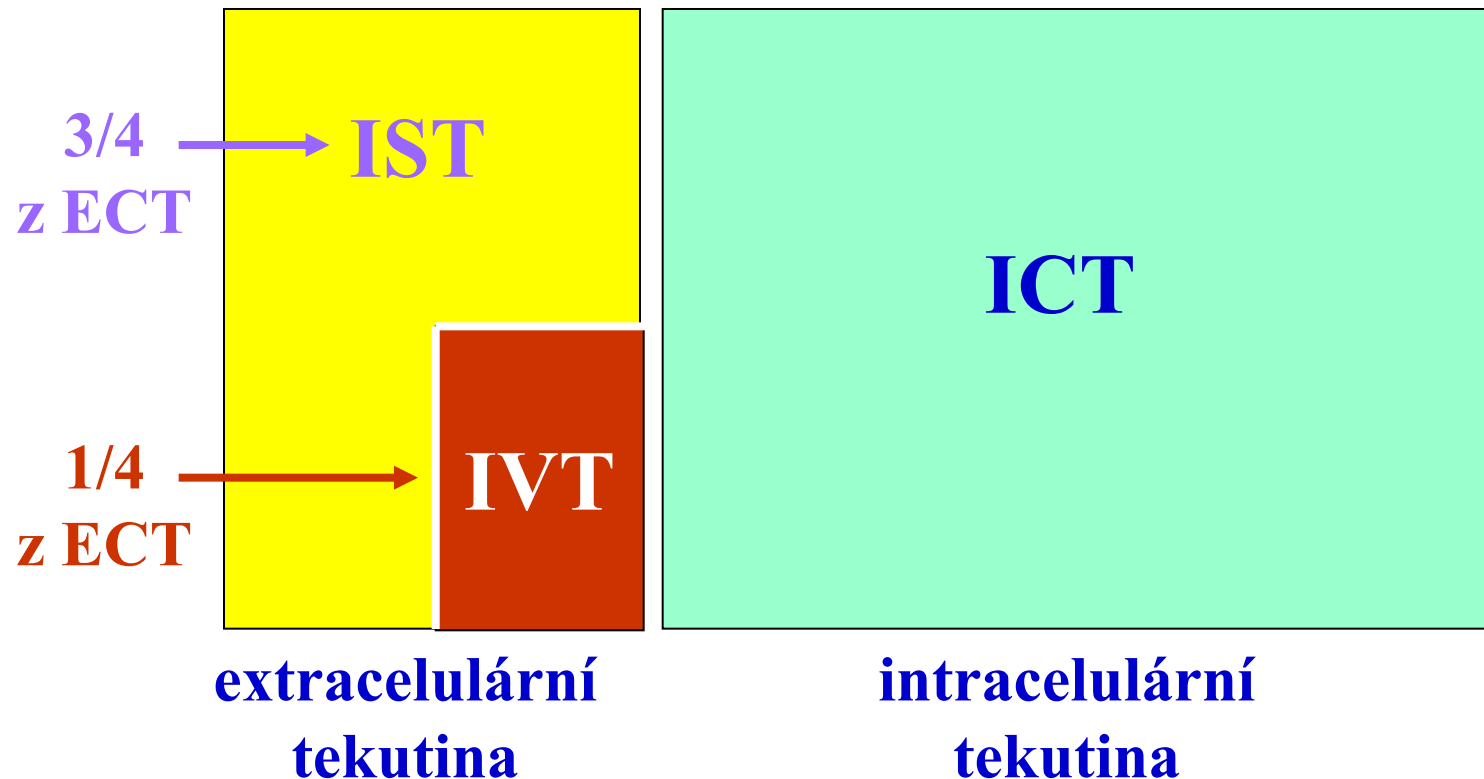
intracelulární
tekutina

Intravazální tekutina (IVT) :

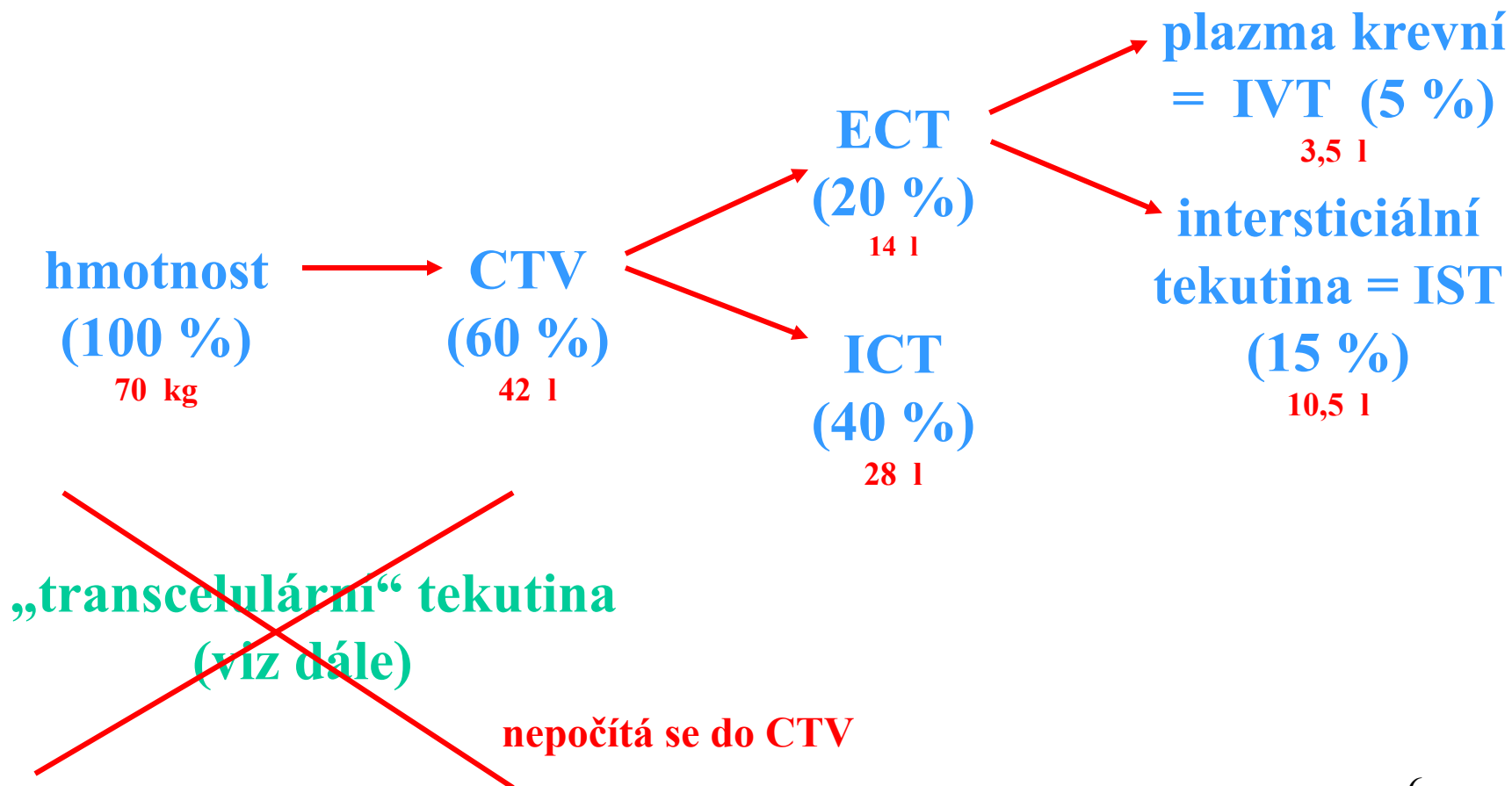
= plazma krevní,

= $\frac{1}{4}$ objemu ECT.

Zbylé $\frac{3}{4}$ objemu ECT tvoří intersticiální tekutina (IST)



Rekapitulace objemů tekutin vzhledem k hmotnosti :



„Transcelulární“ tekutina - poznámka :

Transcelulární prostor (také „terciární“ prostor) zahrnuje tekutinu ve střevech, v močových a žlučových cestách a v tělních dutinách.

U dospělého za normálních podmínek → cca 2 l tekutiny → cca 2 - 3% tělesné hmotnosti.

Transcelulární tekutina nabývá významu za některých patologických stavů (výpotek atd.), kdy event. může být po určitou dobu nerozpoznána.

Údaje o transcelulární tekutině (aktuální údaj pro daný okamžik) je nutno odlišit od (dynamických) údajů, týkajících se „obratu“ za 24 h – viz příklad:

Trávicí šťávy:	sliny	0,75	l . d ⁻¹
	žaludeční šťáva	2,5	l . d ⁻¹
	žluč	0,7	l . d ⁻¹
	pankreatická šťáva	0,7	l . d ⁻¹
	střevní šťáva	3	l . d ⁻¹
		<hr/>	
		(7,85	l . d ⁻¹)

CTV – změny s věkem :

	% tělesné hmotnosti
novorozenec	~ 79 (!)
1 rok	~ 65
10 – 50 let	~ 60
nad 50 let	pokles o 4 - 6

Pro značně vysoký obsah vody jsou malé děti extrémně citlivé na ztráty/nedostatek tekutin, které mohou poměrně snadno ohrozit jejich život !

Ionty v ECT a ICT :

ECT

$$\text{Na}^+ = 140 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{K}^+ = 4,4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Cl}^- = 100 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Ca}_{\text{celkový}} = 2,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{HCO}_3^- = 24 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^- &= \\ &= 1 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 0,5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{org. kyseliny} = 4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{proteiny} = 2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{pH} = 7,40$$

ICT

$$\text{Na}^+ = 10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{K}^+ = 155 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Cl}^- = 8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{Ca}^{2+} = 0,001 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ (cytosol)}$$

$$\text{Mg}^{2+} = 15 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{HCO}_3^- = 10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^- &= 65 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \\ &\text{(větší část v org. formě)} \end{aligned}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{org. kyseliny} = 2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

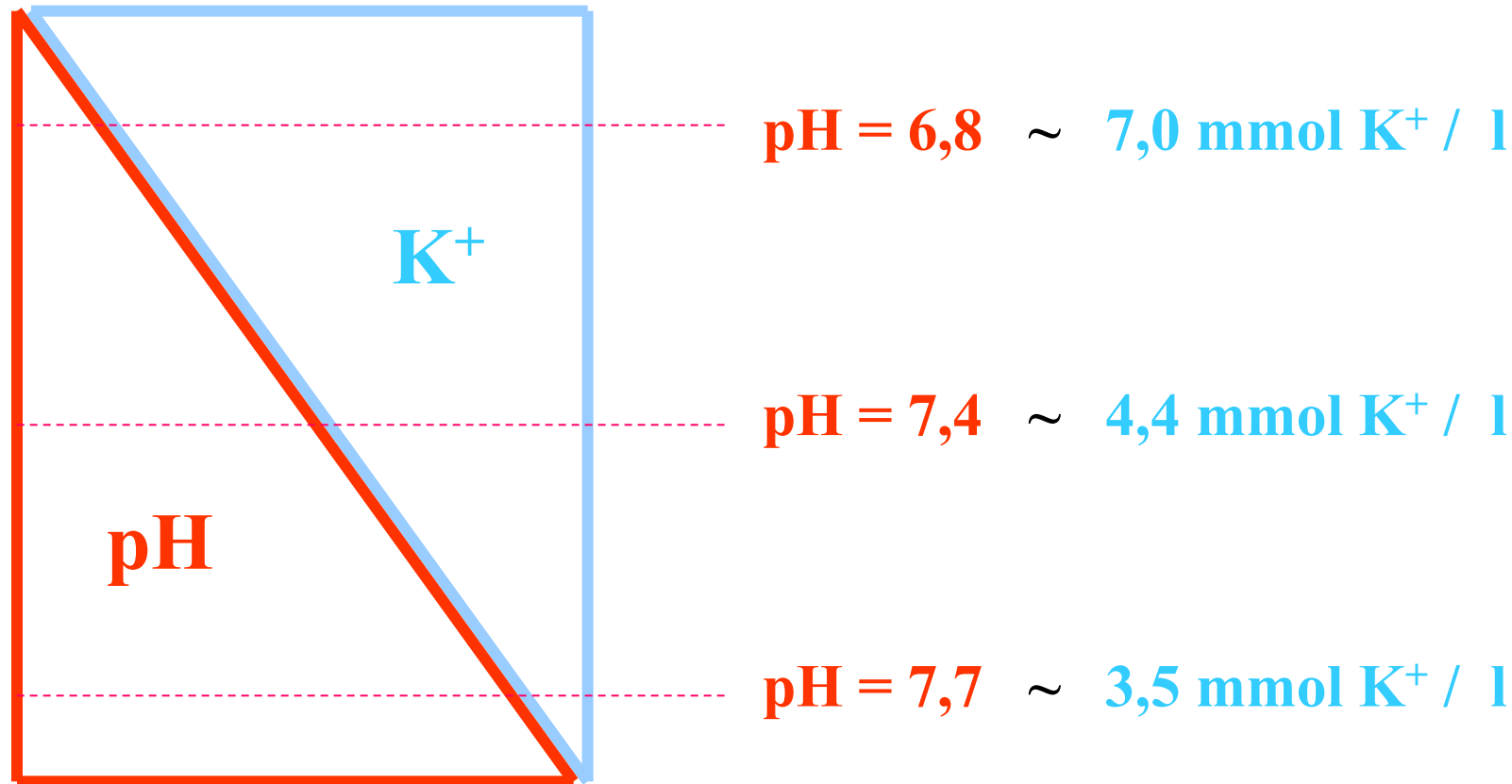
$$\text{proteiny} = 6 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{pH} = 7,20$$

Koncentrace elektrolytů v plasmě :

Krevní plasma	Na ⁺ mmol . l ⁻¹	K ⁺ mmol . l ⁻¹	Cl ⁻ mmol . l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mmol . l ⁻¹	Ca _{total} mmol . l ⁻¹	Mg ²⁺ mmol . l ⁻¹
rozpětí	130 – 143	4,0 – 5,5	95 -107	21 – 27	2 – 3	0,7 – 1
průměr	137 (140)	4,4	101 (100)	24	2,5	„1“

Koncentraci K^+ lze hodnotit jen se znalostí pH :

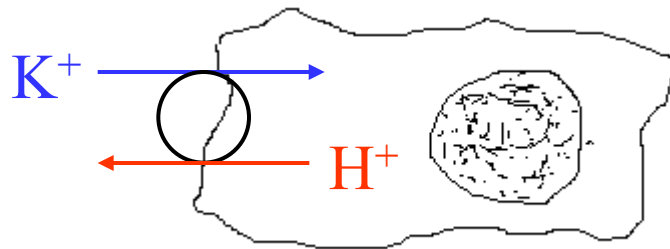


Uvedeny jsou krajní dosažitelné hodnoty pH a jeho normální hodnota. Zásoba K^+ v těle při změně pH zůstává zpočátku shodná, mění se však distribuce K^+ v kompartmentech.

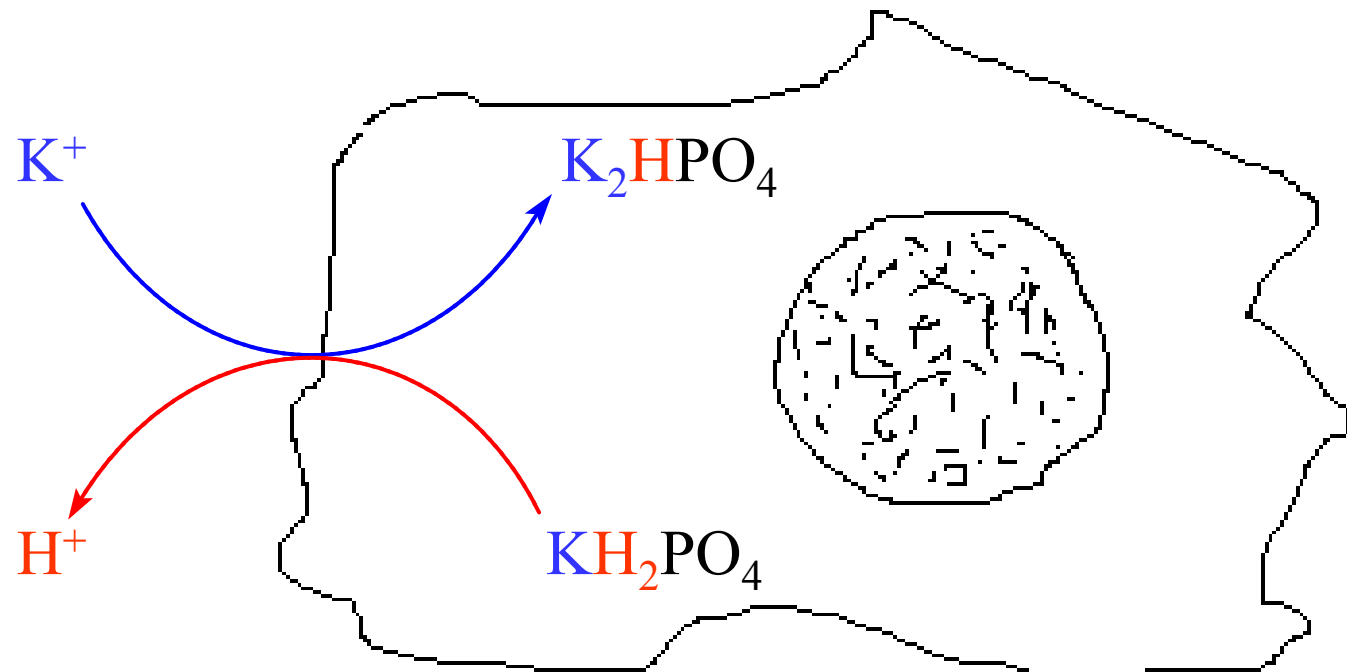
Hyperkalemie při acidóze později vede k renálním ztrátám K^+ .

Je to *deplece* K^+ při současné *hyperkalemii* (!!!)

Směna K^+ / H^+ mezi buňkou a ECT (1) :



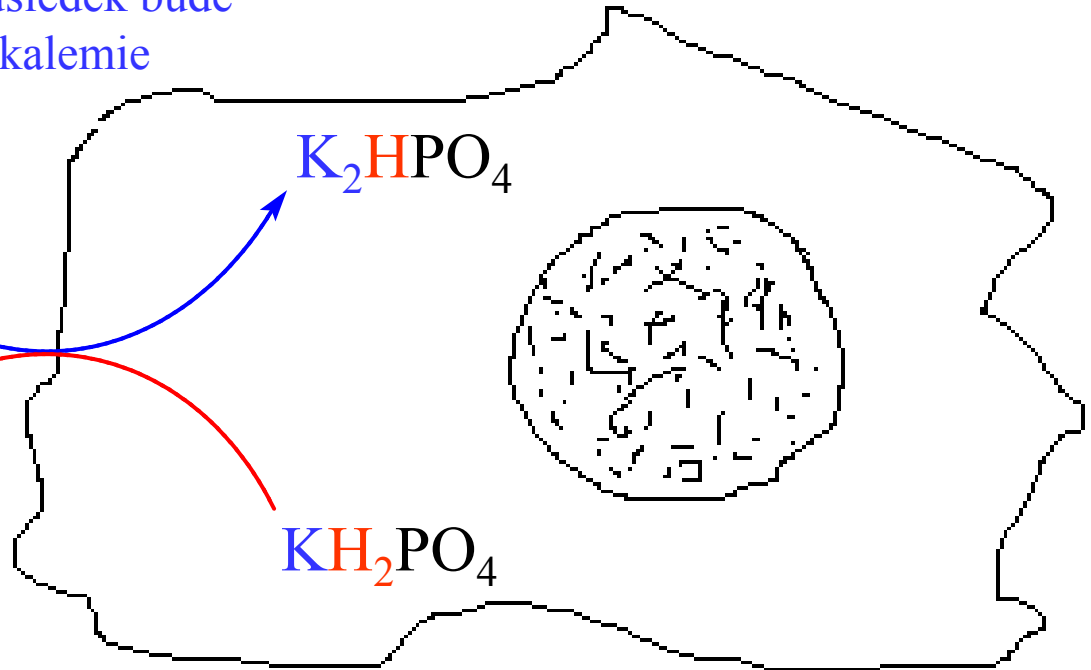
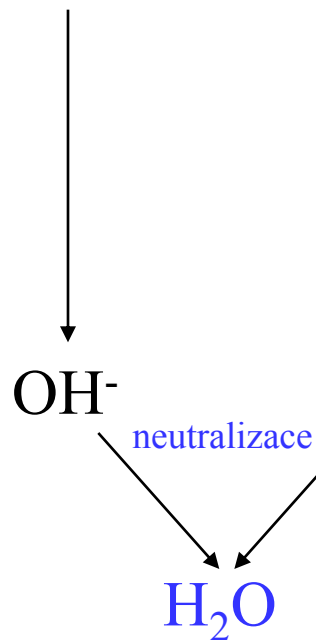
- formálně antiport v buněčné membráně
- zachování elektroneutrálnosti
- homeostasa pH v ECT (viz dále)



Směna K^+ / H^+ mezi buňkou a ECT (2) :

① znázorněná směna je podporována alkalíí

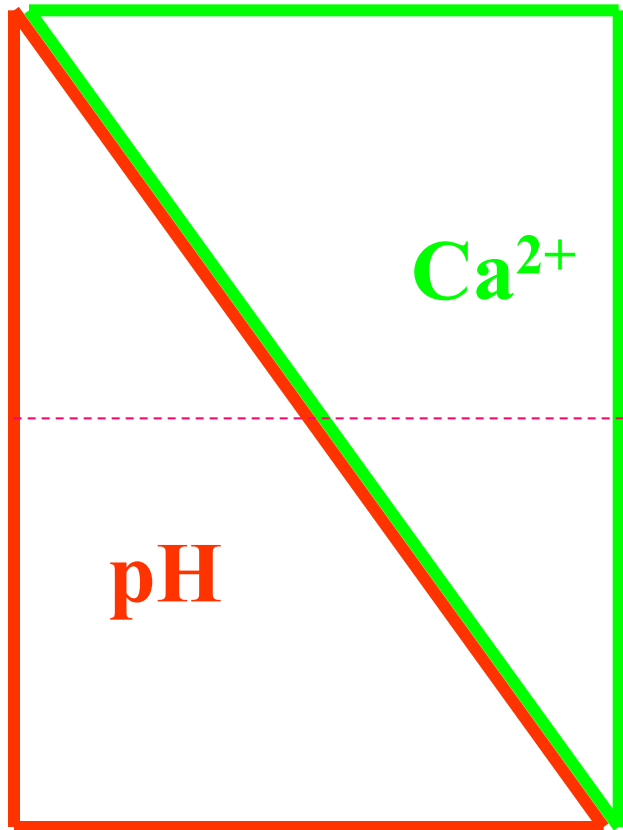
② důsledek bude hypokalemie



③ porucha je „hypokalemická alkalóza“
④ opačně: za acidémie/acidózy bude hyperkalemie
(viz následující přednášky)

$$\frac{[HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{4}{1} \quad (\text{pro pH} = 7,40)$$

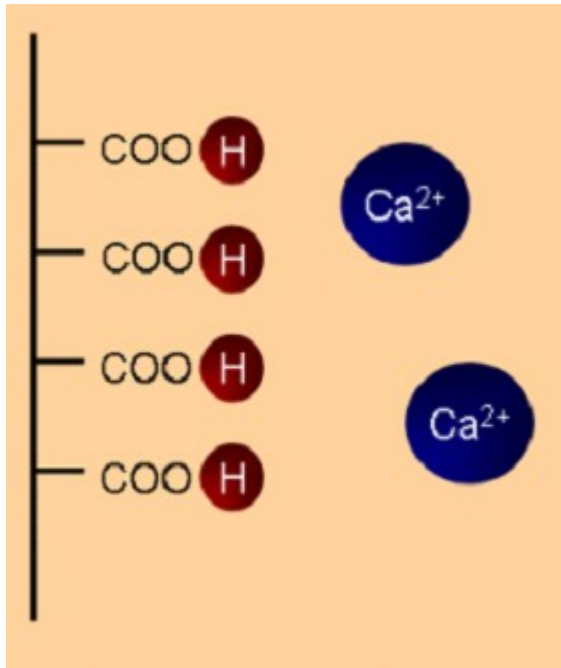
Ionizovaný vápník a pH (1) :



pH = 7,4 ~ 1,25 mmol Ca²⁺ / l

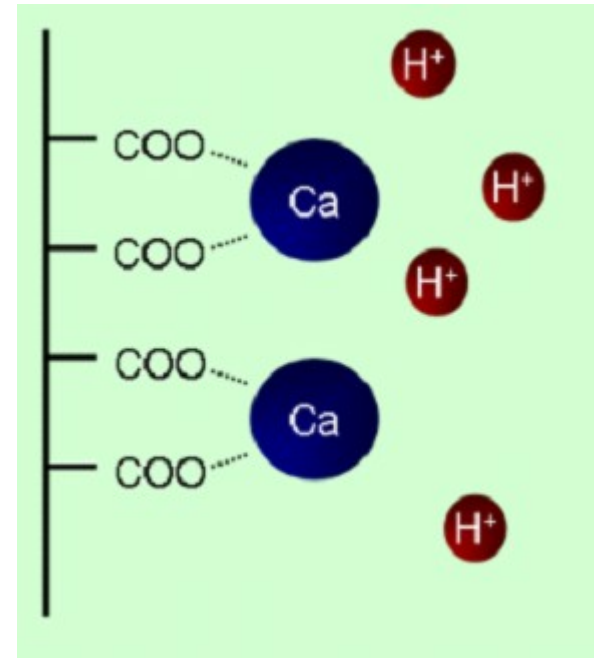
$$[\text{Ca}^{2+}] \approx 1/2 [\text{Ca}_{\text{total}}]$$

Ionizovaný vápník a pH (2) :



kyselé prostředí
(„nadbytek“ H^+ iontů) :

H^+ se váží na všechny funkční skupiny, kde je to dle rovnovážných konstant možné → nedostává se vazebných míst pro Ca^{2+} → $[Ca^{2+}]$ je vysoká .



zásadité prostředí
(„nedostatek“ H^+ iontů) :

H^+ disociují z funkčních skupin, kde byly navázány → na takto uvolněná vazebná místa se váží Ca^{2+} → $[Ca^{2+}]$ je nízká .

Při stanovení ionizovaného vápníku se proto často provádějí korekce na pH a na koncentraci albuminu v plasmě .

Zákon elektroneutritality :

→ shoda v součtu kladných a záporných nábojů (krevní plazma, zjednodušeně).

Pokud jsou přítomny ionty s více náboji, není součet molárních koncentrací totožný se součtem nábojů !

kation	molarita (mmol . l ⁻¹)	
	kation	(+) náboj
Na ⁺	140	140
K ⁺	4	4
Ca ²⁺	2,5	5
Mg ²⁺	1	2
-		
-		

celkový kladný náboj: **151**

anion	molarita (mmol . l ⁻¹)	
	anion	(-) náboj
Cl ⁻	100	100
HCO ₃ ⁻	24	24
prot ⁻	2	~ 20
HPO ₄ ²⁻	1	2
SO ₄ ²⁻	0,5	1
org. kyseliny	4	4

celkový záporný náboj: **151**

Anionty v plazmě krevní:

znázorněny jsou látkové koncentrace
záporného náboje !



chloridy $100 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

hydrogenuhličitany

$24 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

(proteináty $\sim 16 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)

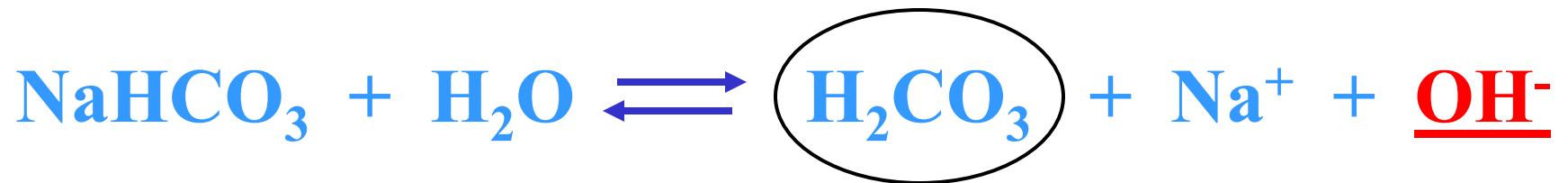
(reziduální anionty $\sim 10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)

$\Sigma = \text{cca } 150 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

Hydrogenuhlíčan („bikarbonát“):



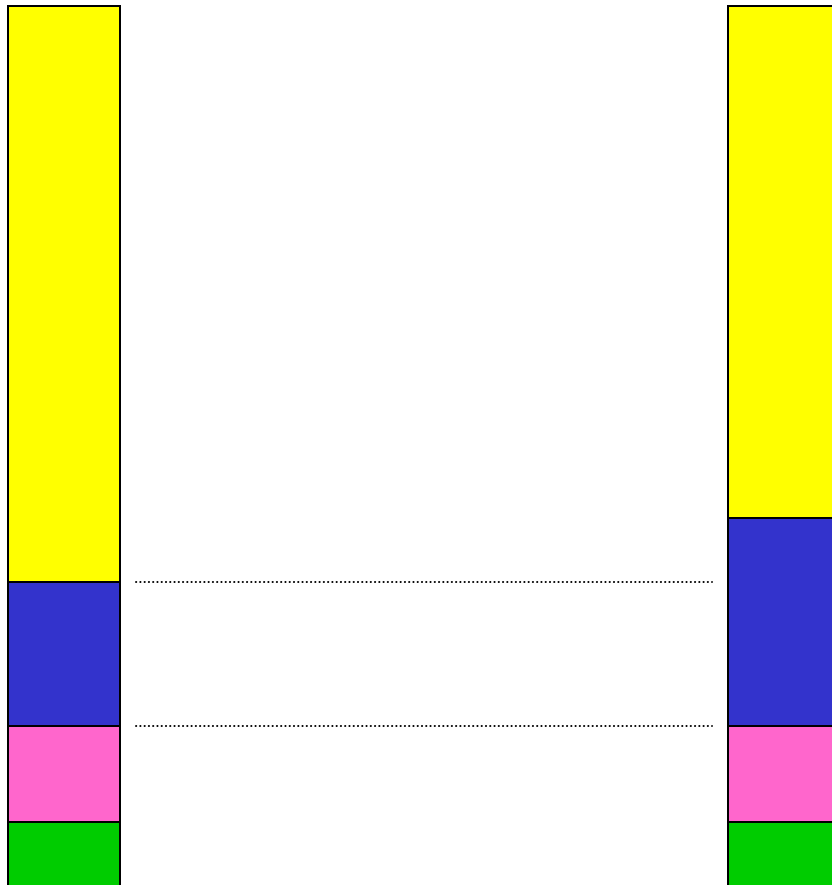
svojí koncentrací rychle „přizpůsobitelný“ anion



v důsledku hydrolýzy zásaditě reagující látka

(Kyselina uhličitá v elipse symbolizuje slabý, tedy prakticky nedisociovaný elektrolyt. Hydroxid sodný je silný, tj. téměř zcela disociovaný elektrolyt
- ve vodném roztoku vzniká přebytek OH^- iontů, podmiňující zásaditou reakci.)

Hypochlor(id)emická alkalóza:



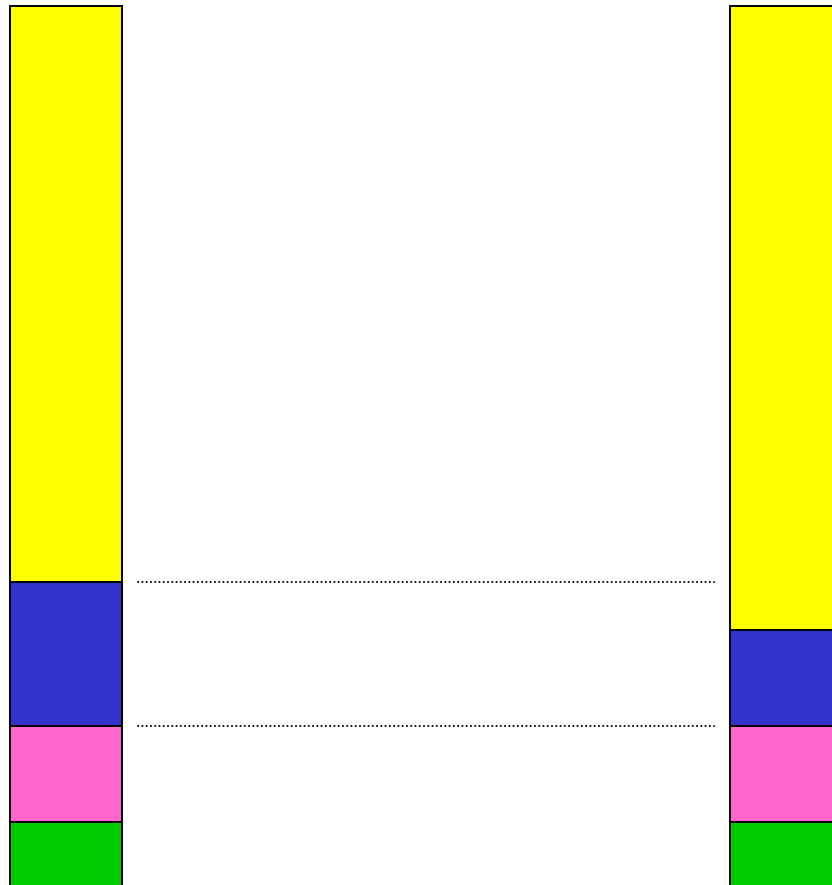
normální stav

hypochlor(id)émie

úbytek chloridů
(žlutě) kompenzován
zvýšením zásaditých
hydrogenuhličitanů
(modře), ostatní
anionty nezměněny

(např. pooperační odsávání
žaludeční šťávy
= ztráta HCl)

Hyperchlor(id)emická acidóza:



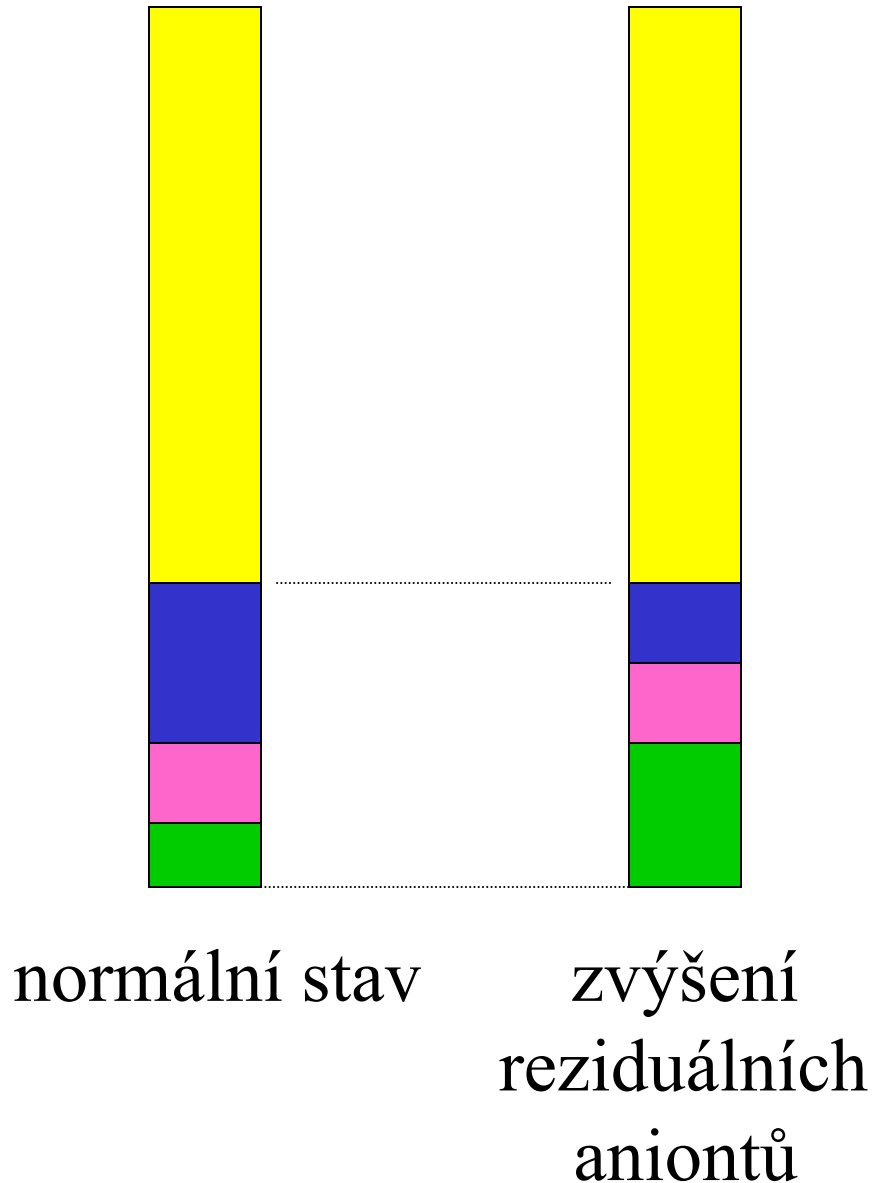
normální stav

hyperchlor(id)émie

nadbytek chloridů
(žlutě) kompenzován
snížením zásaditých
hydrogenuhličitánů
(modře), ostatní
anionty nezměněny

(např. delší podávání
fyziologického
roztoku)

Normochlor(id)emická acidóza:



nadbytek reziduálních
aniontů (zeleně)
kompenzován snížením
zásaditých
hydrogenuhličitanů
(modře), ostatní
anionty nezměněny

(z reziduálních aniontů např.
zvýšení laktátu nebo ketolátek
= acetoacetát, hydroxybutyrát)

„Silné ionty“ (1):

Jsou to ionty (většinou silných) kyselin a zásad, které nemají za fyziologického pH krve (~ 7,4) pufrační schopnost.

„Silné“ kationty: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}

„Silné“ anionty: Cl^- , SO_4^{2-} ...

Mezi „silné anionty“ patří rovněž tak zv. neměřené/nestanovované anionty – UA^- *). Ty zahrnují anionty kyselin (zvýšené) za metabolické acidózy (MAc) :

- anionty organických kyselin: laktát⁻, acetoacetát⁻, 3-hydroxybutyrát⁻,
při intoxikacích ev. formiát⁻, salicylát⁻, ...
- anionty silných anorganických kyselin: sulfát⁻
(u chronické ledvinové insuficience...)

*) UA^- = **unidentified anions** [ˈanai,dentifaid ,aenˈaiəns]

„Silné ionty“ (2):

pK_A hodnoty organických kyselin (ze skupiny UA^-) jsou zpravidla o 3 řády (~ 1.000 násobek !) nižší než je pH krve. Kyseliny jsou tedy v krvi disociovány $> 99,9 \%$ a jejich anionty tak splňují vlastnosti „silných iontů“.

Tím, že jsou organické kyseliny „drženy“ (v prostředí krve) ve stavu úplné disociace, „ztratily“ své vlastnosti slabých kyselin (jak je známe z vodného prostředí) a tedy i pufrační schopnost.

(Pufrační schopnost je vodném prostředí dána $pH = pK_A - 1$. V krvi jsme při $pH \sim 7,4$ v oblasti, která pro organickou kyselinu přesahuje $pK_A + 3$!! - viz tabulku dále).

Původní rovnováha disociace slabé organické kyseliny (známá z jejího vodného roztoku) v prostředí krve zanikla - pufrační systémy krve udržují pH, které má za následek prakticky úplnou disociaci organické kyseliny.

„Silné ionty“ (3):

kyselina	pK_A	$pH = 7,40$	disociace
salicylová ^{+))}	3,00	$pK_A + 4,40$	$> 99,9 \%$
acetoctová	3,52	$pK_A + 3,92$	$> 99,9 \%$
mravenčí ^{+))}	3,75	$pK_A + 3,65$	$> 99,9 \%$
mléčná	3,86	$pK_A + 3,54$	$> 99,9 \%$
β -hydroxymáselná	4,70	$pK_A + 2,7$	

Při $pH = pK_A$, je kyselina disociována z 50 % ,
je-li $pH > (pK_A + 3)$, je kyselina disociována z $> 99,9 \%$

„Silné ionty“ (4):

(- ještě jinak, „nechemicky“:)

„dobře vychovaná“ organická kys. „ví“, že nemá své okolí zbytečně obtěžovat uvolňováním H^+ iontů. Byla ovšem „vychována“ v neutrálním vodném prostředí (kde má opravdu jen malou disociaci, odpovídající její disociační konstantě K_a pro slabou kyselinu) !

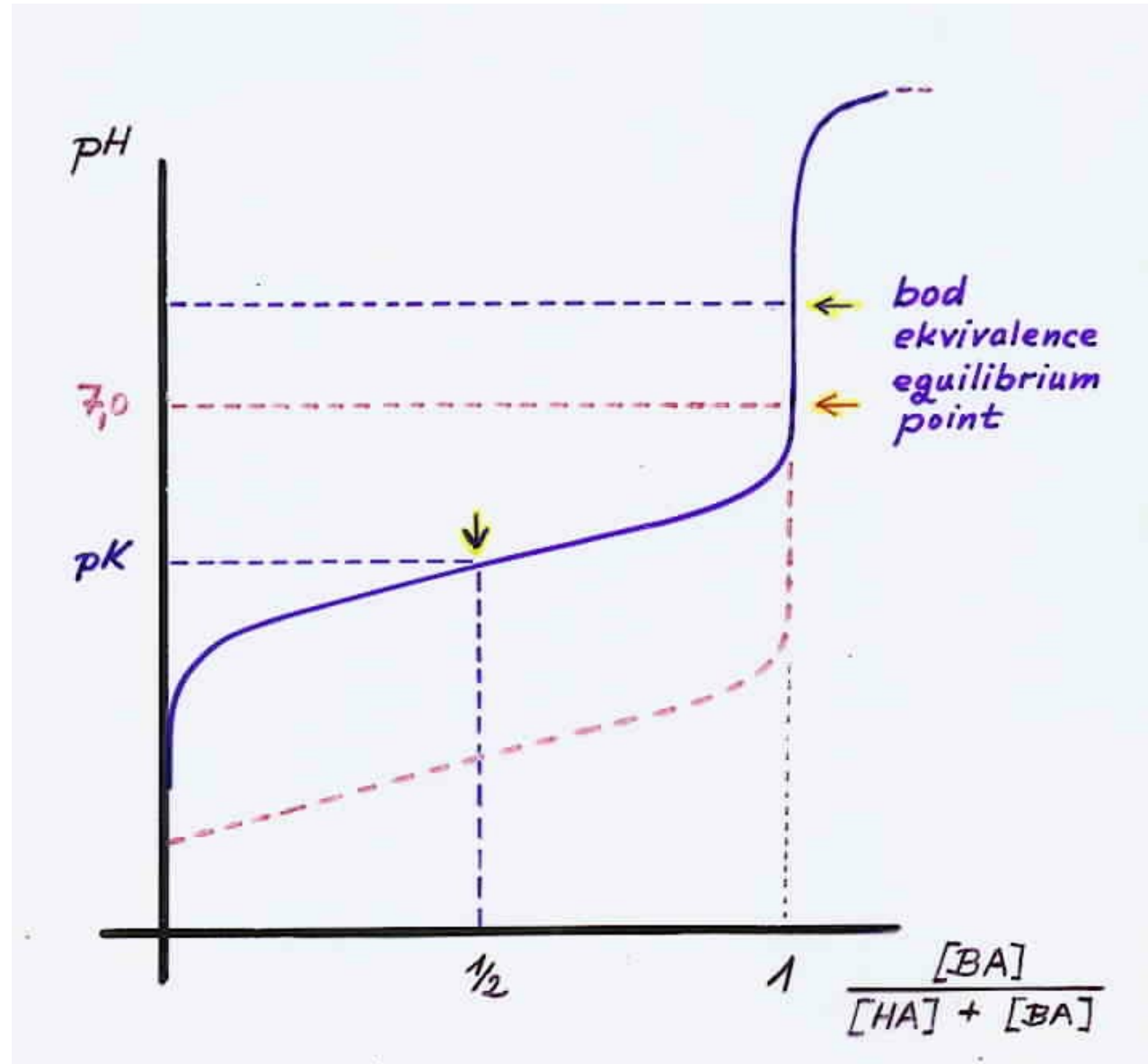
pokud se kyselina ocitne v pufračním systému krve, zapomene svého „dobrého vychování“ a „utrhne se ze řetězu“:

vzhledem k rozdílu svého pK_a a pH krve úplně uvolní své H^+ ionty tj. chová se jako silná kyselina (úplná disociace) !

Proto (chemicky vzato „hodné“, tj.) slabé nebo středně silné kyseliny mohou být při svém nahromadění děsivým acidifikujícím problémem pro organismus ... (hypoxická laktátová acidóza, diabetická ketoacidóza, intoxikace....)

Titrační křivka a schopnost pufrace

„ pK_A 1“



Nezávisle proměnné veličiny

určující stav ABR (1):

1/ $p\text{CO}_2$

2/ **diference silných iontů (SID)**

Je to rozdíl mezi sumou všech silných kationtů (plně disociovaných , chemicky nereagujících)

($\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)

a všemi silnými anionty ($\text{Cl}^- +$ další silné anionty)

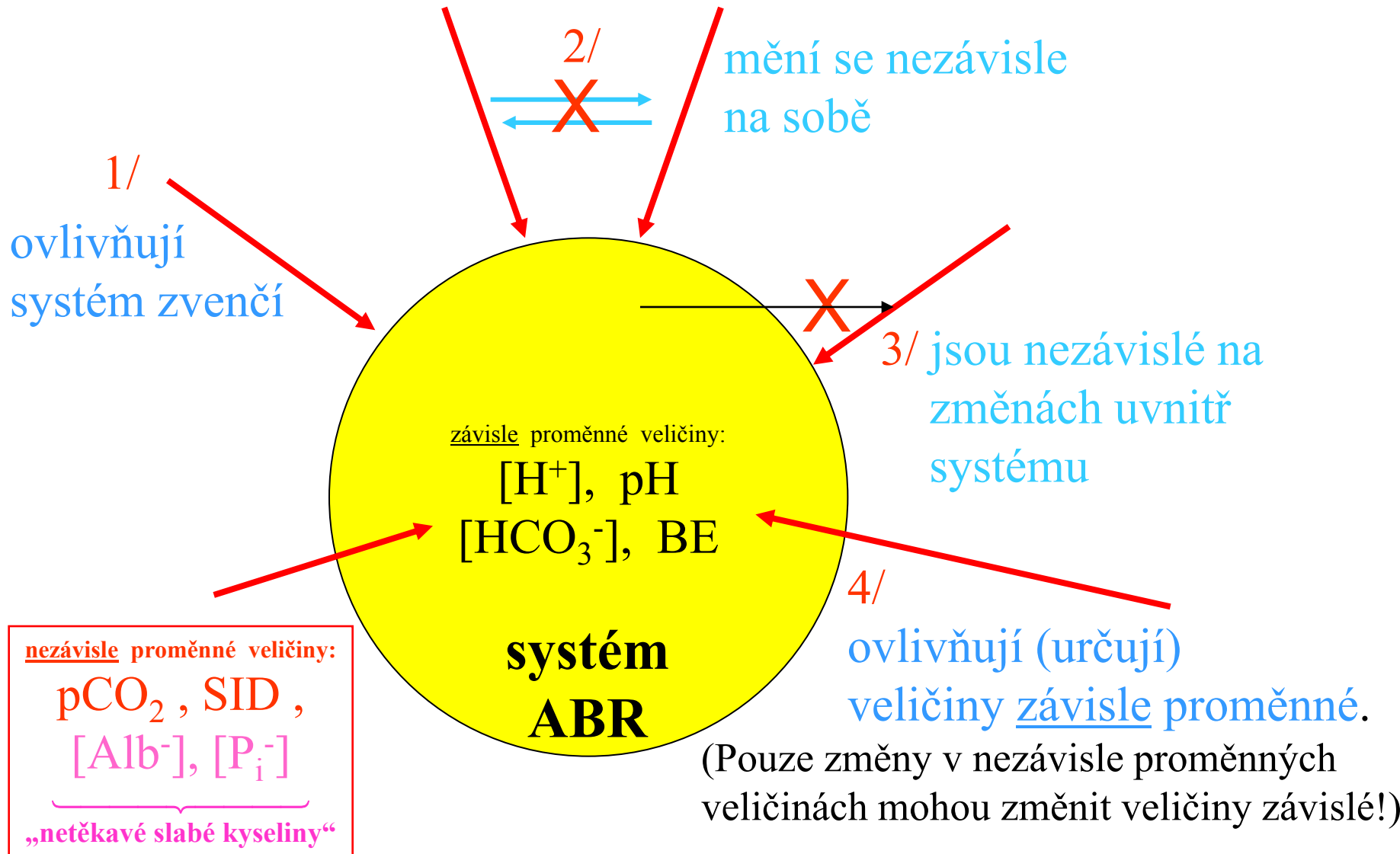
3/ **celková koncentrace netěkavých slabých kyselin (A_{tot})**

tj. suma látkových koncentrací negativních nábojů albuminu (Alb^-)

a anorganického fosforu (P_i^-)

**nezávisle proměnné veličiny se mohou měnit primárně
a navzájem nezávisle**

Nezávisle proměnné veličiny (2) :



(Toto je zcela abstraktní model sestavený pro systém acidobazické rovnováhy !
Zobrazuje výhradně vztahy jednotlivých veličin)

Závisle proměnné veličiny určující stav ABR :

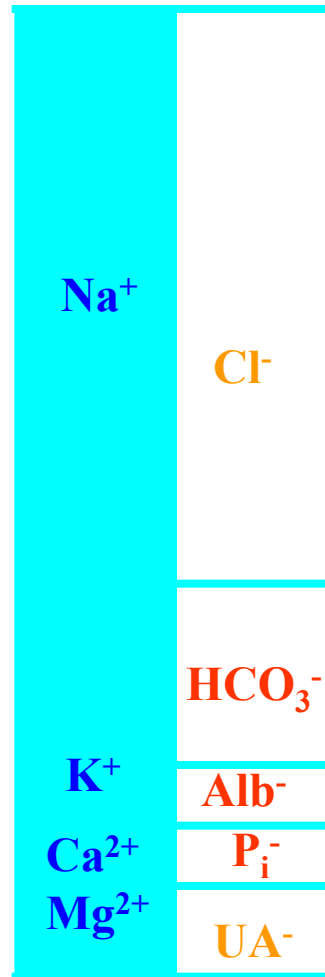
Žádná z dalších acidobazických proměnných (tj. **pH**, **[HCO₃⁻]**, **BE**) se nemůže změnit primárně.

Jsou to závislé hodnoty („závisle proměnné“), které se mění pouze v závislosti na změně nezávisle proměnných veličin.

Mohou se měnit všechny současně, ale pouze pokud se změní jedna/více nezávisle proměnných.

→ zdokonalený postup hodnocení parametrů ABR
vypracovali : Peter A. Stewart (Kanada)
Vladimír Fencel (ČR)

Anion gap AG :



Aniontové okénko je obvykle počítáno jako rozdíl mezi součtem dvou nejvíce zastoupených kationtů ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) a dvou nejvíce zastoupených aniontů ($\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$) v plazmě krevní (viz dole)

$$\text{AG} = \text{cca } 18 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\text{AG} > \text{cca } 25 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \rightarrow \text{MAc}$$

$$\text{AG (obsah)} = [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-] + [\text{UA}^-]$$

Anion gap, „aniontové okénko“ - AG (výpočet)

$$\text{AG} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] - ([\text{Cl}^-] + [\text{HCO}_3^-])$$

AG lze vypočítat i z upravené koncentrace Alb

Obsah (výpočetní hodnota) počítaných ukazatelů :

$$\text{AG} = [\text{UA}^-] + [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-]$$

$$\text{SID} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-]$$

netěkavé slabé kyseliny

nezávisle proměnné veličiny

pCO₂

[Alb⁻] ~ 12
[P_i⁻] ~ 2
[HCO₃⁻] ~ 24
(mmol / l)

