



# V O D A I O N T Y

© Biochemický ústav LF MU (V.P.) 2009

# WATER IONS

© Department of Biochemistry (V.P.),  
Faculty of Medicine, MU Brno 2009

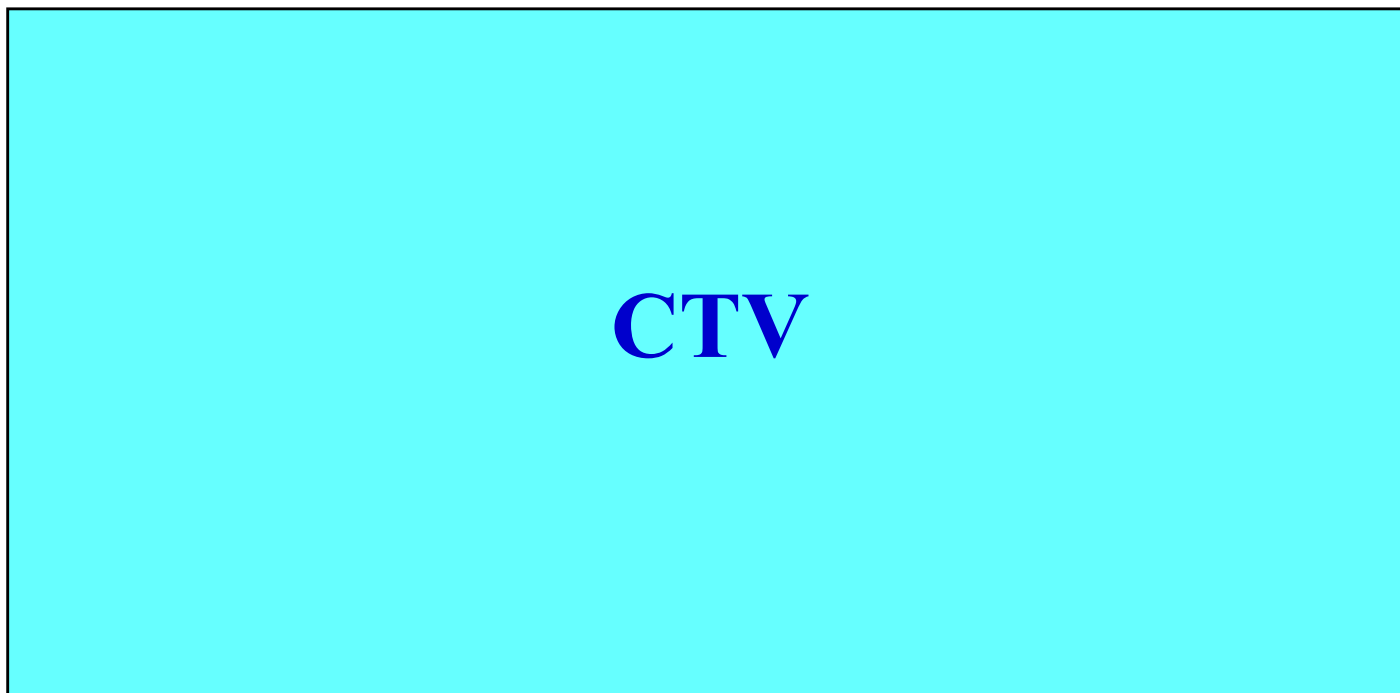
# Celková tělesná voda :

**hmotnost**



**60 %**

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



**CTV**

**celková tělesná voda**

# The total body water :

**body weight**



**60 %**

(less usual: in women  
calculated **55 %**  
of body weight)



**TBW**

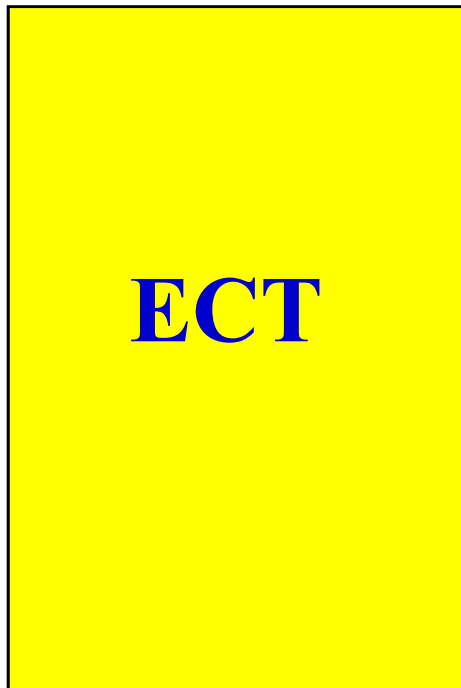
**the total body water**

# ECT a ICT :

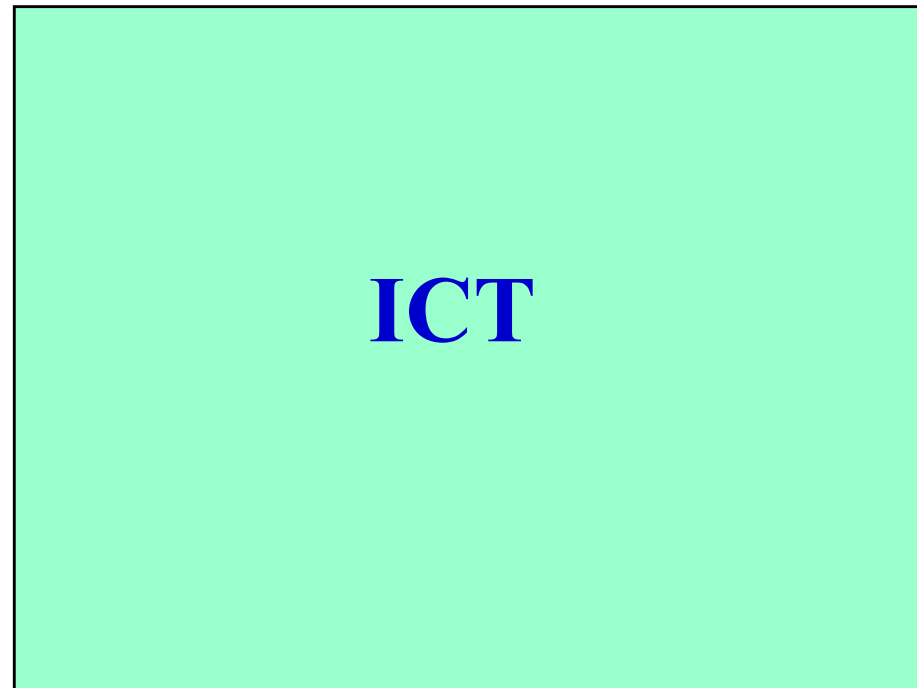
celková tělesná voda

1/3

2/3

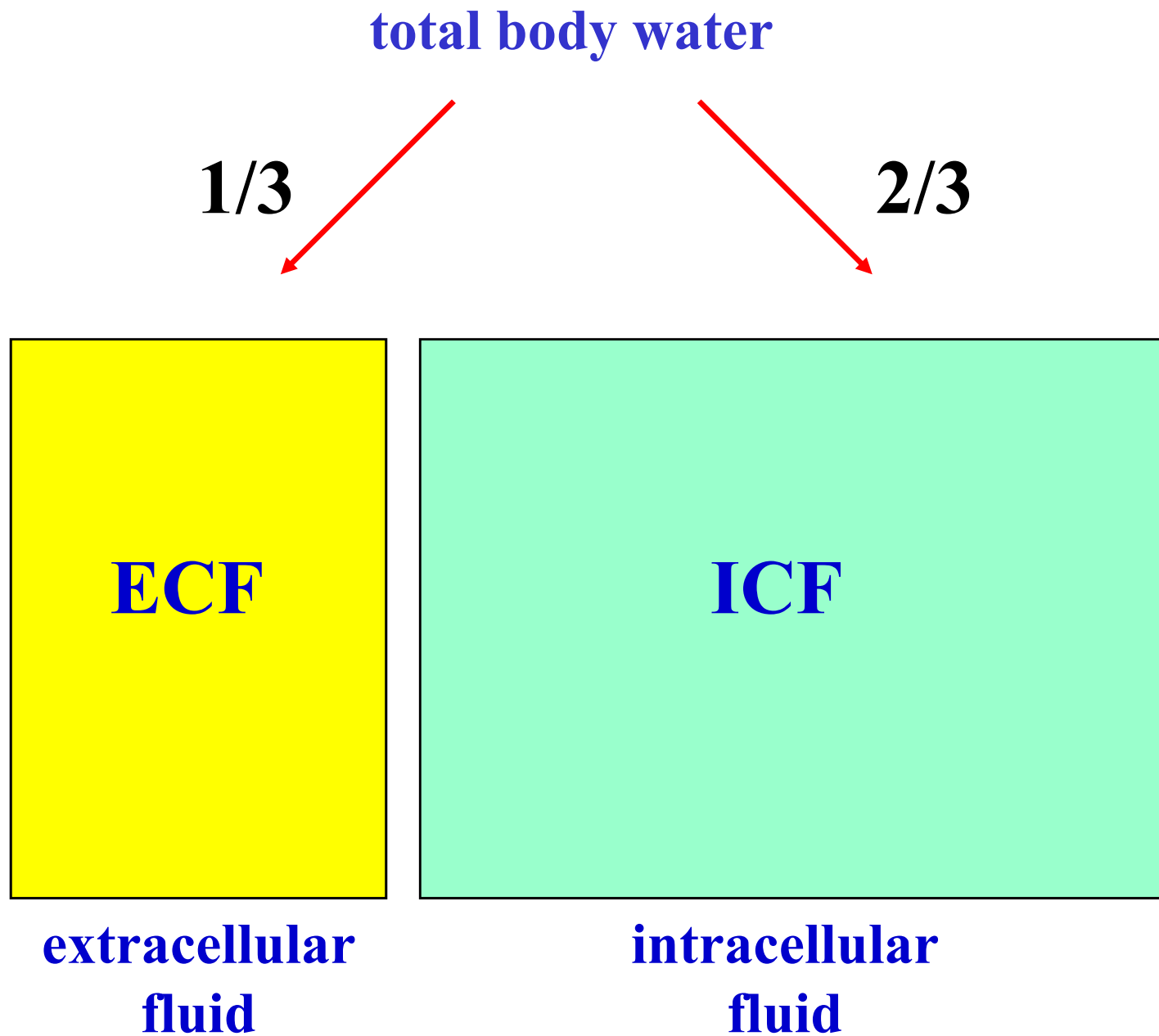


extracelulární  
tekutina



intracelulární  
tekutina

# ECF a ICF :

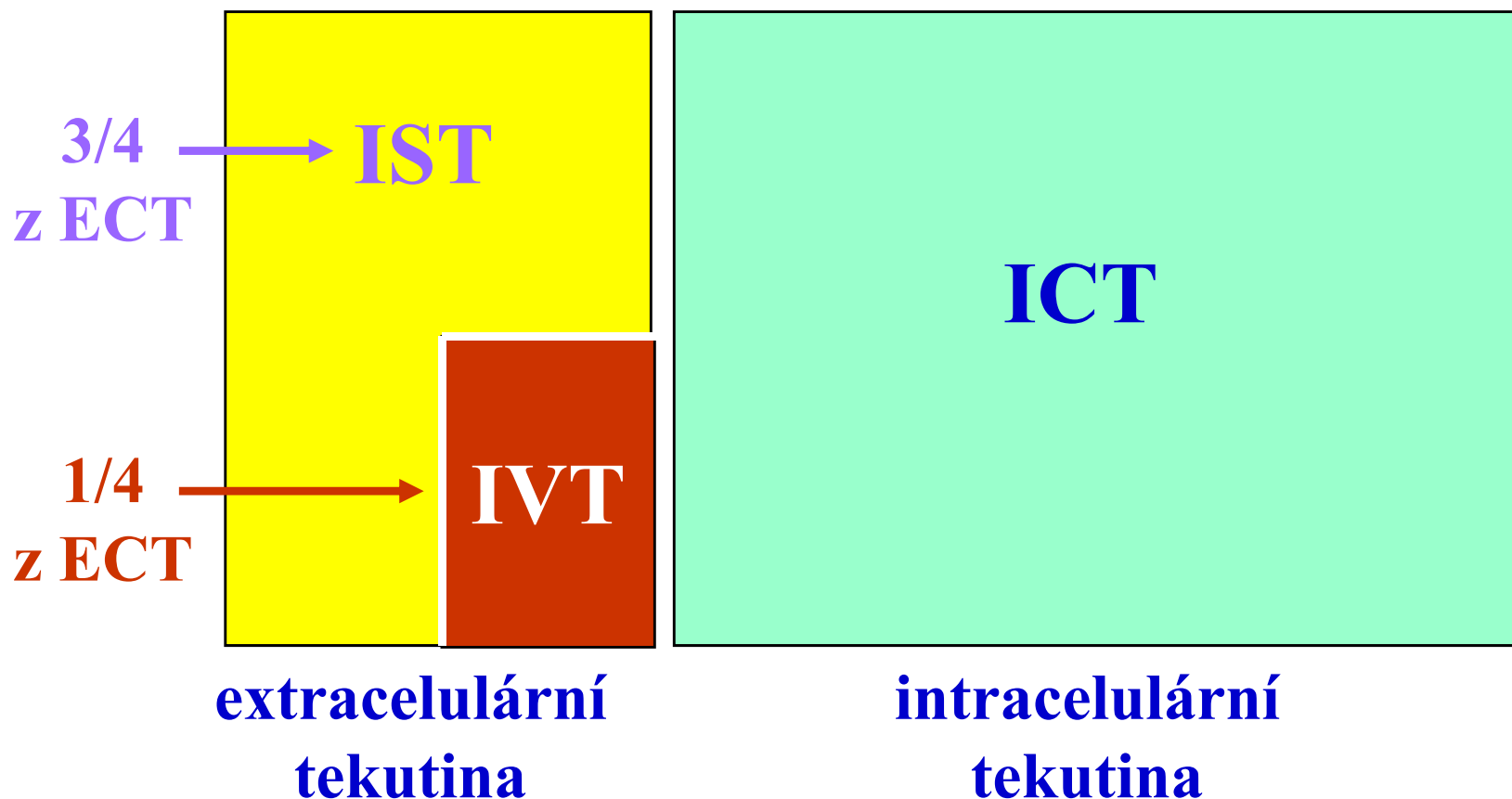


# Intravazální tekutina (IVT) :

= plazma krevní,

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

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



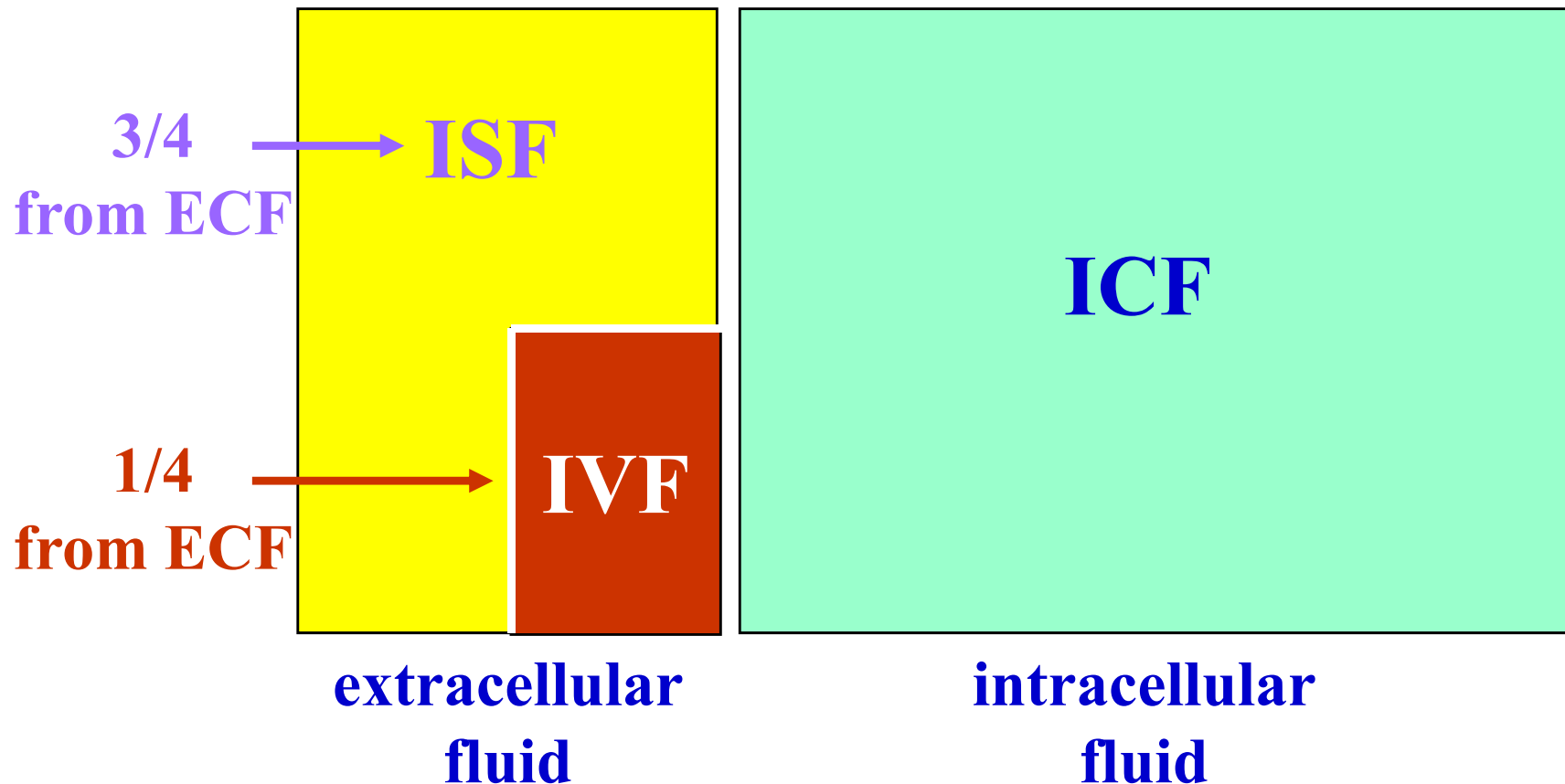


# The intravascular fluid (IVF) :

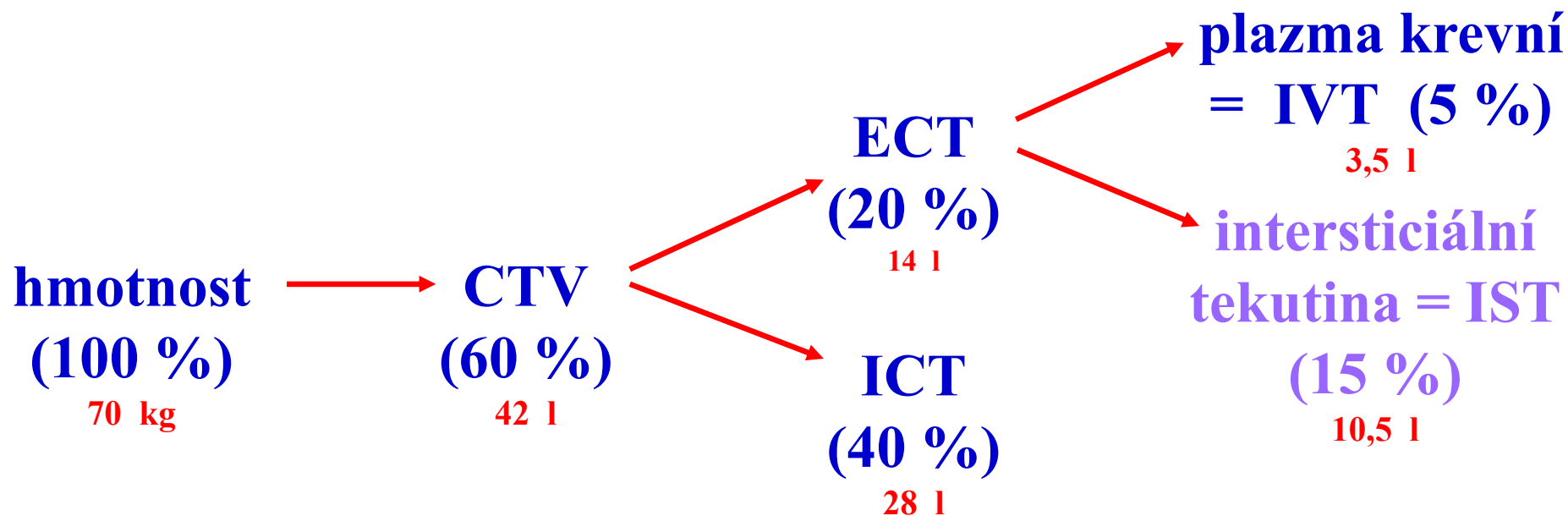
= blood plasma,

=  $\frac{1}{4}$  of ECF volume

The rest of  $\frac{3}{4}$  ECF volume is the interstitial fluid (ISF)



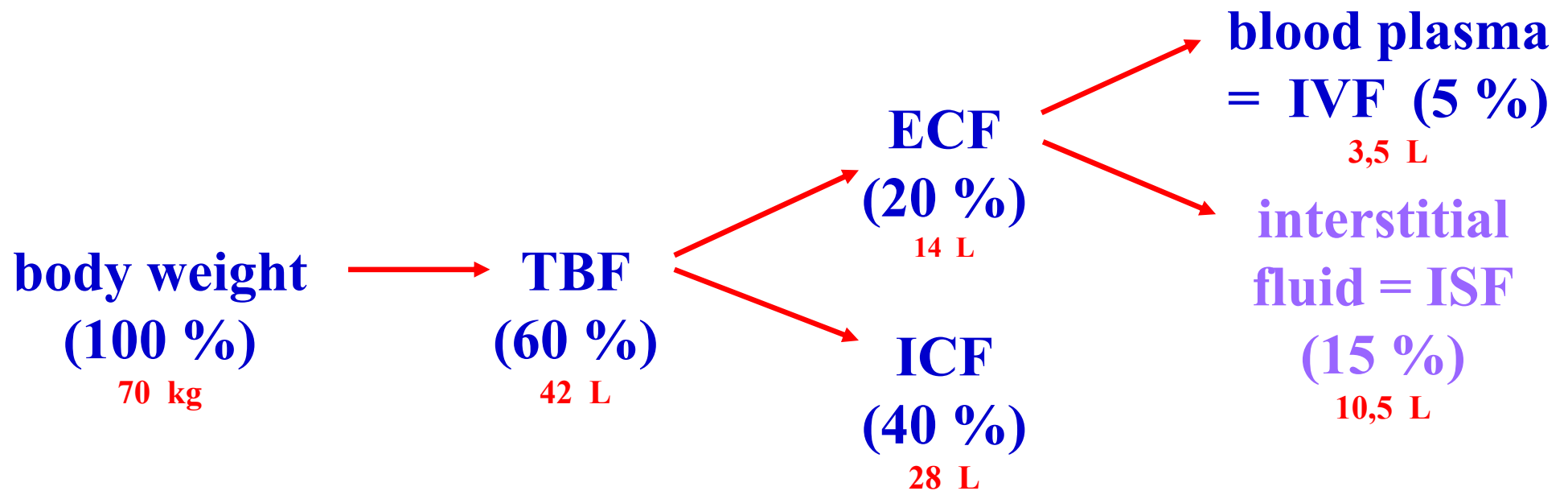
# Rekapitulace objemů tekutin vzhledem k hmotnosti :



~~„transcelulární“ tekutina  
(viz dále)~~

nepočítá se do CTV

# The recapitulation of fluid volumes with respect to the body weight :



~~„transcellular“ fluid  
(see later)~~

it is not calculated to TBF

## „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 <sup>-1</sup>
	žaludeční šťáva	2,5	l . d <sup>-1</sup>
	žluč	0,7	l . d <sup>-1</sup>
	pankreatická šťáva	0,7	l . d <sup>-1</sup>
	střevní šťáva	3	l . d <sup>-1</sup>
		<hr/>	
		(7,85	l . d <sup>-1</sup> )

## 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 !

## TBW – changes with age :

	% of body weight
newborn	~ 79 (!)
1 year	~ 65
10 – 50 years	~ 60
over 50 years	decrease of 4 – 6

Because of greater content of water, small children are extremely sensitive to loss/deficit of water, which can very easily threaten their life !

# Ionty v ECT a ICT :

## ECT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ICT

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

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

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

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

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

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

$$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^- = 65 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$$

(větší část v org. formě)

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

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

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

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

# Ions in ECF a ICF :

## ECF

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

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

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

$$\text{Ca}^{2+} = 2,5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

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

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

$$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^- = 1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

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

$$\text{org. acids} = 4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{proteins} = 2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

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

## ICF

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

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

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

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

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

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

$$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{PO}_4^- = 65 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(the greatest part in org. form)

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

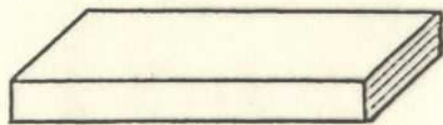
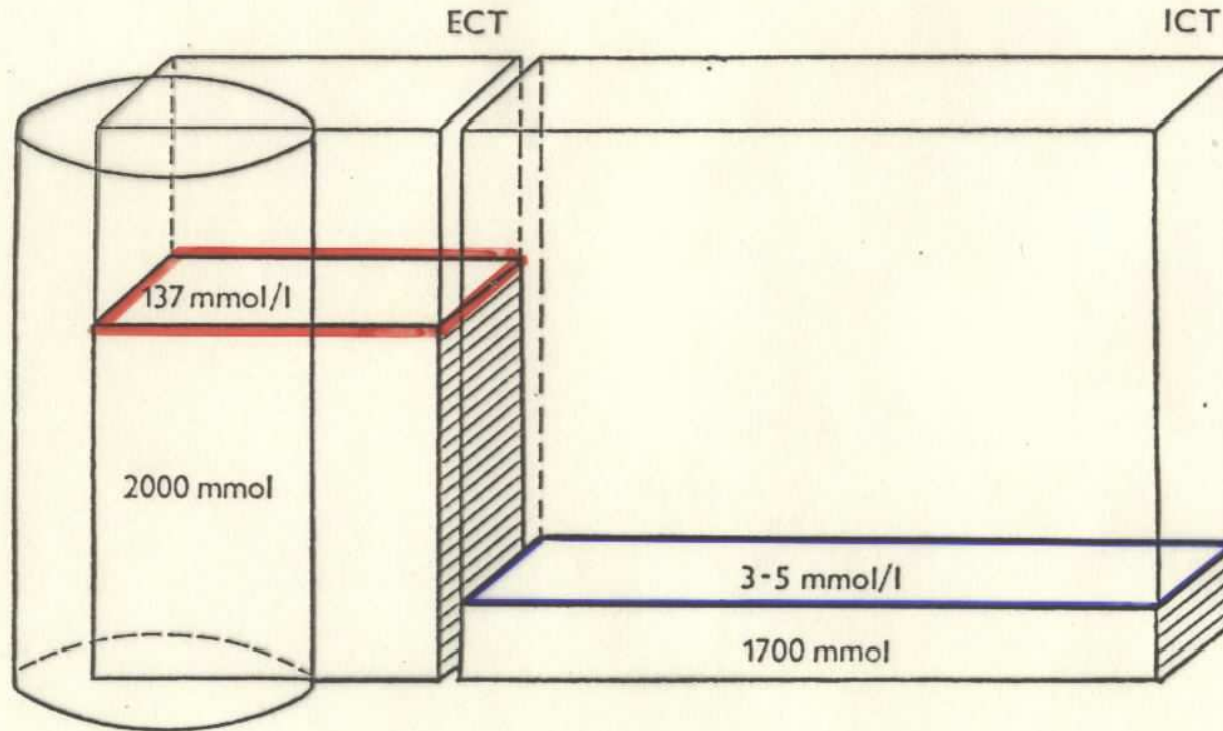
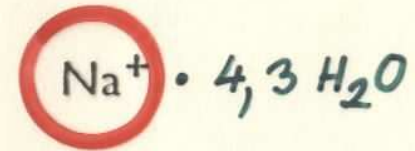
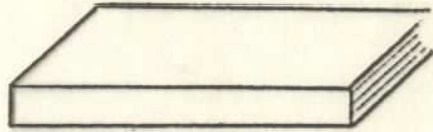
$$\text{org. acids} = 2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{proteins} = 6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

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



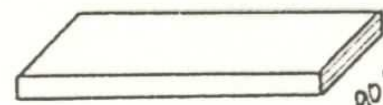
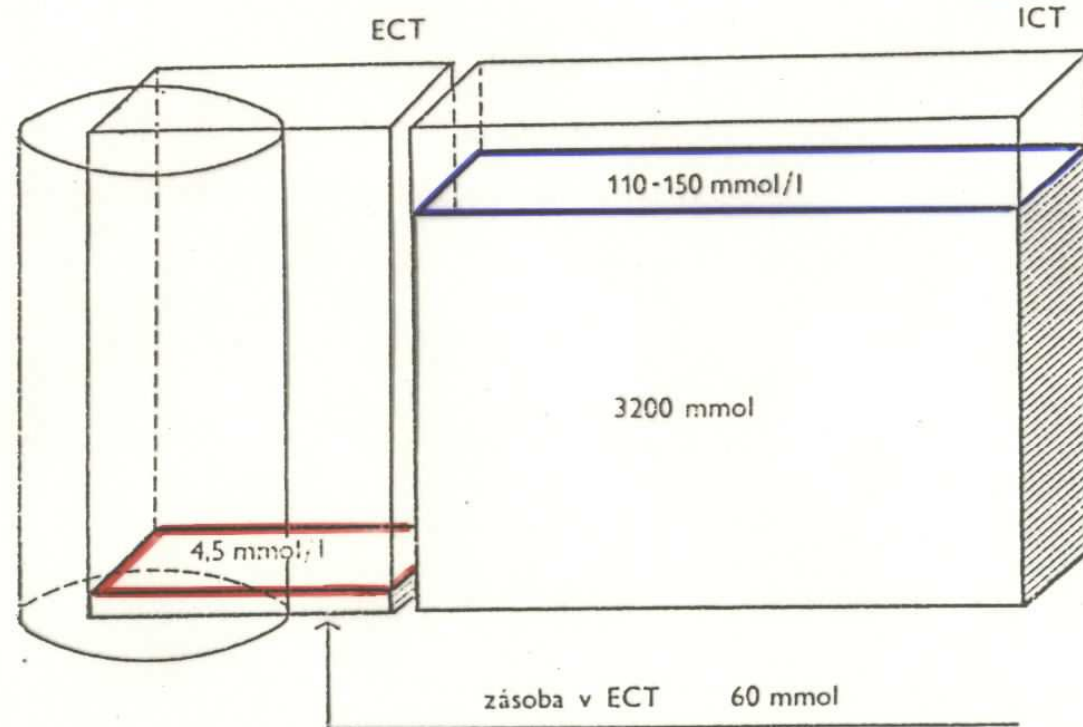
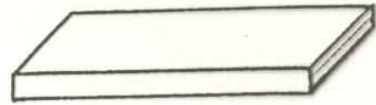
přijem 140 - 260 mmol/24h



výdej 140 - 260 mmol/24h

moči 120-240 mmol/24h  
stolici 10 mmol/24h  
potem 10 - 20 mmol/24h

přijem 50-100 mmol/24 h

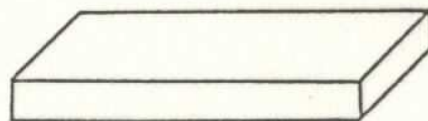
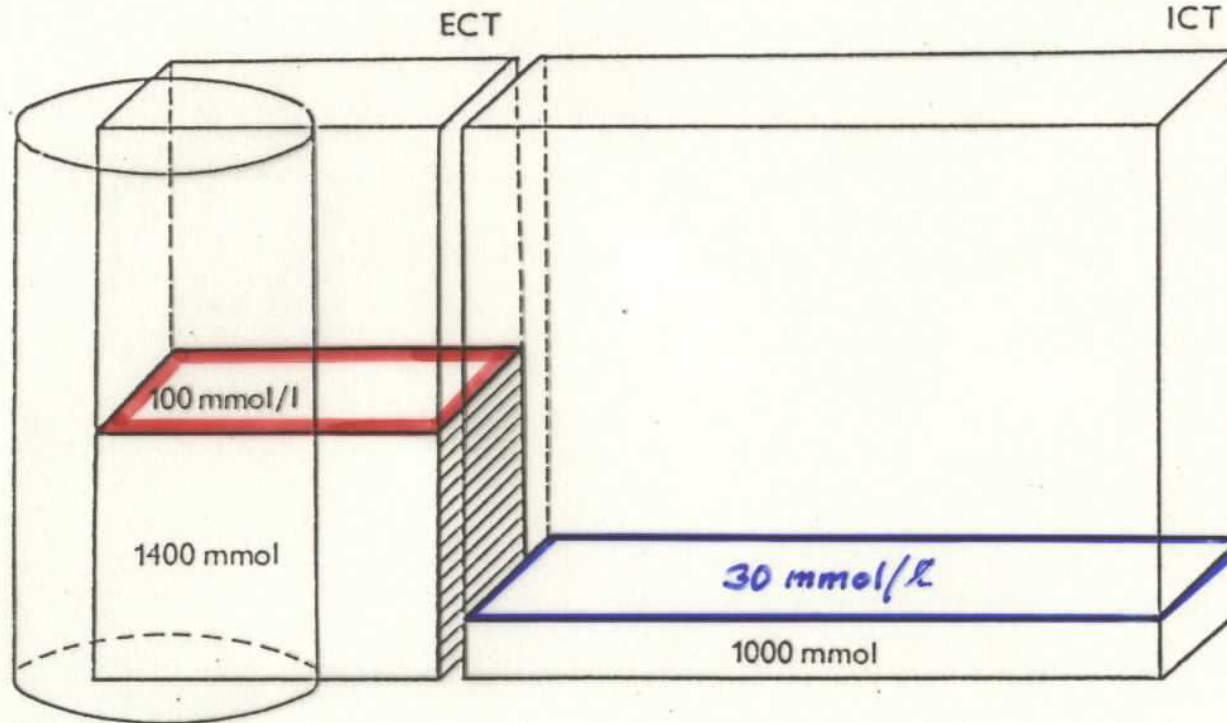
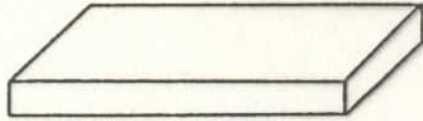


výdej 50-100 mmol/24 h

moči 45-90 mmol/24 h  
stolici 5-10 mmol/24 h

90%

přijem 140 - 260 mmol/24 h



výdej 140 - 260 mmol/24 h

moči 120 - 240 mmol/24 h  
stolici 10 mmol/24 h  
potem 10 - 80 mmol/24 h

# Koncentrace iontů v plazmě krevní

Krevní plasma	Na <sup>+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	Ca <sub>total</sub> mmol . l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>
Rozpětí	130 – 143	4,0 – 5,5	95 – 107	21 – 27	2 – 3	0,7 – 1
průměr	137 ( <b>140</b> )	4,4	101 ( <b>100</b> )	24	2,5	<b>“1”</b>

# Plasma electrolytes concentrations :

Krevní plasma	Na <sup>+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mmol . l <sup>-1</sup>	Ca <sub>total</sub> mmol . l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> mmol . l <sup>-1</sup>
Rozpětí	130 – 143	4,0 – 5,5	95 – 107	21 – 27	2 – 3	0,7 – 1
průměr	137 ( <b>140</b> )	4,4	101 ( <b>100</b> )	24	2,5	<b>“1”</b>

## 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 <sup>-1</sup> )	
	kation	(+) náboj
Na <sup>+</sup>	140	140
K <sup>+</sup>	4	4
Ca <sup>2+</sup>	2,5	5
Mg <sup>2+</sup>	1	2
-		
-		

celkový kladný náboj: **151**

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

celkový záporný náboj: **151**

## The law of electroneutrality :

→ agreement in the sum of positive and negative charges (blood plasma, simplified).

If ions with more charges are present, the sum of molar concentrations is different from the sum of charges !

cation	molarity (mmol . L <sup>-1</sup> )	
	cation	(+) charge
Na <sup>+</sup>	140	140
K <sup>+</sup>	4	4
Ca <sup>2+</sup>	2,5	5
Mg <sup>2+</sup>	1	2
-		
-		

the total positive charge: **151**

anion	molarity (mmol . L <sup>-1</sup> )	
	anion	(-) charge
Cl <sup>-</sup>	100	100
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	24
prot <sup>-</sup>	2	~ 20
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,5	1
org. acids	4	4

the total negative charge: **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  $\sim 10 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ )

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



# Anions in blood plasma :

the molar concentrations  
of negative charges are given !



chloride  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

bicarbonate (hydrogencarbonate)

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

(proteinate  $\sim 16 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

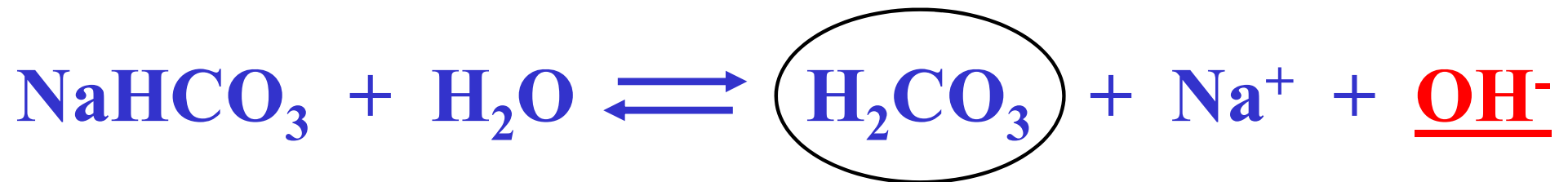
(residual anions  $\sim 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

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

## Hydrogenuhlíčan („bikarbonát“):



svojí koncentrací rychle „přizpůsobitelný“ anion



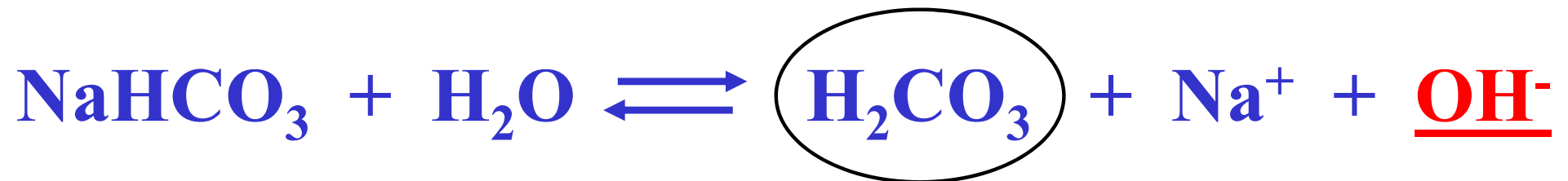
v důsledku hydrolýzy zásaditě reagující látka

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

## Hydrogencarbonate („bicarbonate“):



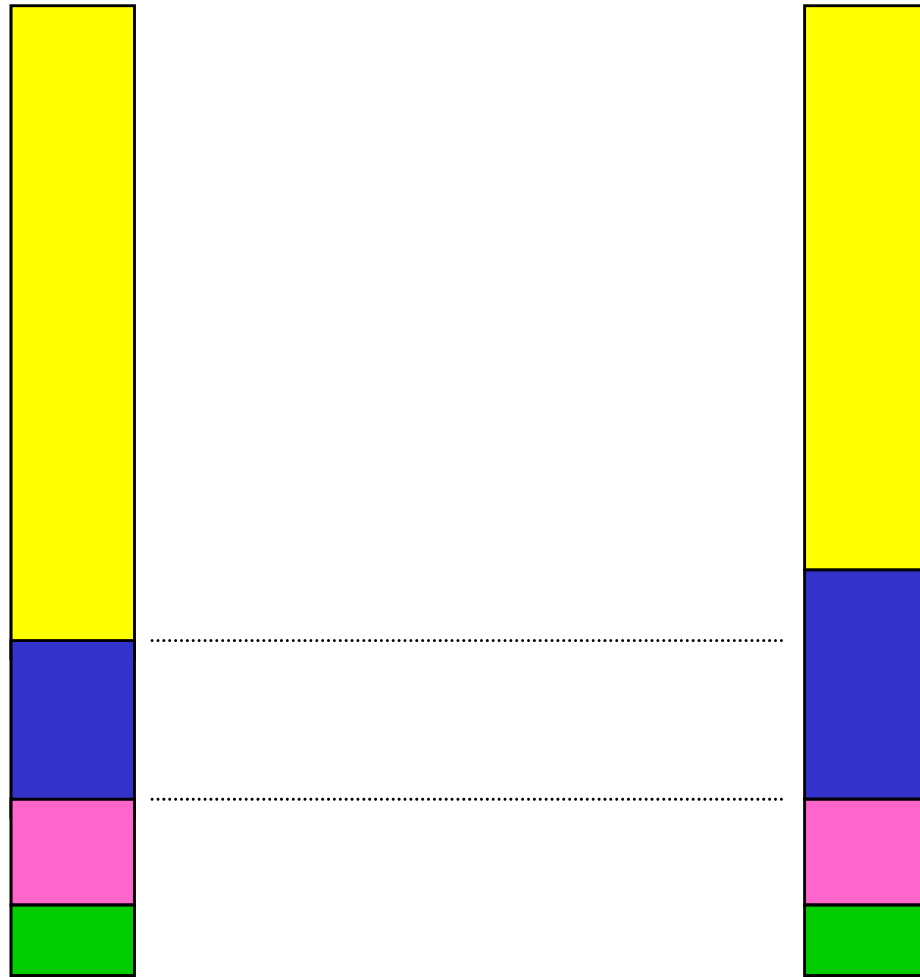
anion, which can adapt its concentration rapidly to the changing conditions



as consequence of hydrolysis the substance with alkalic reaction

(The carbonic acid in oval symbolizes a weak - practically undissociated electrolyte. The sodium hydroxide is a strong base, e.g. almost total dissociated electrolyte. - In the aqueous solution the excess of OH<sup>-</sup> ions makes the solution basic.)

# Hypochlor(id)emická alkalóza:



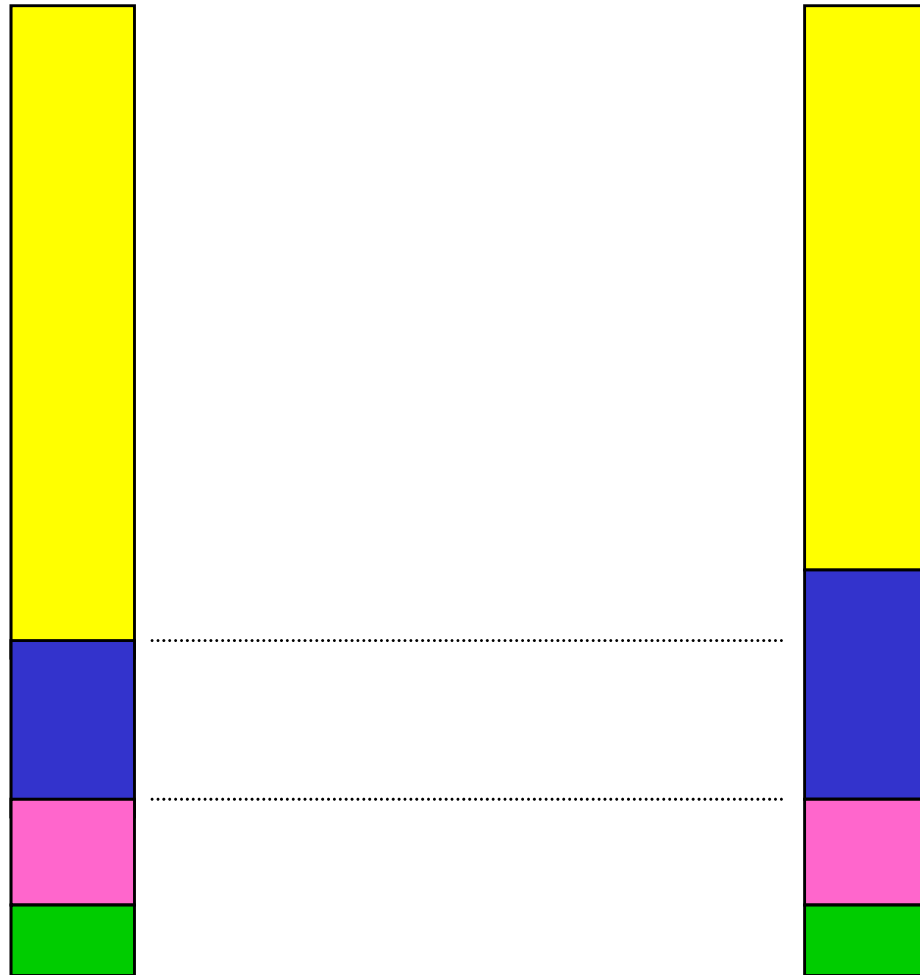
normální stav

hypochlor(id)émie

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

( např. pooperační odsávání  
žaludeční šťávy  
= ztráta HCl )

# Hypochlor(id)emic alkalose :



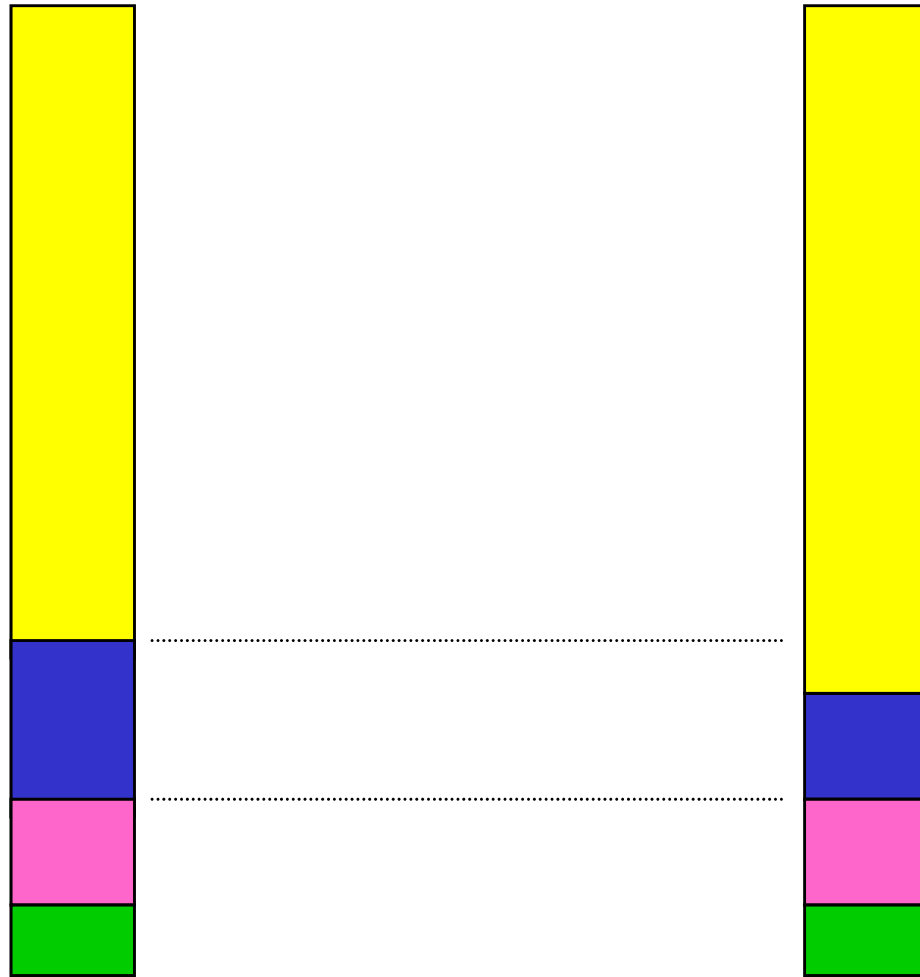
normal

hypochlor(id)emia

the decrease in chloride (yellow) is compensated for increase of alkalic bicarbonate (blue), others anions unchanged

(for example:  
gastric juice suctioning  
after operations  
= the loss of HCl )

# Hyperchlor(id)emická acidóza:



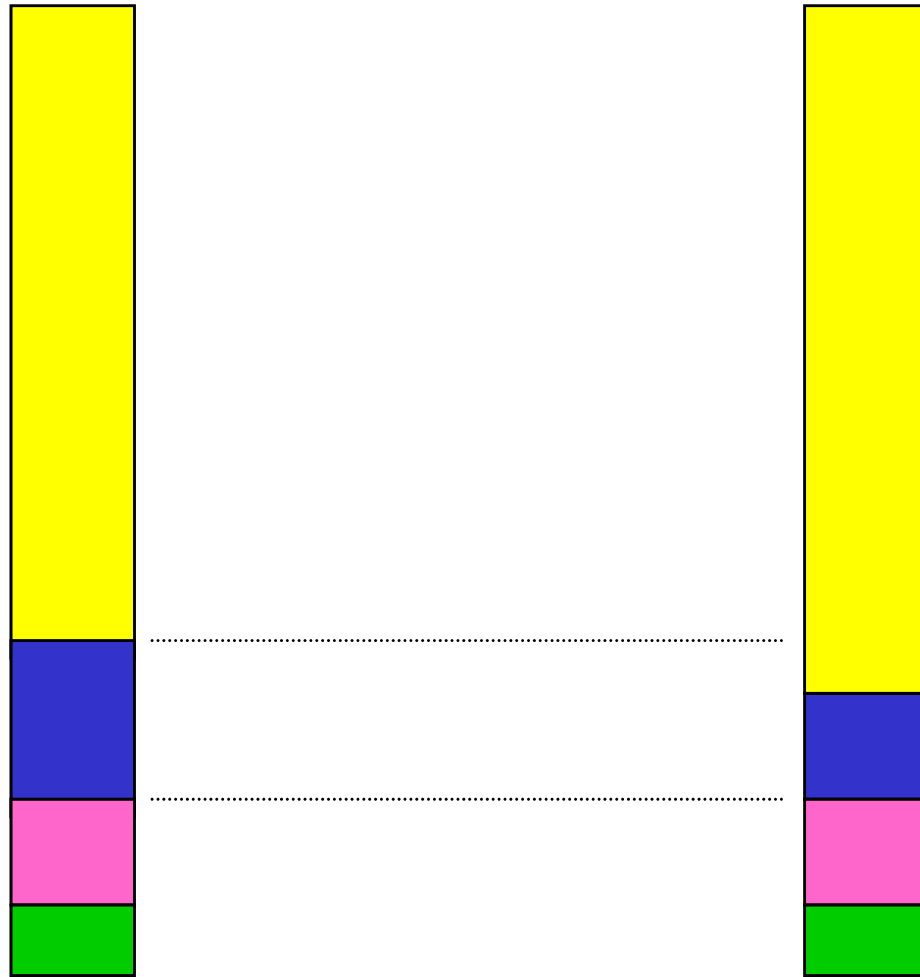
normální stav

hyperchlor(id)émie

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

**( např. delší podávání  
fyziologického  
roztoku )**

# Hyperchlor(id)emic acidose :



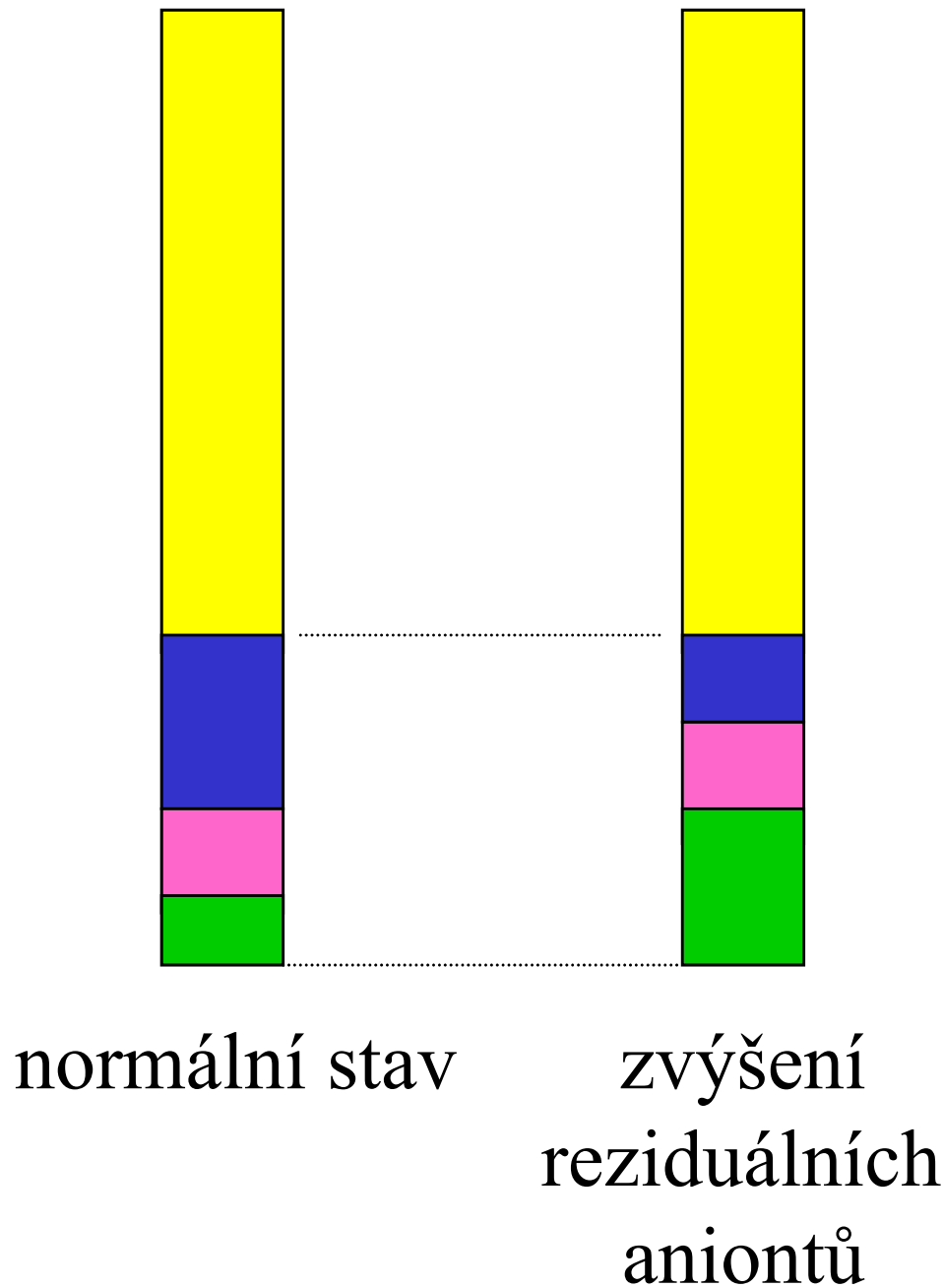
normal

hyperchlor(id)emia

the excess of chloride  
(yellow) is compensated  
for decrease of  
of alkalic bicarbonate  
(blue), others anions  
unchanged

(for example:  
longer administration  
of „physiological“ solution)

# Normochlor(id)emická acidóza:

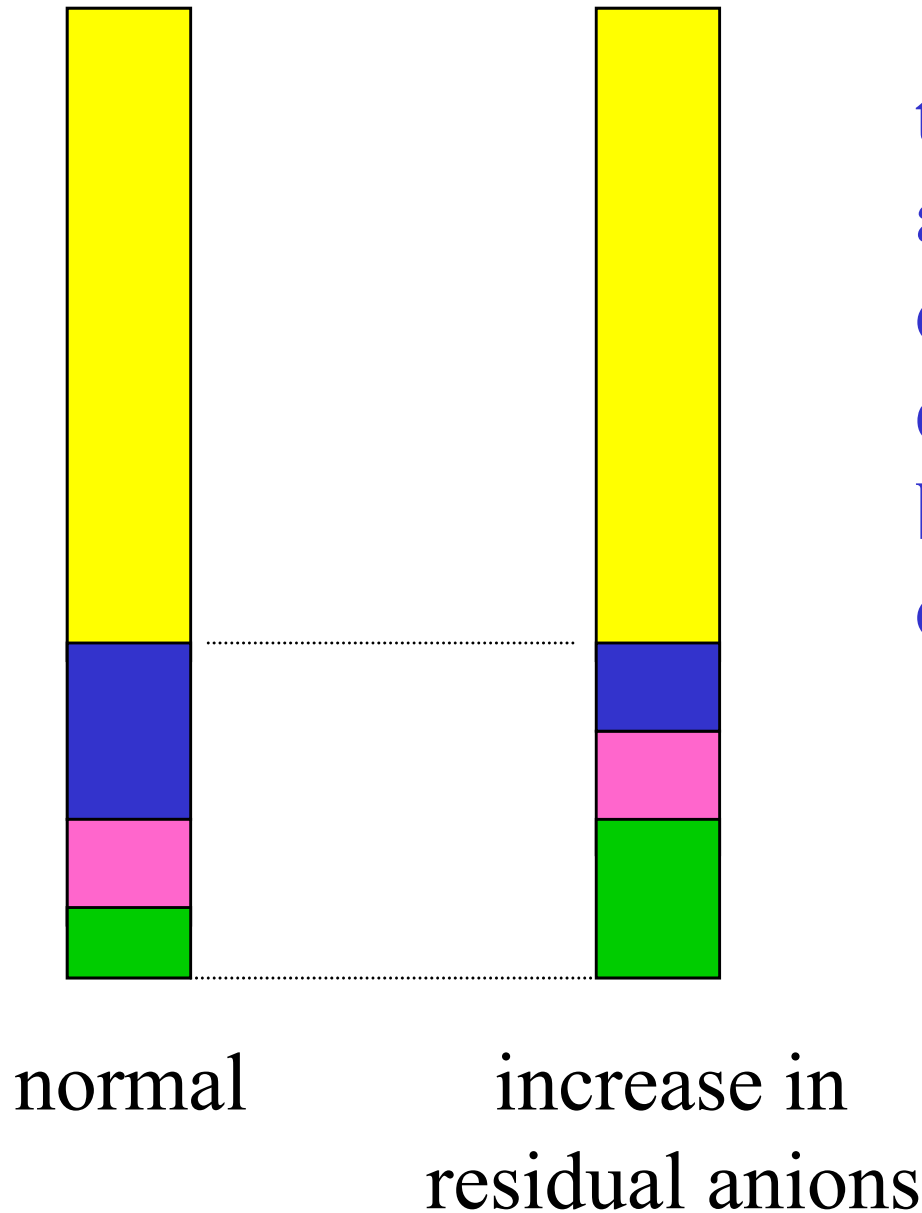


nadbytek reziduálních  
aniontů (zeleně)  
kompenzován snížením  
zásaditých  
hydrogenuhličitanů  
(modře), ostatní  
anionty nezměněny

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

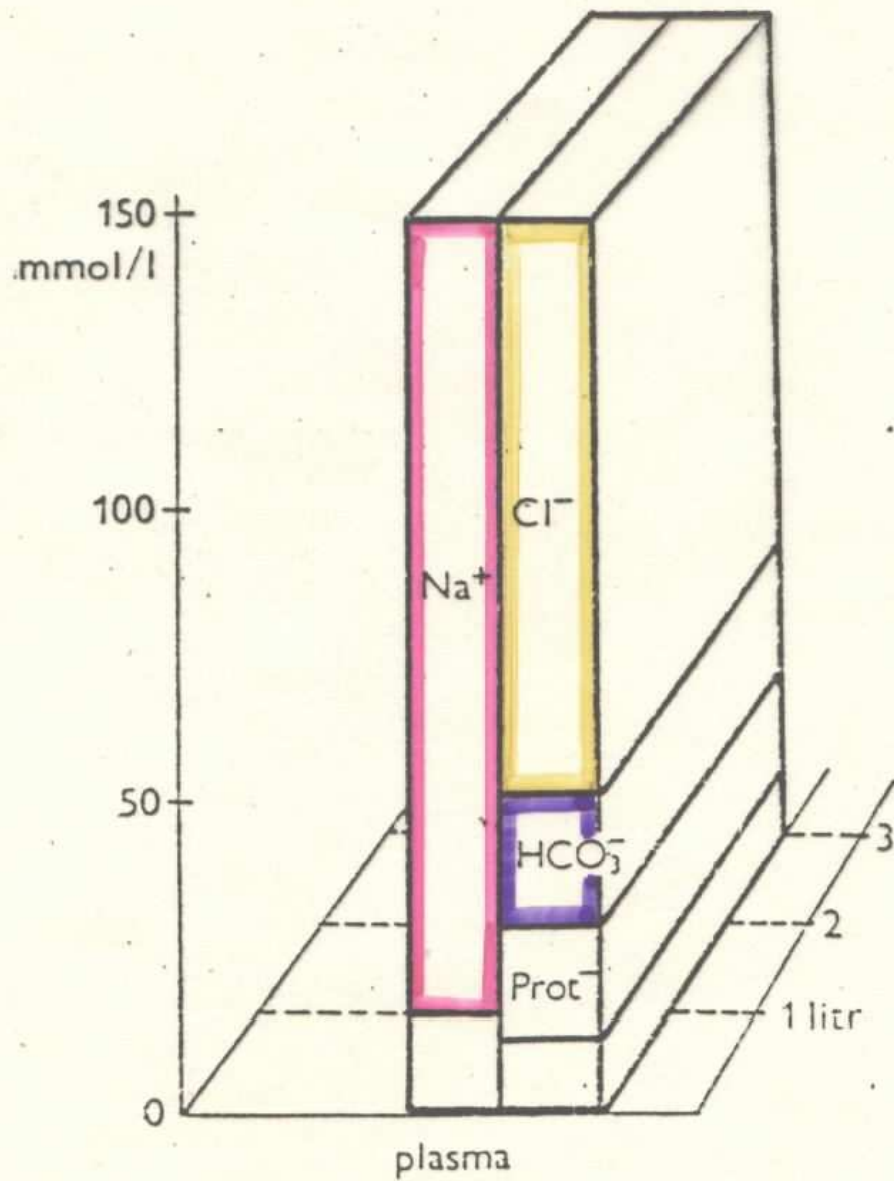


# Normochlor(id)emic acidose :



the excess of residual anions (green) is compensated for decrease of alkalic bicarbonates (blue), others anions unchanged

(from the residual anions for example: increase in lactate or in ketobodies = acetoacetic and hydroxybutyric acids).

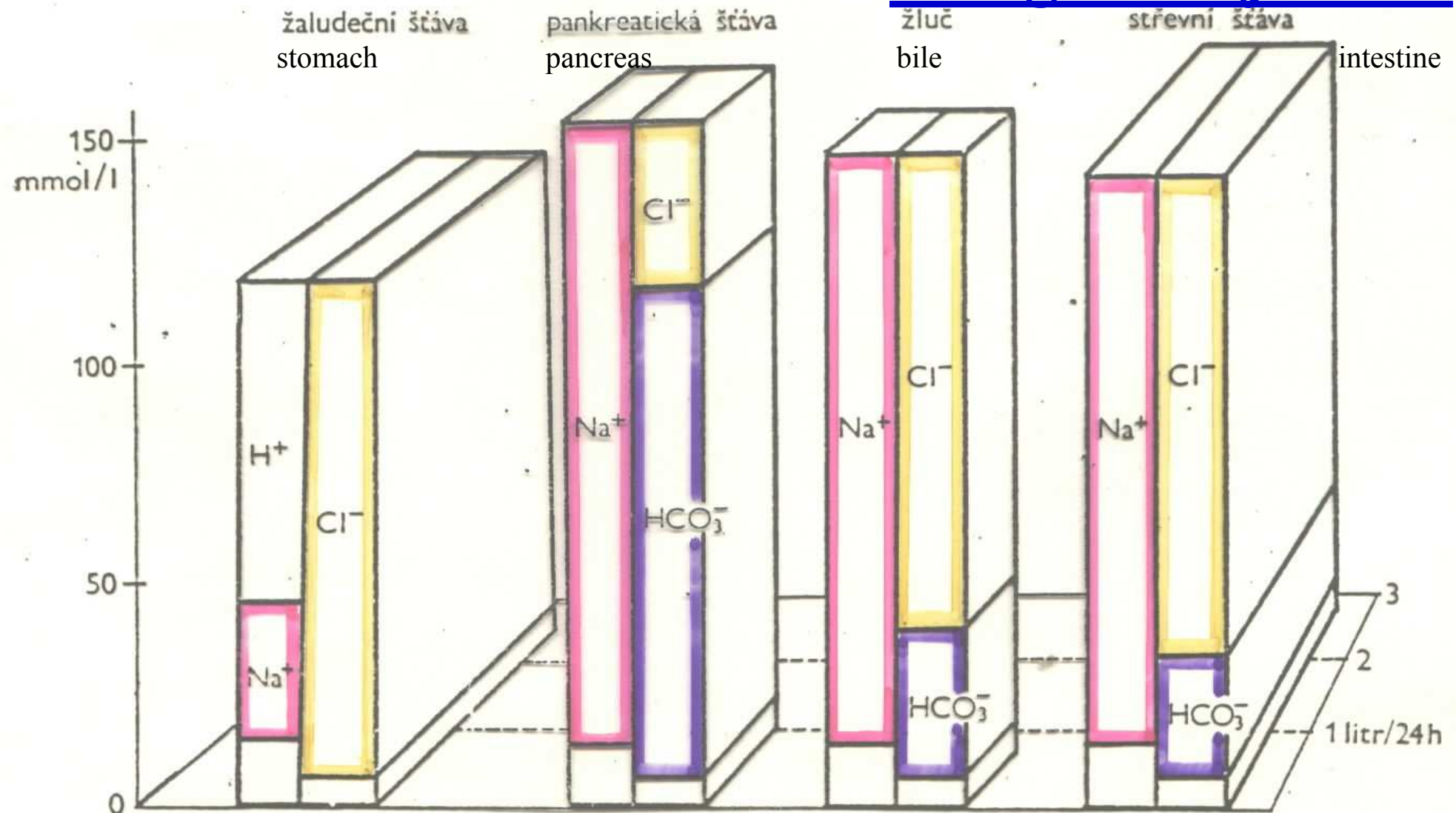


## Blood plasma

Iontové složení tělesných tekutin a jejich průměrná tvorba za 24 hodin. Pro srovnání uvedeno složení a objem krevní plasmy.

## Složení trávicích šťáv:

## The composition of digestive juices :



(význam: pro ev. odhad ztrát sondou neb drénem)

(significance: for the possible estimate of losses by sound or drain)

# „Silné ionty“ (1):

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

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

„Silné“ anionty:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ...

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

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

\*)  $\text{UA}^-$  = unidentified anions ['anai,dentifaid ,aen'aiəns]

# „Strong ions“ (1):

There are the ions (mostly strong) acids and bases,  
which do not have the buffer ability under physiological pH of blood (~ 7,4).

„Strong“ cations:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$

„Strong“ anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ...

The unidentified/unmeasured anions ( $\text{UA}^-$ ) belong among „strong anions“.

$\text{UA}^-$  \*) comprise anions of acids (increased) in metabolic acidose (MAc) :

- anions of organic acids: lactate<sup>-</sup>, acetoacetate<sup>-</sup>, 3-hydroxybutyrate<sup>-</sup>,  
in intoxications possible formiate<sup>-</sup>, salicylate<sup>-</sup>, ...
- anions of strong anorganic acids: sulfate<sup>-</sup>  
(in chronic kidney failure...)

\*)  $\text{UA}^-$  = unidentified anions [ˈanai,dentifaid ,aenˈaiəns]

## „Silné ionty“ (2):

$pK_A$  hodnoty organických kyselin (ze skupiny  $UA^-$ ) jsou zpravidla o 3 řády ( $\sim 1.000$ 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 pufrční schopnost.

(Pufrční schopnost je vodném prostředí dána  $pH = pK_A \pm 1$  . 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 - pufrční systémy krve udržují pH, které má za následek prakticky úplnou disociaci organické kyseliny.

## „Strong ions“ (2):

The  $pK_A$  values of organic acids (from the group of  $UA^-$ ) are usually three order of magnitude lower ( $\sim 1.000$ times greater !) than the pH of blood.

Then the acids are dissociated in the blood  $> 99,9 \%$  and their anions have properties of „strong ions“.

Organic acids are „kept“ (in the blood) in the state of complete dissociation, they „lost“ their properties of weak acids (as are known in the water medium) and therefore they „lost“ also the buffering ability.

(The buffering ability is given by the  $pH = pK_A \pm 1$  in the water medium. In the blood (at  $pH \sim 7,4$ ) the region exceeds the value  $pK_A + 3$  for an organic acid !! - see the table farther).

Former equilibrium of dissociation of an organic acid (known from the water solution) disappeared in the blood - the buffering systems of blood maintain the pH, which leads to almost complete dissociation of organic acid.

## „Silné ionty“ (3):

kyselina	$pK_A$	$pH = 7,40$	disociace
salicylová <sup>+) </sup>	3,00	$pK_A + 4,40$	$> 99,9 \%$
acetoctová	3,52	$pK_A + 3,92$	$> 99,9 \%$
mravenčí <sup>+) </sup>	3,75	$pK_A + 3,65$	$> 99,9 \%$
mléčná	3,86	$pK_A + 3,54$	$> 99,9 \%$
$\beta$ -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  $> 99,9 \%$

<sup>+)</sup>  kyseliny přítomné při intoxikaci



## „Strong ions“ (3):

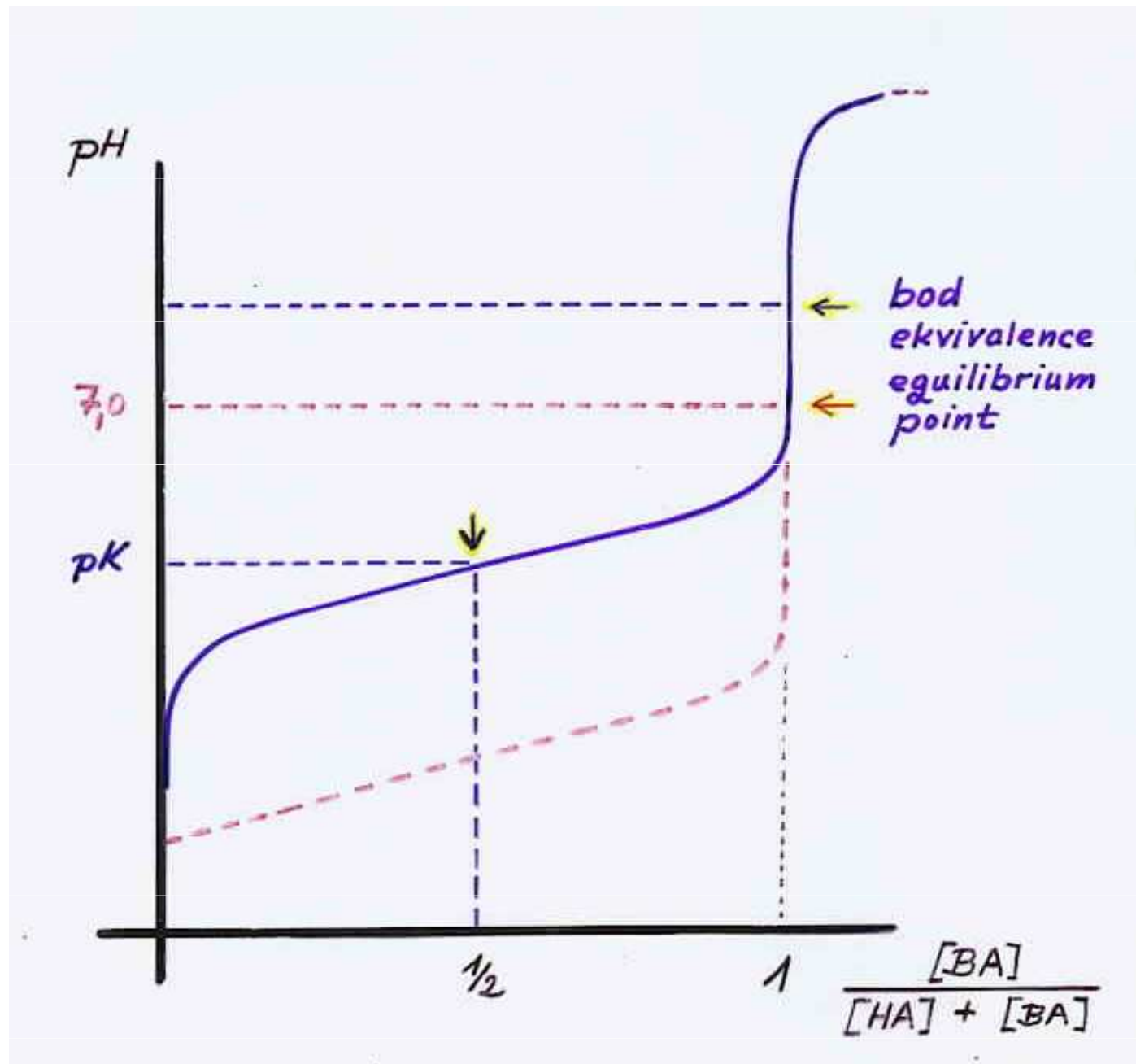
acid	pK <sub>A</sub>	pH = 7,40	dissociation
salicylic <sup>+) </sup>	3,00	pK <sub>A</sub> + 4,40	> 99,9 %
acetoacetic	3,52	pK <sub>A</sub> + 3,92	> 99,9 %
formic <sup>+) </sup>	3,75	pK <sub>A</sub> + 3,65	> 99,9 %
lactic	3,86	pK <sub>A</sub> + 3,54	> 99,9 %
β-hydroxybutyric	4,70	pK <sub>A</sub> + 2,7	

At the pH = pK<sub>A</sub>, an acid is dissociated from 50 % ,  
if the pH is > (pK<sub>A</sub> + 3) , an acid is dissociated from > 99,9 %

<sup>+)</sup>  the acids present in intoxication

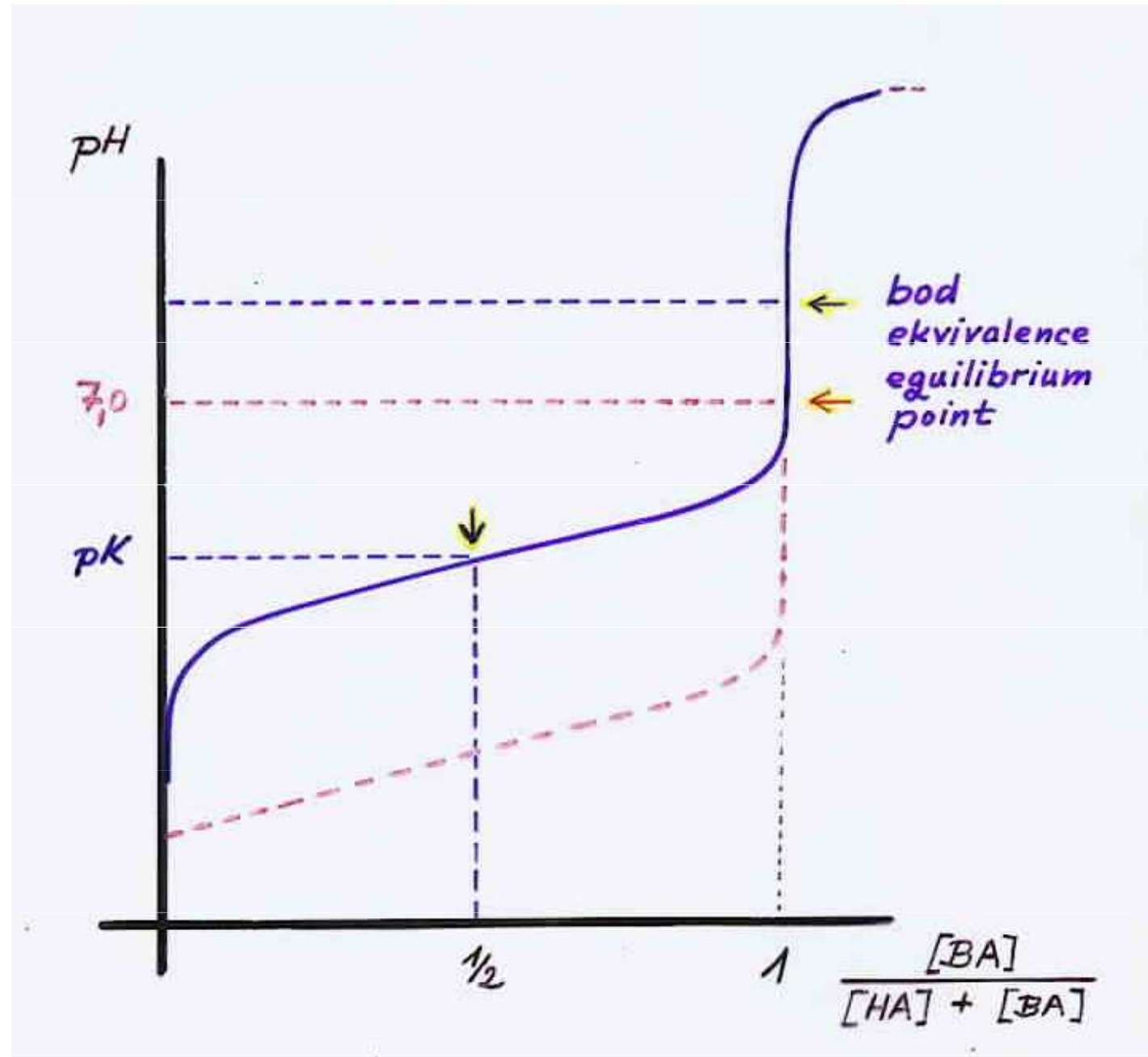
# Titrační křivka a schopnost pufrace

„ $pK_A \pm 1$ “



# The titration curve and ability to buffer

„ $pK_A \pm 1$ “



# 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 (  $A_{\text{tot}}$  )**

tj. suma látkových koncentrací negativních nábojů albuminu ( $\text{Alb}^-$ )

a anorganického fosforu (  $\text{P}_i^-$  )

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

# Independent variables

which determine the state of ABE (1):

1/  $p\text{CO}_2$

2/ strong ion difference ( SID )

It is the difference among the sum of all strong cations (completely dissociated, chemically non-reacting)

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

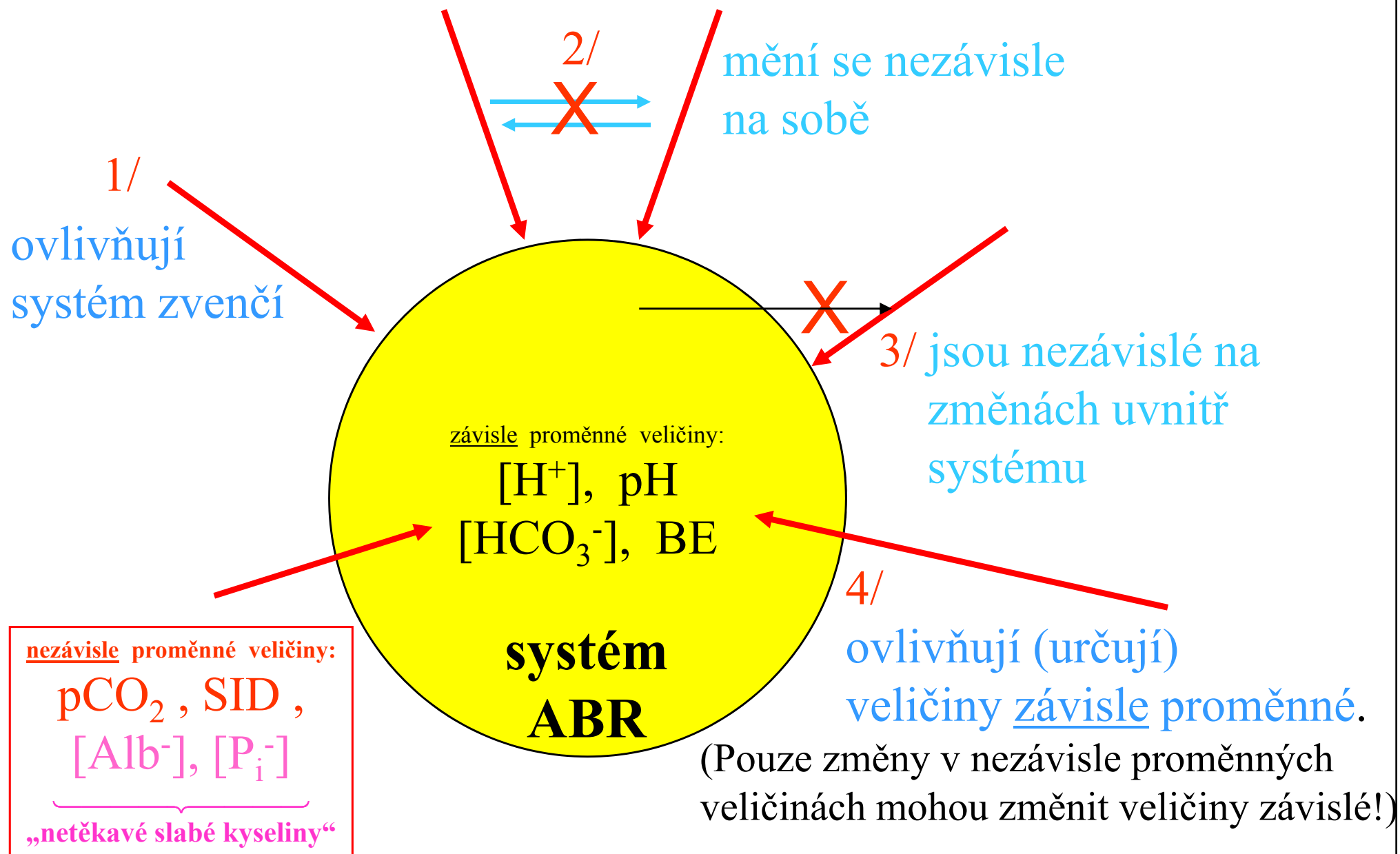
and the sum of all strong anions (  $\text{Cl}^- +$  another strong anions )

3/ total weak nonvolatile acids (  $A_{\text{tot}}$  )

It is the sum of molar concentration of negative charges of albumin ( $\text{Alb}^-$ ) and inorganic phosphate (  $\text{P}_i^-$  )

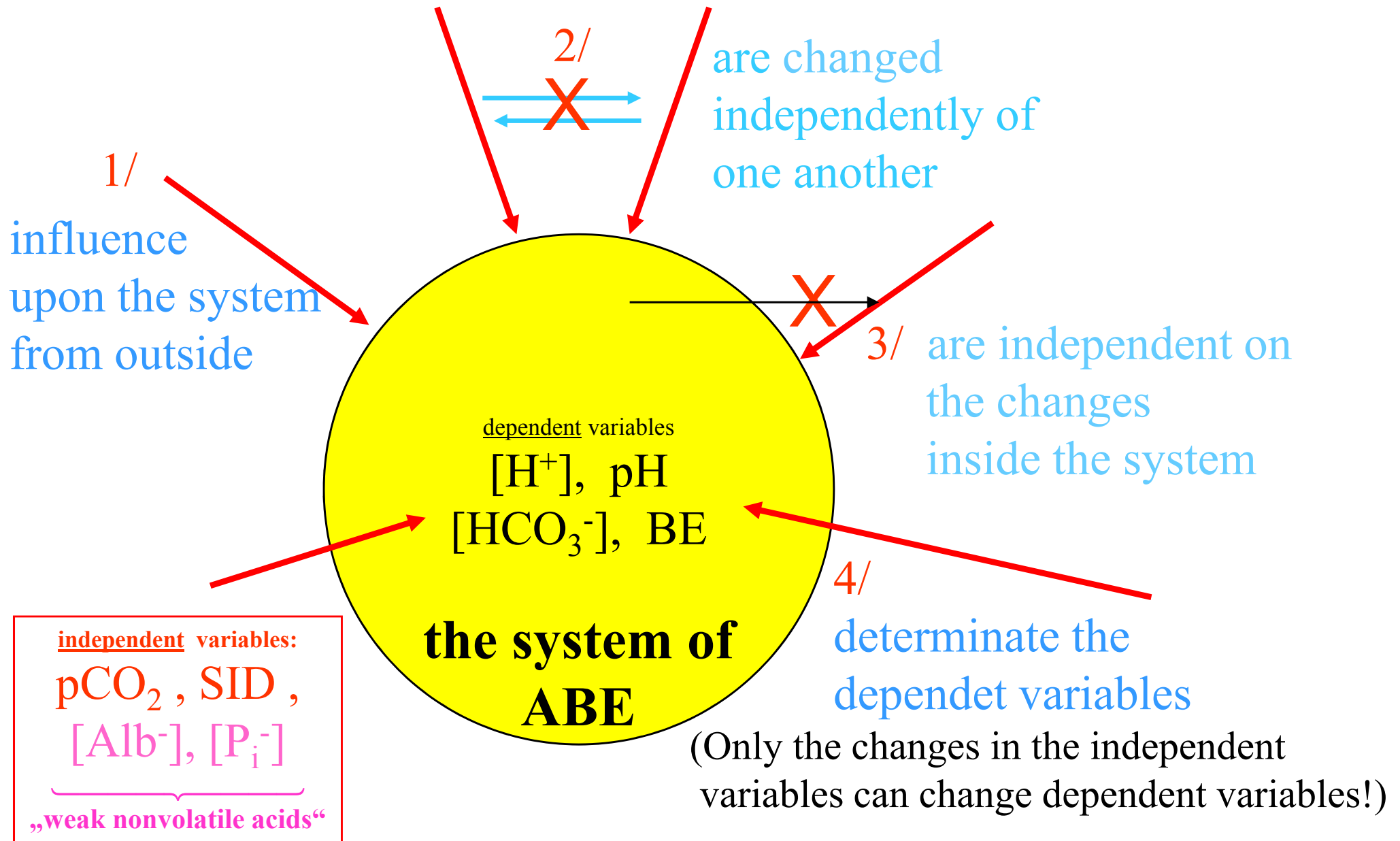
**independent variables can change primarily  
and independently of one another**

# Nezávisle proměnné veličiny (2) :



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

# Independent variables (2) :



( It is fully abstract model constructed for the system of acidbase equilibrium!  
It gives only the relationships among variables. )

# Nezávisle proměnné veličiny určující stav ABR (3):

1/ pCO<sub>2</sub>

2/ diference silných iontů ( SID )

$$\text{SID} = ([\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) - ([\text{Cl}^-] + [\text{UA}^-])$$

3/ celková koncentrace netěkavých slabých kyselin ( A<sub>tot</sub> )

$$\text{A}_{\text{tot}} = [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-]$$



## Independent variables

which determine the state of ABE (3):

1/ pCO<sub>2</sub>

2/ strong ion difference (SID)

$$\text{SID} = ([\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) - ([\text{Cl}^-] + [\text{UA}^-])$$

3/ total weak nonvolatile acids (A<sub>tot</sub>)

$$\text{A}_{\text{tot}} = [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-]$$

## Neměřené / nestanovované anionty UA<sup>-</sup> :

$$[UA^-] = ( [Na^+] + [K^+] + \overbrace{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{„ 3 “} ) - ( [Cl^-] + [Alb^-] + [P_i^-] + [HCO_3^-] )$$

$\downarrow$                        $\downarrow$   
 $\sim 12$                        $\sim 2$


Do některých vzorců jsou (pro zjednodušení) za součet  $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$  dosazovány 3 a oba kationty tak nemusí být měřeny.

U  $[Alb^-]$  a  $[P_i^-]$  pro informaci uvádíme průměrné normální hodnoty látkové koncentrace jejich záporného náboje .

Všechny rozměry: mmol . l<sup>-1</sup>

## Unidentified / unmeasured anions UA<sup>-</sup> :

$$[\text{UA}^-] = ( [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + \overbrace{[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]}{\text{„ 3 “}} ) \\ - ( [\text{Cl}^-] + [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-] + [\text{HCO}_3^-] )$$

  
~ 12                      ~ 2

In some formulas the number 3 is given instead the sum of  $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ , both cations cannot be determined (it becomes simpler).

At the  $[\text{Alb}^-]$  and  $[\text{P}_i^-]$  the normal average values of molar concentration of their negative charge are present for information.

All dimensions:  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

# Závisle proměnné veličiny

## určující stav ABR :

Žádná z dalších acidobazických proměnných (tj. **pH**, **[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]**, **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)

## Dependent variables

which determine the state of ABE :

None of subsequent acidobasic variables (it is pH,  $[\text{HCO}_3^-]$ , BE ) can change primarily.

There are the dependent values („dependent variables“), which are modified only in dependence on independent variables changes.

The change all of them simultaneous by only if one/more the independent variables change/s.

→ the improved procedure of evaluation of AB parameters was developed by: Peter A. Stewart (Canada)  
Vladimír Fencl (Czech Republic)

## Poznámka:

- 1/ u následujících „modrých grafů“ není zachována proporcionalita jednotlivých složek ve sloupci. Je použito pouze schematické znázornění.
- 2/ je rozdíl mezi způsobem výpočtu určitého ukazatele a mezi jeho obsahem (a tedy i významem):

Např. rozdíl silných iontů (SID):

- vypočítá se:

$$\text{SID} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] - [\text{Cl}^-] - [\text{UA}^-]$$

- jeho obsah tvoří:

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

## Annotation:

- 1/ in the next „blue graphs“ the proportionality of constituents is not maintained. Only the oversimplified demonstration in columns is used
- 2/ there is the difference between the form of calculation and the content (and therefore its significance) of some indicator

## E.g. the strong ion difference (SID):

- is calculated as:

$$\text{SID} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] - [\text{Cl}^-] - [\text{UA}^-]$$

- its content includes:

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

SID = strong ion difference :

Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	Alb <sup>-</sup>
Ca <sup>2+</sup>	P <sub>i</sub> <sup>-</sup>
Mg <sup>2+</sup>	UA <sup>-</sup>

→ SID = [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] + [Alb<sup>-</sup>] + [P<sub>i</sub><sup>-</sup>]

### Diference silných iontů - SID

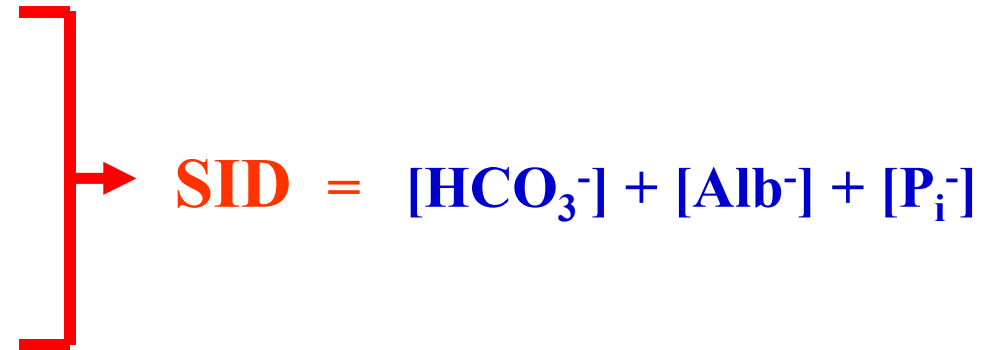
$$SID = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - ([Cl^-] + [UA^-])$$

$$SID = [HCO_3^-] + 0,28 \cdot [Alb^-] \text{ g.l}^{-1} + 1,8 \cdot [P_i^-] \text{ mmol.l}^{-1}$$



SID = strong ion difference :

Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	Alb <sup>-</sup>
Ca <sup>2+</sup>	P <sub>i</sub> <sup>-</sup>
Mg <sup>2+</sup>	UA <sup>-</sup>

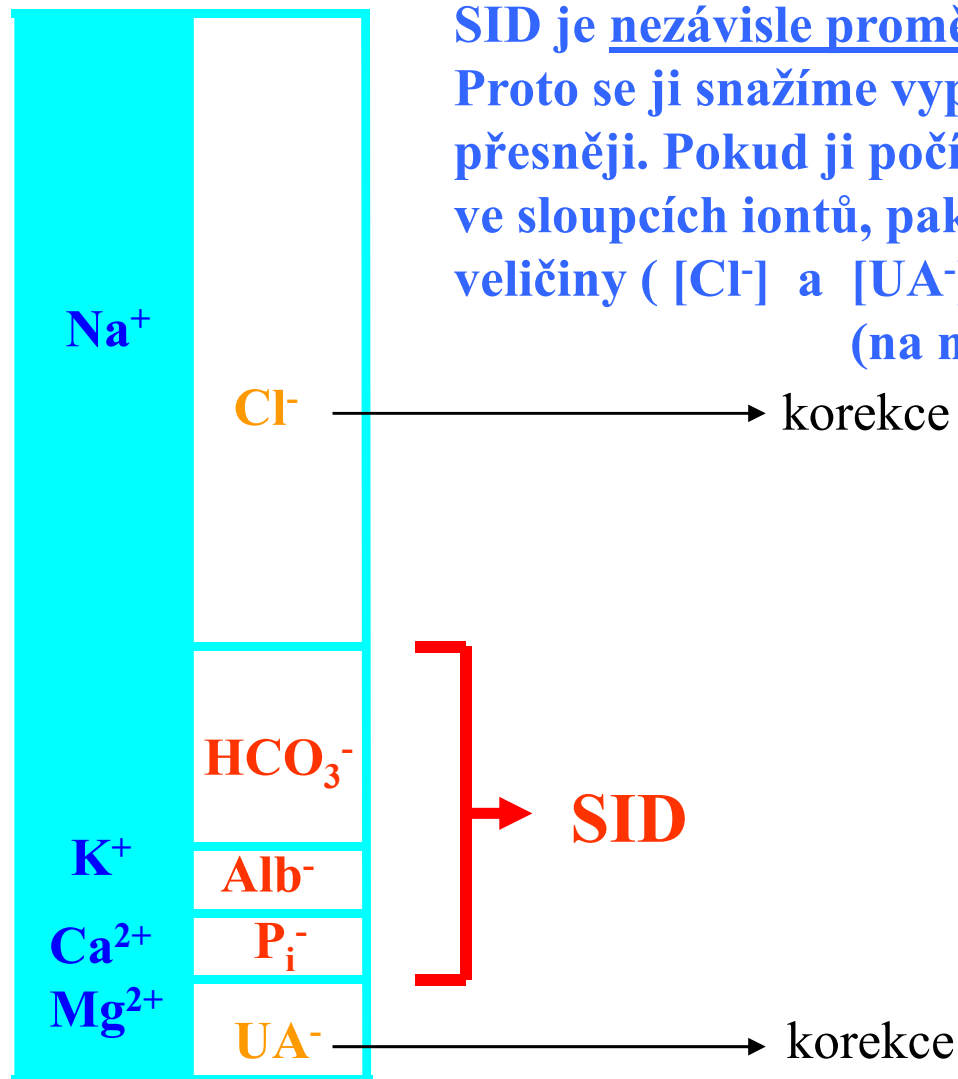


### The strong ion difference - SID

$$SID = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - ([Cl^-] + [UA^-])$$

$$SID = [HCO_3^-] + 0,28 \cdot [Alb^-] \text{ g.l}^{-1} + 1,8 \cdot [P_i^-] \text{ mmol.l}^{-1}$$

**SID = strong ion difference :**

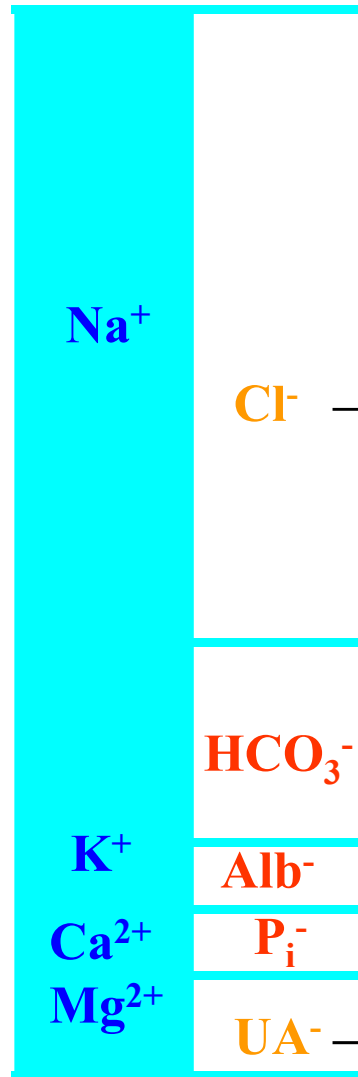


SID je nezávisle proměnná veličina. Proto se ji snažíme vypočítat co nej-  
přesněji. Pokud ji počítáme z rozdílu  
ve sloupcích iontů, pak zbylé aniontové  
veličiny (  $[\text{Cl}^-]$  a  $[\text{UA}^-]$  ) korigujeme  
(na normální  $[\text{Na}^+]$  ) !

**Diference silných iontů - SID**

$$\text{SID} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] - ([\text{Cl}^-] + [\text{UA}^-])$$

**SID = strong ion difference :**



SID is an independent variable. Therefore we try to calculate it in the more exactly way. If we calculate it from the difference in columns of ions, then the rest anion values ( [Cl<sup>-</sup>] and [UA<sup>-</sup>] ) are corrected (for the normal [Na<sup>+</sup>] ) !

correction

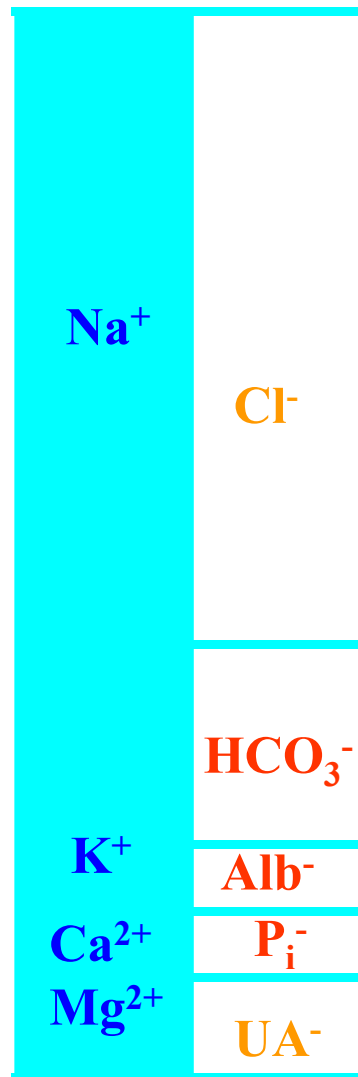
SID

correction

**The strong ion difference - SID**

$$\text{SID} = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] - ([\text{Cl}^-] + [\text{UA}^-])$$

## 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)

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

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

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

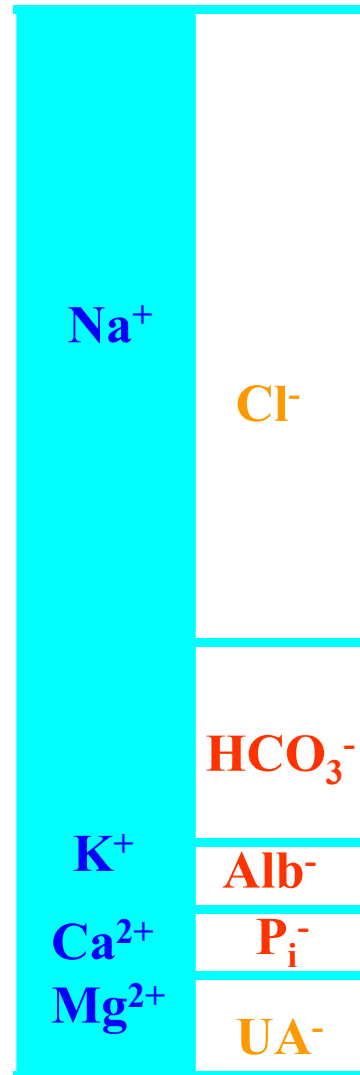
(obsah)

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

## Anion gap AG :



The anion gap is usually calculated as the difference between the sum of two main cations (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>) and the sum of two main anions (Cl<sup>-</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in blood plasma (see below)

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

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

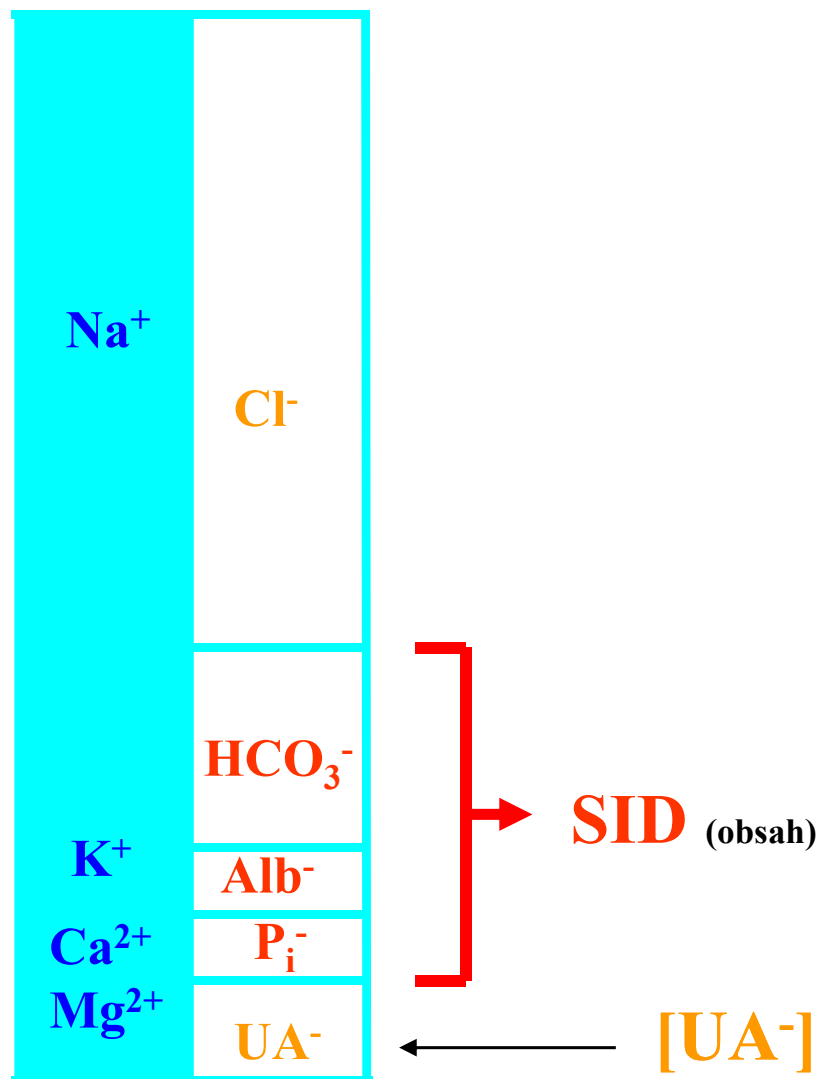
$$AG = [\text{Alb}^-] + [\text{P}_i^-] + [\text{UA}^-]$$

### Anion gap - AG

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

AG can be calculated from adjusted concentration of Alb

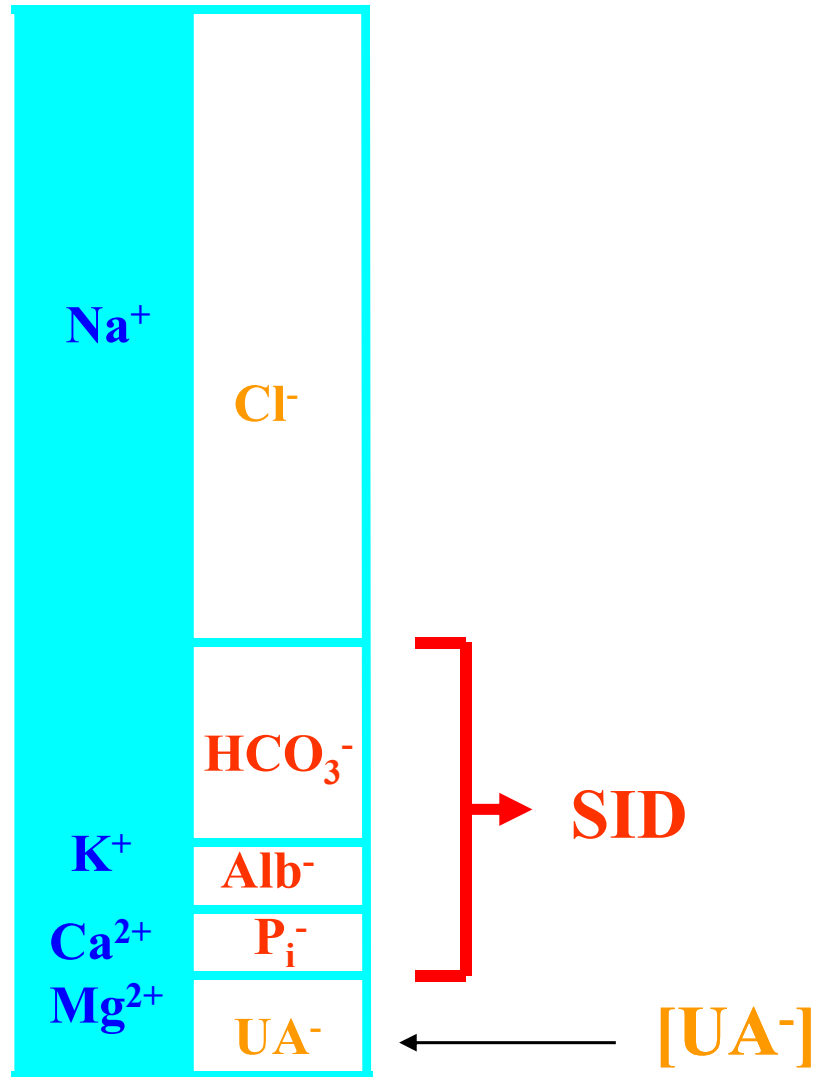
Neměřené /  
nestanovované  
anionty UA<sup>-</sup> :



**Neměřené anionty UA<sup>-</sup>** (výpočet)

$$[UA^-] = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - ([Cl^-] + SID)$$

Unmeasured / unidentified anions UA<sup>-</sup> :



**Unmeasured anions UA<sup>-</sup>**

$$[\text{UA}^-] = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] - ([\text{Cl}^-] + \text{SID})$$

# Pufrové báze séra $BB_s$ :

$$\begin{aligned} BB_s &= [Na^+] + [K^+] - [Cl^-] \\ &= 42 \pm 4 \text{ mmol} \cdot l^{-1} \end{aligned}$$

← z těchto iontů se nejčastěji mění  $[Cl^-]$ , proto

$BB_s < 38 \rightarrow$  metabolická acidóza hyperchlor(id)emická

$BB_s > 46 \rightarrow$  metabolická alkalóza hypochlor(id)emická



# Buffer base of serum $BB_s$ :

$$\begin{aligned} BB_s &= [Na^+] + [K^+] - [Cl^-] \\ &= 42 \pm 4 \text{ mmol} \cdot l^{-1} \end{aligned}$$

← the  $[Cl^-]$  is changed more frequently from these ions. For that reason

$BB_s < 38 \rightarrow$  metabolic acidosis hyperchlor(id)emic

$BB_s > 46 \rightarrow$  metabolic alkalosis hypochlor(id)emic

# Koncentrace plasmatických iontů, korigované na normální natrémii :

1/ pro hodnocení ABR (Stewart, Fencil) se koriguje

- změřená koncentrace chloridů -  $[\text{Cl}^-]$
- vypočítaná koncentrace nestanovovaných/neměřených aniontů -  $[\text{UA}^-]$

2/ korekce se provádí přenásobením hodnotou  $140 / [\text{Na}^+]$

3/  $\frac{140}{[\text{Na}^+]}$  ← ideální natrémie (střed normálního rozpětí)  
← stanovená koncentrace  $\text{Na}^+$  v plasmě

4/ rozměr všech hodnot:  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

# The concentration of ions of plasma, corrected for normal natriemia :

1/ for evaluation of ABE (Stewart, Fencil) is corrected :

- the determined concentration of chlorides -  $[\text{Cl}^-]$
- the calculated concentration of unmeasured/unidentified anions -  $[\text{UA}^-]$

2/ the correction is made by multiplying with the value  $140 / [\text{Na}^+]$

3/  $\frac{140}{[\text{Na}^+]}$  ← ideal natriemia (the mean of normal range)  
← determined concentration  $\text{Na}^+$  in plasma

4/ all dimensions:  $\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$

## Korigovaná koncentrace Cl<sup>-</sup> aniontu

$[\text{Cl}^-]_{\text{korig}}$  :

Výpočet určuje, jak by se při aktuální hypo-, resp. hypernatrémii, změnila hodnota plazmatických (sérových) chloridů, kdyby došlo k normalizaci natrémie.

Výpočtem se tedy zjišťuje, zda při aktuální dysbalanci natrémie je hodnota chloridů změněna více nebo méně, než odpovídá změně natrémie.

$$[\text{Cl}^-]_{\text{korig}} = [\text{Cl}^-] \cdot \frac{140}{[\text{Na}^+]}$$

## The corrected concentration of Cl<sup>-</sup> anion

**[Cl<sup>-</sup>]<sub>correc.</sub> :**

The calculation demonstrates, how would be changed the value of chlorides in plasma (serum) at current hypo-, ev. hypernatraemia, if the natraemia becomes normal.

The calculation determines if at the given deviation of natraemia is the chlorides concentration changed more or less correspond to natraemia.

$$[\text{Cl}^-]_{\text{corrected}} = [\text{Cl}^-] \cdot \frac{140}{[\text{Na}^+]}$$

**Korigovaná koncentrace neměřených/nestanovovaných aniontů  $[UA^-]_{\text{korig.}}$ :**

$$[UA^-]_{\text{korig.}} = ( [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - [Cl^-] - SID )$$

- $\frac{140}{[Na^+]}$

**The corrected concentration of unmeasured/unidentified anions  $[UA^-]_{\text{correc.}}$  :**

$$[UA^-]_{\text{correc.}} = ( [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - [Cl^-] - SID )$$

- $\frac{140}{[Na^+]}$

# Obsah (výpovědní 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

pCO<sub>2</sub>

[Alb<sup>-</sup>] ~ 12  
[P<sub>i</sub><sup>-</sup>] ~ 2  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] ~ 24  
(mmol / l)



The contents (testify value)  
of calculated variables :

$$AG = [UA^-] + [Alb^-] + [P_i^-]$$

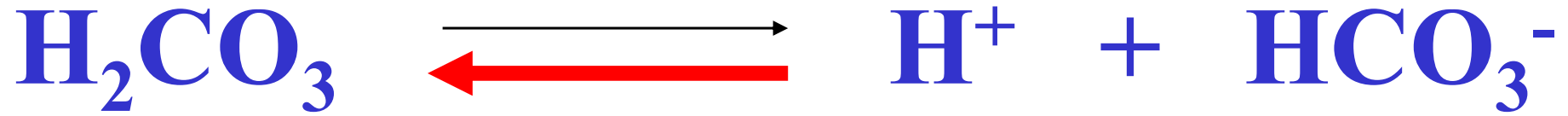
$$SID = [HCO_3^-] + [Alb^-] + [P_i^-]$$

weak nonvolatile acids

independent variables

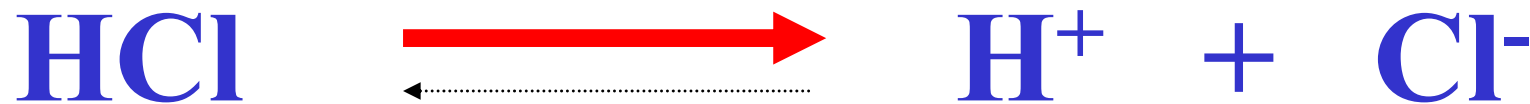
pCO<sub>2</sub>

[Alb<sup>-</sup>] ~ 12  
[P<sub>i</sub><sup>-</sup>] ~ 2  
[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] ~ 24  
(mmol / L)



**slabá kyselina**

**silná**  
**konjugovaná**  
**báze („pufruje“)**



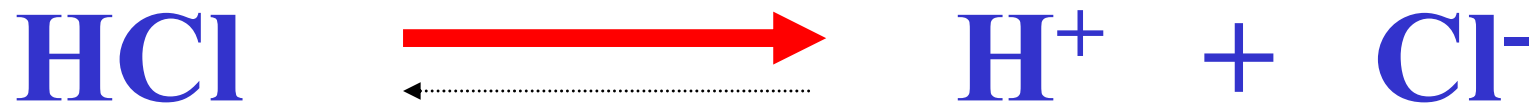
**silná kyselina**

**slabá**  
**konjugovaná**  
**báze („nepufruje“)**



**weak acid**

**strong  
conjugated  
base („is buffering“)**



**strong acid**

**weak  
conjugated base  
(„is not buffering“)**

