

# Poruchy vnitřního prostředí *v chirurgii*

L.Dadák, V. Šrámek  
ARK, FN u svaté Anny v Brně

# Never completely trust the laboratory

Quick	<0.10	( 0.70 - 1.34 )	<-( )	repeated
aPTT	>150	s ( 20.0 - 40.0 )	<=( )	repeated
Fibrinogen	4.50	g/l ( 1.80 - 4.00 )	( )	->
Antitrombin III	32	% ( 80 - 120 )	<-( )	

----- same patient, 30 min later -----

Quick	0.55	( 0.70 - 1.34 )	<-( )	
aPTT	44.7	s ( 20.0 - 40.0 )	( )	->
Aptt ratio	1.49			
Fibrinogen	5.40	g/l ( 1.80 - 4.00 )	( )	->
INR	1.59	( 0.85 - 1.38 )	( )	->
Antitrombin III	61	% ( 80 - 120 )	<-( )	

# Homeostáza

**1.inzult**

**2.kompenzační mechanizmy + léčba**

**3.obnova původního stavu**

**Základní principy vnitřního prostředí:**

- **isovolémie**
- **isohydrie, isoionie**
- **isoosmie**

## Isoosmie

osmotický tlak plasmy ( $280 \pm 10$  mosm/l)

výpočet  $2 \times \text{Na}^+ + \text{glykémie} + \text{urea}$

efektivní osmolalita ( $\text{Na}^+$ )

další osmoticky aktivní látky: manitol, alkohol...

## Onkotický tlak

slouží k udržení náplně **cévního** řečiště

celková bílkovina (albumin 50g/l ... 15 mmHg)

koloidní roztoky (škrob, želatina, dextran)

# Isovolémie

## Adekvátní náplň krevního řečiště

### Řízení:

- Volumoreceptory (cévy, srdce) – ECF
- Osmoreceptory (hypotalamu) - ICF

# Tělesné kompartmenty

Voda = 60 % tělesné hmotnosti

ECF = IVF + ISF                      ICF

	←→	←→	
5%	15%		40%
<b>Na</b>	<b>Na</b> + -		Na
K	K + -		<b>K</b>
<b>P</b>	P + -		

i.v. podané ionty – rozmístěny dle svého fyziol. rozmístění

## ICF (mEq/L)

K<sup>+</sup> (150-154)  
Na<sup>+</sup> (6-10)  
Mg<sup>+2</sup> (40)

### Cations

Mg<sup>+2</sup> (3)

### Anions

Organic PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (100-106)  
protein (40-60)  
SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (17)  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (10-13)  
organic acids (4)

## ECF (mEq/L)

Na<sup>+</sup> (142)  
Ca<sup>+2</sup> (5)  
K<sup>+</sup> (4-5)

Cl<sup>-</sup> (103-105)  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (24-27)  
protein (15)  
PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (3-5), SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (4)  
Organic acids (2-5)

## Potřeba vody (dospělý)

- základní potřeba 2 ml/kg/h
- další ztráty
  - 1°C horečka = 500ml/d
  - pocení
  - průjem, píštěl ... voda s ionty [mmol/l]

	<b>Sodium</b>	<b>Potassium</b>	<b>Chloride</b>	<b>Bicarbonate</b>
Saliva	10-60	10-20	15-40	30-15
Stomach	40-100	5-15	15-20	—
Bile	130-140	4-6	95-105	30-40
Pancreas	130-140	4-6	40-60	80-100
Small intestine	130-140	4-6	40-60	80-100
Colon	80-140	25-45	80-100	30-50
Sweat	40-50	5-10	45-60	—



# Dehydratace

Ztráta tekutin – H<sub>2</sub>O z těla

Příčiny: nedostatečný příjem; zvýšený výdej

- Hypertonická = hypernatremická  
horečka + perspirace (hypotonický pot)
- Isotonická = isoNa- průjmy
- Hypotonická = hypoNa (ztráty iontů + vody)  
diuretika,

Přízn. hypovolemie : hypotenze, tachykardie, oligurie,  
prodloužený kapil.návrat, ...

Dehydratace: porucha vědomí; snížený turgor

Priority v léčbě:

1. **Volum a perfúze tkání**
2. Korekce pH
3. K, Ca, Mg
4. Na, Cl

# Volum = náplň cévního řečiště vs. roztok

pac. 75 kg

9,4l Glc 5%

5l NaCl 0,9%

1l HAES

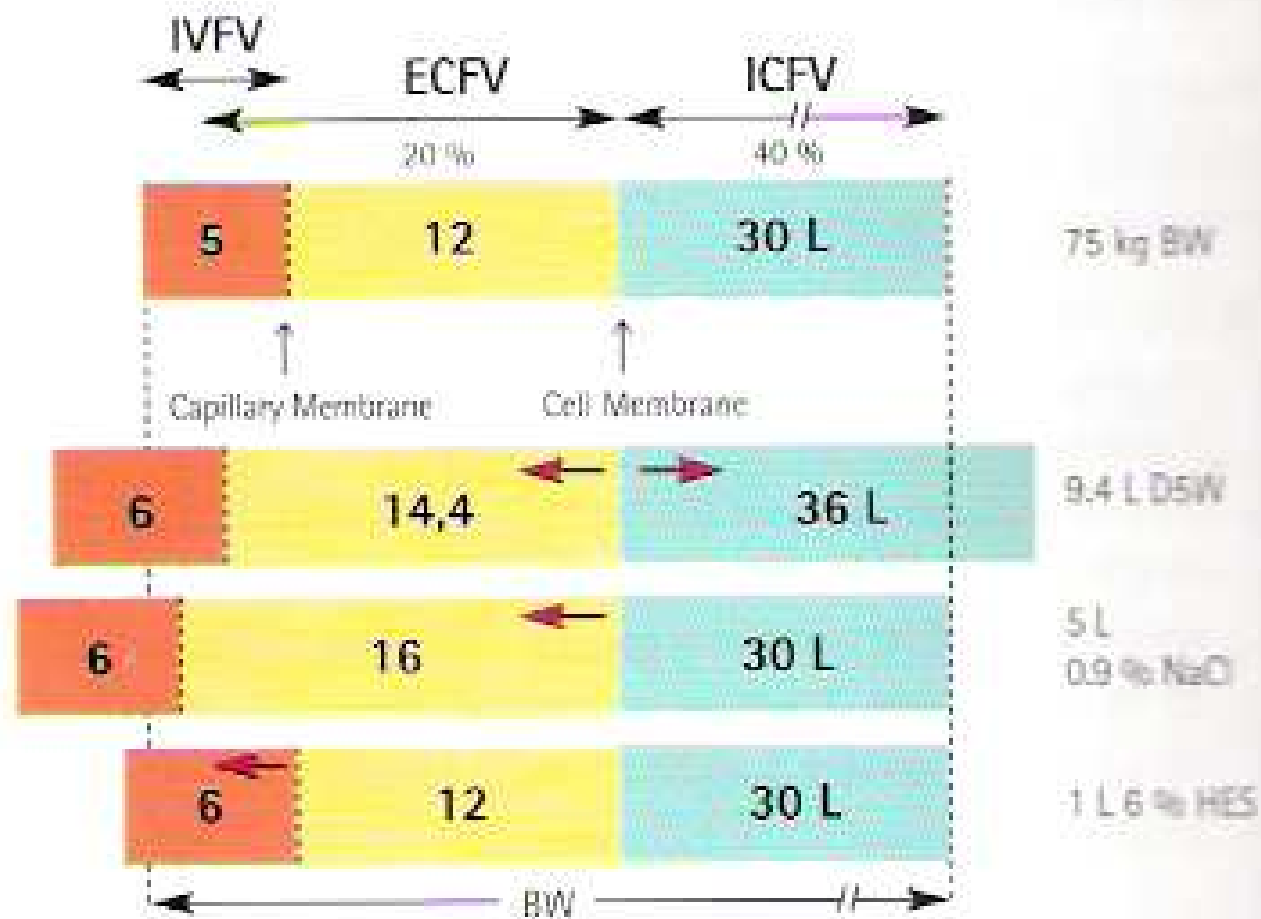


Figure 5: Possibilities for an increase of blood volume (IVFV) by 1 L

## Hypovolémie:

- nejčastější hemodynamická odchylka, nedostatečný intravaskulární objem ( $\neq$  dehydratace)

hypovolémie absolutní nebo relativní

Th: roztoky i.v: **krystaloidy, koloidy**  
(katecholaminy – zlepšení srdečního výdeje)

# Tekutinová resuscitace

- **dehydratace + hypovolemie**

Crystalloids - FR, R.

množství závisí na změně těl.hmotosti, klinickém stavu, vitálních funkcích, známkách šoku

obecně se podá bolus 500-2000 ml krystaloidů, sleduje se změna stavu, pak dle ztrát a potřeb pacienta.

cíl: rychle stabilizovat a doplnit oběh

# Krystaloidy:

## Vyvážené roztoky elektolytů

- snadno pronikají membránami
- isotonic, hypertonic, hypotonic.
- ??Fyziologický roztok  
= Normal Saline (0.9% NaCl),
- Ringer , Ringer-laktát =Hartmann
- Hypertonický NaCl (3, 5, & 7.5%) označované „plasma expanders“ - zvyšují Volum přesunem intracelulární a intersticiální tekutiny do cévního řečiště.

## FR

154 mEq/L Na<sup>+</sup>; 154 mEq/L Cl<sup>-</sup>; 308mOsm/L.

- !! [Cl<sup>-</sup>] normal serum 103 mEq/L
- zatíží ledviny nadbytkem Cl<sup>-</sup>
- **diluční hyperchloremická acidóza**
  
- Jedinný kompatibilní s krevními deriváty
- nedodává energii ani čistou vodu
- Restores NaCl deficits.

## Lactated Ringer's solution

- isotonic, beginning of volume resuscitation

### Ingredients:

- \* 130 mEq of Na
- \* 109 mEq of Cl
- \* 28 mEq of lactate
- \* 4 mEq of K
- \* 3 mEq of Ca

Lactát konvertován játry na bicarbonát.

Minimální efekt na pH.

nedodává energii ani čistou vodu



## Koloidy:

- Onkotický tlak (molekuly neunikají z kapilár).

## Syntetické:

- HAES = HydroxyAethylStarch
- Gelatina
- Dextran

## Humánní:

- Albumin
- Plasma

## "Free H<sub>2</sub>O solutions"

- léčba dehydratace hypertonické
- po zmetabolizování obsahu zůstává v těle jen H<sub>2</sub>O
- Glc 5%, Glc10%
- (Energie)

## Cíle tekutinové resuscitace:

obnovit homeostázu

- **normalizace vitálních funkcí**
- **zajistit dodávku kyslíku do tkání**
- **prokrvit ledviny**
  - **hodinová diuréza**
- **obnova vědomí**

# Hypervolémie

(= hyperhydratace) - renální selhání,  
přestřelená léčba

Th: odstranění příčiny:

- úprava léčby (příjem/výdej), srdeční výdej,
- podpora diurézy, eliminační techniky

## Priority v léčbě:

1. Volume a perfúze tkání
2. **Korekce pH**
3. K, Ca, Mg
4. Na, Cl

# Blood for analysis

- arterial
- capillar
- venous, mixed venous (v.cava, a.pulmonalis)

# Acido-bazická rovnováha

arteriální krev:

pH	7,35-7,45
pCO <sub>2</sub>	4,6-6 kPa
pO <sub>2</sub>	10-13 kPa
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22-26mmol/L
BE	-2 .. +2 mmol/L
SpO <sub>2</sub>	95-98%

## Základní pravidla ABR

$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$        $[\text{H}^+]$  36 .. 43 nmol/l

$\text{pH} = \text{pK} + \log (\text{H}^+ \text{ acceptor} / \text{H}^+ \text{ donor})$     buffer

v krvi je pH      ... stav se jmenuje

- acidémie     $\text{pH} < 7.36$     ... acidóza
- alkalémie     $\text{pH} > 7.44$     ... alkalóza

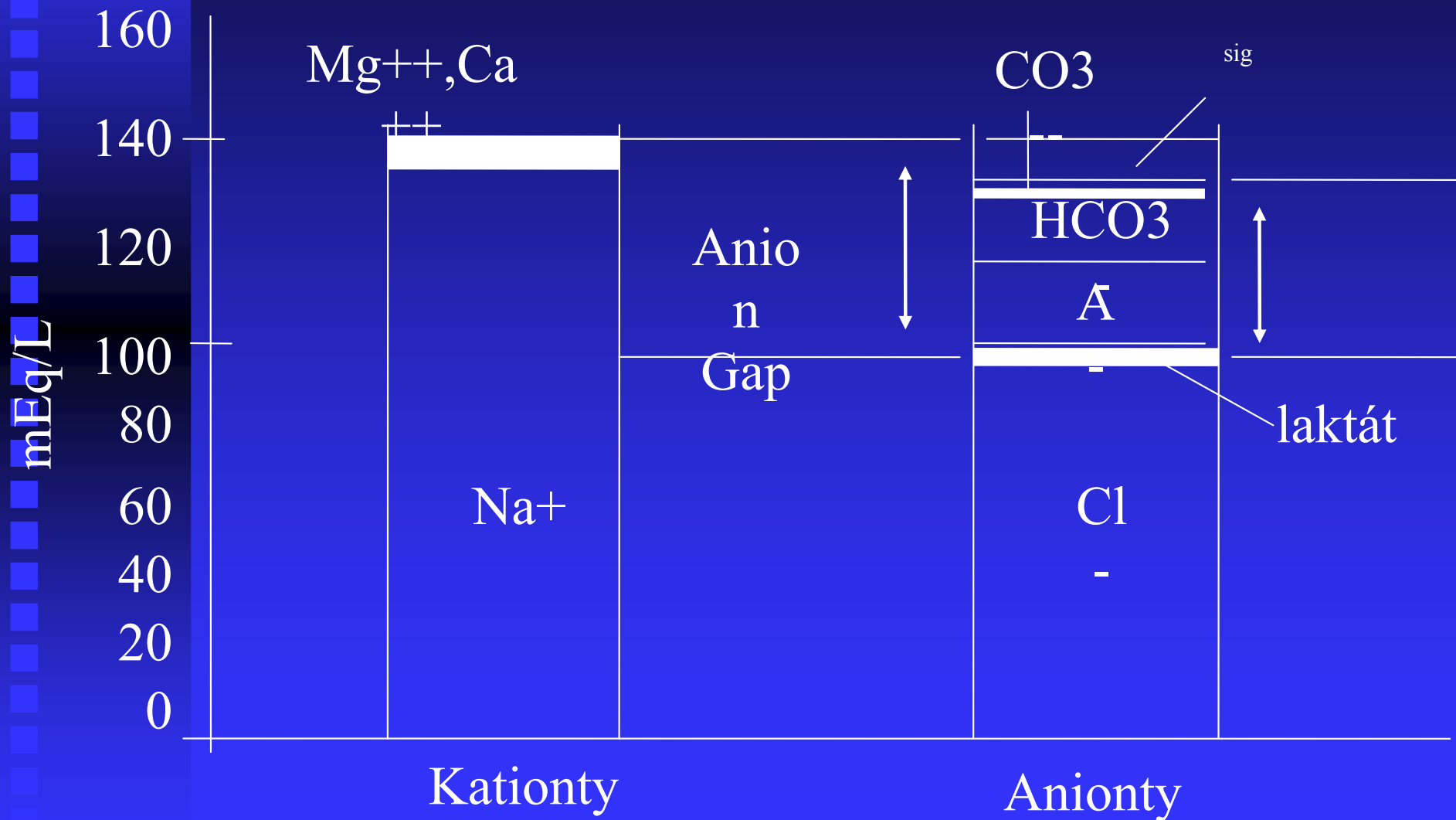
• Respirační      ...  $\text{pCO}_2$

• Metabolická      ...  $\text{HCO}_3^-$ ; BE

BE = vypočtené množství přebývajících bazí do 7.4 při standardním  $\text{CO}_2$ .



# Složení plasmy: elektroneutralita,



# CO<sub>2</sub>

pCO<sub>2</sub> – vyrovnaný stav (příjem : výdej)



pCO<sub>2</sub> \* Ventilace = konstanta

pCO<sub>2</sub> \* V<sub>T</sub> \* f = konstanta

- normal arterial paCO<sub>2</sub> 40 mmHg ≈ 5.33 kPa ≈ 5.61 %.
- Převést p [mmHg] na [kPa]: dělit hodnotu v mmHg 7.5

ΔpH

Δ p CO<sub>2</sub>

0.1

1,6 kPa = 12 mmHg

kyselina = dárce  $H^+$

- laktát
- silné kyseliny (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- k. acetylsalicilová (otravy)
- ...

$\Delta pH$

+0.1

$\Delta BE$

+6 mmol/l

## Hodnocení:

- anamnéza
- klinické vyšetření
- laboratoř

## Léčba:

- vyvolávající porucha a rychlost jejího vzniku  
(UPV, inzulin, antiemetika, oběhová stabilizace).

# Metabolická acidóza MAc

A) Anion Gap pozitivní (urémie, laktátová acidóza),  
(nedostatek natria)

**BE < 0**

B) Anion Gap normální (hyperchloremická acidóza)

## Léčba:

1) příčina

2)

ad A)  $\text{NaHCO}_3$  (dle etiologie a  $\text{pH} < 7,2$ )

**kontroverze**

ad B) krystaloidy s fyziologický poměrem iontů

# Respirační acidóza RAc

porucha produkce/eliminace CO<sub>2</sub>  $p\text{CO}_2 > 5,33 \text{ kPa}$   
 $40 \text{ mmHg}$

## Léčba:

- snížení produkce (teplota, hyperkalorická výživa)
- zvýšení eliminace  
(stimulace dech. centra, dýchací stavy, UPV,  
zmenšení mrtvého prostoru)

Dekompenzovaná RAc:  $\text{pH} < 7,2$

## Respirační alkalóza

$$p\text{CO}_2 < 5,33 \text{ kPa}$$
$$40 \text{ mmHg}$$

- záměrná hyperventilace
- plicní edém, infekce, hypoxie, anemie
- energeticky nevýhodná

následek:

- pokles ionizovaného  $\text{Ca}^{++}$  (tetanie)
- horší uvolnění  $\text{O}_2$  z Hb
- snížení stimulace dechového centra, hrozí hypoxie

MA1

BE > 0

pH > 7.44

- ↑ ztráty do moči  $\text{NH}_4^+$
  - ↑ resorbce  $\text{HCO}_3^-$  ledvinou
  - ztráty  $\text{Cl}^-$  (zvracení, odsávání NG sondou)  
elektroneutralita zachována díky vzestupu  $\text{HCO}_3^-$
- korekce: podání chloridů ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_3\text{Cl}$ ,  
argininCl,  $\text{HCl}$ )



- **zvracení:**

ztráta  $H^+$  a  $Cl^-$ . Narůstá AG (převaha  $Na^+$ ). Dojde k větší disociaci vody,  $H^+$  (náhrada ztrát) +  $HCO_3^-$   $\boxtimes$  alkalóza

- **diluční acidóza:**

hrazení FR ( $Na^+ : Cl^- = 1:1$ )  $\boxtimes$  snížení AG  $\boxtimes$  snížená disociace vody, pokles  $HCO_3^-$   $\boxtimes$  acidóza

- **laktátová acidóza:**

hromadění laktátu (silný anion)  $\boxtimes$  snížení SID  $\boxtimes$  acidóza  
(proces je omezený - metabolismus laktátu)

- **neměřitelné anionty:**

přítomnost AG - nevysvětlitelné acidózy  
u sepse a jaterního selhání

## Priority v léčbě:

1. Volume a perfúze tkání
2. korekce pH
3. K, Ca, Mg
4. Na, Cl

## Ionty v těle:

- Sodík  $\text{Na}^+$
- Draslík  $\text{K}^+$
- Vápník  $\text{Ca}^{++}$
- Hořčík  $\text{Mg}^{++}$
- Fosforečnany  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$
- Chloridy  $\text{Cl}^-$
- 
- Glukóza  $\text{Glc}$

## Sodium Na<sup>+</sup>

- extracellular fluid                      140 mmol/l
- intracellular fluid                      10 mmol/l
  
- Hyponatremia
- Hypernatremia

# Hyponatremia $\text{Na}^+$ in serum $< 120 \text{ mmol/l}$

- hemodiluce
- ztráty:
  - zvracení
  - průjem
  - pocení
  - renální / CNS onemocnění, diuretika
  - únik do 3. prostoru (popálení, pancreatitis, peritonitis)
- zdánlivá (hyperglycemia, hyperlipidemia, manitol) –  
Total osmolality N /  $\uparrow$

## Hyponatremie - příznaky

- únava, apatie, koma, **změna kvality vědomí**
  - bolest hlavy
  - svalové křeče, slabost
  - anorexia, nevolnost, zvracení.
- 
- Lehká až středně těžká hyponatremie – Často asymptomatická.

## Hyponatremie - th:

terapie pomalu (jinak demyelinizace)

stabilní pac.:

omezení příjmu vody

vážná, akutně vzniklá, symptomatická:

3% (10%) NaCl i.v. - korekce trvá dny

# Hypernatremie

- nedostatečný příjem vody
- nadměrné ztráty vody
  - průjem
  - zvracení
  - horečka
  - excesivní pocení
  - Diabetes insipidus (ADH) = hypotonická moč
- zvýšený příjem solí
- bezvědomí, bez reakce na žízeň

Th: Glc 5% i.v.



## Draslík $K^+$

- Intracelulárně
- Sérum (2% of total) 3.8 .. 5.6 mmol/l
- elektrický potenciál na membráně ( $Na^+/K^+$  ATPasa)
- arytmie
  
- extrémně citlivý ke změnám pH !

Acidosa v bb. ( $H^+$ ) vyhání  $K^+$  z bb.

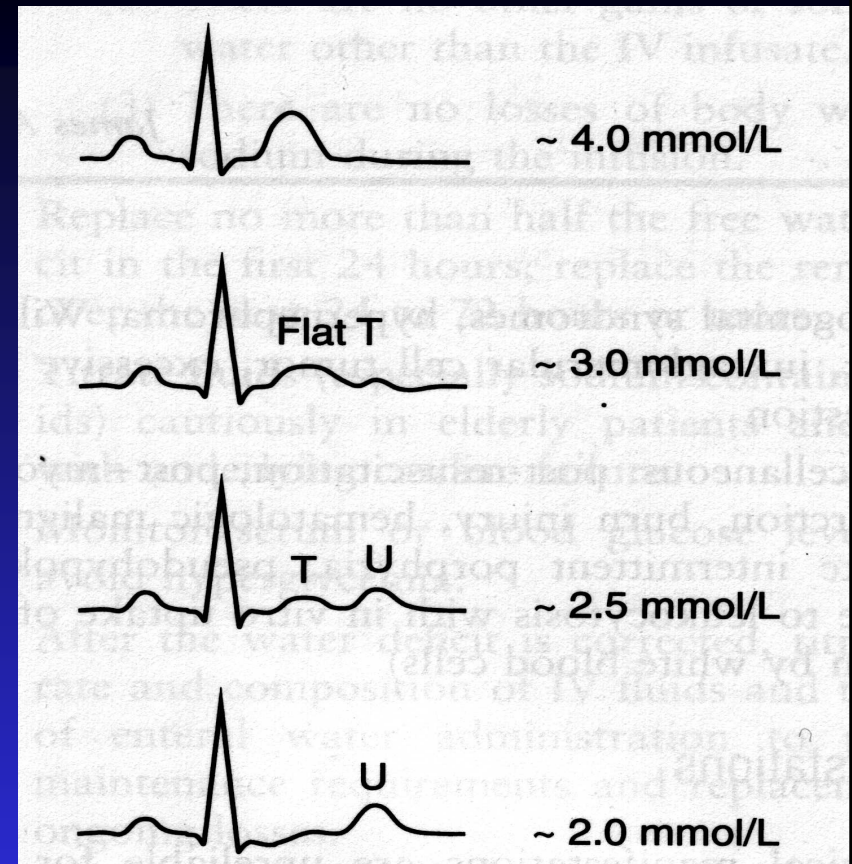
# Hypokalemia $K < 4 \text{ mmol/l}$

- ztráty moči
- diuretika, průjem, zvracení
- snížený příjem
- alkalóza

Projevy: svalová slabost, asystolie

Th:

- KCl p.os; max KCl 40 mmol/h i.v.
- EKG monitoring na JIP !!!!

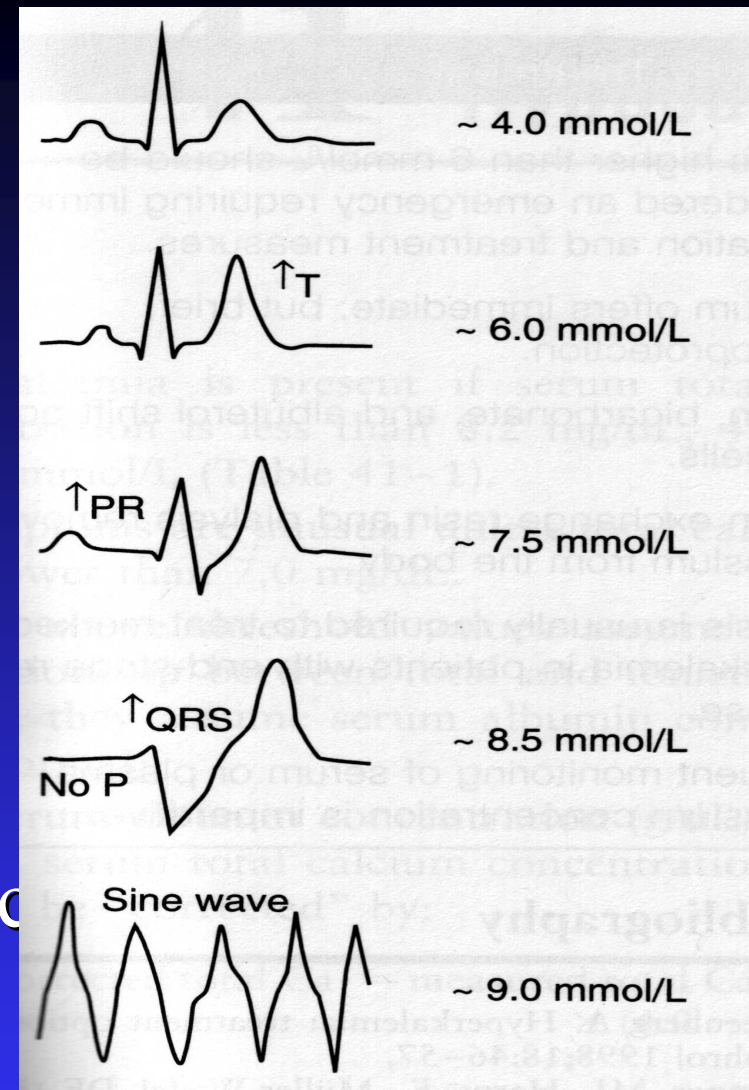


# Hyperkalemia

- hemolýza
- rabdomyolýza
- anurie, akutní renální selhání (ARF)
- Acidóza
- CAVE intrakardiální blokáda (diastolic arrest) / komorová fibrilace
- svalová slabost – ventilační selhání

Th:

- zastavit příjem
- Glc + HMR i.v., loop diuretic (furosemide)
- Calcium i.v., NaHCO<sub>3</sub> i.v
- resonium p.os
- dialýza



## Kalcium $\text{Ca}^{++}$

- nejvíce zastoupený minerál v těle 2kg
- Parathormone PTH
  - stimuluje osteoklasty
  - stimuluje resorpci -střevo, ledvina
- Calcitonin
  - inhibuje osteoklasty
- Vitamine D
  - potencuje uchování  $\text{Ca}^{++}$

Ionizované  $\text{Ca}^{++} = 1.1 \text{ mmol/l}$  // efekt

vázané na proteiny

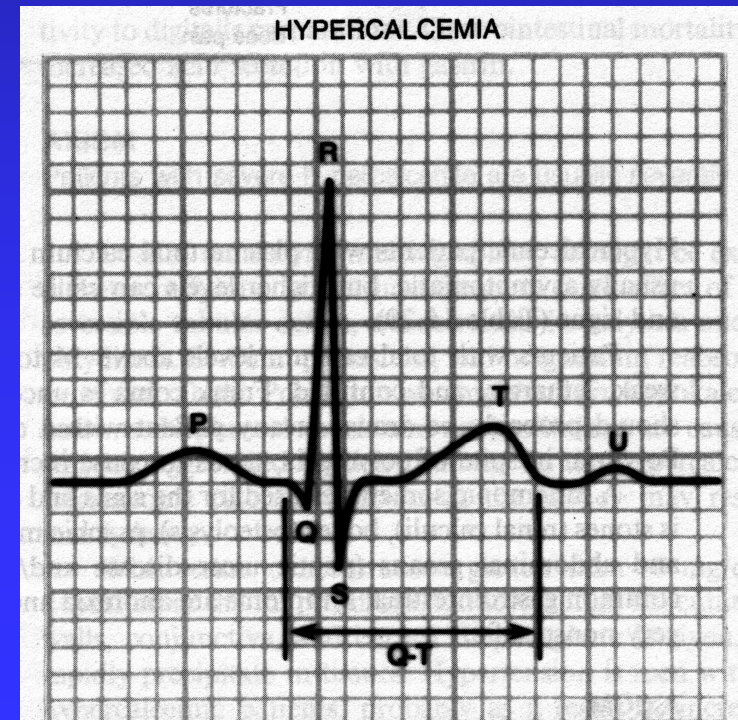
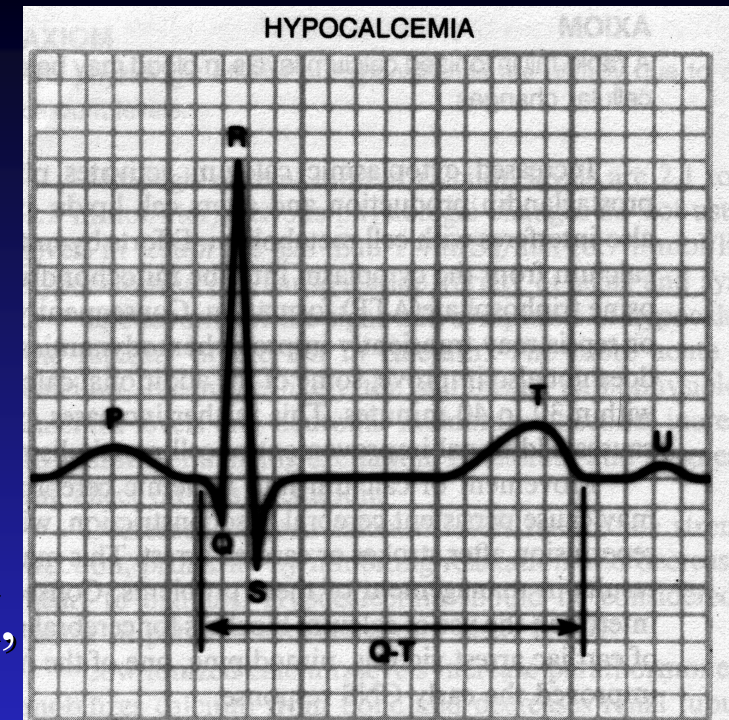


# poruchy $\text{Ca}^{++}$

- Hypocalcemia
  - Respiratory Alkalosis, hypoPTH,
  - šok, sepse, pancreatitis
  - četné krevní převody
  - provází hypomagnesémií

## Tetanie

- Hypercalcemia
  - rabdomyolýza
  - malignity



## Chloridy Cl<sup>-</sup>

- ECF
- hyperchloremická acidóza (při nadužití FR Na:Cl = 1:1)
- hypochloremická alkalóza (ztráta Cl<sup>-</sup> zvracením), přebývá bikarbonát.

## Isoionie, stopové prvky

*Fosfor (P 0,65 - 1,60 mmol/l)*

*hypofofatémie (svalová slabost, chybí fosfor pro ATP)*

*hyperfosfatémie (chronické selhání ledvin)*

*Magnézium (Mg 0.78 - 1,03 mmol/l)*

*hypomagnesémie (s kaliem)*

*arytmie, poruchy excitability*

*hypermagnesémie (chronické selhání ledvin)*

*Vápník ( $Ca^{++}$  - 1 mmol/l)*

*hypokalcémie při hypoalbuminémii - nehradit*

*hyperkalcémie - rozpad svalů...*

*Stopové (Fe, Se, Cu, Zn, Mn.....)*

## How to:

- Co je špatně?
- Co to způsobilo?
- Co s tím udělám?



## 1) Co je špatně?

Odpověď je v měřených a vypočtených veličinách:  
pH, PaCO<sub>2</sub> a HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (BE)

- všechny jsou v normě - vše je OK, nedělej nic
- pH norma, acidóza nebo alkalóza?
- pH v normě ale PaCO<sub>2</sub> nebo HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> v nepořádku - plně kompenzovaná porucha

## 2) Čím to? Kdo za to může?

- Metabolismus = bikarbonát (BE) může za odchylku od pH 7,4
- respirace = CO<sub>2</sub> může za odchylku od pH 7,4

## 2) Kdo za to může?

- bikarbonát  
vyšší  $\text{HCO}_3^-$  = vyšší pH (MAI),  
nižší  $\text{HCO}_3^-$  = nižší pH (MAc)
- $\text{CO}_2$   
vyšší  $\text{CO}_2$  působí acidózu = snižuje pH
- Pokud je  $\text{CO}_2$  normální nebo vyšší a přitom pH je vyšší - problém je v metabolismu.

$\Delta\text{pH}$	$\Delta\text{BE}=\text{HCO}_3^-$	$\Delta p\text{CO}_2$
0.1	6 mmol/l	1,6 kPa = 12 mmHg

### 3) Kompenzace = co s tím tělo dělá?

- Tělo má jen 2 mechanismy jak měnit pH: respirační ( $\text{CO}_2$ ) a metabolický ( $\text{HCO}_3^-$ )
- Jedna z veličin je na vině, ale druhá upravuje pH k normě, pak se jedná o kompenzaci
- pokud oba  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_2$  vedou ke stejnému posunu pH, o kompenzaci nejedná.

## Rychlost nástupu kompenzačních mechanismů:

- respirace se mění během minut (hodinu)
- metabolická kompenzace nastupuje během hodin (den), ledviny se zapojí jak při chronické respirační acidóze tak při metabolických poruchách.

Př:

- pac s IM, ventrikulární fibrilace - resuscitace, defibrilace - vzniká respirační i metabolická acidóza. Po rychlé defibrilaci přichází k vědomí, zjišťuje, že se bude muset vzdát svých cholesterolových pochoutek, hyperventiluje.
- ABR: pH=7,44; PaCO<sub>2</sub>= 28 mmHg; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>= 18,6 (BE = -6 mmol/l)
- plně kompenzovaná (chronická) RAI ?? Nikoli!!
- na terénu MAc vzniká akutní RAI

**!! Vždy se ohlížet na klinickou historii!!**

př:

- Otrava k. acetylsalicylovou působí metabolickou acidózu + respirační alkalózu.
- Podle pH by se mohlo jednat o
  - „kompenzovanou metabolickou acidózu“
  - „kompenzovanou metabolickou alkalózu“.

Lze odlišit kompenzaci a souběh dvou abnormalit??  
Jen dle anamnézy.

## Léčba metabolické acidozy při dostatečné ventilaci:

- Dose (mEq) =  $0.3 \times Wt \text{ (kg)} \times BE \text{ (mEq/L)}$
- Dávka bikarbonátu upraví pH k normě 7,4;  
!!!pro obavu z přestřelení a metabol. alkalózy se podá jen  $\frac{1}{2}$  vypočteného bikarbonátu.
- dokud **pH < 7.1** :
  - i.v. bikarbonát 80ml (1 lag)= 80 mmol, za 15 min po vykapání odebrat nový arteriální astrup a opět...
- 100 mmol  $\text{NaHCO}_3 \rightarrow 2.24 \text{ l CO}_2$ , který (10 minut normální produkce  $\text{CO}_2$ ).
- !! Vzniklý  $\text{CO}_2$  volně difunduje do buněk a horší MAc.



OR / AAA, 5 000ml, hemor. šok, NA i.v.

<i>pH akt.</i>	7.083	( 7.350 - 7.450 )	<=( )
pCO <sub>2</sub>	6.36 kPa	( 4.80 - 5.90 )	( )->
pO <sub>2</sub>	30.78 kPa	( 10.66 - 13.30 )	( )=>
BE	-15.8 mmol/l	( -2.6 - 2.6 )	<=( )
BB	32.1 mmol/l	( 40.0 - 44.0 )	<=( )
HCO <sub>3</sub> akt.	13.9 mmol/l	( 22.0 - 26.0 )	<=( )
O <sub>2</sub> sat.	99.3	( 95.0 - 98.0 )	( )=>

OR / AAA, 6 500ml, hemor. šok, NA i.v.

<i>pH akt.</i>	7.1	( 7.350 - 7.450 )	$\leq$ ( )
pCO <sub>2</sub>	5.0 kPa	( 4.80 - 5.90 )	( * )
BE	-18 mmol/l	( -2.6 - 2.6 )	$\leq$ ( )
lactate	13 mmol/l	( 1 - 2.5 )	( )= $\Rightarrow$

## Try it yourself

pH = 7.21

pCO<sub>2</sub> = 14.0

BE = 20

pH 7,35-7,45

pCO<sub>2</sub> 4,6-6 kPa

pO<sub>2</sub> 10-13 kPa

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 22-26mmol/L

BE -2 .. +2 mmol/L

SpO<sub>2</sub> 95-98%

pac. přijata s COPD intermitentně porucha vědomí,

## Try it yourself

pH = 7.452

pCO<sub>2</sub> = 6.6

BE = 7.6

pH 7,35-7,45

pCO<sub>2</sub> 4,6-6 kPa

pO<sub>2</sub> 10-13 kPa

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 22-26mmol/L

BE -2 .. +2 mmol/L

SpO<sub>2</sub> 95-98%

pac. hospitalizovaný týden na ARK,  
dlouhodobě potíže s ventilací  
- COPD – hypekapnie postupně klesala,  
... přetrvává metabolická kompenzace

## SUMMARY

- Abnormalities should be treated at proximately the rate at which they developed.
- DO NOT rapid correction of a chronic asymptomatic abnormality.

## Priority v léčbě:

1. Volume a perfúze tkání
2. korekce pH
3. K, Ca, Mg
4. Na, Cl

## Závěr: Kdy vyšetřovat elektrolyty?

- nízký perorální příjem
- zvracení
- chronická hypertenze
- diuretika
- křeče, svalová slabost
- age over 65
- alkoholismus
- OA + : electrolytové abnormality

# Akutní změna vědomí:

příčiny:

- hypoxémie
- hypoglykémie
- hyponatrémie
- sepse