

Toto je v jakékoliv formě
(PPT, PDF, atd.)
neoficiální výukový materiál

Minerální a vodní metabolismus



Poruchy hospodaření vodou a minerály

Ústav patologické fyziologie

T. Stopka, S. Matoušek, J. Kofránek, P. Maršálek,
a další, poslední aktualizovaná verze: 2019

Dehydratace

- dehydratace = nedostatek vody v organismu
- způsobena ztrátou, nedostatečným příjmem, či kombinací obou příčin.
- častější je ztrátová při zvracení a průjmech.
- děti jsou ve větším riziku: větší povrch/hmotnosti, nedostatečné bariery, větší obrat vody a tekutin..
- senioři, nemocní, podvyživení a podobně, jsou také ve větším riziku (nedostatečný příjem tekutin).

Těžká dehydratace je život ohrožující stav.

Etiologie

- **Ztrátové dehydratace (močí, stolicí, kůží):**

- Zvracení a průjem
- Polyurie (diabetická či po diureticích)
- Zvýšené pocení (přehřátí organismu, sportovní výkony)
- Horečnaté stavy

- **Příjmové dehydratace:**

- Nausea (poléková, onemocnění gastrointestinálního traktu =GIT)
- Anorexie (bývá nejenom mentální, je při nádorových onemocněních, u seniorů)
- Mucositis, gingivitis, oropharyngitis (infekční či toxické etiologie, např. po transplantaci kostní dřeně)

Symptomy

- Suché sliznice dutiny ústní a jazyka
- Malý objem koncentrované (tmavé) moči
- Malý objem další sekretů (slzy)
- Suché sliznice (oči, genitálie)
- Vtahující se fontanely u novorozenců
- Duševní stav (agitovanost, následně letargie až komatosní stav)

Základní klinické znaky

- Krevní tlak (hypotenze, ortostatická hypotenze)
- Tachykardie (známka aktivace sympatiku)
- Snížený kožní turgor (větší kožní řasa)
- Kožní nález (opocení a eventuálně studená kůže při centralizaci oběhu)
- Před-šokový stav/ šok (diferenciální diagnostika, emergentní přístupy, infuzní terapie, žilní přístup, monitorace základních životních funkcí)

Glasgowská stupnice bezvědomí/ vědomí, (Glasgow Coma Scale),

Odpověď	1	2	3	4	5	6
Oční	Neotevře	Otevře na bolestivý podnět	Na slovní podnět	Spontánně	N/A	N/A
Slovní	Tvoří zvuk	Zvuk připomíná řeč	Jedná se o řeč bez smyslu	S částečným smyslem	Normální konverzace	N/A
Moto- rická	0	Extense na bolest. podnět	Flexe na bolest. podnět	Flexe, únikový manévr	Lokalizuje bolest	Následuje pokynů

Koma (GCS: 3), vědomí (GCS: 15)

Glasgowská stupnice

bezvědomí/
vědomí

Koma (GCS: 3), vědomí (GCS: 15)

Glasgow Coma Scale

Eye opening (E)



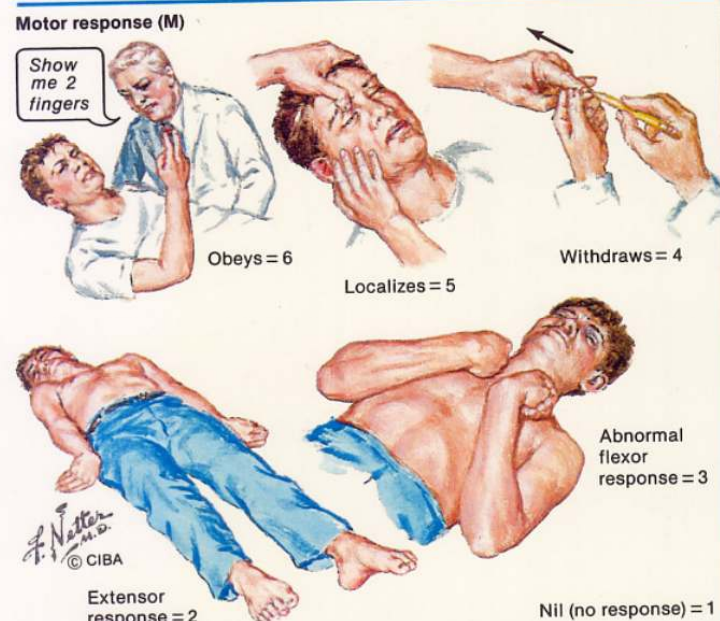
Spontaneous = 4

Response to speech = 3

To pain = 2

Nil (no response) = 1

Motor response (M)



Shows me 2 fingers

Obeys = 6

Localizes = 5

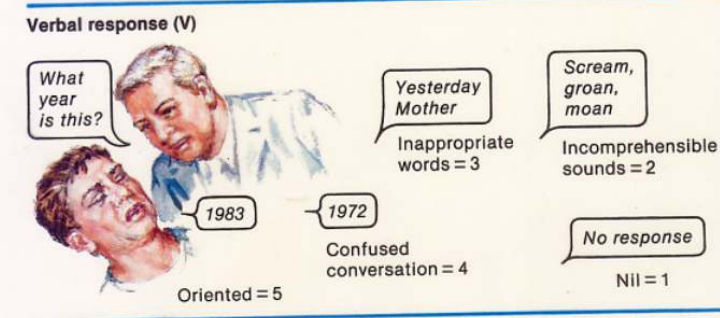
Withdraws = 4

Abnormal flexor response = 3

Extensor response = 2

Nil (no response) = 1

Verbal response (V)



What year is this?

1983

1972

Oriented = 5

Confused conversation = 4

Yesterday Mother

Inappropriate words = 3

Scream, groan, moan

Incomprehensible sounds = 2

No response

Nil = 1

E

Spontaneous... 4

To speech 3

To pain 2

Nil 1

M

Obeys 6

Localizes 5

Withdraws 4

Abnormal flexion 3

Extensor response 2

Nil 1

V

Oriented 5

Confused conversation... 4

Inappropriate words 3

Incomprehensible sounds... 2

Nil 1

Coma score (E + M + V) = 3 to 15

Dehydratace sníží kožní turgor



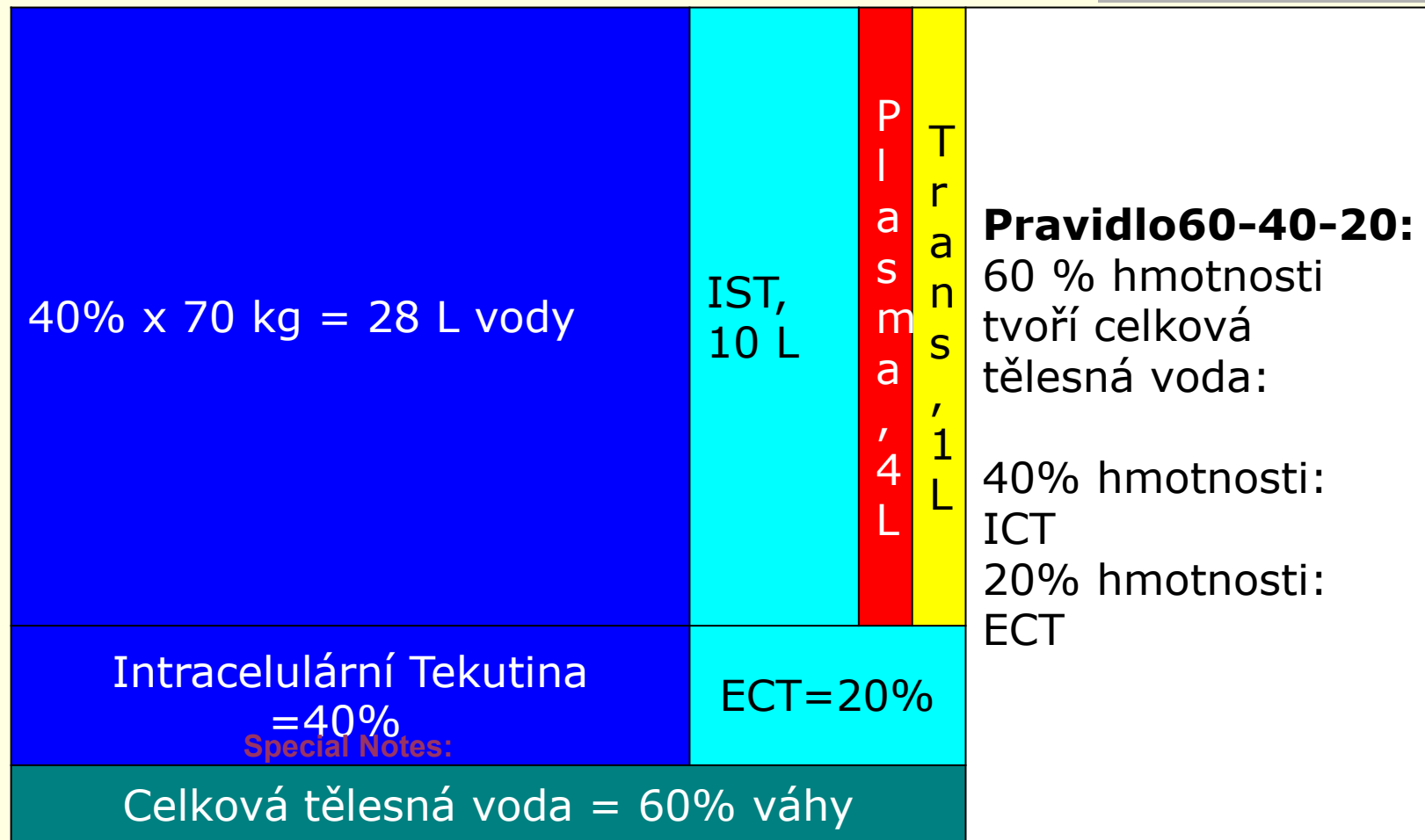
Laboratorní vyšetření

- Biochemie (elektrolyty Na^+ , K^+ , HCO_3^-)
- Specifická hmotnost moči (zvýšená)
- Urea, Kreatinin (zvýšené)
- Krevní obraz (hemokoncentrace)

Kompartmenty tekutin

- **Intracelulární tekutiny (ICT, Intracellular Fluid, ICF)** ,
2/3 celkové tělesné vody (která činí 60% hmotnosti u dospělého). ICT: voda, K⁺, organické anionty, proteiny, jejich koncentrace je udržována membránovými mechanismy.
- **Extracelulární tekutina (ECT, Extracellular Fluid, ECF)**
1/3 celkové tělesné vody (která činí v průměru 60% hmotnosti u dospělého). ECT: voda, NaCl, bikarbonáty.
 - - Intersticiální tekutina (Interstitial Fluid, ISF) ~ 3/4 ECT.
 - - Plasma ~1/4 ECT.
 - - Transcelulární tekutina (transcellular fluid) 1-2 litry: mozko-míšňí mok (CSF), trávicí šťávy, hlen, etc.

Kompartmenty tekutin



Special Notes:

Měření distribučního objemu

- Diluční metoda: podání měřitelného volně distribuujícího se agens.
- Výpočet objemu = (množství podané látky - množství vyloučené látky) / změřená koncentrace
- Přímé měření: „Triciová“ voda (T_2O , měření celkové tělesné vody), sacharosa nepřechází do ICT (měření ECT), radioaktivní albumin, Evansova modř (měření plazmy).
- Oligosacharid inulin, podobně jako endogenní kreatinin, jsou vhodné pro sledování glomerulární filtrace.

Osmolalita

- celkové množství osmoticky aktivních částic rozpuštěných v roztoku na jednotku hmotnosti rozpouštědla (mol/ kg, **osmolarita** v mol/ L)
- **Osmolalita** vyjadřuje chování roztoku v prostorech ohraničených polopropustnými membránami (tj. membránami relativně prostupnými pro rozpouštědlo, nejčastěji vodu, a naopak špatně prostupnými pro ostatní rozpuštěné částice).
- Pokud je na každé straně polopropustné membrány roztok o jiné osmolalitě, začne se projevovat rozdíl osmotických tlaků obou roztoků a na membráně budou probíhat osmotické děje.

Zjištění osmolality

- Osmolalita = součin molality a počtu částic vzniklých disociací jedné molekuly, vyjadřuje se v osm/ kg. (Zjednodušení: v plasmě je dominantní NaCl, proto je možné odhadnout osmolalitu plasmy zdvojnásobením koncentrace Na v mol/l.)
- Výpočet platí pouze pro ideální, tzn. extrémně zředěné roztoky. U většiny tělesných tekutin je reálná osmolalita menší než osmolalita ideální (osmotický koeficient roztoku).
- Např. 1M roztok glukózy, 1M roztok NaCl a 1M roztok Na_2SO_4 mají stejnou molalitu, tj. 1 mol/kg. Molekula glukózy nedisociuje, proto je osmolalita tohoto roztoku rovna 1 osmol/kg. Roztok NaCl disociuje, z jedné molekuly NaCl vzniknou dva ionty (Na^+ , Cl^-), z nichž oba jsou osmoticky aktivní, proto osmolalita tohoto roztoku je 2 osmol/kg. Roztok Na_2SO_4 disociuje na tři aktivní ionty – Na^+ , Na^+ a SO_4^- , proto je osmolalita tohoto roztoku 3 osmol/kg.
- Fyziologická hodnota osmolality plazmy je asi 300 mosmol/kg.

Osmolalita v roztocích/ efektivní osmolalita

- Dva roztoky jsou **izosmotické**, pokud obsahují stejné množství rozpuštěných částic, nezávisle na tom, zda nějaká voda bude proudit přes membránu, která je odděluje. Dva roztoky jsou **izotonické**, pokud žádná voda přes membránu proudit nebude, nezávisle na počtu rozpuštěných částic.
- Roztok 150 mmol/l NaCl je izosmotický vzhledem k_intracelulárnímu prostoru a také je izotonický – buňka nebude ani otékat, ani se svrašťovat. Oproti tomu 300 mmol/l roztok močoviny, i když je izosmotický, povede ke zvětšování (a případnému prasknutí) buňky, a proto není izotonický, je hypotonický, močovina má nižší efektivní osmolaritu.¹⁶

Elektro-chemický (Nernstův) potenciál na membráně

<i>iont</i>	<i>ECF [mmol/l]</i>	<i>ICF [mmol/l]</i>	<i>E_x [mV]</i>
K ⁺	4,5	160	−95
H ⁺	4 × 10 ^{−5} (pH 7,4)	1 × 10 ^{−4} (pH 7,0)	−24
Na ⁺	144	7	+80
Ca ²⁺	2,5	3 × 10 ^{−4}	+120

<i>iont</i>	<i>ECF [mmol/l]</i>	<i>ICF [mmol/l]</i>	<i>E_x [mV]</i>
Cl [−]	114	7	−75
HCO ₃ [−]	28	10	−27
H ₂ PO ₄ [−]	2	100	+100
HSO ₄ [−]	1	20	+80

Elektro-chemický (Nernstův) potenciál na membráně

Úzce souvisí se stavem výživy (!):

Anabolický stav = přísun glukózy

= vstup K^+ do buněk

Katabolický stav = nedostatek glukózy

= výstup K^+ z buněk

Toto je zprostředkováno Na^+ / K^+ -ATPázou (pumpou)

K^+ je regulován inzulinem

(K^+ i Na^+ samozřejmě také aldosteronem a dalšími hormony)

Extra-celulární a intra-celulární koncentrace a hotovost

...koncentrace (celkem jednoduchá), udává se například v molech, či v osmolech. Osmotický tlak odpovídá tlaku, jako kdyby se jednalo o plyn, atd, atd...

... hotovost = (rychle, či pomalu)
mobilizovatelná zásoba

Extra-celulární a intra-celulární koncentrace a hotovost

<i>(1) EC a IC koncentrace a hotovost</i>					
<i>Látka</i>	<i>jednotky</i>	<i>EC konc.</i>	<i>IC konc.</i>	<i>EC hotovost</i>	<i>IC hotovost</i>
Na ⁺	mmol/l	128–141	3–30	2000 mmol	1600 mmol
K ⁺	mmol/l	3,8–5,4	120–160	60 mmol	3200 mmol
Ca ⁺⁺	mmol/l	2,25–2,75	<10 ⁻³	25 mmol	kost 30 mol
Cl ⁻	mmol/l	96–113	30	1400 mmol	800–1000 mmol
H ₂ PO ₄ ⁻	mmol/l	0,6–1,2	100	5–7 mmol	(k)
(o)	mOsmol	280–300	–	19–22	–
H ₂ O	TBF, (t), 60 % = 20 % + 35 % + 5 %			5–101	20–301
energie	MJ/kg	–	10 MJ/kg	–	700 MJ

(normální) hospodaření ionty a vodou – balance = obrat

<i>(2) Obrat za 24 hodin, v mmol</i>				
<i>Látka</i>	<i>příjem</i>	<i>výdej močí</i>	<i>stolicí</i>	<i>potem</i>
Na ⁺	100–260	100–260	10	40–50, i více
K ⁺	30–100	30–90	5–10	–
Ca ⁺⁺	20–40	2,5–7,5	30–35	0–5<, i více
Cl ⁻	100–260	100–260	10	10–50<, i více
H ₂ PO ₄	20–50	18–40	10	–
(o)	(q)	900–1200	10–50	50–400
H ₂ O	1,5–2,5l + (m)	1,5–2,5l	100–200 ml	300–800, (p)
(e) energie	příjem	rovný	výdeji	za 7–14 dnů

(normální) hospodaření vodou – balance = obrat

Přehled bilance vody (vše v ml za den):

PŘÍJEM:		VÝDEJ:	
pití	1000-1500 (i více)	močí	1000-1500
v potravě	1000	perspirací	550-800
oxidací	500	dechem	400
-----		stolicí	100
celkem	2500-3000	potem	0-2000
Oxidací se uvolní:		Ztráty perspirací závisejí na tělesné teplotě (ml/d):	
z 1 g bílkovin	0,4 ml vody	při norm. teplotě	550
z 1 g glycidů	0,6 ml vody	při 37.2°C	600
z 1 g tuků	1,07 ml vody	při 37.8 °C	700
		při 38.3 °C	800
		při 38.9 °C	900
		při 39.4 °C	1000

Rovnost:

množství_metabolické_vody_za_den = perspiratio_insensibilis
není samozřejmá, nicméně umožňuje sledování vodní bilance

Anion gap (aniontová mezera/ deficit)

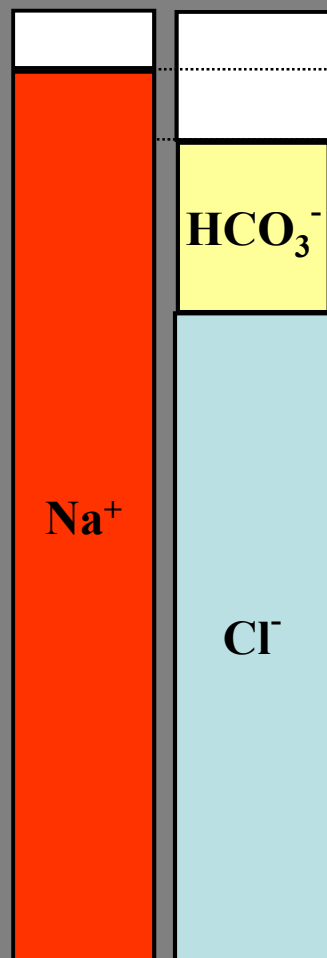
- Ve skutečnosti podle elektroneutality musí být součty kationtů a aniontů stejné, ale část aniontů nejsou minerály.
- AG Rozděluje metabolické acidózy podle příčiny
- **Zvyšuje** se, když jsou v plazmě přítomny ionty jako **laktát**, **anionty ketokyselin** nebo **sulfáty**.
- Znamená, že acidóza byla způsobena disociací vodíkového iontu z těchto látek
- $AG = Na^+ + K^+ - HCO_3^- - Cl^-$
- norma: **16+/- 2 mmol/L**

Deficit aniontů (Anion Gap) při různých příčinách metabolické acidózy

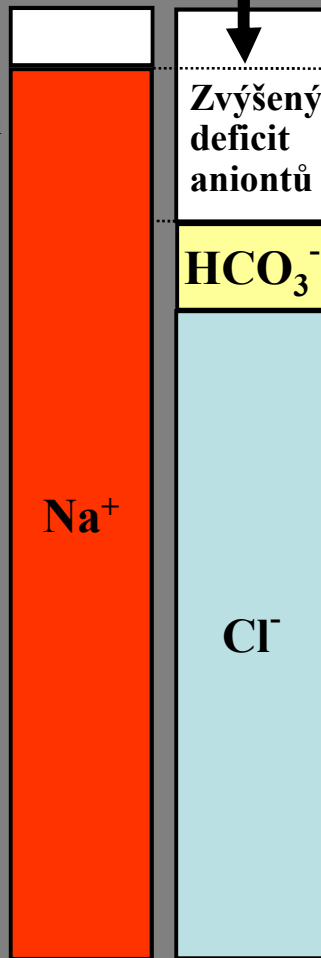
Hromadění aniontů silných kyselin
(laktátová acidóza
ketoacidóza
uremická acidóza)

Gastrointestinální ztráty bikarbonátů

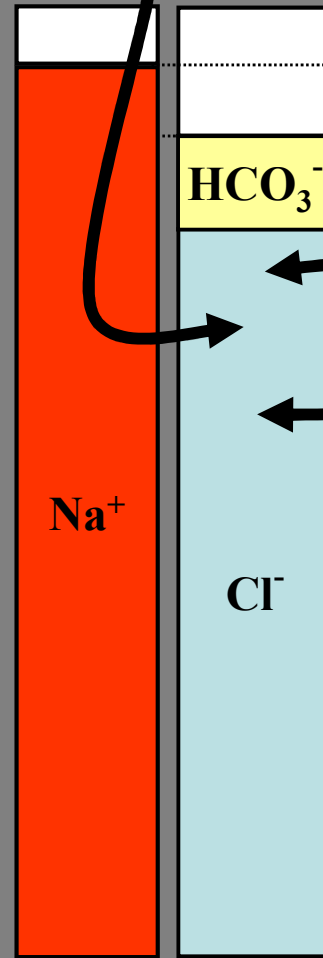
Předávkování NH_4Cl



Deficit aniontů



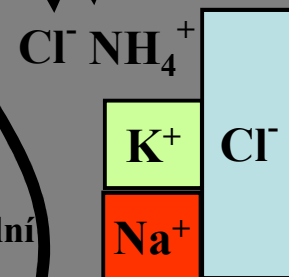
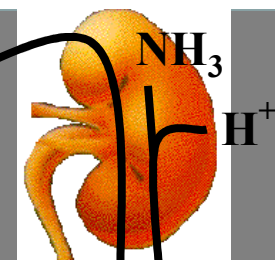
Zvýšený deficit aniontů



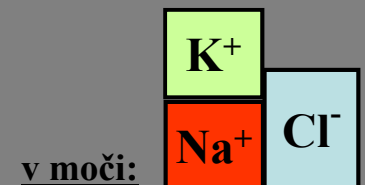
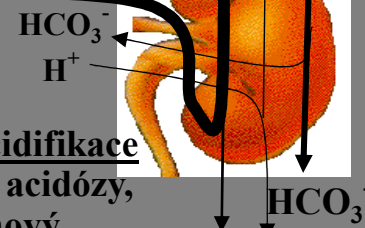
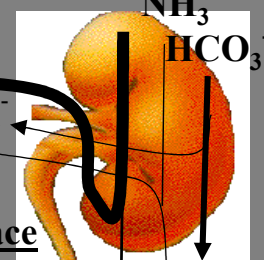
Normální deficit aniontů

Relativní hromadění chloridů

Snížená acidifikace
(tubulární acidózy,
nízkoaldosteronový
hypoaldosteronismus,
snížená glomer. filtrace)



v moči:
 $[\text{K}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] < 0$



v moči:
 $[\text{K}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] \geq 0$

Hodnoty anion gap při metabolické acidóze

■ Normální anion gap (16 mmol/l)

- Ztráty bikarbonátu
 - **GIT (průjem)**
 - Ledviny – RTA (renal tubular acidosis)
- Ztráta schopnosti regenerovat bikarbonát
 - **Deficit aldosteronu**
 - Insensitivita k aldosteronu
 - **Renální tubulární acidózy**
- Podání okyselujících chloridových solí
 - Např. Chlorid amonný

■ Zvýšený anion gap (>18mmol/l)

- zvýšená metabolická produkce kyselin
 - **Ketoacidóza**
 - Diabetická
 - Alkoholová
 - Hladovění
 - **Laktátová acidóza**
- Zvýšený příjem kyselin
 - **Toxické látky**
 - Salicyláty
 - Etylen glycol
 - methanol
- Snížené vylučování kyselin
 - **Renální selhání**

Pohyb tekutiny

- Difúze/ osmóza

Diffusion of water down its concentration gradient is called **osmosis**.

- Facilitatovaná difúze

Proteins act as carriers or pores permit flux of substances that cannot diffuse directly through the membrane.

- Primární aktivní transport

Proteins in the membrane can also act as pumps. Example: Na-K ATPase

- Sekundární aktivní transport/ ko-transport

Cotransport moves 2 or more molecules in the same direction across the membrane. Example: Na-Glucose cotransport.

Přesuny mezi intracelulárním a extracelulárním oddílem (kompartmentem)

- The ICF and the ECF are separated by the membranes of the body's cells.
- **In the body, these two compartments are always in osmotic equilibrium**, even though the composition of the fluids in them is very different.
- The addition or subtraction of water or solutes from one or more of the body's fluid compartments will result in water **exchange between the ICF and the ECF if there is an alteration in the resulting osmolarity.**

**Příklad: muž o váze 70 kg, osmolalita ECT 290 mOsm/kg.
Do ECT přibydou 2 litry čisté vody.**

Initial total body water	$0.6 \times 70 \text{ kg} = 42 \text{ liters}$
Initial ICF volume	$0.4 \times 70 \text{ kg} = 28 \text{ liters}$
Initial ECF volume	$0.2 \times 70 \text{ kg} = 14 \text{ liters}$
Initial total body osmoles	TBW volume x osmolality $42 \text{ liters} \times 290 \text{ mOsm/liter}$ 12180 mOsm
Initial ICF osmoles	ICF volume x osmolality $28 \text{ liters} \times 290 \text{ mOsm/liter}$ 8120 mOsm
Initial ECF osmoles	ECF volume x osmolality $14 \text{ liters} \times 290 \text{ mOsm/liter}$ 4060 mOsm

**Příklad: muž o váze 70 kg, osmolalita ECT 290 mOsm/kg.
Do ECT přibydou 2 litry čisté vody.**

Final osmolality

(Total body osmoles)/(new TBW)
12180 mOsm/(42+2) kg water
277 mOsm/kg water

Final ICF volume

(ICF osmoles)/(new osmolality)
8120 mOsm/(277 mOsm/kg water)
29.3 kg water = **29.3** liters

Final ECF volume

(ECF osmoles)/(new osmolality)
4060 mOsm/(277 mOsm/kg water)
14.65 kg water = **14.65** liters

Starlingova hypotéza v normě - přesuny mezi intracelulárním kompartmentem a plasmou

■ Hydrostatický tlak v kapiláře

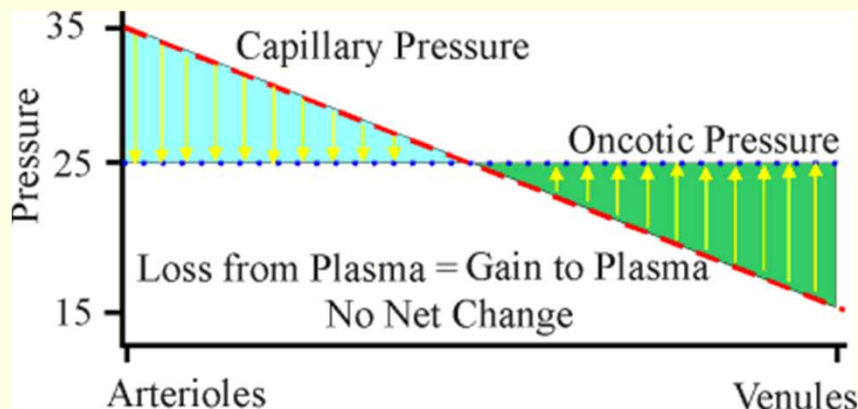
Na arteriolárním konci je tlak cca **35 mm Hg**, na konci venuly je tlak cca **15 mm Hg**.

Přepočty osmolarity a osmotického tlaku: $P = CRT$, C je koncentrace, 0,001 osmol/ L, R je plynová konstanta, 62,364 L mmHg/(K mol), T je teplota, 310 K (= 37 st.C), potom P je 19,33 mmHg.

■ Osmotic forces in the capillaries

Because the capillary wall is permeable to water, but essentially impermeant to the plasma proteins, these molecules generate an osmotic pressure - known as the **Colloid Oncotic Pressure**. The net Oncotic Pressure is thus about **25 mm Hg**.

This value remains roughly constant over the length of most capillary beds.

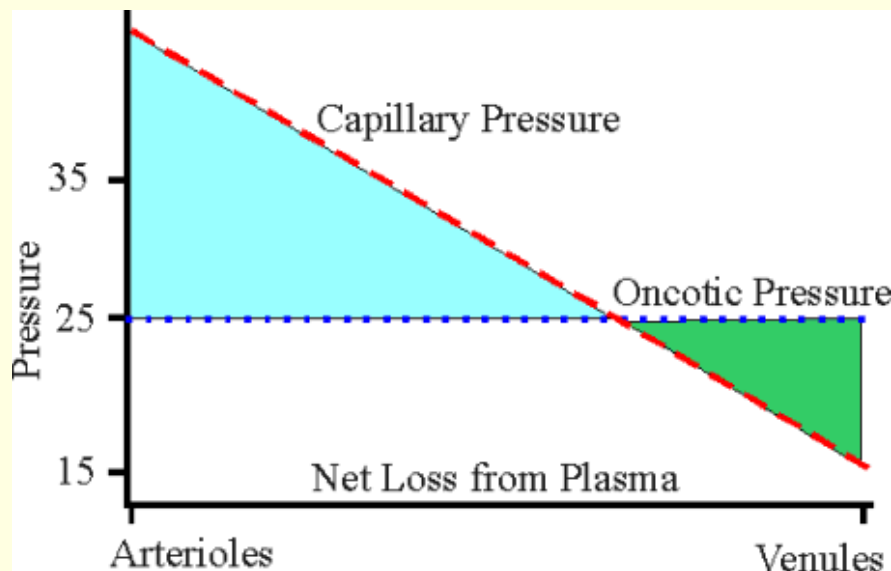


Starlingova hypotéza

Tlak filtruje plasmu skrz stěnu cévní do intersticia, a onkotický tlak ji nasává zpět. Přesuny₃₀ tekutin jsou v rovnováze.

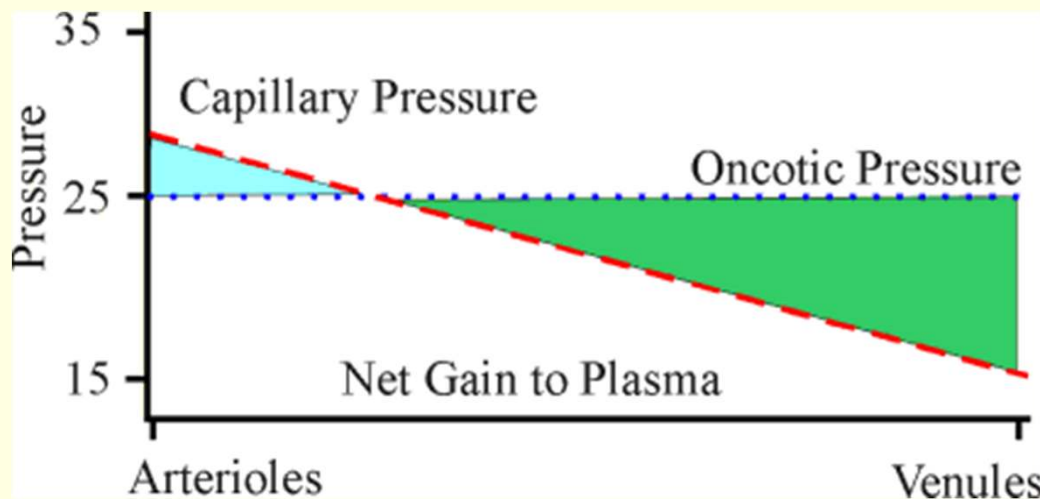
Starlingova hypotéza u patologických stavů - vazodilatace

- ***Vasodilation reduces the pressure drop*** across the arterioles, bringing the capillaries closer to the arterial pressure. The venous pressure may not be altered. In this case, there is a greater region where fluid leaves the plasma, and a reduced regions where it returns.
- This imbalance results in a ***net loss of fluid from the plasma***. The result is an expansion of the interstitial fluid in this tissue. If this expansion continued, it would result in the clinical symptom known as ***edema***.



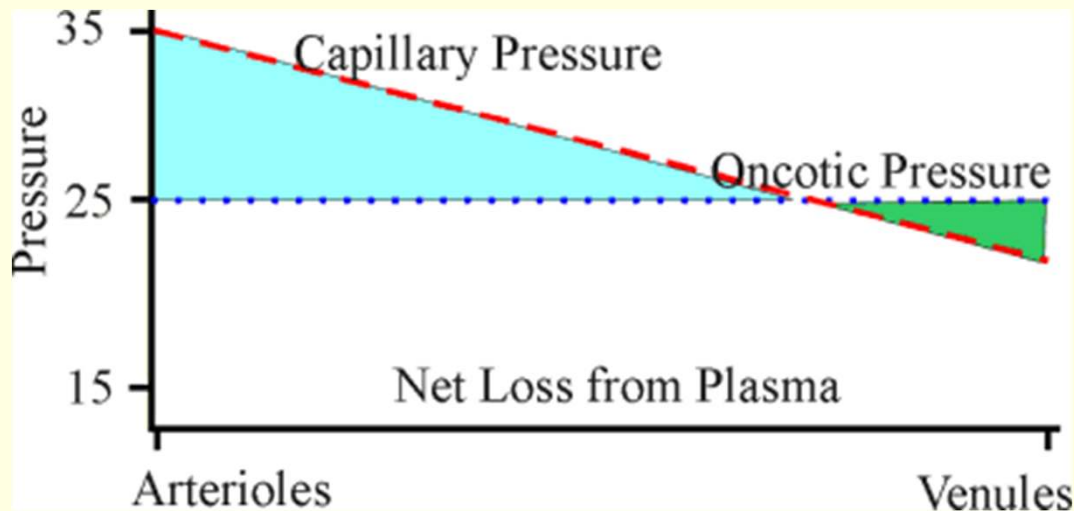
Starlingova hypotéza u patologických stavů - šok

- When the central blood pressure declines, the ***pressure at the capillaries usually also decreases***. In addition, most vascular beds will participate in reflex attempts to maintain the central blood pressure via arteriolar vasoconstriction. This further reduces the pressure at the start of the capillary.
- The decrease in hydrostatic pressure results in a diminution in the region where fluid is lost from the plasma, and an expansion in the region where fluid returns back to the plasma. There is a **net gain of fluid to the plasma**.



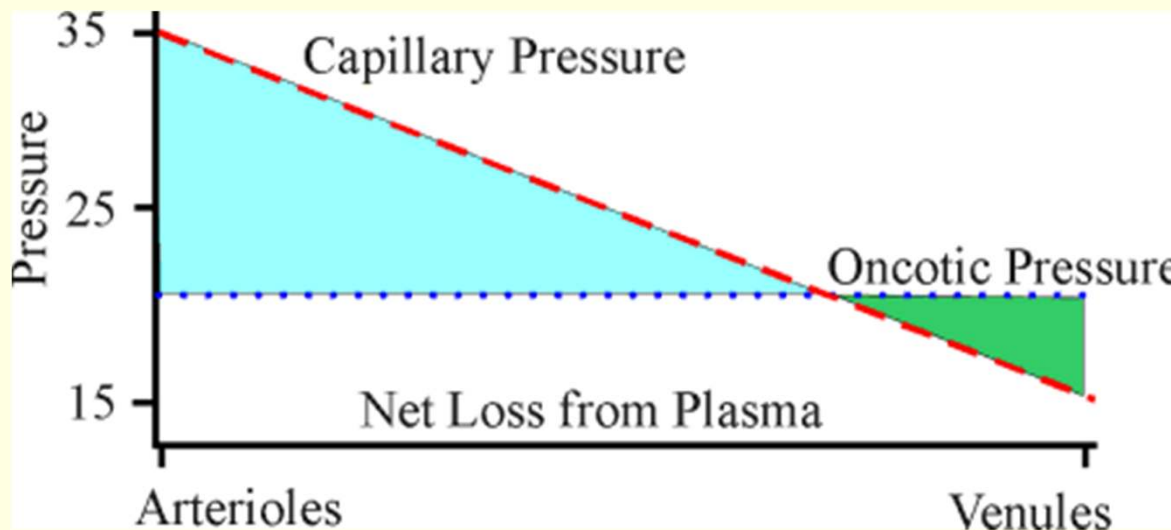
Starlingova hypotéza u patologických stavů – městnavé srdeční selhání

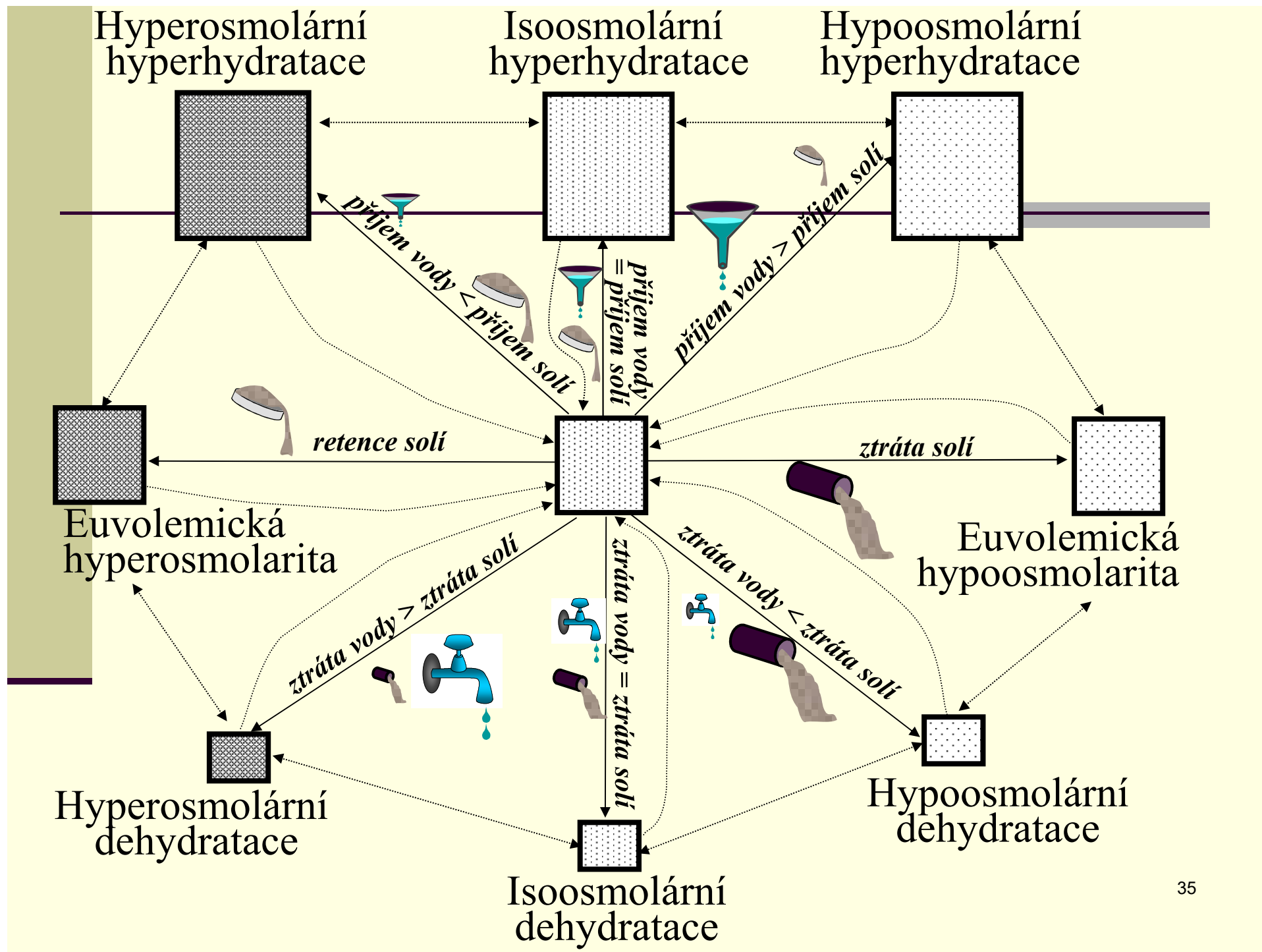
- When the heart's function is compromised, it cannot pump blood as effectively, so **venous pressure rises**. This rise in venous pressure diminishes the region where fluid is reabsorbed into the plasma.
- As with the case (above) of vasodilation, this condition results in a net loss of fluid from plasma to ISF. The resulting **edema can be seen in the swollen ankles (and other tissues) that are symptomatic of congestive heart failure**.



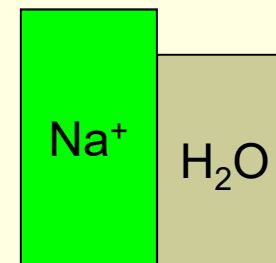
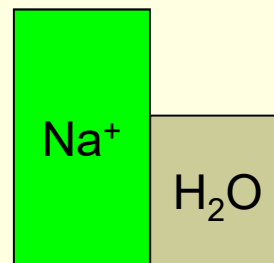
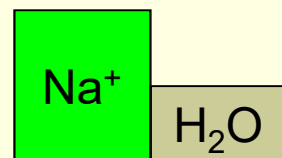
Starlingova hypotéza u patologických stavů – pokles plasmatických proteinů

- When the plasma does not contain sufficient protein - this results in a net increase in the region where hydrostatic pressure exceeds oncotic. **Edema** results.

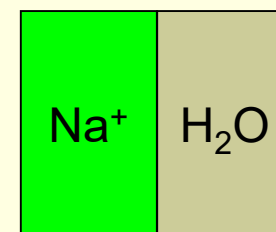
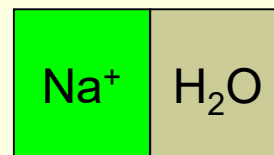
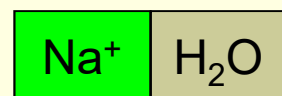




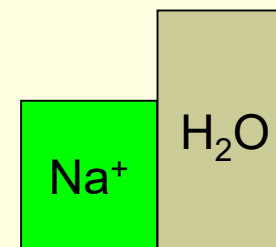
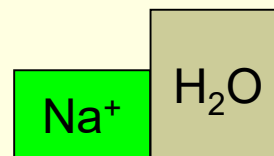
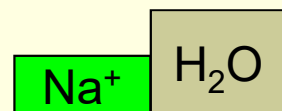
hypernatrémie



normonatrémie
(140 mmol/l)



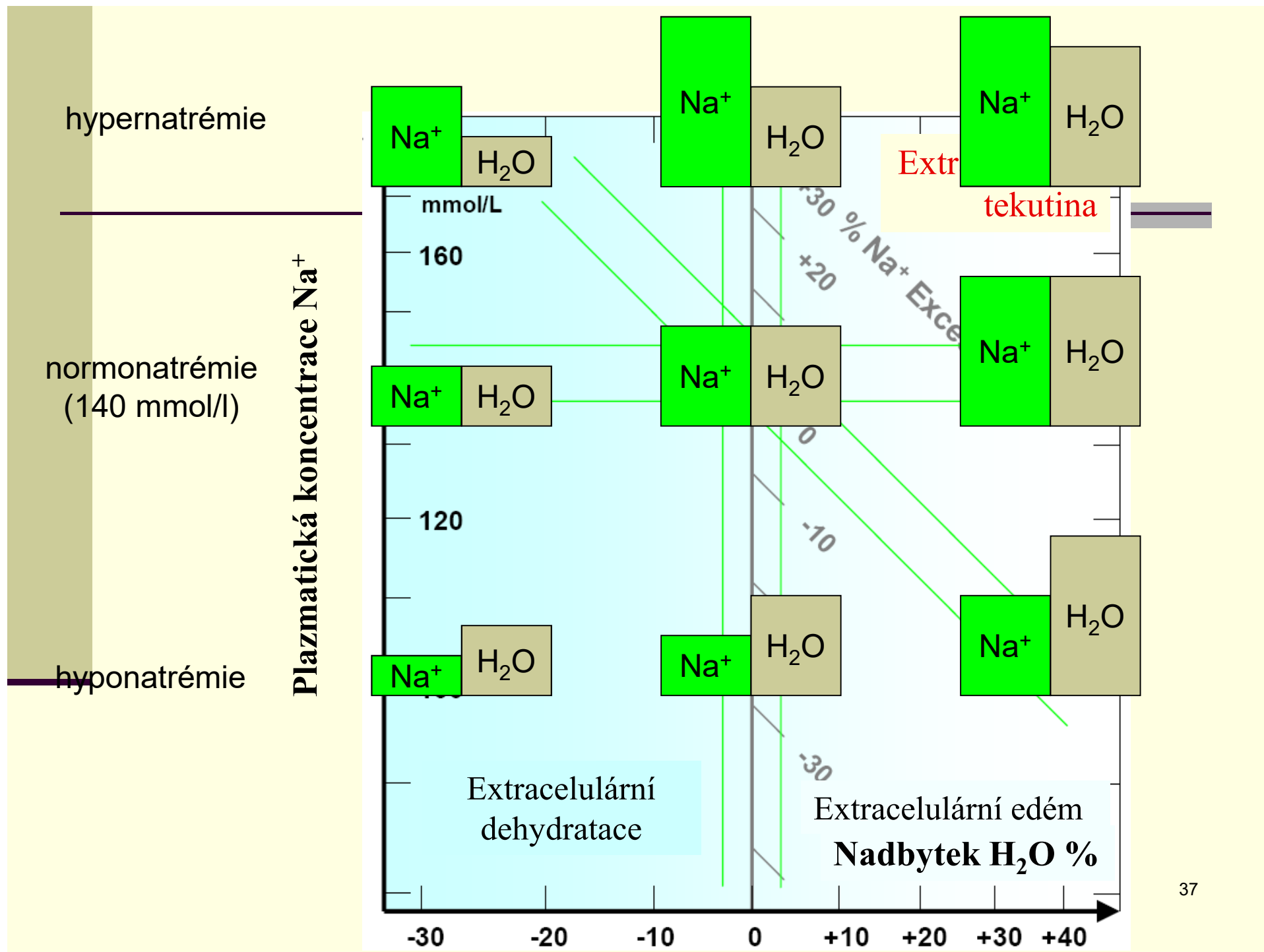
hyponatrémie



hypovolémie
(dehydratace)

isovolémie

hypervolémie



Poruchy rovnováhy tekutin

Condition	Example	EC Fluid		IC Fluid	
		Osmolality	Volume	Osmolality	Volume
Hyposmotic expansion	excessive water intake	↓		↓	
Hyposmotic contraction	salt wasting (Loss by kidneys)	↓	↓	↓	
Isosmotic expansion	IV infusion, edema	↔		↔	↔
Isosmotic contraction	hemorrhage, burns	↔	↓	↔	↔
Hyperosmotic expansion	Drinking of concentrated saline				↓
Hyperosmotic contraction	severe sweating		↓		↓

Poruchy rovnováhy tekutin - souhrn

- Poruchy hydratace jsou dány expanzí anebo snížením objemu extracelulární tekutiny, hyper-, či de-hydratací. Název odpovídá poruše, například hypo-osmolární expanze, neboli zvětšení objemu ECT může nastat při sníženém onkotickém tlaku při podvýživě.
- EC a IC kompartmenty jsou vždy v rovnováze, osmoticky aktivní látky zůstávají v daných kompartmentech a proto poruchy osmolarity a hydratace v těchto dvou kompartmentech jsou stejné.
- Minerální rovnováha je řízena hormonálně a homeostáza hydratace je udržována pomocí funkce ledvin (pokud není porucha ledvin) na straně výdeje a pomocí signálu a pocitu žízně na straně příjmu. Stavy hydratace se mění typicky řádově v hodinách, jsou ale akutní stavy, kdy se hydratace mění i rychleji (vykrvácení, šok, pocení, průjem a podobně).

Toto je v jakékoliv formě
(PPT, PDF, atd.)
neoficiální výukový materiál
