

# Élettani jelentőség

- Víz:
  - Súlyos vízvesztés -> agyi dehidráció -> kisérszakadás -> agyvérzés ☠
  - Tartós dehidráció -> agyban ozmotikusan aktív anyagok szintézise. Túl gyors rehidráció -> agyödéma ☠
  - Vízmérgezés:  $Se[Na^+] \downarrow$ : agyödéma ☠. Akut 120 mmol/l  $Se[Na^+]$  halálos, krónikus kialakulás mellett tünetmentes!

# A szervezet víztere

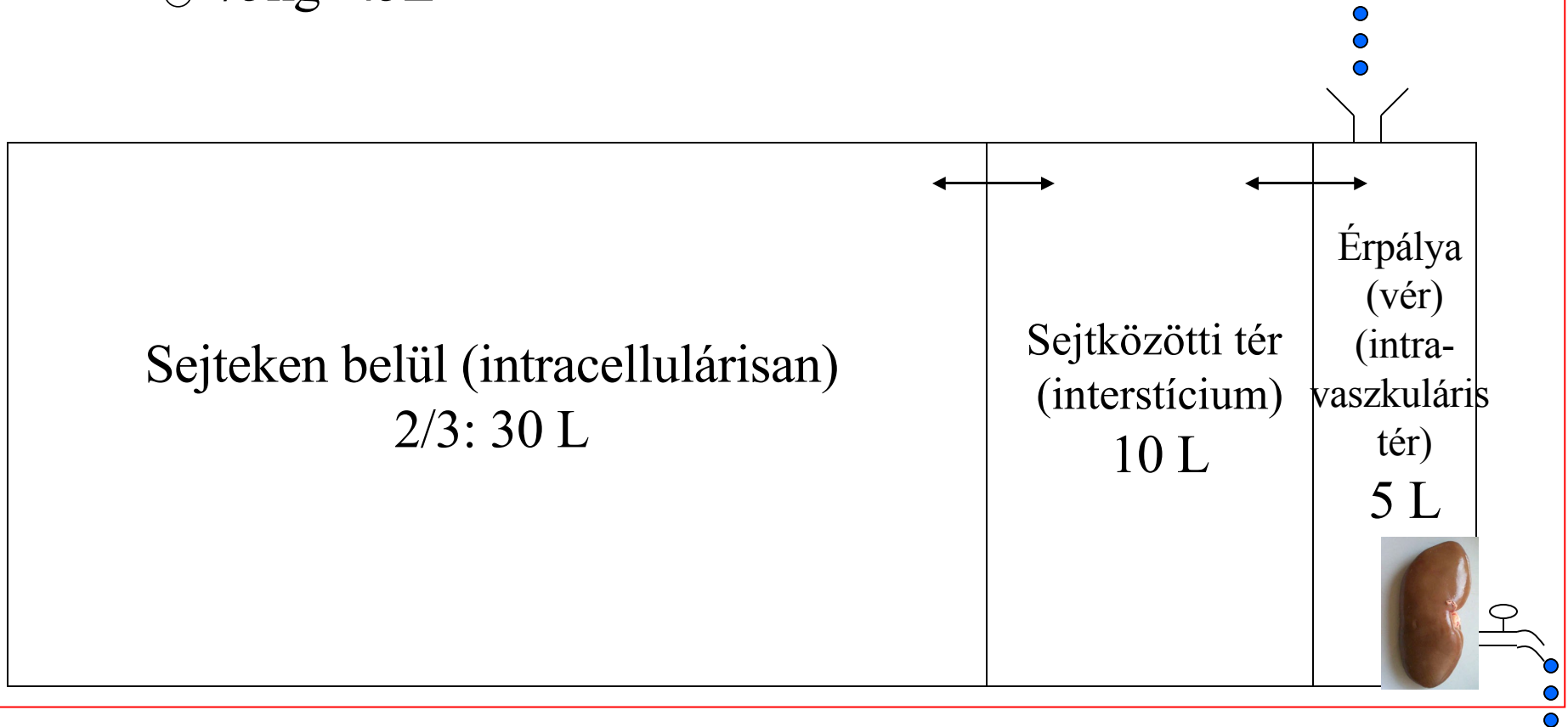
♀ 55% (több zsír)

♂ 60%

Gyerek: 75-80%

♂ 75kg > 45L

•Az összvízter (uszoda) vízszintjének szabályozása a véren (kismedencén) keresztül történik



# Napi vízegyensúly

- Obligát veszteség:
  - Vese<sup>(1)</sup>: 500 ml
  - Bőr + tüdő (perspiráció insensibilis)<sup>(2)</sup>: 900 ml
  - Bél (széklet): 100 ml
  - 1500 ml
- Termelőds:
  - oxidatív anyagcsere 400 ml
- Szükséges minimális ivás<sup>(3)</sup>:  $1500 - 400 = 1100$  ml

<sup>(1)</sup> A vese minimálisan 500 ml vizeletben tudja kiválasztani a napi salakanyag termelést maximálás koncentráció mellett.  
Ezért az 1100 ml-t meghaladó vízfogyasztás ajánlott.

<sup>(2)</sup> A perspiráció insensibilis láz esetén 1°C-onként 100 ml-rel nő.

<sup>(3)</sup> A napi orális vízfogyasztás (táplálék + ivás) rendszerint meghaladja az 1100 ml-t.

# A szabályozás határai



- Maximális koncentráció: 1200 mosm/l
- Maximális hígítás: 20 ml/min (1200 ml/h) vizelet

# Kórélettani elváltozások vízhiányban

<b>Vesztés</b>	<b>Példa</b>	<b>Megoszlás</b>	<b>Vér- veszteség</b>
Hypotoniás folyadék	diabetes insipidus, mellitus;  Izzadás; hasmenés; hányás.	Összvíztér	10%
Isotoniás folyadék (és fehérje)	égés	ECF	30%
Vér	vérzés	érpálya	100%

# Vízhiány kezelése

<b>Vesztés</b>	<b>Megoszlás</b>	<b>Vér -veszteség</b>	<b>Kezelő oldat</b>
Hypotoniás folyadék	Összvíztér	10%	Víz po. iv. 5% glukóz*
Isotoniás folyadék (és fehérje)	ECF	30%	0,9% NaCl
Vér	érpálya	100%	Plasma- pótló

\*Cél: a hiány 2/3-ának pótlása az 1. 24h-ban, és a maradék a következő 24h-ban

# Vízmérgezés

- Oka:
  - általában veseelégtelenség. Kiválasztás felső határa normálisan kb. 20 ml/min (1200 ml/h)
  - Primer polydypsia (vízivás kényszere) – pszichiátriai betegek (vízmérgezés leggyakoribb oka)
- További okok:
  - Iatrogén: Túlzott parenterális folyadékbevitel
  - Vazopresszin paraneopláziás termelése
- Kórélettan:  $Se[Na^+] \downarrow$ : agyödéma ☠.
- Klinikai tünetek: viselkedés zavarok, konfúzió, fejfájás, görcsök, kóma, izomrángás, plantáris extensor válasz.
- Kezelés:
  - mannitol infúzió:
    - intracelluláris térből vizet von el
    - Ozmotikus diurézist indukál
  - Hypertoniás NaCl oldat infúziója egyidejű furosemid adással
  - Amennyiben vesefunkció zavar áll a háttérben hemofiltráció v. dialízis (mindenképpen szükséges, ha a  $Se[K^+]$  emelkedik)

# Labordiagnosztika

- Se[Na<sup>+</sup>]
- Se ozmolalitás
- Központi vénás nyomás (CVP)
- Testtömeg
- Folyadékkegyensúly regisztrálása
- Plazmafehérje koncentráció
- Hematokrit, hemoglobin (Hb), vvt térfogat (MCV)
- Vizelet vizsgálat:
  - Térfogat
  - Összetétel: megfelel-e a vizelet [Na<sup>+</sup>] a Se [Na<sup>+</sup>]-nak (pl.: Na<sup>+</sup>-hiány mellet natriuresis)



# Labordiagnosztika: $\text{Se}[\text{Na}^+]$

- $\text{Se}[\text{Na}^+]^1$  (ionszelektív elektróda):
- $\text{Se}$  ozmolalitás mérése (fagyáspontcsökkenés):
  - nehéz automatizálni, Na-nál kevésbé pontos  $\rightarrow$  nem használják
  - + A hypothalamus az ozmolalitást szabályozza (nem a  $[\text{Na}^+]$ ).
- Ozmotikus gap: (okok: glukóz, karbamid, ketontestek, laktát, alkohol)  
 $2x[\text{Na}^+] + 2x[\text{K}^+] + [\text{urea}] + [\text{glukóz}]$ : számított  $P_{\text{ozm}}$   
 $2x 140 + 2x 5 + 5 + 5 \text{ mmol/l} = 300 \text{ mosm/l}$

<sup>1</sup>nem informatív az ECF  $\text{Na}^+$  tartalmára (ECF  $[\text{Na}^+]$  mellett az ECF térfogatától is függ)  
Azaz a  $\text{Se} [\text{Na}^+]$  a szervezet vízforgalmától is függ

# Lángfotometria vs ionszelektív elektród

	ionszelektív elektróda	lángfotométer
előny	automatizálható	pontos, olcsó
hátrány		pseudohyponatraemia
mérés elve	ionaktivitás (az élettani ozmorecepciónak megfelelően)	koncentráció

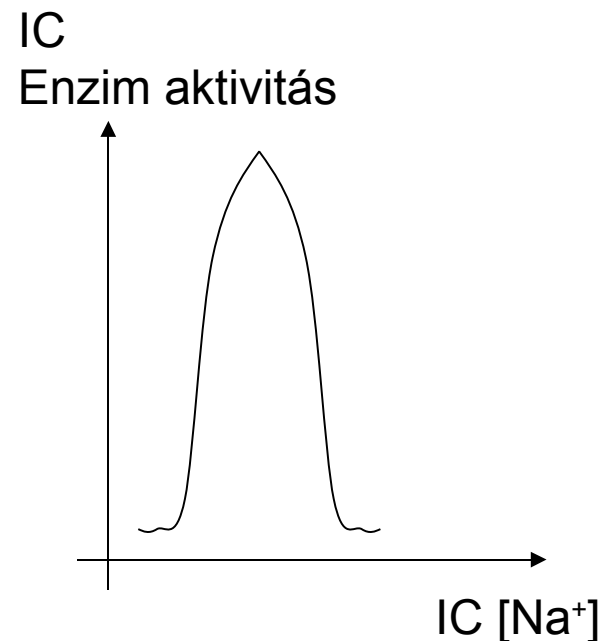
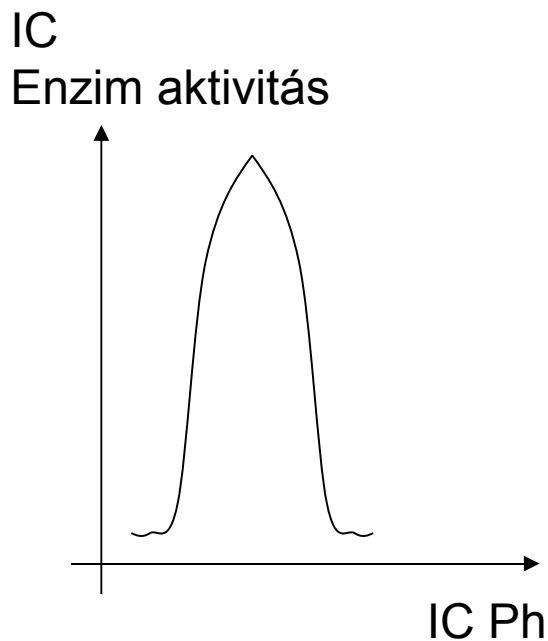
Na<sup>+</sup>

# Élettani jelentőség

- $\text{Na}^+$ : extracelluláris (EC) ozmotikus nyomás

$P_{\text{osm(EC)}}$

- Se  $[\text{Na}^+] \uparrow$ : IC (agyi) dehidráció ☠



# Na<sup>+</sup> megoszlás/egyensúly

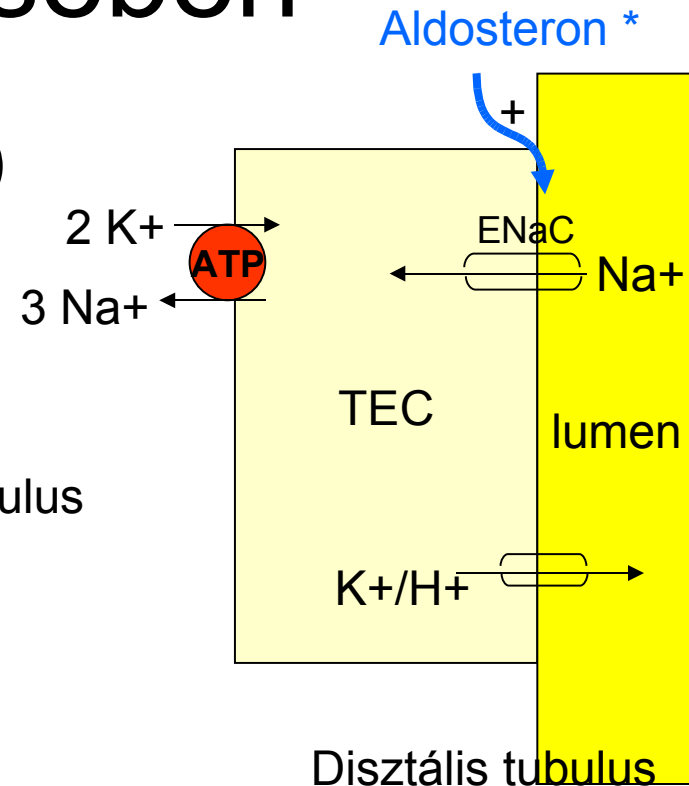
- Teljes Na<sup>+</sup> tartalom: 3000 mmol
  - 70% kicserélhető: ECF-ben
  - 30% kémiai komplexben a csontban
  - Legtöbb membrán Na<sup>+</sup>-ra permeabilis, gradiens: Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP-áz.
- Na<sup>+</sup> egyensúly:
  - Napi bevitel: 100-200 mmol
  - Obligát veszteség: 10 mmol
  - Felesleg a vizelettel ürül
  - Belső turnover: !
    - Vese: 25 000 mmol/nap
    - Bél: 1 000 mmol/nap

# Na<sup>+</sup> és K<sup>+</sup> a vesében

- Na<sup>+</sup>: 97% EC. (135-145 mmol/l)
  - Vese: 25 000 mmol/nap
    - szabad filtráció
    - reabszorpció:
      - 70% proximális tubulus,
      - max. 99% (aldoszteron) disztális tubulus

- K<sup>+</sup>: 3% EC. (3,5-5 mmol/l)

- szabad filtráció
- reabszorpció:
  - 90% proximális tubulus, Henle kacs
  - disztális tubulus: kiválasztás v. visszaszívás (aldoszteron, vér-pH)
    - » Na<sup>+</sup> retenció (aldoszteron) -> K<sup>+</sup> vesztes
    - » acidózis (proton elimináció) -> K<sup>+</sup> retenció



\*Aldoszteron: Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> csere a vastagbélben is.

# Na<sup>+</sup> hiány\* okai

- Felvétel ↓
  - Orális (ritka)
  - Iatrogén (parenterális bevétel) ↓
- Vesztes ↑
  - Vese: (vizelet [Na<sup>+</sup>]>20 mmol/l: Na-vesztő vese)
    - Akut tubuláris nekrozis (ATN) (shock, posztoperatív ischemia, analgetikus nefropátia) diuretikus fázisa
    - Mellékvesekéreg hypofunkció (aldoszteronhiány)
    - Iatrogén: vízajtó kezelés
  - Bőr:
    - Égés
    - Izzadás
  - Bél:
    - Hasmenés, hányás
    - Ileus

} Hypotoniás  
folyadék  
vesztése

\* Hyponatremiát (Se[Na<sup>+</sup>]↓) gyakrabban okoz víztúlsúly mint Na<sup>+</sup>-vesztés

# Na<sup>+</sup> túlsúly\* okai

- Felvétel ↑
  - Iatrogén (parenterális bevétel) ↑
- Kiválasztás ↓
  - Vese:
    - GFR ↓ (akut, krónikus veseelégtelenség)
    - Diabetes insipidus (ADH hiány)
    - Ozmotikus diurézis (diabetes mellitus, mannit infúzió)
  - Mellékvese:
    - Primer hyperaldosteronismus (Conn-, Cushing- syndroma)
    - Secunder hyperaldosteronismus (Na<sup>+</sup> túlsúly **leggyakoribb** oka):  
ECF ↑ - plazmatérfogat ↓
      - Szívelégtelenség (vénás pangás)
      - Májelégtelenség (ascites)
      - Nephrosis syndroma (ödémák)
      - A. renalis stenosis (RAAS aktiválódik)
  - Bélcsatorna
    - Hasmenés (vérhas, kolera)

} Hypotoniás  
folyadék  
vesztés

Hypernatrémia (Se[Na<sup>+</sup>]↑) ritkább mint a Se[Na<sup>+</sup>]↓. Oka leggyakrabban vízhiány



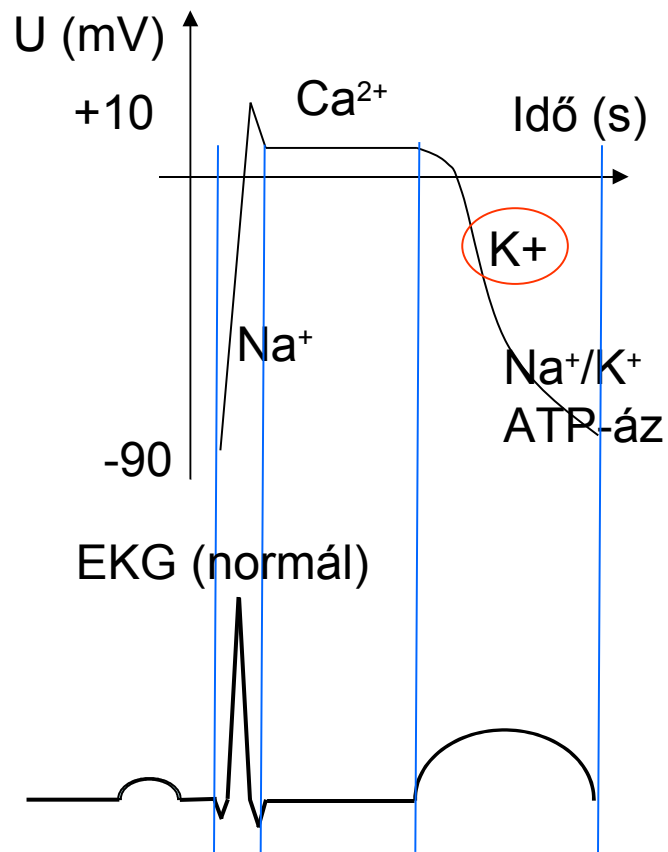
**K<sup>+</sup>**

# Élettani jelentőség

- Neuromusculáris ingerlékenység a  $\text{Se}[\text{K}^+]/\text{Se}[\text{Ca}^{2+}]$  aránytól függ.
- Hyperkalemia:
  - membrán nyugalmi potenciált depolarizálja:  
-90  $\rightarrow$  -60 mV
  - Kamrai depolarizáció és repolarizáció rövidül
- Hypokalemia:
  - membrán nyugalmi potenciált hyperpolarizálja:  
-90  $\rightarrow$  -110 mV

# Élettani jelentőség

Szívizomsejt akciós potenciálja



Hyperkalemia:

- 1./csúcsos (sátor szerű) T (QT rövid)
- 2./ Lapos/hiányzó P hullám  
pitvarfibrilláció
- 3./ Széles (sinus szerű) QRS  
**Kamrafibrilláció ☠**

Hypokalemia:

- Elhúzódó repolarizáció:  
Lapos T + prominens U hullám  
Megnyúlt ST (QT>0,45 s)  
ST depresszió  
Arritmia, bradycardia  
Izomgyengeség, paralysis:  
**Légzési elégtelenség (izombénulás) ☠**

# K<sup>+</sup> megoszlás/egyensúly

- Teljes K<sup>+</sup> tartalom: 3000 mmol
  - 90% kicserélhető: szabad
  - 10% kötött: vvt, csont, agy
- K<sup>+</sup> egyensúly (/24h):
  - Obligát vesztés:
    - Vizelettel: 10-20 mmol
    - Bőr + bél: 15-20 mmol
  - Napi bevitel: min 40 mmol (norm.: 60-200 mmol)
  - Belső turnover: !
    - Bél: gyomorban K<sup>+</sup>-szekréció, vékonybélben K<sup>+</sup>-felszívás, vastagbélben aldoszteronfüggő K<sup>+</sup>-kiválasztás

# Se [K<sup>+</sup>] szabályozás

- Mivel a szervezet teljes K<sup>+</sup> tartalmának 97%-a IC található, a Se [K<sup>+</sup>] szint szabályozása is az IC kompartment felől történik
- Se[K<sup>+</sup>]<sup>↑</sup> -> **inzulin** szekréció <sup>↑</sup> -> K<sup>+</sup> IC felvétele  
<sup>↑</sup> -> Se[K<sup>+</sup>] <sup>↓</sup> – 1. védelmi vonal hyperkalemia ellen
- pH: **acidózis** IC pufferolása
- Szervezet K<sup>+</sup> tartalmának szabályozása:  
Vese/aldoszteron

# Labordiagnosztika

- Ionszelektív elektróda
- Intracelluláris  $K^+$  mérés: vvt-kből (lángfotometriával)
- Az alvadék retrakciójakor  $K^+$  szabadul fel. Ezért a serum  $[K^+]$  0,2-0,3 mmol/l > plasma  $[K^+]$
- Pseudohyperkalemia (Se  $[K^+]$  téves  $\uparrow$ )
  - Trombocitózis
  - Dohányfüst (magas  $K^+$  tartalom, beoldódik a mintába)
  - Vérminta állása (mintavételtől számított 1 órán belül le kell centrifugálni!)
- IC  $[K^+] = 30 \times$  EC  $[K^+] \rightarrow$  hemolítikus minta  $[K^+]$  mérésre alkalmatlan !

# Labordiagnosztika II

- Vizelet
    - K<sup>+</sup>
    - Crea
    - Osmolalitás
  - Se
    - K<sup>+</sup>
    - Crea
    - Urea
    - aldoszteron
  - Mellékvesekéreg elégtelenség:
    - Tünetek:
      - Se Na<sup>+</sup> (↓ -> aldoszteron hiányra utal)
      - Izomgyengeség, petyhüdt bénulás, ileus (K<sup>+</sup>↑)
    - Dg:
      - ACTH (cosyntropin) stimulációs teszt
      - Orális fludrocortison teszt: secunder (hyporeninémiás) hypoaldosteronizmusban) adására a Se K<sup>+</sup> normalizálódik
- Frakcionált K<sup>+</sup> kiválasztás (FEK):  $U_{K^+}/S_{K^+} * 100/U_{Cr}/S_{Cr}$   
Transztubuláris K<sup>+</sup> grádiens:  $U_{K^+} * S_{osm}/S_{K^+} * U_{osm}$   
Kóros, ha hyperkalémia esetén < 5

# Hyperkalemia (Se $[K^+]$ ↑) gyakorisága – klinikai jelentősége

- Se  $[K^+]$  ↑: klinikailag:  $>6$  mmol/l/
  - $K^+$  ↑ legfontosabb elektrolitzavar.
  - életet fenyegető (EKG eltérés nélkül is)!
  - Kórházban kezelt betegek 1-10%-a
  - Leggyakoribb oka gyógyszer, kiszáradás, szív-, vese elégtelenség



# Hyperkalemia (Se $[K^+]$ $\uparrow$ )\* okai

- Se  $[K^+]$   $\uparrow$ 
  - Csökkent kiválasztás:
    - Veseelégtelenség (diabetikus nephropátia: hyporeninémias hypoaldosteronizmus)
    - Mellékvesekéreg elégtelenség (aldosteron hiány, spironolakton: aldosteron antagonist diuretikum)
    - Kiszáradás ! (A  $K^+$  kiválasztáshoz szükséges a disztális nephronban elegendő víz és  $Na^+$ )
    - Szívelégtelenség (vese hypoperfúziója)
  - Sejtekből történő felszabadulás
    - Sejtpusztulás
      - hemolízis,
      - leukózisok,
      - szövet károsodás: trauma, égés
      - katabolikus állapot
    - Sejtekbe bejutás zavara
      - \*A Se  $[K^+]$  nem mindig tükrözi a szervezet  $K^+$  tartalmát:  
Paradox Se  $[K^+]$   $\uparrow$ :
        - Acidózis: ( $H^+/K^+$  csere)
        - Diabetikus coma: inzulin hiányában  $K^+$  nem jut a sejtekbe
        - Szivglikozid (digoxin, digitális) mérgezés:  $Na^+/K^+$  ATP-áz gátolt

# Hyperkalémiát okozó gyógyszerek, ételek

## • Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP-ázra ható szerek:

- Béta receptor blokkolók
- **digoxin**
- Ginseng, varangybőr

## • Renin-angiotenzin rendszerre ható szerek:

- ACE-gátlók
- ARB
- Spironolacton
- Cyclosporin, Tacrolimus (gátolja a renin felszabadulást), nephrotoxikus

### • **NSAID**

→ PG ↓ -> afferens arteriola perfusio ↓ -> renin ↓ (szelektív COX-2 gátlók is)  
↓ papilla nekrosis  
→ vese funkció ↓ -> diabetesben , beszűkült vesefunkció esetén VE veszélye!

- Estradiol (spironolacton analóg)
- Fluorid mérgezés (gátolja az aldoszteron szintézisét)
- Heparin – csökkent vesefunkció mellett (gátolja az aldoszteron szintézisét)

## • Se K<sup>+</sup> közvetlen emelése (fokozott K<sup>+</sup> bevitel)

- vvt konzerv (vvt-kból felszabaduló K<sup>+</sup>)
- Banán, dinnye, narancslé, sajt, lucerna, csalán
- Penicillin-G-kálium
- K<sup>+</sup>

# Analgetikus nefropátia

- Magyarországon dializált betegek 3,3%-a
- Tünetek: fejfájás, ízületi fájdalom, szív-érrendszeri komplikációk
- Patológiai jellemzők: papilla necrosis és calcificatio interstitialis nephritis
- Klinikailag polyuria, steril pyuria, néha vesefájdalom és haematuria
- Veseelégtelenség is kialakulhat

Pinter I, Matyus J, ... Nagy J. : Analgesic nephropathy in Hungary: the HANS study. Nephrol Dial Transplant. 2004 Apr;19(4):840-3.

Pinter I, Nagy J.: [Analgesic nephropathy]

Orv Hetil. 1998 Nov 22;139(47):2839-43.

# Hypokalemia (Se $[K^+]$ ↓) okai

Se  $[K^+]$  ↓

- Csökkent bevitel (orális < 40 mmol/nap) (pl: éhezés)
- Vesztés ↑
  - Gastrointestinális  $K^+$  vesztés:
    - Hasmenés
  - Vese: fokozott kiválasztás ( $K^+$ -vesztő vese): aldoszteron túlsúly
    - Akut VE diuretikus fázis
    - Renális tubuláris acidózis (tubuláris  $H^+$  kiválasztás zavara)
    - Primer hyperaldosteronismus (Conn, Cushing)
    - Secunder hyperaldosteronismus (ECF ↑)
    - Csökkent aldosteron bontás (májcirrózis)
  - Iatrogén:
    - Vízhajtó (diuretikus) kezelés
    - Szteroid gyulladásgátló kezelés
  - IC/EC  $K^+$  megoszlás:
    - Alkalózis: ( $H^+/K^+$  csere)
    - Diabeteses coma inzulin kezelése:  $K^+$  pótlás kell !
    - Gyors sejtproliferáció

# Hyperkalemia tünetei

- Előzetes jel nélkül is felléphet kamrafibrilláció !

Az EKG eltérések megjelenésének időrendje

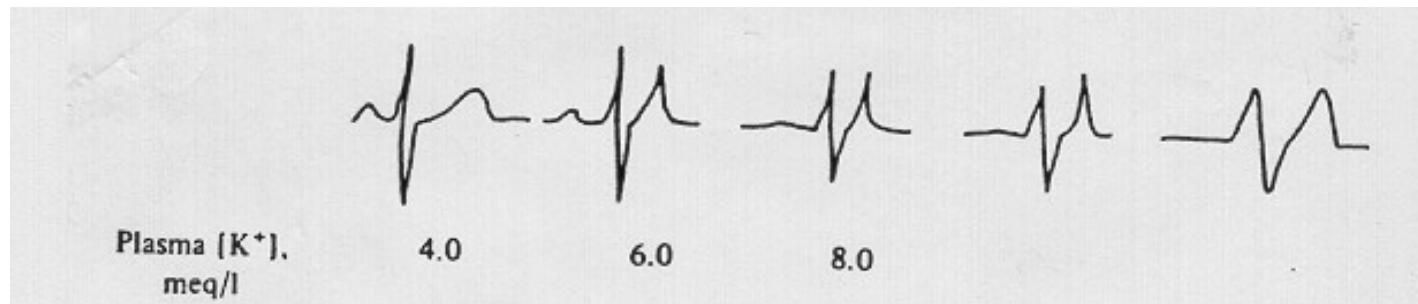
1./ Széles, magas, **csúcsos (sátor szerű) T** (mellkasi elvezetésekben)

Rövid (v. hiányzó) ST (QT<0,45 s)

2./ Lapos/hiányzó P hullám pitvarfibrilláció

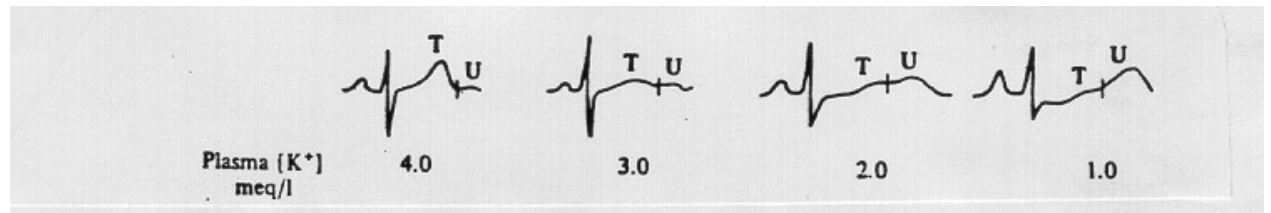
3./ Széles (sinus szerű) QRS

**Kamrafibrilláció** ☠



# Hypokalemia tünetei

- Neuromusculáris ingerületátvitel zavara
  - Gyengeség
  - Zavartság
  - Vérnyomás csökkenés
  - Ileus



- Szív:
  - Arrhythmiák, jellegzetes EKG:
    - Elhúzódó repolarizáció
      - Lapos, v negatív T
      - U-hullám amplitúdója megnövekszik
      - Q-U szakasz > 0,45 s
    - Depolarizációs zavarok:
      - P amplitúdója ↑, PQ szakasz ↑
      - QRS kiszélesedik
- Metabolikus alkalózis

# Hyperkalemia kezelése

Kezelés szükséges:

veseelégtelenség

acidózis

Kezelés sorrendje:

3. Vizelet mintavétel (ok későbbi meghatározásához)

4. Myocardium stabilizálása

- Iv. Ca-glukonát: anagonizálja a  $K^+$  szívizom ingerlékenységére kifejtett hatását (csökkenti az ingerküszöböt). Digoxin kezelt betegnél a  $Ca^{++}$  súlyosbítja a digoxin kardiotoxikus hatását.

5.  $K^+$  IC-is relokalizációja

- Iv. glukóz+inzulin: fokozza az IC  $K^+$  felvételt
- Béta agonista: Salbutamol (iv) /Albuterol (inhaláció): aktiválja a  $Na^+/K^+$  ATPázt
- Súlyos metabolikus acidózisban  $HCO_3^-$

6. Test teljes  $K^+$  tartalmának csökkentése (biztonságos Se  $K^+$  szint elérése után)

- Po. Na-polystirol:  $Na^+$ -ra cseréli és eltávolítja a  $K^+$ -ot a bélből
- Iv. furosemid + fiz.só (VE-ben nem)
- Veseelégtelenségben dialízis

# Hypokalemia kezelése

- A  $K^+$  alapvetően az ICF-ből hiányzik
- A pótlás az ECF-be kerül -> lassú infúzió
- Pl.: plazma koncentráció: 3 mmol/l ↓  
≈ 300 mmol össz  $K^+$  hiány

Pótlás: 140 mmol/24h