

Elektrolytstörungen



Christopher Rugg

ANÄSTHESIE FORUM



ALPBACH

REPETITORIUM

Gliederung



- Einleitung
 - Warum sind sie wichtig?
 - Elektrolytzusammensetzung intra- vs. extrazellulär
- Elektrolytstörungen der überwiegend extrazellulären Elektrolyte
 - Natrium
 - Chlorid
 - Calcium
- Elektrolytstörungen der überwiegend intrazellulären Elektrolyte
 - Kalium
 - Phosphat
 - Magnesium

Einleitung



- Chirurgische Patienten erleiden oft eine großen Flüssigkeits-shift im OP und postoperative
- Patienten bringen Vorerkrankungen und v.a. Dauermedikationen mit
- Akut oder chronisches Nierenversagen häufig
- Chirurgische Patienten werden sediert, müssen Nüchternheit einhalten und erhalten i.v. Flüssigkeiten
- Besondere Erkrankungen aggravierern zusätzlich Flüssigkeits- und Elektrolyt-shift (z.B. Ileus)

Einleitung

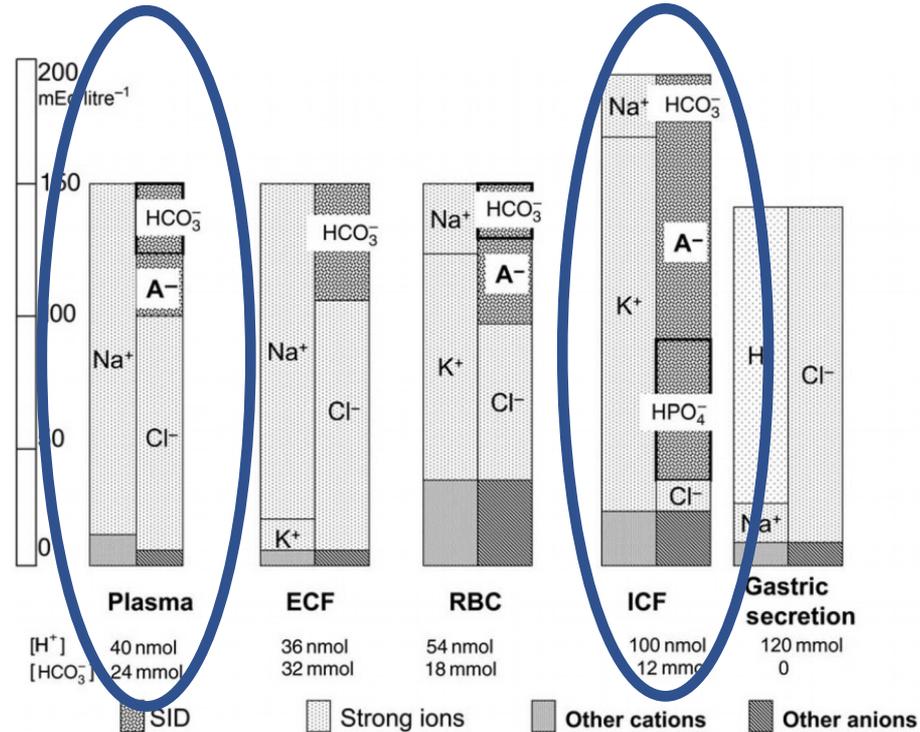


Fig. 3 Gamblegrams of ionic composition of body fluids.

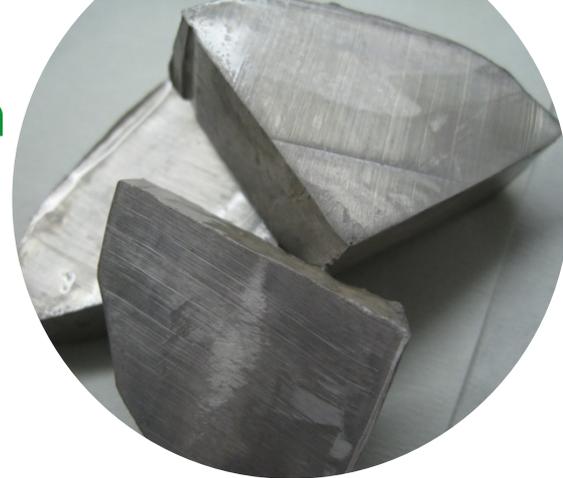
Einleitung



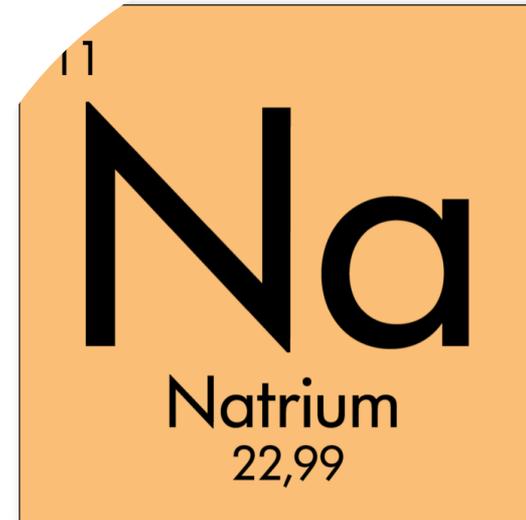
	Plasma [mmol/l]	Interstitiell [mmol/l]	Intrazellulär [mmol/l]
Kationen			
Natrium (Na ⁺)	135 – 147	143	5 – 20
Kalium (K ⁺)	3,5 – 5,5	4	110 – 150
Kalzium (Ca ⁺⁺)	2,25 – 2,65	2,3	1
Kalzium ionisiert	1,10 – 1,30		<0,001*
Magnesium (Mg ⁺⁺)	0,75 – 1,05	0,7	10 – 15 (1,6*)
Anionen			
Chlorid	95 – 113	115	4
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	22 – 26	28	15
Phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,84 – 1,45	1	60
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	0,5	0,5	5 – 10
Proteine [mval/l]	12 – 16	0,4	54 – 63
Volumen [l]	3	11	28

* freies Kalzium und Magnesium (Ionenaktivitäten)

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



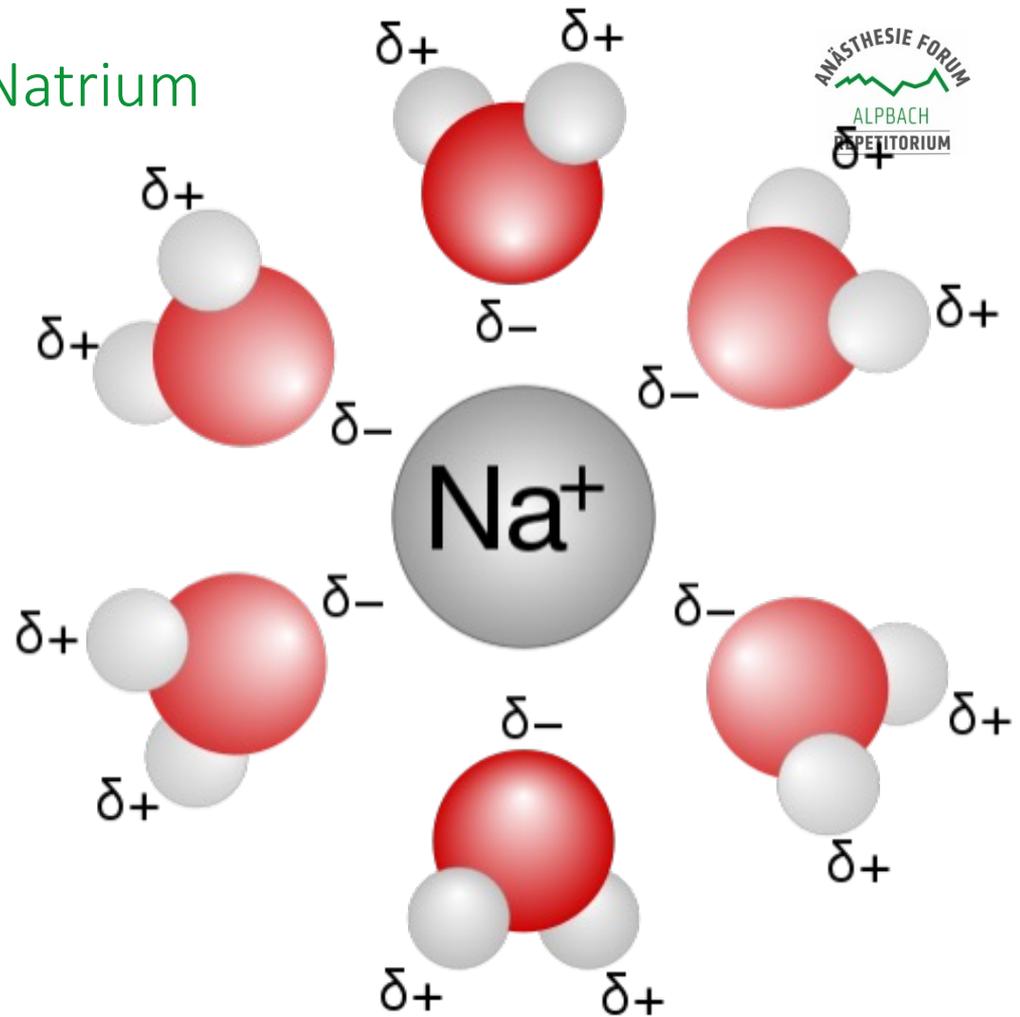
- Haupt-Kation im EZR (>90%)
- ~10-fach höhere Konzentration im Plasma als intrazellulär
- Gradient für Aktionspotential, Stoffaustausch etc.
- Hauptbestandteil der Plasmaosmolalität



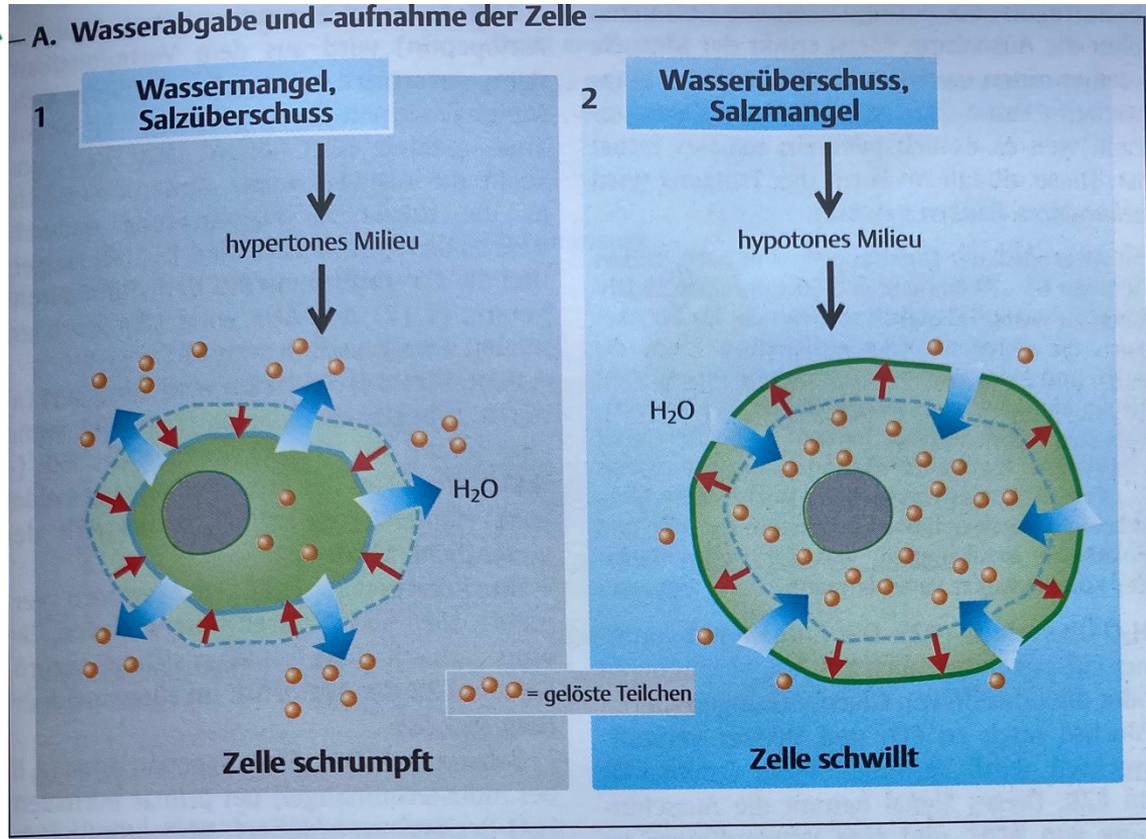
Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



- Maßgeblich am Wasserhaushalt beteiligt
- Hydrathülle umgibt Natrium (und auch andere Elektrolyte)



Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium

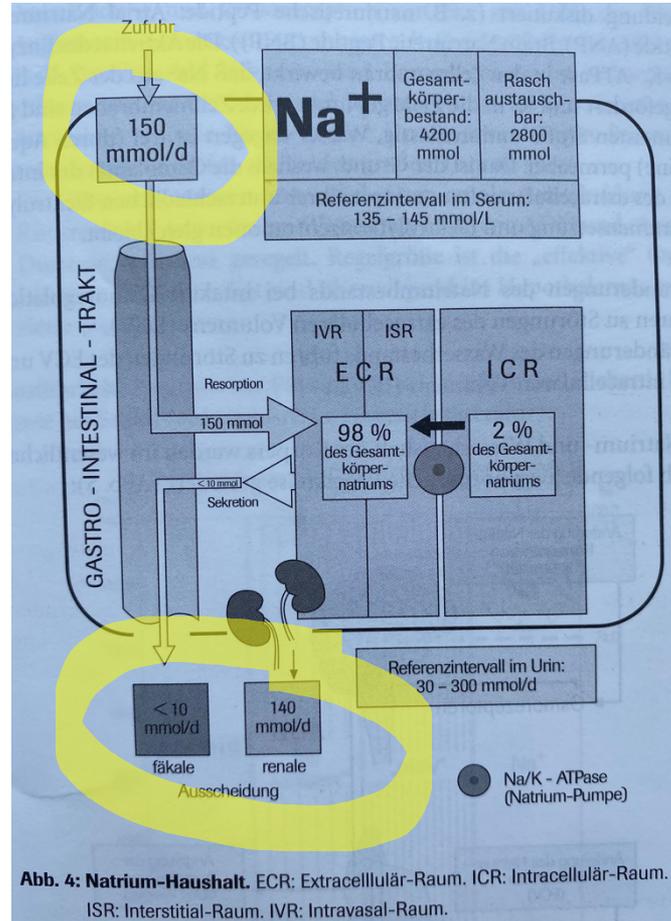


Abb. 4: Natrium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum. ISR: Interstitiell-Raum. IVR: Intravasulär-Raum.

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Hormonelle Regelung Natrium

- Osmolalität \uparrow :
 - ADH \uparrow -> H₂O-Ausscheidung \downarrow
 - Durstgefühl \uparrow
- Osmolalität \downarrow :
 - Salzhunger \uparrow
 - ADH \downarrow
- Extrazellularvolumen \uparrow :
 - ANP \uparrow -> Na- und H₂O-Ausscheidung \uparrow
- Extrazellularvolumen \downarrow :
 - RAAS \uparrow
 - Aldosteron \uparrow -> Na- und H₂O-Ausscheidung \downarrow
 - Angiotenin II \uparrow -> ADH \uparrow

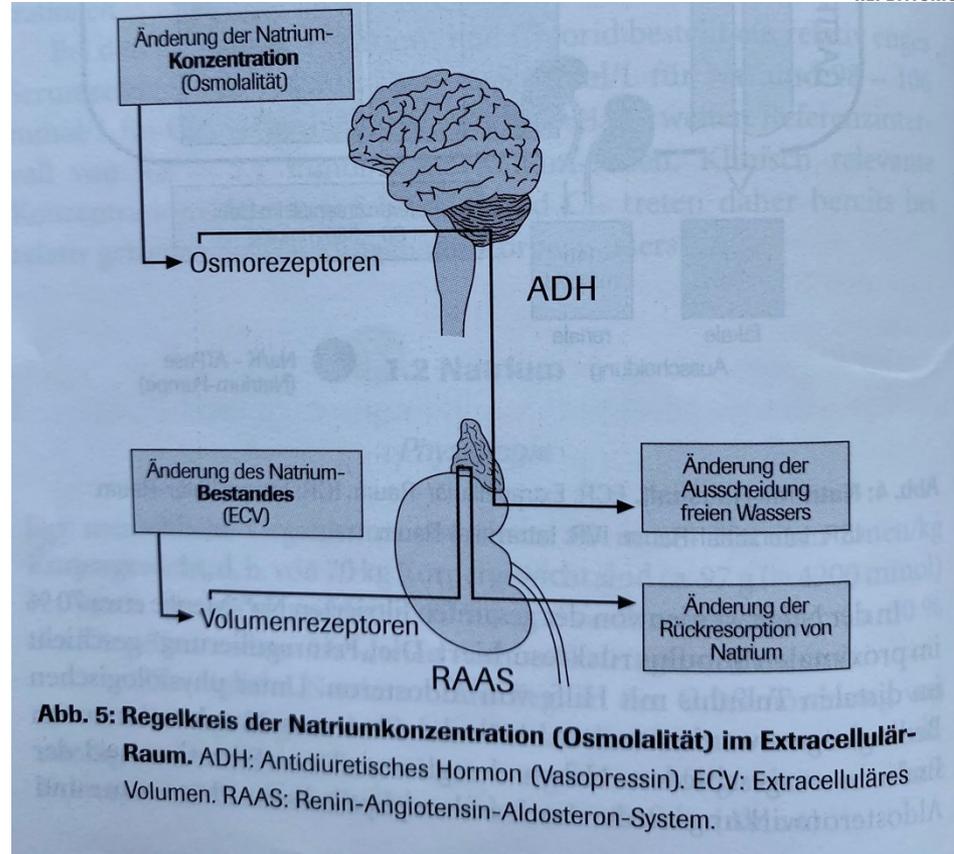


Abb. 5: Regelkreis der Natriumkonzentration (Osmolalität) im Extrazellulär-Raum. ADH: Antidiuretisches Hormon (Vasopressin). ECV: Extracelluläres Volumen. RAAS: Renin-Angiotensin-Aldosteron-System.

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Normonatriämie = Balance zwischen
Natrium und Wasserhaushalt

Hypo- oder Hypernatriämie = Dysbalance zwischen
Natrium- und Wasserhaushalt

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Hyponatriämie

= *Mangel an Natrium oder
Überschuss an Wasser*

- $[Na] < 135\text{mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. zerebral wegen Hirndruck (verwirrt bis Koma)
- $< 120\text{mmol/l}$ = lebensbedrohlich
- Therapie:
 - Salz rein: NaCl 0.9% - 3 (5)%
 - Wasser raus: H₂O-Restriktion, Diuretika
- CAVE: Pontine Myelinolyse bei zu rascher Korrektur ($> 8\text{mmol/l/24h}$)

Zu viel Wasser:

- akutes/chronisches Nierenversagen, Herzinsuffizienz, Leberzirrhose -> Ödeme als Zeichen der Hypervolämie
- SIADH – Symptom der inadäquaten ADH Ausschüttung (Stress, Schmerzen, Tumore, posttraumatisch, Meningitis, Medikamente: NSAR, Chemotherapeutika, Antiepileptika)
- Polydipsie (psychogen, Bier, Tee), TUR-Syndrom
- Therapie: Wasserrestriktion +- Diuretika (Lasix),

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Hyponatriämie

= *Mangel an Natrium oder
Überschuss an Wasser*

- $[Na] < 135\text{mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. zerebral wegen Hirndruck (verwirrt bis Koma)
- $< 120\text{mmol/l}$ = lebensbedrohlich
- Therapie:
 - Salz rein: NaCl 0.9% - 3 (5)%
 - Wasser raus: H₂O-Restriktion, Diuretika
- CAVE: Pontine Myelinolyse bei zu rascher Korrektur ($> 8\text{mmol/l/24h}$)

Zu wenig Salz:

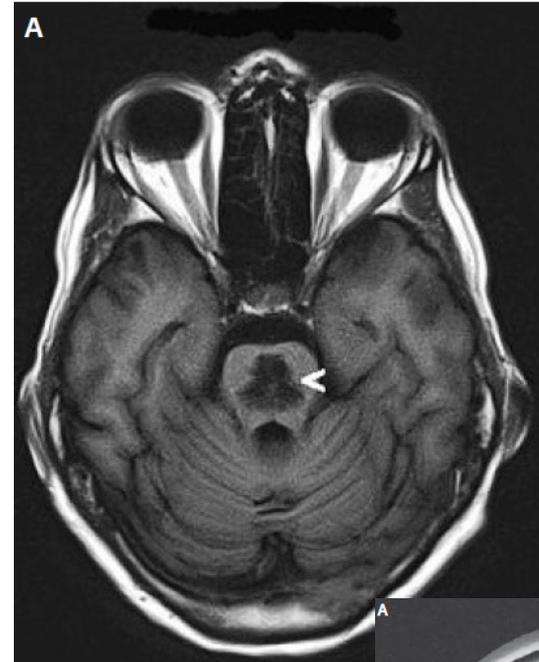
- Renale Salzverluste:
 - Diuretika (Aldactone, HCT)
 - Hypoaldosteronismus
 - Salzverlustsyndrom (Cerebral Salt Waste Syndrome)
- Extrarenale Salzverluste:
 - Erbrechen, Diarrhoe, Pankreatitis
- Klinisch: Exsiccose
- Therapie: NaCl 0.9% (3-5%)

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Pontine Myelinolyse

- Zu schnelle Korrektur der Hyponatriämie ($> 9-12-15$ mmol/l/d) akute zerebrale Dehydratation → Endothelzellschrumpfung → osmotische Öffnung der Blut-Hirnschranke → vasogenes Ödem → Kompression von Faserbahnen → Myelinolyse
- Nach 24-48h: Bewegungsstörungen
spastische Tetraplegie, Dysphagie, Dysarthrie, Bewusstseinsstörung, Krämpfe, Koma → Tod
- Keine spezifische Therapie verfügbar
langwierige Verläufe, meistens weitgehende Erholung mit bleibenden neurologischen Defiziten (aber auch komplette Erholung möglich)



Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Hypernatriämie

= *Mangel an Wasser oder
Überschuss an Natrium*

- $[Na] > 145\text{mmol/l}$
- Symptome:
 - V.a. zerebral: Unruhe/
Koma/Krämpfe/Blutung
- Therapie:
 - Wasser rein: Glu 5%, Tee
 - Salz raus: Diuretika (HCT,
Aldactone)
- CAVE: Hirnödem bei zu rascher
Korrektur ($> 10\text{mmol/l/24h}$)

Zu wenig Wasser:

- Renale Wasserverluste:
 - Diuretika (Osmodiurese, Lasix)
 - Hyperaldosteronismus (Conn-Syndrom)
 - Diabetes insipidus = fehlendes ADH (-Wirkung)
- Extrarenale Wasserverluste:
 - Diarrhoe, Schwitzen, Fieber, Hyperventilation
- Zu wenig (freies) Wasser (Trinkwasser)
- Klinisch: Exsiccose
- Therapie:
 - freies Wasser (Tee, Glu 5%)
 - Minirin bei Diabetes insipidus

Extrazelluläre Elektrolyte - Natrium



Hypernatriämie

= *Mangel an Wasser oder
Überschuss an Natrium*

- $[Na] > 145\text{mmol/l}$
- Symptome:
 - V.a. zerebral: Unruhe/
Koma/Krämpfe/Blutung
- Therapie:
 - Wasser rein: Glu 5%, Tee
 - Salz raus: Diuretika (HCT, Aldactone)
- CAVE: Hirnödem bei zu rascher Korrektur ($> 10\text{mmol/l/24h}$)

Zu viel Salz:

- Exzessiver Natriumbestand:
 - V.a. iatrogen: hoher Natriumgehalt in Infusionen und Medikamente (Antibiose, Perfusoren, NaBic)
- Klinisch: Ödeme
- Therapie:
 - freies Wasser (Tee, Glu 5%)
 - Diuretika (HCT, Aldactone, CAVE bei Lasix)

Extrazelluläre Elektrolyte - Chlorid

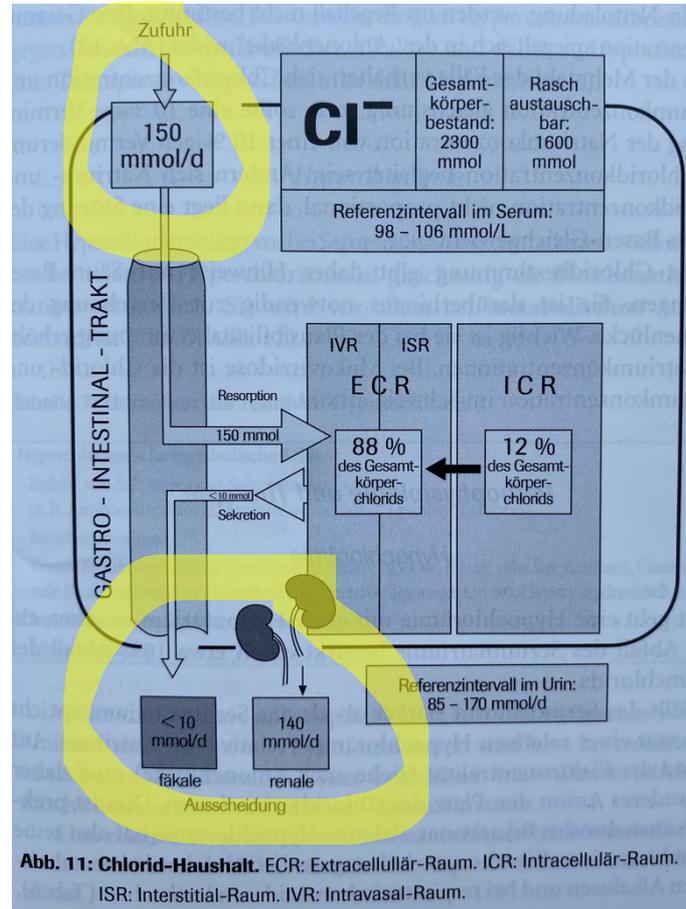


Abb. 11: Chlorid-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intrazellulär-Raum. ISR: Interstitial-Raum. IVR: Intravasulär-Raum.

Extrazelluläre Elektrolyte - Chlorid

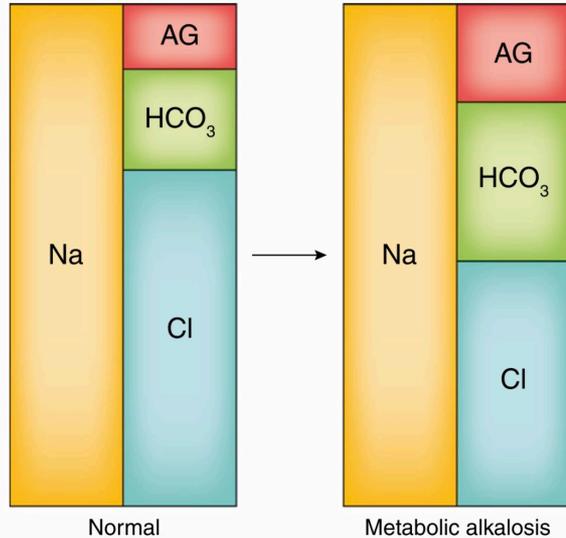
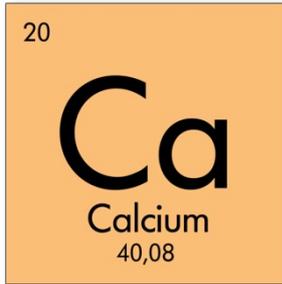


Figure 2. | The three major serum electrolytes in a normal patient and a patient with metabolic alkalosis, visualized using a Gamblegram.

Note, when the HCO₃⁻ concentration increases and the anion gap also increases slightly (this occurs with most forms of metabolic alkalosis), then the [Cl⁻] must fall and the Cl:Na ratio must fall below its normal 1:1.4 ratio.

- Chlorid ist das wesentliche Begleit-Ion der Natrium-Ionen!
- Normale Differenz: $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- = 35\text{-}40\text{mmol/l}$
- → steigt Na^+ , steigt auch Cl^-
→ sinkt Na^+ , sinkt auch Cl^-
- Ansonsten muss HCO₃⁻ oder AG sich verändern (elektroneutralität)

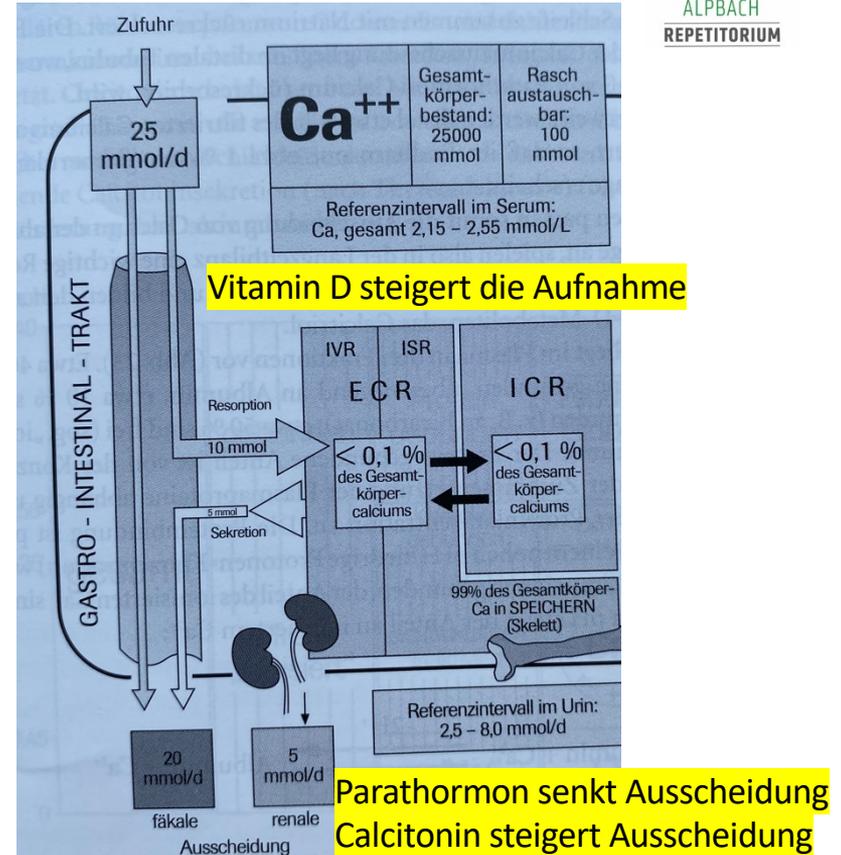
Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium

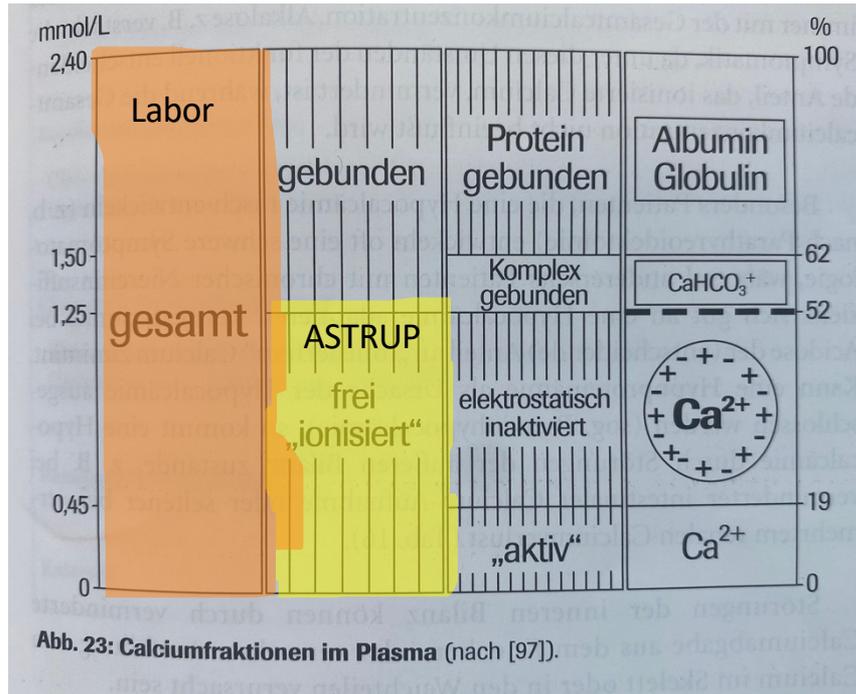


- > 1kg Gesamtbestand beim Erwachsenen
- 99% im Knochen
- 50% gebunden (Protein, Komplex) (Gesamt-Ca²⁺ vs. ionisiertes Ca²⁺)
- Ca²⁺ elementar für Muskelkontraktion, Nervenleitung, Blutgerinnung
- Calciumhaushalt: Vitamin D, Parathormon, Calcitonin

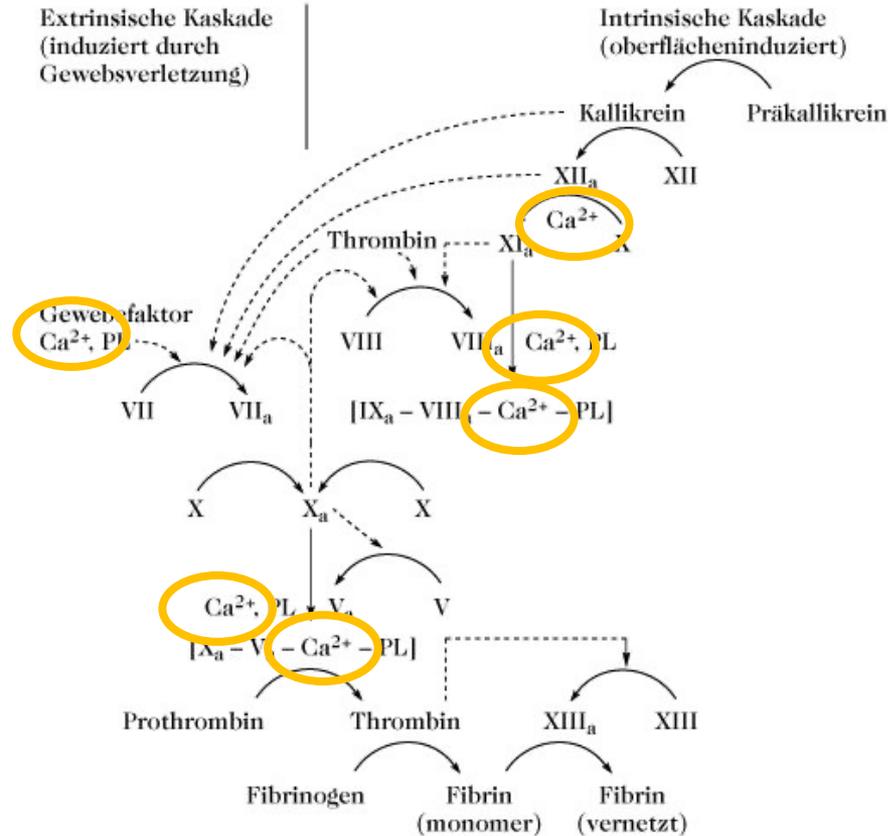


bb. 22: Calcium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum. ISR: Interstitium. IVR: Intravasal-Raum.

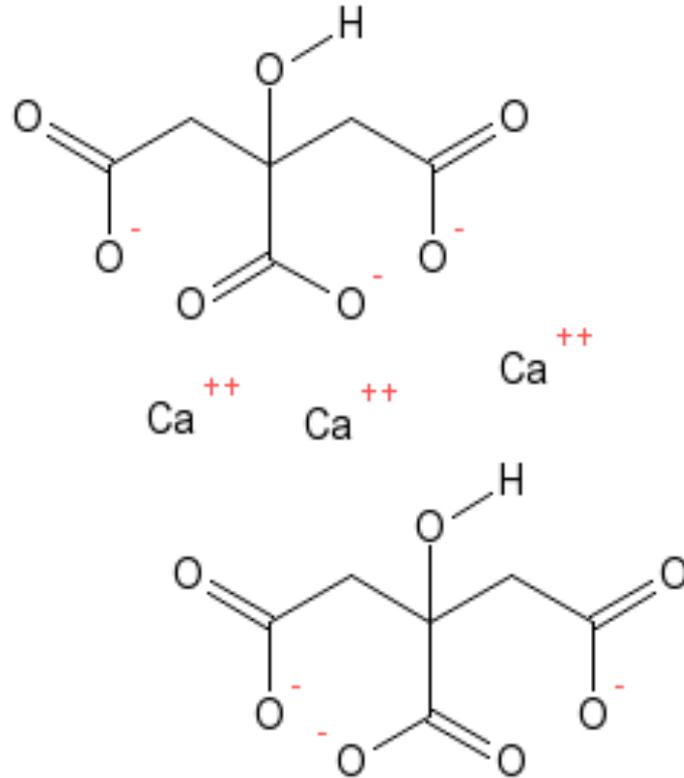
Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium

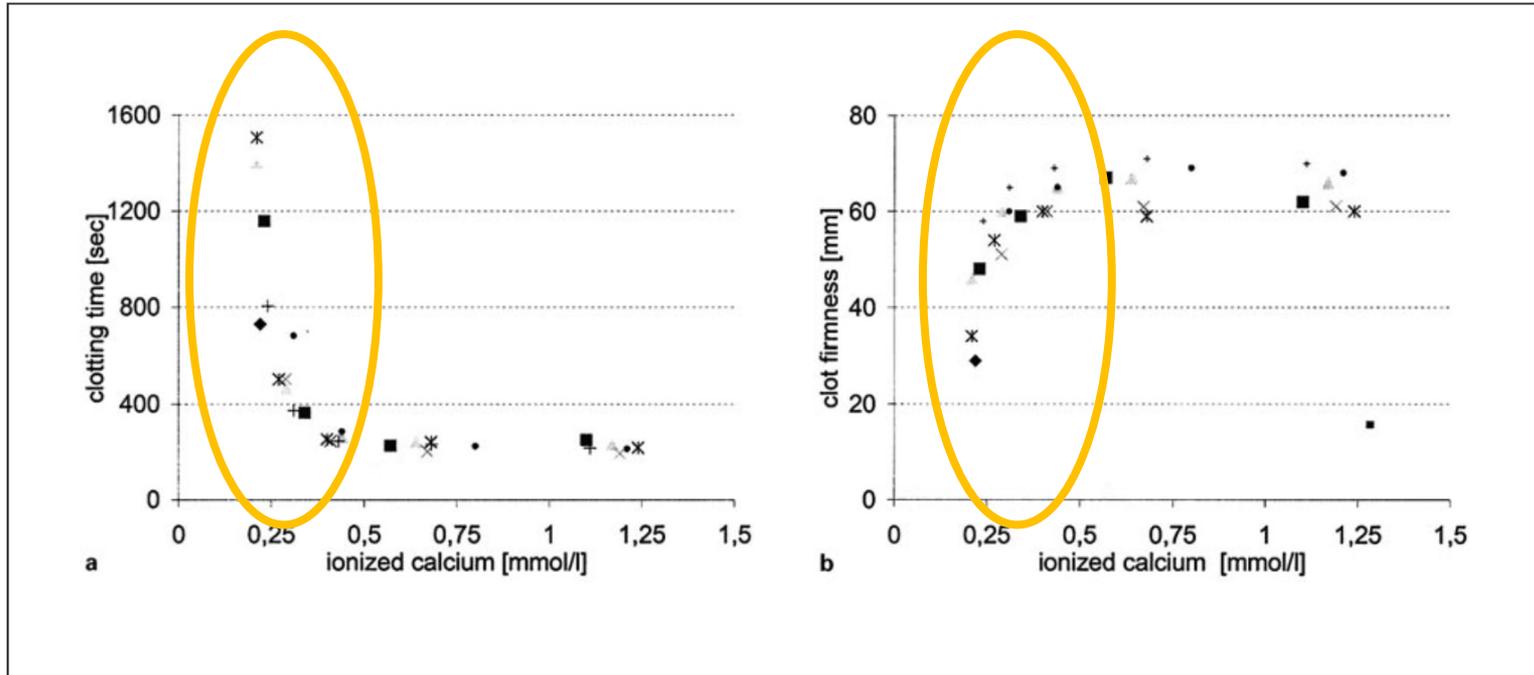


Fig. 4. Correlation of clotting time (a) and clot firmness (b) with ionized calcium. Coagulation triggered by contact activation (addition of kaolin to non-anticoagulated whole blood).

Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Gesamt- Ca^{2+} zu freiem Ca^{2+} > 2,5 \rightarrow v.a. Citratakkumulation

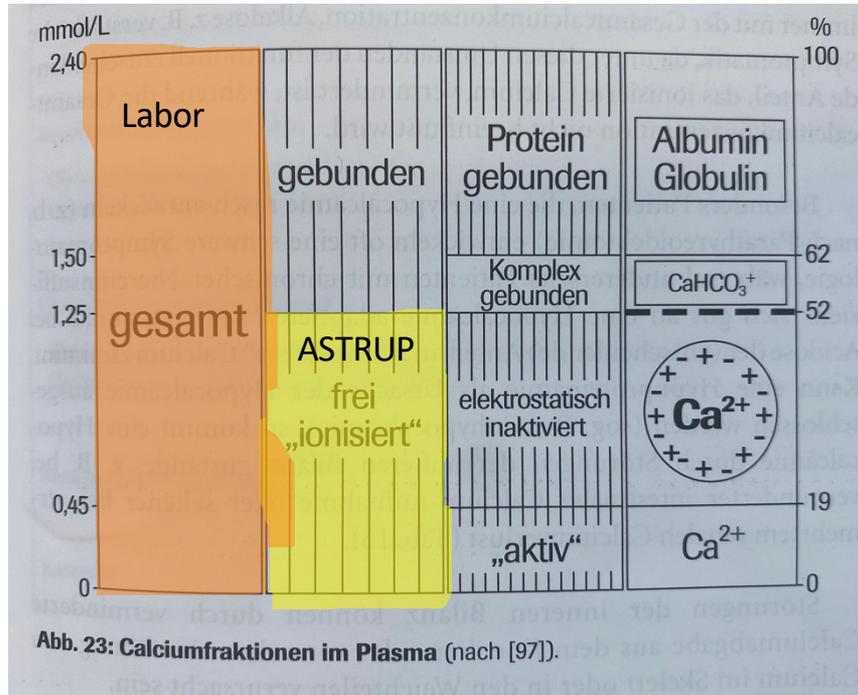


Abb. 23: Calciumfraktionen im Plasma (nach [97]).

Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



Hypocalciämie

- $[Ca^{2+}]$ gesamt $< 2,15 \text{ mmol/l}$
- $[Ca^{2+}]$ frei $< 1,13 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - Latente oder manifeste Tetanie
 - Apathie/ Krämpfe
 - Knochenmineralisationsstrg.
- Therapie:
 - Calciumglukonat 10% i.v.
 - Vitamin D
- CAVE: Pseudohypocalciämie bei hypoproteinämie ($0,02 \text{ mmol/l}$ pro 1 g/l Albumin; Blick auf ionisiertes)
- Wenig Zufuhr: Mangelernährung (Anorexie, Alkoholismus)
- Wenig Resorption: Vitamin-D-Mangel (Niereninsuffizienz)
- Viel Ausfuhr: Diuretika (Lasix)
- Viel Knocheneinbau: Hypoparathyroidismus
- Calciumablagerung im Gewebe: Pankreatitis, Verbrennung
- Therapie: Vitamin D, Calciumzufuhr, (HCT)

Extrazelluläre Elektrolyte - Calcium



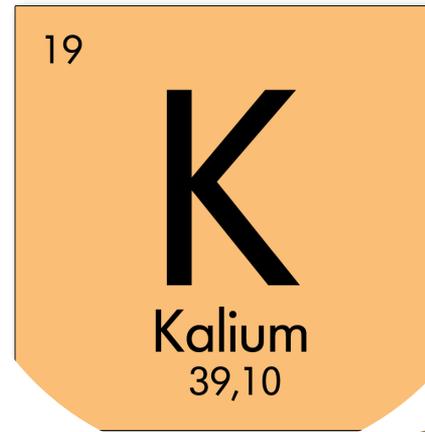
Hypercalciämie

- $[Ca^{2+}]$ gesamt $> 2,55$ mmol/l
- $[Ca^{2+}]$ frei $> 1,32$ mmol/l
- Symptome:
 - Verwirrtheit/ Koma
 - Erbrechen, Pankreatitis
 - Hypertonie
 - Polyurie, Nephropathie
- Therapie:
 - Lasix
 - NaCl 0,9%
- Viel Resorption: zu viel Vitamin D
- Wenig Ausscheidung: M. Addison, Thiazide
- Viel Knochenfreisetzung: Hyperparathyroidismus, Knochtumore, Metastasen, Hyperthyreose, Vitamin A
- Therapie: Kochsalz + Lasix, Bisphosphonate (Knocheneinbau), Calcitonin, Dialyse

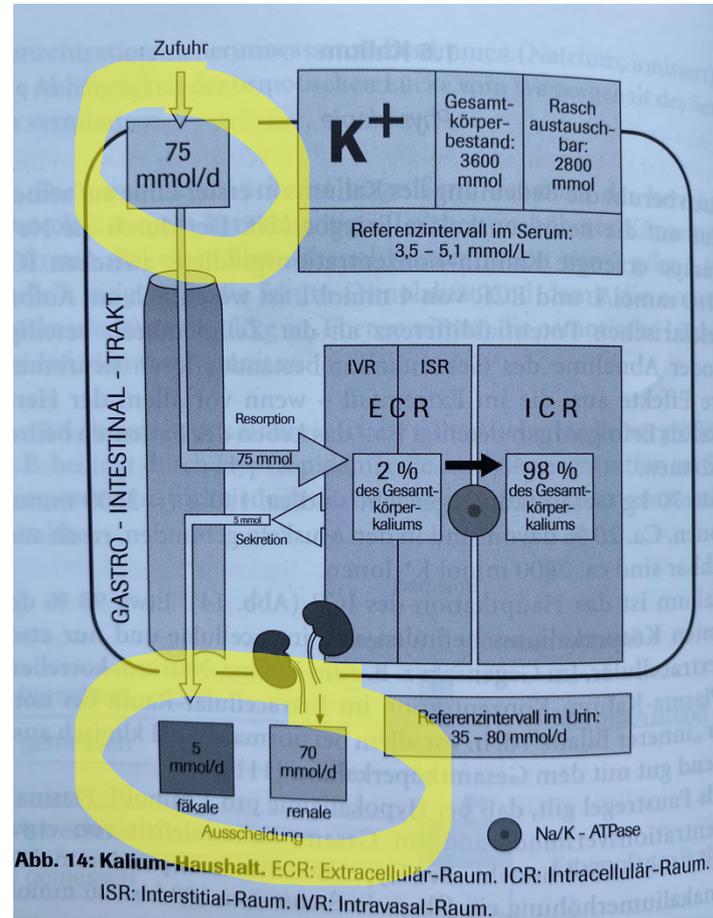
Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



- Haupt-Kation im IZR (>90%)
- ~20-30-fach höhere Konzentration intrazellulär als im Plasma
- Hauptakteur des Zellmembran-Potentials
- Beeinflußt neuromuskuläre Erregbarkeit
- Hauptbestandteil der intrazellulären Osmolalität



Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium





Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Normokaliämie = Balance zwischen intra- und extrazellulärem Kalium und Zufuhr/Ausscheidung

Hypo- oder Hyperkaliämie = Shift zwischen intra- und extrazellulär oder Problem in Zufuhr/Ausscheidung

Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Hypokaliämie

= intrazellulärer Shift oder negative Kalium-Bilanz

- $[K] < 3,5 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. muskulär: Schwäche/ Lähmung/Darmatonie
 - Kardial: Tachyarrhythmien
EKG: flache T-Wellen, U-Wellen, QT Verlängerungen
- Therapie:
 - Kaliumzufuhr
(max. 20-40mmol/h)
 - Grundproblem?

Negative Kalium-Bilanz:

- Wenig Zufuhr: kaliumarme Ernährung, Resorptionsstörung (Resonium)
- Viel Ausscheidung: Diarrhoe, Diuretika (Lasix), Hyperaldosteronismus (auch Cushing, Nierenarterienstenose)
- Therapie:
 - Kaliumzufuhr: Kalioral 1Beutel = 40mmol, i.v.-Therapie (CAVE: Phlebitis, peripher $< 20 \text{ mmol/l}$)
 - 100mmol Kalium erhöhen Kalium um 1mmol/l

Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Hypokaliämie

= intrazellulärer Shift oder negative Kalium-Bilanz

- $[K] < 3,5 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. muskulär: Schwäche/ Lähmung/Darmatonie
 - Kardial: Tachyarrhythmien
EKG: flache T-Wellen, U-Wellen, QT Verlängerungen
- Therapie:
 - Kaliumzufuhr
(max. 20-40mmol/h)
 - Grundproblem?

Intrazellulärer Shift:

- Metabolische Alkalose
- Insulin (Refeeding)
- Beta-Mimetika (Suprarenin, Bricanyl, Salbutamol)

- Therapie:
 - Initial: Kaliumzufuhr
 - Korrektur der Alkalose
 - Laufende Therapien?
 - Betablocker?, Azidose?

Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Hyperkaliämie

= extrazellulärer Shift oder positive Kalium-Bilanz

- $[K] > 5,0 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. muskulär: Schwäche/Lähmung/Darmatonie
 - Kardial: Bradykardie/AsystolieEKG: spitze T-Wellen
- Therapie:
 - Zufuhr stoppen, Medis?
 - Insulin-Glucose, Lasix, NaBic, Calcium, Beta-Mimetika
 - Hämodialyse

Positive Kalium-Bilanz:

- Viel Zufuhr: Infusionen, Medikamente, Nahrung
- Wenig Ausscheidung: Niereninsuffizienz, Hypoaldosteronismus, ACE-Hemmer, K-sparende Diuretika, Betablocker
- Therapie:
 - Zufuhr stoppen, Ausscheidung forcieren (Lasix). Medis absetzen
 - Kalium nach intrazellulär shiften (Insulin-Glucose, NaBic, Beta-Mimetika)
 - Calcium schützt v.a. vor kardialen Nebenwirkungen
 - Hämodialyse

Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Hyperkaliämie

= extrazellulärer Shift oder positive Kalium-Bilanz

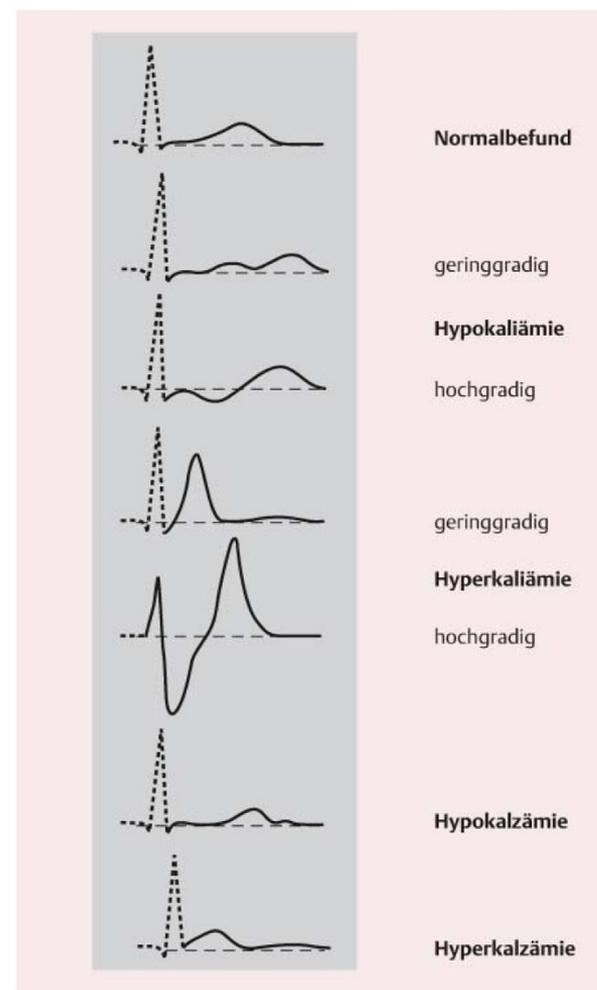
- $[K] > 5,0 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - v.a. muskulär: Schwäche/Lähmung/Darmatonie
 - Kardial: Bradykardie/Asystolie
EKG: spitze T-Wellen
- Therapie:
 - Zufuhr stoppen, Medis?
 - Insulin-Glucose, Lasix, NaBic, Calcium, Beta-Mimetika
 - Hämodialyse

Extrazellulärer Shift:

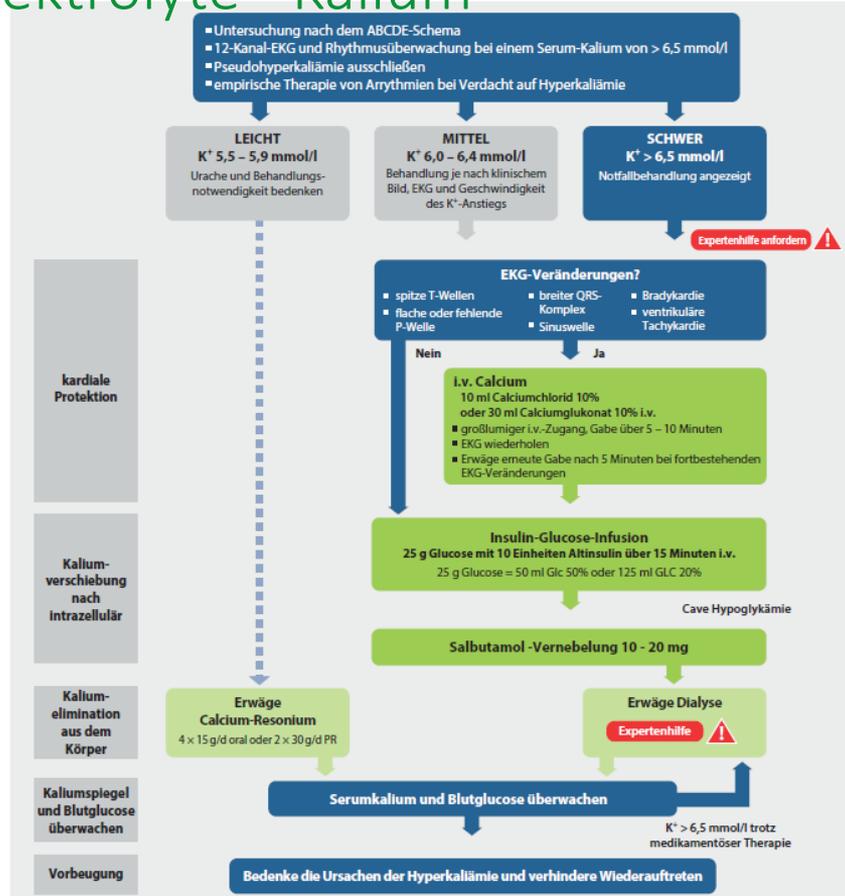
- Azidose
- Zellzerfall (Rhabdomyolyse, Tumor-Lyse, Hämolyse, Verbrennung)
- Maligne Hyperthermie
- Succinylcholin

- Therapie:
 - Kalium nach intrazellulär shiften (Insulin-Glucose, NaBic, Beta-Mimetika)
 - Calcium schützt v.a. vor kardialen Nebenwirkungen
 - Hämodialyse

Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium



Intrazelluläre Elektrolyte - Kalium

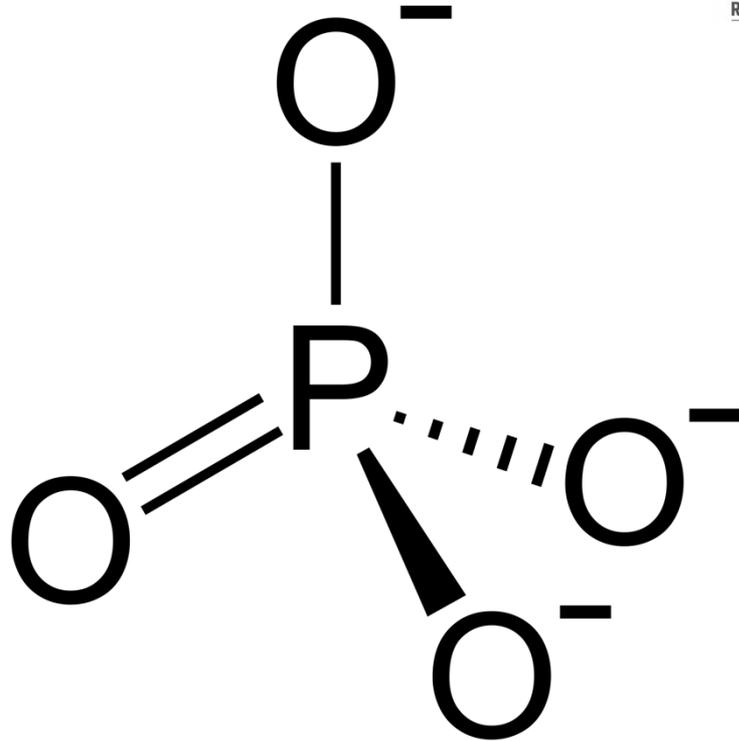


Heruntergeladen von: Universitätsbibliothek Innsbruck (UBI). Urheberrechtlich geschützt.

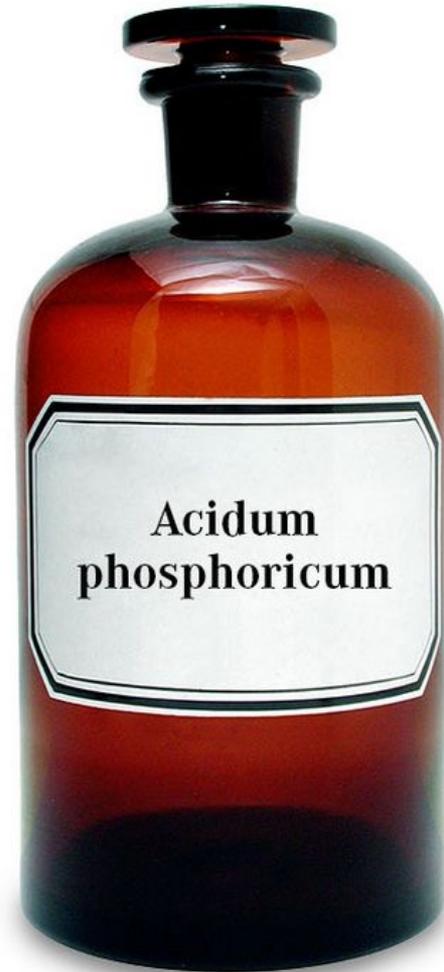
Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



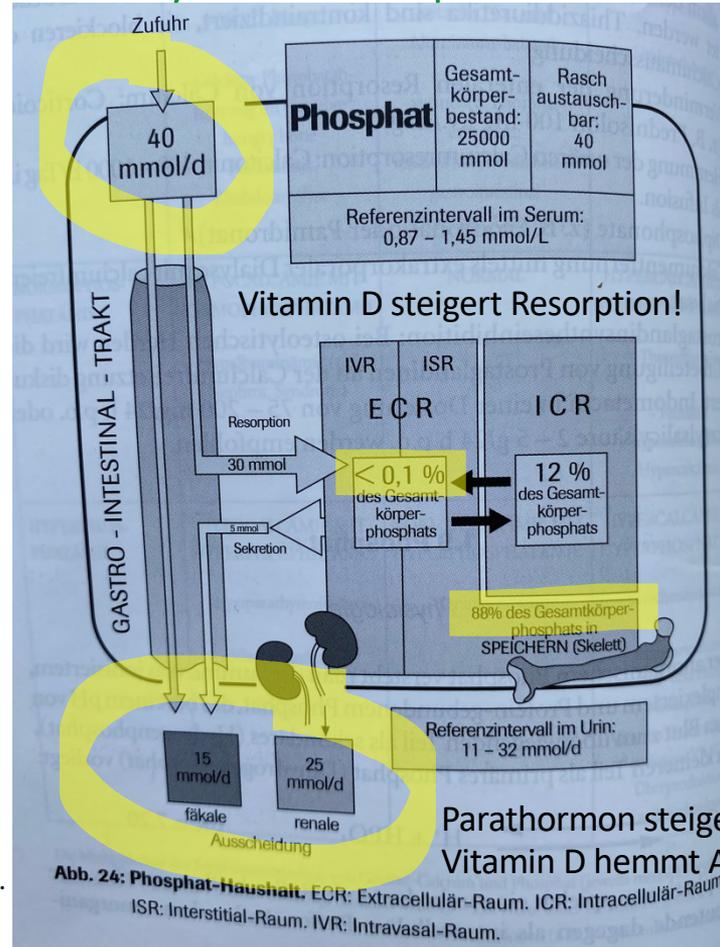
- Haupt-Anion im IZR
- Intrazellulärer Puffer:
 $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$
- Teil der Skelettstruktur
- Als Energieträger: ATP, KP
- Als Signalübertragung:
cAMP, IP^3



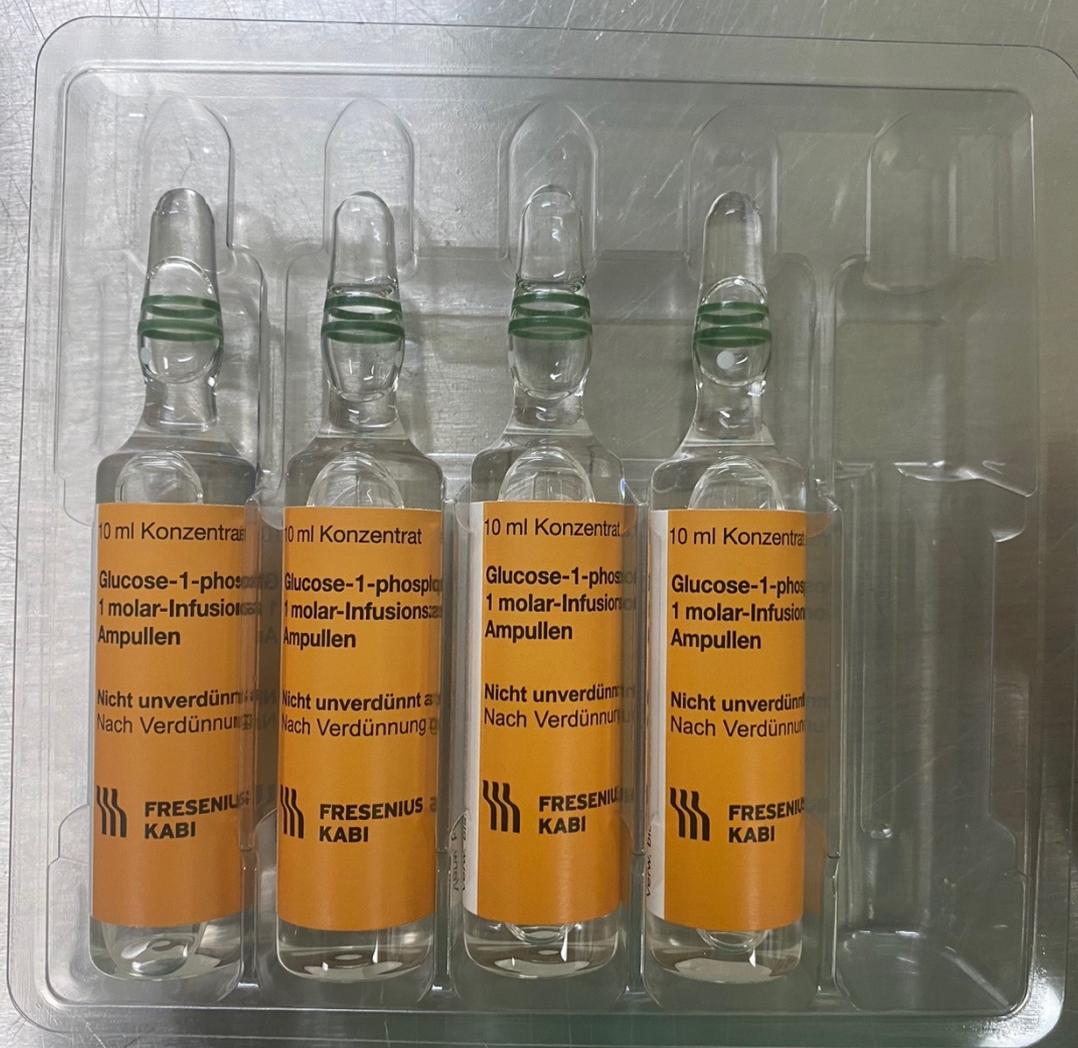
Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



Klinik und Labor. Elektrolyt, Säure-Basen und Blutgase. Külpmann, Stummvoll, Lehmann. 3. Auflage. Springer.



Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat



Hypophosphatämie

= intrazellulärer Shift oder negative Phosphat-Bilanz

- [Phosphat] < 0,7mmol/l
 - Symptome akut:
 - Apathie/ Delir/ Koma
 - Muskelschwäche
 - Herz-/ resp. Insuffizienz
 - Symptome chronisch:
 - Osteomalazie
 - Myopathie
 - Kardiomyopathie
 - Therapie:
 - Phosphatzufuhr
- Wenig Zufuhr: Mangelernährung (Anorexie, Alkoholismus)
 - Wenig Resorption: Antacida, Vitamin-D-Mangel
 - Viel Ausfuhr: Diarrhoe, Erbrechen, Hyperparathyreodismus, Vitamin-D-Mangel
 - Intrazellulärer Shift: Insulin, Alkalose, Refeeding, Sepsis
 - Therapie: Phosphatzufuhr 30-50 mmol/d (1l Milch enthält ca. 10mmol Phosphat)

Intrazelluläre Elektrolyte - Phosphat

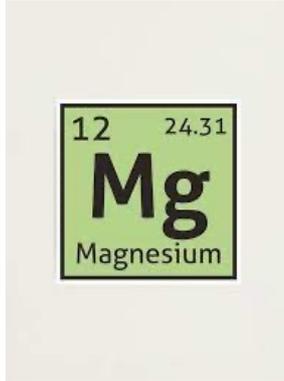


Hyperphosphatämie

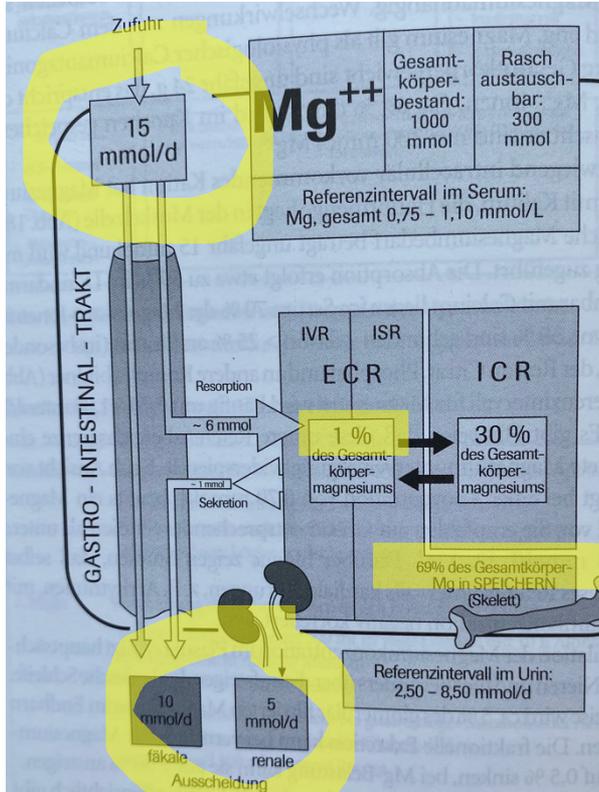
= extrazellulärer Shift oder positive Phosphat-Bilanz

- [Phosphat] > 1,45mmol/l
- Symptome:
 - Bildung von Calcium-Phosphat-Kristallen
 - Weichteilverkalkungen
 - Hypocalcämie
- Therapie:
 - Hämodialyse
 - Zufuhr stopp
 - Phosphatbinder
- Zuwenig Ausfuhr: Niereninsuffizienz, Hypoparathyreoidismus
- Zuviel Zufuhr: Kuhmilch bei Säuglingen, zu viel Vitamin D
- Extrazellulärer Shift: Zell-Zerfall (Rhabdomyo-/ Tumorlyse), Schock
- Therapie: Zufuhr stopp, Hämodialyse, Phosphatbinder

Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



- Neben K⁺ wichtigstes intrazelluläres Kation
- Cofaktor vieler Enzymssysteme: z.B. alle ATP-abhängigen Reaktionen
- Aktiviert Na-K-ATPase an der Zellmembran -> Wechselwirkung mit K⁺
- Parathormonaktivität ist Mg²⁺ -abhängig -> Wechselwirkung mit Ca²⁺
- Physiologischer Calciumantagonist
- Antiarrhythmogen, antihypertensiv, bronchospasmolytisch, tokolytisch
- Hohe therapeutische Breite

Abb. 18: Magnesium-Haushalt. ECR: Extracellulär-Raum. ICR: Intracellulär-Raum.

Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



Hypomagnesiämie

- $[Mg^{2+}] < 0,66 \text{ mmol/l}$
- Symptome:
 - Hypocalciämie-Symptome:
Tetanie, Schwäche, Krämpfe
 - Hypokaliämie-Symptome:
Herzinsuff, EKG Veränderung
 - Cerebrale Symptome:
Apathie, Depression, Delir
- Therapie:
 - Magnesium
- Verminderte Zufuhr: Malnutrition (Anorexie, Alkoholismus)
- Viel Ausfuhr renal: Diuretika (Lasix), sonstige Pharmaka (Aminoglykoside, Ampho, Cisplatin, Ciclosporin)
- Viel Ausfuhr GI: Diarrhoen, Malabsorption, Dünndarmresektion
- Akute Pankreatitis, Insulin, Gravidität
- Therapie: Magnesiumzufuhr

Intrazelluläre Elektrolyte – Magnesium



Hypermagnesiämie

- $[Mg^{2+}]$ gesamt $> 1,07\text{mmol/l}$
- Symptome:
 - Nur bei sehr hohen Werten
 - V.a. neuromuskulär:
Schwäche, Paresen,
Sedierung,
Atemlähmung, Koma
 - Hypotonie, Bradykardie
- Therapie:
 - Zufuhr Stopp
 - Calcium
- Viel Zufuhr: Antacida, Laxantien, Klysmen
- Wenig Ausscheidung: Niereninsuffizienz
- Viel Freisetzung: Rhabdomyolyse, Tumorlyse, Verbrennung
- Therapie: Zufuhr Stopp, Calcium, Dialyse

Elektrolytstörungen



Danke!