

「水(電解質)代謝」

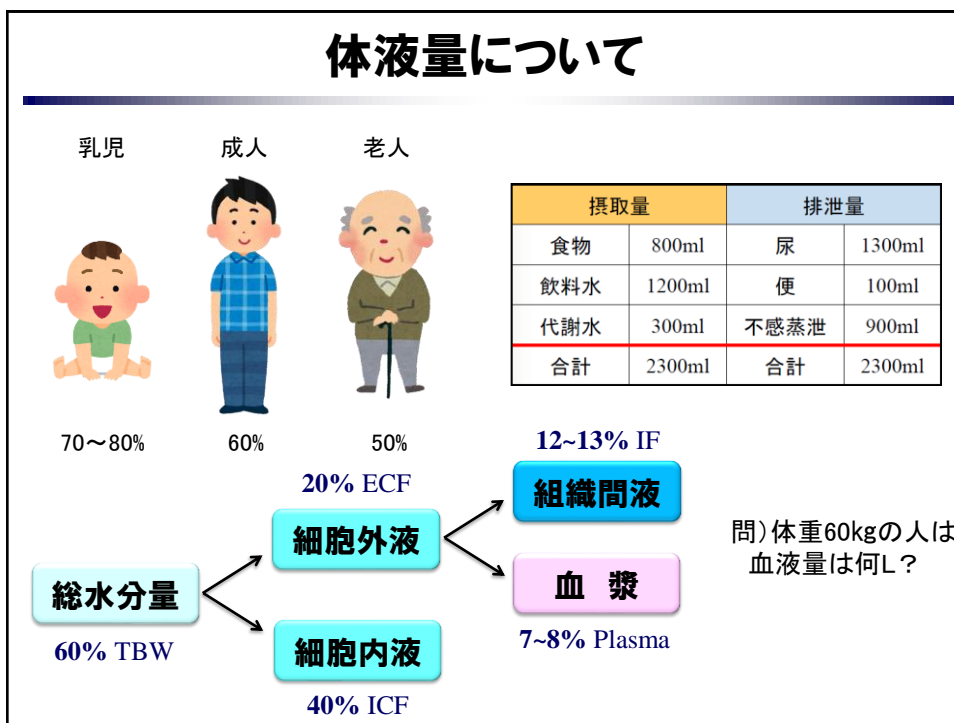
静岡県立大学 食品栄養科学部
新井 英一

本日のレジュメ

水・電解質の体内調節および役割

Na, K の栄養管理

少しだけCa, P の調節について



体液中の電解質濃度

		血中	間質	細胞内
陽イオン	Na^+	140		10
	K^+	4		150
	Ca^{2+}	4.6		<0.001
	Mg^{2+}	1.6		40
		150		200
陰イオン	Cl^-	103	120	7
	HCO_3^-	24	24	10
	HPO_4^{2-}	2.2	2	100
	タンパク質	14	1	67
	有機酸	6	6	

輸液の目的と各成分の表示

体液管理	水・電解質の補給・補正 循環血液量の維持 酸・塩基平衡異常の是正
栄養補給	エネルギー源の補給 体構成成分の補給
その他	血管の確保(薬剤の投与経路) 特殊病態の治療(病態別アミノ酸輸液)
電解質	mEq/L : Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , ...
糖質	g/L : ブドウ糖、果糖 ...
アミノ酸	g/L : 必須アミノ酸、非必須アミノ酸

体液(や輸液)の濃度表示および浸透圧

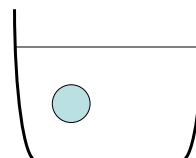
g/L, %, mol/L (M), mEq/L, mOsm/L

$\text{mEq/L} = \text{mM} \times \text{電荷数}$ 溶液1L中に溶けている溶質の当量数

mOsm/L 半透膜(細胞膜)を介して、濃度の薄い液から濃い液へ

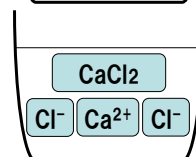
イオン化しない物質: ブドウ糖、尿素、脂質...
浸透圧はモル数に等しい

$$1\text{mM} = 1\text{mOsm/L}$$



イオン化する物質: NaCl, CaCl₂ ...
浸透圧はモル数より大きい

$$1\text{mM} = 3\text{mOsm/L}$$



体液(や輸液)の濃度表示および浸透圧

水 1L
NaCl 9g

- 9g/L
- 0.9% $9 \text{ (g)} / 1000 \text{ (ml)} \times 100$
- 0.154mol/L $9 / 58.5 \text{ (分子量)}$
- Na⁺: 154mmol/L + Cl⁻: 154mmol/L
=308mmol/L =308mOsm/L
- Na⁺: 154mEq/L, Cl⁻: 154mEq/L

水 1L
CaCl₂ 20g

- 20g/L
- 2% $20 \text{ (g)} / 1000 \text{ (ml)} \times 100$
- 0.180mol/L $20 / 111 \text{ (分子量)}$
- Ca²⁺: 180mmol/L + Cl⁻: 360mmol/L
=540mmol/L =540mOsm/L
- Ca²⁺: 360mEq/L, Cl⁻: 360mEq/L

等張、低張、高張とは

血漿浸透圧(実測値) = $285 \pm 5 \text{ mOsm/L}$

等張液 (isotonic solution)

- 血漿の浸透圧にほぼ等しい
- 水の移動がない

乳酸リンゲル液
生理食塩液
5%ブドウ糖液



低張液 (hypotonic solution)

- 血漿の浸透圧よりも低い
- 細胞内に水が流入する

蒸留水

大量投与
赤血球が破裂



水

高張液 (hypertonic solution)

- 血漿の浸透圧よりも高い
- 細胞内より水が流出する

10%食塩水
20%ブドウ糖液



生理食塩液

○血液の電解質組成に最も近い様に作られている

	電解質組成 mEq/L						浸透圧 (実測値) mOsm/L
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	その他	
血 漿	142	4	5	3	103	51	285
生理食塩液	154				154		285

《用途》

注射

- 細胞外液にNa, Clを補給
- 注射剤の溶解・希釈

外用

- 創傷面・粘膜の洗浄・湿布
- 噴霧、吸入剤として気管支粘膜洗浄、喀痰排出促進

注射

- 医療用器具の洗浄(透析など)

生理食塩液の浸透圧は308であるが、実測値285である。NaClの解離度が100%でないため異なる

細胞外液補充液

血液の電解質組成に最も近い様に作られている

		電解質組成 mEq/L					長所	短所	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	その他			
細胞外液	血清	142	4	5	103	(HCO ₃ ⁻) 27			
細胞外液補充液	生理食塩液	154			154		最も簡単、NaClのみで汎用性高	アルカリ成分なし ↓ 大量投与時希釈性アシドーシス	Na, Cl高い
	リンゲル液	147	4	5	156		Na, K, Caは血液組成に最も近い		Cl高い
	乳酸リンゲル液	130	4	3	109	(lactate ⁻) 28	(HCO ₃ ⁻)の代用として乳酸Naを。アルカリ化能付		Naがやや低い

改良

乳酸リンゲル液:乳酸Naは代謝されて重炭酸イオンを生じる。重曹よりもマイルドな是正効果を示す。(乳酸ではH⁺の供与となる)

血漿浸透圧

	作用している箇所	溶質
晶質浸透圧	細胞内液と外液の間	電解質、糖質、アミノ酸
膠質浸透圧	血管内液と外液の間	血漿タンパク(Alb)

$$\text{血漿浸透圧} = 2 \times \text{血清Na (mEq/L)} \\ + \text{血糖 (mg/dL)} \div 18 \\ + \text{尿素窒素 (mg/dL)} \div 2.8$$

血清Na:	140 (mEq/L)	$2 \times 140 = 280$ mOsm/L
血糖:	90 (mg/dL)	$90 / 18 = 5$ mmol/L = mOsm/L
尿素窒素:	14 (mg/dL)	$14 / 2.8 = 5$ mmol/L = mOsm/L

ナトリウム(Na)の食事と輸液の単位互換

・ナトリウム (Na:23) 1g \leftrightarrow Na⁺ 43.5 mEq

・食塩 (NaCl:58.5) 1g \leftrightarrow Na⁺ 17.1 mEq

23*2.54=58.42

含まれている

【考え方】

生理食塩水 (Na⁺ 154mEq/L) を
500ml/日ほど点滴で入れた。 $154 \times 0.5L$
 \Rightarrow Na⁺77mEq/日が体に入った。

$77 \div 17.1 = 4.5g/日$ (食べた食塩量)。

カリウム(K)の食事と輸液の単位互換

- カリウム (K:39) 1g \leftrightarrow K⁺ 25.6 mEq
- 塩化カリウム (KCl:74.5) 1g \leftrightarrow K⁺ 13.4 mEq
含まれている

【考え方】

栄養輸液でカリウム (K⁺) 40mEq/日ほど点滴で入った。

輸液量はカリウム1.56g/日 (40÷25.6) 食べた事と同一。
日本人の食事摂取基準ではカリウム摂取目安量は2.5g/日
なので、食事量と合算して多くないか確認する。

参考	原子量	1 mEq	1 g	血漿濃度
Na ⁺	23	23 mg	43.5 mEq	135~150 mEq/l
K ⁺	39	39.1 mg	25.6 mEq	3.5~5.0 mEq/l
Cl ⁻	35.5	35.5 mg	28 mEq	97~105 mEq/l
Ca ²⁺ *	40	20 mg	50 mEq**	9.5~10.5 mEq/l
Mg ²⁺	24	12 mg	83.3 mEq**	1~2 mEq/l
HCO ₃ ⁻	61	61 mg	16.4 mEq	23~25 mEq/l
1 g NaCl	58.5	58.5 mg	17 mEq	

*イオン化カルシウム(iCa)の場合は、4.5~4.9mEq/L(1.1~1.2mmol/L)

**2価イオン

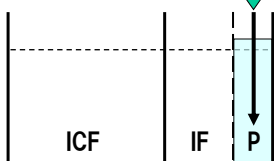
必要電解質量

	mEq/kg/d		mEq/kg/d
Na ⁺	3~4	Ca ²⁺	1~2
K ⁺	2~4	Mg ²⁺	0.2~0.5
Cl ⁻	3~5	PO ₄ ³⁻	2~3

体液区分と輸液

膠質液

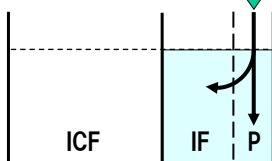
- デキストラン製剤
- HES製剤
(ヒドロキシエチルスターチ)



ICF: 細胞内液
IF: 組織間液
ECF: 細胞外液
P: 血漿

細胞外液補充液

- 生理食塩液
- 乳酸リンゲル液
- 酢酸リンゲル液

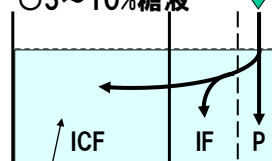


低張～等張性脱水

出血 (急性的脱水)

低張電解質液 糖液

- 維持液(1~4号)
- 5~10%糖液



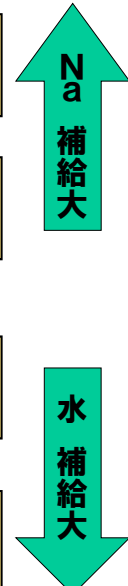
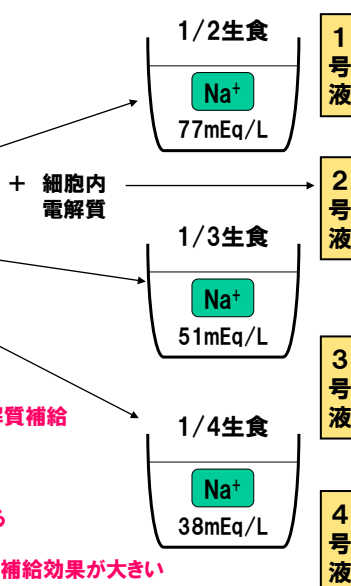
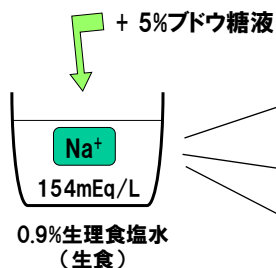
高張性脱水

脱水症(慢性的)

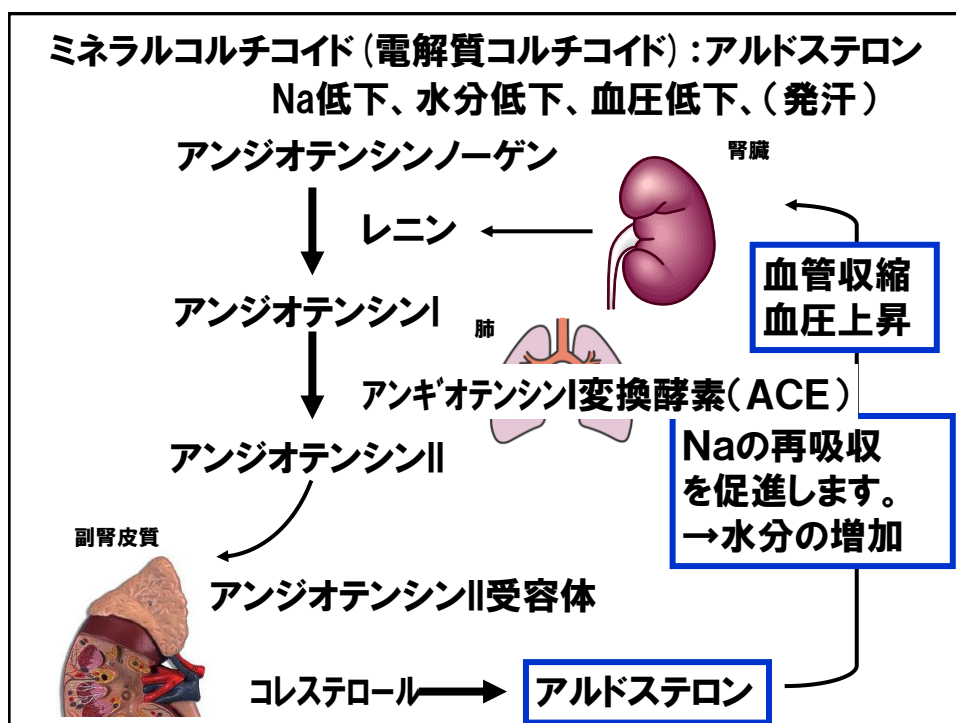
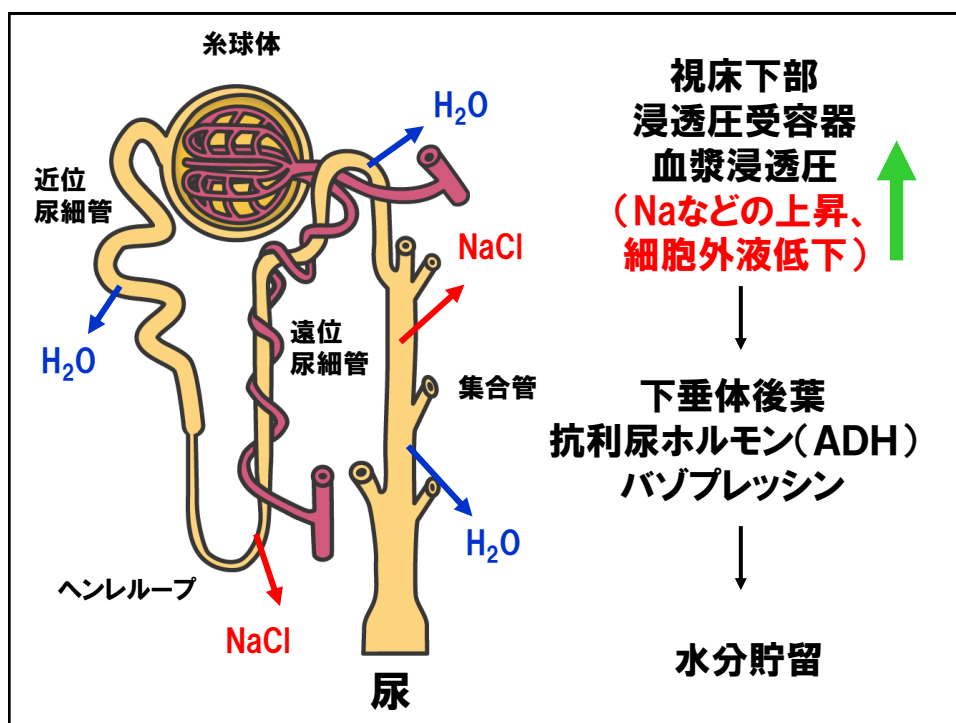
細胞内液のみを補充する輸液はない。低張電解質にする。糖液は代謝され、水となり、補充可。

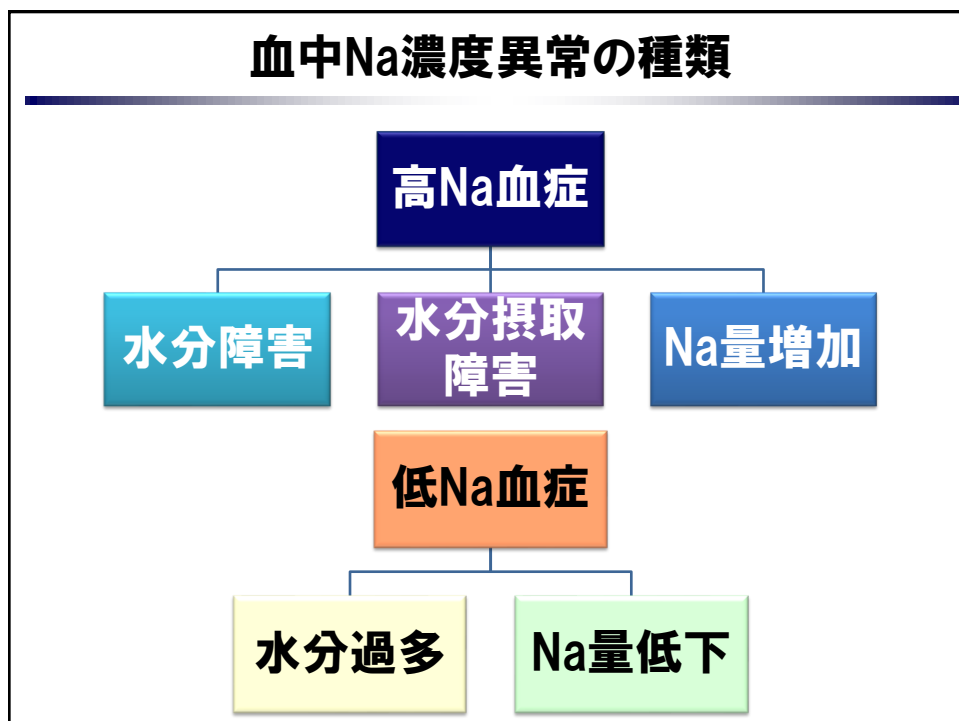
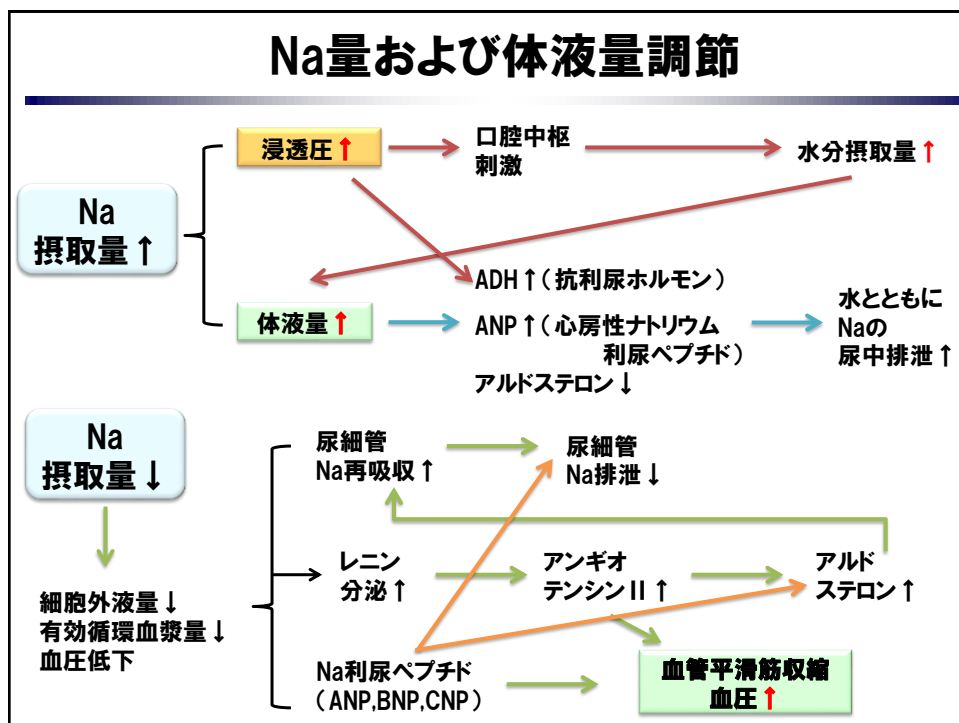
低張電解質液(維持液の成り立ち)

Na濃度からみると...



- 1号液(開始液): 1/2~2/3;
Kを含まない、病態不明時の水・電解質補給
- 2号液(脱水補給液): 1/2~1/3;
細胞内に多いK, Mgを多く含む
- 3号液(維持液): 1/3~1/4;
1日に必要な水・電解質補給ができる
- 4号液(術後回復液): 1/5;
電解質濃度が低く、細胞内への水分補給効果大きい

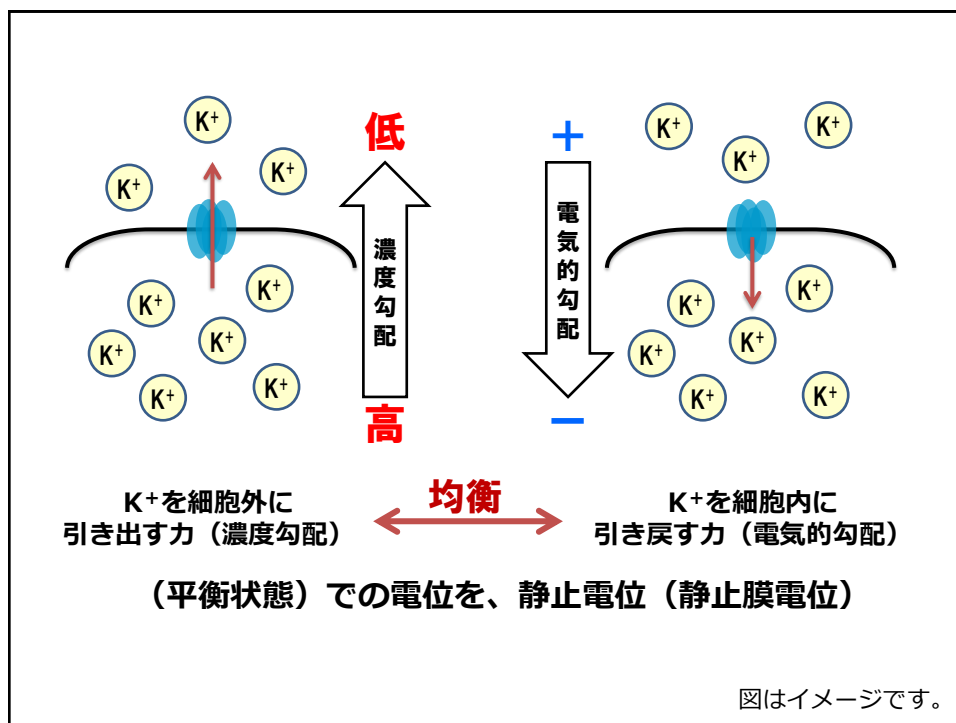




血中Na濃度異常をきたす病態と治療方針

低Na血症 <135mEq/L		治療方針
Na量の減少	高血糖、利尿薬、下痢・嘔吐、ドレナージ等からの排液、アジソン病、CSW(脳性塩類喪失症候群)、低カリウム血症	高・等張性食塩水
水分の増加 (希釈性)	腎不全、心不全、肝不全、ネフローゼ症候群、大量飲酒、SIADH(ADH分泌異常症候群)、低栄養	水制限 (利尿薬)
高Na血症 >150mEq/L		治療方針
水分の喪失	発汗・発熱、過呼吸、下痢・嘔吐、多尿、熱傷、利尿薬	5%糖液 低張食塩水
水分の摂取障害	脳出血による口渇中枢障害、意識障害、麻酔、乳幼児、高齢者	低張食塩水
Na量の増加	原発性アルドステロン症、Na過剰輸液、重曹(NaHCO ₃)の過剰投与	Na摂取制限 (利尿薬)

体液中の電解質濃度		血中	間質	細胞内
陽イオン	Na ⁺	140		10
	K ⁺	4		150
	Ca ²⁺	4.6		<0.001
	Mg ²⁺	1.6		1.0
陰イオン	Cl ⁻	103	120	7
	HCO ₃ ⁻	24	24	10
	HPO ₄ ²⁻	2.2	2	100
	タンパク質	14	1	67
	有機酸	6	6	
		150		200



血中K濃度異常と症状

低K血症 <3.5mEq/L

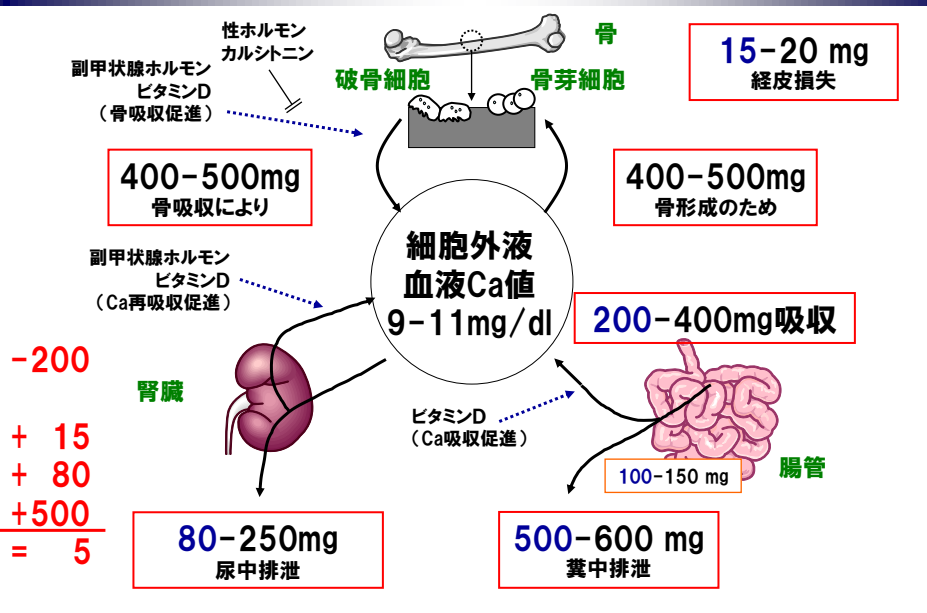
K摂取不足	飢餓、食欲減退、神経性やせ症
細胞内K移行増加	インスリン過剰、アルカローシス、β交感神経刺激、バリウム中毒
K喪失	(消化管から)嘔吐、下痢、下剤乱用、消化液ドレナージ (尿から)高アルドステロン症、糖尿病性ケトアシドーシス、利尿剤などの薬剤、Mg欠乏
その他	発汗過剰、偽性、クッシング症候群、原発性アルドステロン症
神経障害	神経過敏、昏睡
筋肉障害	心筋：不整脈、平滑筋：麻痺性イレウス、横紋筋：筋肉崩壊
腎臓障害	ADH不応性尿崩症、Na再吸収障害、重炭酸イオン再吸収増加
代謝障害	耐糖能低下、負の窒素バランス

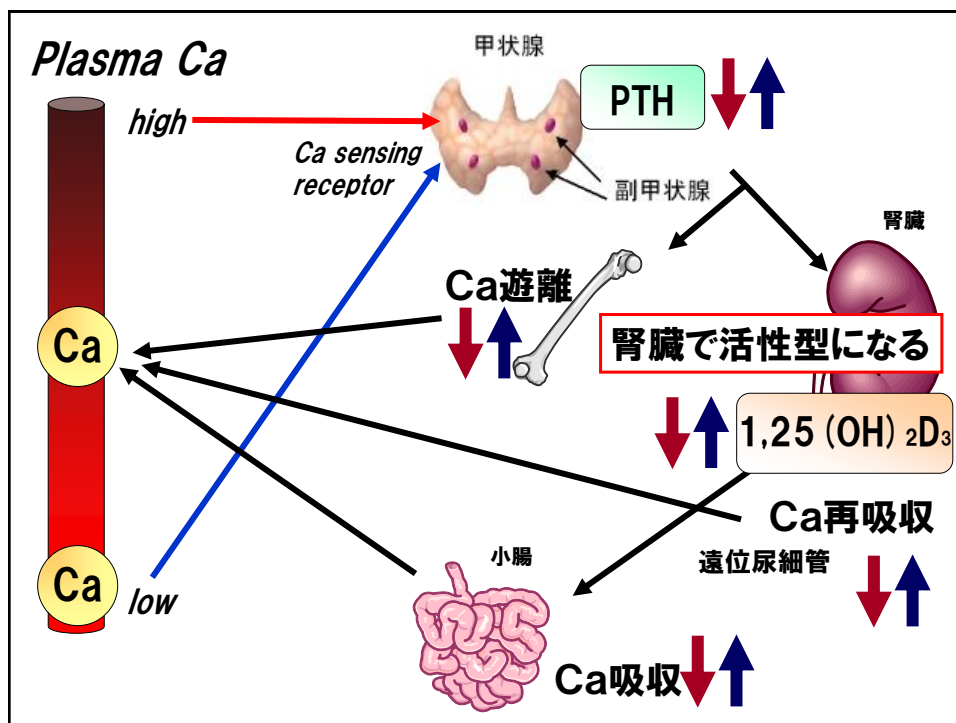
血中K濃度異常と症状

高K血症 >5mEq/L

K投与過多	K製剤過剰投与、輸血
細胞内K遊出増加	溶血性疾患、組織破壊(外傷、火傷)、アシドーシス、 インスリン欠乏 、 β遮断薬 、高浸透圧
K排泄障害	腎不全、 低アルドステロン症 (下垂体前葉機能低下、副腎不全、低レニン、薬剤性(ACE阻害剤、ARB))
その他	偽性、急性・慢性腎不全、溶血性黄疸
神経障害	知覚異常:しびれ感、意識障害
筋肉障害	心筋:不整脈、心停止、平滑筋:悪心、嘔吐、横紋筋:筋脱力感
腎臓障害	乏尿
代謝障害	代謝性アシドーシス、アンモニアイオン産生低下

カルシウムの代謝の概要 600-700 mg摂取して





血中Ca濃度異常と症状

低Ca血症 <8.5mg/dL

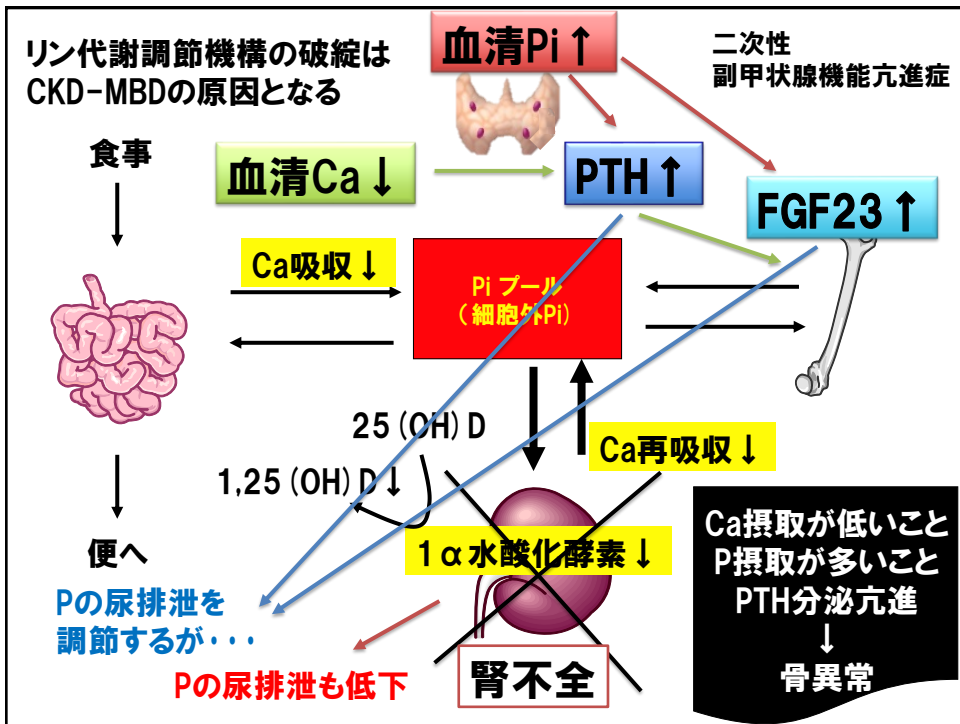
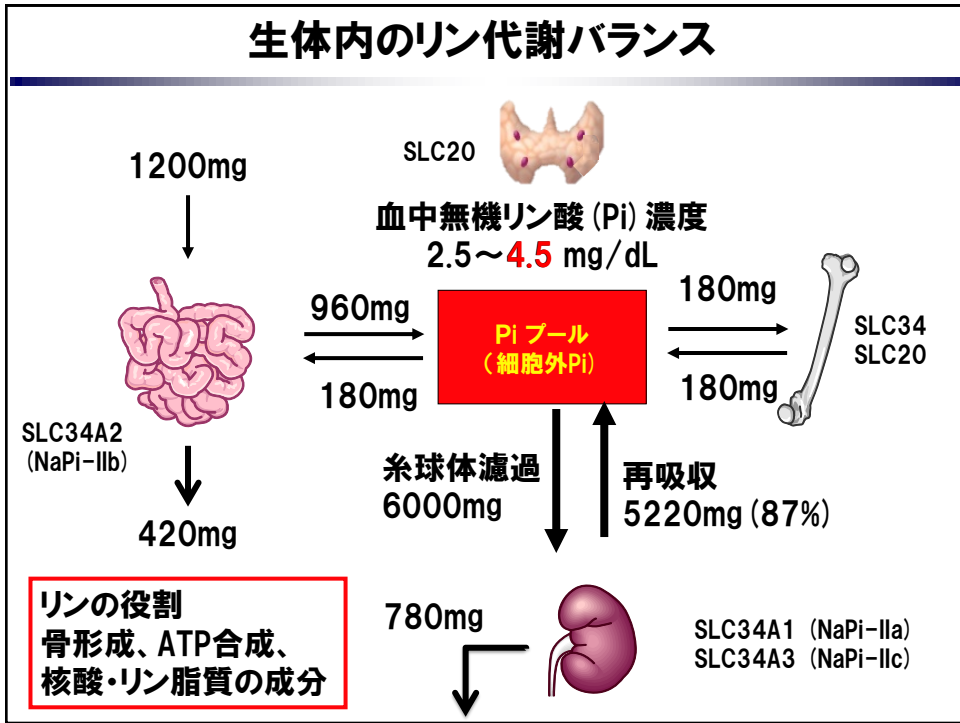
神経・筋の興奮性亢進によるテタニーを主症状

しびれ、痙攣

高Ca血症 >10.3 mg/dL, 12, 14, 16

一般症状	食思不振、易疲労、倦怠
中枢神経系	情緒不安定、記憶障害、傾眠
循環器系	高血圧、心電図上のQTc短縮、ジギタリス中毒の誘発
消化器系	便秘、消化性潰瘍、膵炎
腎尿路系	腎機能障害、多飲・多尿、腎石灰化、尿路結石
筋骨格系	混迷、昏睡、近位筋力低下、偽痛風
その他	皮膚搔痒感、角膜石灰化

副甲状腺の機能、ビタミンD濃度との関係をしっかり評価する。(リンも)



血中P濃度異常と症状

低P血症 <2.5mg/dL

腎での再吸収低下	PTH分泌過多、尿細管性アシドーシス、ウィルソン病、グルココルチコイド過剰、腎移植後、アルコール中毒
腸管での吸収低下	VD不足・作用障害(くる病・骨軟化症)、低栄養、吸収不良性症候群、制酸剤服用、アルコール中毒
骨・細胞内移行	副甲状腺腫切除後、骨形成性骨転移、呼吸性アシドーシス、低栄養患者への炭水化物投与、糖尿病性ケトアシドーシス治療中

高P血症 >4.5mg/dL

腎での排泄障害	急性・慢性腎不全
腎での再吸収増加	PTH分泌低下、PTH受容体障害
腸管での吸収増加	VD中毒
骨・細胞内移行	骨融解(廃用性骨萎縮、骨折、悪性腫瘍)、横紋筋融解症、アシドーシス

最後に



ご清聴ありがとうございました。