

水電解電解質異常は怖くない！

シンプルで正しい輸液を導く

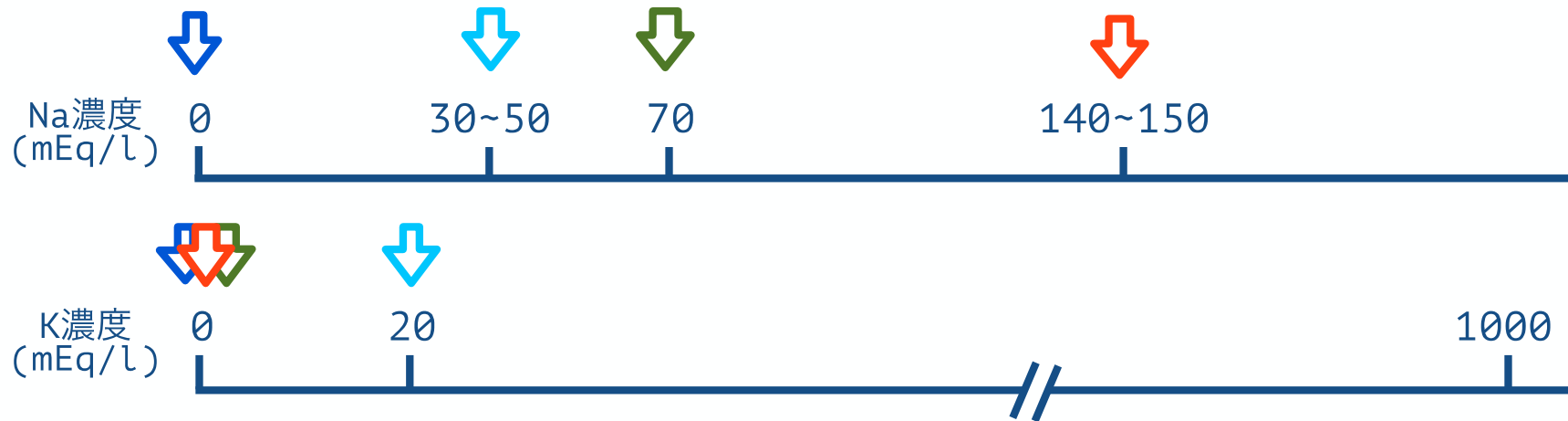
論理的思考

～実践編～

松山赤十字病院 腎臓内科

Matsuyama Red Cross Hospital Nephrology

輸液製剤の基本



- ↓ 5%ブドウ糖液：ブドウ糖は、速やかに細胞内に取り込まれ代謝され、水と二酸化炭素になる（真水の点滴と同じ）。
- ↓ 生理食塩水：Na154mEq/L・K0mEq/L・Cl154mEq/L(合計308mEq/L)で細胞外液の電解質とほぼ同じNa+Cl濃度の輸液
- ~~↓ 1号液(開始液)：Na70mEq/L・K0mEq/L・Cl70mEq/L(合計140mEq/L)で細胞外液の1/2の電解質濃度(病態不明の時の補液開始時に使用)~~
- ~~↓ 3号液(維持液)：Na35mEq/L・K20mEq/L・Cl35mEq/L(合計90mEq/L)で細胞外液の1/3の電解質（病態維持のための補液）~~
- ~~2号液(脱水補正液)：Na70mEq/LとK20mEq/Lに調整された製剤~~
- ~~4号液(術後維持液)：Na35mEq/LとK0mEq/Lに調整された製剤~~

”規格的”輸液への警鐘

各種体液異常にあうような電解質を調合した輸液製剤を
体重や体表面積に応じて投与する方法は、非常に簡便で
輸液を要する70～80%の症例は問題なく治療できる。

警鐘-1 この方法は腎臓の代償作用に頼った方法で、
残りの20～30%の重症患者では上手くいかない。

警鐘-2 この方法では輸液の基本的原理を知る必要が無く、
複雑な水・電解質異常に遭遇した時の対処方法を
修得出来ない。

腎代償作用が期待できない重症患者に対し、論理的に正しい輸液を
行うため、輸液療法の基本的原則の習得が必須である

計画輸液

Planned infusion

||

維持輸液

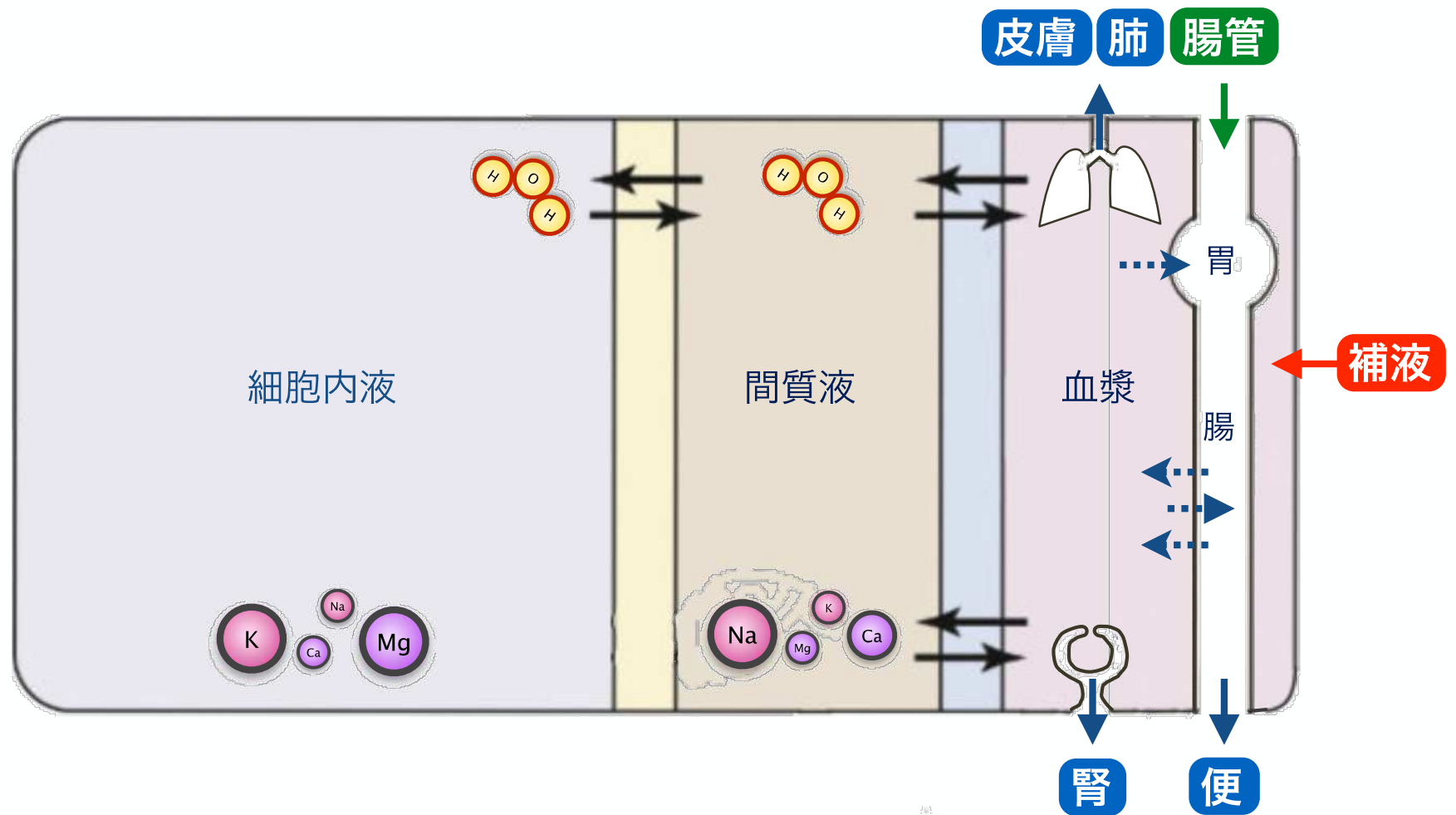
Basic allowance

+

補正輸液

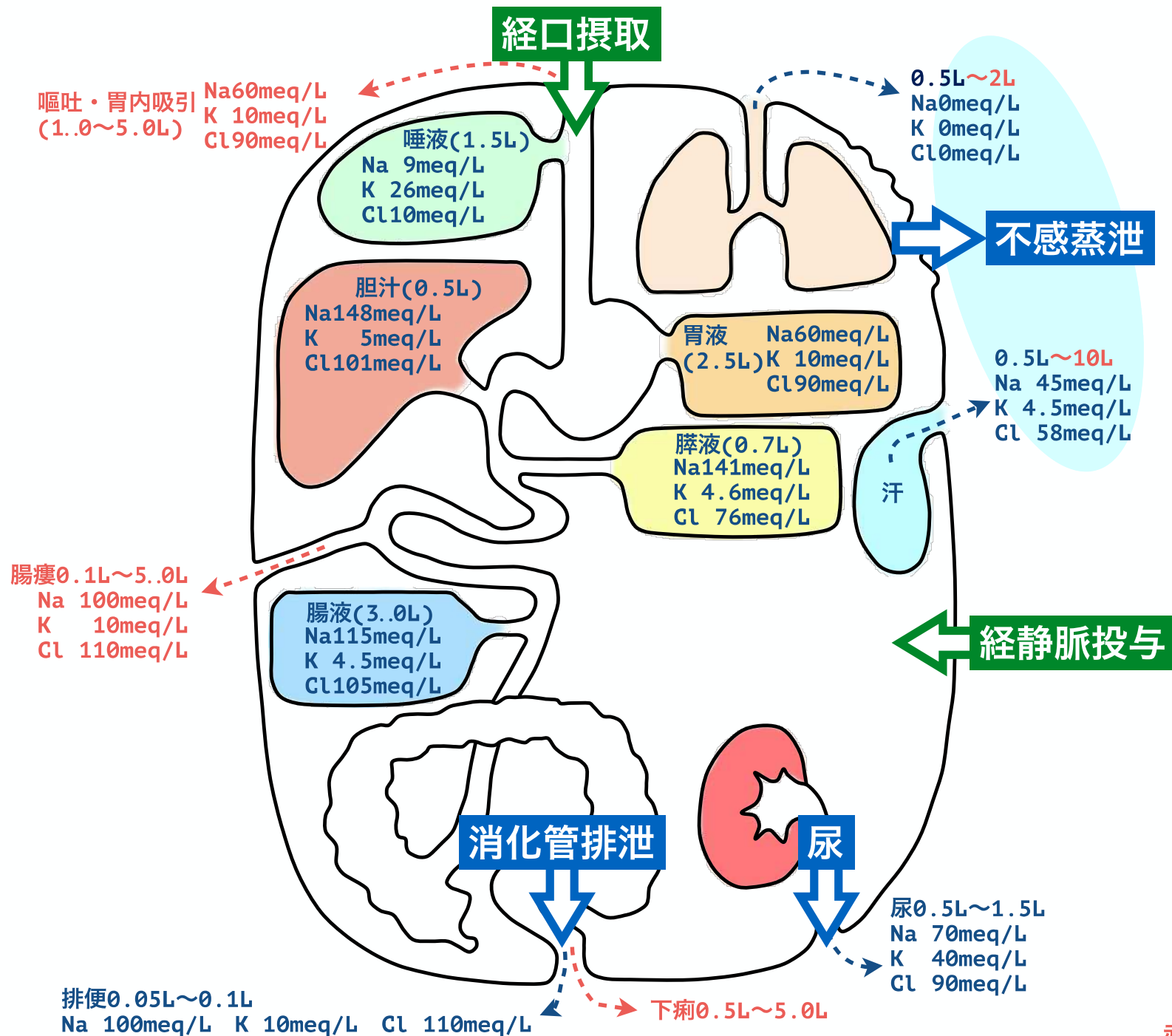
Correction allowance

維持輸液は **in** **out** balance



in 経口~~摂取~~ 補液

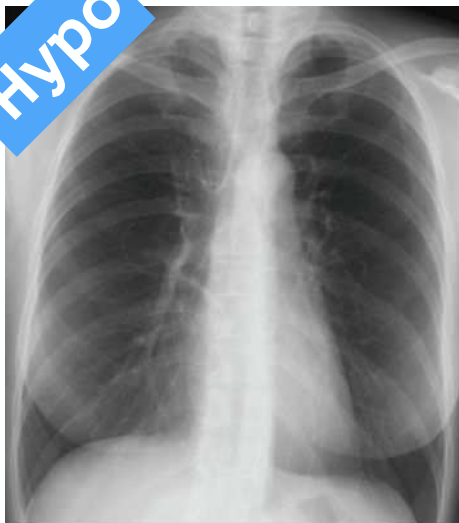
out 尿 不感蒸泄 消化管排泄



赤字は異常排泄

補正輸液は病態把握が重要

Hypo



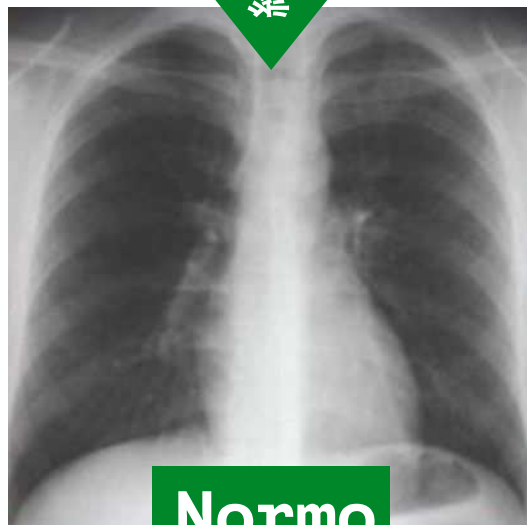
-volemia
-natremia
-kalemia
など

補正輸液
(+)の補正

Normo



維持輸液



Normo

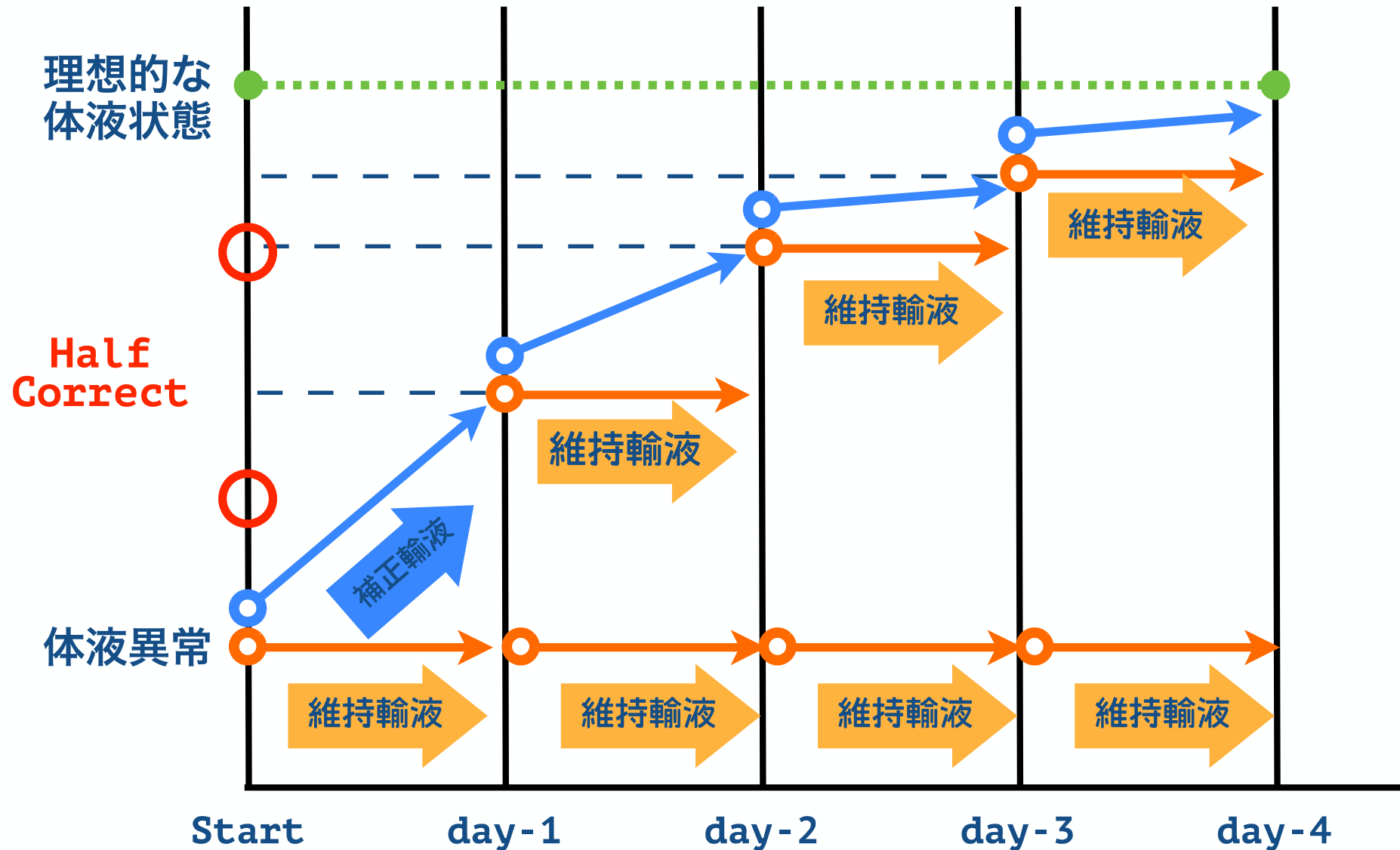
Hyper



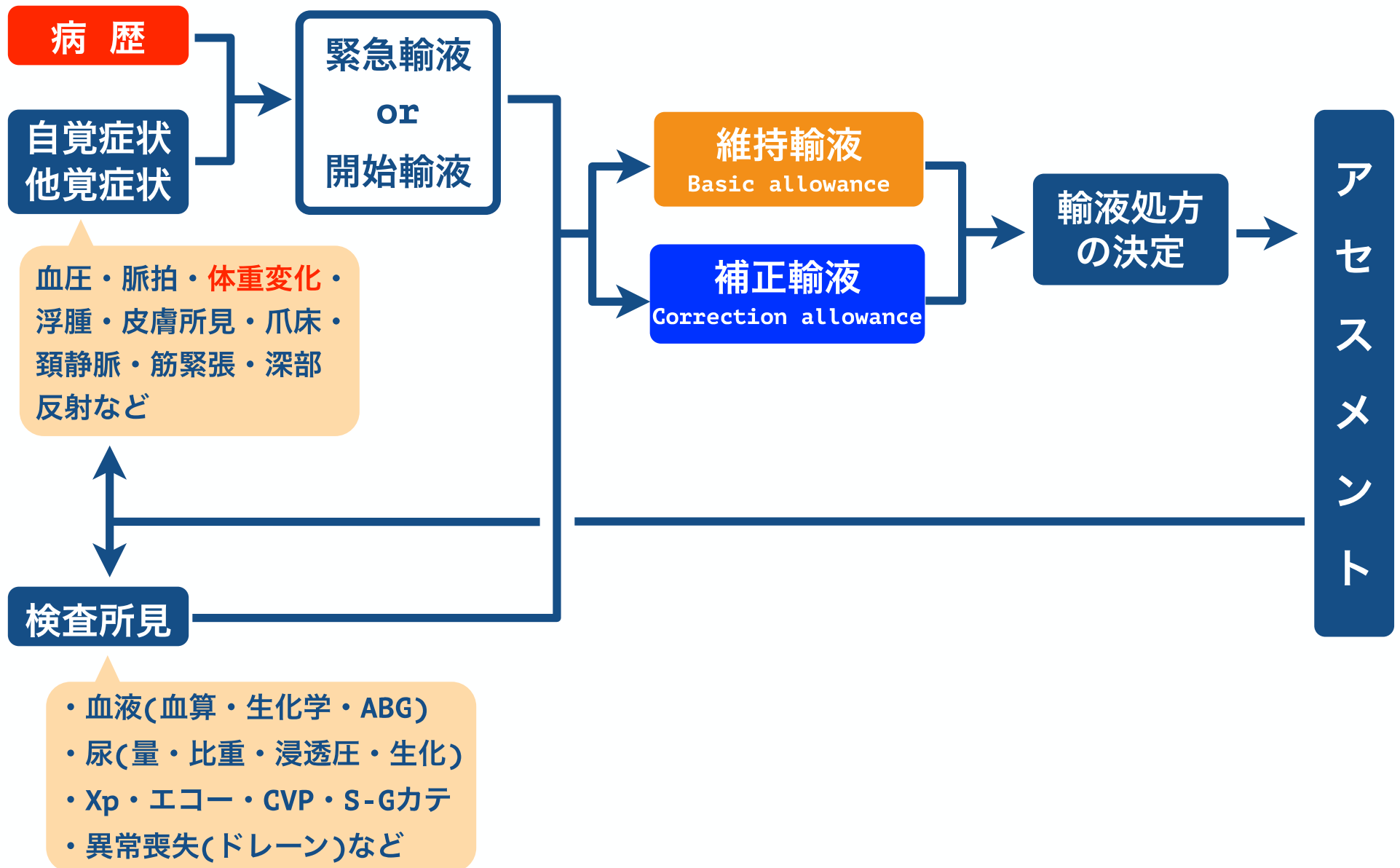
-volemia
-natremia
-kalemia
など

補正輸液
(-)の補正

維持輸液+補正輸液ではじめて治療のための輸液



輸液療法のストラテジー



$$\text{計画輸液} = \text{維持輸液} + \text{補正輸液}$$

🍏 維持輸液(basic allowanace) ⇒ outの補充

- **Urine**・・・腎臓からのロス
- **Insensible Water Loss**(ISWL)・・・不感蒸泄
- **GI loss**・・・消化管ロス(嘔吐・下痢・ドレーン)

🍏 補正輸液(correction allowance)⇒正常との解離

- 補正に必要な輸液・・・(+)のAllowance
- 投与を控える輸液・・・(-)のAllowance

⌘ 尿(basic allowance for urine)

前日に排泄された水-電解質をそのまま補うのではなく、現時点での腎臓の調節能力からどの程度の補充ならば無理なく体液平衡を保つ事が出来るかという観点で決める。

@ 最大限に濃縮した時(500ml)と、最大限に希釈した時(2500ml)との中間(1000~1500ml)程度で概算。

@ 腎臓が水電解質の調節機能を失っている時(AKIなど)は、basic allowance変更が必要(“0”とする事もある)。

@ 等張尿の電解質濃度は

$[Na^+] = 70\text{meq/l}$ $[K^+] = 40\text{meq/l}$ $[Cl^-] = 110\text{meq/l}$

* Cl^- : 実際のCL量ではなく陰イオンの総和として表記

⌘ 不感蒸泄(basic allowance for ISWL)

12～15ml/kg/日と概算（600～750ml/日程度）

@ 高温多湿下では多く、高齢者では少なく等の匙加減が必要

・体温1度上昇 --- 不感蒸泄15%増

$$\Rightarrow \text{ISWL} = \text{BW} \times 15 \times (1 + 0.15(\text{BT} - 36^\circ))$$

@ 不感蒸泄は一般的には電解質は含まない

$$[\text{Na}^+] = 0 \text{ meq/l} \quad [\text{K}^+] = 0 \text{ meq/l} \quad [\text{Cl}^-] = 0 \text{ meq/l}$$

⌘ 消化管からの喪失(basic allowance for GI loss)

消化管からの喪失量推定は、**前の期間の喪失量**を参考にする
(前日の胃管排液量=1,500mlや、直近6時間のイレウス管排液量=500mlなど)

胃液・膵液・腸液・胆汁で組成に違いはあるが
[Na⁺] 100mEq/L [K⁺] 10mEq/L [Cl⁻] 100mEq/L
で臨床的には大体間違いない

普通便のみなら、**水：50~100ml/日のLoss**とする

	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
唾液	33 (20-46)	20 (16-23)	34 (24-44)	0
胃液	60 (30-90)	9 (4.3-12)	84 (52-124)	0
小腸液	105 (72-158)	5.1 (3.5-6.8)	99 (70-127)	50 (20-40)
大腸液	129 (90-140)	11.2 (6-30)	116 (82-125)	29 (25-30)
胆汁	149 (120-170)	4.9 (3-12)	101 (80-120)	45 (30-50)
膵液	141 (113-153)	4.6 (2.6-7.4)	77 (54-95)	92 (70-110)
汗	45 (18-97)	4.5 (1-15)	58 (18-97)	0
髄液	141 (135-147)	2.9 (2.5-3.4)	127 (116-132)	23 (21-25)

標準的なBasic Allowance

Basic Allowance	水 (mL/日)	電解質(mEq/日)		
		Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	165 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	900 (60kgx15mL/kg/日)	0	0	0
消化管ロス GI Loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	10 (100meq/Lx0.1L/日)
合計	2500mL/日	115meq/日	61meq/日	170meq/日
組成	2.5L/日	46meq/L (115meq/日÷2.5L/日)	24meq/L (61meq/日÷2.5L/日)	68meq/L (170meq/日÷2.5L/日)

[Na⁺]≒40mEq/L [K]≒20mEq/L [Anion]≒60meq/L (3号液の組成)

製品名	会社名	液量 (mL)	mEq/L									
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	Lactate ⁻	Acetate ⁻	Gluconate ⁻	Citrate ³⁻	H ₂ PO ₄ ⁻
ユエキンキープ輸液	光製薬	200	35	20	—	—	35	20	—	—	—	—
ユエキンキープ輸液	光製薬	500	35	20	—	—	35	20	—	—	—	—
アセテート維持液3G「HK」	光製薬	200	45	17	—	5	37	—	20	—	—	10
アセテート維持液3G「HK」	光製薬	500	45	17	—	5	37	—	20	—	—	10
アクマルト輸液	光製薬	200	45	17	—	5	37	—	20	—	—	10
アクマルト輸液	光製薬	500	45	17	—	5	37	—	20	—	—	10

Correction Allowances (体液異常の補正)

体液異常の種類		評価方法	補正の方法
1	浸透圧の異常 (自由水の過不足)	血清Na濃度	自由水 (5%糖液)
		高Na : 高浸透圧	自由水が不足
		低Na : 低浸透圧	自由水が過剰
2	細胞外液の過不足 (Naの過不足)	病歴・体重 Ht・ALBなど	生理食塩水
3	カリウム	血清K値→体内K量の 過不足を推測	K製剤
4	血漿・血液 (出血によるロス)	出血などの病歴	赤血球輸血 タンパク製剤
5	酸塩基平衡 (HCO ₃ ⁻ の過不足)	血液ガス分析	Cl ⁻ の過不足
		Acidemia	Cl ⁻ を引く
		Alkalemia	Cl ⁻ を足す

血清Na濃度は体液浸透圧の指標

浸透圧(0smol/L) = 溶媒中1L中の電解質の総和

$$\begin{aligned}\text{浸透圧} &= \text{陽イオン} + \text{陰イオン} \\ &\quad (\text{陽イオン} = \text{陰イオン}) \\ &= 2 \times (\text{陽イオン}) \\ &\quad (\text{陽イオンの90\%以上がNa}^+) \\ &\approx 2 \times \text{Na}^+\end{aligned}$$

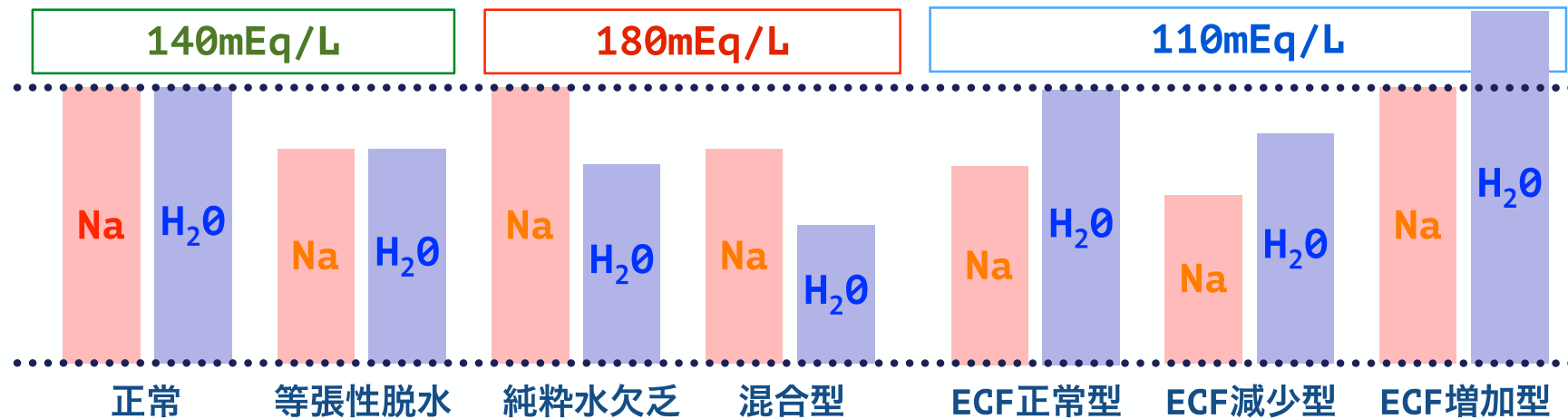
血漿浸透圧は血清Na⁺のほぼ2倍

高Na血症；高浸透圧血症
低Na血症；低浸透圧血症

mEq/L		血漿
陽イオン	Na ⁺	142
	K ⁺	4
	Ca ²⁺	5
	Mg ²⁺	3
	合計	154
陰イオン	Cl ⁻	103
	HCO ₃ ⁻	27
	HP0 ₄ ²⁻	2
	SO ₃ ²⁻	1
	有機酸	5
	蛋白質	16
	合計	154

*Na⁺以外の浸透圧物質(ブドウ糖等)が正常範囲の場合に適応される

浸透圧の異常($[Na^+]$ 異常) = 自由水の過不足



正確・鋭敏な指標は浸透圧 = 血清Na濃度

Na; 130~145mEq/Lの範囲に無ければ、
浸透圧異常と判断し、水の投与量を決める



Na↑ : 水が不足
Na↓ : 水が過剰

患者にどれ程の水が必要 (不要) か?

Na < 130mEq/L (低浸透圧) ; 水が過剰 → -500 ~ -1000ml/日

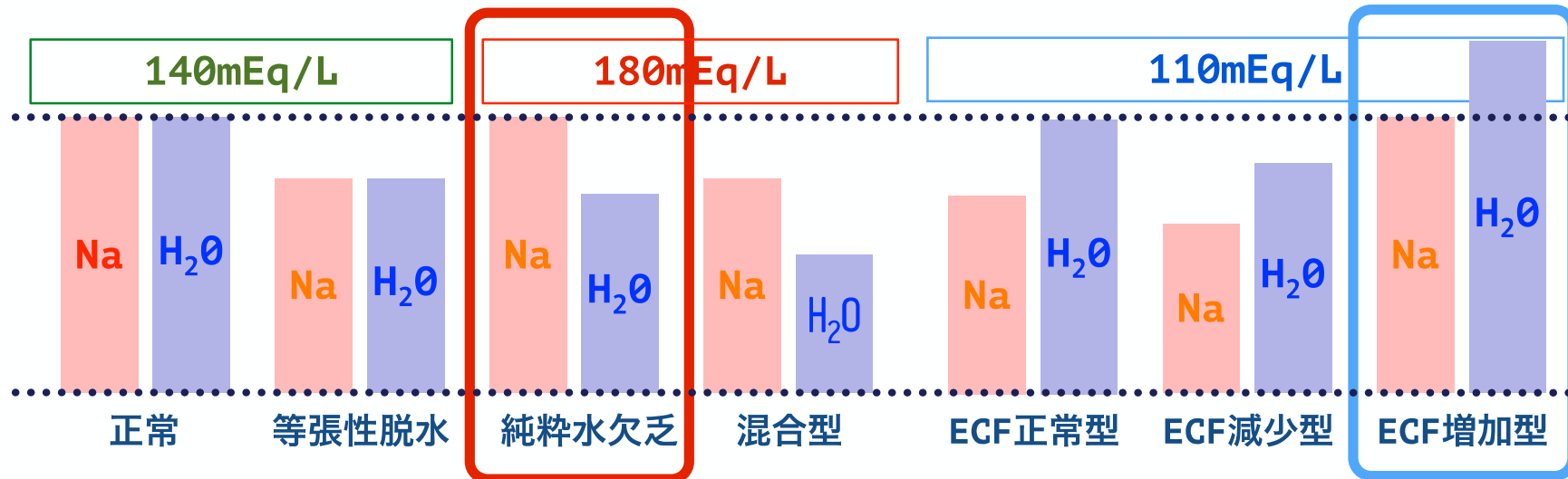
Na > 145mEq/L (高浸透圧) ; 水が不足 → +500 ~ +1000ml/日

著しい高Na、低Na血症で厳密な補正が必要な時

体内Na量は一定、自由水のみが増・減していると仮定

細胞外液中のNa総量は一定という仮説

$$\text{ECF(細胞外液)} \times \text{血清}[\text{Na}^+] = \text{一定}$$

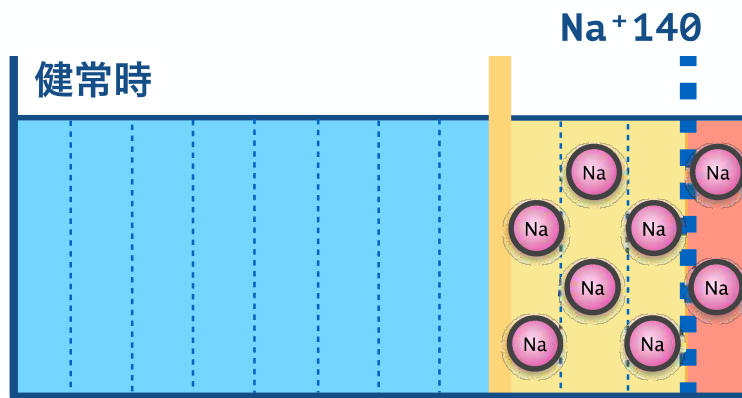


高Na血症→自由水が不足

低Na血症→自由水が過剰

水の過不足の計算の方法

細胞外液中のNa総量は一定
 $\text{ECF(細胞外液)} \times \text{血清}[\text{Na}^+] = \text{一定}$



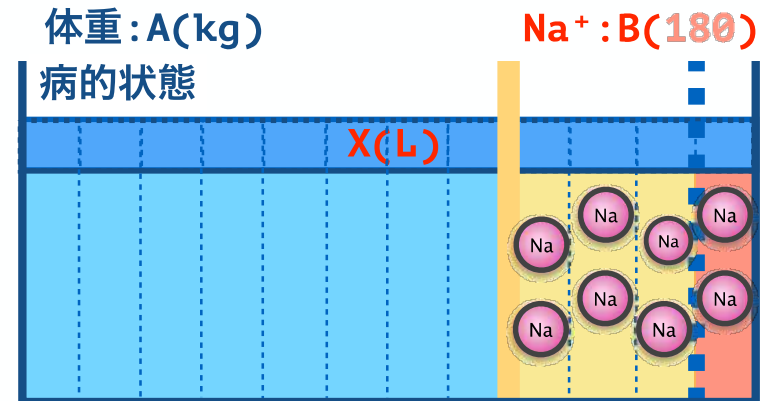
Na量($\text{ECF} \times [\text{Na}^+]$)

健常時の細胞外液量
 $(A \times 0.6 + X) \times 1/3 \times 140$
 総水分量

$(A \times 0.6 + X)$

X

水のみ喪失
 (Na^+ は一定)



Na量($\text{ECF} \times [\text{Na}^+]$)

今の細胞外液量
 $(A \times 0.6) \times 1/3 \times B$
 総水分量

$(A \times 0.6) \times \frac{B}{140}$

$(A \times 0.6) \times \frac{B}{140} - (A \times 0.6)$

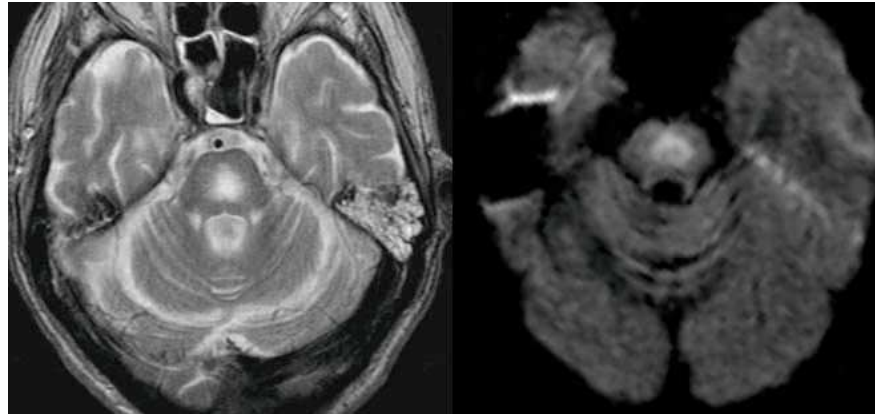
$X = (A \times 0.6) \times \frac{B - 140}{140}$

補正速度（高Na、低Na）も大切

速すぎると、橋中心性髓鞘崩壊症(CPM)

（中枢神経どこでも起こりえる=EPM）

→浸透圧性脱髄症候群(ODS:Osmotic Demyelination Syndrome)



急性・症候性；1-2meq/l/時(最大12meq/l/日)

慢性・症候性；1meq/l/時(最大 8meq/l/日) 翌日以降<6meq/l/日

急性・無症候性；< 1meq/l/時(最大12meq/l/日) 翌日以降<6meq/l/日

慢性・無症候性；Hypovolemic, Hypervolemic, Euvolemicに分けて検討

臨床的には**毎時0.5mEq/l**が簡便かつ安全

180mEq/l→140mEq/lならば・・・

$$\frac{180-140(\text{mEq/l})}{0.5(\text{mEq/l/hr})} = 80\text{hr} \rightarrow 4\text{日間} \quad (\text{補正はなるべく緩やかに})$$

細胞外液の過不足の正確な量的評価は難しい

細胞外液量がどれ位変化したかを知る為には...

- * 病歴 (嘔吐・下痢・発汗・出血 etc)
- * 理学所見(ΔBW ・Turgor・Juglar vein・BP etc)
- * 検査所見(ΔHb ・ ΔTP etc)

細胞外液の変化があるのか疑わしい(分らない)時は、
Basic Allowanceのみの補充で経過を見てみる。

カリウム補充は安全に(20・40の法則)

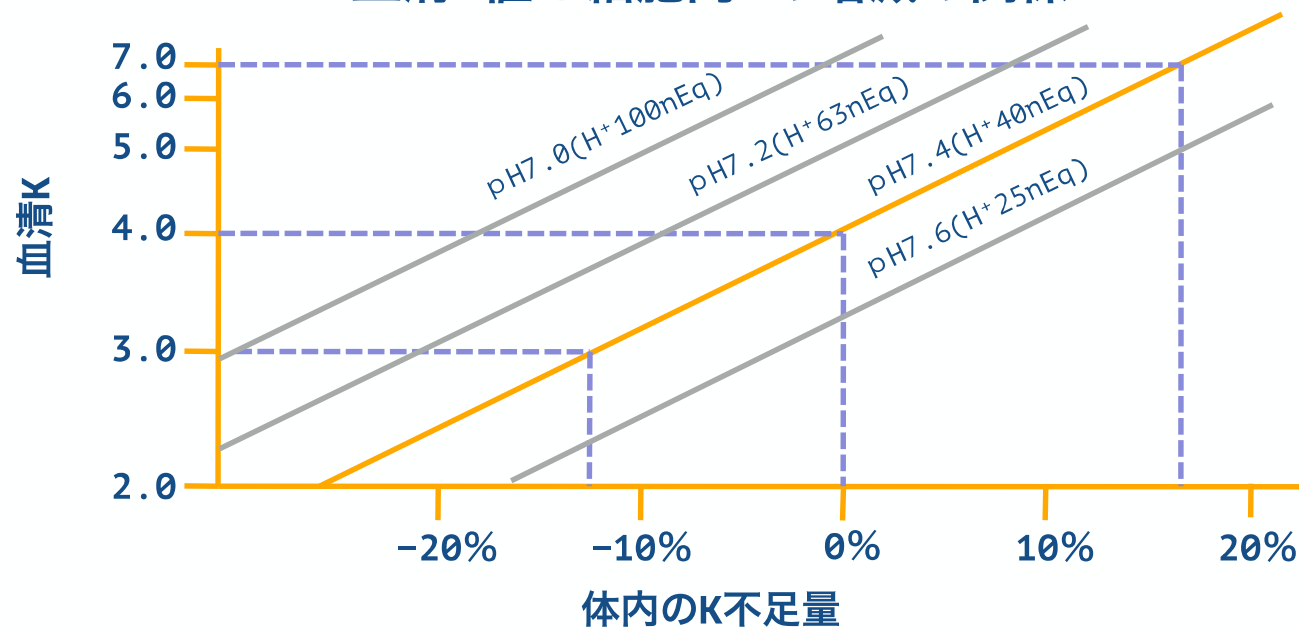
20・・・1時間あたり20mEq以内の投与量

40・・・末梢から投与可能なK濃度(40mEq/l)

体内カリウム容量の推定 (mEq/kg)

消耗の程度	男	女
正常	45mEq/kg	35mEq/kg
中等度	32mEq/kg	25mEq/kg
高度	23mEq/kg	20mEq/kg

血清K値と細胞内Kの増減の関係



BW; 70kg男性

*正常では体内総K量

$$45 \times 70 = 3100\text{mEq}$$

*K: 3.0まで低下すると

$$-13\% \times 3100\text{mEq}$$

$$= 390\text{mEq不足}$$

適切な初期の計画輸液は？

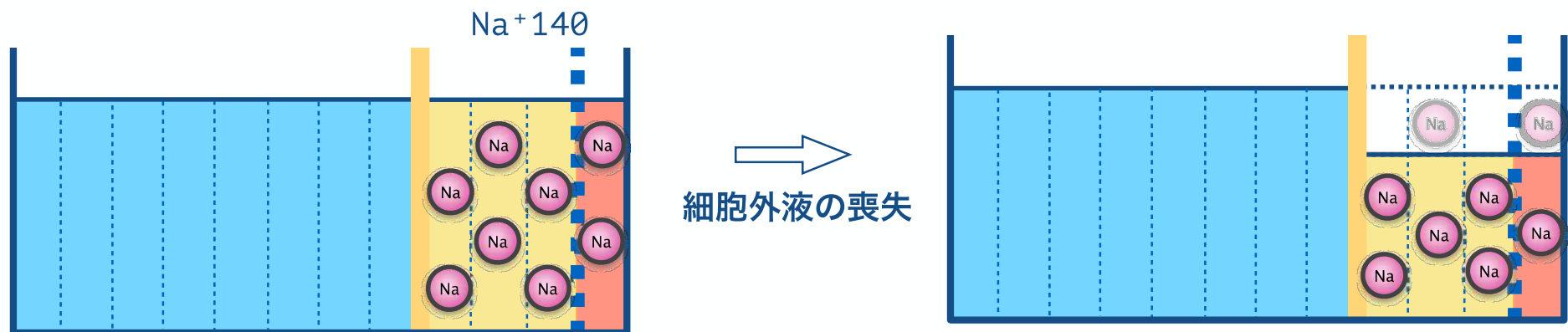
75歳男性。1週間前から目眩・嘔気で経口摂取が出来ず。

入院時は体温36.6度、脈拍110/分、呼吸数21/分、血圧90/60mmHg、

皮膚は温かく乾燥、Turgor低下、入院時体重50kg(元の体重不明)、

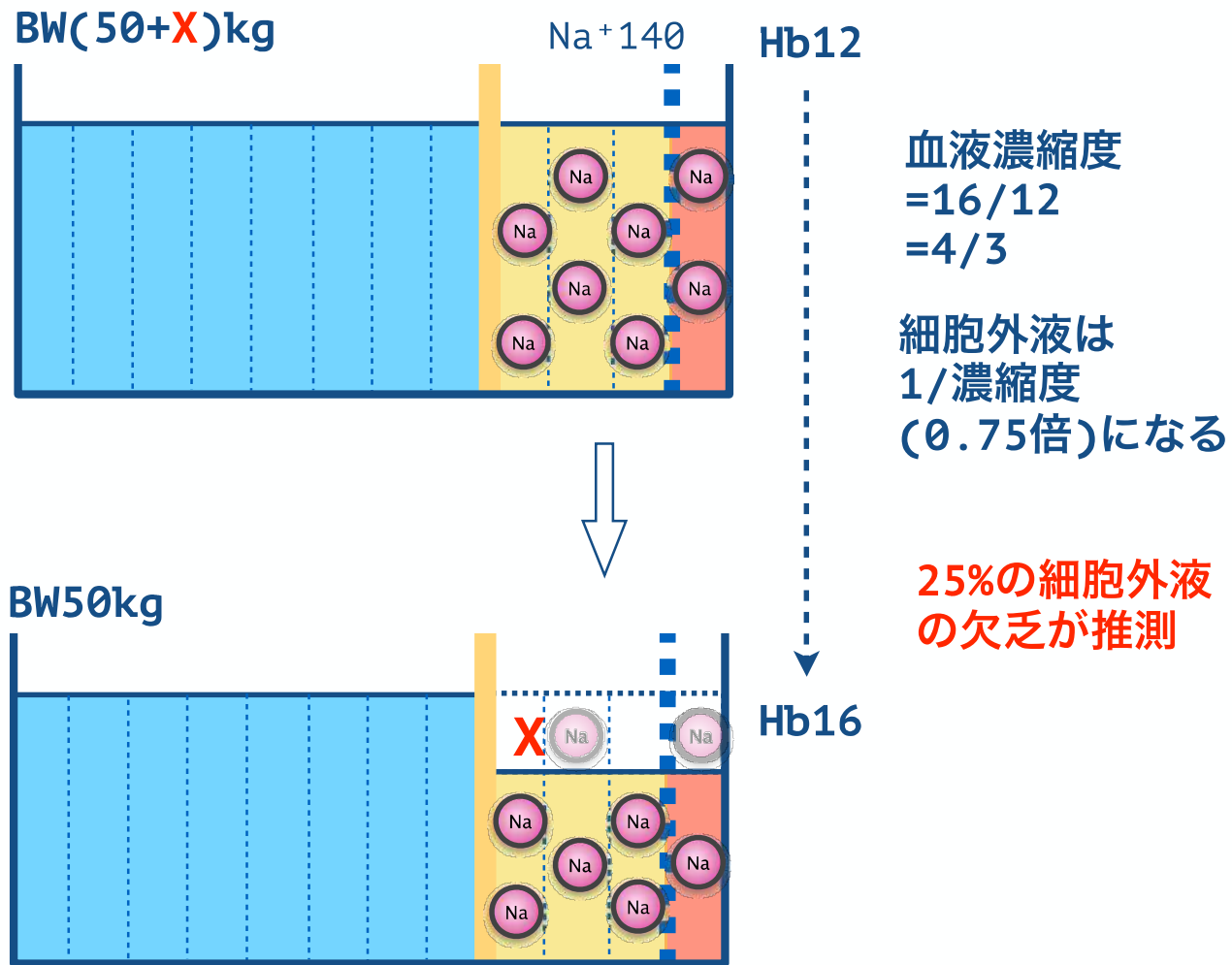
Hb16, Na140, K4.5, Cr3.5。尿生化学はUP-, 0B-, 尿Na8meq/L,

尿K30meq/L。血液検査は元々はHb12, Cr0.7。



- 1) 明らかなIntake低下を示唆する病歴
- 2) 脱水(細胞外液低下)を示す身体所見
- 3) 腎前性腎不全合併の等張性脱水を示す検査結果

この患者さんの体液異常の病態



$$(50 \times 0.6 + X)kg \times \frac{1}{3} \times 0.25 = X \quad \longrightarrow \quad X = 2.7L \quad \cdots \quad 3\text{日補正で} 0.9L/\text{日}$$

Basic	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Urine	1000	70	40	110
ISWL	750(50kgx15ml/日)	0	0	0
GI loss	100	10	1	11

Correction	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Free water	0	0	0	0
Saline	900(2.7L÷3日)	135(150meq/Lx0.9L)	0	135
K	0	0	0	0
血漿・血液	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	0	0	0	0

計画輸液	2750ml/日	215mEq/日	41mEq/日	246mEq/日
------	----------	----------	---------	----------

(Na:78mEq/L、K:16mEq/Lの組成の輸液を2.6L/日)

脱水補正液(2号液)を100-120ml/Hr

3号液 : 1000ml(Na35, K20)
10%NaCl: 20ml(Na34, K 0)

1号液: 1000ml(Na71, K 0)
KCL : 20ml(Na 0, K20)

適切な初期の計画輸液は？

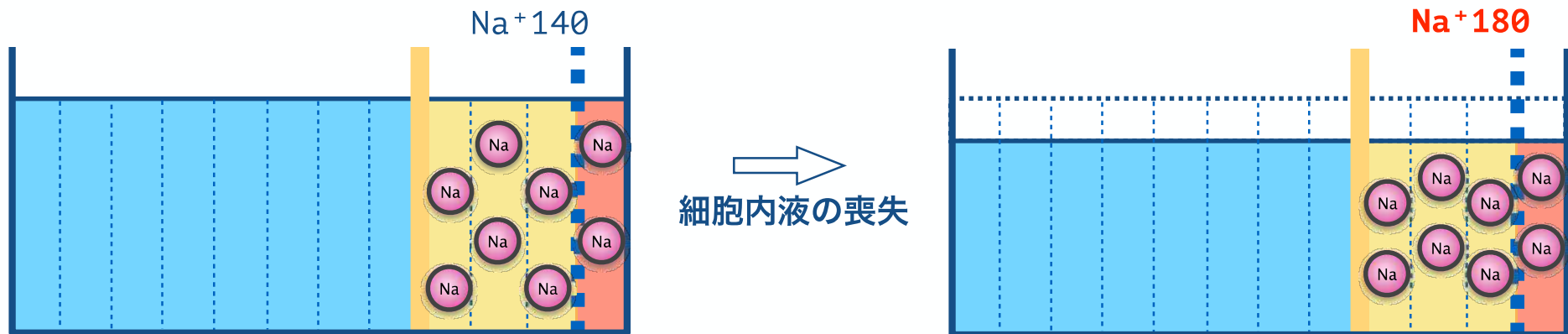
75歳男性。1週間前から目眩・嘔気で経口摂取が出来ず。

入院時は体温36.6度、脈拍80/分、呼吸数21/分、血圧110/60mmHg、

皮膚は温かく軽度乾燥、入院時体重50kg(元の体重不明)、

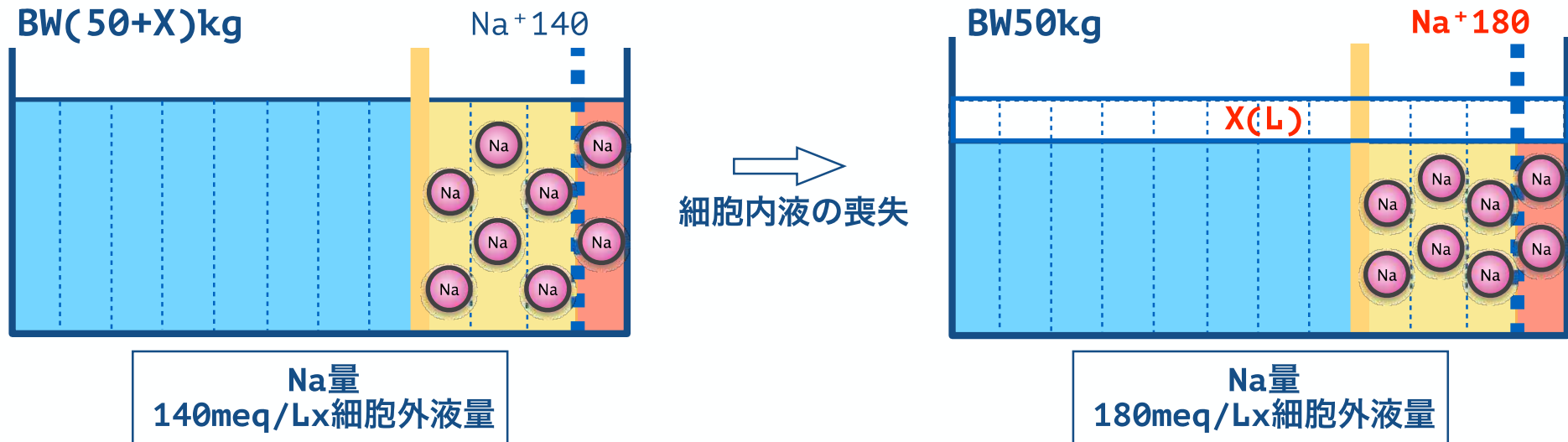
Hb12, Na180, K4.5, Cr0.7。尿生化学はUP-, 0B-, 尿Na8meq/L,

尿K30meq/L。血液検査は元々はHb12, Cr0.7。



- 1) 明らかな飲水低下を示唆する病歴
- 2) 脱水(細胞外液低下)を示す身体所見
より高張性脱水(細胞内液不足)が主体

この患者さんの体液異常の病態



$$\frac{140 \times (50 \times 0.6 + X) \times \frac{1}{3}}{\text{細胞外液}} = \frac{180 \times (50 \times 0.6) \times \frac{1}{3}}{\text{細胞外液}}$$

$$X = (50 \times 0.6) \times \frac{180 - 140}{140} = 8.6L$$

$$\frac{180 - 140 (\text{mEq/L})}{0.5 (\text{mEq/L/hr})} = 80\text{hr} \rightarrow 4\text{日間} \quad (\text{補正はなるべく緩やかに})$$

$$8.6L \div 4\text{日} = 2.1L/\text{日}$$

1日2Lずつブドウ糖液を補充すると4日後にNa140になる

Basic	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Urine	1000	70	40	110
ISWL	750(50kgx15ml/日)	0	0	0
GI loss	100	10	1	11
Correction	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Free water	2000	0	0	0
Saline	0	0	0	0
K	0	0	0	0
血漿・血液	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	0	0	0	0
計画輸液	3850ml/日	80mEq/日	41mEq/日	121mEq/日

(Na:21mEq/l、K:11mEq/lの組成の輸液を3.8L/日)

ほぼ維持輸液(3号液)の半分の濃度の輸液を160ml/Hr

維持輸液(3号液)：80ml/Hr

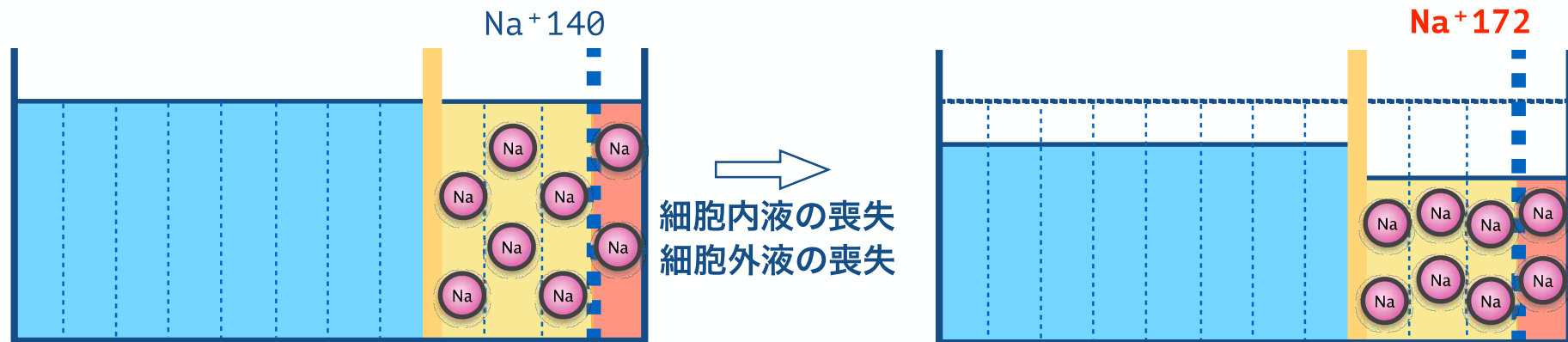
ブドウ糖液：80ml/Hr

適切な初期の計画輸液は？

75歳男性。1週間前から目眩・嘔気で経口摂取が出来ず。

入院時は体温36.6度、脈拍120/分、呼吸数21/分、血圧98/56mmHg、皮膚は温かく乾燥、Turgor低下、舌は乾燥し萎縮。入院時体重50kg(元の体重不明)、血液検査はNa172mEq/L, K3.2mEq/L,

Cr2.1mg/dL。元々は腎機能正常。尿生化学検査はUP-OB-、尿Na8meq/L、尿K30meq/L,



- 1) 明らかなIntake低下を示唆する病歴
- 2) 脱水が高張性脱水(細胞内液不足)を伴うことを示す高Na血症
- 3) 脱水が細胞外液不足も伴っていることを示す急性腎不全。

Basic	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Urine	1000	70	40	110
ISWL	750(50kgx15ml/日)	0	0	0
GI loss	100	10	1	11

Correction	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Free water	2000	0	0	0
Saline	500	70	0	70
K	0	0	20	0
血漿・血液	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	0	0	0	0

計画輸液	4350ml/日	150mEq/日	61mEq/日	181mEq/日
------	----------	----------	---------	----------

Free waterの不足分=50kgx0.6x(172-140)/140
=6.8kg/body
補正時間=(172-140)/0.5
=64hrs・・・3日間
一日自由水補正量=6.8L/3日間=2.2L/日

細胞外液量の補正
＊正確な細胞外液の不足量は測定困難
→ただし、病歴から細胞外液不足（脱水）は明らか
→+500ml/日程度の補充を割り当てる

(Na:34mEq/l、K:14mEq/lの組成の輸液を3.8L/日)

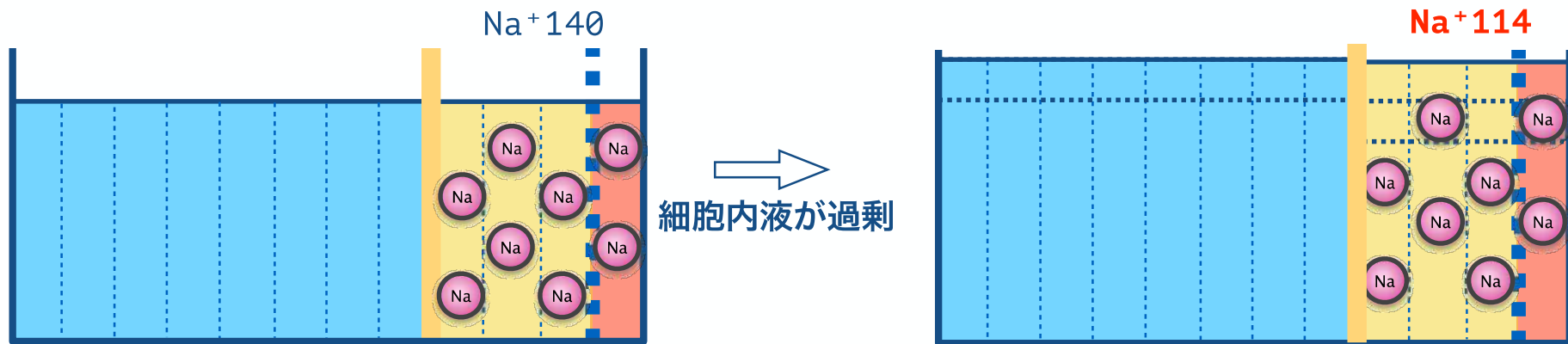
ほぼ維持輸液(3号液)を180ml/Hr

適切な初期輸液は？

54歳女性。下部胆管がんによる閉塞性黄疸でPTGBD(経皮的胆嚢ドレナージ)中絶食で末梢補液管理(維持輸液2000ml/日)。

処置後外見上黄疸は改善しているが、倦怠感が強くなり血液検査したところ、**Na114meq/l**、**K4.2meq/l**、**Cr0.5mg/dl**と低Na血症を来し腎臓内科紹介。

体重45kg(入院時46kg)、入院時で**Na146mEq/l**、**K3.8mEq/l**、**Cr0.5mg/dl**、取りあえず意識は清明。紹介時、末梢補液(ビーフリード80ml/hr)、PTGBD開始後チューブからの**胆汁500ml/日程度**持続。



- 1) 体重減少はわずかで、極端な脱水はない
- 2) 低Na血症から自由水過剰であることが推測
- 3) 胆汁(細胞外液)喪失に対して低張液(3号液)の輸液が原因と推測

Basic	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Urine	1000	70	40	110
ISWL	750(50kgx15ml/日)	0	0	0
GI loss	100+500	10+70	1+0	11+70

Correction	Volume(ml/日)	Na ⁺ (meq/日)	K ⁺ (meq/日)	Cl ⁻ (meq/日)
Free water	-1600	0	0	0
Saline	0	0	0	0
K	0	0	0	0
血漿・血液	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	0	0	0	0

計画輸液	750ml/日	150mEq/日	41mEq/日	191mEq/日
------	---------	----------	---------	----------

Na:200mEq/l、K:55mEq/lの
組成の輸液を750mL/日

Free waterの過剰分=45kgx0.6x(114-140)/140
=-5L/body
補正時間=(114-140)/0.5
=52hrs・・・3日間
一日自由水補正量=5L/3日間=1.6L/日

	Volume	Na	K
生食	500ml	77	0
10%NaCl	60ml	112	0
KCL	40ml	0	40
合計	600ml	189	40

大体2%生理食塩水 30ml/Hr

教科書には3%生食 0.5ml/Hで点滴

論理的思考で作られる輸液は...

ユニバーサル(普遍的)

臨床的にほとんどの水・電解質異常は
同じ考え方で治療できる

シンプル(簡潔)

臨床的に多くの水・電解質異常は
生食・5%ブドウ糖・10%NaCl・KCLなどで治療できる