

2023年5月25日  
松山赤十字病院モーニングレクチャー

水-電解電解質異常は怖くない！

正しい輸液は**シンプル**で**ユニバーサル**！  
考える輸液をみんなの武器に  
(Ⅱ / Ⅱ)

松山赤十字病院 腎臓内科

Matsuyama Red Cross Hospital Nephrology

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から、どの程度の補充であれば無理なく体液平衡をてるかという観点で決定する

1. 最大濃縮時 (500ml) と最大希釈時 (2500ml) の中間程度の等張尿 (1000~1500ml) を割り当てる事が多い
2. 腎臓が水電解質の調節能を完全に失っているとき (AKIなど) は、尿の割り当て分をZero (0) とすることもある
3. 等張尿の電解質濃度は、  
[Na<sup>+</sup>] 70meq/L, [K<sup>+</sup>] 40meq/L, [Cl<sup>-</sup>] 110meq/L

## 維持輸液の不感蒸泄の割り当て分 (Basic allowance for ISWL)

12~15ml/kg/日と概算 (600~900ml/日程度)

1. 高温多湿では多く、高齢者では少ないなどのさじ加減が必要
  - ・体温が1度上昇すると不感蒸泄は15%増加する
2. 不感蒸泄には電解質は含まれない  
[Na<sup>+</sup>] 0meq/L, [K<sup>+</sup>] 0meq/L, [Cl<sup>-</sup>] 0meq/L

Basic Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	160 (110meq/Lx1.5L/日)

## 維持輸液の消化管喪失の割り当て分 (Basic allowance for GI loss)

1. 消化管喪失は**前の期間の喪失量**を参考に推定する  
(前日の胃管排液1500ml、直前2時間のイレウス管排液800mlなど)
2. 消化液で電解質組成に違いはあるが、以下で概算  
**[Na<sup>+</sup>] 100meq/L, [K<sup>+</sup>] 10meq/L, [Cl<sup>-</sup>] 100meq/L**
3. 普通便のみなら、水分100ml/日のLossで概算

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
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)
腠液	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)

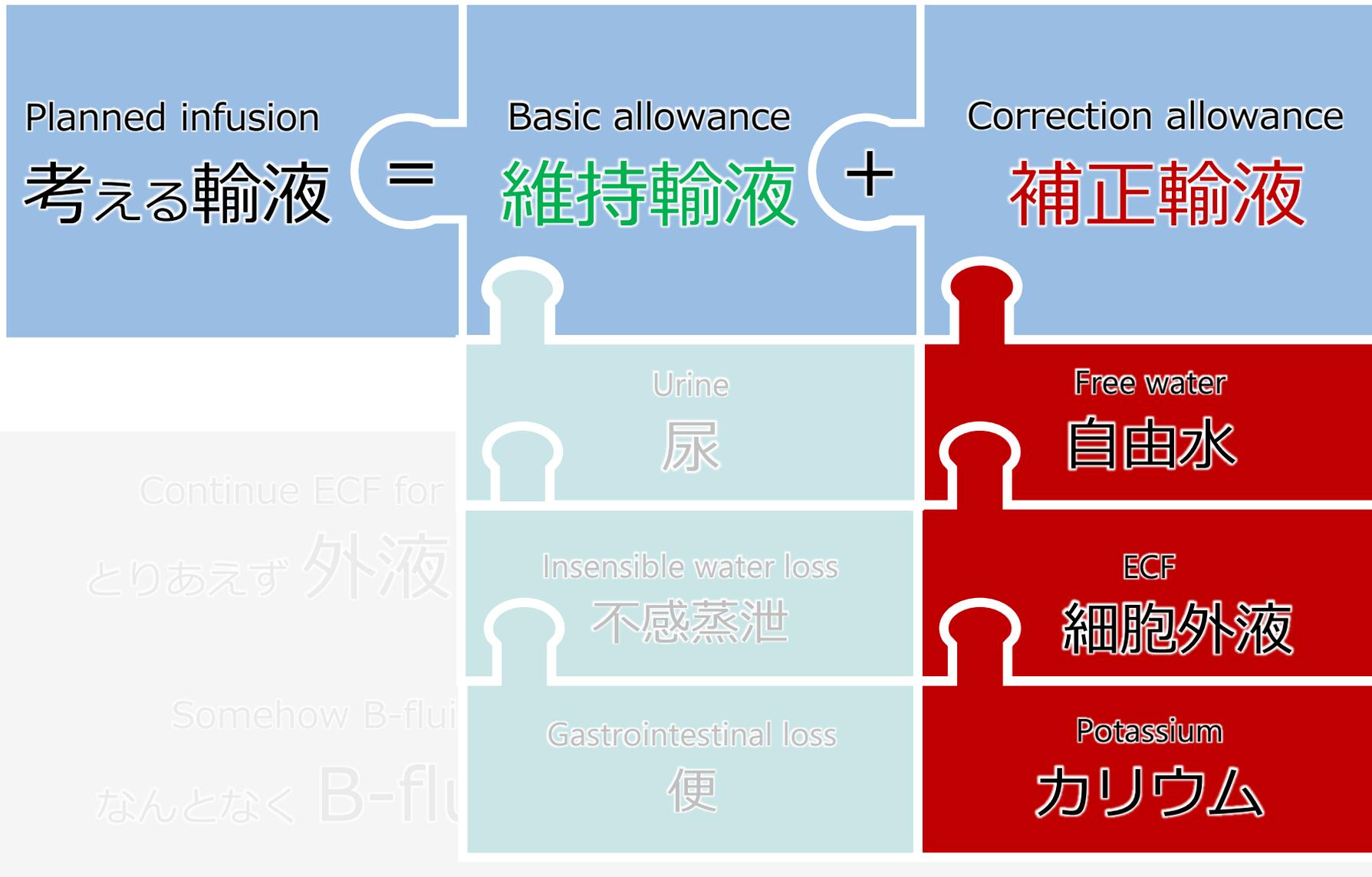
## 標準的な維持輸液の割り当て分

Basic Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	160 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	900	0	0	0

### ≡ 3号液の組成

3号液の例	電解質(mEq/L)								糖質 g/L	熱量 (cal/L)
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	P	乳酸	酢酸		
KN補液3B	50	20	—	—	50	—	20	—	27	108
ソリターT3号	35	20	—	—	35	—	20	—	43	172
ヴィーン3G	45	17	5	—	37	10	—	20	50	200

# 考える輸液の基本原則



自由水の過不足は浸透圧に現れ、浸透圧は[Na<sup>+</sup>]濃度で確認

浸透圧(Osmol/L) = 溶媒中1L中の電解質の総和

浸透圧 = 陽イオン + 陰イオン

(陽イオン = 陰イオン)

= 2 x (陽イオン)

(陽イオンの90%以上がNa<sup>+</sup>)

≒ 2 x Na<sup>+</sup>

血清浸透圧は[Na<sup>+</sup>]のほぼ2倍

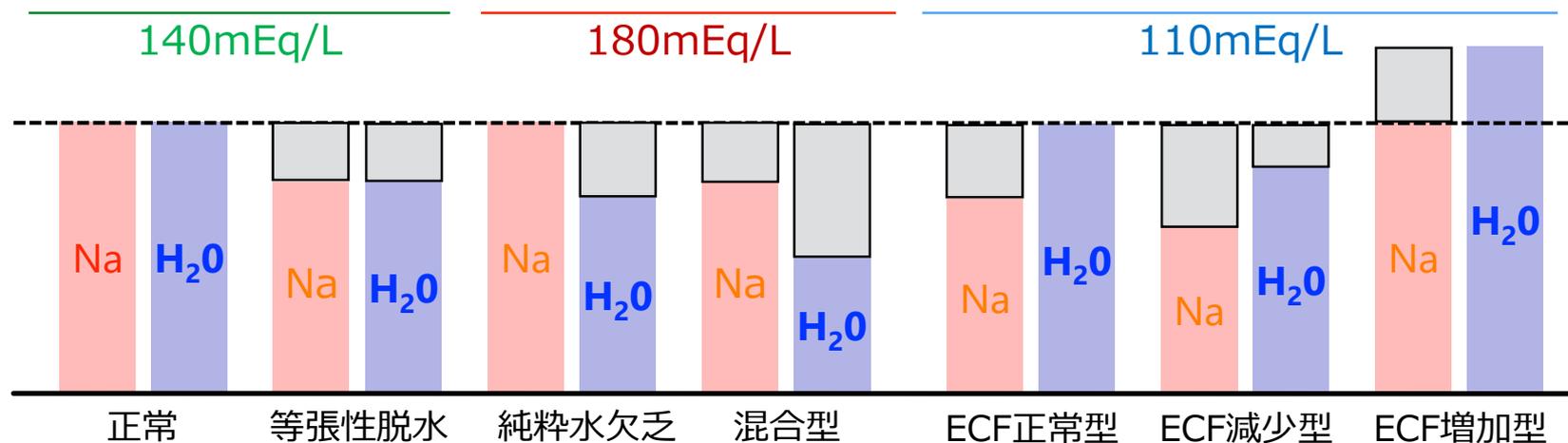
高Na血症 = 高浸透圧血症

低Na血症 = 低浸透圧血症

血中のNa以外の浸透圧物質（ブドウ糖など）が正常な場合に限る

	mEq/L	血漿
陽イオン	Na <sup>+</sup>	142
	K <sup>+</sup>	4
	Ca <sup>2+</sup>	5
	Mg <sup>2+</sup>	3
	合計	154
陰イオン	Cl <sup>-</sup>	103
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27
	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2
	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1
	有機酸	5
	蛋白質	16
	合計	154

# 血清Na濃度の異常 = 浸透圧の異常 = 自由水の過不足



血清浸透圧（自由水の過不足）の鋭敏な指標は血清Na濃度

Na: 130~145meq/Lの範囲に無ければ、  
浸透圧異常と判断し、水の投与量を検討

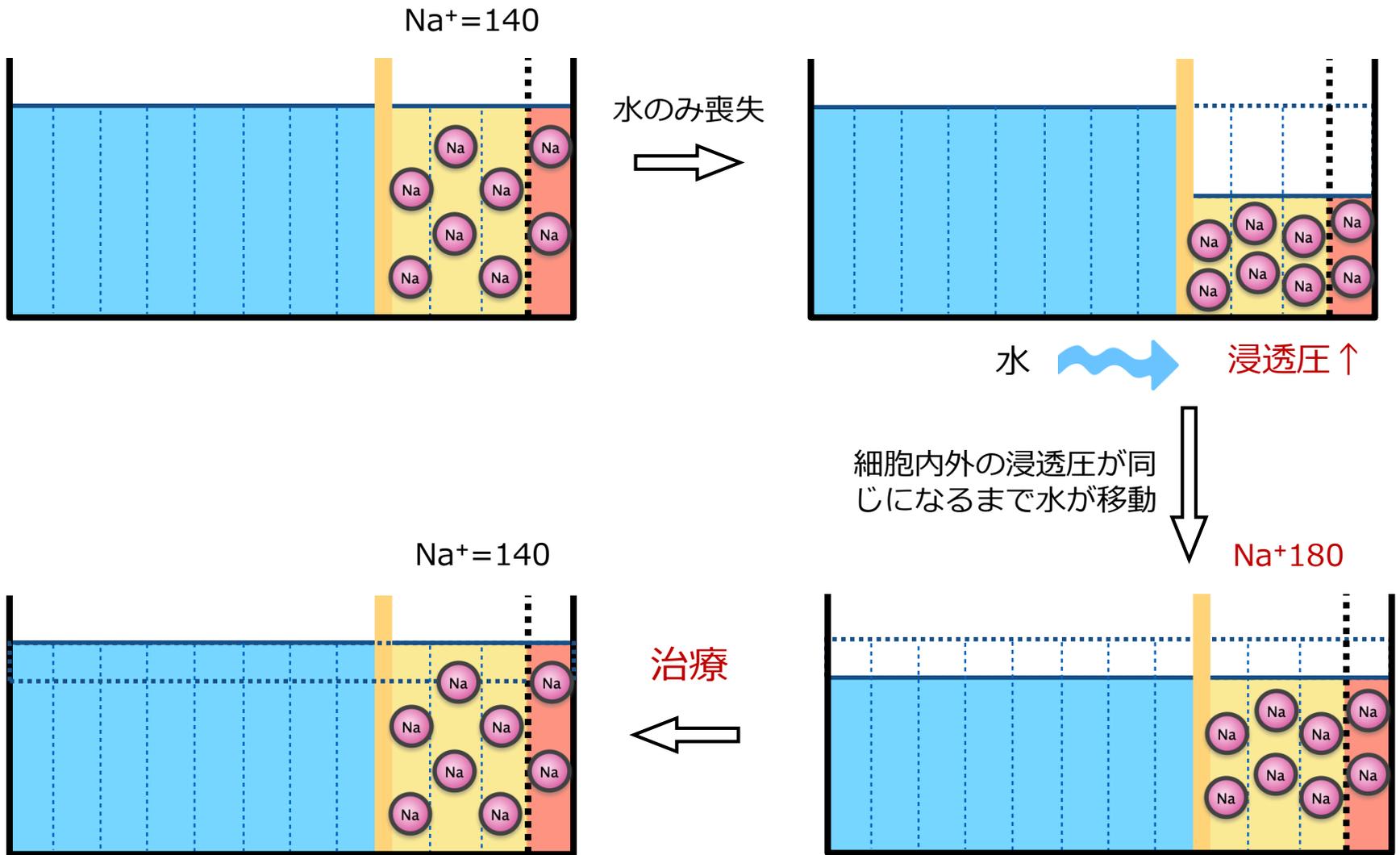
Na < 130meq/L (低浸透圧)

水過剰 ⇒ 水 -500~-1000ml/日の補正

Na > 145meq/L (高浸透圧)

水不足 ⇒ 水 +500~+1000ml/日の補正

# 高浸透圧血症（高Na血症時）の病態と治療

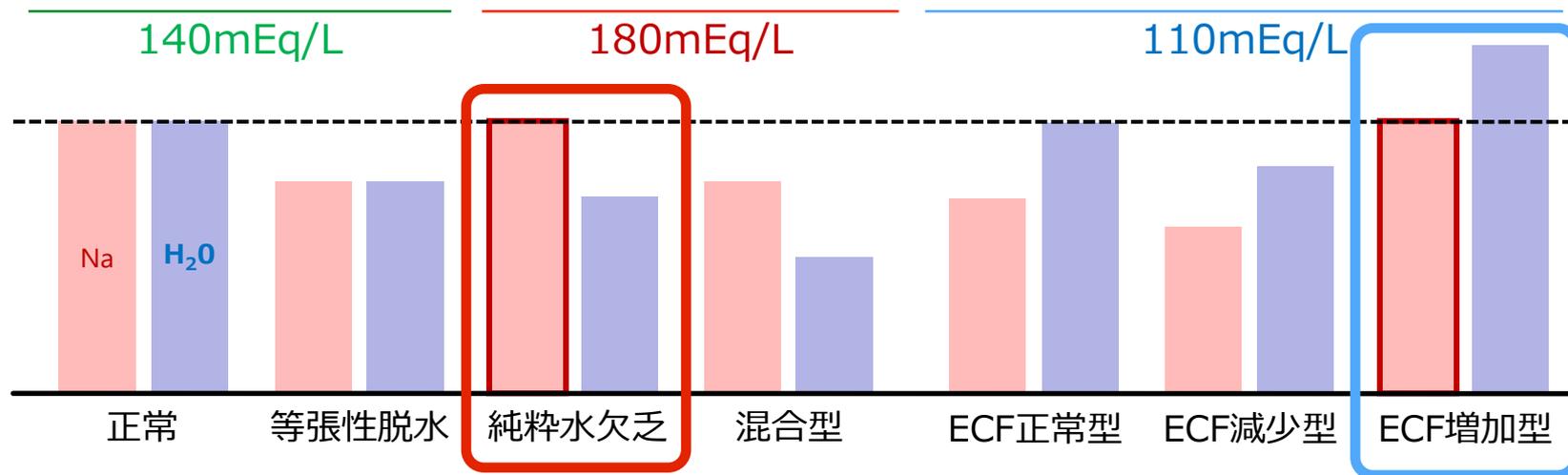


細胞内に補液をしたいとき：ブドウ糖液

著しい浸透圧異常（高Na・低Na血症）があり、厳格な補正が必要な場合

体内Na総量は一定で、自由水のみが増減  
していると過程して計算する

$$ECF \times [Na^+] = \text{一定}$$

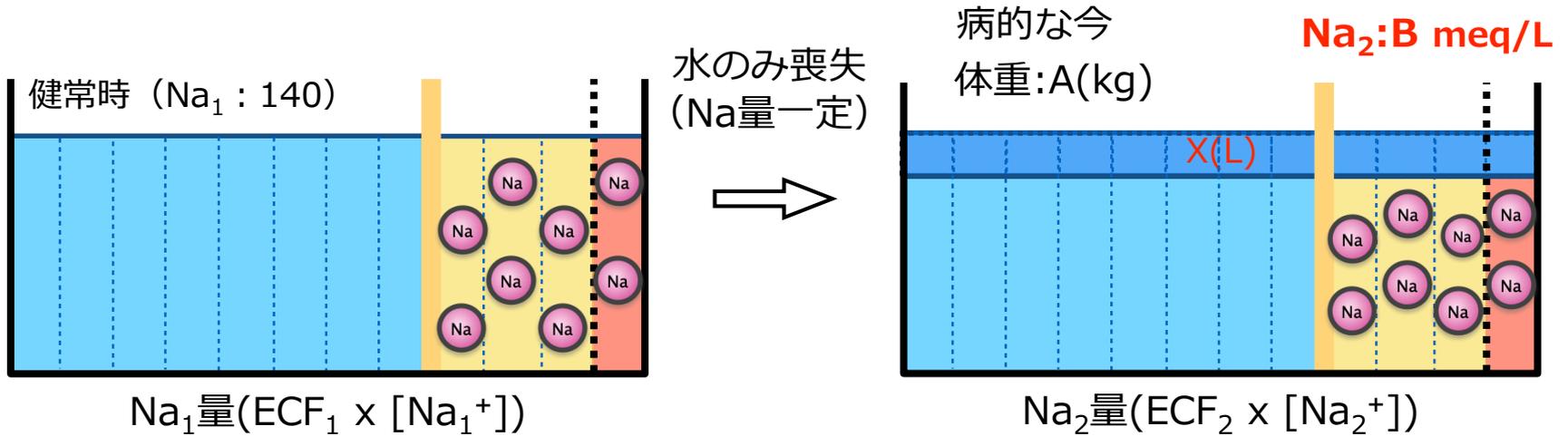


高ナトリウム血症⇒水が不足

高ナトリウム血症⇒水が過剰

# 自由水の過不足の計算方法

$$ECF \times [Na^+] = \text{一定}$$



$$\frac{(A \times 0.6 + X) \times \frac{1}{3} \times Na_1}{\text{健常時の水分量}}$$

健常時の細胞外液量

=

$$\frac{(A \times 0.6) \times \frac{1}{3} \times Na_2}{\text{今の水分量}}$$

今の細胞外液量

$$X = (A \times 0.6) \times \frac{Na_2 - Na_1}{Na_1}$$

## 浸透圧異常は補正速度も重要

浸透圧異常の補正は速すぎても、遅すぎても浸透圧性脱髄症候群 (ODS : Osmotic demyelination Syndrome) のリスクになる

急性	症候性	• 1~2meq/L/hr (最大1日12meq/L)
慢性		• 1meq/L/hr (最大初日 8 meq/L) 翌日以降は<6meq/L
急性	無症候性	• <1meq/L/hr (最大1日12meq/L) 翌日以降は<6meq/L
慢性		• 体液量の状態に分けて検討

臨床的 (私見) には**毎時0.5meq/L**を狙うのが簡便かつ安全  
180mEq/l→140mEq/lならば・・・

$$\frac{180-140\left(\frac{meq}{L}\right)}{0.5\left(\frac{meq}{l/hr}\right)} = 80hr \quad \rightarrow 4日間で補正 (補正は緩徐な方向に調整)$$

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、出血など)
理学所見	( $\Delta BW$ 、ツルゴール、頸静脈、血圧など)
検査所見	( $\Delta Hb$ 、 $\Delta TP$ など)

細胞外液量の変化があるのか疑わしい（分からない）時は、  
Basic Allowance（維持輸液分）のみで経過をみる

# カリウム補充は安全+第一 (20・40の法則)

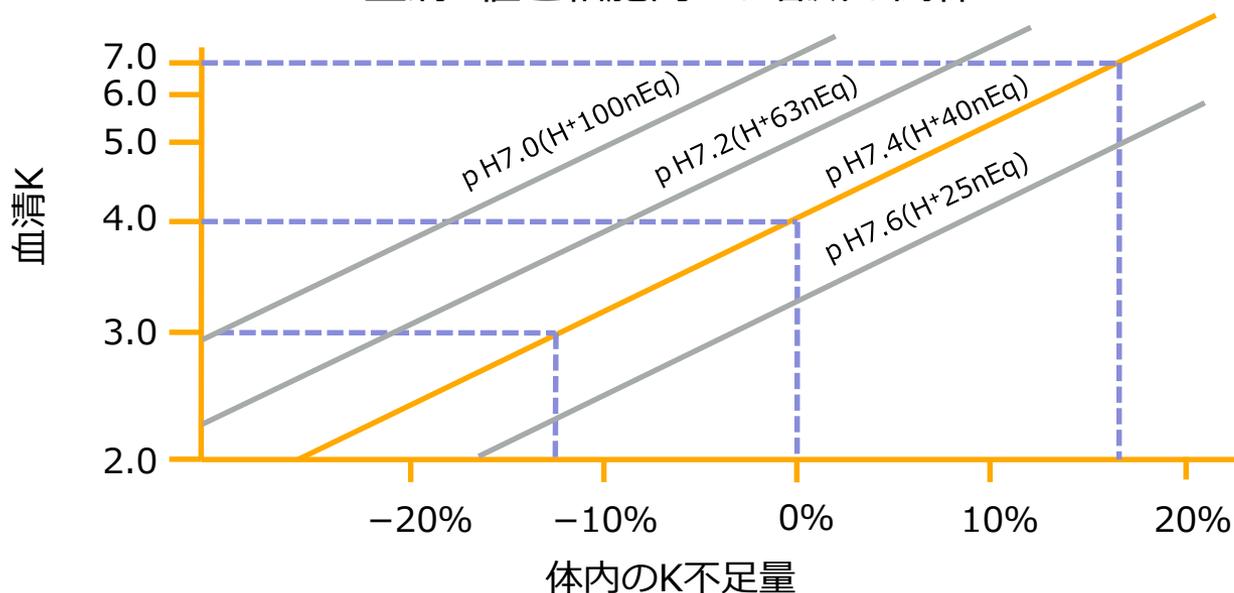
20・・・毎時投与量の限界 20meq/hrまで

40・・・末梢静脈から投与できる濃度限界 40meq/Lまで

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 x 70 = 3100mEq
- \* K:3.0まで低下すると  
-13% x 3100mEq  
= 390mEq不足

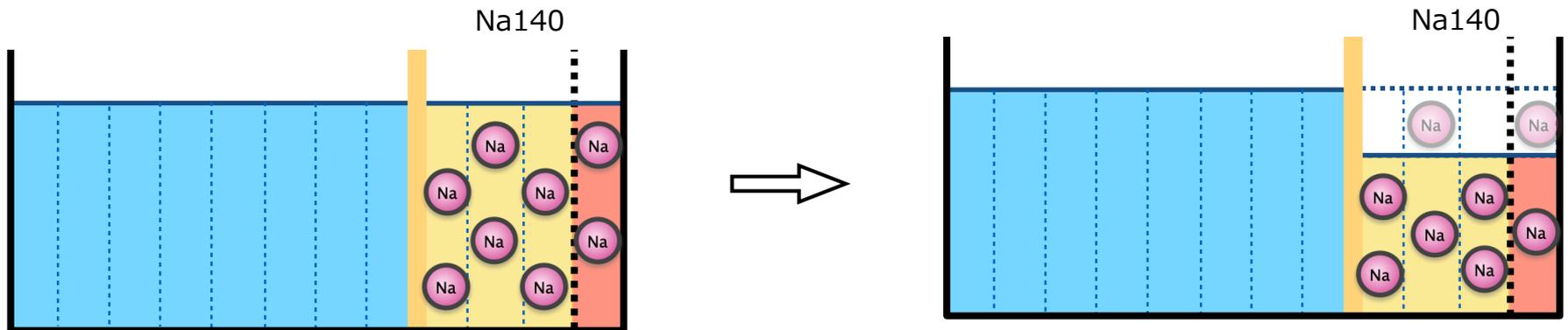
# 維持輸液 + 補正輸液

Basic Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	160 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	900	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11
自由水	@	0	0	0
細胞外液	@	150meq/L	0meq/L	150meq/L
カリウム	@	0	@	0
合計				

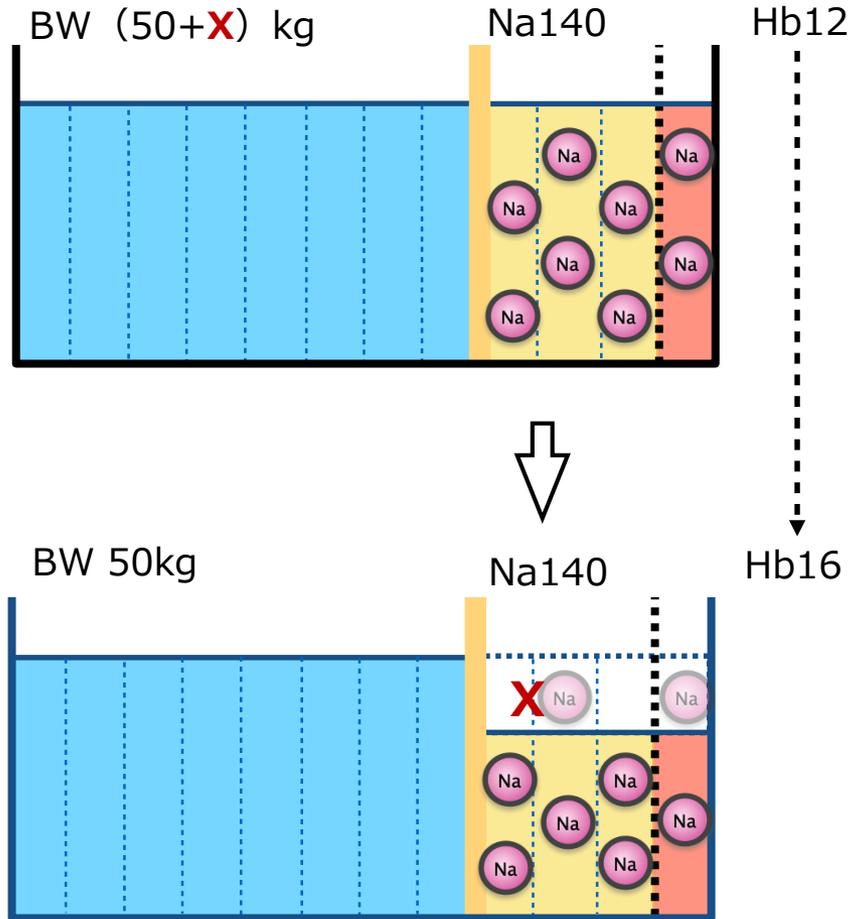
## 適切な初期輸液は？ 演題 1（等張性脱水）

75歳男性、1週間前から目眩、嘔気で経口摂取ができず、倦怠感が著明となり救急搬送。  
搬送時の体温36.6度、**血圧90/60mmHg**、**脈拍110/分**、呼吸数24/分、皮膚は乾燥、**ツルゴールは低下**、搬送時点での体重50kg（元々の体重は不明）  
**Hb16**、**Na140**、**K4.0**、**Cr1.9**、**BUN65**、**UA12**、尿蛋白（－）、潜血（－）、**尿中Na 8**、**尿中K25**、半年前の検査でHb12、Cr0.7

- ✓ 明らかなIntake低下を示唆する**病歴**
- ✓ 細胞外液低下（脱水）を示唆する**身体所見**
- ✓ 等張性脱水を示唆する**検査結果**



# この患者さんの体液異常の病態



血液濃縮度

$$\text{Hb}16 \div 12 = \frac{4}{3}$$

細胞外液は

$$\frac{1}{\text{濃縮度}} = 0.75 \text{ 倍になる}$$

25%の細胞外液量の欠乏

$$(50 \times 0.6 + X) \times \frac{1}{3} \times 0.25 = X \quad X = 2.7$$

→3日間の補正で0.9L/日

# 実際の考える輸液の処方

Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	160 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	600	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11 (110meq/Lx0.1L/日)

輸液製剤	容量	[Na <sup>+</sup> ]	[K <sup>+</sup> ]
3号液 (B-fluid)	1000	35meq	20meq
10%NaCl	20	34meq	0meq

輸液製剤	容量	[Na <sup>+</sup> ]	[K <sup>+</sup> ]
1号液 (KN1)	500x2	77meq	0 meq
KCL	20	0 meq	20meq

脱水補正液 (2号液)

## 適切な初期輸液は？ 演題 1 (高張性脱水)

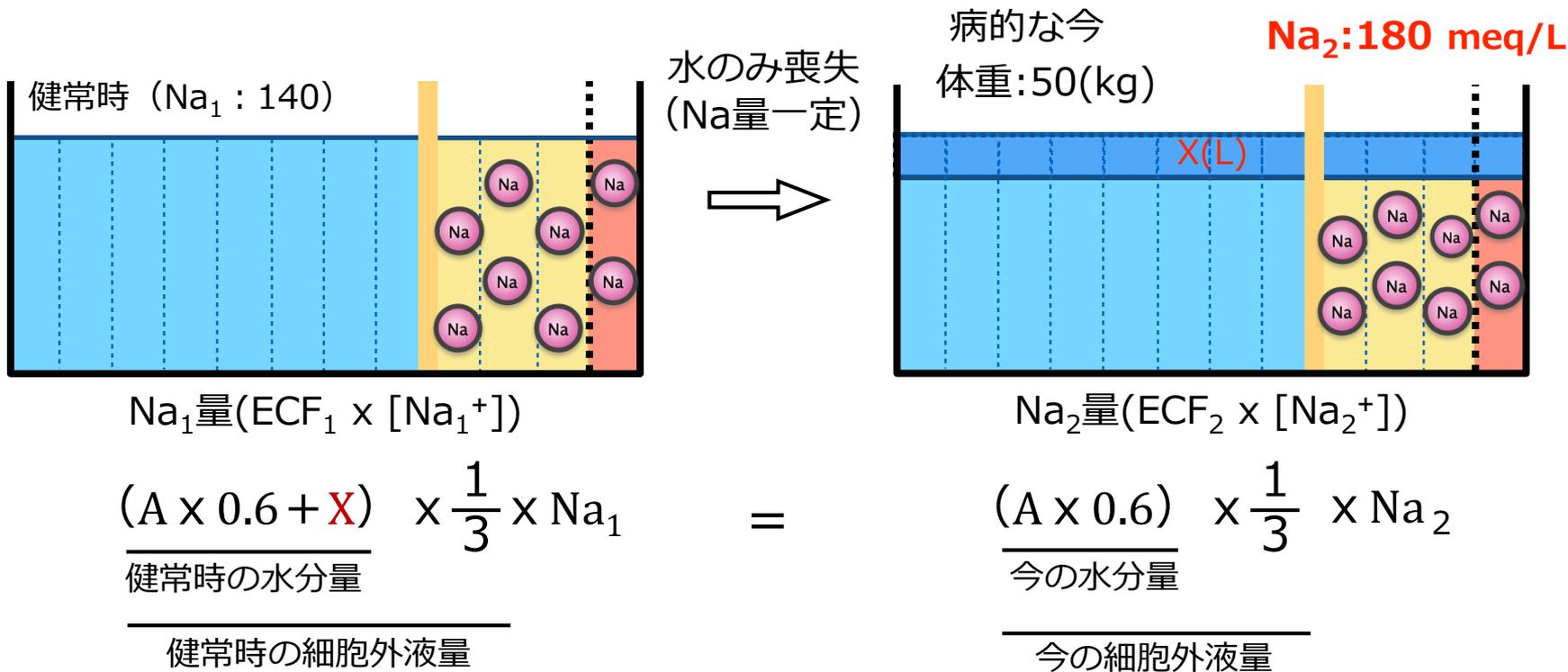
75歳男性。1週間前から目眩・嘔気で経口摂取が出来ず。意識障害が出現し救急搬送。搬送時の体温36.6度、**血圧90/60mmHg**、**脈拍110/分**、**呼吸数24/分**、**皮膚は乾燥**、**ツルゴールは低下**、**搬送時点での体重50kg** (元々の体重は不明)  
Hb12、**Na180**、K4.0、Cr0.7、BUN35、UA8、尿蛋白(－)、潜血(－)、  
尿中Na 8、尿中K25、半年前の検査でHb12、Cr0.7

- ✓ 明らかなIntake低下を示唆する**病歴**
- ✓ 細胞外液低下(脱水)よりも細胞内液低下(高張性)脱水が主体の**所見**(意識障害)や**検査結果**



# この患者さんの体液異常の病態

$$ECF \times [Na^+] = \text{一定}$$



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

$$\frac{180 - 140 \left(\frac{meq}{L}\right)}{0.5 \left(\frac{meq}{L/hr}\right)} = 80hr \rightarrow 4 \text{ 日間で補正}$$

# 実際の考える輸液の処方

Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	160 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	600	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11 (110meq/Lx0.1L/日)

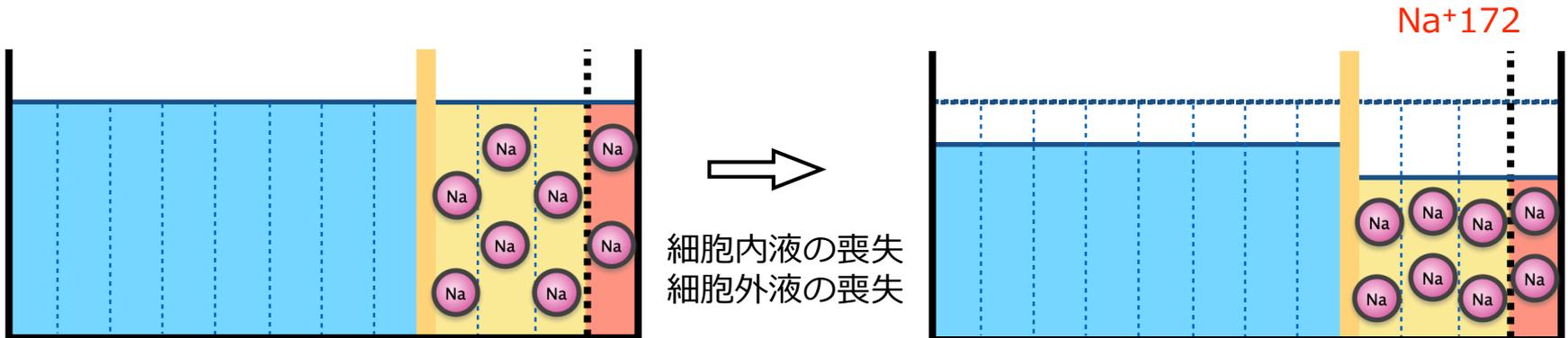
輸液製剤	容量	[Na <sup>+</sup> ]	[K <sup>+</sup> ]
3号液 (B-fluid)	1000	35meq	20meq
5%ブドウ糖液	250	0	0

維持輸液（3号液）よりやや低張

## 適切な初期輸液は？ 演題3（混合性脱水）

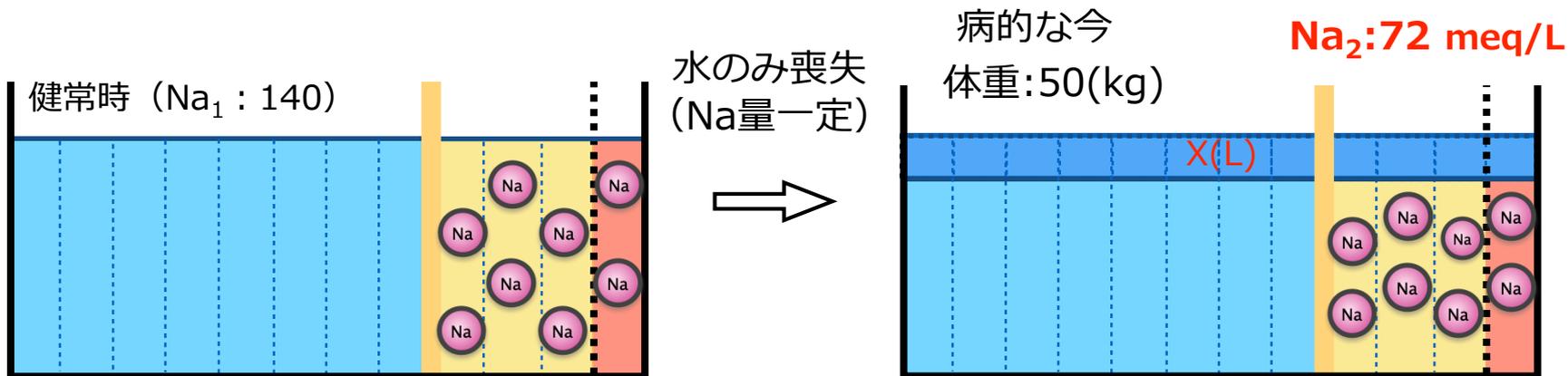
75歳男性。1週間前から目眩・嘔気で経口摂取が出来ず。意識障害が出現し救急搬送。搬送時の体温36.6度、**血圧90/60mmHg**、**脈拍110/分**、**呼吸数24/分**、**皮膚は乾燥**、**ツルゴールは低下**、**搬送時点での体重50kg**（元々の体重は不明）  
**Hb15**、**Na172**、**K3.0**、**Cr1.9**、**BUN65**、**UA10**、尿蛋白（－）、潜血（－）、  
尿中Na 8、尿中K25、半年前の検査でHb12、Cr0.7

- ✓ 明らかなIntake低下を示唆する**病歴**
- ✓ 細胞外液低下（脱水）による腎前性腎不全を示す**検査値異常**
- ✓ 細胞内液低下（高張性脱水）を示す**検査値異常**



# この患者さんの体液異常の病態

$$ECF \times [Na^+] = \text{一定}$$



$Na_1$ 量( $ECF_1 \times [Na_1^+]$ )

$$\frac{(A \times 0.6 + X) \times \frac{1}{3} \times Na_1}{\text{健常時の水分量}}$$

健常時の細胞外液量

=

$Na_2$ 量( $ECF_2 \times [Na_2^+]$ )

$$\frac{(A \times 0.6) \times \frac{1}{3} \times Na_2}{\text{今の水分量}}$$

今の細胞外液量

$$X = (50 \times 0.6) \times \frac{172 - 140}{140} = 6.8L$$

$$\frac{172 - 140 \left(\frac{meq}{L}\right)}{0.5 \left(\frac{meq}{l/hr}\right)} = 64hr \rightarrow 3\text{日間で補正}$$

# 実際の考える輸液の処方

Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	165 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	600	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11 (110meq/Lx0.1L/日)

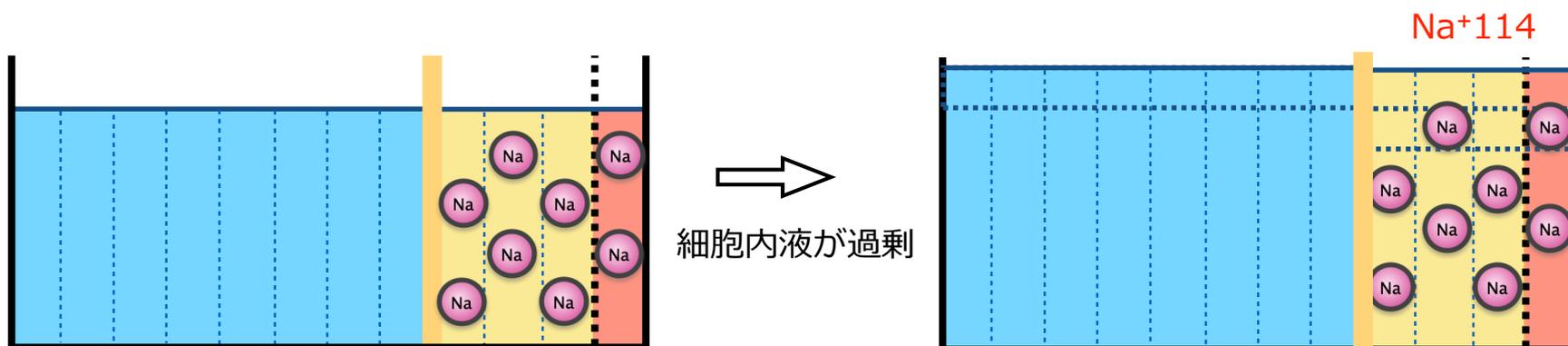
輸液製剤	容量	[Na <sup>+</sup> ]	[K <sup>+</sup> ]
3号液 (B-fluid)	1000	35meq	20meq

まんま維持輸液 (3号液)

## 適切な初期輸液は？ 演題3（低Na血症）

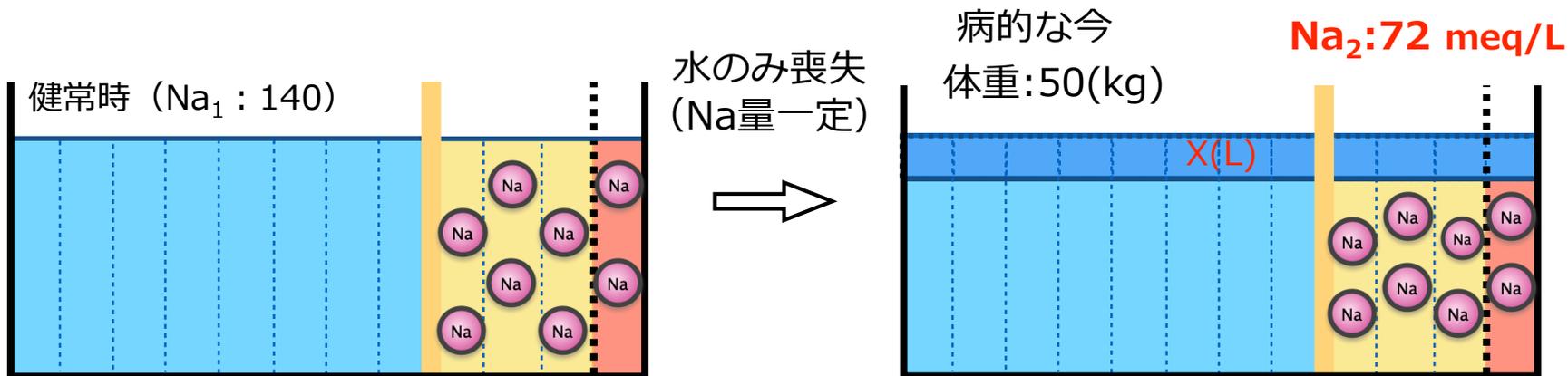
54歳女性。下部胆管がんによる閉塞性黄疸でPTGBD（経皮的胆嚢ドレナージ）中。  
絶食で末梢補液（B-Fluid2000ml/日）。外見上の横断は改善しているが、倦怠感が強くなり検査を行ったところ、Na114、K4.2、Cr0.5と低ナトリウム血症をきたし腎内紹介。  
体重45kg（入院時46kg）、入院時Na146、K3.8、Cr0.5であった。  
意識は清明、紹介時B-Fluid80ml/時、PTGBD排液から昨日500mlの排液

- ✓ 体重減少はわずかで脱水はない
- ✓ 水過剰が入院後進行しているが、医原性では？
- ✓ 胆汁喪失にたいして、補充が維持輸液（低張液）



# この患者さんの体液異常の病態

$$ECF \times [Na^+] = \text{一定}$$



Na<sub>1</sub>量( $ECF_1 \times [Na_1^+]$ )

$$\frac{(A \times 0.6 + X) \times \frac{1}{3} \times Na_1}{\text{健常時の水分量}}$$

健常時の細胞外液量

=

Na<sub>2</sub>量( $ECF_2 \times [Na_2^+]$ )

$$\frac{(A \times 0.6) \times \frac{1}{3} \times Na_2}{\text{今の水分量}}$$

今の細胞外液量

$$X = (45 \times 0.6) \times \frac{114 - 140}{140} = -5.0L$$

$$\frac{140 - 114 \left(\frac{meq}{L}\right)}{0.5 \left(\frac{meq}{l/hr}\right)} = 52hr \rightarrow 2.5\text{日間で補正}$$

# 実際の考える輸液の処方

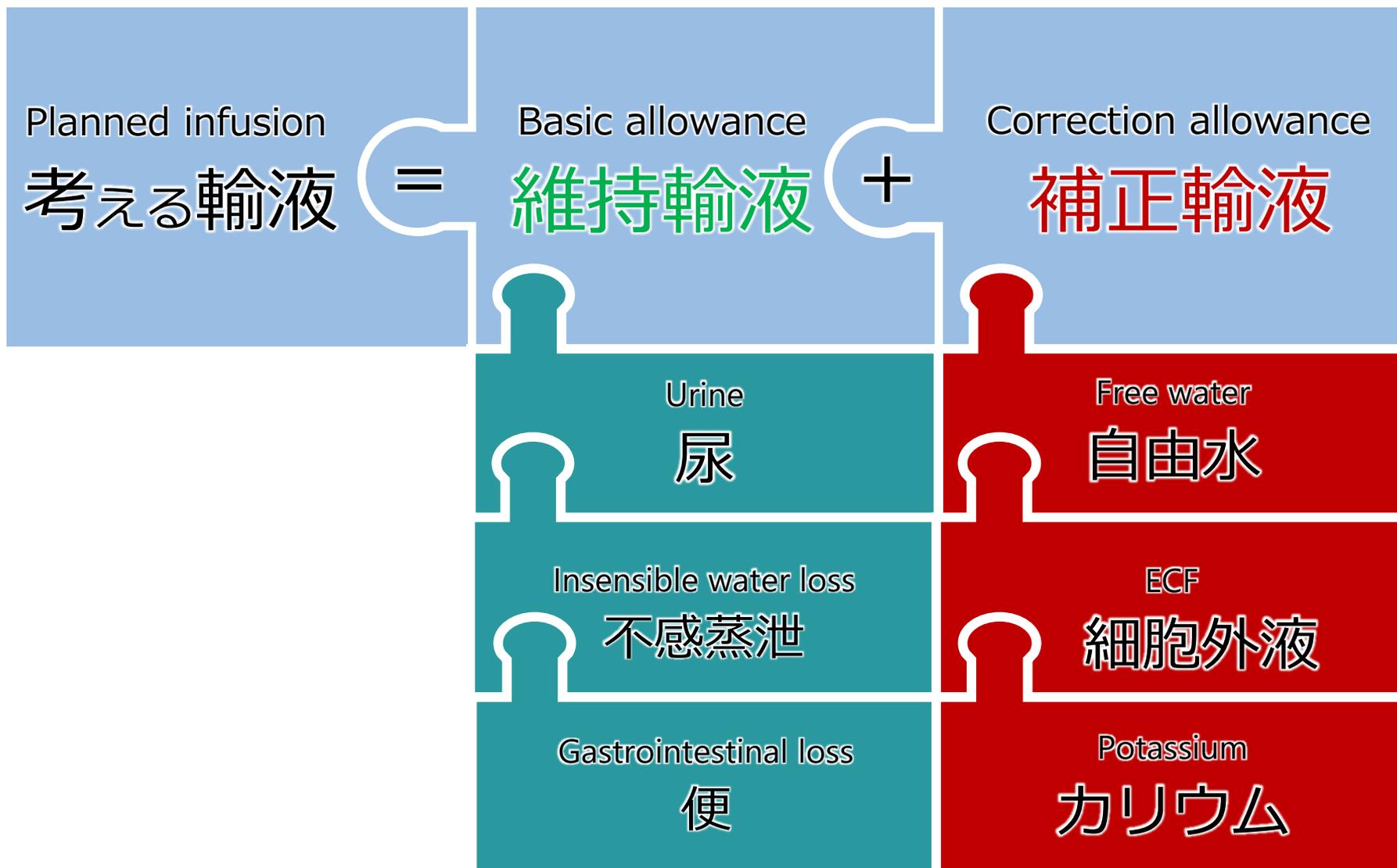
Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	165 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	600	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100+500	10+70 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11+70 (110meq/Lx0.1L/日)

輸液製剤	容量	[Na <sup>+</sup> ]	[K <sup>+</sup> ]
生食	500+100	77+15meq	0 meq
10%NaCl	50	85	0
KCL	40	0	40
合計	690	177	40

だいたい2%生食30ml/Hr

教科書には3%生食0.5ml/kg/Hr

# 考える輸液の基本原則



# 考える輸液の処方

Allowance	水 (ml/日)	電解質(mEq/日)		
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
尿 Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)	165 (110meq/Lx1.5L/日)
不感蒸泄 ISWL	15ml/kg/日	0	0	0
消化管喪失 GI loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)	11 (110meq/Lx0.1L/日)
自由水 Free water				
細胞外液 ECF		(150meq/L x 0L)	(0meq/L x 0L)	(150meq/Lx0L)
カリウム Potassium				
合計				
組成				

## ユニバーサル(普遍的)

臨床的にほとんど全ての水・電解質異常は  
たった**1つの考え**で解決出来る

## シンプル(簡潔)

臨床的に多くの水・電解質異常は  
生食・糖液・10%NaCl・KCLで治療できる  
(慣れたら上手に調整された輸液も使うと便利)

# 参考文献と本日の資料

## 参考文献

- ・ B.H.スクリプナー 体液・電解質バランス—臨床教育のために—（絶版）
- ・ 深川雅史 体液電解質異常と輸液
- ・ 和田孝雄 輸液を学ぶ人のために
- ・ Intensivist 輸液・ボリューム管理
- ・ 今井裕一 輸液ができる、好きになる
- ・ 川上大裕 ICU輸液力の法則

