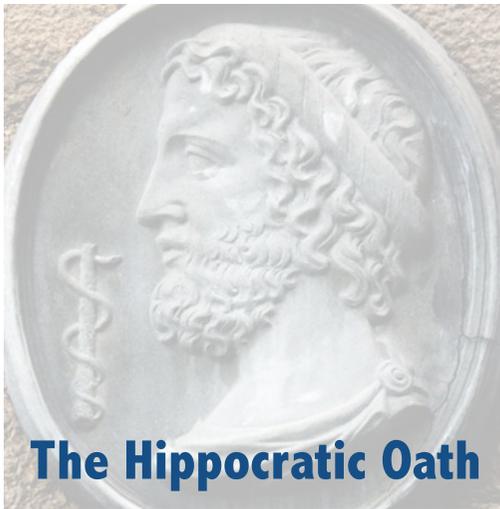


# 輸液療法の基本 の基本(その1)

病態を考えた理論的に正しく  
シンプルな輸液を目指して



**The Hippocratic Oath**

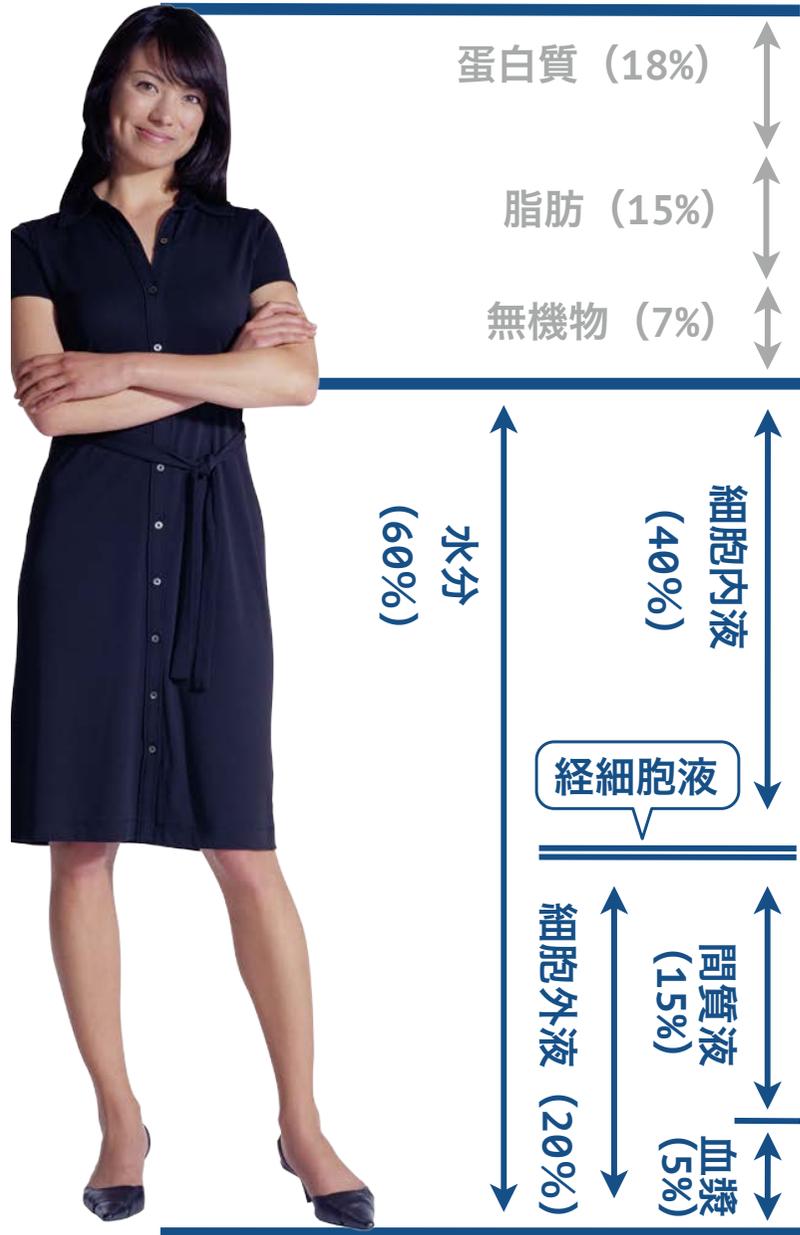
I will prescribe regimens  
for the good of my patients  
according to my ability and  
my judgment and  
**NEVER DO HARM** to anyone.

**松山赤十字病院 腎センター**

Matsuyama Red Cross Hospital Kidney Center

# 輸液療法を理解するための 基礎知識

# 体液の分布



## 体液の3大原則

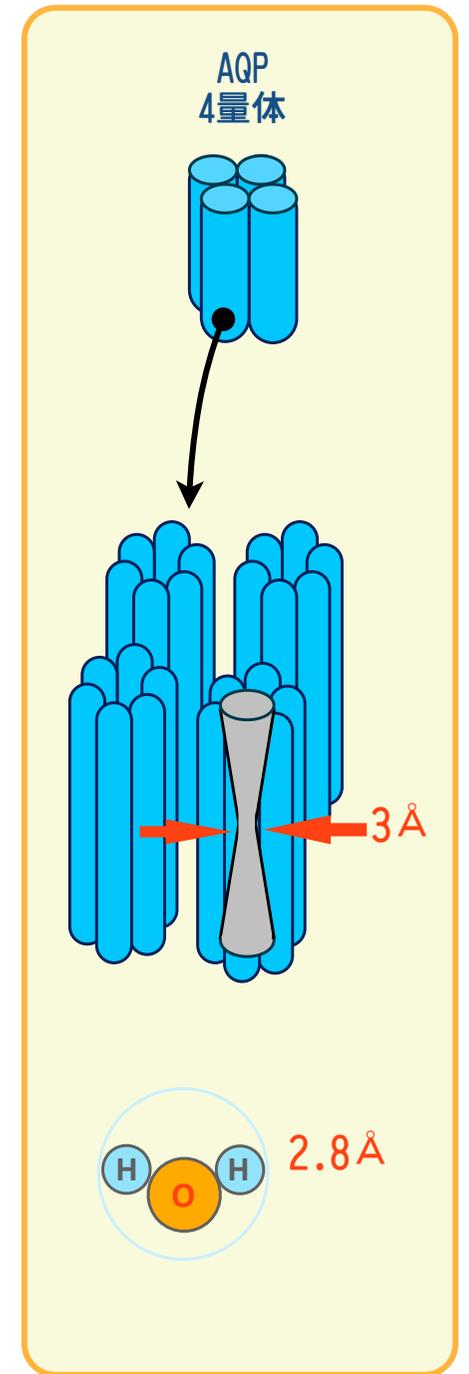
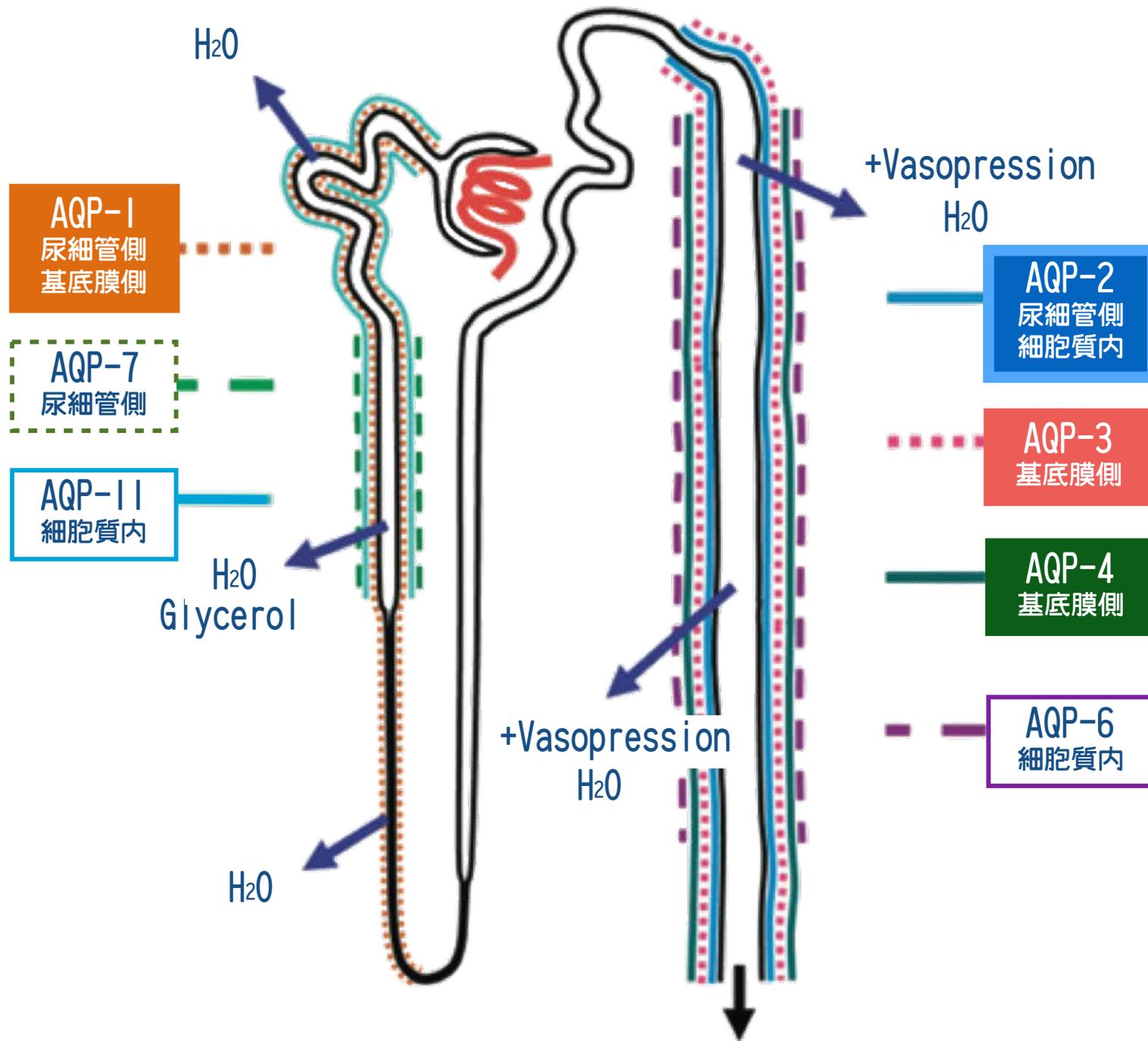
- ① 水は細胞内液・細胞外液・経細胞液のどこかに存在
- ② 水は静水圧と浸透圧差により細胞膜を自由に移動
  - ▶ アクアポリン(AQP)のオカゲ
- ③ 電解質は細胞膜を自由に通過出来ない
  - ▶ イオンチャネル、トランスポーターが関所



体内のほとんどの部分で、  
細胞内液・間質液・血漿  
の浸透圧は同じ

体内で大きな浸透圧差が存在するのは、  
尿濃縮の特殊機構(AVP-V2R-AQP2)を  
持つ哺乳類と鳥類の腎臓髓質部のみ

# 少しAquaporinの話



# Aquaporinの体内分布

AQP	水透過性	体内分布
AQP0	Low	レンズ (眼球)
AQP1	High	赤血球, 肺, 腎, 脳, 眼球, 血管内皮
AQP2	High	腎 ← <b>唯一発現が調節されるAQP(AVP)</b>
AQP3	High	皮膚, 腎, 肺, 眼球, 消化管
AQP4	High	腎, 脳, 肺, 消化管
AQP5	High	唾液腺, 汗腺, 肺
AQP6	Low	腎
AQP7	High	脂肪組織, 腎, 睪丸
AQP8	High	腎, 肝, 膵, 消化管, 睪丸
AQP9	Low	肝, 白血球, 脳, 睪丸
AQP10	Low	消化管
AQP11	?	脳, 肝, 腎
AQP12	?	?

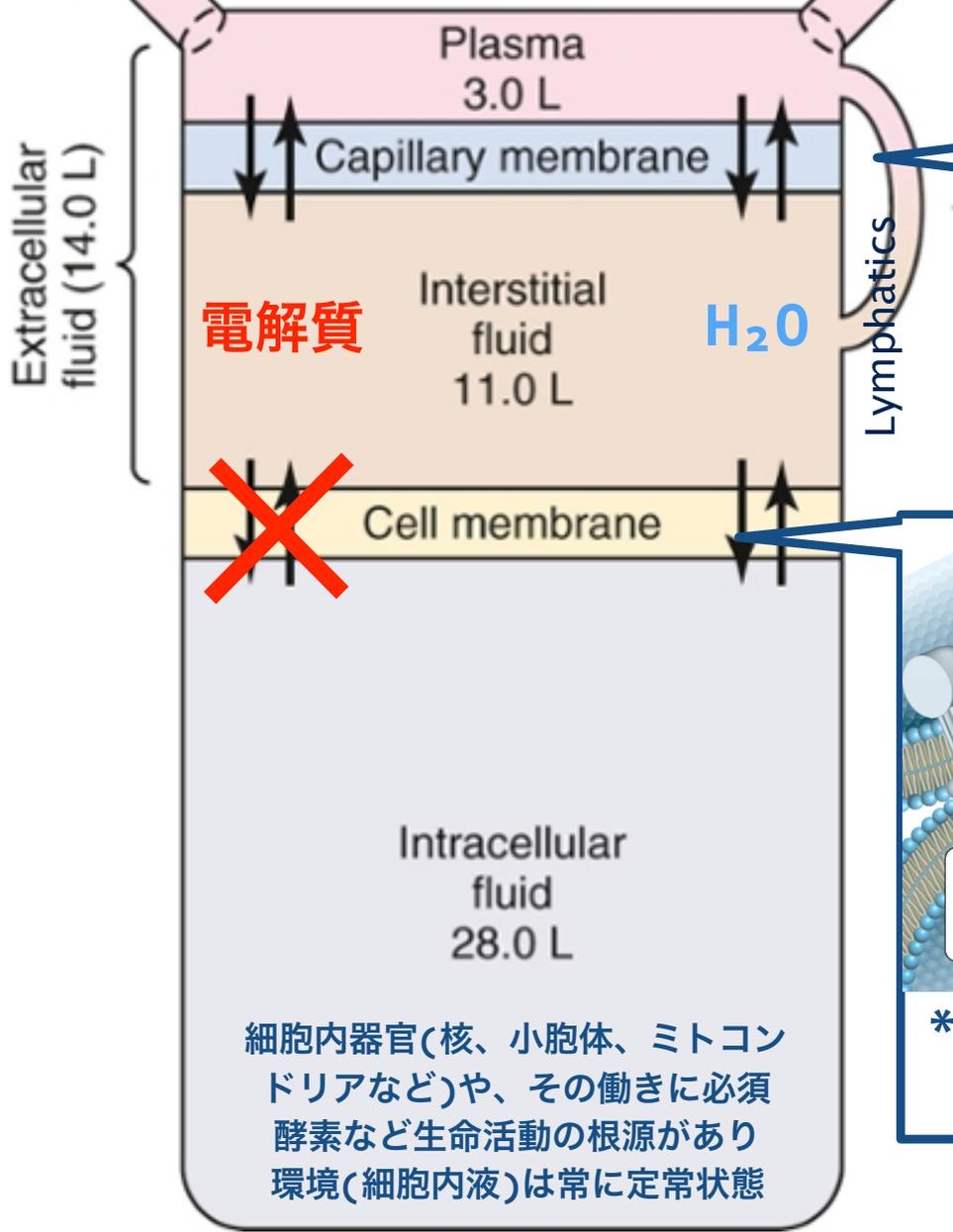
BBB周囲のアストロサイト足突起に豊富に存在。AQP4抗体により細胞障害が起こるとNMO

**Output**

- 腎臓
- 消化管
- 汗
- 肺
- 皮膚

**Intake** • 食事  
• 点滴

Extracellular fluid (14.0 L)

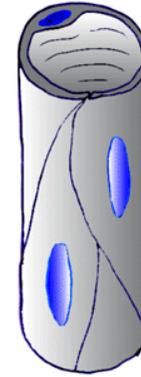


電解質

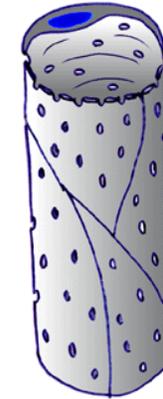
H<sub>2</sub>O

Lymphatics

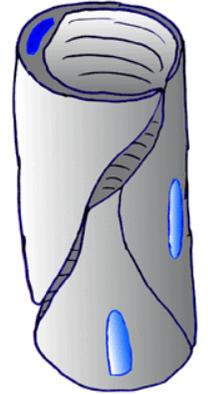
**Continuous Fenestrated Discontinuous**



fat muscle nerve

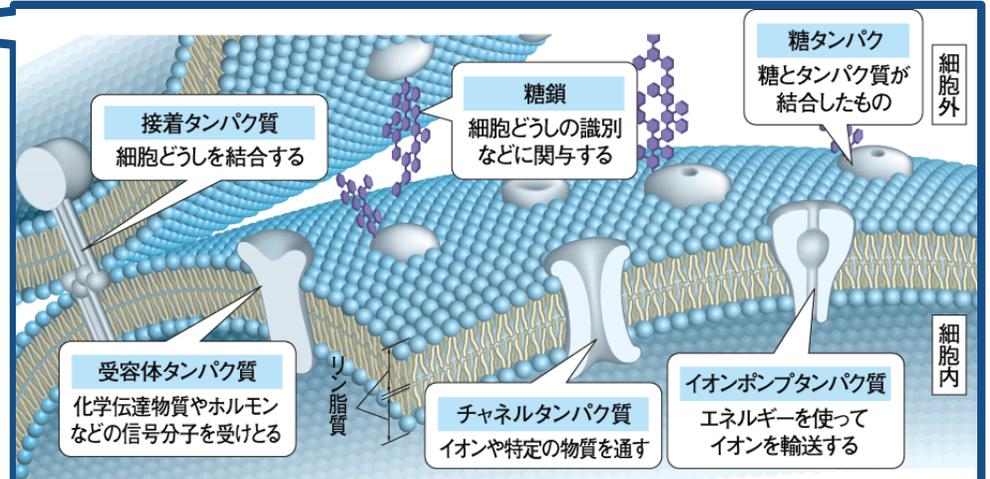


Interstitial Endocrine Glomerulus



Liver Bone marrow Spleen

\*血管壁は水・電解質ともに素通り



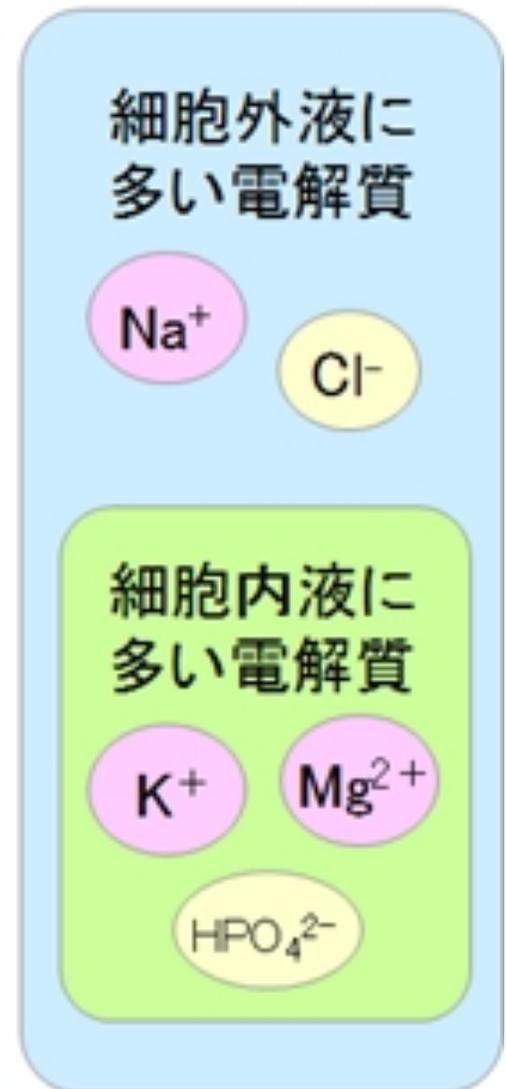
\*細胞膜は水はAQPで素通り、電解質はチャネル、ポンプで交通制限がかかる

細胞内器官(核、小胞体、ミトコンドリアなど)や、その働きに必須酵素など生命活動の根源があり環境(細胞内液)は常に定常状態

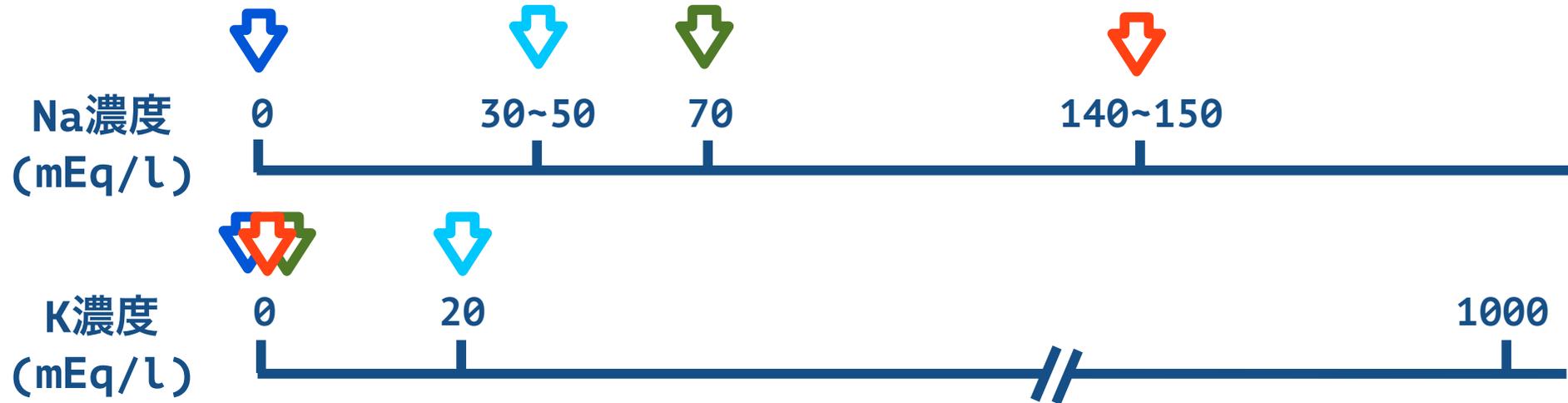
# 細胞内外の電解質組成

mEq/L		細胞外液		細胞内液
		血漿	組織間液	
陽 イ オ ン	Na <sup>+</sup>	142	144	15
	K <sup>+</sup>	4	4	150
	Ca <sup>2+</sup>	5	2.5	2
	Mg <sup>2+</sup>	3	1.5	27
	計	154	152	194
陰 イ オ ン	Cl <sup>-</sup>	103	114	1
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27	30	10
	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	2	100
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	1	20
	有機酸	5	5	
	蛋白質	16	0	63
計	154	152	194	

↑ 毛細血管壁      ↑ 細胞膜



# 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：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とK0meq/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で合計55meq/Lと細胞外液の1/3の電解質（病態維持のための補液）

## なぜFree waterが5%ブドウ糖液？

浸透圧(0sm/L)=溶媒1L中の溶質の粒子数(mol)

$$\begin{aligned} 5\% \text{Glucose} &= 5\text{g}/100\text{ml} \\ &= 50\text{g}/1000\text{ml} \end{aligned}$$

ブドウ糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )のMw=180

$$\begin{aligned} &= 0.278\text{mol/L} \\ &= 278\text{mOsm/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi &= 2 \times \text{Na} + \text{BUN}/2.8 + \text{Glu}/18 \\ &= 5000/18 \\ &= 278\text{mOsm/L} \end{aligned}$$



ブドウ糖は速やかにGLUT(哺乳類ではほぼ全細胞表面に発現)によって細胞内に取り込まれ最終的にH<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>に分解される。

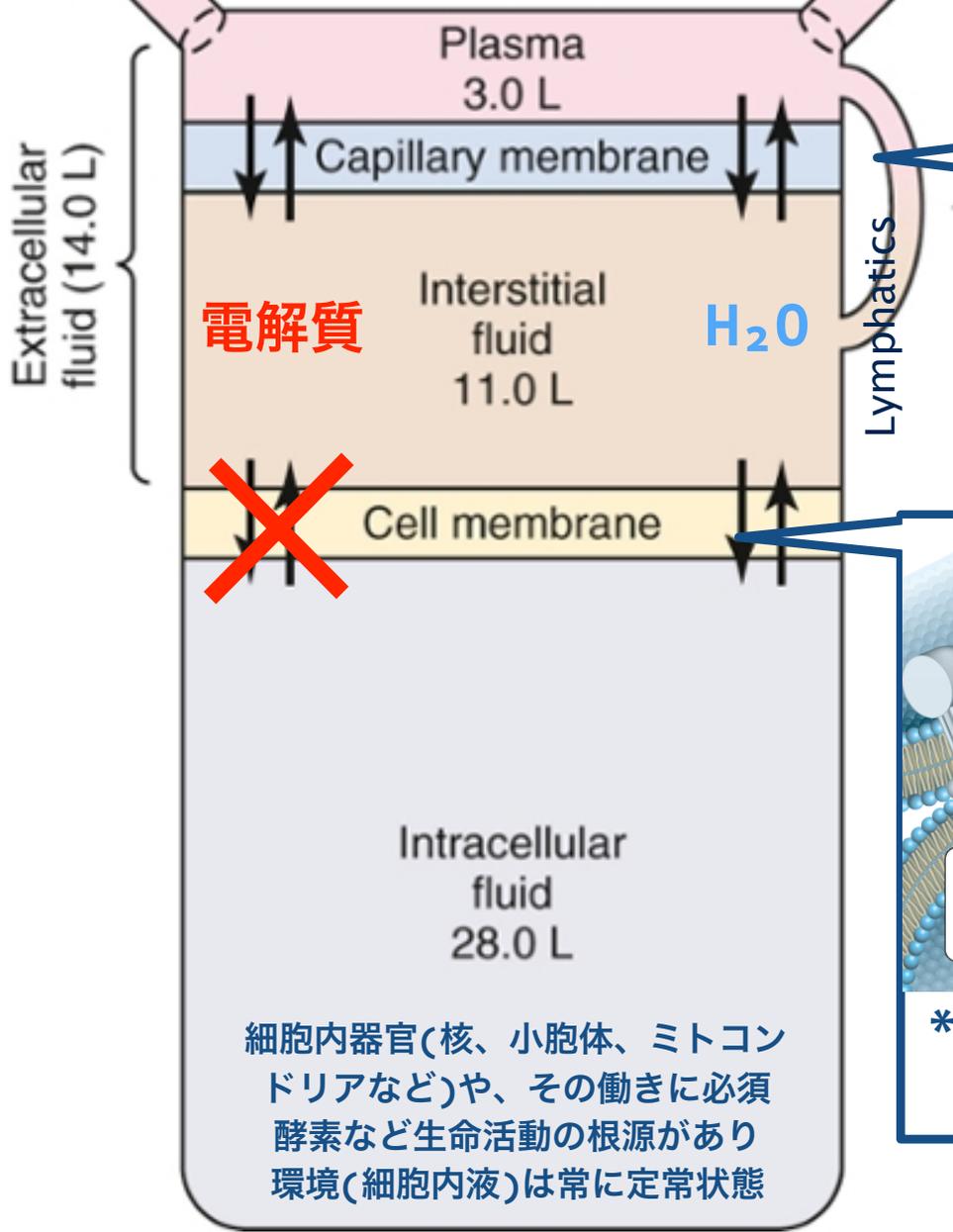
浸透圧=1の溶液として点滴され、糖代謝により速やかに浸透圧が消失する

**Output**

- 腎臓
- 消化管
- 汗
- 肺
- 皮膚

**Intake** • 食事  
• 点滴

Extracellular fluid (14.0 L)

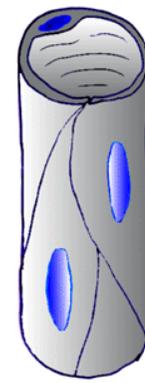


電解質

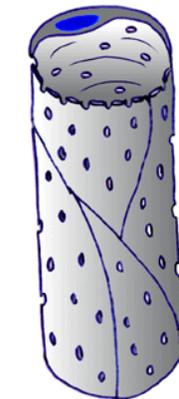
H<sub>2</sub>O

Lymphatics

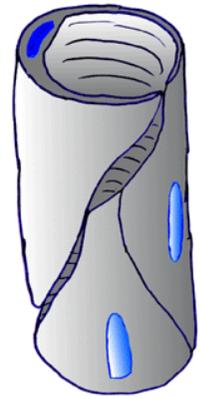
**Continuous Fenestrated Discontinuous**



fat muscle nerve

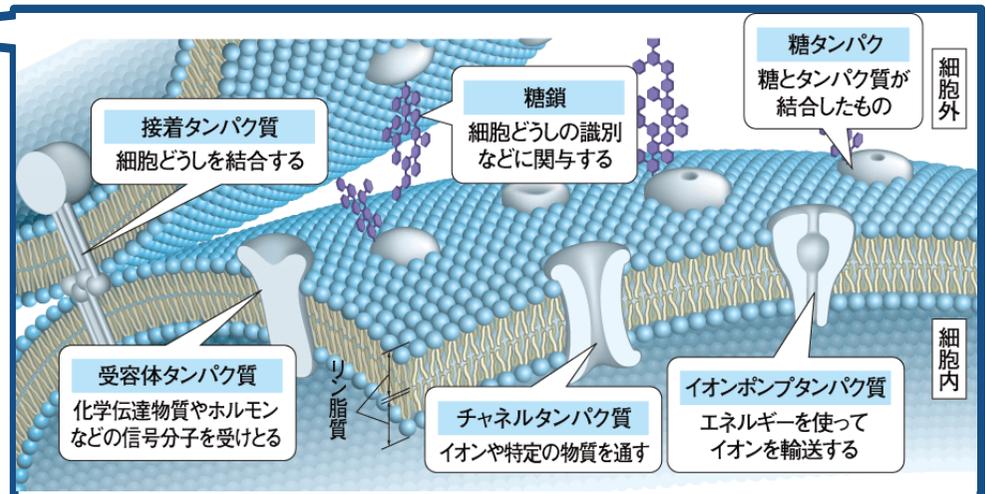


Interstitial Endocrine Glomerulus



Liver Bone marrow Spleen

\*血管壁は水・電解質ともに素通り

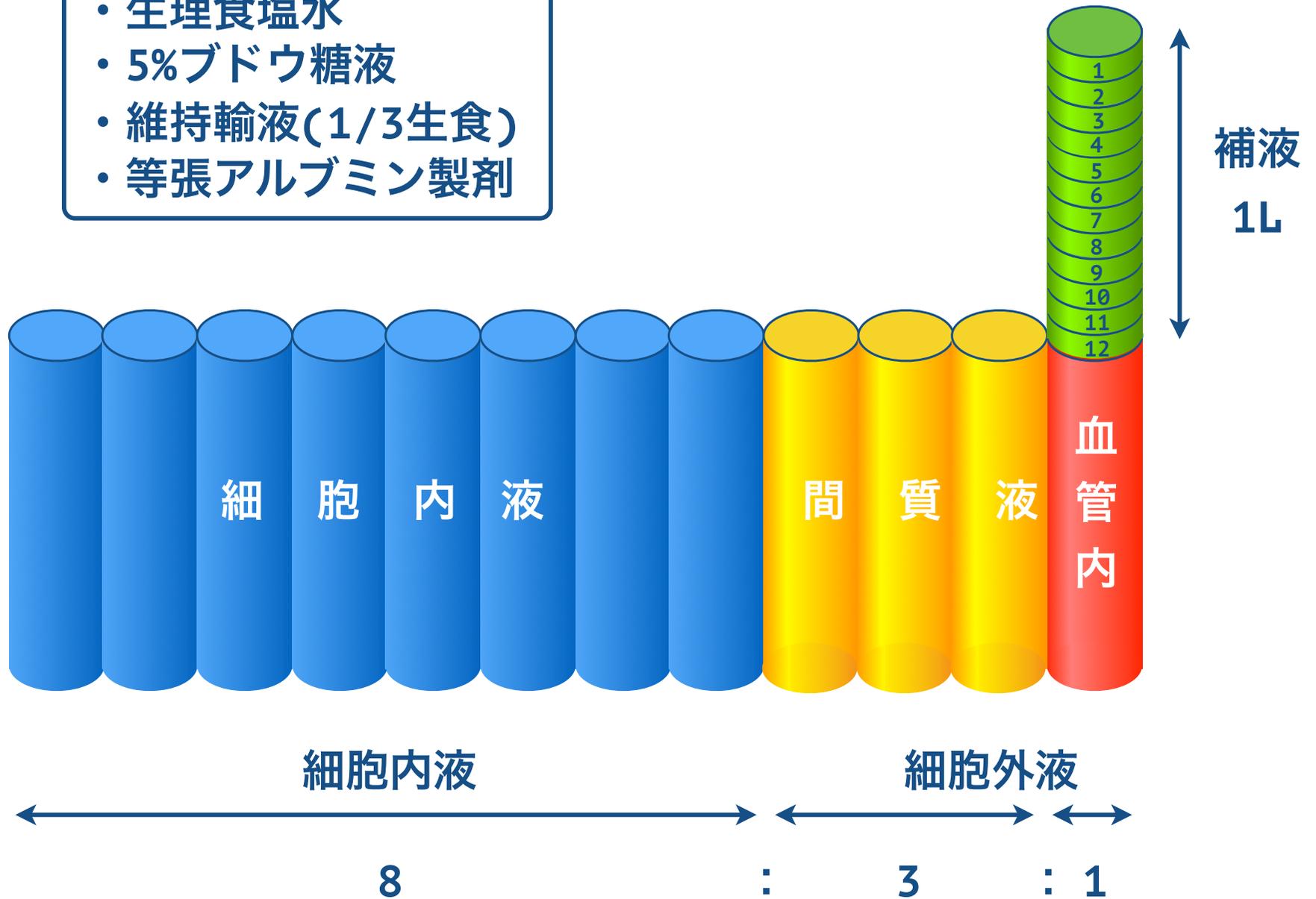


\*細胞膜は水はAQPで素通り、電解質はチャネル、ポンプで交通制限がかかる

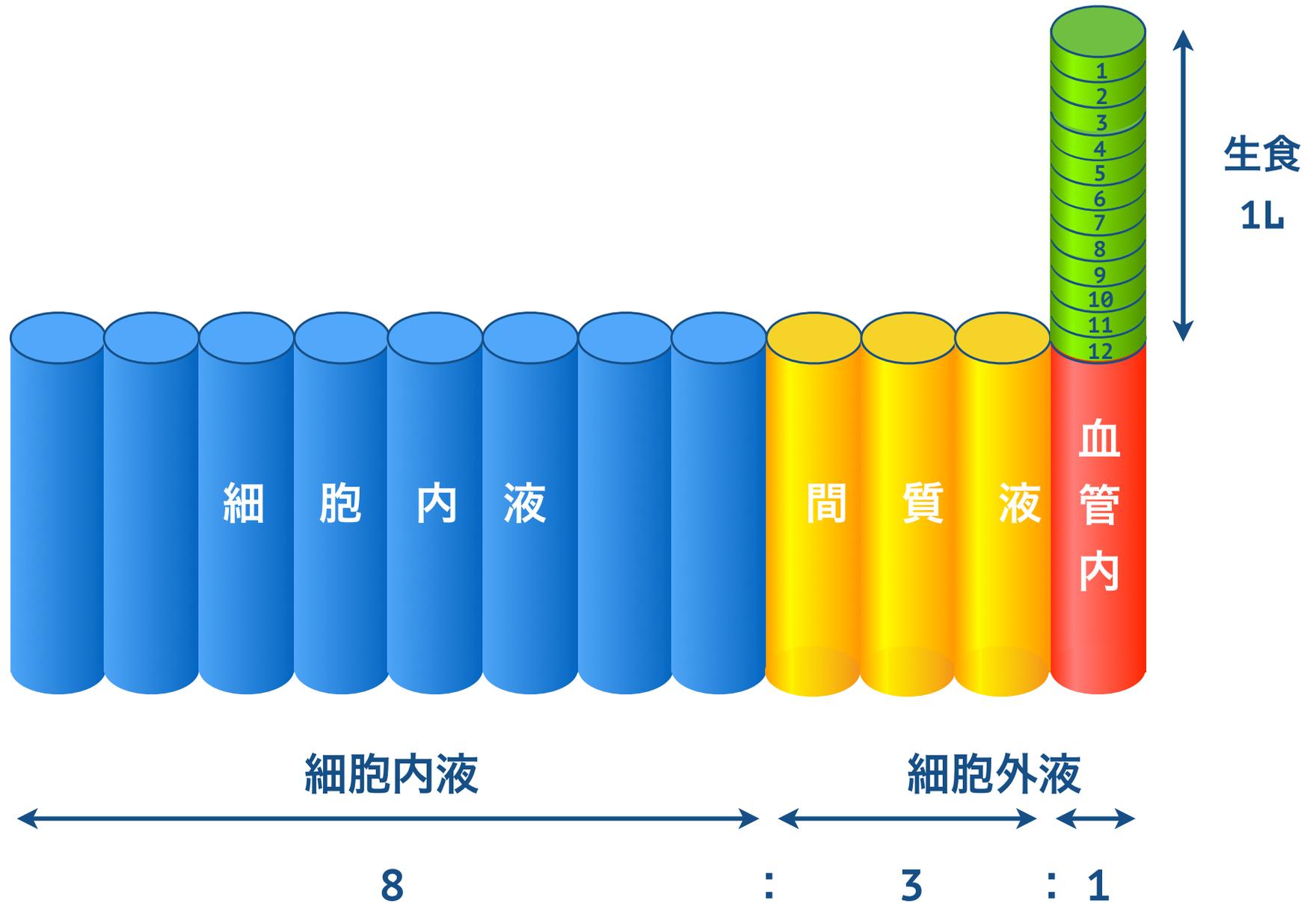
細胞内器官(核、小胞体、ミトコンドリアなど)や、その働きに必須酵素など生命活動の根源があり環境(細胞内液)は常に定常状態

# 各種輸液を1L点滴したときの水の分布

- 生理食塩水
- 5%ブドウ糖液
- 維持輸液(1/3生食)
- 等張アルブミン製剤

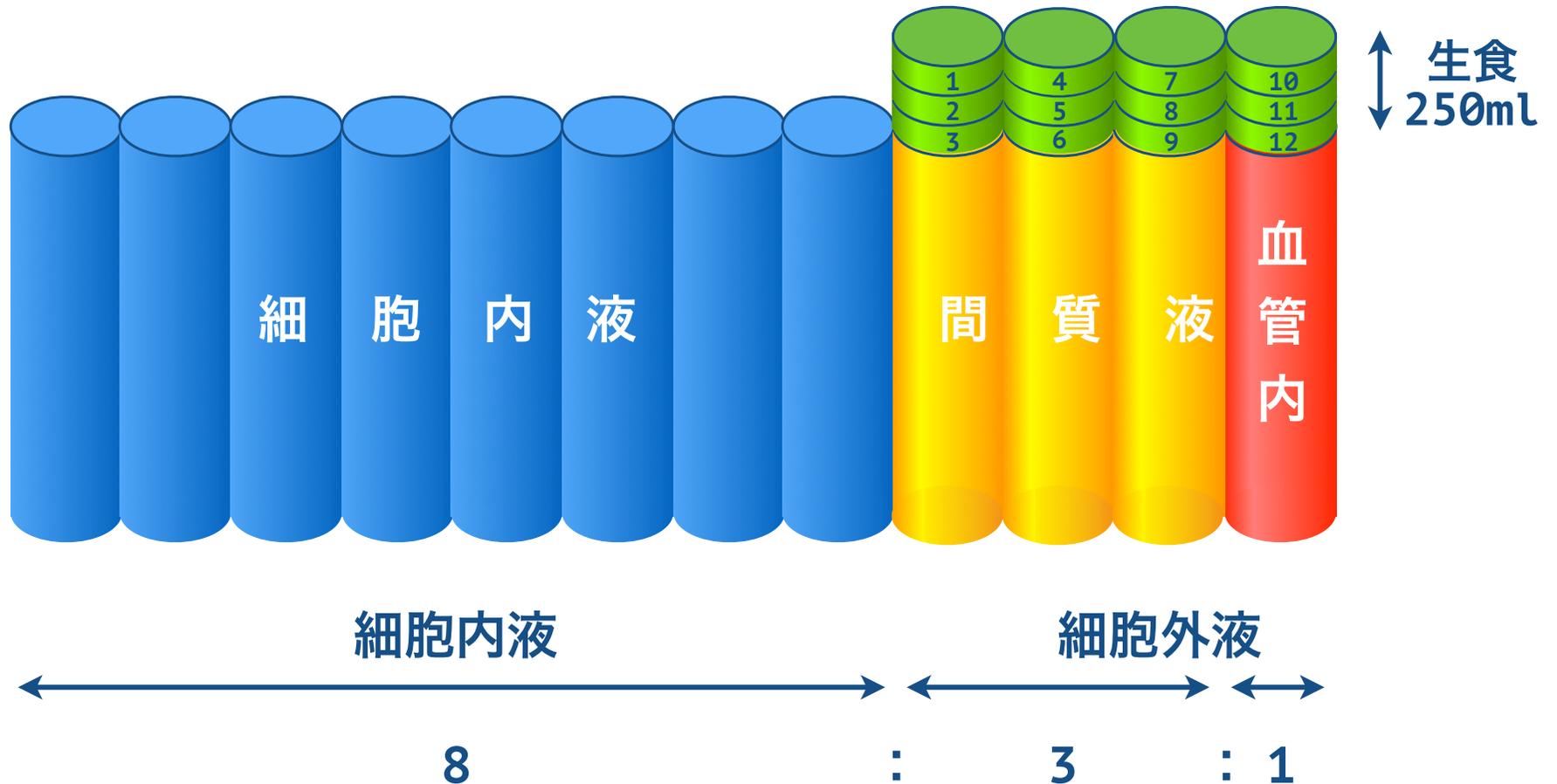


# 生理食塩水を1L点滴したときの水の分布

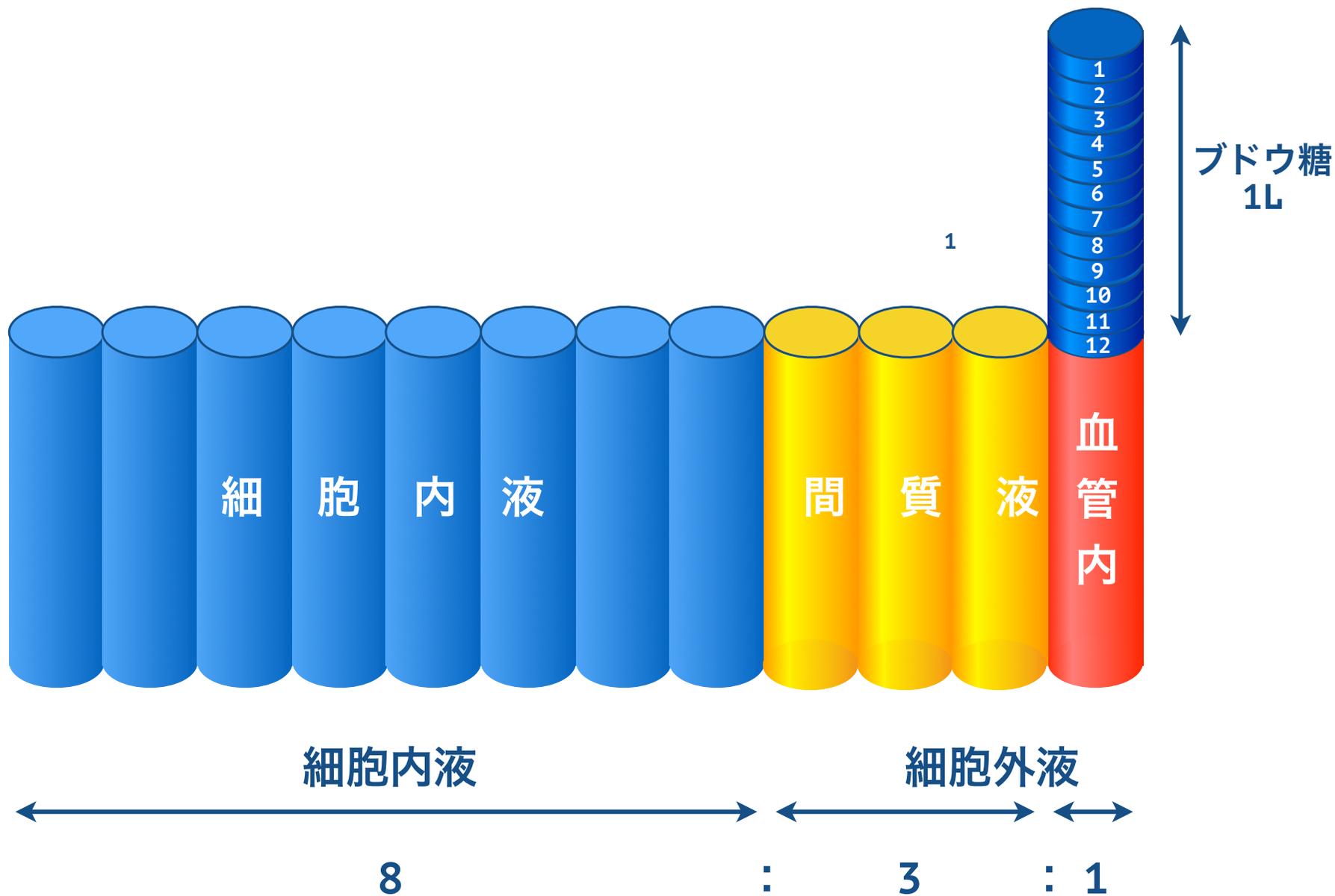


# 生理食塩水を1L点滴したときの水の分布

等張液として細胞外液(間質+血管内)に均等に分布  
血管内； $1000 \div 4 = 250\text{ml}$

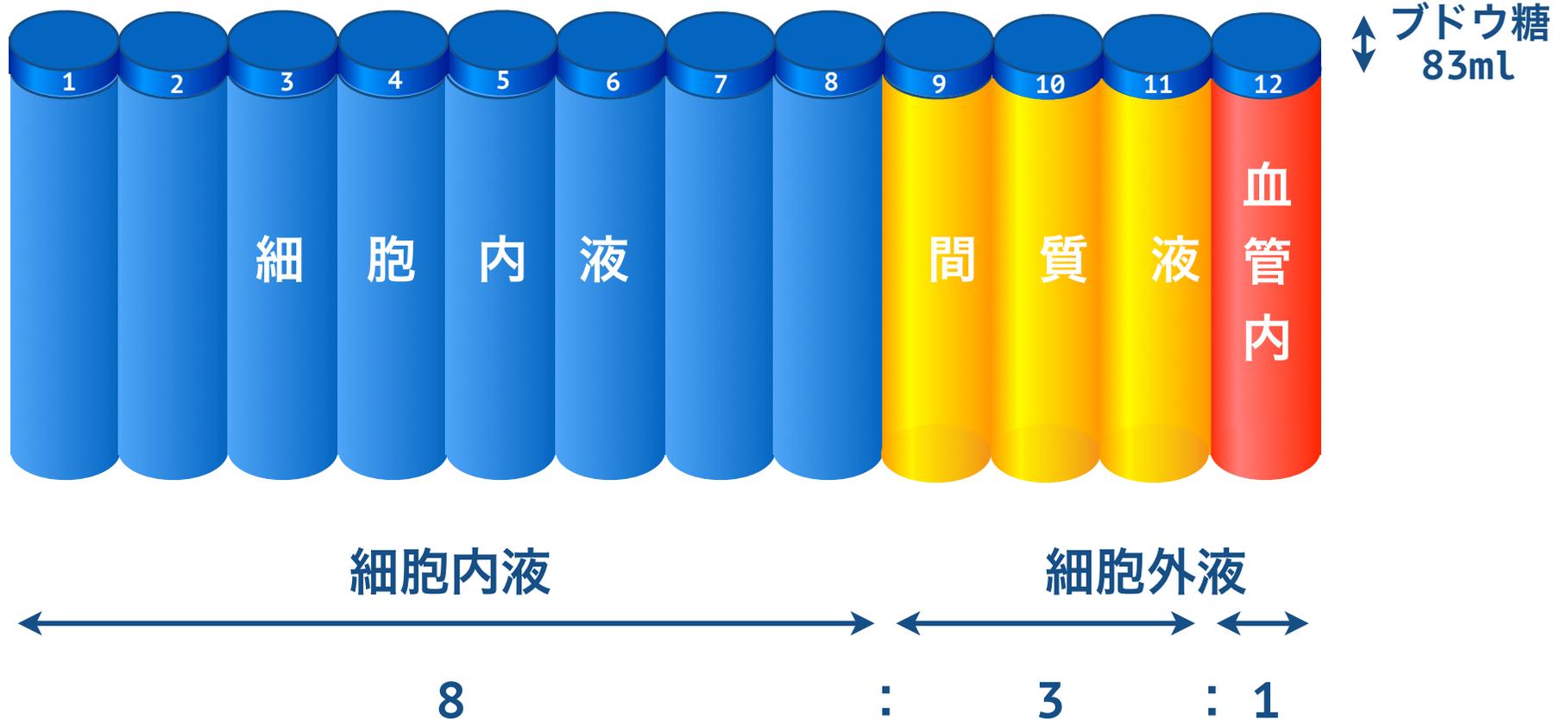


# 5%ブドウ糖を1L点滴したときの水の分布

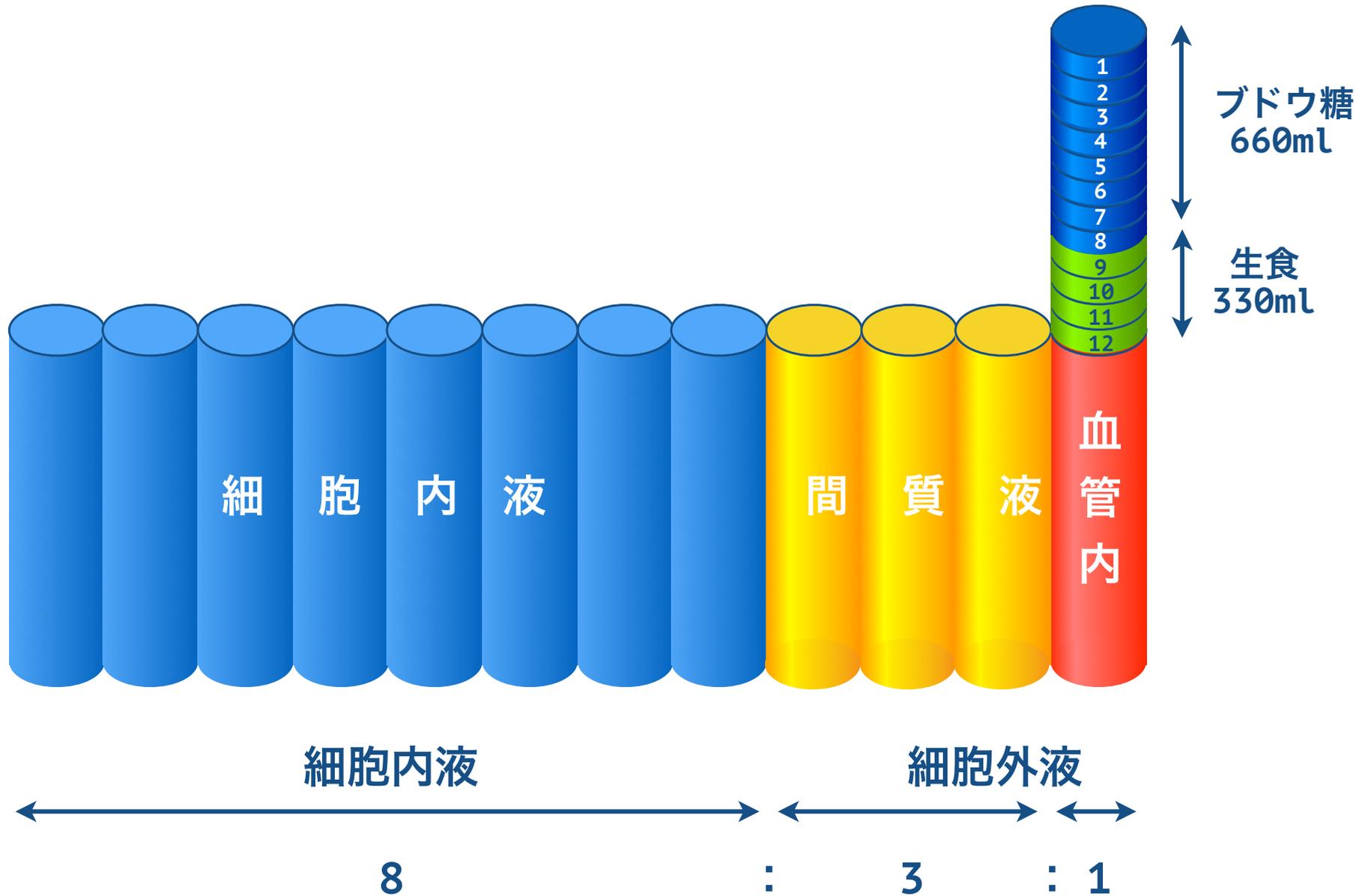


# 5%ブドウ糖を1L点滴したときの水の分布

自由水として体液全体(細胞内液+細胞外液)に均等に分布  
血管内； $1000 \div 12 = 83\text{ml}$

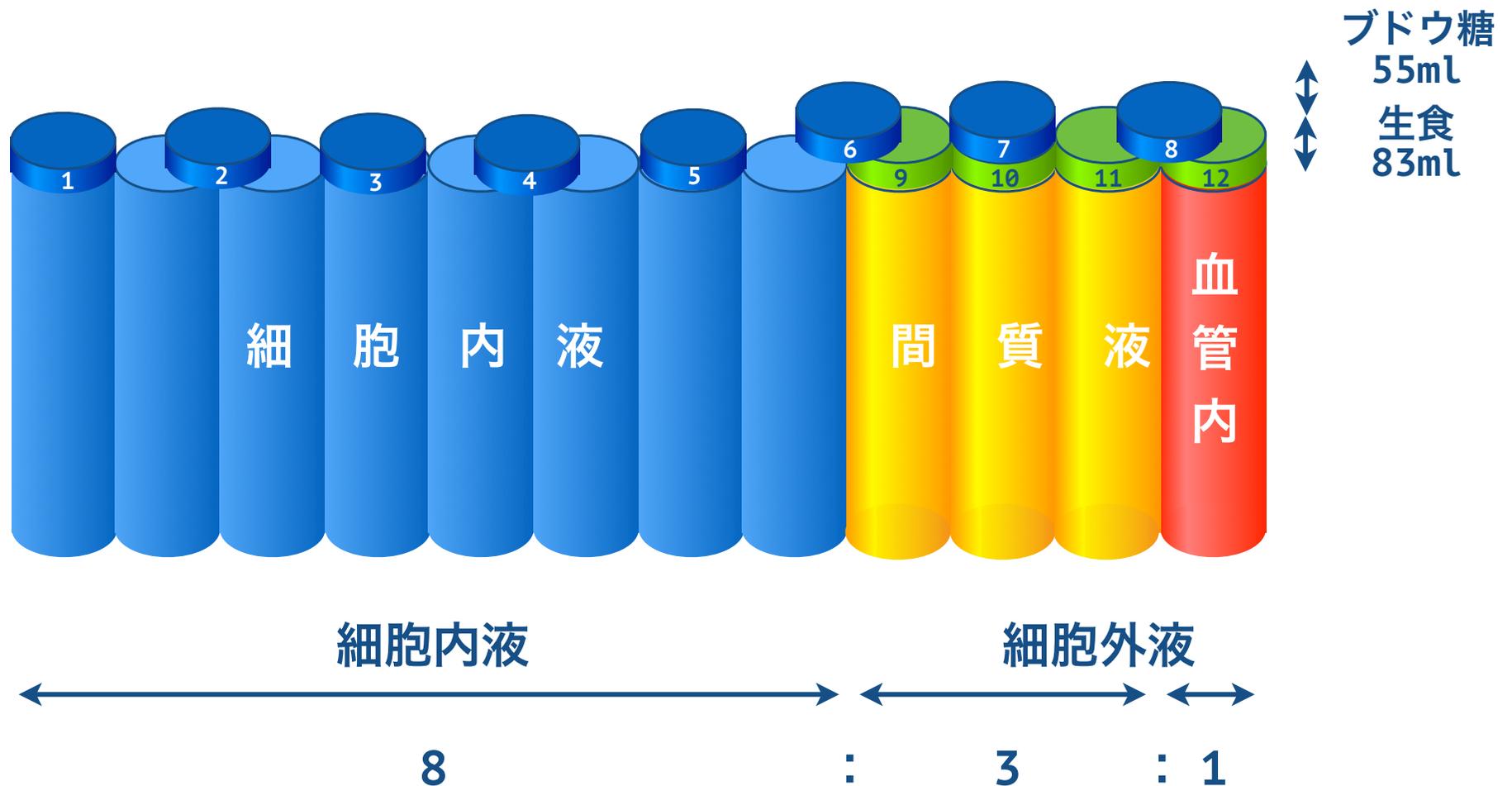


# 維持輸液を1L点滴したときの水の分布



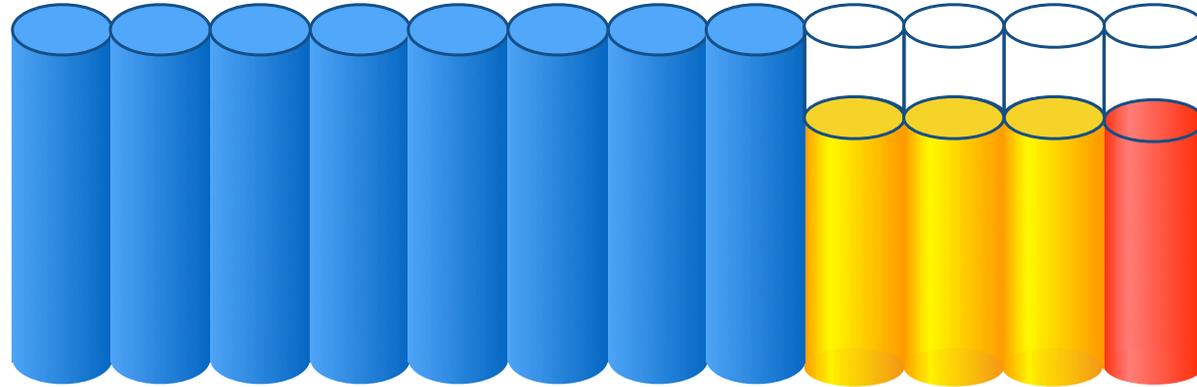
# 維持輸液(1/3生食)を1L点滴したときの水の分布

生理食塩水330mLの1/4(83mL)  
ブドウ糖660mLの1/12(55mL)

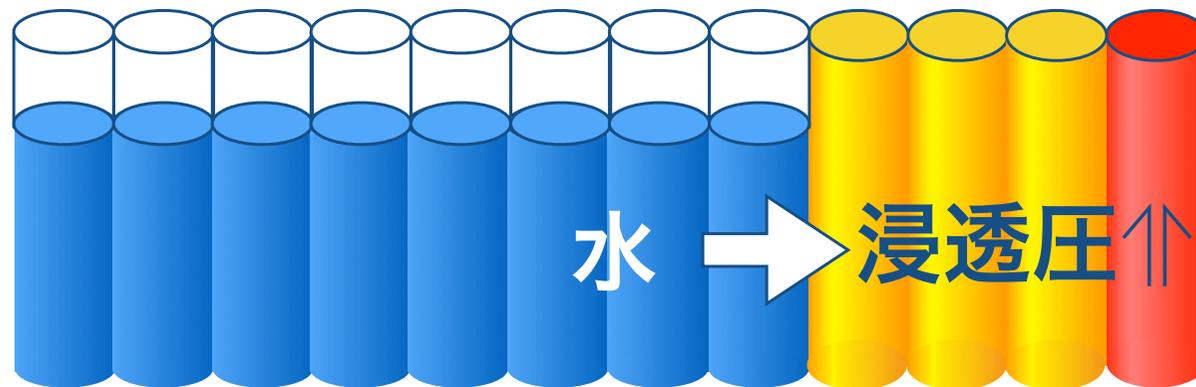


# 輸液の基本

細胞外に補液をしたいとき；生理食塩水



細胞内に補液をしたいとき；ブドウ糖液



その他、K、Ca、Mgなど個別の電解質代謝異常への対応

水・電解質の基本的な性質を理解して

今回は**考える輸液**の話をしたいと思います

# Dr. Scribnerの警鐘

種々の体液異常にあうように電解質を調合した輸液製剤を用いれば、非常に簡便で輸液を必要とする70～80%の症例は問題なく治療できる。  
(ex. 脱水=ラクテック、腎障害あり=KN1号)



## 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思考を修得出来ない。

腎代償作用が期待できない重症者に対し、理論的に正しい輸液を行うため、輸液療法の基本的原理を身につけましょう。

# 輸液

Planned infusion

||

# 維持輸液

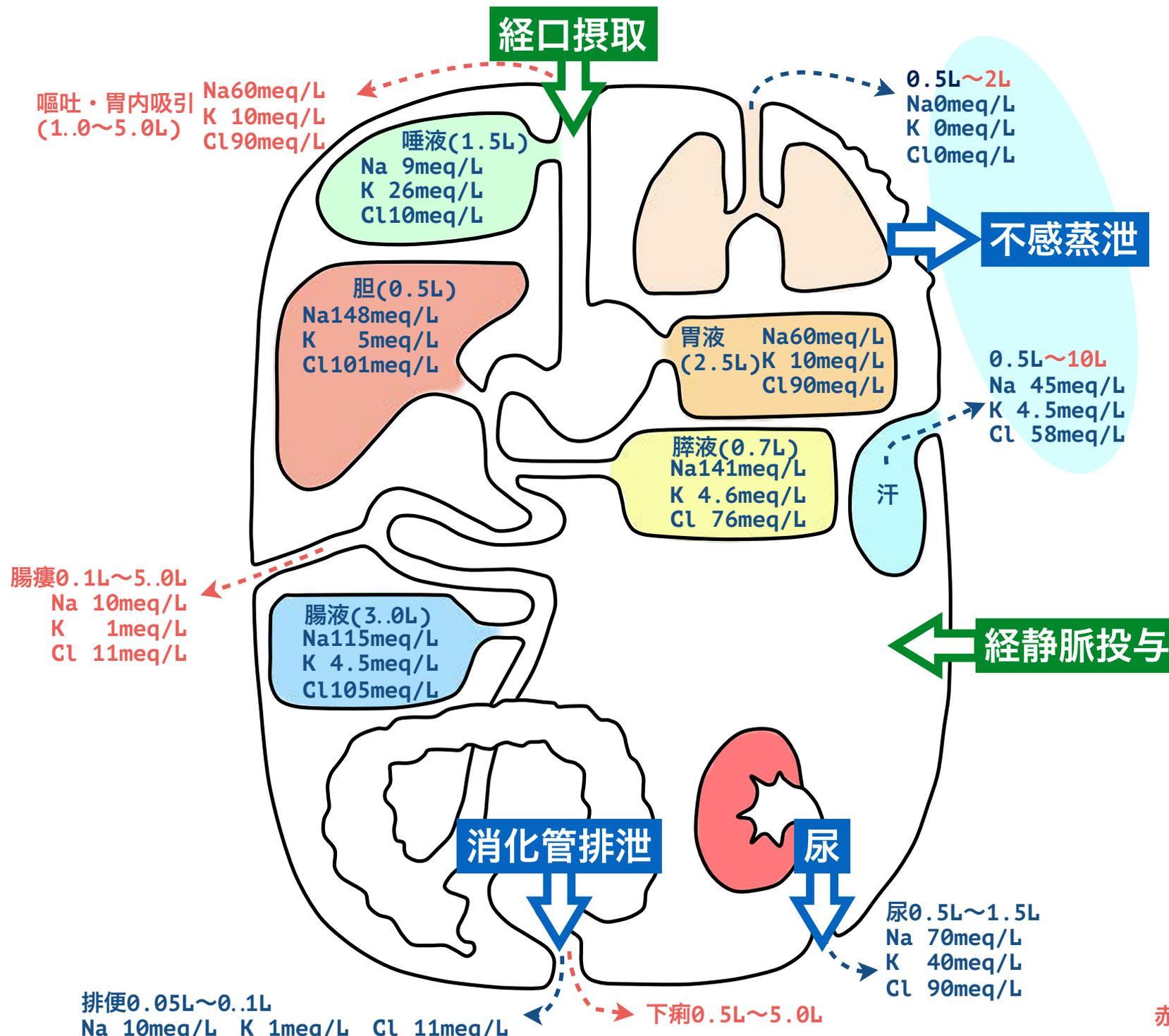
Basic allowance

+

# 補正輸液

Correction allowance





赤字は異常排泄

# 補正輸液は病態把握が重要

Hypo



-volemia  
-natremia  
-kalemia..

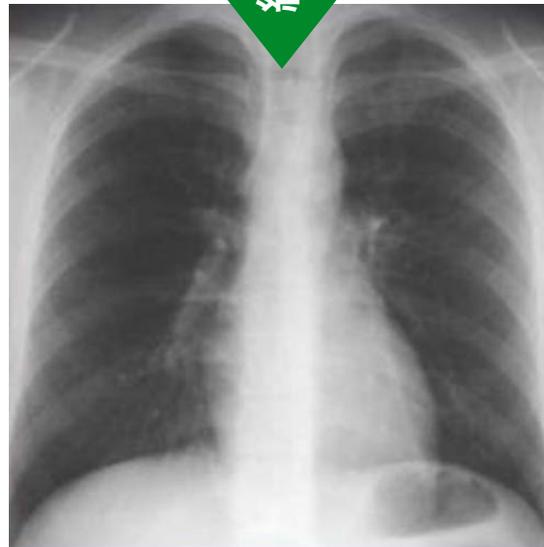
補正輸液

(+)の補正

Normo



維持輸液



Hyper

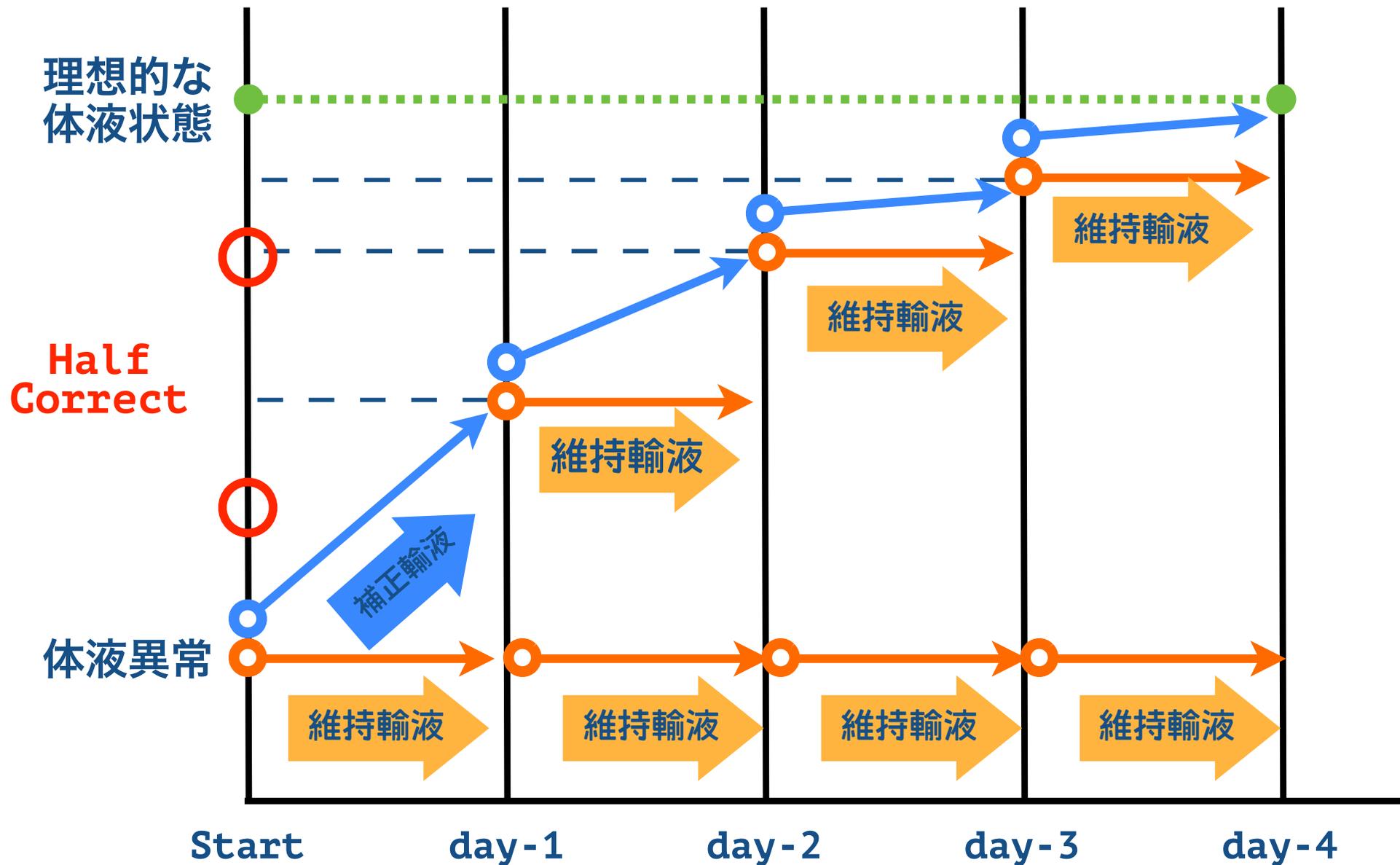


-volemia  
-natremia  
-kalemia..

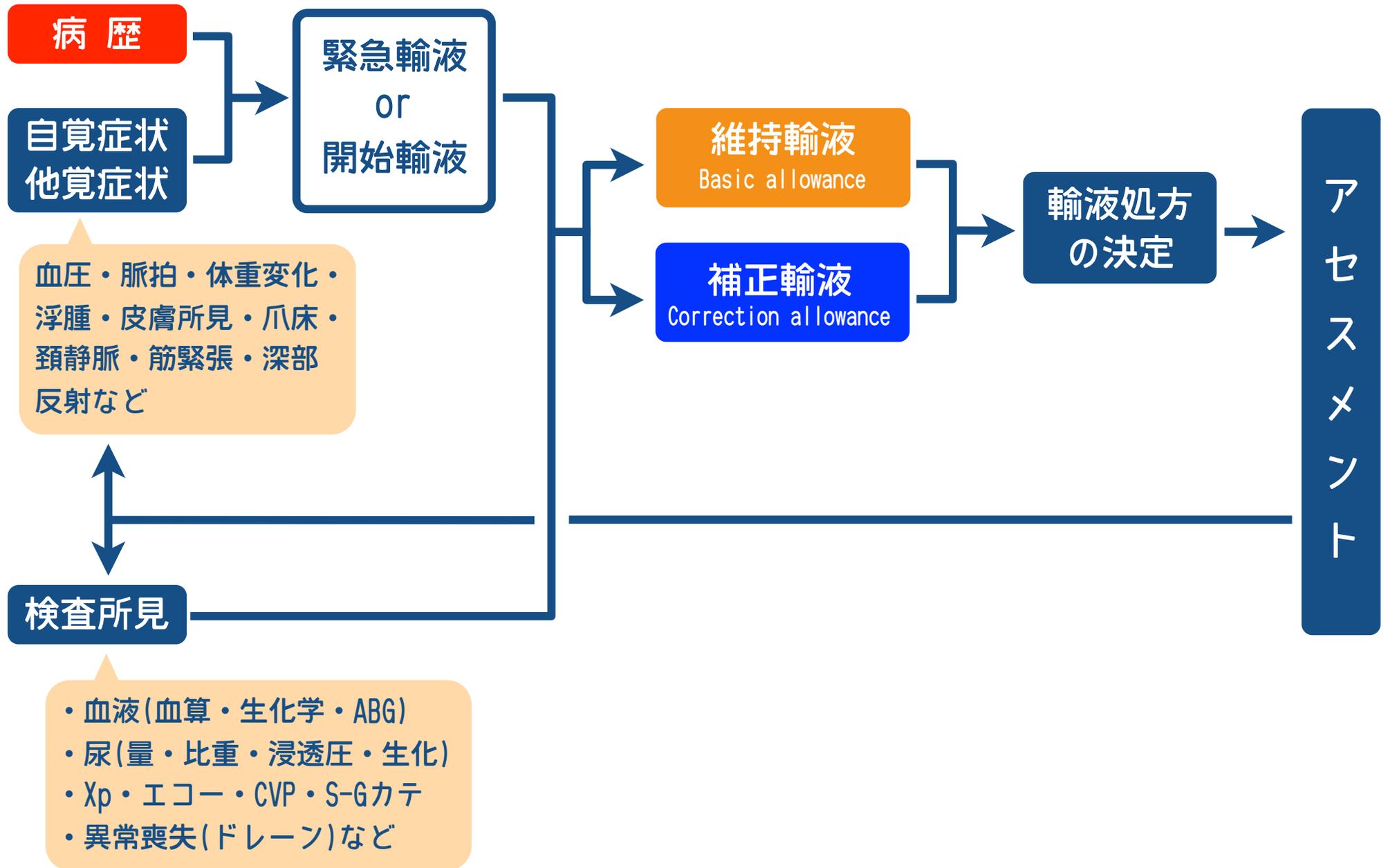
補正輸液

(-)の補正

# 維持輸液+補正輸液ではじめて治療



# 輸液療法のストラテジー



# 計画輸液 = 維持輸液 + 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(IWL)**・・・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。
- @ 等張尿の電解質濃度は  $[Na^+] = 70\text{meq/l}$   $[K^+] = 40\text{meq/l}$
- @ 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)。

## ⌘ 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

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

@ 不感蒸泄は一般的には電解質は含まない

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

# ⌘ 消化管の喪失 (basic allowance for GI loss)

消化管の喪失体液量推定は、**前の期間の喪失量**を参考に。

胃液・膵液・腸液・胆汁で組成に違いはあれど  
**Na; 100mEq/L Cl; 100mEq/L K; 10mEq/L**  
で臨床的には大体間違いない

@ 普通便のみなら、**水; 100ml / 日のLoss**でOK。

	Na	K	Cl	HCO <sub>3</sub> -
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
Urine	1500	105 (70meq/Lx1.5L/日)	60 (40meq/Lx1.5L/日)
ISWL	900 (60kgx15mL/kg/日)	0	0
GI Loss	100	10 (100meq/Lx0.1L/日)	1 (10meq/Lx0.1L/日)
合計	2500ml/日	115mEq/日	61mEq/日
	Volume : 2.5L/日	Na : 115mEq/2.5L = 46mEq/L	K : 60mEq/2.5L = 24mEq/L

Na ; 30~50mEq/L , K ; 20~40mEq/L と3号液の組成

# Correction Allowances (体液異常の補正)

体液異常の種類	何で評価する？	何で補正する？
1 浸透圧の異常 (自由水の過不足)	血清Na濃度 高Na: 高浸透圧 ●……………● 低Na: 低浸透圧 ●……………●	自由水 (5%糖液) 自由水が不足 自由水が過剰
2 細胞外液量の異常 (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 <sub>3</sub> <sup>-</sup> の過不足)	血液ガス分析 Acidemia ●……………● Alkalemia ●……………●	Cl <sup>-</sup> の過不足 Cl <sup>-</sup> を引く Cl <sup>-</sup> を足す

# 血清Na濃度は体液浸透圧の尺度

浸透圧(0smol/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>

血漿浸透圧は血清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

	血漿
陽イオン	Na <sup>+</sup> 142
	K <sup>+</sup> 4
	Ca <sup>2+</sup> 5
	Mg <sup>2+</sup> 3
	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>4</sub> <sup>2-</sup> 1
	有機酸 5
	蛋白質 16
	計 154

但しNa以外の浸透圧物質(ブドウ糖、BUN等)が基準値内ならば

# 浸透圧の異常 = 自由水の過不足

患者にどれ程の水が必要（不要）か？

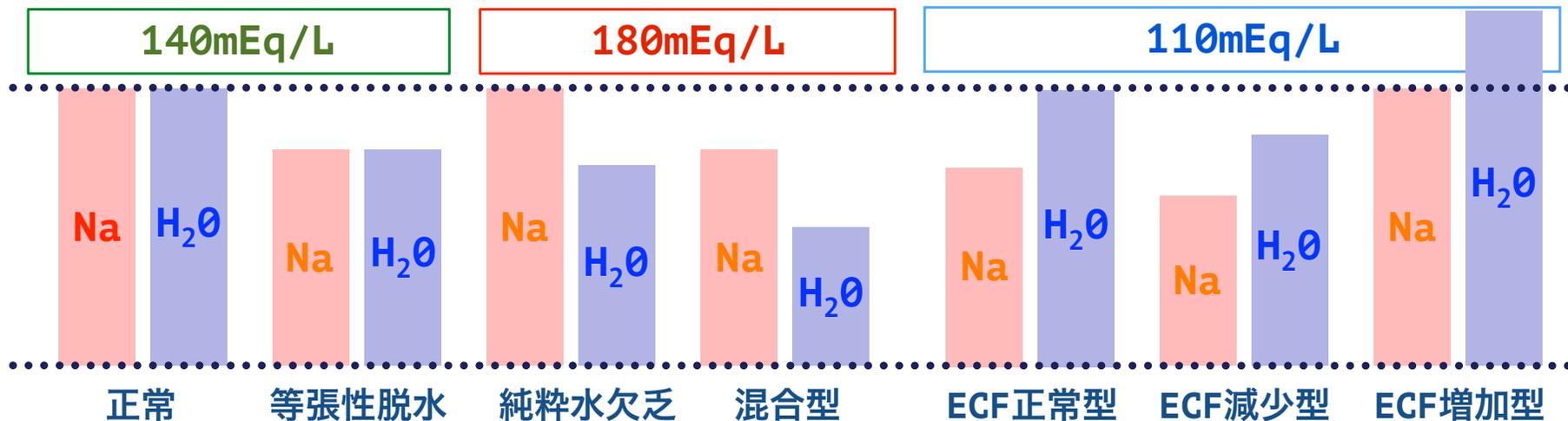


正確・鋭敏な指標は浸透圧 = 血清Na濃度

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

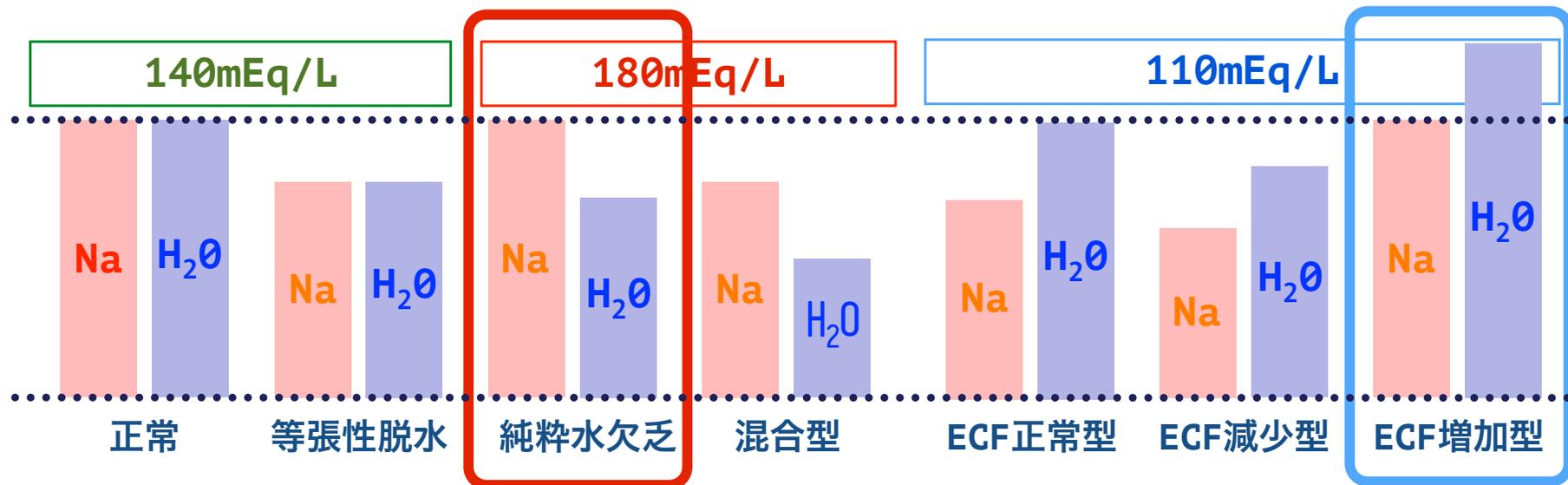
Na > 145mEq/L (高浸透圧) ; 水が不足 → +500~ +1000mL/日



# 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  
 $TBW(\text{Total Body Water}) \times \text{血漿Na濃度} = \text{一定}$



高Na血症→自由水が不足

低Na血症→自由水が過剰

# 具体的な自由水の過不足の計算

$$\text{水の不足量}(\Delta\text{TBW}) = \text{TBW}_1 - \text{TBW}_2$$

元気なとき(1)



今の病状(2)



健常時の体内Na量

$$\left( \text{TBW}_1 \times \frac{1}{3} \right) \times 140 =$$

今の病態で体内Na量

$$\left( \text{TBW}_2 \times \frac{1}{3} \right) \times 180$$

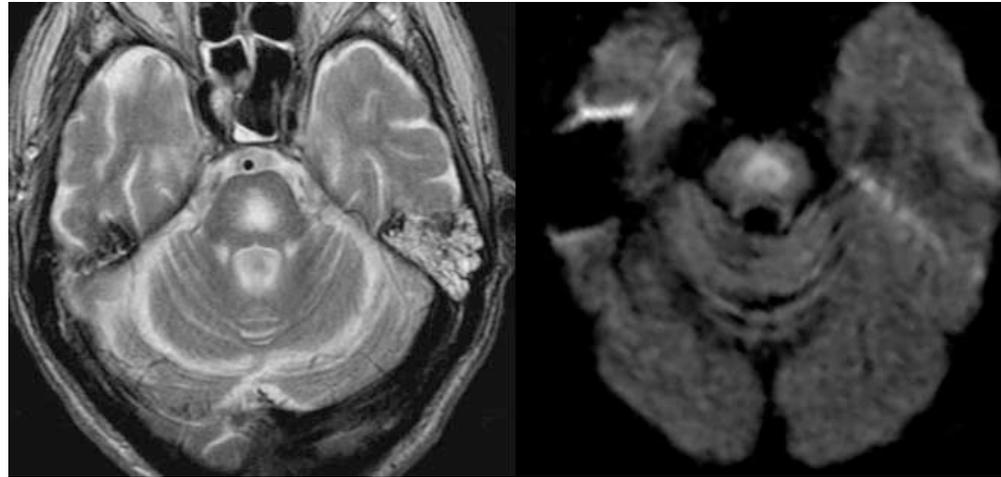
$$\Delta\text{TBW} = \text{TBW}_1 - \text{TBW}_2$$

$$= \left( \text{TBW}_2 \times \frac{180}{140} \right) - \text{TBW}_2$$

$$= \left( \text{TBW}_2 \times \frac{180-140}{140} \right) = 0.6 \times \text{BW}_2 \times \frac{180-140}{140} \quad (\text{体内自由水の欠乏量})$$

# 補正速度 (高Na、低Na) も大切

速すぎると、橋中心性髄鞘崩壊症(CPM)  
(中枢神経どこでも起こりえる=EPM)



- 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, Hypovolemic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( $\Delta BW$ ・Turgor・Juglar vein・BP etc)
- \* 検査所見( $\Delta Hb$ ・ $\Delta TP$  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)

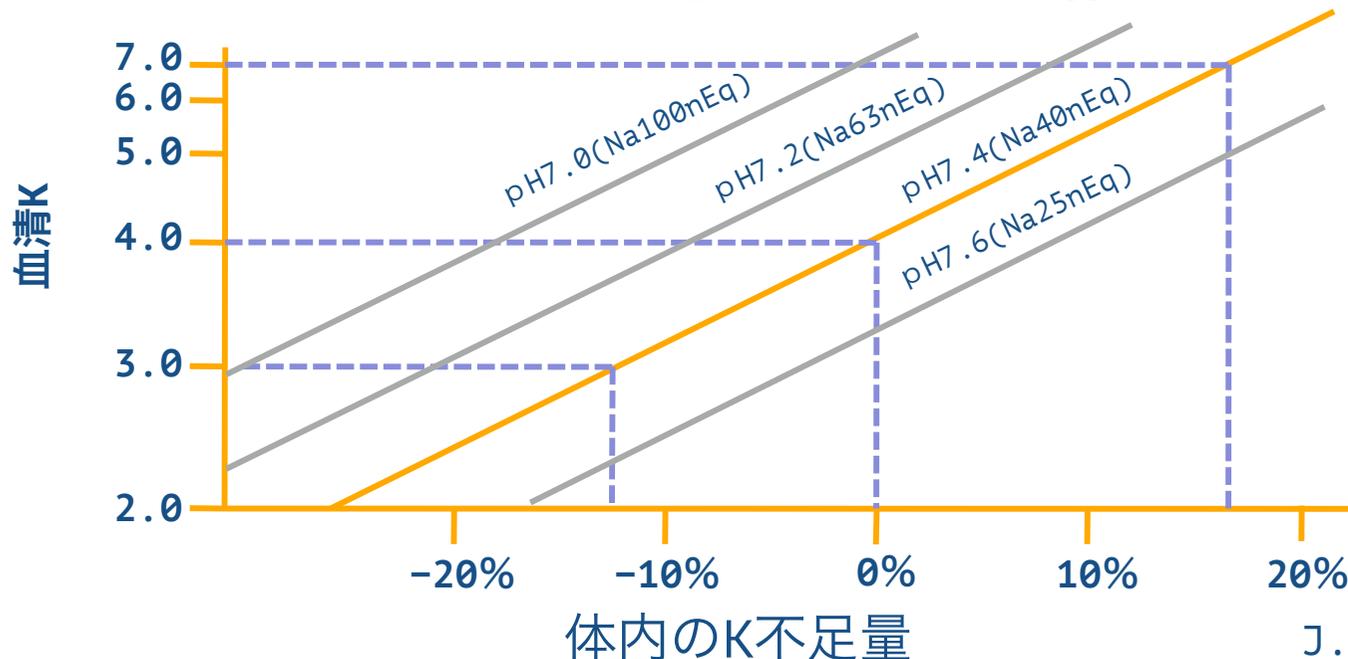
20・・・1時間あたり20mEq以内の投与量

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。

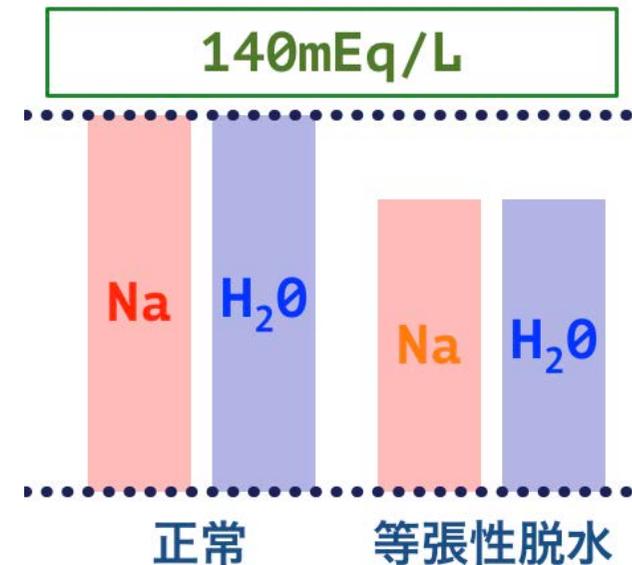
入院時は体温36.6度、脈拍110/分、呼吸数21/分、血圧90/60mmHg、

皮膚は温かく乾燥、Turgor低下、入院時体重50kg(元の体重不明)、

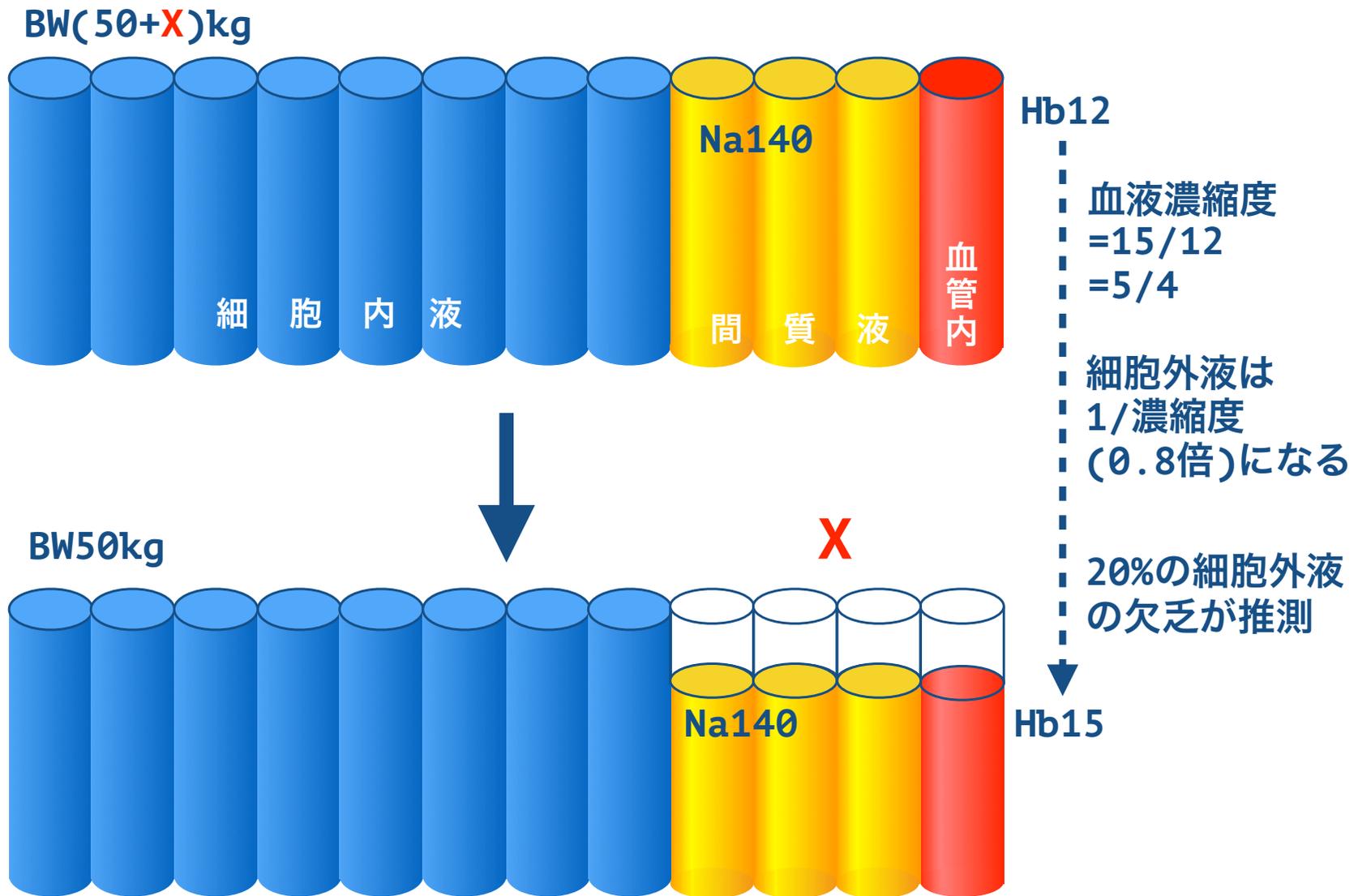
Hb16, Na140, K4.5, Cr3.5。尿生化学はUP-, OB-, 尿Na8meq/L,

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) 脱水が等張性(細胞内液不足はなさそう)



# この患者さんの体液異常の病態



$$(50+X)\text{kg} \times 0.6 \times \frac{1}{3} \times 0.2 = X \longrightarrow X = 2.1\text{L} \dots 3\text{日補正で}0.7\text{L/日}$$

Basic	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Urine	1000	70	40
ISWL	780(52kgx15ml/日)	0	0
GI loss	100	10	1

Correction	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Free water	0	0	0
Saline	700(2.1L÷3日)	105(150meq/Lxo.7L)	0
K	0	0	0

計画輸液	2580ml/日	185mEq/日	41mEq/日
------	----------	----------	---------

Na:71mEq/l、K:16mEq/l、この組成の輸液を2.5L/日

脱水補正液(2号液)を100ml/Hr

B-fluid:1000ml(Na35,K20)  
10%NaCl: 20ml(Na34,K 0)

KN1 :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**。

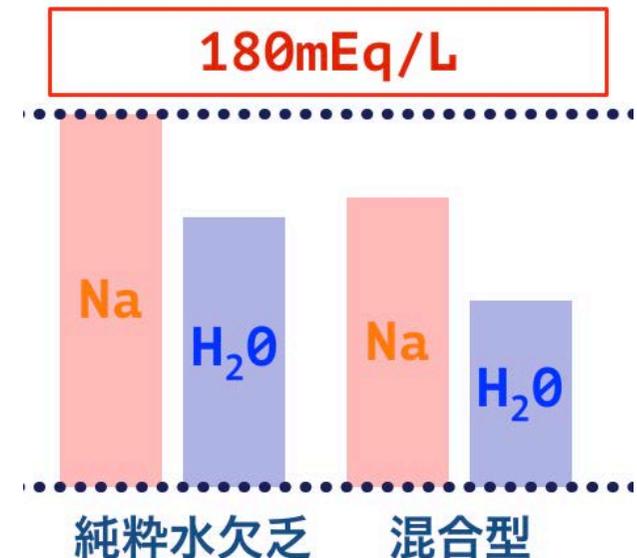
入院時は体温36.6度、**脈拍90/分**、呼吸数21/分、**血圧110/60mmHg**、

皮膚は温かく軽度乾燥、入院時**体重50kg**(元の体重不明)、

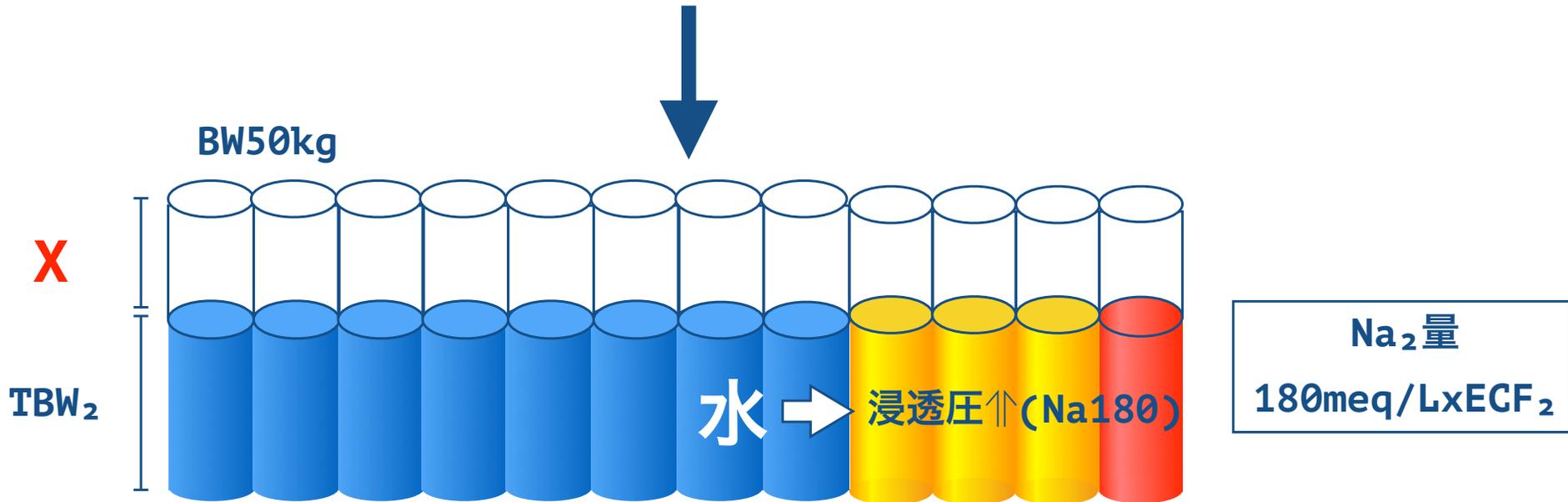
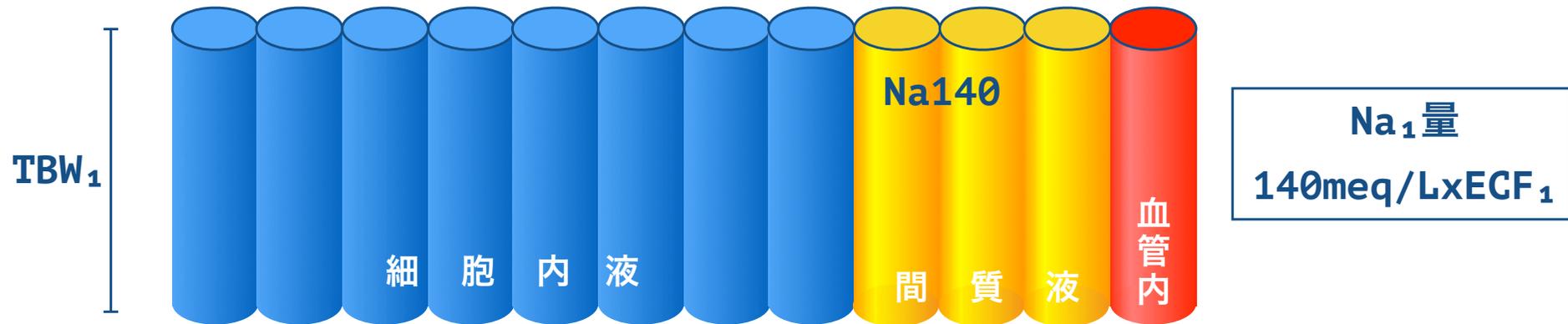
Hb12, **Na180**, K4.5, Cr0.7。尿生化学はUP-, OB-, 尿Na8meq/L,

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)を示す身体所見は  
ハッキリしない(あるかもしれない)
- 3) 脱水は明らかに高張性  
(細胞内液不足が主体)



# この患者さんの体液異常の病態



$$140 \times ECF_1 = 180 \times ECF_2$$

$$X = TBW_1 - TBW_2$$

$$140 \times \left(\frac{1}{3} TBW_1\right) = 180 \times \left(\frac{1}{3} TBW_2\right)$$

$$= \frac{180}{140} TBW_2 - TBW_2$$

$$TBW_1 = \frac{180}{140} TBW_2$$

$$= \frac{180 - 140}{140} \times BW_2 \times 0.6$$

Basic	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Urine	1000	70	40
ISWL	780(50kgx15ml/日)	0	0
GI loss	100	10	1

Correction	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Free water	2000	0	0
Saline	0	0	0
K	0	0	0

計画輸液	3880ml/日	80mEq/日	41mEq/日
------	----------	---------	---------

Na:21mEq/l、K:10mEq/l、この組成の輸液を3.5L/日(150ml/hr)

Free waterの不足分 =  $50\text{kg} \times 0.6 \times (180 - 140) / 140$   
= 6.4kg/body  
補正時間 =  $(180 - 140) / 0.5$   
= 80hrs・・・4日間  
一日自由水補正量 = 8.6Kg/4日間  
= 2.2kg・・・2000L/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  
→ただし病歴からも細胞外液の不足  
→+500ml/日程度の補充を割り当てる

Basic	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Urine	1000	70	40
ISWL	780(50kgx15ml/日)	0	0
GI loss	100	10	1

Correction	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Free water	2000	0	0
Saline	500	70	0
K	0	0	0

計画輸液	4380ml/日	150mEq/日	41mEq/日
------	----------	----------	---------

Na: 34mEq/L、K: 10mEq/L、この組成の輸液を4L/日(B-fluid: 160ml/h)

Free waterの不足分 =  $50\text{kg} \times 0.6 \times (180 - 140) / 140$   
= 6.4kg/body  
補正時間 =  $(180 - 140) / 0.5$   
= 80hrs・・・4日間  
一日自由水補正量 = 8.6Kg/4日間  
= 2.2kg・・・2000L/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  
→ ただし病歴からも細胞外液の不足  
→ +500ml/日程度の補充を割り当てる

# 覚えておくと便利な輸液組成

種類	Na	K	備考
5%糖液	0 mEq/l	0 mEq/l	電解質 free 浸透圧=1
1号液 (開始液)	77 mEq/l	0 mEq/l	1/2生食 生食：透析 = 1：1
2号液 (脱水補正液)	77 mEq/l	20 mEq/l	・ 3号液 (1L) +10%NaCl (20ml) ・ 1号液 (1L) +KCl (20ml)
3号液 (維持輸液)	35 mEq/l	20 mEq/l	Basic Allowance
4号液 (術後維持液)	35 mEq/l	0 mEq/l	1号液の半分の電解質 1号液：糖液 = 1：1
生理食塩水 (細胞外液)	140 mEq/l	0 mEq/l	乳酸加リンゲル液もほぼ同じ。