

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

松山赤十字病院 腎臓内科

Matsuyama Red Cross Hospital Nephrology

輸液療法の目的

「水・電解質・酸塩基平衡の維持」

臓器を構成する細胞の生命活動は、正常な細胞内液の中でのみ行われる。
正常な細胞内液は細胞外液を緩衝帯として外部環境から守られている。



「病態の治療」

体液を構成する何が不足、または何が過剰か？



「栄養の補給」

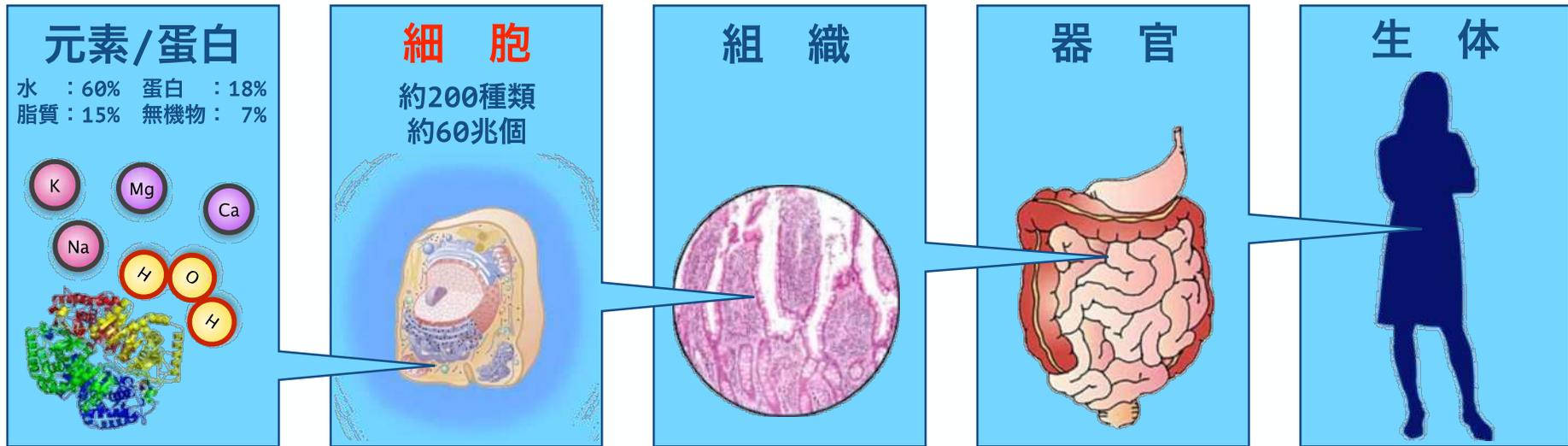
経腸管的栄養摂取が困難な場合の、栄養素の投与経路



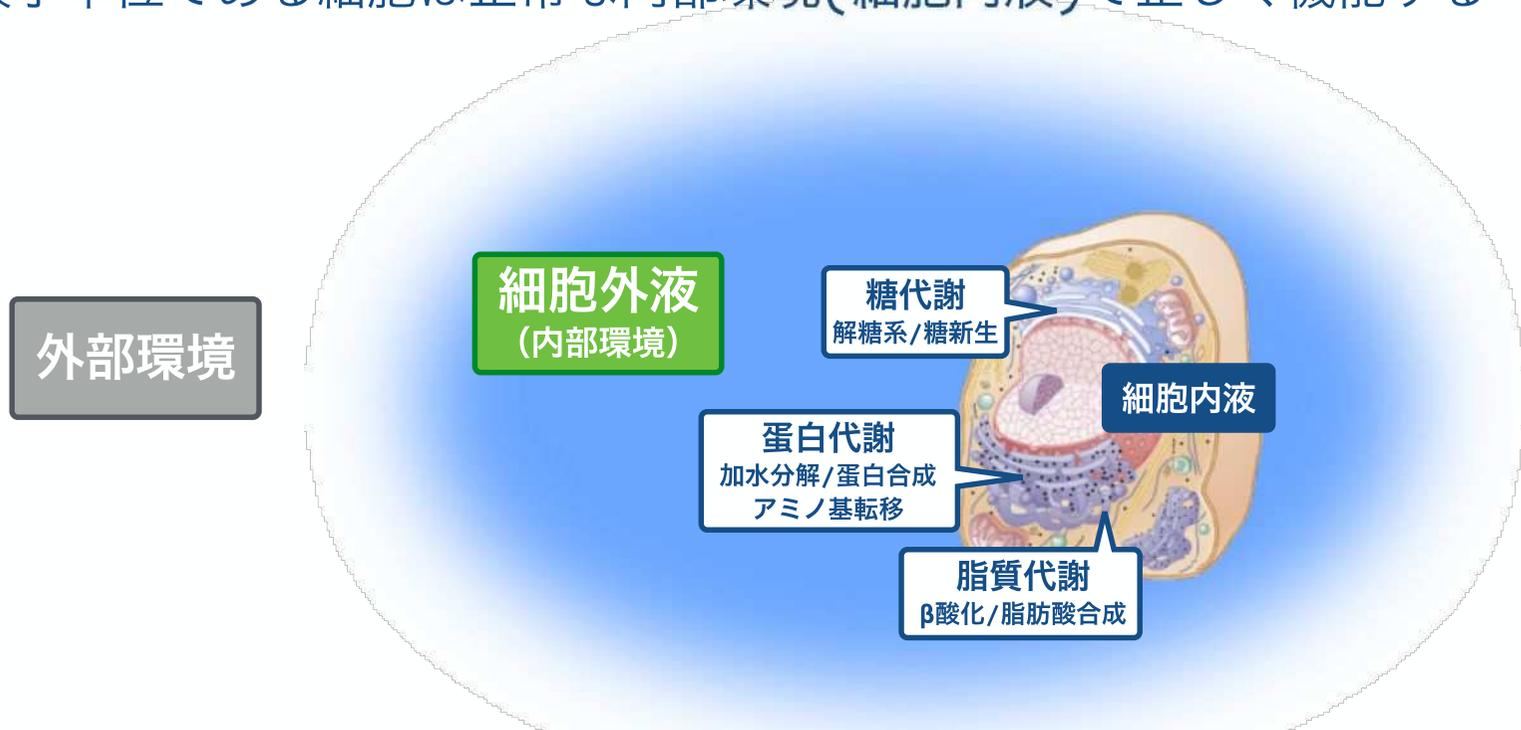
「血管の確保」

薬物投与経路の一つ（経口、経静脈、筋肉内、皮下、粘膜〈頬粘膜、直腸〉
経鼻、経皮、経気管支）

体液維持は生体の恒常性の基本



～生命の最小単位である細胞は正常な内部環境(細胞内液)で正しく機能する～



細胞機能の維持には細胞内/外液の質的安定が必須

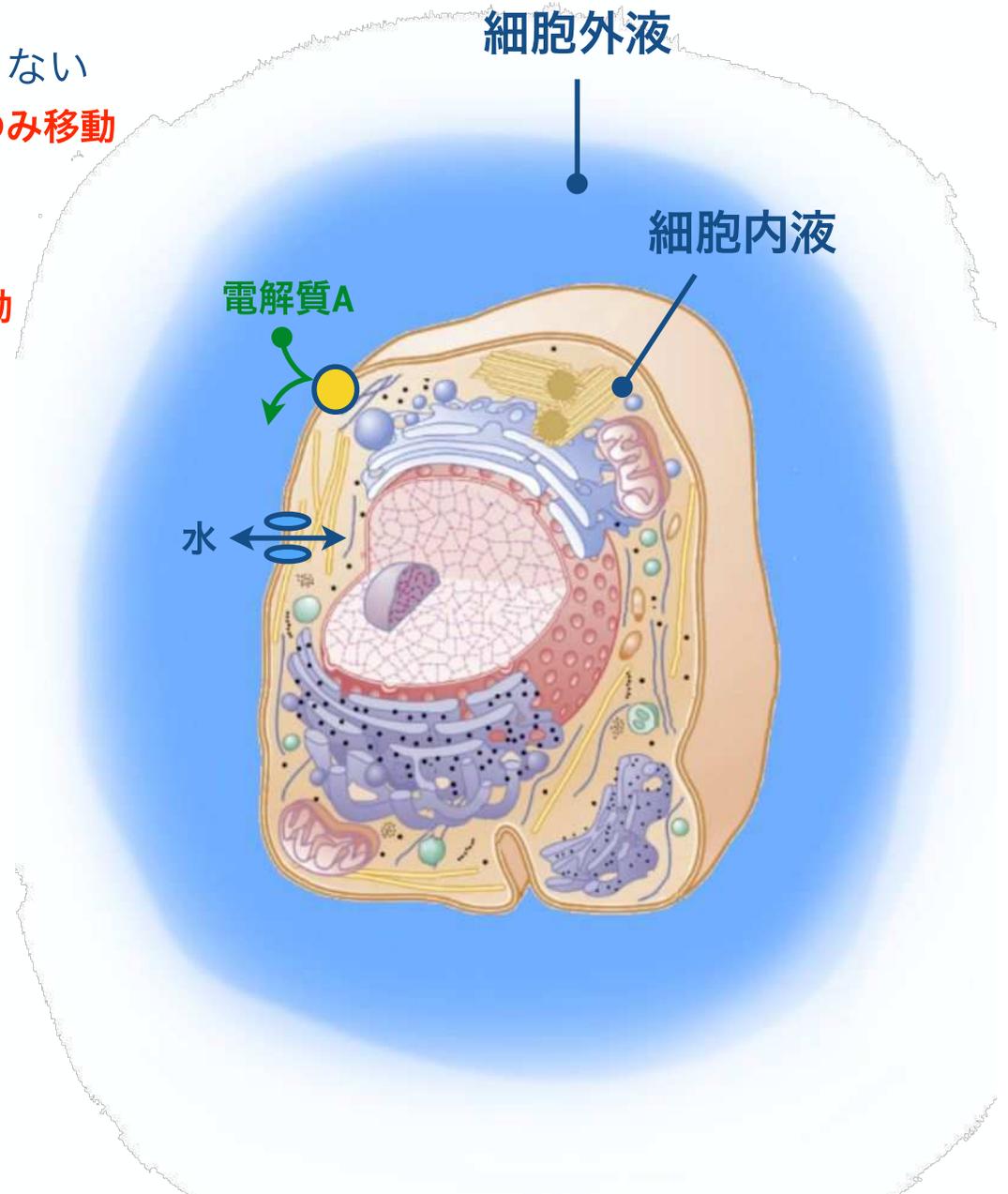
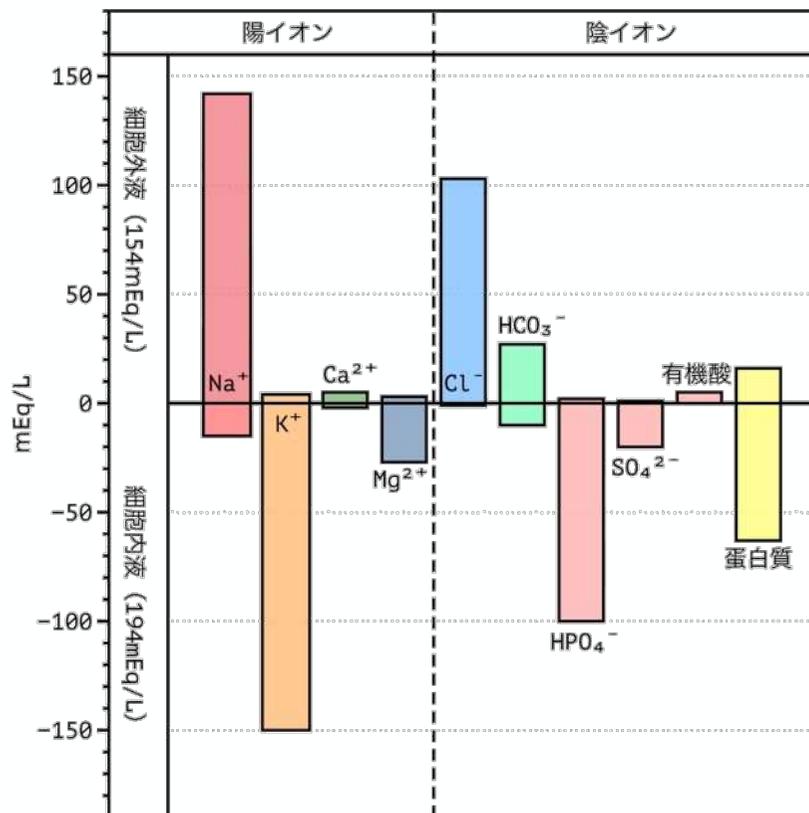
細胞内液の質の安定のために

電解質は細胞内 \leftrightarrow 外は自由に移動できない

電解質はポンプ、チャネルを介してのみ移動

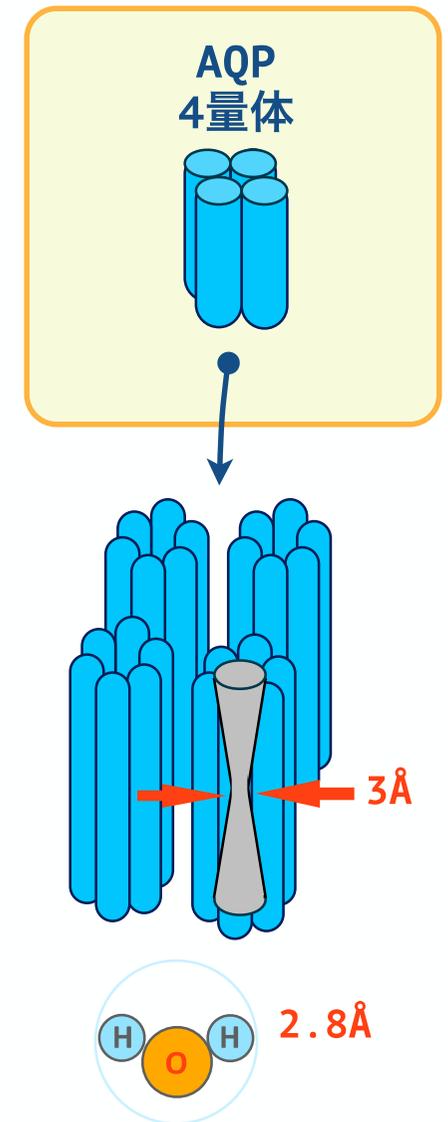
水は細胞内 \leftrightarrow 外を自由に移動できる

水はアクアポリンを介して自由に移動

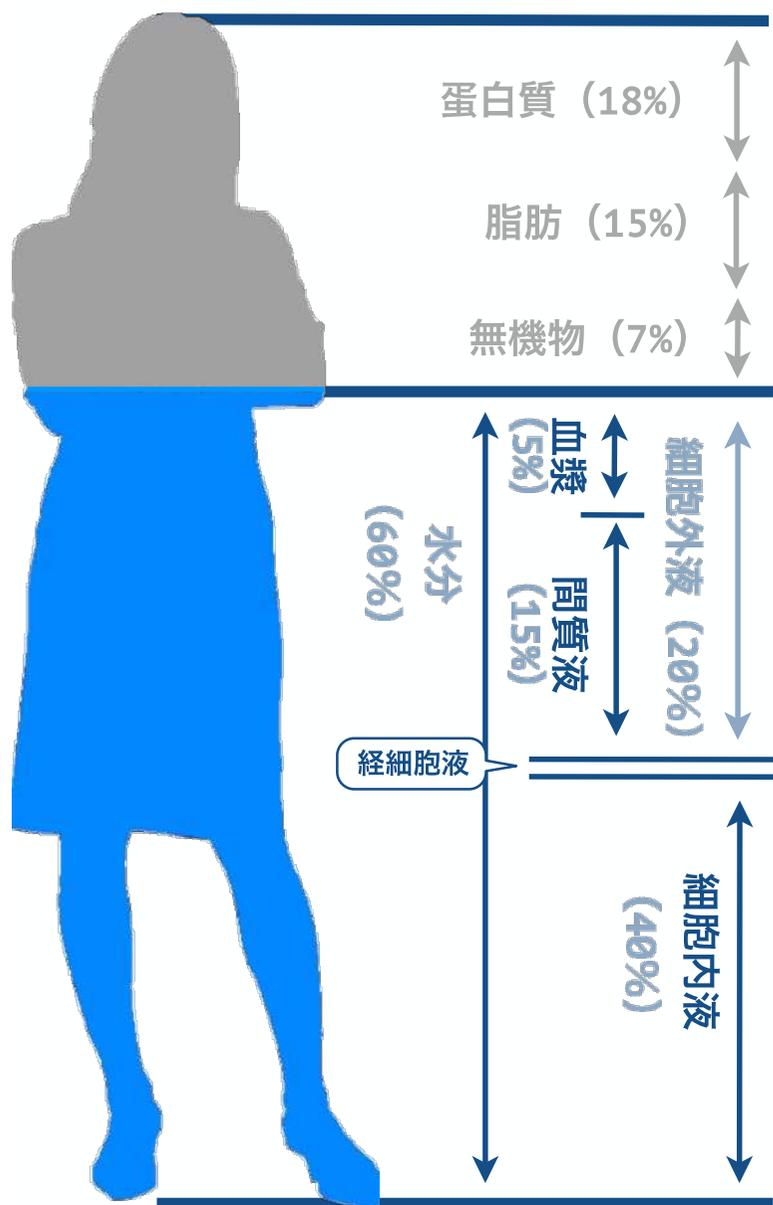


Aquaporin(水チャネル)とは？

AQP	水透過性	体内分布
AQP0	低	眼球 (水晶体)
AQP1	高	赤血球、肝、腎、脳、眼球、血管内皮
AQP2	高	腎 (髄質集合管) ←唯一ADHで発現が調整
AQP3	高	皮膚、腎、肺、眼球、消化管
AQP4	高	腎、脳、肺、消化管
AQP5	高	唾液腺、汗腺、肺
AQP6	低	腎
AQP7	高	脂肪組織、腎、睪丸
AQP8	高	腎、肝、膵、消化管、睪丸
AQP9	低	肝、白血球、脳、睪丸
AQP10	低	消化管
AQP11	?	脳、肝、腎
AQP12	?	?



体液の分布



体液の3大原則

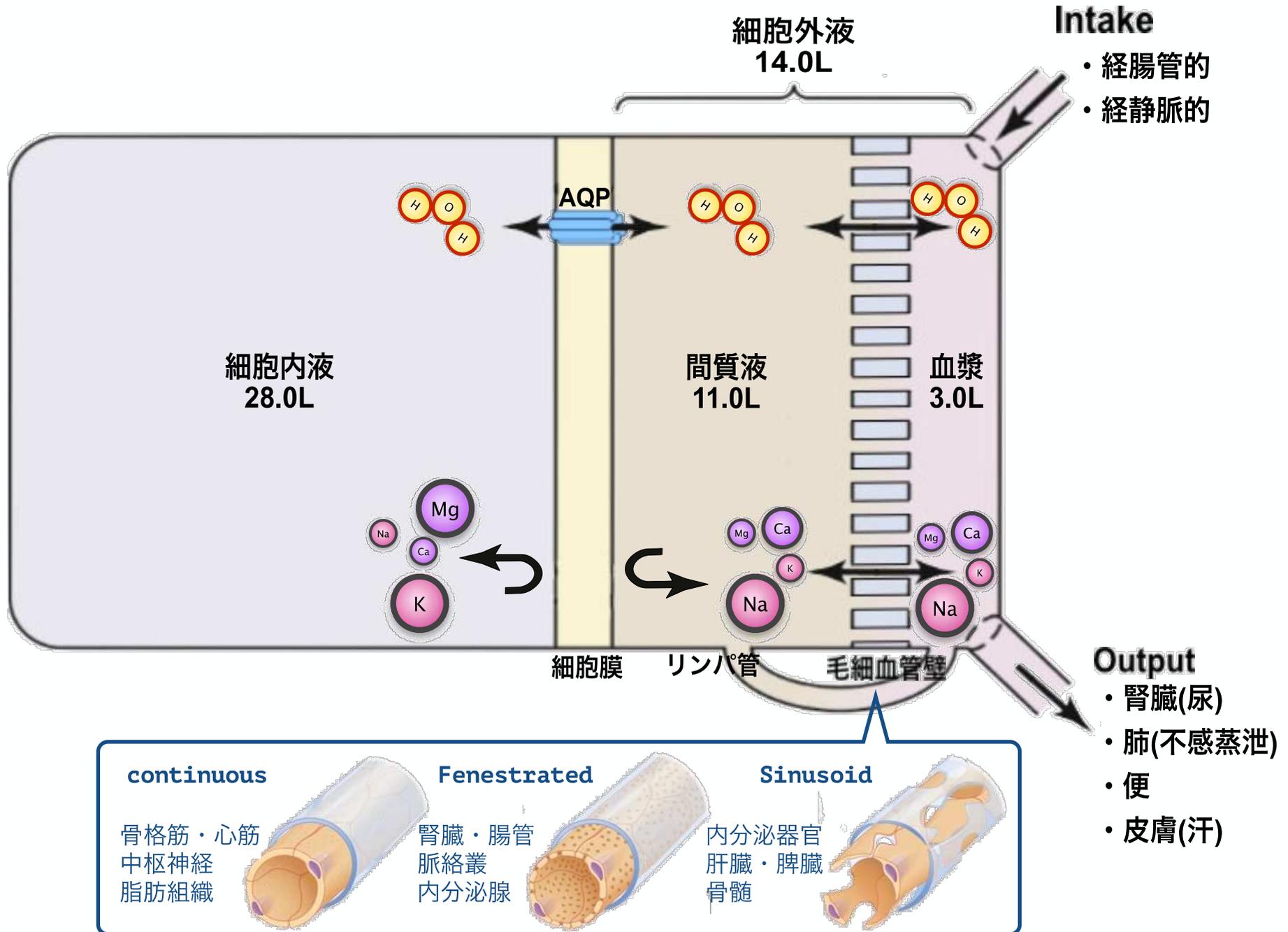
- ① 水は細胞内液・細胞外液・経細胞液のどこかに存在
- ② 水は静水圧と浸透圧差により細胞膜を自由に移動
▶ アクアポリン(AQP)のため
- ③ 電解質は細胞膜を自由に通過出来ない
▶ イオンチャネル、トランスポーターのため



体内のほぼ全ての領域で、
細胞内液・細胞外液（間質液・血漿）
の浸透圧は同じ

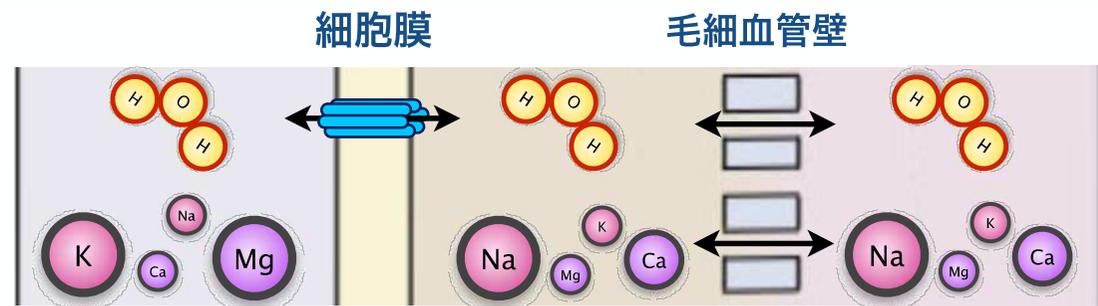
体内で浸透圧差が存在するのは、
尿濃縮機構(AVP-AQP2系)を持つ
腎臓髓質(哺乳類と鳥類)のみ

体液の存在する区域



細胞内外の電解質組成

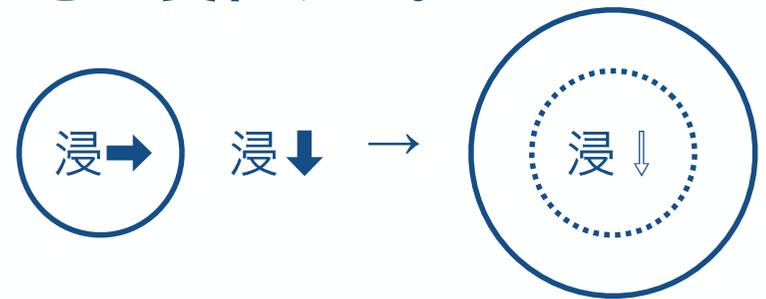
mEq/L		細胞内液	細胞外液	
			間質液	血漿
陽 イ オ ン	Na ⁺	15	144	142
	K ⁺	150	4	4
	Ca ²⁺	2	2.5	5
	Mg ²⁺	27	1.5	3
	合計	194	152	154
陰 イ オ ン	Cl ⁻	1	114	103
	HCO ₃ ⁻	10	30	27
	HPO ₄ ²⁻	100	2	2
	SO ₃ ²⁻	20	1	1
	有機酸		5	5
	蛋白質	63	0	16
	合計	194	152	154



生体における浸透圧の働き

- 1) 浸透圧は単位容積中に溶けている粒子の数の総和
- 2) 浸透圧は生体内のどの区画で測定しても同じ値
- 3) 浸透圧が急に変わると細胞容積が急に変わる。

∴細胞内の溶質数はほぼ一定で、
細胞内外に濃度差があっても
拡散によって溶質数は変化しない

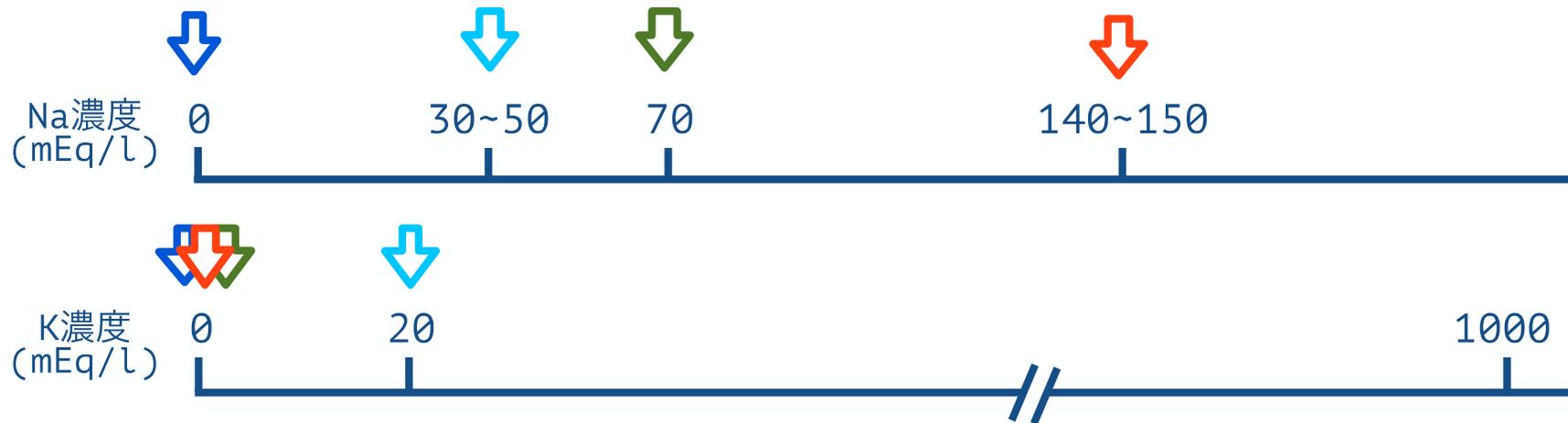


- 4) 正常な生理学的機構は、水の量を変えることで浸透圧を調整しており、溶質量を変えて調整するのではない。
水の量は口渴感と抗利尿ホルモン(ADH)で調整される

小括

- **水**は細胞表面に発現しているアクアポリンの作用で**静水圧と浸透圧の差により細胞膜を自由に移動**できる
- **電解質**の細胞膜を介した移動はイオンチャネルやトランスポーターに依存し**自由に通過出来ない**

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~~

なぜブドウ糖液は5%？

なぜブドウ糖が真水(Electrolyte free water)？

浸透圧(0sm/L)=溶媒1L中の溶質の粒子数(mol)

$$5\% \text{Glucose} = 5\text{g}/100\text{ml} = 50\text{g}/1000\text{ml}$$

ブドウ糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)の分子量=180

$$\begin{aligned} 5\% \text{Glucose} &= 50\text{g}/\text{l}/180 = 0.278\text{mol}/\text{L} \\ &= 278\text{mOsm}/\text{L} \end{aligned}$$

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



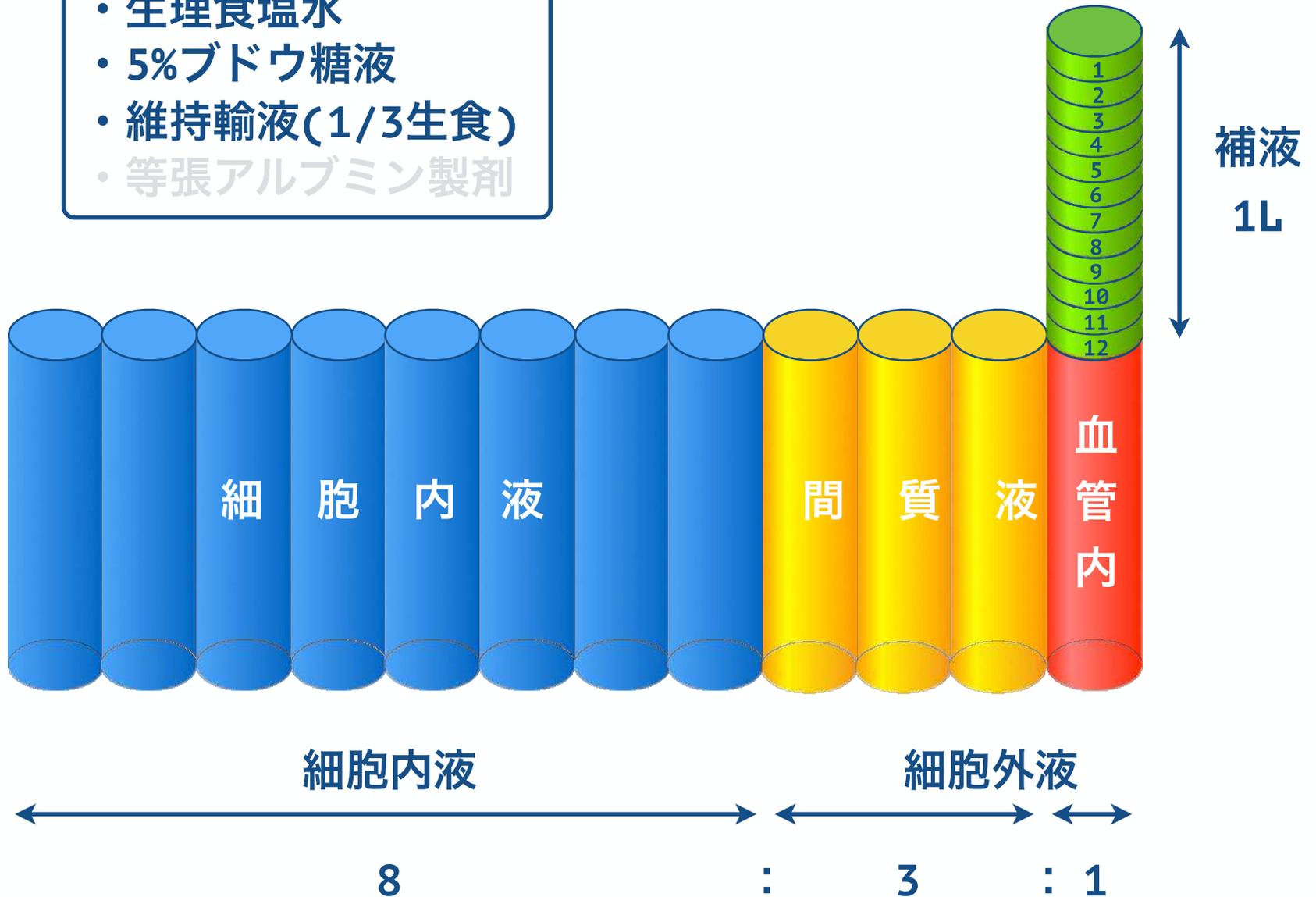
ブドウ糖1mol(180g=720Kcal)の代謝で
水6mol(108g)と CO_2 6mol(134.4L)が産生

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 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ に分解される。

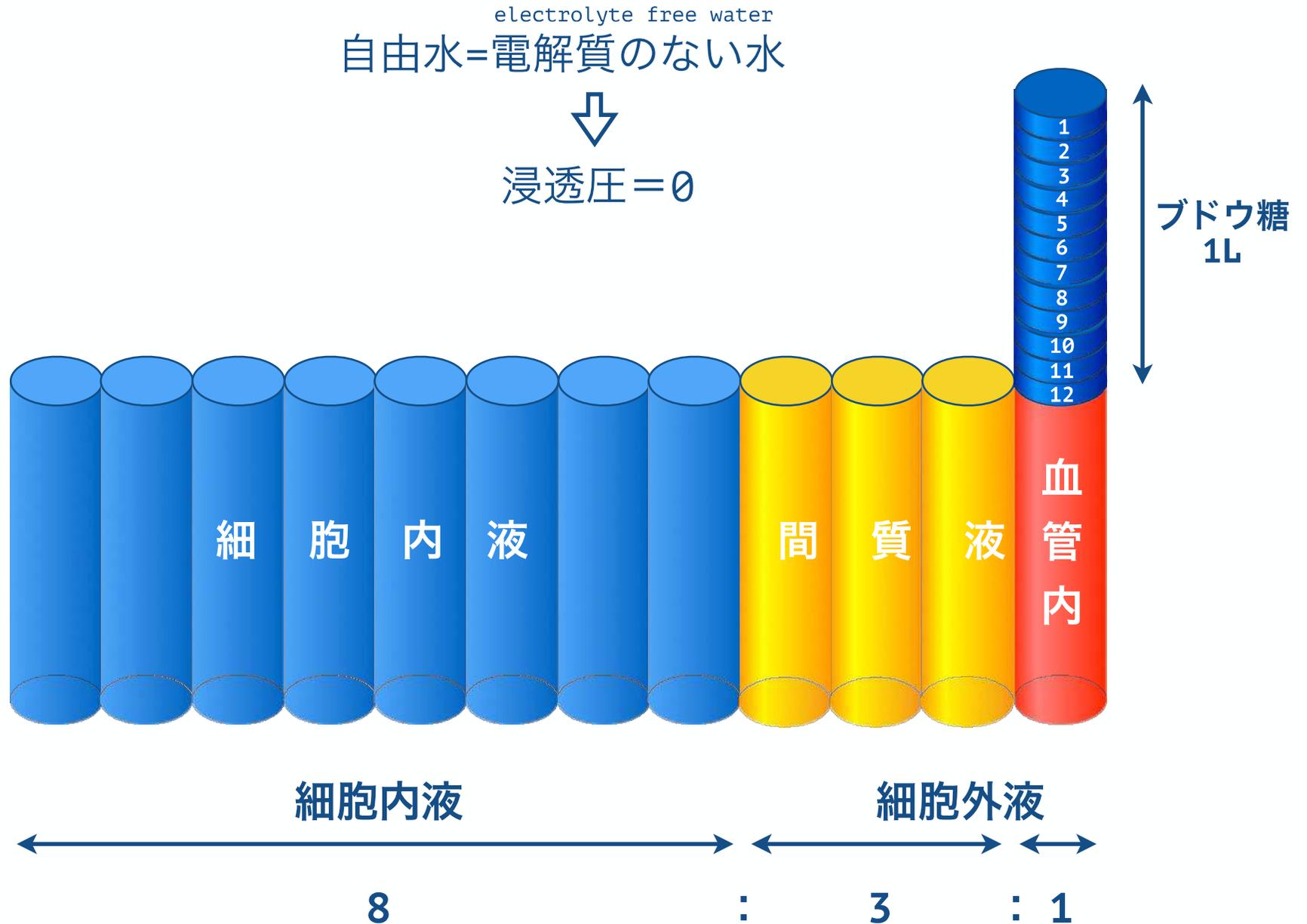
浸透圧=1の溶液として点滴され、糖代謝により速やかに浸透圧が消失する

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

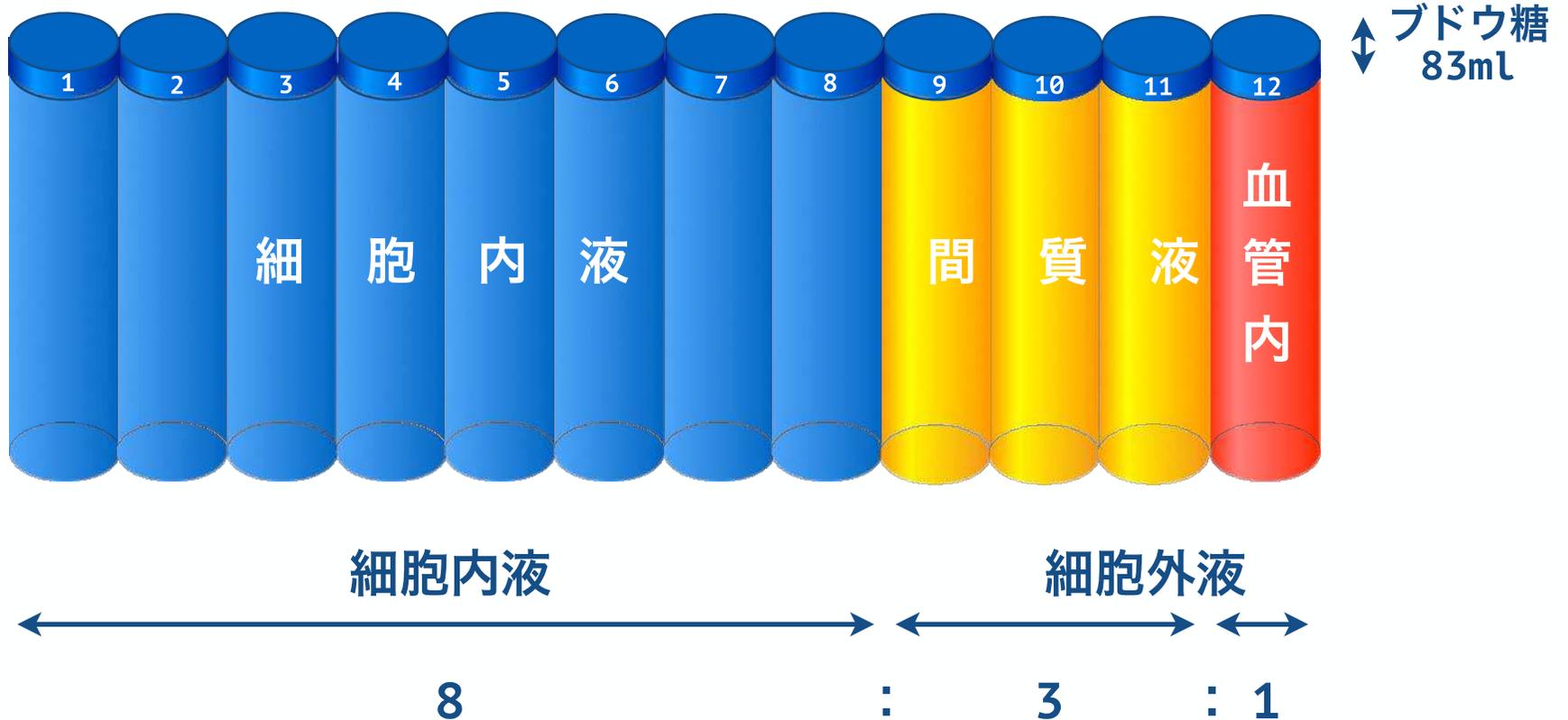


5%ブドウ糖を1L点滴したときの水の分布

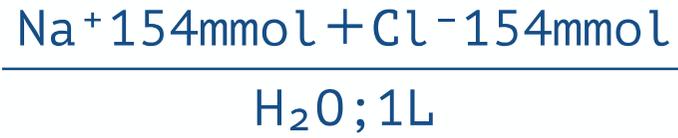


5%ブドウ糖を1L点滴したときの水の分布

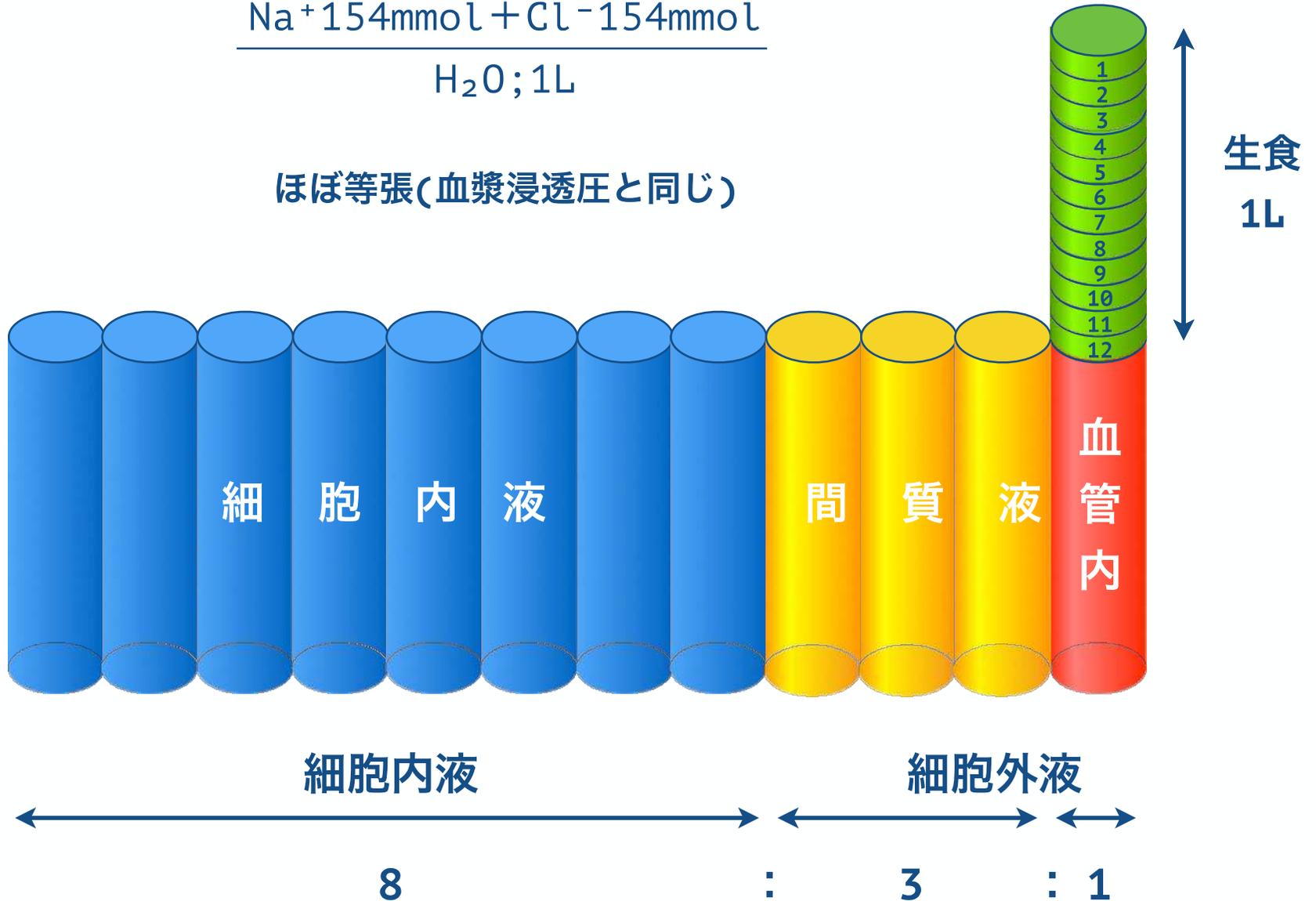
自由水として体液全体(細胞内液+細胞外液)に均等に分布
血管内； $1000 \div 12 = 83\text{mL}$



生理食塩水を1L点滴したときの水の分布

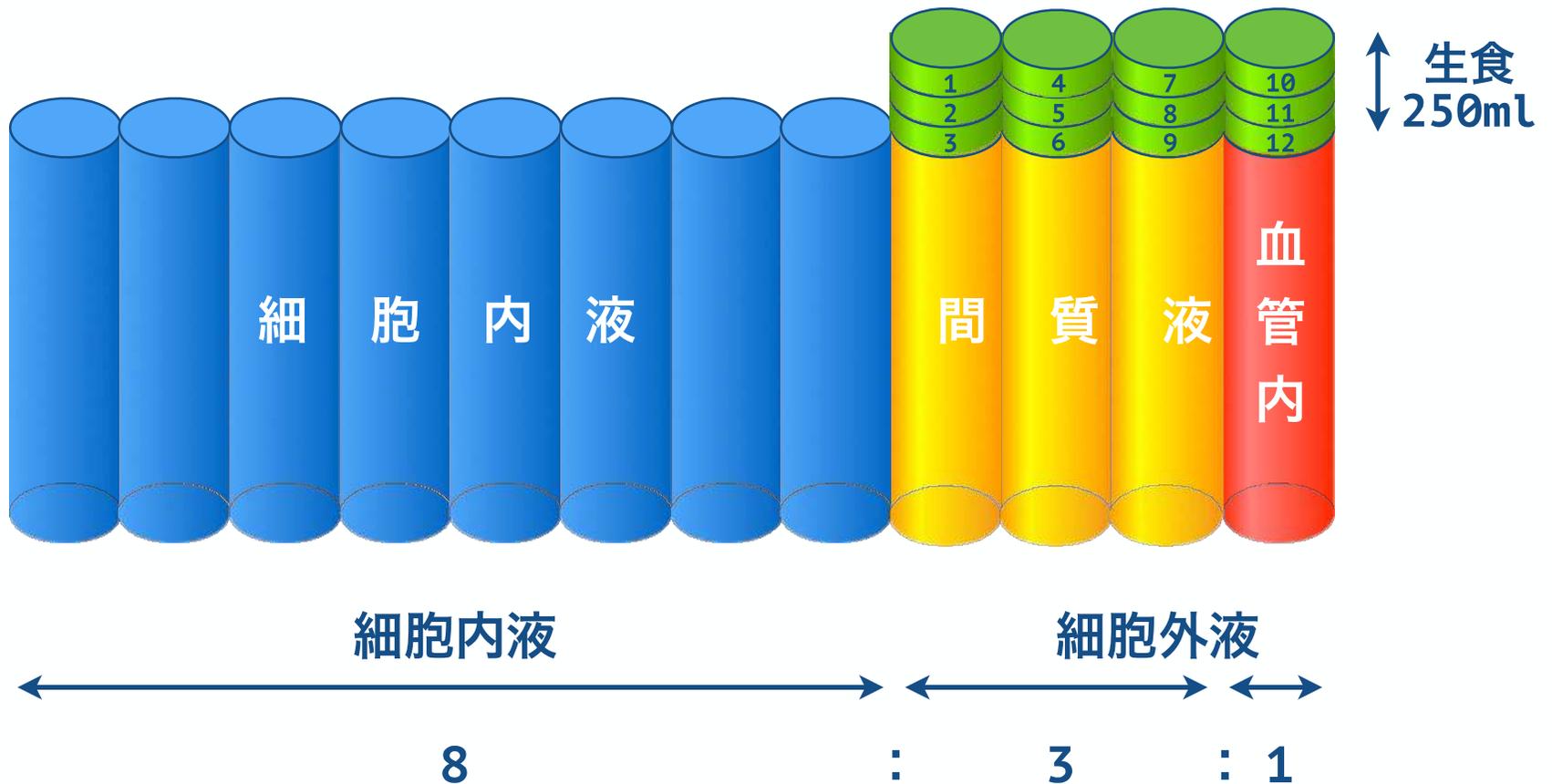


ほぼ等張(血漿浸透圧と同じ)

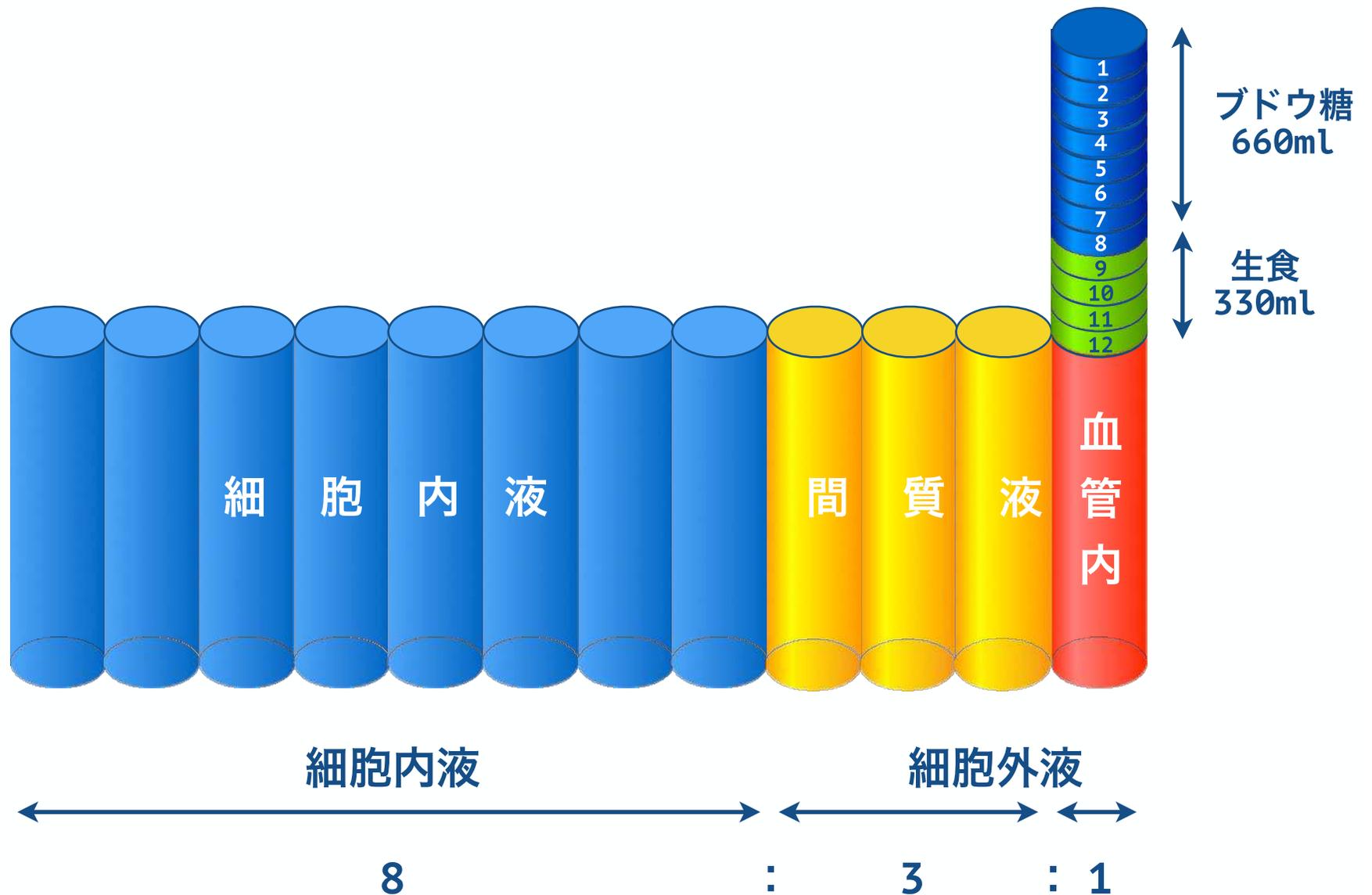


生理食塩水を1L点滴したときの水の分布

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

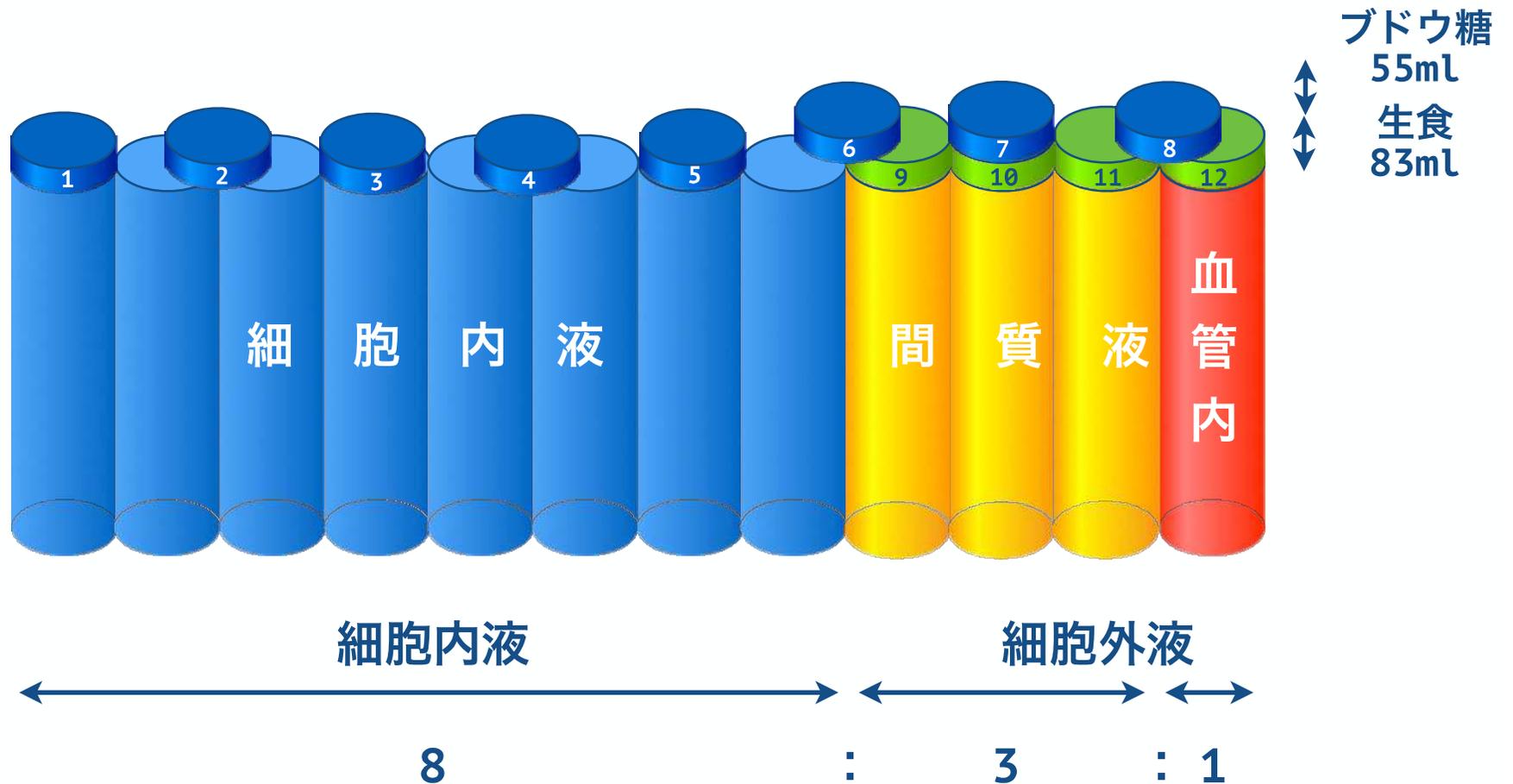


維持輸液を1L点滴したときの水の分布



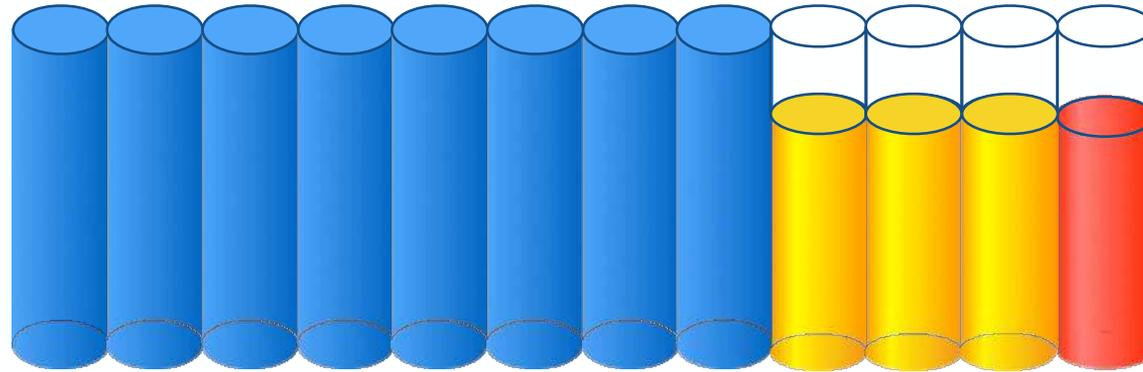
維持輸液(1/3生食)を1L点滴したときの水の分布

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

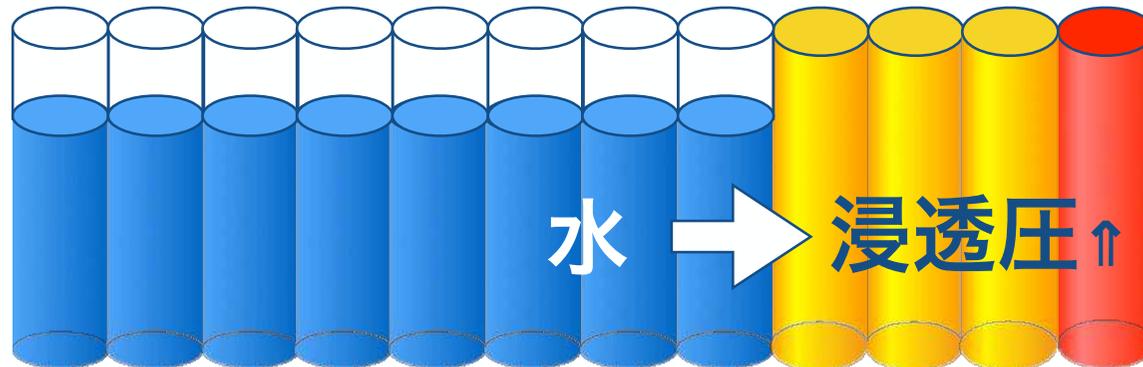


輸液の基本

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

来週は考える輸液の話をしたいと思います

