

病態と根拠に基づいた輸液療法

論理的に正しくシンプルかつ安全な輸液を組み立てよう！

松山赤十字病院 腎センター
Matsuyama Red Cross Hospital Kidney Center

上村 太郎

1

考える輸液の重要性

Dr. Scribner

種々の体液異常にあうように、最初から各種電解質を混ぜ合わせて作られた特別の混合輸液剤を用い、患者の体重や体表面積によって投与量を決めてゆく方法は簡単であり、輸液を必要とする患者の70~80%ぐらいは実際に上手くいく。しかし残りの20~30%の患者に対しては不十分な方法である。なぜなら、この輸液方法は腎臓の代償作用をあてにした方法で、重症患者では、その代償作用はうまく働かない。そのうえ、このやりかたの問題は輸液療法の基礎的な原理を理解する必要があることから、複雑な水・電解質異常に出会ったとき、思考停止に陥ってしまうことである。

2

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)のお蔭)
- ③ 電解質は細胞膜を自由に通過出来ない (イオンチャネルや輸送体がないと通れない)

↓

体内のほとんどの部分で、細胞内液・細胞外液（間質液+血漿）の浸透圧は同じ

体内で大きな浸透圧較差があるのは、尿管濃縮するために特殊構造を持つ腎臓の髄質部のみ。

3

体格・性別で体水分量が異なる

体格	小児	成人・男	成人・女
痩せ型	80%	65%	55%
標準型	70%	60%	50%
肥満型	65%	55%	45%

Q1: 女性が水分が少ないのは?
A1: 男性に比較して筋肉量(細胞内液)が少なく、体脂肪(脂肪細胞には水分が少ない)が多い。

Q2: 痩せ型の方が水分が多い?
A2: 痩せている=体脂肪が少なく、体重に占める水分量が増える事になる。

4

体重60kg ▶ 体水分量(60%) 36L
▶ 細胞内液(40%) 24L
▶ 間質液 (15%) 9L
▶ 血漿 (5%) 3L

Output

- ▶ 腎臓(尿)
- ▶ 消化管(便・吐物など)
- ▶ 皮膚(汗・不感蒸泄)
- ▶ 肺(呼吸中の水蒸気)

Intake

- ▶ 食事
- ▶ 点滴

リンパ管

細胞内液 24L

細胞膜

アクアポリンで自由に通過

細胞外液 9L

間質液

血管壁

血漿 3L

電解質

イオンチャネルや輸送体で調節される

DNA, RNA, ゴルジ体, 小胞体, やミトコンドリア, その他, 生命維持に必須の酵素などが存在し, その環境(細胞内液)が容易に変化するのでは困る!!

5

輸液製剤の基本

Na濃度 (mEq/l) 0 30-50 70 140-150

K濃度 (mEq/l) 0 20 1000

- ▶ 5%ブドウ糖液: ブドウ糖は、速やかに細胞内に取り込まれて代謝され、水と二酸化炭素になる(真水と同じ)。
- ▶ 生理食塩水: 細胞外液とほぼ同じNa濃度の輸液
- ▶ 1号液(開始液): Na70mEq/lと細胞外液の1/2のNa濃度で、K free。(病態不明の時の補液開始時に使用)
- ▶ 3号液(維持液): Na35mEq/lと細胞外液の1/4のNa濃度。K20mEq/l。(病態維持のための補液)

6

5%ブドウ糖液

投与後直ぐに細胞内で代謝され、 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ に代謝され、自由水（真水）を投与したのと同じ。

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
 (1mol=180g=720kcal) 6mol=108g

Q: なぜ5%?
 A: 血漿と同じ浸透圧比1にするため
 $\text{Osm} = 2(\text{Na} + \text{K}) + \text{Glucose} / 18 + \text{BUN} / 2.8$
 (5% glucose = 5g/dl = 5000mg/dl)
 浸透圧 = 5000 / 18 = 278mOsm/l

5%ブドウ糖液1Lを点滴すると・・・

原則その2
 水は静水圧と浸透圧差により細胞膜を自由に移動

1L Na+0

1/12(83ml)が血管内

生理食塩水

細胞外液と等張の食塩水(NaCl 0.9%, Na152mEq/l)

生理食塩水1Lを点滴すると・・・

原則その2、その3
 ② 水は静水圧と浸透圧差により細胞膜を自由に移動
 ③ 電解質は細胞膜を自由に通過出来ない

1L Na152

1/4(250ml)が血管内

1号液（開始液）

細胞外液の半分濃度(NaCl 0.45%, Na77mEq/l)
 生理食塩水：蒸留水 = 1 : 1

開始液1Lを点滴するという事は・・・
 ▶生理食塩水 500ml
 ▶蒸留水 500ml

0.5L Na152
0.5L Na0

生食の1/4(125ml)が血管内
 ブドウ糖の1/12(42ml)が血管内

3号液（維持液）

細胞外液の1/4濃度(Na35mEq/l)
 生理食塩水：蒸留水 = 1 : 3

開始液1Lを点滴するという事は・・・
 ▶生理食塩水 250ml
 ▶蒸留水 750ml

0.25L Na152
0.75L Na0

生食の1/4(62ml)が血管内
 ブドウ糖の1/12(62ml)が血管内

蛋白製剤（5%ALB）

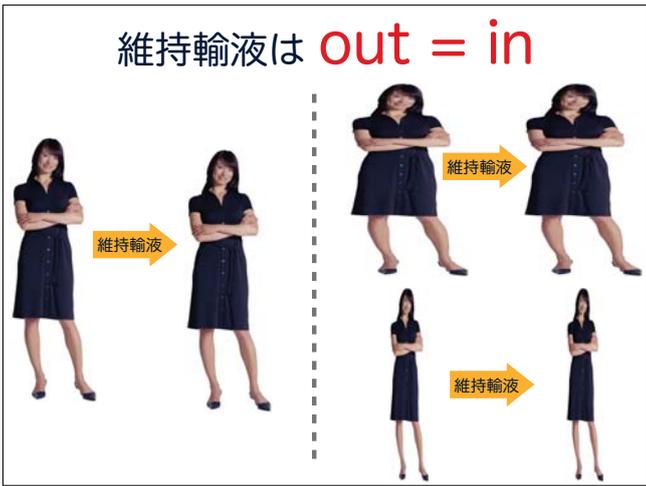
浸透圧を作るのが、ALB(分子が大きく血管外に漏れない)

5%ALB製剤を1Lを点滴すると・・・
 ▶浸透圧物質が血管外に漏れないので・・・

1L ALB製剤

1L全て残る
 (20%ALBでは血管内の浸透圧が上がるので、間質から水を引き込む)

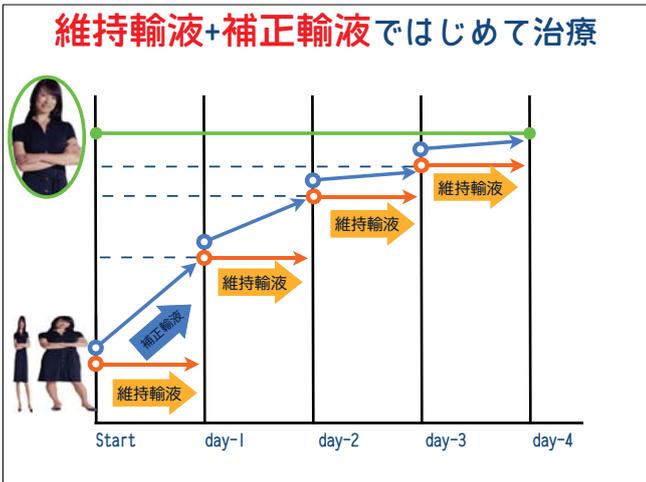
輸液 = 維持 + 補正



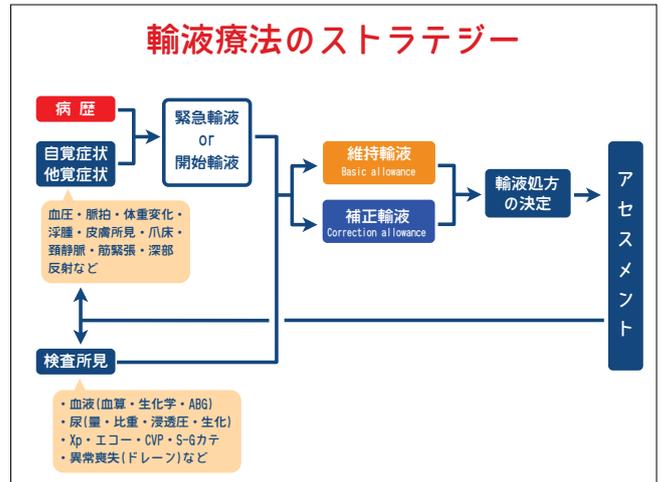
13



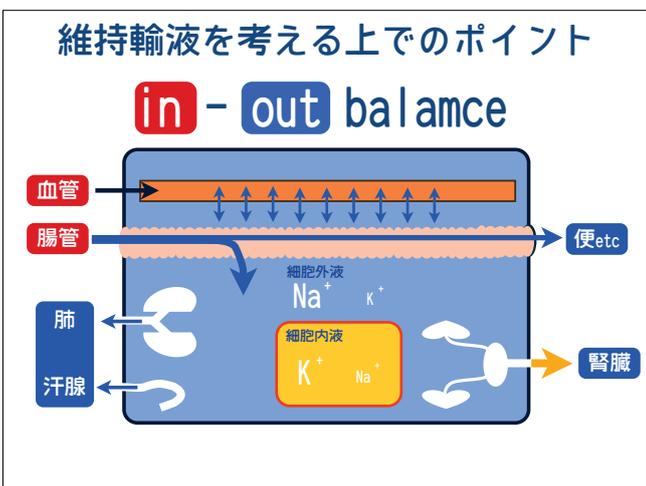
14



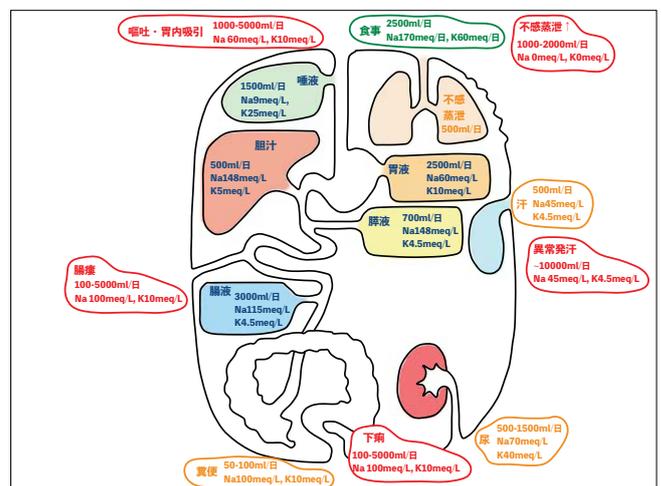
15



16



17



18

計画輸液 = 維持輸液 + 補正輸液

- 🍏 維持輸液(basic allowance) → outの補充
 - Urine...腎臓からのロス
 - Insensible Water Loss(IWL)...不感蒸
 - GI loss...消化管のロス(嘔吐・下痢・ドレーン)
- 🍏 補正輸液(correction allowance) → 通常との解離
 - 補正に必要な輸液...(+)のAllowance
 - 投与を控える輸液...(-)のAllowance

19

⌘ 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 $[Na^+] = 70meq/l$ 、 $[K^+] = 40meq/l$
- Ⓜ 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)。

20

⌘ 不感蒸泄(basic allowance for ISWL)

15ml/kg/日と概算(600~750ml/日程度)

- Ⓜ 高温多湿下では多く、高齢者等では少なく等の匙加減が必要
 - Ⓜ 不感蒸泄は一般的には電解質は含まない
- $[Na^+] = 0meq/l$ 、 $[K^+] = 0meq/l$

21

⌘ 消化管からの喪失(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	HCO3-
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)

22

標準的なBasic Allowance

Basic Allowance	水 (ml/日)	電解質 (mEq/日)	
		Na	K
Urine	1500	105 (70meq/L x 1.5L/日)	60 (40meq/L x 1.5L/日)
ISWL	900 (60kg x 1.5ml/kg/日)	0	0
GI Loss	100	10 (100meq/L x 0.1L/日)	1 (10meq/L x 0.1L/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
 と維持輸液(3号液)くらいの組成。

23

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 酸塩基平衡 (HCO3-の過不足)	血液ガス分析 Acidemia Alkalemia	Cl-の過不足 Cl-を引く Cl-を足す
5 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

24

血清Na濃度は体液浸透圧の尺度

浸透圧 = 電解質の総和 ($PV=nRT \rightarrow P=n/V \cdot RT$)

浸透圧 \propto 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⁺)

$\approx 2 \times \text{Na}^+$

浸透圧は血清Na⁺のほぼ2倍に比例

高Na血症：高浸透圧血症
低Na血症：低浸透圧血症

25

浸透圧の異常 = 自由水の過不足

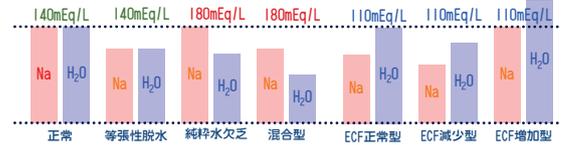
患者にどれ程の水が必要(不要)か?

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 \rightarrow -500 ~ -1000ml/日

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

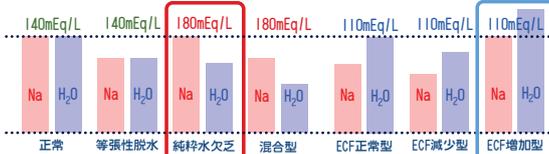


26

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



高Na血症 \rightarrow 自由水が不足

低Na血症 \rightarrow 自由水が過剰

27

具体的な自由水の過不足の計算

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



健全時の体内Na量

健全時の細胞外液量

($\text{TBW}_1 \times 1/3$)

$\times 140 =$

現病状の体内Na量

今の細胞外液量

($\text{TBW}_2 \times 1/3$)

$\times 180$

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

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

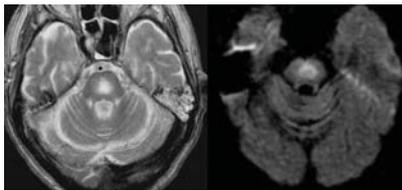
$$= (\text{TBW}_2 \times \frac{180-140}{140})$$

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

28

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)
(中枢神経何処にでも起こりえる=EPM)



臨床的には、**毎時0.5mEq/l**が簡便かつ安全

180mEq/l \rightarrow 140mEq/lならば・・・

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

29

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してみる。

30

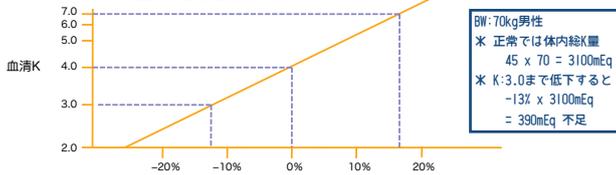
カリウム補充は安全に (20・40の法則)

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



31

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, K2.5mEq/l, Cr3.4mg/dl。
元々は腎機能正常とのこと。

適切な初期の計画輸液は?

32

Basic	Volume(ml/日)	Na+(meq/日)	K+(meq/日)
Urine	1000	70	40
ISWL	700	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	20

計画輸液 4300ml/日 140mEq/日 61mEq/日

Na: 32mEq/l, K: 15mEq/l, この組成の輸液を4L/日(ビーフリード160ml/h)

Free waterの不足分 = $50\text{kg} \times 0.6 \times (172-140)/140$
= 6.8kg/body
補正時間 = $(172-140)/0.5$
= 64hrs・・・3日間
一日自由水補正量 = 6.8kg/3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(脱水)は明らか
→ +500ml/日程度の補充を割り当てる

33



34