

水・電解質を熱く語ろう

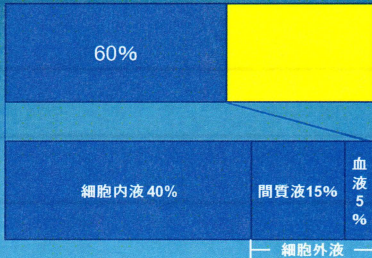
新潟大学第二内科
松尾浩司

体液

体内の水分量は体重の約60%

40%が細胞内液、20%が細胞外液

細胞外液のうち15%が間質液、5%が血液



・体液の組成・分布

・体液とナトリウム

・血清ナトリウムの異常

・血清カリウムの異常

体液

細胞内液と細胞外液の組成

細胞内液はKが主な陽イオン(体内総K 3500mEq)

細胞外液はNaが主な陽イオン(体内総Na 2500mEq)

細胞内液 40%	間質液15%	血液 5%
		
Na 10~20mEq/L K 130~140mEq/L Mg 20~30mEq/L	Na 135~140mEq/L K 3.5~4.5mEq/L Cl 95~105mEq/L HCO ₃ - 22~26mEq/L	

体液

浸透圧と張度

浸透圧: 体液に含まれる溶質の総濃度によって決まる

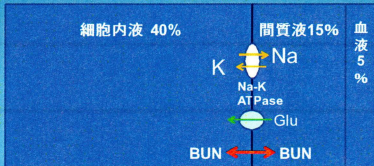
細胞外液と細胞内液の浸透圧は等しい

張度: 体液を一つの分画から別の分画へ水分子を移動させようとする浸透圧を生じさせる力

尿素は細胞膜を自由に通過するため張度には関与しない

血清浸透圧 = $2 \times \text{Na}(\text{mEq/L}) + \text{Glu}(\text{mg/dl})/18 + \text{BUN}(\text{mg/dl})/2.8$

張度 = $2 \times \text{Na}(\text{mEq/L}) + \text{Glu}(\text{mg/dl})/18$



体液

浸透圧と張度

細胞内外の水の量を変化させるのは**張度**である
体液について考えるときには張度の方が大切

血清浸透圧 = $2 \times \text{Na (mEq/L)} + \text{Glu (mg/dl)} / 18 + \text{BUN (mg/dl)} / 2.8$

張度 = $2 \times \text{Na (mEq/L)} + \text{Glu (mg/dl)} / 18$



体液

5%Gluを輸液した時の分布

5%Glu 1000ml

投与したブドウ糖は体内に入ってから直ぐに代謝され水になるため、ブドウ糖液は体内に入った後は真水(張度0)として考えられる

体液比率によって細胞内に2/3細胞外に1/3分布する



体液

生理食塩水を輸液した時の分布

生理食塩水 1000ml

含まれるNaが張度を形成
投与した生食は細胞外液に分布する

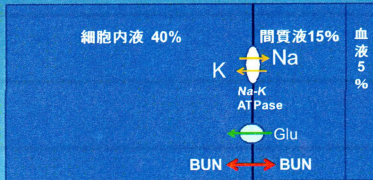


体液

1/2生理食塩水を輸液した時の分布

1/2生理食塩水 1000ml

?



体液

1/2生理食塩水を輸液した時の分布

1/2生理食塩水 1000ml

自由水500ml + 生理食塩水500ml

500ml (間質375ml 血管内125ml)
内液2/3 333ml 外液1/3 167ml (間質125ml 血管内42ml)
333ml 667ml (間質500ml 血管内167ml)



体液

各輸液製剤の分布

	NaCl濃度 (mEq/l)	外液分布 (%)	内液分布 (%)
生理食塩水	154	100	0
細胞外補充液	130	100	0
1号液	90	67	33
3号液	35	50	50
5%グルコース	0	33	67

体液とナトリウム

細胞外液量と細胞内液量

細胞外液の浸透圧を形成する主な物質がNa

Naの負荷は細胞外液の生理食塩水の増加となり、
Naの減少は欠乏となる。

→体内の総Na量が細胞外液量を反映

体内総Na量増加・・・浮腫、
高血圧、肺水腫、心不全

体内総Na量減少・・・turgor低下
ショック

体液とナトリウム

細胞外液量と細胞内液量

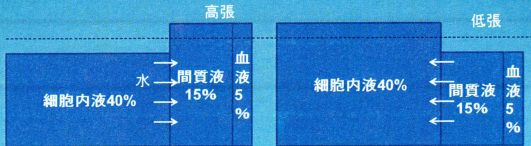
細胞内液は基本的に溶質量が一定→浸透圧が一定

細胞外液の張度が細胞内液量を決定する

浸透圧を形成する主な物質がNa

Na濃度が上昇・・・細胞内液量は減少

Na濃度が減少・・・細胞内液量は増加



体液とナトリウム

Na量(細胞外液)の調節

レニン - アンギオテンシン - アルドステロン系

ナトリウム利尿ペプチド

抗利尿ホルモン、口渇

物理因子、尿細管系球体フィードバック

Na濃度(細胞内液)の調節

抗利尿ホルモン、口渇

血清ナトリウムの異常

低ナトリウム血症

低ナトリウム血症は臨床的に多く出会う電解質異常
鑑別は・・・

低Na血症の鑑別

低Na血症

真の低Na血症か

浸透圧が正常

血漿Na濃度は
正常

血漿Na濃度は
実際低下

- ・異常タンパク質の増加(多発性骨髄腫など)
- ・高脂血症

高血糖など別の浸透圧物質の存在

浸透圧が低下

真の低Na血症

体液量はどのような状態にあるか判断
(臨床的指標を参考に)

浸透圧が上昇

高血糖など別の浸透圧物質が大量に存在

体液量が減少している場合

体液量が正常な場合

体液量が増加している場合

腎からの体液喪失(利尿薬の過剰投与など)

腎以外からの体液喪失
(大量の下痢・火傷など)

尿中Na濃度
不定

尿中Na濃度
20mEq/L以下

ADH不適切に増加
(SIADH)

尿中Na濃度
40mEq/L以上

・水利尿不全
・副腎不全

尿中Na濃度
不定

・有効循環血漿量
(ECF)増加
・進行した腎不全

尿中Na濃度
不定

ECF低下
・心不全
・肝不全
・ネフローゼ

尿中Na濃度
20mEq/L以下

低ナトリウム血症

ポイント

- ・血漿浸透圧によって真の低ナトリウム血症か判断
- ・真の低ナトリウム血症であれば、
まず水中毒、溶質不足の否定を
- ・水中毒、溶質不足が否定されれば体液量を評価

低ナトリウム血症

症例

40歳 男性

5年前に血糖の軽度異常を指摘されたが放置していた。
入院2週間前より口渇感が強くなり、1週間前には清涼
飲料水を約5000ml飲むようになっていた。食欲と倦怠
感が増悪し、意識混濁が出現したため受診した。

受診時JCS III-100 血圧96/60mmHg SpO2 97%
Na 98mEq/L

低ナトリウム血症

血漿浸透圧407mOsm/kgH₂O

血糖 2531mg/dl HbA1c 12.4%
pH 7.349 HCO₃⁻ 21.1mmol/L 尿ケトン体(-)

→非ケトン性高浸透圧性昏睡

血糖値100mg/dlの上昇でNa 1.6mEq/L低下する。
400mg/dl以上では100mg/dlにつきNa 2.4mEq/L低下



本症例では血糖の是正で55.2mEq/L上昇する計算

実際には生理食塩水とインスリンの静脈内投与により
翌日には意識清明となった。

低ナトリウム血症

症例

80歳代 男性

3ヶ月前から不眠を主訴に近医を受診。

その時の血液検査でNa 128mEq/Lを認めた。

1週間前に再度受診した際の血清Naは125mEq/Lとさらに低下していた。

精査のために受診。

意識清明 血圧126/68mmHg HR 82/min SpO2 99%

Na 125mEq/L

低ナトリウム血症

血漿浸透圧 269mOsm/kgH₂O

低ナトリウム血症

血漿浸透圧 269mOsm/kgH₂O

尿浸透圧: 510mOsm/kgH₂O

→尿は濃縮されている、水中毒等は否定。

低ナトリウム血症

因みに

尿浸透圧の概算方法

尿浸透圧＝尿比重小数点以下×25～40

例)尿比重1.020

尿浸透圧＝20×25～40＝500～800mOsm/L

細胞外液量の評価

体液量減少： 体重減少
血圧低下、頻脈
口腔粘膜の乾燥
腋下の乾燥
turgorの低下

体液量増加： 体重増加
浮腫
胸水、腹水

細胞外液量の評価は難しい

1. Hypovolemiaの診断に臨床所見はどれをとっても感度・特異度に優れたものはなかった。

McGee S, et al. JAMA 1999; 281: 1022-9

2. 低Na血症を呈する患者においては、身体所見により正確な体液量評価ができたのは、Euvolemiaの48%、Hypovolemiaの47%にすぎなかった。

Chung HM, et al. Am J Med 1987; 83: 905-8

3. 細胞外液量を要素の1つに入れた低Na血症の診断のアルゴリズムでは、正確に診断に至った例は10%程度であった。

Hoorn EJ et al. QJM 2005; 98: 529-40

低Na血症時の体液量評価

- 体液量増加
 - ・ 病歴があり、他に原因のない浮腫や腹水が明らか
- 体液量減少
 - ・ 病歴があり、バイタルサインや体重の変化から明らか
- 上記以外は体液量正常として考えていく
 - ・ SIADH
 - ・ 軽度体液量減少を伴う低Na血症
 - ・ 軽度体液量増加を伴う低Na血症

低ナトリウム血症

意識清明 身長 153.2cm 体重 54kg 最近の体重変化なし
血圧126/68mmHg HR 82/min SpO2 99%
心音、呼吸音正常、腹部平坦、軟
胸部X-ray CTR 50.6% 肺うっ血なし
→体液量正常として考える。

Na 125mEq/L Cr 0.59mg/dl BUN 9mg/dl
pH 7.406 pCO2 38.4Torr pO2 89.9Torr HCO3- 23.6mmol/L
血漿浸透圧 269mOsm/kgH2O

甲状腺機能、副腎機能正常

尿浸透圧: 510mOsm/kgH2O、尿中Na 77mEq/L

低ナトリウム血症

意識清明 身長 153.2cm 体重 54kg 最近の体重変化なし
血圧126/68mmHg HR 82/min SpO2 99%
心音、呼吸音正常、腹部平坦、軟
胸部X-ray CTR 50.6% 肺うっ血なし
→体液量正常として考える。

Na 125mEq/L Cr 0.59mg/dl BUN 9mg/dl
pH 7.406 pCO2 38.4Torr pO2 89.9Torr HCO3- 23.6mmol/L
血漿浸透圧 269mOsm/kgH2O

甲状腺機能、副腎機能正常

尿浸透圧: 510mOsm/kgH2O、尿中Na 77mEq/L

低ナトリウム血症

SIADHと診断できる

診断基準

必須事項

- ・有効血漿浸透圧低下(274mOsm/kg 未満)
- ・尿浸透圧 $> 100\text{mOsm/kg}$
- ・臨床的euvoemia

細胞外液欠乏の臨床症状がない、(起立性低血圧、頻脈、
皮膚turgor低下、口腔粘膜乾燥)

細胞外液過剰の臨床症状がない(浮腫、腹水)

- ・尿Na濃度 $> 40\text{mEq/L}$
- ・甲状腺機能正常、副腎機能正常
- ・最近の利尿薬使用なし

低ナトリウム血症

治療

痙攣、昏睡等重度の神経症状がある場合、
症状が消失するまで、もしくは開始後2時間は
5~6mEq/L以下の補正として、その後は
24時間で12mEq/L以内、
48時間で15~20mEq/L 以内

→痙攣重積、昏睡・・・3%食塩水50~100mlを10分かけて静注
意識障害、嘔吐、一過性痙攣・・・3%食塩水50~100ml/h
神経症状が回復した後・・・3%食塩水中止、緩徐に補正
(0.5mEq/L/h, <8mEq/L/day)

(3%食塩水を体重ml投与により血漿Naは1mEq/L上昇)

急激な補正による橋中心髄症崩壊に注意

高ナトリウム血症

Naの増加か自由水の欠乏によって生じる。

自由水の喪失・・・腎性、腎外性
があり、
血漿浸透圧が高いにもかかわらず
水分摂取をしないかできない時

高Na血症の鑑別

高Na血症: $\text{Na} > 145\text{mEq/L}$

細胞外液量
正常～減少

細胞外液量
増加

高張尿

低～等張尿

腎外性水喪失

不感蒸泄亢進
過剰発汗
下痢
火傷、熱傷

腎性水喪失

中枢性尿崩症
腎性尿崩症
利尿薬

Na過剰

原発性アルドステロン症
Cushing症候群
高張食塩水投与
重炭酸Na液投与

高ナトリウム血症

治療

体液量が増加していない場合
水分の補充

高ナトリウム血症の水分欠乏量

$$= (\text{現在の血漿Na濃度} - 140) / 140 \times \text{体内水分量}$$

* 高Na血症では水分欠乏があるため体水分量は体重 $\times 0.5$ とするのが一般的

安全な補正速度

-0.5~1mEq/L/h、最初の24時間で12mEq/l以上下げない
0.5mEq/Lの速度で補正するには欠乏量を
 $(\text{現在の血漿Na濃度} - 140) / 0.5$ 時間かけて補充する

* 引き続く自由水喪失分は含まれないので2時間ごとにNa濃度を測定して補正する

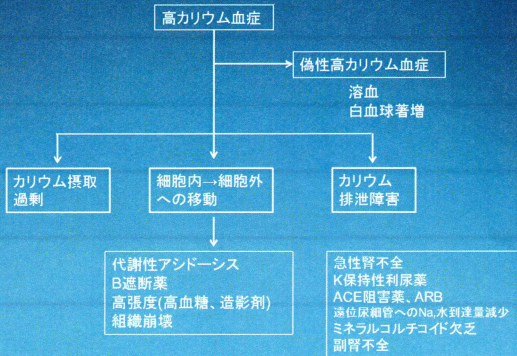
高カリウム血症

重度の高カリウム血症は出現する心電図異常の種類によっては即座に治療を要する内科的緊急疾患

- ・心電図異常

T波増高(テント状T波)、P波平坦化、PR延長
固有心室調律、深いS波を伴うQRS幅拡大、
正弦波 心室細動

高カリウム血症



高カリウム血症

アプローチ

①心電図を取る

②偽性高カリウム血症を鑑別する

(溶血、血小板増加症、白血球増多症など)

③急性期の治療

8.5%グルコン酸カルシウム 10~20ml 5分かけて静注

7%重炭酸ナトリウム 40ml 5分かけて静注

グルコース、インスリン

10%Glu500mlに速効型インスリン10単位を混注 60分以上かけて点滴
陽イオン交換樹脂 15~60gを微温湯に溶かし注腸or経口
利尿薬 ループ利尿薬を40~60mg静注

Salbutamol 10~20mg吸入

透析

④原因検索

⑤慢性期治療

低カリウム血症

K<3.5mEq/Lを低カリウム血症と定義

臨床症状が出現するのは概ね<2.5mEq/L以下

- >3.0mEq/L 無症状のことが多い
- <3.0mEq/L 筋力低下、倦怠感、時に筋肉痛
- <2.5mEq/L CK アルトラーゼ AST上昇など
- <2.0mEq/L 横紋筋融解、呼吸筋筋力低下、腸管蠕動低下
torsades de pointes 心室細動

低カリウム血症

偽性低K血症、細胞内へのKシフトの除外

腎外性K喪失
尿中K排泄 < 20mEq/day
FEK < 6.5%
TTKG < 2~3

K摂取量不足
消化管からのK喪失

腎性K喪失
尿中K排泄 > 20~40mEq/day
FEK > 6.5%
TTKG > 2~4

血圧・体液量を評価

低血圧・正常血圧

代謝性アシドーシス

尿細管アシドーシス、糖尿病性ケトアシドーシス

代謝性アルカローシス

尿中Cl < 10mEq/day

嘔吐・胃液吸引・Cl喪失性下痢

尿中Cl > 20mEq/day

ループ利尿薬、サイアザイド系利尿薬

Bartter症候群、Gitelman症候群

高血圧・体液量増加

アルドステロン高値

レニン高値：腎動脈狭窄、レニン分泌腫瘍

レニン低値：原発性アルドステロン症等

アルドステロン低値・正常

コルチゾール高値

Cushing症候群、ステロイド投与等

コルチゾール低値・正常

Liddle症候群、甘草、鉱質コルチコイド過剰症

低カリウム血症

K補充

血清K濃度 1mEq/L の低下につき 4mEq/kg が目安

症状が軽ければ経口投与が安全

経静脈投与の場合はなるべく中心静脈を避け
濃度 40mEq/L 以下
投与速度 $10\sim 20\text{mEq/L}$ 以下
(心電図モニター)