

## 特集 酸塩基平衡, 電解質異常に挑む

さあ困った、  
特殊な状況でのナトリウム異常、  
どう対処する？

## 透析が必要な患者の場合

岡田 和也 OKADA, Kazuya 10a 見出し MA 31  
東京都立墨東病院 集中治療科 9a 新訂

はじめに

透析治療が必要な患者におけるナトリウム異常は、治療戦略において大きな課題となる。特に、透析液のナトリウム濃度が標準的には 140mEq/L に設定されていることから、ナトリウム異常患者に対する透析には、過剰補正のリスクを伴う。本稿では、低ナトリウム血症および高ナトリウム血症の患者に透析を行う際の治療戦略について解説する。

症例  $\sigma 12a \square \sigma \triangleright B$

子宮頸癌などの既往のある 40 歳代の女性。嘔気・嘔吐あり救急外来受診。両側水腎症、急性腎障害、高カリウム血症、低ナトリウム血症を認め、ICU 入室となった。入室時、見当識障害と頻呼吸を認めた。体重は 50kg、血液生化学検査では、Na 118mEq/L、K 6.6mEq/L、Cl 80 mEq/L、Ca 9.4mg/dL、P 6.9mg/dL、ALB 2.6mg/dL、BUN 125mg/dL、Cr 7.25mg/dL、動脈血ガスでは pH 7.45、pCO<sub>2</sub> 24mmHg、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 15mEq/L だった。

担当医であるあなたは尿毒症、高カリウム血症、代謝性アシドーシスに対して透析を行いたいと考えている。さて、どのような方法で透析計画を立てていけばよいだろうか？

→ 低ナトリウム血症

低ナトリウム血症の補正においては、浸透圧

## キーワード

1. 141. スミベタ  
 ↓ 38=11  
 以上

(x154=11  
 193=11)

1  
 症用

性脱髄症候群 osmotic demyelination syndrome (ODS) の発症を避けるために、血清ナトリウム濃度 ( $[Na]$ ) の上昇を、最初の 24 時間では  $10\text{mEq/L}$ 、その後は 24 時間ごとに  $8\text{mEq/L}$  に制限し、血清  $[Na]$  が  $130\text{mEq/L}$  に達するまで制限することが推奨されている<sup>1)</sup>。透析液の  $[Na]$  は、標準的には  $140\text{mEq/L}$  に設定されていることから、重度の低ナトリウム血症患者に透析を行う場合は過剰補正のリスクを伴う。尿素窒素 (BUN) は血液脳関門を通過する速度が遅く、透析による血清 BUN 濃度の急速な低下が、低ナトリウム血症の急速な是正による脳からの水分の移動を打ち消すため、ODS は生じにくいとする報告もある<sup>2)</sup>。しかし、透析で治療された重度の低ナトリウム血症の尿毒症患者で ODS を発症した症例報告もあるため、注意が必要である<sup>3)</sup>。



流用 (以下同)

### 間欠透析の場合

例えば、初期の血清 [Na] が 124mEq/L で、透析液 [Na] が 130mEq/L に低下させた場合、通常の HD 治療 (透析時間 4 時間、血流量 (Qb) 200mL/min) が終了した時点で、血清 [Na] は 130mEq/L 近くになる。この例では、最初の 24 時間で血清 [Na] がさらに上昇しないように予防措置を講じるかぎり、それ以上の処置は必要ない。

しかし、重度の慢性低ナトリウム血症の場合、透析液 [Na] を 130mEq/L に低下させたとしても、4 時間で血清 [Na] が許容以上に上昇すれば、ODS に至る可能性がある。HD を施行した場合の HD 終了時までの血清 [Na] 上昇率 rate of rise in serum [Na] by the end of a HD session (Ri[Na]) は、以下の式で計算できる<sup>4)</sup>。

$$Ri[Na] = \frac{\text{HD 中に移行した総 Na 量}}{\text{総体液量 (L)}}$$

$$Ri[Na] = \frac{(\text{透析液 [Na]} - \text{血清 [Na]}) \times Qb (\text{L/分}) \times \text{透析時間 (分)}}{\text{総体液量}}$$

$$Ri[Na] = \frac{\Delta Na (\frac{\text{mEq}}{\text{L}}) \times Qb (\frac{\text{L}}{\text{分}}) \times \text{透析時間 (分)}}{\text{総体液量 (L)}}$$

Ri[Na]: HD 終了時までの血清 [Na] 上昇率  
総体液量: 女性の場合は体重 × 0.5,  
男性の場合は体重 × 0.6

なお、この式は透析中の血清 [Na] が変化しないという仮定のもと成り立っている。透析時間を伸ばすと、Ri[Na] がどんどん大きくなっていくことにより、透析液の濃度を超えることになる。そのため実際には、長時間の間欠透析を行う場合には透析中に血清 [Na] をフォローし、軌道修正する必要があることには注意したい。

ここで、症例における条件 (50kg、総体液量 25L) で、透析液 [Na] 130mEq/L、Qb 100mL/min (0.1L/min)、透析時間 240 分 (4 時間) と設定した場合、Ri[Na] = 11.5mEq/L となる。このように Qb が低いにもかかわらず、

血清 [Na] は 4 時間で 12mEq/L 近く上昇してしまう。血清 [Na] の上昇がより緩やかになるような Qb を決定するには、上記の式を再整理した以下の式を用いる。

$$Qb (\frac{\text{L}}{\text{分}}) = \frac{Ri (\frac{\text{mEq}}{\text{L}}) \times \text{総体液量 (L)}}{\Delta Na (\frac{\text{mEq}}{\text{L}}) \times \text{透析時間 (分)}}$$

例えば、Ri[Na] を 6mEq/L におさえるには、同じ透析液 [Na]、透析時間であれば、Qb 52mL/min (= 0.052L/min) となる。このような低い Qb 設定は、回路凝固や透析不足をまねく可能性が高い。透析が必要な多くの患者は、高カリウム血症や代謝性アシドーシスを合併していることが多く、Qb を低いままにしておいても改善する可能性は低い。透析時間を短縮することも同様に、高カリウム血症や代謝性アシドーシスが高度な場合にはデメリットが上回ると考えられる。

血清 [Na] の急速すぎる補正を軽減するもう 1 つの選択肢として、透析液 [Na] を 130mEq/L まで下げ、透析中に 5% ブドウ糖液の注入を併用する方法がある。この場合は、高血糖や溢水に注意する。血清 [Na] の補正速度を遅くするのに必要な 5% ブドウ糖液の量を決定するためには、次のように考える。

$$[Na]_t \times \text{総体液量} = [Na]_d \times (\text{総体液量} + V)$$

$$[Na]_d \times V = [Na]_t \times \text{総体液量} - [Na]_d \times \text{総体液量}$$

$$= ([Na]_t - [Na]_d) \times \text{総体液量}$$

$$V = \frac{([Na]_t - [Na]_d) \times \text{総体液量}}{[Na]_d}$$

V = 5% ブドウ糖液の体積 (L)  
[Na]<sub>t</sub> = 透析終了時の終末血清 [Na] terminal serum [Na] at the end of dialysis (5% ブドウ糖液が注入されなければ、平衡により透析液 [Na] と同じになる)  
[Na]<sub>d</sub> = 透析終了時の望ましい血清 [Na] desired serum [Na] at the end of dialysis

なお、5% ブドウ糖液 (Na を含まない) を注入しても全身の [Na] は変わらないことに注意する。

提示した症例で、透析終了時の血清 [Na] 124 mEq/L を目標とする場合は、V = 1.2L となる。低ナトリウム血症が重症であればあるほど、5% ブドウ糖液の必要投与量は多くなる。

ここまでの説明から、重症低ナトリウム血症の患者では HD ではなく、持続的腎代替療法 continuous renal replacement therapy (CRRT) が望ましいことがわかるだろう。

### 持続透析の場合

前述のように、HD は重症低ナトリウム血症の患者には実用的ではなく、CRRT のほうが格段に管理が容易である。しかし、市販の透析液 ([Na] 140mEq/L、サブラッド血液ろ過用補充液 BSG<sup>®</sup>、以下サブラッドと表記) を用いた場合は、CRRT でさえも過剰補正となってしまうことがあり注意を要する<sup>5)</sup>。予想される変化が推奨される治療目標を超える場合は、低ナトリウム血症の期間 (急性か慢性か) や重症度に基づいて、CRRT の処方個別に行う必要がある。以下の 2 通りのアプローチが考えられる<sup>4, 6)</sup>。

- ① 透析液の組成を変更する方法
- ② 5% ブドウ糖補液を行う方法

● 透析液の組成を変更する方法  
市販の CRRT 透析液 [Na] は通常 140mEq/L であり、これより著しく低い [Na] の溶液は入手できない。そのため、透析液 [Na] を変更するためには、市販の透析液を自由水で希釈する必要がある。患者の血清 [Na] を望ましい補正限界内に維持するために必要な CRRT 透析液 [Na] は、以下の式を用いて推定できるとされている。

$$\text{CRRT 透析液 [Na]} = \frac{\text{理想血清 } \Delta [Na]}{(1 - e^{-\frac{D \times 24h}{V}})} + \text{血清 [Na]}_i$$

[Na]<sub>i</sub>: 最初の血清 [Na] (initial serum [Na])  
D: 有効 Na 透析量 (= 透析液量 + 置換液量)  
V: 全身水分量

上記の方法で、理論上は任意の [Na] の透析液も調合可能であるが、計算式が複雑である。Neyra ら<sup>7)</sup>は、計算を標準化するための電子スプレッドシートを用いることで安全に CRRT を実施することができたと報告している。また、Tandukar ら<sup>8)</sup>は、施設内の低ナトリウム透析液を [Na] 126 または 119mEq/L の 2 段階に設定する方法を、異<sup>9)</sup>は透析液 [Na] 126 または 132mEq/L の 2 段階に設定する方法をとるなど、プロセスを簡略化し、調合エラーのリスクを軽減する方策を講じて安全に実施できたと報告している。

透析液の希釈は CRRT 透析液バッグの一部を自由水に入れ替えることで行うことができる。設定した CRRT 透析液 [Na] となるために CRRT 透析液バッグに加える自由水の量は、次式で推定できる。

$$\text{入れ替える自由水の量} = \frac{\text{透析液バッグの量} \times (\text{initial CRRT [Na]} - \text{desired CRRT [Na]})}{\text{initial CRRT [Na]}}$$

例えば、サブラッド ([Na] 140mEq/L、2020 mL) を CRRT 透析液 [Na] 126mEq/L に希釈するには、202mL を抜いて同量の 5% ブドウ糖液に入れ替える必要がある。

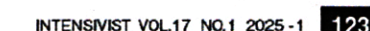
● 5% ブドウ糖補液を行う方法  
回路末端での [Na] は、回路内の総ナトリウム量 (1 時間あたり) / 総治療液量 (1 時間あたり) で決定できる。この場合、

$$\frac{[(\text{補充液 [Na]} \times \text{速度}) + (\text{透析液 [Na]} \times \text{速度})]}{\text{総液量}}$$

となる。例えば、市販のサブラッドを用いて置換液 800mL/hr (0.8L/hr) で CHF を施行する場合は、(140mEq/L × 0.8L) / 0.8L = 140 mEq/L となる。

回路末端での [Na] がこれほど高くなると、血清 [Na] もこのレベルまで上昇してしまい望ましくない。そのため、回路の [Na] を下







40  
2  
以内7.2ドリ  
センター

$$\text{血清[Na]の低下} \left( \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Vr[Na]i} - \text{Vr[Na]d}}{\text{総体液量}}$$

[Na]d: 透析終了時の望ましい血清 [Na]  
(desired serum [Na] at the end of dialysis)  
[Na]r: 置換液中の [Na] ([Na] in replacement fluid)  
Vr: 置換液量  
[Na]i: 最初の血清 [Na] (initial serum [Na])

また、低ナトリウム血症の時と同様に透析液の組成を変更する方法もあり、一般的にはサブラッドに 10% NaCl を混注する。異ら<sup>9)</sup>は、高ナトリウム透析液として [Na] 148.5, 157, 165.5mEq/L の 3 段階に設定する方法をとることで、調合エラーのリスクを軽減することができたと報告している。

症例 (つづき)  $\sim 80\% + 20\%$   
サブラッド ([Na] 140mEq/L) を用いて透析液流量 800mL/hr (0.8L/hr), 5%ブドウ糖液 100mL/hr (0.1L/hr) で補液を行いながら CHD を開始し、1～2 時間おきに血清 [Na] をフォローしながら 5%ブドウ糖液の流量を調整した。翌日には血清 [Na] 125mEq/L まで改善した。同日、透析液 [Na] を 130mEq/L に調整して HD へ移行した。

## おわりに

ナトリウム異常を合併した腎不全患者に透析を行う際には、低ナトリウム血症と高ナトリウム血症それぞれに特有のリスクを慎重に管理する必要がある。低ナトリウム血症では ODS を避けるために、血清 [Na] の急激な上昇を防ぐことが重要である。一方、高ナトリウム血症では脳浮腫のリスクを軽減するために、血清 [Na] の急激な低下を防ぐ必要があ

る。各施設の状況に合わせて適切な透析戦略を選択し、血清 [Na] 濃度を頻繁にモニタリングすることが重要である。

参考文献 12a 見出し M8 31 20H

1. Spasovski G, Vanholder R, Allolio B, et al. Clinical practice guideline on diagnosis and treatment of hyponatraemia. Intensive Care Med 2014; 40: 320-31. PMID: 24562549
2. Oo TN, Smith CL, Swan SK. Et al. Does uremia protect against the demyelination associated with correction of hyponatremia during hemodialysis? A case report and literature review. Semin Dial 2003; 16: 68-71. PMID: 12535304
3. Huang WY, Weng WC, Peng TL, et al. Central pontine and extrapontine myelinolysis after rapid correction of hyponatremia by hemodialysis in a uremic patient. Ren Fail 2007; 29: 635-8. PMID: 17654329
4. Tinawi M, Bastani B. A mathematical approach to severe hyponatremia and hypernatremia in renal replacement therapies. Semin Dial 2021; 34: 42-50. PMID: 33063373
5. Yessayan L, Yee J, Frinak S, et al. Treatment of severe hyponatremia in patients with kidney failure: role of continuous venovenous hemofiltration with low-sodium replacement fluid. Am J Kidney Dis 2014; 64: 305-10. PMID: 24792353
6. Yessayan LT, Szamosfalvi B, Rosner MH. Management of dysnatremias with continuous renal replacement therapy. Semin Dial 2021; 34: 472-9. PMID: 34218456
7. Neyra JA, Ortiz-Soriano VM, Ali D, et al. A Multidisciplinary approach for the management of severe hyponatremia in patients requiring continuous renal replacement therapy. Kidney Int Rep 2018; 4: 59-66. PMID: 30596169
8. Tandukar S, Kim C, Kalra K, et al. Severe hyponatremia and continuous renal replacement therapy: safety and effectiveness of low-sodium dialysate. Kidney Med 2020; 2: 437-9. PMID: 32775984
9. 異 博臣, 千原伸也, 赤塚正幸ほか. 高度の Na 濃度異常を伴う重症患者に対する CRRT の透析液 / 補充液の Na 濃度の調整. 日急性血浄化会誌 2022; 13: 42-7.
10. <https://ukidney.com/nephrology-resources/hyponatremia-calculators/crrt-replacement-fluid-calculator-for-hyponatremia>
11. 森谷しのぶ, 瀧 史香, 長谷川正字ほか. 血清 Na 100mEq/L を呈した無尿急性腎傷害に対し Na 濃度調節した持続的腎機能代替療法を行った 1 例. 日本急性血液浄化学会雑誌 2016; 7: 76-9.
12. Sonani B, Naganathan S, Al-Dhahir MA. Hypernatremia. 2023 Aug 24. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 28722989

10a  
17g/100g  
W3  
13H  
11H  
ま  
ど  
す  
!!  
)