

透析における重炭酸の諸問題

山本忠司 山川智之

白鷺病院

key words : 重炭酸測定法, 透析液重炭酸濃度, アルカリ能, 血中重炭酸濃度

要旨

透析における重炭酸の扱いにはいくつかの問題が存在する。血液ガス分析装置での透析液の正確な HCO_3^- 濃度の測定は困難であり、 HCO_3^- 濃度は電解質濃度、とくに Na^+ と Cl^- 濃度によりそのアルカリ能を正確に把握することができる。適正な酸塩基平衡の是正については、血中 HCO_3^- 濃度による判断には限界があり、その指標としては血中 pH がより合理的である。透析における重炭酸は、その意味を理解したうえで注意深く扱われるべきである。

はじめに

約 40 年前に重炭酸透析液が開発され、透析液管理に酸塩基平衡の概念が導入されるようになった。重炭酸透析液は透析医療に大きな進歩をもたらしたが、その扱いは簡単ではなく、その後も濃度調整や濃度測定で臨床工学技士を悩ませ、また、正確に患者の酸塩基平衡の是正が可能になったということで医師をも悩ませてきた。

すべては炭酸 (H_2CO_3) に起因しているといっても過言ではない。38 億年前、生命が誕生したとき、激しく変化する外部環境に細胞の内部環境の恒常性、とくに水素イオン (H^+) 濃度を維持するために酸と塩基の緩衝系が作用し、その酸と塩基の供与物質に H_2CO_3 が選択された。当時の地球の大気のは大半は、メ

タン、アンモニアと炭酸ガス (CO_2) であり当然とも言えるが、 H_2CO_3 は生物での細胞呼吸の最終産物である CO_2 を利用した揮発性の酸であり、外呼吸 (気孔, エラ, 肺) で簡単に排泄されることが生物にとっては好都合であったが、後の科学者には、重炭酸イオン (HCO_3^-) が H^+ の最大のパートナーであることが複雑きわまりないものとなった。

H_2CO_3 そのものは水溶液中でしか存在せず、しかし非常に不安定で、絶えず CO_2 と H_2O の形になろうとする。生体内では炭酸脱水酵素により CO_2 分圧 (PCO_2) の高い場所では安定して H^+ と HCO_3^- の形で、 PCO_2 の低い場所では CO_2 として存在する。この H_2CO_3 の含量を直接測定することは不可能であり、測定可能な PCO_2 から推測される。 HCO_3^- の含量も臨床の場での直接測定は不可能で、これも測定可能な pH と PCO_2 により推測される。これが血液ガス分析での原理であるが、もう一つ CO_2 に特異的な測定法があり、 H_2CO_3 と HCO_3^- を酵素反応で捕えることができる (酵素法)。しかし、この方法にしても総 CO_2 含量 (TCO_2) の測定であり、 HCO_3^- 濃度を正確に分析することはできない。

実際の測定はどうであろうか。血液の場合、血球の代謝により pH は 0.01/10 分の速度で低下し、採血手技が嫌氣的でない CO_2 は拡散し pH は逆に上昇する。血液ガス分析が時間勝負であるという所以である。透析液の場合、透析液は水溶液なので代謝の影響は受

けないが、CO₂は炭酸塩に固定（消費）され、また血液以上にCO₂は簡単に拡散する。では、この透析液でのCO₂の消費や拡散はアルカリ能にどのように影響するのであろうか。さらに、血液ガス分析の原理は血漿を対象としているが、透析液は水溶液であり、Henderson-Hasselbalch (H-H) の式で基本となるH₂CO₃の解離定数やCO₂の溶解度係数も違う。どう解釈すればよいのであろうか。

臨床的な問題はどうか。重炭酸透析液が普及するにつれて、透析患者の酸塩基平衡の適正は正が問題とされるようになった。これは、細胞外液の主たる緩衝物質であるHCO₃⁻が透析液のHCO₃⁻により直接かつ正確にコントロール可能となったためである。1980年代後半から、この適正は正についての多くの研究がなされ、また、いくつかのガイドラインが提唱されるようになった。しかし、この適正は正については多くの解釈があり、またデータ解析の方法によっては真逆の結果が出ることもあり、未だ決着がついていない。

透析における重炭酸には多くの問題がある。重炭酸透析液が普及して約40年になろうとするが解決されていないように感じる。今回、重炭酸がもつ諸問題について、われわれの知見も含めて述べてみたい。

なお、HCO₃⁻は化学では炭酸水素イオン、しばしば重炭酸イオン、Na塩では重曹と呼ばれるが、透析医療では重炭酸イオンという呼称が広く使われており、本稿でも“重炭酸”に統一した。

1 重炭酸測定法の問題

現在、HCO₃⁻濃度の測定には血液ガス分析法と酵素法が可能である。血液ガス分析法では、血漿の炭酸緩衝系をH-Hの式にあてはめて、

$$\text{pH} = \text{pK}'_1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

から計算される。pK'₁は炭酸における電離定数の常用対数であるが、血漿の場合、pK'₁は温度とpHにより変化し、各種疾患が取りうる範囲の38℃の血漿pHでは、6.071から6.117までの値をとる。しかし、一般的に正常血漿として37~38℃で6.1と定められている。pK'₁の値によっては、[HCO₃⁻]/[H₂CO₃]比が同じであってもpHは最大で0.05程度の誤差が

でることになる。

H₂CO₃濃度はPCO₂に比例し、CO₂溶解度係数(α)とPCO₂の積に等しく、血漿濃度をm mol/Lの単位で表した場合、

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] (\text{m mol/L}) = 0.0591\alpha \cdot \text{PCO}_2$$

で示される。αは温度により変化し、血漿と水でも値が異なり、血漿での値はmLCO₂/mL血漿/760 mmHgで表される。また研究者によってもその値が異なり、38℃では0.508から0.510までの値をとる。一般的には0.510が採用され、最終的に

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] (\text{m mol/L}) = 0.0301 \cdot \text{PCO}_2$$

で示される。しかし、これらのpK'₁、αは血漿で求められたある一定条件での値である。血液ガス分析装置におけるpHとPCO₂の測定は、その一次校正として水溶液系標準物質または標準ガスで行われ、分析装置独自のpK'₁、αが設定される(表1)。このpK'₁、αを基に、さらに標準血漿で校正が行われている。

透析液の場合、そのトレーサビリティに関しては日本臨床化学会で詳細に決められているが¹⁾、原則は水溶液系で求められたpK'₁、αを用い、透析液標準物質で校正するという方法がとられる。正確には透析液の標準物質からpK'₁、αを新たに設定する必要があるが、実際には透析液標準物質での理論値に強制的にもっていくように補正されている。表1での分析装置で透析液(または水溶液)測定モードをもつA、B社の透析液標準物質での測定値を表2に示す。透析液標準物質はキンダリー® AF2号(HCO₃⁻: 28 mEq/L, TCO₂: 30 mEq/L), AF3号(HCO₃⁻: 23 mEq/L, TCO₂: 25 mEq/L), カーボスター®M(HCO₃⁻: 34 mEq/L, TCO₂: 35 mEq/L)である。装置によってHCO₃⁻、TCO₂ともに2 mEq/L程度の差がある。

表1 各種血液ガス分析装置のpK'₁とCO₂溶解度係数(α)の比較

	pK' ₁	α
A社	6.105	0.0307
B社	6.068	0.03066
C社	6.105	0.0307
D社	6.125 - log[1 + 10^(pH - 8.7)]	0.03066
E社	6.091	0.0307

pK'₁は各社で最大0.037の差がある。D社のみpHによる補正をかけている。αは0.0307に近似するが、血漿での0.0301とは相違した値をとる。

表2 血液ガス分析装置による透析液標準物質のHCO₃⁻、TCO₂濃度の比較

	キンダリー AF2		キンダリー AF3		カーボスター M	
	HCO ₃ ⁻	TCO ₂	HCO ₃ ⁻	TCO ₂	HCO ₃ ⁻	TCO ₂
理論値	28	30	23	25	34 [†]	35
A社	27.3±0.3	29.1±0.3	22.6±0.2	24.2±0.3	32.0±0.4	33.2±0.4
B社	30.7±0.8	32.5±0.8	24.9±0.4	26.6±0.4	35.4±0.7	36.5±0.7

Mean±SD, mEq/L (n=6)

[†] この値についてはメーカーから明らかにされておらず、クエン酸濃度：1 mEq/L、クエン酸 Na：1 mEq/Lとしたときの値である。

資料提供：五仁会元町 HD クリニック、清水 康

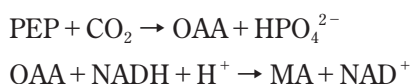
血液の場合、血液ガス分析装置ではもう一つ大きな問題が生じる。pHとPCO₂の測定は電極法によるもので、H⁺やCO₂含量は総量ではなく濃度での直接測定である。つまり、血漿に含まれる水（血漿水）の濃度であり、血漿の濃度ではない。体内における酸塩基平衡は全血や血漿であって初めてその意味をなす。血漿水の濃度を血漿の濃度に換算する場合は、固形物（血漿蛋白や脂質）での体積排除効果を考慮しなければならない。

いま、血漿での固形物が占める割合を6%とすると、HCO₃⁻の血漿濃度は、

$$\text{HCO}_3^- \text{ の血漿濃度} = \text{HCO}_3^- \text{ の血漿水濃度} \\ \times 1/(1-0.06)$$

で示される。酸塩基平衡の測定はそのH-H式での原理から、単位血漿当たりでの能力として判断されるが、血液ガス分析装置では、血漿と水というようなマトリックスの違いによるイオン活性や体積排除効果による補正が行われなければならないが、これがどのように補正されているかは明らかにはされていない。

HCO₃⁻濃度を推測するもう一つの測定法として酵素法がある。わが国では1社から発売されている。この測定原理は、ホスホエノールピルビン酸（PEP）がオキサロ酢酸（OAA）とリン酸に分解されるさいにCO₂が固定されるという反応を利用したもので、このときにHCO₃⁻として1分子が消費される。生じたOAAをリンゴ酸（MA）に還元し、そのさいに酸化されるNADHの吸光度を測定することにより消費されたHCO₃⁻の量が算出される。



この測定法ではすべてのCO₂が固定され、TCO₂

（HCO₃⁻+H₂CO₃）の濃度として示される。TCO₂濃度からHCO₃⁻濃度を推測する場合は、透析患者の平均H₂CO₃濃度とされる1.2 m mol/Lを引いた値が採用される²⁾。血液ガス分析法と比較して、酵素法の最大の特徴は密閉された血清検体は長時間の保存が可能であり、生化学自動分析装置での大量処理が可能である。透析施設のように大量に検体が出る場合には適しているといえる。しかし、ここでもいくつか問題がある。まず、血液検体は血清分離しなければならないが、この過程で嫌氣的に扱うのは困難であり、また血球による代謝の影響も避けえない。さらに、自動分析装置のサンプルディスクに試験管（サンプルカップ）が多数セットされた場合、順番待ちの検体は長時間、好氣的条件下に放置される。これを防止するには密封されたサンプルカップにサンプルプローブを刺し入れるピアッシング（piercing）方式の自動分析装置が必要であるが、わが国ではあまり普及していない。メーカー側は、1時間以内の測定であれば問題ないとしているが、実際に自動分析装置を用いた研究では、20分でHCO₃⁻濃度は6.1%変化し、15分以内の測定が必要であると注意喚起している³⁾。また、この方法は血液を対象としており、透析液では新たな校正が必要である。

以前より欧米でのHCO₃⁻測定は酵素法が用いられてきた。欧州のいくつかの国と日本では血液ガス分析法が主流であるが、酸塩基平衡の正確な測定としては血液ガス分析法に優位性がある。それでも酵素法が広く使われている理由は、透析患者ではスクリーニングとして代謝性アシドーシスの程度を判断できれば十分であることと、その検査の費用効果（cost effectiveness）と労働集約性（labor-intensive）が血液ガス分析法よりも格段に優れていることである。酵素法についてはある程度のCO₂の飛散は免れず、若干低値と

なることが推測される。この酵素法での測定値の問題については、過去に American Journal of Kidney Disease の誌上で議論されたことがある⁴⁻⁶⁾。米国では、検体は空輸されて検査センターで一括処理される。この輸送中での気圧の変化や検体の前処理での嫌気性が問題となったが、TCO₂ 濃度の正確性については解決されていない。

2 透析液のアルカリ能の問題

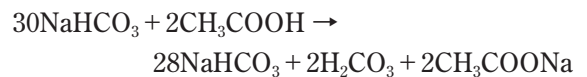
透析液の正確な HCO₃⁻ 濃度の測定は困難である。もし、厳密に校正された分析装置でその測定が可能になったとしても、透析液供給装置での混合槽、貯留槽は半大気開放であり、さらに分子レベルでの炭酸塩への CO₂ 固定という反応は透析液が作成された直後から進行しており、HCO₃⁻ 濃度は低下している。濃度管理における HCO₃⁻ 濃度は単なる目安であるといえる。

しかし、透析液のもつ特殊性がこの問題を解決してくれる。20世紀初頭に Henderson が酸塩基平衡の概念を確立したが、その中で緩衝陽イオンが緩衝陰イオンを供給する能力をもつことから、この緩衝陽イオンをアルカリ予備 (alkali reserve) と定義した。細胞外液における炭酸緩衝系では、緩衝陰イオン HCO₃⁻ を供給する主たる緩衝陽イオンは Na⁺ であり、Na⁺ の量が緩衝能という意味で捉えられる。しかし、細胞外液中では HCO₃⁻ を供給する Na⁺ だけを測定することは不可能であり、HCO₃⁻ 濃度の測定で代用するということが今日まで行われている。

さらに、緩衝陰イオンは HCO₃⁻ だけでなく、代謝されて CO₂ として排泄されるものすべて (有機酸など) を含む。また Na⁺ だけが緩衝陰イオンを供給するわけではなく、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ などの他の陽イオンも同じである。しかし、透析液の場合、緩衝陽イオンは Na⁺ のみあり、それは重炭酸 Na と酢酸 Na (もしくはクエン酸 Na) という形で存在している。透析

液の陽イオンと陰イオンの総量も等価で anion gap として 0 であり、濃度も既知であることから、HCO₃⁻ 濃度は電解質濃度から推定することが可能である。もし、透析液が規定希釈比率で作成されている場合は、Na⁺ と Cl⁻ が規定濃度であれば、その透析液の HCO₃⁻ 濃度は理論値と同じである。もし、透析液が規定希釈比率外で調整されているのであれば、透析液のもつアルカリ能の総量 (HCO₃⁻ 濃度 + 酢酸 Na 濃度) を、陽イオン総量から Cl⁻ 濃度を引いて求めることができる。

例えば、透析液電解質濃度 (mEq/L) が Na⁺ : 140, K⁺ : 2.0, Ca²⁺ : 3.0, Mg²⁺ : 1.0, Cl⁻ : 108, HCO₃⁻ : 30, CH₃COOH : 2, CH₃COONa : 8 の場合を想定する。このときの理論上の総アルカリ能は、

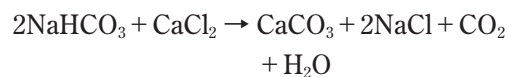


の反応式で示される 28 mEq/L の NaHCO₃ と 2 mEq/L の CH₃COONa、および元々含まれる 8 mEq/L の CH₃COONa の合計である 38 mEq/L となる。電解質から求まる総アルカリ能は、陽イオンの総量は 146 (140 + 2 + 3 + 1) mEq/L から Cl⁻ の 108 mEq/L を差し引いた量 38 mEq/L で理論値と一致する。これは透析液調整時の A 剤や B 剤の混合比率が変化しても同様に近似した値が求められる (表 3)。

ただし、これには“アルカリ予備”の原則が成立していることが前提である。NaHCO₃ を含む水溶液から CO₂ が飛散した場合、以下のような反応が生じる。



さらに、NaHCO₃ と CaCl₂ が HCO₃⁻ と反応した場合、CaCO₃ が生じる (Mg も同じである)。



ここで、生じた Na₂CO₃ および CaCO₃ は透析膜を

表 3 透析液原液剤の希釈比率を変更した場合の総アルカリ濃度

	理論総アルカリ濃度	総陽イオン濃度	Cl 濃度	計算総アルカリ濃度
規定希釈	38	146	108	38 (146 - 108)
A 原液剤調整	38	148	110	38 (148 - 110)
B 原液剤調整	36	144	108	36 (144 - 108)

A 原液剤調整, A 剤希釈比率を調整し Na 濃度を 142 mEq/L とした場合; B 原液剤調整, B 剤希釈比率を調整し HCO₃⁻ 濃度を 28 mEq/L とした場合; 単位, mEq/L. 実際の Na⁺, Cl⁻ 濃度は有効数字 3 桁であるので各値は小数点第 1 位を四捨五入した。

介して体内に入った場合、元々、透析液に含有されていた緩衝 Na^+ と等価の緩衝陽イオン (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) となり、等価のアルカリ能をもつ。大量に CO_2 が抜けない限り、炭酸塩が結晶となって透析膜を透過できなくなる限り、この原則は成り立つ。緩衝 Na^+ の総量がアルカリ能を決定することになる。これは、リン吸着剤としての CaCO_3 が吸収されるとアルカリ剤となるのと同じである。

透析液の HCO_3^- 濃度は正確に測定することは困難である。測定しても目安とする程度であるならば、透析液の電解質濃度、とくに変動係数 (CV 値) の小さい絶対値の大きい Na^+ と Cl^- が正確に測定できれば、透析液のアルカリ能を知ることができる。

3 酸塩基平衡の適正是正の問題

重炭酸の臨床的問題として酸塩基平衡の適正是正がある。代謝性アシドーシスの適正な是正は良好な予後のための重要な因子の一つである。この適正是正のための至適透析前 HCO_3^- 濃度にはいくつかの大規模研究があり、この中で生命予後と関連付けられたものは 2004 年の DOPPS²⁾、2006 年の DaVita⁷⁾ の報告である。これらの報告に、2009 年の日本透析医学会 (JSDT) での統計調査報告⁸⁾ も参考にこの三つの研究について比較する。

DOPPS の報告では、透析前 HCO_3^- 濃度と死亡の関係は因子調整前で U 字関係、因子調整後も U 字関係で、至適 HCO_3^- 濃度は 19~22 mEq/L とされている (図 1)。DaVita の報告では、因子調整前は逆 J 字

関係、因子調整後は U 字関係で、至適 HCO_3^- 濃度は 18~27 mEq/L である (図 2)、JSDT では、因子調整前は逆 J 字関係、因子調整後は J 字関係を示し、至適 HCO_3^- 濃度は 16 mEq/L 以上となっている (図 3)。しかし、これら報告には大きな問題点がある。蛋白代謝や骨代謝からは代謝性アシドーシスの十分な是正が必要であるが、生命予後の観点から透析前値をどの程度までアルカリ側に設定できるか見解が違っている。2012 年に米国の FDA⁹⁾ が過アルカリの危険性について警告し、また 2013 年の DOPPS⁹⁾ では透析液の高 HCO_3^- 濃度と生命予後の悪化の関連性が示唆され、アシドーシスの過是正は問題となっており、われわれが知りたいのは代謝性アシドーシスの是正はどの程度までかということである。

ここに適正是正における重炭酸の二つの大きな問題が存在する。まず、わが国の HCO_3^- 濃度の測定法は血液ガス分析装置による HCO_3^- 濃度であり、欧米諸国では酵素法による TCO_2 濃度である。さらに、測定日にも週初めと中日という差があり、欧米での値は 2.4 mEq/L マイナスしたものがわが国での値とされる²⁾。しかし、この補正值は種々条件で ± 1 mEq/L 程度の変動があり、正確なものではない。

次の問題は生命予後における調整因子と血中 HCO_3^- 濃度との関係である。表 4 は上の三つの報告での調整因子を比較したものである。調整因子は大きく、①患者基礎因子、②透析量・合併症などの因子、③栄養評価因子に分けることができる。これらの報告に共通した因子は、①では年齢、性、透析期間、②では Kt/V、

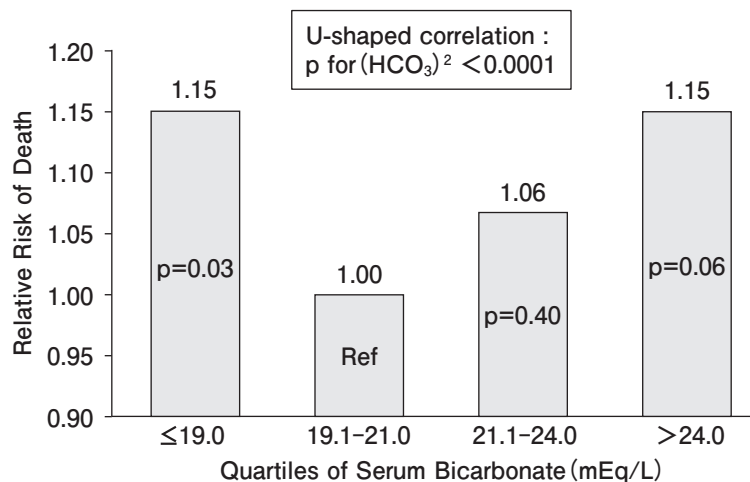


図 1 DOPPS-2004 における透析前 HCO_3^- 濃度と全死亡の相対危険度 (文献 2 から作図)

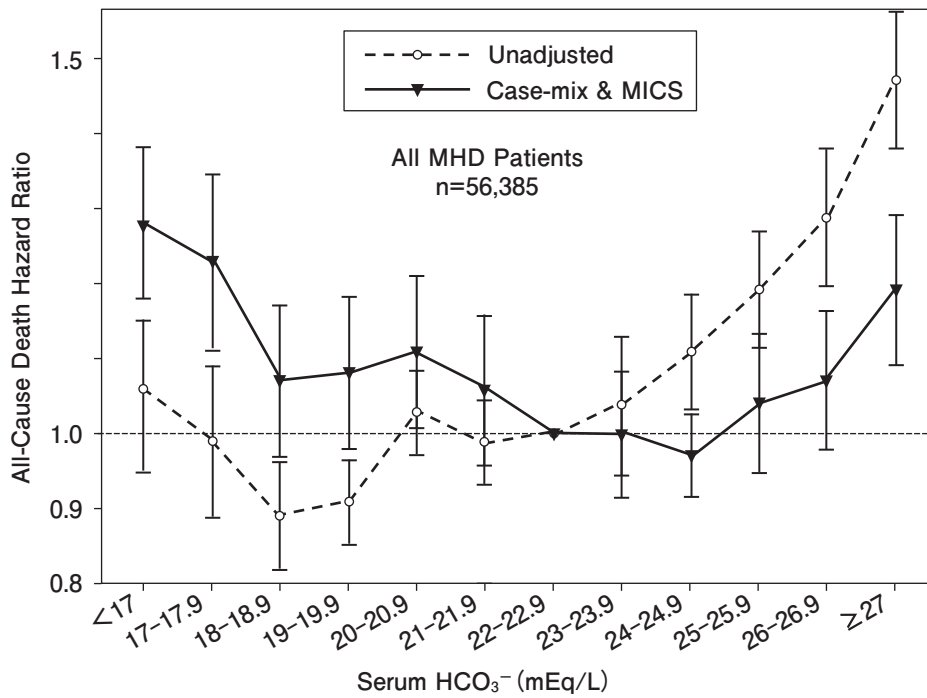


図2 DaVita-2006における透析前 HCO₃⁻ 濃度と全死亡のハザードリスク (文献7から作図)

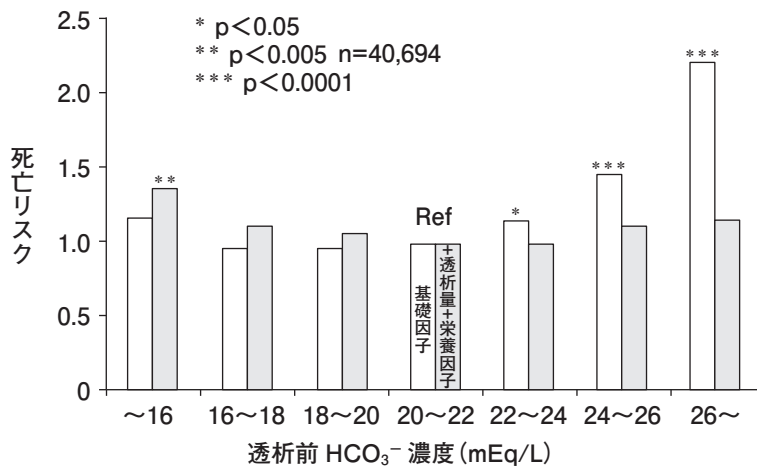


図3 JSDT-2009における透析前 HCO₃⁻ 濃度と全死亡の相対危険度 (文献8から作図)

表4 至適透析前 HCO₃⁻ 濃度に関する報告での調整因子の比較

	調整因子			調整前	調整後
	患者基礎因子	透析量・合併症・生化学データ・他	栄養評価因子		
共通因子	年齢, 性, 透析期間	Kt/V, DM	BMI, nPCR, Alb		
DOPPS-2004		合併症 (心疾患, 高血圧, 脳血管障害, 末梢血管障害, DM, 肺疾患, がん, AIDS, 消化管出血, 神経疾患, 精神疾患, 再発性蜂巣炎, 呼吸困難), 血清 P, 血清 Cr		U 字	U 字
DaVita-2006	人種, 医療保険, 婚姻歴	標準化死亡比, 残存腎機能, 透析液 HCO ₃ ⁻ 濃度, 血清 P, 血清 Cr, 血清 Ca, 白血球数, リンパ球分画, ESA 投与量, TIBC, Hb, フェリチン		逆 J 字	U 字
JSDT-2009		原疾患 (CGN, DM, その他), T-cho	% CGR	逆 J 字	J 字

DM : 糖尿病, BMI : 体格指数, nPCR : 標準化蛋白異化率, Alb : 血清アルブミン, T-cho : 血清総コレステロール, % CGR : % クレアチニン産生速度

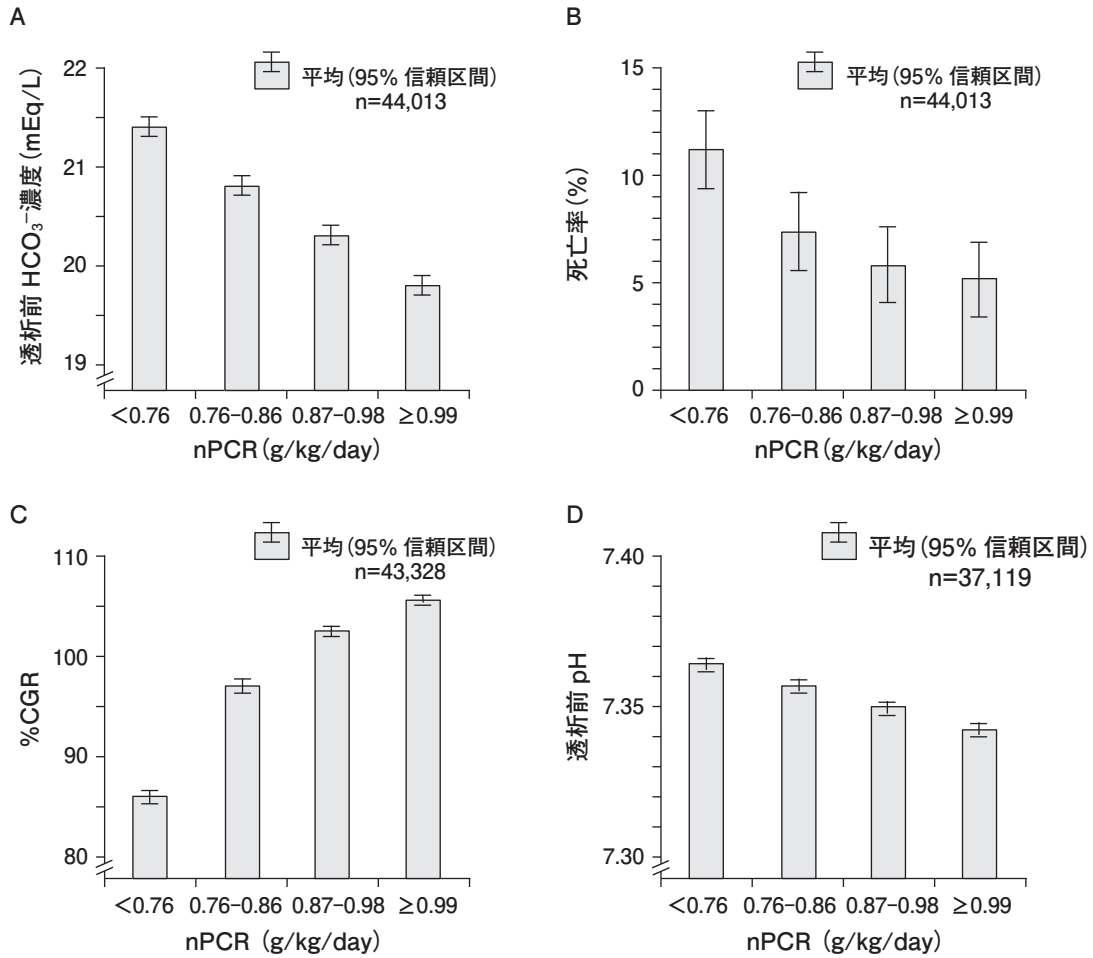


図4 nPCRと透析前HCO₃⁻濃度(A)、死亡率(B)、%CGR(C)および透析前pH(D)の関係

nPCRは四分位で層別化した。(日本透析医学会統計調査委員会公募研究JRDR10001から作図)

糖尿病, ③ではBMI, nPCR (蛋白異化率), 血清アルブミンとなっている。共通していないものは, DOPPSでは詳細な合併症, DaVitaでは人種, 医療保険や婚姻状態, 炎症因子, 貧血因子, JSdTでは%CGRとなっている。しかし, 図1~3に示したように, ①と②の因子調整では死亡リスクに変化はなく, ③の栄養評価因子, とくにnPCRが最も影響のある因子となっている。体内のH⁺の産生量の指標として当然であるといえる。

血中HCO₃⁻濃度を死亡リスクの指標とした場合, nPCRは血中HCO₃⁻濃度とは負の関係にあるが, 死亡リスクとも負の関係を示す(図4AとB)。さらに, nPCRはアシドーシスにより亢進するが蛋白摂取量の増加によっても亢進するという多重の交絡性をもつ。多変量解析によりnPCRのもつ複雑な交絡性は完全には排除されず, その至適HCO₃⁻濃度で異なった結果

になったものと推測される。JSdTのみ二つの報告と異なった結果であったが, この理由には%CGRが栄養評価因子として追加されていることが推測される。nPCRと%CGRには他因子とは逆の正相関があり, また多重共線性もあり, この二つの因子を同時に調整因子とするには限界がある可能性がある(図4C)。いずれにしても, 血中HCO₃⁻濃度とnPCRには強い交絡性があり, 互いに生命予後にも関係があるということが, 適正な酸塩基平衡の解釈を複雑にしているといえる。

われわれはこの問題に対して, 血中HCO₃⁻濃度ではなく, 血中pHでの判断を推奨している¹⁰⁾。図5は2008年JSdTでの統計調査データ15,132名での解析である。1年間の追跡で, 全死亡のHR(Hazard Ratio)を透析前pHとHCO₃⁻濃度で示している。調整因子は, 年齢, 性, 透析期間, 心疾患の既往, 糖尿病,

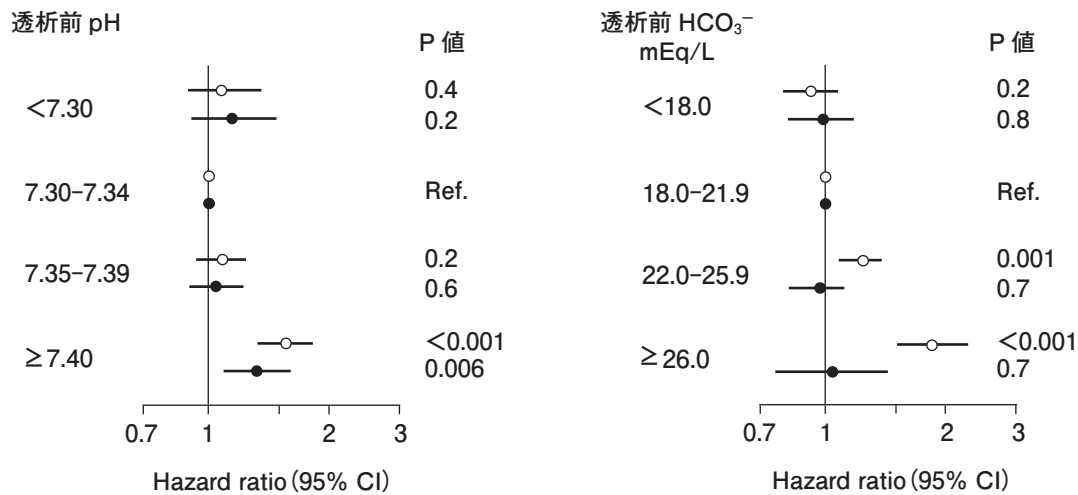


図5 透析前 pH および透析前 HCO₃⁻ 濃度と全死亡ハザードリスクの関係

○：因子調整前，●：因子調整後。（文献10から作図）

体重増加率，BMI，Ca×P積，血清 Alb，血清 T-cho，Hb，spKt/V，nPCRである。HCO₃⁻濃度では，JSDT-2009の報告と同様に，高い透析前 HCO₃⁻濃度は因子調整後に死亡とは関係がなくなるが，透析前 pHでは，pH 7.4以上で因子調整に関係なく高いHRを示す。pHではHCO₃⁻濃度にもみられるような栄養評価因子との複雑な交絡性がある程度，解消されているようである。それはnPCRとpHの関係でも示されており，pHの変化はHCO₃⁻濃度に比して少なく0.02程度でしかない（図4D）。

さらに，酸塩基平衡の適正是正の指標としてpHがHCO₃⁻濃度よりも優位である理由は，①H⁺濃度は実測値であり計算値ではないこと，②pHはアシドーシスやアルカローシスの総合的結果であること，③生体内の酵素反応，代謝はHCO₃⁻濃度ではなくH⁺濃度で規定されていること，④HCO₃⁻濃度はPCO₂に大きな影響を受けるがpHではその変化は小さいことである。もちろん，HCO₃⁻濃度とpHは概して同じ方向の変化をするが，透析患者における酸塩基平衡の適正是正は，HCO₃⁻濃度よりもpHで判断することが合理的であると考ええる。

おわりに

透析における重炭酸の諸問題について述べてきた。まず，透析液の正確なHCO₃⁻濃度の測定は困難である。透析液管理は電解質濃度，とくにNa⁺とCl⁻濃度を中心にpHの測定が追加できれば十分である。次に，適正な酸塩基平衡の是正については，血中HCO₃

濃度をその指標とするならば，その解釈には注意が必要である。pHのほうがより合理的であると考え，代謝性アシドーシスの是正として，血中のHCO₃⁻濃度は目安に，最終的にpHで判断すべきと考える。

文 献

- 1) 白井秀明，梅本雅夫，谷 渉，他：透析液の成分濃度測定
の標準化—透析液用常用参照標準物質の認定値の決定方法—
臨床化学 2016； 45：140-155.
- 2) Bommer J, Locatelli F, Satayathum S, et al. : Association of
predialysis serum bicarbonate levels with risk of mortality and
hospitalization in the Dialysis Outcomes and Practice Patterns
Study (DOPPS). Am J Kidney Dis 2004; 44: 661-671.
- 3) 古川聡子，河口勝憲，加瀬野節子，他：新たに開発された
重炭酸塩測定キットの基礎的性能評価と変動因子の解析。医
学検査 2015； 64：445-452.
- 4) Kirschbaum B : Spurious metabolic acidosis in hemodialysis
patients. Am J Kidney Dis 2000; 35: 1068-1071.
- 5) Laski ME : Penny wise and bicarbonate foolish. Am J Kidney
Dis 2000; 35: 1224-1225.
- 6) Zazra JJ, Jani CM, Rosenblum S : Are the results of carbon
dioxide analysis affected by shipping blood samples? Am J
Kidney Dis 2001; 37: 1105-1106.
- 7) Wu DY, Shinaberger CS, Regidor DL, et al. : Association be-
tween serum bicarbonate and death in hemodialysis patients:
is it better to be acidotic or alkalotic? Clin J Am Soc Nephrol
2006; 1: 70-78.
- 8) 日本透析医学会統計調査委員会：わが国の慢性透析療法の
現況（2009年12月31日現在）。日本透析医学会，2010.
- 9) Tentori F, Karaboyas A, Robinson BM, et al. : Association of
Dialysate Bicarbonate Concentration With Mortality in the Di-
alysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS). Am J

Kidney Dis 2013; 62 : 738-746.

- 10) Yamamoto T, Shoji S, Yamakawa T, et al. : Predialysis and Postdialysis pH and Bicarbonate and Risk of All-Cause and Cardiovascular Mortality in Long-term Hemodialysis Patients. Am J Kidney Dis 2015; 66 : 469-478.

参考 URL

- ‡ 1) U.S. Food and Drug Administration 「Dialysate Concentrates and Alkali Dosing Errors with Hemodialysis: FDA Safety Communication」 <http://www.fda.gov/MedicalDevices/Safety/AlertsandNotices/ucm305477.htm> (2012/6/1)