

QA (Quality Assurance) とは、『常に質(内容)を確認し、継続的な向上を目指す』
という意味で、Radiometer®の基本コンセプトです。

特

集

「AKIにおける酸塩基平衡異常」 — Stewart approachによる理解—



執筆者

森松 博史 (もりまつ ひろし)

岡山大学病院 周術期管理センター 講師

略歴

平成5年3月 岡山大学医学部医学科 卒業
平成19年3月 岡山大学医歯薬学総合研究科 卒業

職歴

平成5年4月 岡山大学医学部附属病院 麻酔科・蘇生科入局
平成13年6月 Clinical Fellow, Intensive Care Unit,
Austin and Repatriation Medical Center, Melbourne, Australia
平成15年3月 岡山大学医学部附属病院 集中治療部 医員
平成19年5月 岡山大学医学部附属病院 集中治療部 助教
平成22年5月 岡山大学病院 麻酔部 講師
平成22年11月 岡山大学病院 周術期管理センター 講師

学会

日本麻酔科学会
日本集中治療医学会
日本救急医学会
日本ベインクリニック学会
Society of Critical Care Medicine
American Society of Anesthesiologists
European Society of Intensive Care Medicine
European Society of Anesthesiologists

CONTENTS

- ② 特集
AKIにおける酸塩基平衡異常
- ⑥ 血液ガス Information
血液ガス関連情報のご紹介
- ⑧ 製品紹介

「AKIにおける酸塩基平衡異常」 —Stewart approachによる理解—

岡山大学病院

周術期管理センター

講師

森松 博史

病院概要

岡山大学病院

岡山大学病院の基本理念は「高度な医療をやさしく提供し、優れた医療人を育てます。」です。「あなたのそばに先進医療」をモットーとしております。また、高度先進医療の研究開発も私たち大学病院の使命の一つと考えております。本院は臓器移植、小児心臓外科、幹細胞移植などの高度先進医療の推進、遺伝子細胞治療などの先端の治療の開発において、全国でもっとも進んだ施設です。今後も新しい医療の開発を続け、他の施設ではみられない先進的な医療を創造し、実践して参りたいと存じます。

そのために、本院ではさまざまなセンターを立ち上げております。臓器移植医療センターでは肺移植・肝臓移植・心臓移植など先進医療を提供し、新医療研究開発センターでは、基礎的な研究を臨床応用に発展させていきたいと思っております。また、腫瘍センター、内分泌センター、乳がん治療・再建センター、周産母子センターを始めとする大学病院のユニークな診療科連携を活かし、わかりやすく高度な医療を提供したいと存じます。

岡山大学病院 診療科

- | | |
|----------------|--------------|
| ● 総合内科 | ● 小児外科 |
| ● 消化器内科 | ● 整形外科 |
| ● 血液・腫瘍内科 | ● 形成外科 |
| ● 呼吸器・アレルギー内科 | ● 皮膚科 |
| ● 腎臓・糖尿病・内分泌内科 | ● 眼科 |
| ● リウマチ・膠原病内科 | ● 耳鼻咽喉科 |
| ● 循環器内科 | ● 精神科神経科 |
| ● 神経内科 | ● 脳神経外科 |
| ● 感染症内科 | ● 麻酔科蘇生科 |
| ● 消化管外科 | ● 小児科/小児循環器科 |
| ● 肝・胆・膵外科 | ● 小児神経科 |
| ● 呼吸器外科 | ● 産科婦人科 |
| ● 乳腺・内分泌外科 | ● 放射線科 |
| ● 泌尿器科 | ● 救急科 |
| ● 心臓血管外科 | ● 病理診断科 |

はじめに

麻酔・集中治療領域では重症または理解が困難な酸塩基平衡異常に遭遇することは珍しくありません。従来の方法ではわかりにくい酸塩基平衡異常もStewart approachではわかりやすいといったこともあります。今回は急性腎障害(Acute Kidney Injury:AKI)に伴う酸塩基平衡異常と血液浄化療法の効果に関してStewart approachを用いて解説してまいります。

Stewart approach概要

Stewart approachとは1980年前後にPeter A. Stewartにより提唱された新しい酸塩基平衡に関するアプローチです。これまで酸塩基平衡の理解にはHenderson-Hasselbalchの式を用いた重炭酸イオン濃度を中心とした理解がなされてきましたが、Stewartは重炭酸イオンはその他の変数によって決められるもので、それ自体が酸塩基平衡異常の原因ではないとしました。代わりにpHつまり水素イオン濃度に影響を与える3つの因子を実験的水溶液を用

いて説明しました。

簡単に言うと3つの因子とは

1. PaCO_2 (動脈血中二酸化炭素分圧)
2. Strong Ion Difference (強イオン濃度差)
3. Total Weak Acid (弱酸の合計)

です。

PaCO_2 はいいとして、Strong Ion Difference (SID)やTotal Weak Acid (A_{TOT})は聞き慣れない言葉です。簡単に説明しておきましょう。

Strong Ion Difference (SID): SIDは強陽イオンと強陰イオンの差です。一般的には $\text{SID} = \text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ が使われることが多いです。

Total Weak Acid (A_{TOT}): A_{TOT} は弱酸の総和ですが、すべての弱酸を測定することは不可能ですので、代表的な弱酸として重炭酸、アルブミン、リン酸を考慮することにしています。重炭酸はHenderson-Hasselbalchの式から計算できますが、アルブミンやリン酸も考慮に入れて計算されます。

このように考えていくと酸塩基平衡異常に関与するものは3つの因子に影響を与えるもの、すなわ

ち PaCO_2 、ナトリウム、塩素、重炭酸、アルブミン、リン酸となります。もうひとつ忘れていけないのがUnmeasured anionsの存在です。元来陰イオンの測定は難しく、その歴史も古くはありません。人の血清中には正常でも少量の測定していない陰イオンは存在しています。その中には病態によっては増加するものがあります。よく知られているのは乳酸です。(すでに乳酸値はほとんどの血液ガス分析器で測定可能なものではやUnmeasured anionsではないかもしれませんが...)今回私が解説しようとしている急性腎障害における酸塩基平衡と血液浄化療法の効果を考える上では、このUnmeasured anionsが重要な役割を果たすことになります。

■ Unmeasured anionsの評価

従来Unmeasured anionsの評価にはアニオンギャップが使われてきました。ある意味base excessも一種のUnmeasured anionsの指標です(マイナスの場合が多いことにはなりますが)。しかしながら低アルブミン血症の人が多いICU患者ではその評価に注意が必要であると近年主張されてきました。そこでStewart approachを用いてより詳細なUnmeasured anionsの指標としてStrong Ion Gap (SIG)が提唱されています。SIGは次の式で定義されています。

$$\text{SIG} = \text{SID} - \text{A}_{\text{TOT}}$$

前述のようにSIDは強イオンの差であり、 A_{TOT} は弱酸の総和です。血清は陽性電荷や陰性電荷を持たないはずなので(陽イオンの総和と陰イオンの総和に差はないはず)、SIGは本来ゼロであるべきです。しかしながら生体内の少量のUnmeasured anionsを反映して通常ゼロとはなりません。つまりSIGはアニオンギャップやbase excessよりも正確なUnmeasured anionsの指標であるとされています。

ポイント1

Stewart approachでは PaCO_2 、Strong Ion Difference、Total Weak Acidが水素イオン濃度を決定。

ポイント2

Unmeasured anionsはSIGで表すのが正確。

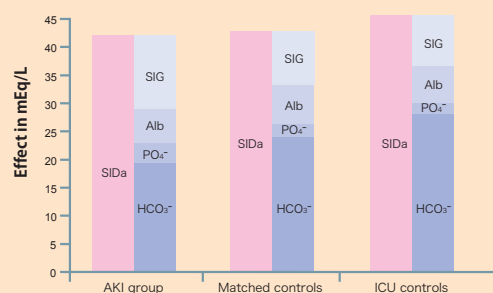
さて上記のようなStewart approachを踏まえて、急性腎障害の酸塩基平衡異常の特徴と血液浄化療法の効果を見ていきましょう。

■ 成人ICU患者におけるAKIの酸塩基平衡異常

この研究は私がAustralia留学中にドイツ人の学生と一緒にに行った研究です。ICUにおいて血液浄化療法を必要とした40名の急性腎障害患者を対象とし、血液浄化療法開始前の状態を記録しました。対照群としてAPACHE II scoreをマッチさせたMatched controlと通常のICU患者40名ずつのコホートを作成しました。結果は **図1** の通りです。

こうしてみますとAKI患者の代謝性アシドーシスはSIGの上昇と PO_4 の上昇が大きく関与していることがわかります。

図1 成人ICU患者におけるAKIの酸塩基平衡異常



ポイント3

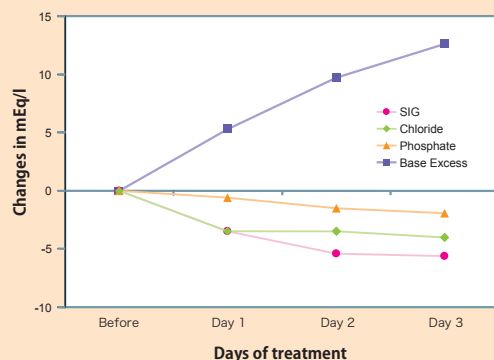
AKIの代謝性アシドーシスはSIGとリン酸の上昇。

■ 成人CRRTの酸塩基平衡に与える影響

それではCRRT(Continuous Renal Replacement Therapy: 持続的腎代替療法)を施行するとこの代謝性アシドーシスは改善するのでしょうか？

■ 図2 ■ に前述の急性腎障害患者40名のCRRT導入前後のbase excess, Cl^- , PO_4^- , SIGの変化を示します。

■ 図2 ■ 成人CRRTの酸塩基平衡に与える影響



base excessの改善と同時にSIGの低下が見られています。同時にリン酸、塩素イオンも低下し、これらの陰イオンの低下により代謝性アシドーシスが改善していることがわかります。一般的には不揮発性の酸と呼ばれるSIGだけでなく高リン酸血症、高塩素イオン血症の改善が血液浄化によるアシドーシスの改善に関与していることがわかります。

ポイント4

血液浄化はSIG、リン酸、塩素イオンを低下させる。

■ 小児心臓手術後AKIの酸-塩基平衡異常

小児心臓手術後のAKIによるアシドーシスは成人のものと違いがあるのでしょうか。成人の場合と同様に小児心臓外科術後に腹膜透析を必要とし

た40名の血液ガス分析を含む検査データを調査しました。対照群として手術の重症度分類であるRACHS-1カテゴリーをマッチさせた40名のコホートを作成し比較しました。その結果小児心臓外科手術後AKI患者の代謝性アシドーシスは低ナトリウム血症が主因であることがわかりました(■ 表 ■)。

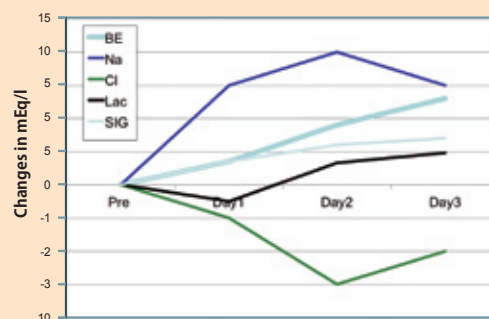
ポイント5

小児心臓手術後AKI患者の代謝性アシドーシスは低ナトリウム血症の影響が大きい。

■ 小児PDの酸塩基平衡に与える影響

PD(Peritoneal Dialysis: 腹膜透析)開始後3日目までの酸塩基平衡に与える影響を■ 図3 ■に示します。

■ 図3 ■ 小児PDの酸塩基平衡に与える影響



成人患者と違って、SIGはあまり変動せず、主にナトリウムの上昇が見られています。乳酸値は観察期間にはあまり低下していません。つまり、小児心臓手術後AKIに対して行われたPDでは、主に低ナトリウム血症の改善によって代謝性アシドーシスが改善していました。

ポイント6

PDは電解質異常を改善して代謝性アシドーシスを改善する。

表 小児心臓手術後Acute Kidney Injuryとコントロールの酸塩基平衡

	AKI	Control	Pvalue
pH	7.348 (7.319 to 7.378)	7.423 (7.406 to 7.441)	<0.0001
PaCO ₂ (mmHg)	42.1 (39.4 to 44.8)	41.3 (39.3 to 43.4)	0.66
PaO ₂ (mmHg)	87 (60 to 114)	102 (77 to 128)	0.41
Bicarbonate (mEq/L)	22.3 (21.2 to 23.4)	26.4 (25.2 to 27.7)	<0.0001
Base Excess (mEq/L)	-2.1 (-3.3 to -0.9)	2.5 (1.1 to 3.9)	<0.0001
Sodium (mmol/L)	136 (135 to 138)	141 (140 to 142)	0.0002
Potassium (mmol/L)	4.30 (3.92 to 4.67)	3.98 (3.80 to 4.12)	0.14
Chloride (mmol/L)	102 (100 to 104)	103 (101 to 105)	0.52
Lactate (mmol/L)	4.95 (3.04 to 6.86)	2.82 (1.80 to 3.83)	0.057
Phosphate (mmol/L)	1.77 (1.47 to 2.08)	1.72 (1.54 to 1.91)	0.78
Albumin (g/dL)	3.7 (3.5 to 4.0)	4.1 (3.9 to 4.4)	0.021
SiDa (mEq/L)	39.1 (36.7 to 41.4)	42.7 (41.0 to 44.3)	0.011
SIG (mEq/L)	1.3 (-0.8 to 3.5)	1.0 (-0.5 to 2.4)	0.76

■ まとめ

このようにStewart approachを使ってAKI患者の代謝性アシドーシスを見てみると、その成因が成人と小児心臓手術後では違うことがはっきりわかります。この違いはおそらく治療法の選択にも影響

を与えます(低ナトリウム性のアシドーシスには重炭酸ナトリウムが有効)。Stewart approachを使って正確に代謝性アシドーシスの診断をつけることはよりよい患者管理につながると信じます。

参考文献

Rocktaeschel, J., Morimatsu, H., Uchino, S., Goldsmith, D., Poustie, S., Story, D., Gutteridge, G. and Bellomo, R. Acid-base status of critically ill patients with acute renal failure: analysis based on Stewart-Figge methodology. Crit Care 2003; 7: R60

Rocktaschel, J., Morimatsu, H., Uchino, S., Ronco, C. and Bellomo, R. Impact of continuous veno-venous hemofiltration on acid-base balance. Int J Artif Organs 2003; 26: 19-25

Morimatsu, H., Toda, Y., Egi, M., Shimizu, K., Matsusaki, T., Suzuki, S., Iwasaki, T. and Morita, K. Acid-base variables in patients with acute kidney injury requiring peritoneal dialysis in the pediatric cardiac care unit. J Anesth 2009; 23: 334-40

「血液ガス関連情報のご紹介」

血液ガス分析装置から得られる情報をより有効に活用するために

重症患者の評価においては、血液ガス状態が重要な役割を果たします。分析装置によって直接測定されるのは pH, $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$ 等の項目ですが、そこから演算される各種項目も考慮して診断をする必要があります。

ここでは患者評価に有用なツールとして、Ole Siggaard-Andersen 氏による血液ガス・酸塩基平衡・酸素化のシミュレーションが可能なフリーソフトウェア「Oxygen Status Algorithm (OSA)」を御紹介致します。

Ole Siggaard-Andersen 氏のご紹介

デンマーク出身、コペンハーゲン大学医学部卒業

1950年代にヨーロッパで流行したポリオによる呼吸不全の診断、治療に貢献した Astrup.P と Ibsen.B の薫陶を受け、酸塩基平衡の代表的パラメーターである Base excess (BE) や Standard base excess (SBE) のコンセプトを生み出した。

著書「The Acid-Base Status of the Blood」は五ヶ国語に翻訳され、長く広く読み継がれている。

ダウンロード方法

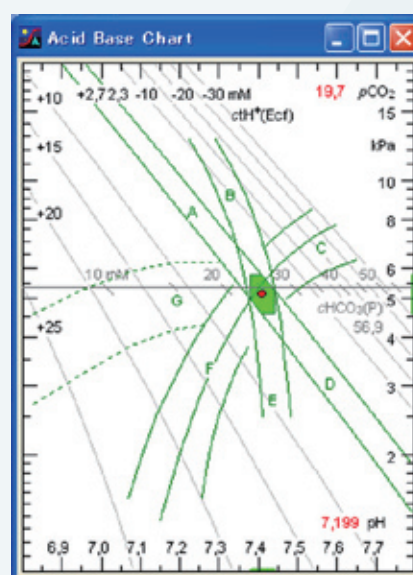
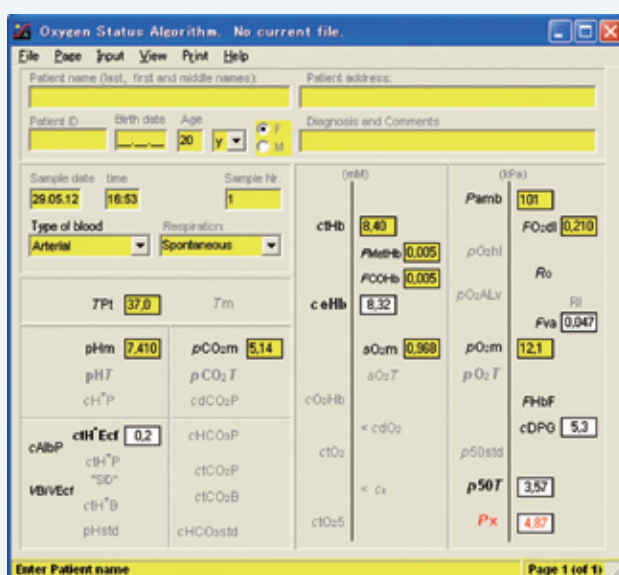
<http://www.siggaard-andersen.dk/>

へアクセスし

「2. The Oxygen Status Algorithm」をクリックする

使用方法

1. 「Input」をクリックし、入力するパラメーターを選択する
2. 患者名、年齢、サンプルタイプなどを必要に応じて入力する
3. 血液ガス分析装置で測定したパラメーターを黄色いボックスに入力する
4. 必要な項目をクリックすると、演算値が表示される
5. 「View」より「Acid-base chart」、「Oxygen Graph」、「Gas map」の表示も可能



製品紹介

血液ガス分析装置のパイオニア ラジオメーターのABLシリーズ

1935年に設立され、デンマークのコペンハーゲンに拠点を持つラジオメーター社は、血液ガス分析のパイオニアとして、1954年に世界で初めて血液ガス分析装置を導入しました。血液ガス分析において、ラジオメーターは世界中で「ゴールドスタンダード」と認められております。

pH
pCO₂
pO₂
sO₂
ctHb
FO₂Hb
FCOHb
FMetHb
FHHb
Hct
cK⁺
cNa⁺
cCa²⁺
cCl⁻
cGlu



ABL 80 FLEX

pH
pCO₂
pO₂
sO₂
ctHb
FO₂Hb
FCOHb
FMetHb
FHHb
FHbF
cK⁺
cNa⁺
cCa²⁺
cCl⁻
cGlu
cLac
ctBil



ABL 90 FLEX

pH
pCO₂
pO₂
sO₂
ctHb
FO₂Hb
FCOHb
FMetHb
FHHb
FHbF
cK⁺
cNa⁺
cCa²⁺
cCl⁻
cGlu
cLac
cCrea
ctBil



ABL 800 FLEX

ラジオメーター株式会社 本社

〒140-0001

東京都品川区北品川4-7-35

TEL : 03-4331-3500 FAX : 03-3443-5107

<http://www.radiometer.co.jp/>

<http://www.radiometer.com/>

<http://www.acute-care.jp/>

● ご意見、ご質問をお寄せください。

RADIOMETER 

Radiometer, Radiometerロゴ, ABL, AQT, TCM, RADIANCE, PICOおよびCLINITUBESは
Radiometer Medical ApS (デンマーク) の商標です。