

酸・塩基平衡の理解

(血液ガス分析の解釈)

(代謝性を中心に)

2015年 5月13日 ショートレクチャー

【症例】

透析患者(透析日:週3回、月・水・金)
先週 金曜日の透析後から発熱し下痢が出現。その後、嘔吐を繰り返した。今週月曜日、透析に来院しなかった。
火曜日、意識障害が出現し 救急搬送された。

血圧: 90/60 mmHg

血液検査: Na 127mEq/L, K 4.0mEq/L, Cl 88mEq/L,
BUN 100mg/dL, Cre 8.8mg/dL, 血糖 120mg/dL,
血液ガス分析: pH 7.400, pO₂ 95Torr, pCO₂ 27Torr, HCO₃⁻ 16mEq/L

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 1: acidemia か alkalemia か?

Step 2: 酸・塩基平衡の状態 は?

Step 3: Anion gap (AG) は?

Step 4: 代償機構 は正常か?

Step 5: pH と 血清K値の関係 は妥当か?

Step 6: A-aDO₂ は?

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 1: acidemia か alkalemia か?

pH 7.400 ⇒ 答え 中性

しかし、酸・塩基平衡には異常が生じている可能性!
⇒ どこで見破る?

糸口の一つ: Na-Cl = 127-88 = 39 という数値

Na-Cl = 36 が正常 【Na-Cl = Anion gap(AG) + HCO₃⁻】

正常値: AG = 12
HCO₃⁻ = 24

Na-Cl > 36 は AG か HCO₃⁻ の増加

⇒ HCO₃⁻ ↑ なら、代謝性アルカローシスが呼吸性アシドーシスの代償を示唆
⇒ AG ↑ なら、アシドーシスを起こすものなら通常はHCO₃⁻が同量低下するので Na-Cl > 36の原因にはならない

Na-Cl < 36 は AG か HCO₃⁻ の減少

⇒ HCO₃⁻ ↓ なら、AGの上昇を伴わない代謝性アシドーシスが呼吸性アルカローシスの代償を示唆
⇒ AG ↓ なら、低アルブミン血症が高γグロブリン血症 など

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃ ⁻	16

正常

Na	140	AG	12
		HCO ₃ ⁻	24
	Cl		104

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 2: 酸・塩基平衡の状態は？

HCO₃⁻ 16 とかなり低下

⇒ 答え 代謝性アシドーシスは明らか

pCO₂ 27 だが呼吸性アルカローシスは？
他には……？

⇒ 答え 呼吸性アルカローシスもある

⇒ では、その根拠は？

《ここでは先に進みます！》

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃	16

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 3: Anion gap (AG)は？

【AG = Na - (Cl + HCO₃) 正常値 = 12】

$$= 127 - (88 + 16) = 23 > 12$$

⇒ 答え AG の増大

⇒ 代謝性アシドーシス

⇒ BUN 100 から、尿毒症性アシドーシス

＜本例が複雑な点＞

⇒ Cl が大幅に低下している

⇒ 嘔吐による胃からのHClの喪失によるもの

⇒ 代謝性アルカローシスの合併もある

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃	16

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 4: 代償機構は正常か？

代償機能が正常なら

$$pCO_2 = HCO_3 + 15 = 16 + 15 = 31 \text{ になる}$$

ところが実際は pCO₂ 27 < 31

⇒ 答え 呼吸性アルカローシスがある

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃	16

代謝性(アシドーシス・アルカローシス)の場合の pCO₂ 補正
(呼吸性代償機構には様々な式があるが、最も簡単な式を利用)

⇒ $\Delta pCO_2 = \Delta HCO_3$ (もっとも簡単な式)

$$\Delta pCO_2 = (40 - pCO_2) = \Delta HCO_3 = (25 - HCO_3)$$

⇒ 【 pCO₂ = HCO₃ + 15 】

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 4-附1: 代償機構

I 代謝性の場合の補正

$$\Delta pCO_2 = \Delta HCO_3 \Rightarrow \text{【 } pCO_2 = HCO_3 + 15 \text{】}$$

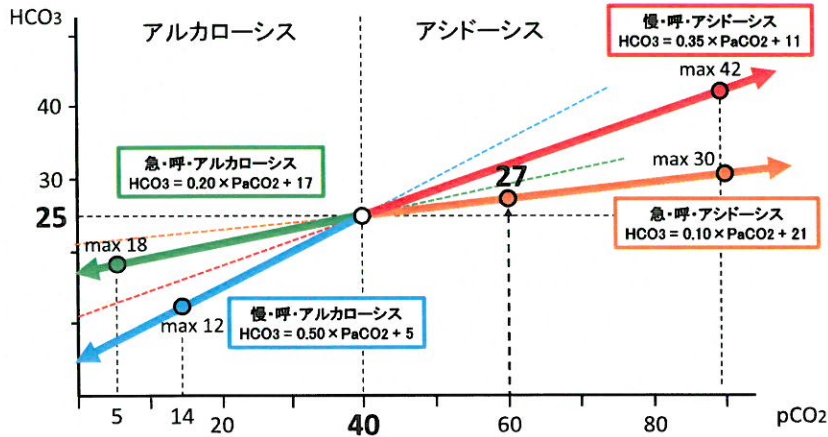
II 呼吸性の場合の補正

(複雑！)

- | | |
|---------------|----------------------------------|
| ① 急・呼・アシドーシス | $HCO_3 = 0.10 \times pCO_2 + 21$ |
| ② 急・呼・アルカローシス | $HCO_3 = 0.20 \times pCO_2 + 17$ |
| ③ 慢・呼・アシドーシス | $HCO_3 = 0.35 \times pCO_2 + 11$ |
| ④ 慢・呼・アルカローシス | $HCO_3 = 0.50 \times pCO_2 + 5$ |

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 4-附2:呼吸性の場合の代償機構



酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 5: pH と K の関係は妥当か？

pH 7.400 と K 4.0
⇒ 答え 妥当

細胞外液の pH が 0.1 低下すると、
血清 K 値は 0.5 mEq/L 上昇する

$$\Delta K = 5 \times \Delta pH$$

細胞外 pH	7.00	7.10	7.20	7.30	7.40	7.50
血清 K 値	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃ ⁻	16

酸・塩基平衡の解釈の手順

Step 6: A-aDO₂ はいくらか？

【A-aDO₂ = 150 - (PaCO₂/0.8) - PaO₂】 正常 ≤ 10

= 150 - (27/0.8) - 95 = 21
⇒ 答え 21 開大

肺浮腫(肺うっ血)がある

症例

Na	127
K	4.0
Cl	88
BUN	100
Cre	8.8
血糖	120
pH	7.400
pO ₂	95
pCO ₂	27
HCO ₃ ⁻	16

A-aDO₂: 肺泡気動脈血酸素分圧較差
⇒ 肺でのガス交換障害の指標

$$AaDO_2 = PAO_2 - PaO_2 = (PIO_2 - PaCO_2/R) - PaO_2 = (150 - PaCO_2/0.8) - PaO_2$$

PAO₂: 肺泡気O₂分圧
PaO₂: 動脈血O₂分圧
PIO₂: 吸入気O₂分圧 (150Torr)
PaCO₂: 動脈血CO₂分圧
R: 呼吸商 = 0.8

参考資料

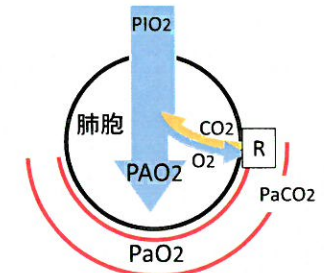
AaDO₂: 肺泡気動脈血酸素分圧較差

$$AaDO_2 = PAO_2 - PaO_2 = (PIO_2 - PaCO_2/R) - PaO_2 = (150 - PaCO_2/0.8) - PaO_2$$

PAO₂: 肺泡気O₂分圧
PaO₂: 動脈血O₂分圧
PIO₂: 吸入気O₂分圧 (室内では150Torr)
PaCO₂: 肺泡気CO₂分圧
PaCO₂: 動脈血CO₂分圧
R: 呼吸商 = 0.8 (O₂とCO₂のガス交換比率)

参考① PIO₂は室内では150Torr。
PIO₂ = (大気圧 - 水蒸気圧) × 大気中酸素濃度 (fiO₂)
= (760 - 47) × 0.21 = 150

参考② カメラでの酸素吸入時
fiO₂ = 0.21 + 0.04 × 酸素流量 (L/分)
リザーバ付きマスク時
fiO₂ = 酸素流量 (L/分) ÷ 10
通常マスク時
fiO₂ = [酸素流量 (L/分) - 1] ÷ 10



【症例の病態】

- ① 尿毒症性アシドーシス(腎不全とその悪化)
- ② 代謝性アルカローシス(嘔吐によるHClの喪失)
- ③ 呼吸性アルカローシス

【治療方針】

- ① ⇒血液透析を行う
- ② ⇒生理食塩水の投与
但し、Naの過剰投与に注意
KClもあり。投与する場合は慎重に

静脈血ガス分析の薦め

血液ガスがルーチンとして測定されにくいのは、動脈採血が必要であることが大きい。米国では静脈血のCO₂濃度を測定し、重炭酸イオン濃度の指標にしているが、日本の多くの施設では採用されていない。

動脈血と静脈血で同時に血液ガスを取ると、表のような差異^{1,2)}が認められていることが知られている。この相関は、アシドーシスなどの程度が強いほど強いことが知られている。このことを知っていれば、必ずしも動脈血採血をする必要はない

「より理解を深める！ 体液電解質異常と輸液」
柴垣有吾 著 深川雅史 監修 中外医学社 2012年6月 改訂3版6刷

表		静脈血	動脈血
	動脈血—静脈血平均 (95% CI)		
pH	0.036 (0.030~0.042)	pH 7.364	7.400
HCO ₃ ⁻	-1.5 mEq/L (1.3~1.7)	HCO ₃ ⁻ 25.5	24.0
PCO ₂	-6.0 mmHg (5.0~7.0)	PCO ₂ 46	40

- 1) Rang LCF, et al. Can peripheral venous blood gases replace arterial blood gases in emergency department patients? Can J Emerg Med.2002;4:7
- 2) Gokel Y, et al. Comparison of blood gas and acid-base measurements in arterial and venous blood samples in patients with uremic acidosis and diabetic ketoacidosis in the emergency room. Am J Nephrol. 2000;20:319-23



Peripheral venous and arterial blood gas analysis in adults: are they comparable? A systematic review and meta-analysis.

Journal
Respirology (Carlton, Vic.). 2014 Feb;19(2):168-75. doi: 10.1111/resp.12225.
Author
Anthony L Byrne, Michael Bennett, Robindro Chatterji, Rebecca Symons, Nathan L Pace, Paul S Thomas
Affiliation

Abstract
Peripheral venous blood gas (PVBG) analysis is increasingly being used as a substitute for arterial blood sampling; however, comparability has not been clearly established. To determine if the pH, PCO₂ and PO₂ obtained from PVBG analysis is comparable with arterial blood gas (ABG) analysis. A search was conducted of electronic databases as well as hand-searching of journals and reference lists through December 2012 to identify studies comparing PVBG with ABG analysis in adult subjects. A systematic review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses statement. A meta-analysis using a random effects model was used to calculate the average difference (bias) and the limits of agreement for the venous and arterial pH, PCO₂ and PO₂. A total of 18 studies comprising 1768 subjects were included in the meta-analysis. There was considerable heterogeneity between studies with I(2) approaching 100%. There was little difference between the pH obtained from the PVBG and the ABG, with the arterial pH typically 0.03 higher than the venous pH (95% confidence interval 0.029-0.038). The venous and arterial PCO₂ were not comparable because the 95% prediction interval of the bias for venous PCO₂ was unacceptably wide, extending from -10.7 mm Hg to +2.4 mm Hg. The PO₂ values compared poorly, the arterial PO₂ typically 36.9 mm Hg greater than the venous with significant variability (95% confidence interval from 27.2 to 46.6 mm Hg). PVBG analysis compares well with ABG analysis for pH estimations in adults but not to the PCO₂ or PO₂. These differences are sufficiently large to be of clinical significance.

© 2014 The Authors. Respirology © 2014 Asian Pacific Society of Respirology.

【結論】 静脈血ガス分析は、動脈血ガスのpHを推定するには有用だが、pCO₂、pO₂の推定には有用でない

The role of venous blood gas in the emergency department: a systematic review and meta-analysis.

Journal
European journal of emergency medicine : official journal of the European Society for Emergency Medicine. 2014 Apr;21(2):81-8. doi: 10.1097/MEJ.0b013e32832836437cf.
Author
Benjamin M Bloom, Johann Grundlingh, Jonathan P Bestwick, Tim Harris
Affiliation

Abstract
The aim of this study is to provide a systematic review of the literature reporting agreement between arterial and venous pH, partial pressure of carbon dioxide (PCO₂), bicarbonate (HCO₃⁻), base excess and lactate; and to perform a meta-analysis of the differences. Medline and Embase searches using Eduserv Athens from 1950 to present were conducted using the terms 'VBG', 'ABG', 'arterial', 'venous', 'blood', 'gas', 'lactate', 'emergency' and 'department'. References of the published papers were hand searched and full-text versions of those deemed helpful to the question were obtained. Mean difference (MD) and 95% limits of agreement (LOA) were either reported or calculated from the published data. Pooled MDs with 95% confidence intervals (CIs) were calculated for differences between arterial and venous pH, PCO₂, bicarbonate and lactate. Thirteen articles relevant to pH, 12 relevant to PCO₂, 10 relevant to bicarbonate and three relevant to lactate were found. The pooled MD (venous-arterial) for pH was -0.033 pH units (95% CI -0.039 to 0.027) with narrow 95% LOA, the pooled MD for PCO₂ was 4.41 mmHg (95% CI 2.55-6.27) with 95% LOA ranging from -20.4 to 25.8 mmHg, the pooled MD for bicarbonate was 1.03 mmol/l (95% CI 0.56-1.50) with 95% LOA ranging from -7.1 to 10.0 mmol/l and the pooled MD for lactate was 0.25 mmol/l (95% CI 0.15-0.35) with 95% LOA ranging from -2.0 to 2.3 mmol/l. Venous and arterial pH and bicarbonate agree reasonably at all values, but the agreement is highest at normal values. Arteriovenous agreement for PCO₂ is poor and PvCO₂ cannot be relied upon as an absolute representation of PaCO₂. However, normal peripheral PvCO₂ has a good negative predictive value for normal arterial PCO₂, and a normal PvCO₂ can be used as a screen to exclude hypercapnic respiratory disease. There may be a poor agreement between arterial and venous lactate at abnormal values; however, if the venous lactate is normal, it is likely the arterial values of this parameter will also be normal.

【結論】 静脈と動脈のpHとHCO₃は合理的に一致。しかし、pCO₂、乳酸値では、推定には有用でない。

【練習症例1 (ごく最近に経験した症例です)】

慢性腎臓病の通院患者。食欲不振で入院。輸液療法で改善していたが、高熱後に全身状態が悪化した。著しい高窒素血症が判明し、腎内科にコンサルトされた。尿路感染からのsepsisが疑われた。

血圧 90/60 mmHg 脈拍 120/分 整

血液検査: Na137mEq/L, K6.1mEq/L, Cl 120mEq/L,
BUN 174.0mg/dL, Cre 12.15mg/dL,
血液ガス分析: pH6.968, pO2 140, pCO2 6.6, HCO3 1.4mEq/L

本当の値です！

【練習症例1】

Step 1: acidemia か alkalemia か？

(答) acidemia

Step 2: 酸・塩基平衡の状態は？

(答) metabolic acidosis

Step 3: Anion gap (AG) は？

(答) $AG = 137 - (120 + 1.4) = 15.6$; 増大 尿毒症性アシドーシス

Step 4: 代償機構は正常か？

(答) $pCO_2 = HCO_3 + 15 = 1.4 + 15 = 16.4$; 実際の pCO_2 より低値 \Rightarrow 呼吸性アルカローシス

Step 5: pH と血清K値の関係は妥当か？

(答) $\Delta K = 5 \times \Delta pH \Rightarrow pH 6.968$ なら $K 6.16$ のはず \Rightarrow ほぼ予想どおり

Step 6: A-aDO₂ は？

(答) $AaDO_2 = 150 - (6.6 / 0.8) - 140 = 1.75 \Rightarrow$ 問題なし

診断: 敗血症による慢性腎不全の急性増悪

\Rightarrow 尿毒症性アシドーシス と 呼吸性アルカローシス

\Rightarrow 【治療】 昇圧剤併用のCHDF と エンドトキシン吸着 \Rightarrow 現在HD離脱しリハビリ中

症例

Na	137
K	6.1
Cl	120
BUN	174
Cre	12.15
pH	6.968
pO ₂	140
pCO ₂	6.6
HCO ₃	1.4

【練習症例2】

【練習症例2】

42才 女性

頭痛と背部痛と高血圧で受診。

血圧: 170/100 mmHg

血液検査: Na140mEq/L, K3.3mEq/L, Cl 95mEq/L,
BUN 16mg/dL, Cre 1.1mg/dL
血液ガス分析: pH7.480, pO2 85Torr, pCO2 48Torr, HCO3 33mEq/L

Step 1: acidemia か alkalemia か？

(答) alkalemia

Step 2: 酸・塩基平衡の状態は？

(答) metabolic alkalosis

Step 3: Anion gap (AG) は？

(答) $AG = 140 - (95 + 33) = 12$; 正常

Step 4: 代償機構は正常か？

(答) $pCO_2 = HCO_3 + 15 = 33 + 15 = 48$; 実際の pCO_2 に一致 \Rightarrow 正常に代償されている

Step 5: pH と血清K値の関係は妥当か？

(答) $\Delta K = 5 \times \Delta pH \Rightarrow pH 7.480$ なら $K 3.6$ のはず \Rightarrow 予想より少ない K不足か？

Step 6: A-aDO₂ は？

(答) $AaDO_2 = 150 - (48 / 0.8) - 85 = 5 \Rightarrow$ 問題なし

診断: 原発性アルドステロン症

症例

Na	140
K	3.3
Cl	95
BUN	16
Cre	1.1
pH	7.480
pO ₂	85
pCO ₂	48
HCO ₃	33

【練習症例3】

糖尿病があり8年前からインスリン療法を受けている。感冒罹患後、食欲不振と下痢が出現。心配でインスリンの自己注射を中止していた。意識障害で搬送された。

血圧:124/64 mmHg 脈拍88/分、整 呼吸20/分 アセトン臭

血液検査:Na140mEq/L, K4.4mEq/L, Cl 105mEq/L,
BUN 40mg/dL, Cre 2.1mg/dL, 血糖 620mg/dL

尿検査 :尿ケトン体 (3+)

血液ガス分析;pH7.140, pO₂ 70Torr, pCO₂ 33Torr, HCO₃⁻12mEq/L

【練習症例3】

Step 1: acidemia か alkalemia か？

(答) acidemia

Step 2: 酸・塩基平衡の状態 は？

(答) metabolic acidosis

Step 3: Anion gap (AG) は？

(答) $AG = 140 - (105 + 12) = 23$;異常あり

Step 4: 代償機構 は正常か？

(答) $pCO_2 = HCO_3 + 15 = 12 + 15 = 27$;実際の pCO₂は33 ⇒ respiratory acidosisもあり。

Step 5: pH と 血清K値の関係 は妥当か？

(答) $\Delta K = 5 \times \Delta pH \Rightarrow pH 7.140$ なら K 5.3 のはず ⇒ 予想より少ない K不足

Step 6: A-aDO₂ は？

(答) $AaDO_2 = 150 - (33/0.8) - 70 = 39 \Rightarrow$ 拡大あり ⇒ 肺水腫？

診断: 糖尿病性ケトアシドーシス(呼吸性アシドーシスも合併)

症例

Na	140
K	4.4
Cl	105
BUN	40
Cre	2.1
血糖	620
pH	7.140
pO ₂	70
pCO ₂	33
HCO ₃	12