

# 血气分析 Excel 电子表格自动判断酸碱平衡紊乱类型的临床应用

翟敬芳<sup>1</sup> 吴子健<sup>2</sup> 吴杰斌<sup>3</sup> 周彬<sup>3</sup>

<sup>1</sup>徐州医科大学徐州临床学院,徐州市中心医院产前诊断中心,江苏徐州 221009; <sup>2</sup>中国矿业大学徐海学院计算机科学与技术专业,江苏徐州 221008; <sup>3</sup>徐州医科大学徐州临床学院,徐州市中心医院新生儿科,江苏徐州 221009

通信作者:吴杰斌,Email:ranbow8459@126.com

**【摘要】** **目的** 使用 Excel 电子表格中 IF 函数编辑公式,根据动脉血气分析结果自动判断酸碱平衡紊乱类型。**方法** 通过建立酸碱平衡紊乱分析流程,采用四步分析法进行程序化分析:①根据 pH 值判定酸、碱,结合动脉血二氧化碳分压(PaCO<sub>2</sub>)、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>及其变化率,确定原发或主要酸碱失衡类型;②根据原发或主要酸碱失衡类型选取预计代偿公式,确定有无混合型酸碱失衡;③当阴离子隙(AG)增高型代谢性酸中毒(代酸)时,对前两步判断原发或主要酸碱失衡为呼吸性酸中毒(呼酸)或呼吸性碱中毒(呼碱)时,计算潜在 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,用潜在 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>替代实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与呼酸或呼碱预计代偿公式计算的代偿区间进行比较,进而判断有无三重酸碱失衡(TABD);④当 AG 增高型代酸时,对前两步判断原发或主要酸碱失衡为代酸时,计算  $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$  比值,进一步判断是否合并代谢性碱中毒(代碱)或正常 AG 代酸。使用 Excel 2003 电子表格中 IF 函数编辑公式对动脉血气分析结果进行判断。选择徐州市中心医院重症监护病房(ICU)收治的 96 例患者,根据动脉血气分析结果,分别使用人工判断(人工组)和血气分析自动判断 Excel 电子表格(Excel 电子表格组)判定患者的酸碱失衡类型。人工组由 2 名新生儿重症监护病房(NICU)副主任医师及 1 名呼吸科主治医师完成,如结果不一致则讨论后决定判断结果。Excel 电子表格组由 1 名 NICU 主治医师输入数据,另一人核对。比较两组在酸碱失衡类型判断结果和时间上的差异。**结果** 采用四步分析法,在血气分析自动判断 Excel 电子表格中输入 pH、PaCO<sub>2</sub>、实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 和代偿时限等相关参数,即可给出 42 种酸碱失衡类型。对 96 例患者的数据分析显示,使用 Excel 电子表格自动判断酸碱失衡类型的准确率高于人工判断,但差异无统计学意义[正常及单纯型酸碱失衡:100%(26/26)比 100%(26/26),混合型酸碱失衡:100%(51/51)比 96.08%(49/51),TABD:100%(19/19)比 89.47%(17/19),均  $P > 0.05$ ],且 Excel 电子表格组血气分析结果判断时间较人工判断组用时少[s:正常及单纯型酸碱失衡为  $31.13 \pm 4.70$  比  $74.20 \pm 16.53$ ,混合型酸碱失衡为  $31.59 \pm 5.49$  比  $138.10 \pm 22.26$ ,TABD 为  $30.98 \pm 5.40$  比  $308.40 \pm 78.12$ ,均  $P < 0.01$ ]。**结论** 血气分析自动判断 Excel 电子表格能快速、准确地对动脉血气分析进行酸碱失衡类型的判断。

**【关键词】** 血气分析; 酸碱失衡; Excel 电子表格; 计算机分析

**基金项目:**江苏省徐州市科学技术局重点研发计划(社会发展)课题(KC18185)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200217-00186

## Clinical application of Excel spreadsheet with blood gas analysis in automatic judging the type of acid-base balance disorder

Zhai Jingfang<sup>1</sup>, Wu Zijian<sup>2</sup>, Wu Jiebin<sup>3</sup>, Zhou Bin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Xuzhou Clinical School of Xuzhou Medical University, Prenatal Diagnosis Center of Xuzhou Center Hospital, Xuzhou 221009, Jiangsu, China; <sup>2</sup>Computer Science and Technology, Xuhai College of China University of Mining, Xuzhou 221008, Jiangsu, China; <sup>3</sup>Department of Neonatology, Xuzhou Clinical School of Xuzhou Medical University, Xuzhou Center Hospital, Xuzhou 221009, Jiangsu, China

Corresponding author: Wu Jiebin, Email: ranbow8459@126.com

**【Abstract】** **Objective** To judge the type of acid-base balance disorder automatically according to the results of arterial blood gas analysis by using the IF function editing formula in an Excel spreadsheet. **Methods** The four-step analysis was used to carry out programmatically through establishing acid-base balance disorder analysis process: ① the acid and base types were determined according to pH value and the primary or main type of acid-base balance disorder was determined according to the pH value combined with blood carbon dioxide pressure (PaCO<sub>2</sub>), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and their change rate; ② the expected compensation formula was selected to determine whether there was mixed acid-base imbalance, according to the primary or main acid-base imbalance type; ③ the potential HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> should be calculated to replace the measured HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> when the primary acid-base imbalance was divided into two parts according to the prior two steps: respiratory acidosis or respiratory alkalosis accompanied with anion gap (AG) increased-metabolic acidosis and compared with the compensatory interval calculated by the predicted compensatory formula for acid or alkali to determine whether there were triple acid-base imbalance (TABD); ④ while the following two parts were judged: metabolic acidosis

accompanied with AG increased-metabolic acidosis according to the prior two steps,  $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$  should be calculated to determine whether there was metabolic alkalosis or metabolic acidosis with normal AG. The results of arterial blood gas analysis were judged by using the editing formula of IF function in Excel 2003 spreadsheet. A total of 96 patients admitted to the department of intensive care unit (ICU) of Xuzhou Central Hospital were enrolled. According to the results of arterial blood gas analysis, the type of acid-base imbalance of patients was judged by both artificial judgment (artificial group) and Excel spreadsheet automatic judgment (Excel spreadsheet group). The artificial group was composed by 2 associate chief physicians from neonatal intensive care unit (NICU) and 1 attending respiratory physician. If the results were inconsistent, the decision should be made after discussion. In the Excel spreadsheet group, data were input by one NICU attending physician and checked by another. The differences in the results and the time spent in judging the type of acid-base imbalance between the two groups were compared. **Results** Forty-two types of acid-base imbalance were obtained by using the four-step analysis method and inputting relevant parameters such as pH, PaCO<sub>2</sub>, actual HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and compensation time limited into the Excel spreadsheet for blood gas analysis. Data analyses of 96 patients showed that the accuracy of using Excel spreadsheets to automatically determine the type of acid-base imbalance was higher than artificial group, but there was no statistically significant difference between the two groups [normal and simple acid-base imbalance: 100% (26/26) vs. 100% (26/26), mixed acid-base imbalance: 100% (51/51) vs. 96.08% (49/51), TABD: 100% (19/19) vs. 89.47% (17/19), all *P* > 0.05], and it took less time to judge the results of blood gas analysis by the Excel spreadsheet group compared with the artificial group (s: normal and simple acid-base imbalance: 31.13 ± 4.70 vs. 74.20 ± 16.53, mixed acid-base imbalance: 31.59 ± 5.49 vs. 138.10 ± 22.26, TABD: 30.98 ± 5.40 vs. 308.40 ± 78.12, all *P* < 0.01). **Conclusion** The automatic judging Excel spreadsheet with blood gas analysis can quickly and accurately determine the type of acid-base imbalance in arterial blood gas analysis.

**【Key words】** Blood gas analysis; Acid-base imbalance; Excel spreadsheet; Computer analysis

**Fund program:** Key Project of Xuzhou Science and Technology Bureau (Social Development) of Jiangsu Province of China (KC18185)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200217-00186

正常机体依赖于酸碱平衡的内环境稳定,危重患者常常由于这种平衡紊乱而使病情更复杂严重。因此,对酸碱平衡状态的判断已成为急救医学的重要内容,尤其机械通气期间,如能依据动脉血气分析快速准确判断酸碱失衡类型,调节呼吸机各项参数,显得极其重要。本研究中通过学习酸碱平衡理论和研究进展,整理酸碱平衡紊乱分析流程,进行程序化分析,使用 Excel 电子表格中 IF 函数编辑公式,制作血气分析自动判断电子表格,输入 pH、动脉血二氧化碳分压(PaCO<sub>2</sub>)、实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 和代偿时限(急/慢性),即可快速、准确判断酸碱失衡类型,现将结果报告如下。

### 1 酸碱失衡类型判断

**1.1 主要公式:**① 依据 Henderson-Hasselbalch 方程式计算 pH 值,  $pH = pK_a + \lg \frac{HCO_3^-}{H_2CO_3}$  [1], 式中 pKa 为碳酸电离平衡常数 K 的负对数(pKa=6.1); ② 阴离子隙(AG)=Na<sup>+</sup>-(实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+Cl<sup>-</sup>) [1]; ③  $\Delta AG = AG - 12$  [2-5], 式中  $\Delta$  代表变化值; ④ 潜在 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+ $\Delta AG$  [2-5]; ⑤  $\Delta HCO_3^- = 24 - \text{实际 } HCO_3^-$  [3-5]; ⑥ PaCO<sub>2</sub> 变化率(取绝对值)=(40 - PaCO<sub>2</sub>)/40, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 变化率(取绝对值)=(24-实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/24; ⑦ 酸碱失衡预计代偿公式见表 1 [6]。

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、AG 单位为 mmol/L, PaCO<sub>2</sub> 单位为 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。

### 1.2 血气分析自动判断 Excel 电子表格制作

**1.2.1 手工判断部分(图 1):** 在 Excel 2003 电子表格 C4~C9 单元格中输入 pH、PaCO<sub>2</sub>、实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 以及代偿时限。依据公式  $pH = pK_a + \lg \frac{HCO_3^-}{(0.03 \times PaCO_2)}$  计算 pH 值, 在 D11 单元格输入“6.1+LOG(D6/D5/0.03)”。在 D14 单元格输入 PaCO<sub>2</sub> 变化率(取绝对值)“ABS(40 - D5)/40”(ABS 表示绝对值), 在 D15 单元格输入 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 变化率(取绝对值)“ABS(24 - D6)/24”。依据酸碱失衡预计代偿公式进一步计算预计代偿范围, 代谢性酸中毒(代酸): PaCO<sub>2</sub>=1.5×HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+6~1.5×HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+10; 代谢性碱中毒(代碱): PaCO<sub>2</sub>=0.9×HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+16.9~0.9×HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+19.9; 急性呼吸性酸中毒(呼酸): HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.07×PaCO<sub>2</sub>+19.7~0.07×PaCO<sub>2</sub>+22.7; 慢性呼酸: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.35×PaCO<sub>2</sub>+4.42~

表 1 酸碱失衡预计代偿公式

原发失衡	原发改变	代偿反应	预计代偿公式	代偿极限
代谢性酸中毒	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↓ ↓	PaCO <sub>2</sub> ↓	PaCO <sub>2</sub> = HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> × 1.5 + 8 ± 2	10 mmHg
代谢性碱中毒	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑ ↑	PaCO <sub>2</sub> ↑	$\Delta PaCO_2 = \Delta HCO_3^- \times 0.9 \pm 1.5$	55 mmHg
呼吸性酸中毒	PaCO <sub>2</sub> ↑ ↑	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↑	急性: $\Delta HCO_3^- = \Delta PaCO_2 \times 0.07 \pm 1.5$ 慢性: $\Delta HCO_3^- = \Delta PaCO_2 \times 0.35 \pm 5.58$	30 mmol/L 45 mmol/L
呼吸性碱中毒	PaCO <sub>2</sub> ↓ ↓	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↓	急性: $\Delta HCO_3^- = \Delta PaCO_2 \times 0.2 \pm 2.5$ 慢性: $\Delta HCO_3^- = \Delta PaCO_2 \times 0.5 \pm 2.5$	18 mmol/L 12 mmol/L

注: PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压; 1 mmHg=0.133 kPa; ↓ ↓ 或 ↑ ↑ 代表原发或主要的失衡紊乱, ↓ 或 ↑ 代表继发性代偿变化,  $\Delta$  代表变化值

**血气分析自动判断1.0**

手工判断部分		自动判断部分	
第1步: 填入动脉血气分析报告(六项数据必须填写完整)		有问题联系作者邮箱: ranbow8459@126.com	
pH	7.52	酸碱失衡类型:	
PaCO <sub>2</sub>	28 mmHg	慢性呼吸性碱中毒合并代谢性碱中毒	
实际HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22 mmol/L	高AG代谢性酸中毒、代谢性碱中毒	
Na <sup>+</sup>	140 mmol/L	使用说明:	
Cl <sup>-</sup>	96 mmol/L	① pH测量值与pH计算值相比较, 如差别大, 提示血气数值内在不一致, 结果不可靠, 需重新抽血!	
代偿时限	慢性	② 代偿时限建议: 急性呼吸/碱, <3天; 慢性呼吸/碱, ≥3天	
第2步: pH测量值与pH计算值相比较, 如差别大, 重新抽血!		③ L6、L7单元格采用实际HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 预偿值法判断代碱;	
pH计算值	7.518	④ 如AG>16mmol/L, L8单元格采用ΔAG/ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 比值法及潜在HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 预偿值法判断代碱或正常AG代酸。如同时出现代碱结果, L6、L7单元格准确性要优于L8单元格	
第3步: PaCO <sub>2</sub> 与HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化方向相反: 混合性		⑤ 该版本计算AG值没有考虑低白蛋白血症等因素影响	
PaCO <sub>2</sub> 与HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化方向相同, 需带入预计代偿公式		⑥ 酸碱失衡类型结果, 需密切结合临床以及动态监测血气分析!	
PaCO <sub>2</sub> 变化率(绝对值)	0.30	相关公式	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率(绝对值)	0.08	酸碱失调预计代偿公式(选自诊断学人卫第9版)	
酸碱失调预计代偿公式计算结果		原发失衡	预计代偿公式
原发代酸, 计算PaCO <sub>2</sub> 变化范围	39.00 ~ 43.00 mmHg	代谢性酸中毒	PaCO <sub>2</sub> =[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]-1.5+8±2
原发代碱, 计算PaCO <sub>2</sub> 变化范围	36.70 ~ 39.70 mmHg	代谢性碱中毒	ΔPaCO <sub>2</sub> =Δ[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]-0.9±1.5
原发急性呼吸, 计算HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化范围	21.66 ~ 24.66 mmol/L	呼吸性酸中毒	急性: Δ[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=ΔPaCO <sub>2</sub> ×0.07±1.5
原发慢性呼吸, 计算HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化范围	14.22 ~ 25.38 mmol/L	呼吸性酸中毒	慢性: Δ[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=ΔPaCO <sub>2</sub> ×0.35±5.58
原发急性呼碱, 计算HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化范围	19.10 ~ 24.10 mmol/L	呼吸性碱中毒	急性: Δ[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=ΔPaCO <sub>2</sub> ×0.2±2.5
原发慢性呼碱, 计算HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化范围	15.50 ~ 20.50 mmol/L	呼吸性碱中毒	慢性: Δ[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]=ΔPaCO <sub>2</sub> ×0.5±2.5
第4步: 计算 AG	22.00 mmol/L	AG=Na <sup>+</sup> -HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Cl <sup>-</sup>	潜在HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =ΔAG+实际HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
ΔAG	10.00 mmol/L	ΔAG=AG-12	ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =24-实际HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.00 mmol/L	PaCO <sub>2</sub> 变化率(取绝对值)=ΔPaCO <sub>2</sub> /40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率(取绝对值)=ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /24
计算潜在HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32.00 mmol/L		
AG↑酸碱失衡判断方法:			
①AG>16, 判断为高AG代酸			
②AG>16时, 如以呼吸/呼碱为主要平衡紊乱时, 潜在HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 预偿值上限, 判断为代碱; 潜在HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 预偿值下限, 判断为正常AG代酸			
③AG>16时, 如以代酸为主要平衡紊乱时, ΔAG/ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> >1.6, 判断为代碱; ΔAG/ΔHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <1, 判断为正常AG代酸			

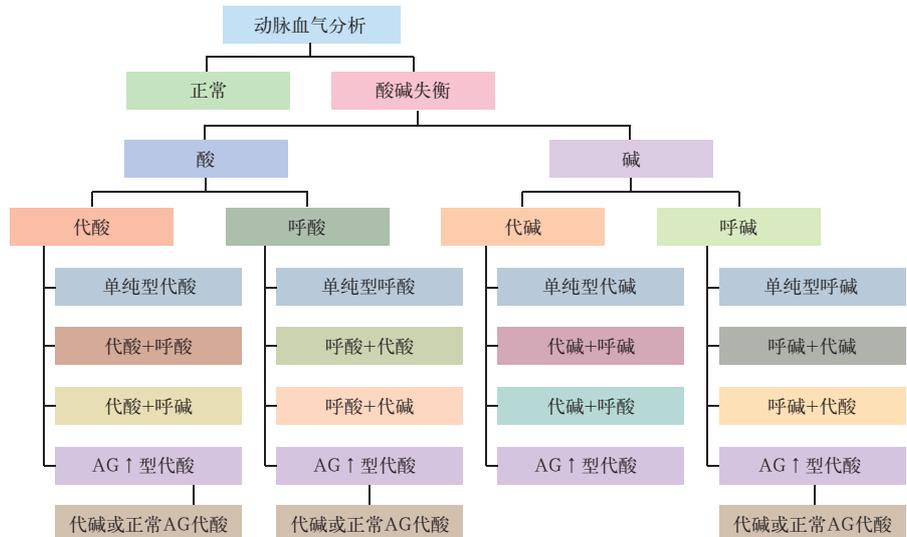
注: PaCO<sub>2</sub>为动脉血二氧化碳分压, AG为阴离子隙; 1 mmHg=0.133 kPa

图1 血气分析自动判断 Excel 电子表格

0.35×PaCO<sub>2</sub>+15.58; 急性呼吸性碱中毒(呼碱): HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.2×PaCO<sub>2</sub>+13.5~0.2×PaCO<sub>2</sub>+18.5; 慢性呼碱: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.5×PaCO<sub>2</sub>+1.5~0.5×PaCO<sub>2</sub>+6.5。然后在相应单元格中输入预计代偿范围, 即在 F17、H17、F18、H18、F19、H19、F20、H20、F21、H21、F22、H22 单元格中分别输入“D6×1.5+6”“D6×1.5+10”、“D6×0.9+16.9”“D6×0.9+19.9”“D5×0.07+19.7”“D5×0.07+22.7”“D5×0.35+4.42”“D5×0.35+15.58”“D5×0.2+13.5”“D5×0.2+18.5”“D5×0.5+1.5”、“D5×0.5+6.5”。依据 AG、ΔAG、ΔHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、潜在 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 公式, 分别在 D23、D24、D25、D26 单元格输入“D7-D8-D6”“D23-12”“24-D6”“D6+D23-12”。

### 1.2.2 自动判断部分

1.2.2.1 制作思路: 采用四步分析法(图2): ① 根据 pH 值判定酸、碱, 结合 PaCO<sub>2</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及其变化率, 确定原发或主要酸碱失衡类型; ② 根据原发或



注: AG为阴离子隙; AG↑型代酸为继发性AG型代酸

图2 血气分析四步法程序化分析酸碱失衡类型流程图

主要酸碱失衡类型选取预计代偿公式,确定有无混合型酸碱失衡;③当AG增高型代酸时,对前两步判断原发或主要酸碱失衡为呼酸或呼碱时,计算潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,用潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>替代实际HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与呼酸或呼碱预计代偿公式计算的代偿区间进行比较<sup>[2-5]</sup>,进而判断有无三重酸碱失衡(TABD);④当AG增高型代酸时,对前两步判断原发或主要酸碱失衡为代酸时,计算ΔAG↑/ΔHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>↓比值<sup>[3-4,7]</sup>,进一步判断是否合并代碱或正常AG代酸。

单纯型或混合型酸碱失衡IF函数编辑公式思路(表2):单纯型酸碱失衡分为代酸、代碱、呼酸和呼碱4类,其中酸中毒包括代酸和呼酸,碱中毒包括代碱和呼碱。当pH<7.4,只会存在代酸和(或)呼酸原发或主要的平衡紊乱;当pH>7.4,只会存在代碱和(或)呼碱原发或主要的平衡紊乱。根据单纯型酸碱失衡继发性代偿变化与原发性紊乱同向,但继发性代偿变化一定小于原发性平衡紊乱<sup>[1]</sup>,那么HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率>PaCO<sub>2</sub>变化率(取绝对值)时,代谢性酸碱失衡(代酸或代碱)就是原发或主要的平衡紊乱;PaCO<sub>2</sub>变化率>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率(取绝对值)时,呼吸性酸碱失衡(呼酸或呼碱)就是原发或主要的平衡紊乱。将3个参数组合在一起:pH<7.4、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率>PaCO<sub>2</sub>变化率(取绝对值)、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><24 mmol/L,原发或者主要的平衡紊乱是代酸;pH<7.4、PaCO<sub>2</sub>变化率>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率(取绝对值)、PaCO<sub>2</sub>>40 mmHg,原发或主要的平衡紊乱是呼酸;pH>7.4、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率>PaCO<sub>2</sub>变化率(取绝对值)、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>24 mmol/L,原发或主要的平衡紊乱是代碱;pH>7.4、PaCO<sub>2</sub>变化率>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率(取绝对值)、PaCO<sub>2</sub><40 mmHg,原发或主要的平衡紊乱是呼碱。当pH=7.4、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率=PaCO<sub>2</sub>变化率的情况

下,如PaCO<sub>2</sub>>40 mmHg,代入呼酸预计代偿公式;PaCO<sub>2</sub><40 mmHg,代入呼碱预计代偿公式;PaCO<sub>2</sub>=40 mmHg,则无酸碱失衡(AG≤16 mmol/L时)。再将原发或主要的酸碱失衡代入相应预计代偿公式进行区分:①在预计代偿公式范围内,pH<7.4时,pH<7.35为单纯型代酸(或呼酸)失代偿性,pH≥7.35为单纯型代酸(或呼酸)代偿性;pH>7.4时,pH>7.45为单纯型代碱(或呼碱)失代偿性,pH≤7.45为单纯型代碱(或呼碱)代偿性。②在预计代偿公式范围之外,则存在混合型酸碱失衡。

当AG>16 mmol/L时酸碱失衡IF函数编辑公式思路:如AG>16 mmol/L,判定为AG增高型代酸。①如呼酸或呼碱为原发或主要的平衡紊乱时,将PaCO<sub>2</sub>代入呼酸或呼碱预计代偿公式,用潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>预偿值相比较的方法判定:潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>预偿值上限,判定为代碱<sup>[2-5]</sup>;潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>预偿值下限,判定为正常AG代酸<sup>[5]</sup>。②如代酸为原发或主要的平衡紊乱时,用ΔAG↑/ΔHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>↓比值判定:ΔAG↑/ΔHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>↓>1.6判定为代碱;ΔAG↑/ΔHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>↓<1.0,判定为正常AG代酸<sup>[3-4,7]</sup>。③当pH=7.4、PaCO<sub>2</sub>>40 mmHg,代入呼酸预计代偿公式;pH=7.4、PaCO<sub>2</sub><40 mmHg,代入呼碱预计代偿公式,用潜在HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>预偿值相比较的方法判定是否存在代碱或正常AG代酸。pH=7.4、PaCO<sub>2</sub>=40 mmHg判定为AG增高型代酸合并代碱。

**1.2.2.2** 运用IF函数编辑公式,进行酸碱失衡类型判断:pH=7.4,即HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.6×PaCO<sub>2</sub>。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><0.6×PaCO<sub>2</sub>时,pH<7.4;HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>0.6×PaCO<sub>2</sub>时,pH>7.4。将表2作为判定原发或主要的酸碱失衡类型的依据,按照预计代偿公式进行合并,运用IF函数编辑

表2 判定原发或主要酸碱失衡类型的思路

pH 值	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> 变化率 <sup>a</sup> 与HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率 <sup>b</sup> 的关系	原发或主要的酸碱失衡类型	代入预计代偿公式
<7.4	<24	≤40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率>PaCO <sub>2</sub> 变化率	代酸(代偿性或失代偿性)或代酸 <sup>c</sup> +呼碱	代酸公式
<7.4	<24	>40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率>PaCO <sub>2</sub> 变化率	代酸 <sup>c</sup> +呼酸	代酸公式
<7.4	≥24	>40	PaCO <sub>2</sub> 变化率>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率	呼酸(代偿性或失代偿性)或呼酸 <sup>c</sup> +代碱	呼酸公式
<7.4	<24	>40	PaCO <sub>2</sub> 变化率>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率	呼酸 <sup>c</sup> +代酸	呼酸公式
>7.4	>24	≥40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率>PaCO <sub>2</sub> 变化率	代碱(代偿性或失代偿性)或代碱 <sup>c</sup> +呼酸	代碱公式
>7.4	>24	<40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率>PaCO <sub>2</sub> 变化率	代碱 <sup>c</sup> +呼碱	代碱公式
>7.4	≤24	<40	PaCO <sub>2</sub> 变化率>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率	呼碱(代偿性或失代偿性)或呼碱 <sup>c</sup> +代酸	呼碱公式
>7.4	>24	<40	PaCO <sub>2</sub> 变化率>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率	呼碱 <sup>c</sup> +代碱	呼碱公式
7.4	>24	>40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率=PaCO <sub>2</sub> 变化率	慢性呼酸(代偿性)或急性呼酸 <sup>c</sup> +代碱	呼酸公式
7.4	<24	<40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率=PaCO <sub>2</sub> 变化率	慢性呼碱(代偿性)或急性呼碱 <sup>c</sup> +代酸	呼碱公式
7.4	24	40	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 变化率=PaCO <sub>2</sub> 变化率	无酸碱失衡 <sup>d</sup>	

注:a 动脉血二氧化碳分压(PaCO<sub>2</sub>)变化率(取绝对值)=(40-PaCO<sub>2</sub>)/40, b HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化率(取绝对值)=(24-实际HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/24; c 为原发或主要酸碱失衡类型; d 无酸碱失衡为阴离子隙(AG)≤16 mmol/L的情况下; 1 mmHg=0.133 kPa; 空白代表无此项

公式。其中代偿时限 < 3 d, 为急性呼酸/呼碱; ≥ 3 d, 为慢性呼酸/呼碱。因 IF 函数公式太长, 单元格容量有限制, 分别将主要酸碱失衡判断结果放入 L6 ~ L8 单元格 (其中 AG > 16 mmol/L 时相关酸碱失衡类型放入 L8 单元格)。

图 1 可见, 电子表格左边为手工判断部分, 右边是自动判断部分。使用 Excel 边框与图案功能, 将输入与生成数据单元格加以区分。D11 单元格设置为 3 位小数, 其余单元格设置为 2 位小数。为防止电子表格改动, 使用保护工作表功能, 只保留 D4 ~ D9 单元格可以输入数据。只需在 D4 ~ D9 单元格分别输入 pH、PaCO<sub>2</sub>、实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 及代偿时限即可自动判断以下共 42 种酸碱失衡类型: 无酸碱失衡、代酸/代碱代偿性或失代偿性、急/慢性呼酸/呼碱代偿性或失代偿性、代酸/代碱合并呼酸/呼碱、急/慢性呼酸/呼碱合并代酸/代碱、AG 增高型代酸、AG 增高型代酸合并代碱/正常 AG 代酸、急/慢性呼酸/呼碱 (代偿性或失代偿性) 合并 AG 增高型代酸、急/慢性呼酸/呼碱 (代偿性或失代偿性) 合并 AG 增高型代酸及代碱/正常 AG 代酸。

## 2 临床应用

**2.1 研究方法:** 在获得医院伦理委员会批准的情况下 (审批号: XZXY-LJ-20170328-006), 选取徐州市中心医院重症监护病房 (ICU) 98 例患者, 根据动脉血气分析结果分别进行人工判断 (人工组) 和使用血气分析自动判断 Excel 电子表格 (Excel 电子表格组) 判断酸碱失衡的类型。两组使用相同酸碱失衡预计代偿公式, 混合型或 TABD 判断方法相同。人工组由 2 名新生儿重症监护病房 (NICU) 副主任医师及 1 名呼吸科主治医师完成, 用秒表记录个人判断时间, 取均值; 如结果不一致, 3 人讨论后决定判断结果。Excel 电子表格组由 1 名 NICU 主治医师输入数据, 另一人核对数据是否有误。

**2.2 统计学分析:** 应用 SPSS 16.0 软件进行统计学分析。正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 组间比较采用 *t* 检验; 计数资料采用  $\chi^2$  检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2.3 结果

**2.3.1 两组酸碱失衡类型判断正确率比较 (表 3):** 除去动脉血气分析结果有实验误差 2 例, 对 96 例患者动脉血气分析进行酸碱失衡类型判断。Excel 电子表格组判断酸碱失衡类型正确率优于人工组, 但两组正确率比较差异无统计学意义 (均 *P* > 0.05)。人

工组出错的主要问题为: pH 7.35 ~ 7.45 时酸碱失衡漏判、预计代偿公式计算错误及 TABD 类型的判断。Excel 电子表格组是编辑公式自动计算, 只要输入数据无误, 酸碱失衡类型判断不会出现错误。

表 3 使用不同方法对 96 例患者血气分析结果进行酸碱失衡类型判断的正确率比较

组别	酸碱失衡类型判断正确率 [% (例/例)]		
	正常及单纯型酸碱失衡	混合型酸碱失衡	三重酸碱失衡
人工组	100.00 (26/26)	96.08 (49/51)	89.47 (17/19)
Excel 电子表格组	100.00 (26/26)	100.00 (51/51)	100.00 (19/19)
$\chi^2$ 值		0.510	0.528
<i>P</i> 值		0.475	0.468

注: 空白代表未测

**2.3.2 两组酸碱失衡类型判断时间比较 (表 4):** 人工组首先要确定主要酸碱失衡类型, 代入预计代偿公式, 计算费时, 容易出错。如结果不一致, 3 人讨论后决定判断结果, 特别是判断 TABD 用时较多。Excel 电子表格组只需要输入数据, 则可自动判断酸碱失衡类型, 判断时间明显短于人工组 (均 *P* < 0.01)。

表 4 使用不同方法对 96 例患者血气分析结果进行酸碱失衡类型判断时间比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	酸碱失衡类型判断时间 (s)		
	正常及单纯型酸碱失衡 (n=26)	混合型酸碱失衡 (n=51)	三重酸碱失衡 (n=19)
人工组	74.20 ± 16.53	138.10 ± 22.26	308.40 ± 78.12
Excel 电子表格组	31.13 ± 4.70	31.59 ± 5.49	30.98 ± 5.40
<i>t</i> 值	12.780	33.180	15.440
<i>P</i> 值	< 0.001	< 0.001	< 0.001

## 3 讨论

机体为了维护 pH 值的正常, 当原发性酸碱失衡时, 继发性代偿会同向变化, 但继发性代偿变化一定会小于原发性平衡紊乱的变化<sup>[1]</sup>。所以在设计 IF 函数公式时, 依据 pH 值并结合 PaCO<sub>2</sub> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及其变化率, 判定主要的酸碱失衡类型, 再使用预计代偿公式进一步判断有无混合型酸碱失衡。另外, 在设计 IF 函数公式时, 只区分 pH < 7.4、pH > 7.4、pH = 7.4 这 3 种情况, 以避免 pH 在 7.35 ~ 7.45 时酸碱失衡类型的漏判。

呼吸性酸碱失衡能引起 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 代偿性变化, 会导致  $\Delta AG \uparrow$  与  $\Delta HCO_3^- \downarrow$  的变化规律受到影响。当 AG > 16 mmol/L, 如判断以代酸为主要的平衡紊乱时, 呼吸对实际 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 影响较小, 可用  $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$  比值法判断。 $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$  正常比值为 1.0 ~ 1.6; 若  $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow < 1.0$ ,

提示正常AG代酸;若 $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow > 1.6$ ,则说明存在代碱<sup>[3-4,7]</sup>。为进一步减少呼吸因素对 $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$ 比值的影响,马春园和王桂杰<sup>[4]</sup>认为可以使用标准 $HCO_3^-$ 替代实际 $HCO_3^-$ 计算 $\Delta AG \uparrow / \Delta HCO_3^- \downarrow$ 比值,扩展了其适用范围,但其可行性及科学性还需要基础实验进一步验证。另一种判断方法, $\Delta AG - \Delta HCO_3^-$ 差值判定法, $\Delta AG - \Delta HCO_3^- > 5 \text{ mmol/L}$ 判断为代碱, $\Delta HCO_3^- - \Delta AG > 5 \text{ mmol/L}$ 判断为正常AG代酸<sup>[5]</sup>。经过计算, $\Delta AG - \Delta HCO_3^- = Na^+ - Cl^- - 36$ , $\Delta HCO_3^- - \Delta AG = 36 - Na^+ + Cl^-$ 。 $\Delta AG - \Delta HCO_3^-$ 差值判定法就是比较 $Na^+$ 与 $Cl^-$ 之间的差值,对电解质检测准确性要求较高。

目前争论最多的是对TABD的判断,常用有3种方法:①实际 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 预偿值法:将 $PaCO_2$ 代入呼吸酸或呼吸碱预计代偿公式,当实际 $HCO_3^- > HCO_3^-$ 预偿值,判断为代碱。本方法误判机会少,但漏判的情况较多。②潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 预偿值法:潜在 $HCO_3^-$ 是1985年由Gabow<sup>[2]</sup>提出,潜在 $HCO_3^- = \text{实际} HCO_3^- + \Delta AG$ ,潜在 $HCO_3^-$ 替代实际 $HCO_3^-$ ,当潜在 $HCO_3^- > HCO_3^-$ 预偿值,判断为代碱,目前已作为TABD常用判定方法。③潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 潜在预偿值法:该方法由吴善<sup>[8-9]</sup>提出,潜在 $PaCO_2 = \text{实测} PaCO_2 + \Delta AG \times 1.2$ ,将潜在 $PaCO_2$ 代入呼吸酸或呼吸碱预计代偿公式得到 $HCO_3^-$ 潜在预偿值,当潜在 $HCO_3^- > HCO_3^-$ 潜在预偿值,判断为代碱。理论上,潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 潜在预偿值法排除了AG增高型代酸对 $PaCO_2$ 和 $HCO_3^-$ 的影响,可比性强,应更为合理。但我们使用潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 潜在预偿值法时,呼吸型TABD遇到预计代偿公式选择问题:是将潜在 $HCO_3^-$ 代入代碱预计代偿公式,还是将潜在 $PaCO_2$ 代入呼吸碱预计代偿公式?而呼吸型TABD则不会遇到预计代偿公式的选择问题。既然呼吸型TABD潜在 $PaCO_2$ 和潜在 $HCO_3^-$ 都是计算所得,那就应该用潜在 $PaCO_2$ 和潜在 $HCO_3^-$ 计算“潜在pH值”,重新判定主要的酸碱失衡类型并代入相应预计代偿公式,而不能参照原来的主要酸碱失衡,直接将潜在 $PaCO_2$ 代入呼吸碱代偿公式计算 $HCO_3^-$ 潜在预偿值,再与潜在 $HCO_3^-$ 进行比较去判断有无代碱。所以,制作血气分析自动判断Excel电子表格,判断TABD采用的方法是实际 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 预偿值法和潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 潜在预偿值法,没有采用潜在 $HCO_3^- - HCO_3^-$ 潜在预偿值法。

血气分析自动判断Excel电子表格能快速、准确地对动脉血气分析进行酸碱失衡类型的判断,尤其对TABD更具有优势。电子表格中手工判断部分,输入数据,可自动计算预计代偿公式结果,方便人工判断;自动判断部分可自动判断酸碱失衡类型,两者相互补充,不仅为非专业临床医生提供了动脉血气分析的工具,而且对专业医生也有很大帮助;还可以整合在血气分析仪上,即时对血气分析判断酸碱失衡类型。但仅凭血气分析报告给出的酸碱失衡类型诊断,有时难免会有错误,必须结合临床,动态监测动脉血气分析。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 钱睿哲. 酸碱平衡和酸碱平衡紊乱[M]//王建枝,钱睿哲. 病理生理学. 9版. 北京:人民卫生出版社,2018:45-67.  
Qian RZ. Acid-base balance and disorder of acid-base balance [M]// Wang JZ, Qian RZ. Pathologic physiology. 9th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 45-67.
- [2] Gabow PA. Disorders associated with an altered anion gap [J]. Kidney Int, 1985, 27 (2): 472-483. DOI: 10.1038/ki.1985.34.
- [3] 任成山,钱桂杰. 动脉血气分析与酸碱失衡判断进展及其临床意义[J/C/D]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2010, 3 (2): 125-145. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6902.2010.02.013.  
Ren CS, Qian GS. The progress and clinical significance of arterial blood gas analysis and diagnosis of acid-base disturbance [J/C/D]. Chin J Lung Dis (Electronic Edition), 2010, 3 (2): 125-145. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-6902.2010.02.013.
- [4] 马春园,王桂杰. 酸碱平衡紊乱的程序化分析:附4例案例分析[J]. 中华危重病急救医学, 2017, 29 (5): 436-441. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.05.010.  
Ma CY, Wang GJ. Procedural analysis of acid-base balance disorder: case serials in 4 patents [J]. Chin Crit Care Med, 2017, 29 (5): 436-441. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.05.010.
- [5] 张家骥. 酸碱平衡紊乱的程序化诊断方法[J]. 中国小儿急救医学, 2006, 13 (6): 569-575. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2006.06.033.  
Zhang JX. A programmed method for diagnosis of acid-base disorders [J]. Chin Pediatr Emerg Med, 2006, 13 (6): 569-575. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2006.06.033.
- [6] 张捷. 血气分析和酸碱测定[M]//万学红,卢雪峰. 诊断学. 9版. 北京:人民卫生出版社,2018:546-554.  
Zhang J. Blood gas analysis and acid base detection [M]// Wan XH, Lu XF. Diagnostics. 9th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 546-554.
- [7] 游怀舟,顾勇,林善铤. 酸碱平衡紊乱[M]//陈灏珠,林果为,王吉耀. 实用内科学. 14版. 北京:人民卫生出版社,2013:962-976.  
You HZ, Gu Y, Lin ST. Acid-base disturbance [M]// Chen HZ, Lin GW, Wang JY. Practice of internal medicine. 14th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2013: 962-976.
- [8] 吴善. 三重酸碱失衡判断法的进一步探讨[J]. 中华内科杂志, 1998, 37 (4): 222. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1426.1998.04.003.  
Wu S. Further imploreon the judgment of triple acid-base imbalance [J]. Chin J Intern Med, 1998, 37 (4): 222. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1426.1998.04.003.
- [9] 吴善. 潜在动脉血二氧化碳分压的概念[J]. 中华内科杂志, 2002, 41 (2): 136. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1426.2002.02.025.  
Wu S. Concept of potential arterial blood  $PaCO_2$  [J]. Chin J Intern Med, 2002, 41 (2): 136. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1426.2002.02.025.

(收稿日期:2020-02-17)