

• 论著 •

血气酸碱失衡分析软件的开发与应用评价

陈波 黄海樱 周强 彭珊 嘉红云 冀天星

【摘要】 目的 通过开发血气酸碱失衡分析软件计算机辅助诊断系统,快速准确地自动判断患者酸碱失衡类型,并进行临床应用评价。**方法** 用 VBA 语言编写程序,开发一种判断血气酸碱平衡的计算机辅助诊断软件。回顾性分析广州医科大学附属第二医院收治的 220 例患者的临床资料,收集患者的动脉血气数据[pH 值、碳酸氢根(HCO_3^-)、动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)]和电解质数据(Na^+ 、 Cl^-),将数据录入计算机软件自动进行酸碱失衡判断;同时用手工法将数据代入改良 H-H 代偿公式,通过计算结果判断酸碱失衡类型。用 Kappa 检验评价计算机软件判断结果和手工法判断结果的一致性,并对其判断所需时间进行比较。**结果** 临床诊断 220 例患者的酸碱失衡类型为:正常 65 例,单纯型 90 例,混合型 41 例,三重型 24 例。计算机软件判断和手工法判断正常及三重型的准确率均为 100%,判断单纯型的准确率为 98.9%,判断混合型的准确率为 78.0%,总准确率为 95.5%。计算机软件判断结果和手工法判断结果的 Kappa 值为 0.935, $P=0.000$,说明一致性非常好。计算机软件判断酸碱失衡所需时间明显短于手工法判断($s: 18.14 \pm 3.80$ 比 43.79 ± 23.86 , $t=7.466$, $P=0.000$),说明计算机软件判断所需时间远远快于手工法。**结论** 开发的血气酸碱失衡分析软件判断结果可以代替手工法判断,具有快速、准确和方便等特点,能提高临床医生的工作效率和质量,具有较大的临床应用推广价值。

【关键词】 血气分析; 酸碱失衡; 计算机软件; 应用评价

Development and practice evaluation of blood acid-base imbalance analysis software Chen Bo*, Huang Haiying, Zhou Qiang, Peng Shan, Jia Hongyu, Ji Tianxing. * Department of Laboratory Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510260, Guangdong, China
Corresponding author: Huang Haiying, Email: 799961191@qq.com

【Abstract】 Objective To develop a blood gas, acid-base imbalance analysis computer software to diagnose systematically, rapidly, accurately and automatically determine acid-base imbalance type, and evaluate the clinical application. **Methods** Using VBA programming language, a computer aided diagnostic software for the judgment of acid-base balance was developed. The clinical data of 220 patients admitted to the Second Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University were retrospectively analyzed. The arterial blood gas [pH value, HCO_3^- , arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO_2)] and electrolytes included data (Na^+ and Cl^-) were collected. Data were entered into the software for acid-base imbalances judgment. At the same time the data generation was calculated manually by H-H compensation formula for determining the type of acid-base imbalance. The consistency of judgment results from software and manual calculation was evaluated, and the judgment time of two methods was compared. **Results** The clinical diagnosis of the types of acid-base imbalance for the 220 patients: 65 cases were normal, 90 cases with simple type, mixed type in 41 cases, and triplex type in 24 cases. The accuracy of the judgment results of the normal and triplex types from computer software compared with which were calculated manually was 100%, the accuracy of the simple type judgment was 98.9% and 78.0% for the mixed type, and the total accuracy was 95.5%. The Kappa value of judgment result from software and manual judgment was 0.935, $P=0.000$. It was demonstrated that the consistency was very good. The time for software to determine acid-base imbalances was significantly shorter than the manual judgment (seconds: 18.14 ± 3.80 vs. 43.79 ± 23.86 , $t=7.466$, $P=0.000$), so the method of software was much faster than the manual method. **Conclusion** Software judgment can replace manual judgment with the characteristics of rapid, accurate and convenient, can improve work efficiency and quality of clinical doctors and has great clinical application promotion value.

【Key words】 Blood gas analysis; Acid-base imbalance; Software; Application and evaluation

血气分析测定已被广泛应用于临床各科,特别是在危重患者抢救中占重要地位,它有助于了解病

情、鉴别诊断、观察疗效和评估预后,而能否准确快速判断酸碱失衡往往是抢救治疗成败的关键^[1-4]。在酸碱失衡判断的过程中,尤其对混合型酸碱失衡的判断较为繁杂,即使是有经验的医生也很难在短时间内作出准确判断^[5-7]。随着计算机技术的发展及其广泛应用于医疗信息系统和辅助诊断系统,各种酸碱平衡判断软件及智能系统被国内学者用于临床血气分析,显示出其诊断准确、快速和智能的特

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.11.013

基金项目:中华医学会医学教育分会、中国高等教育学会医学教育专业委员会医学教育研究立项课题(2010-14-15)

作者单位:510260 广东,广州医科大学附属第二医院检验科(陈波、黄海樱、周强、嘉红云、冀天星);510182 广东,广州医科大学金城检验学院(彭珊)

通信作者:黄海樱, Email: 799961191@qq.com

点^[8-13]。目前判断血气酸碱平衡的方法主要有目测法、动脉血气图法、手工代入计算法(手工法),其中目测法和动脉血气图法简单、快速^[4,14],但缺乏准确性,手工法计算费时,难以满足临床需要^[4,14-15]。因此,根据临床需要开发出简单、快速、准确的计算机辅助系统,可以解放人力、提高效率,用计算机判断酸碱平衡较手工法更加准确且判断时间更短,可提高计算机辅助诊断系统的准确率,大大提高临床医生对患者酸碱失衡类型判断的正确率以及对危重患者的抢救成功率^[13,16-20]。本课题组利用 VBA 编写程序,开发出可快速准确判断酸碱平衡的计算机辅助诊断软件,并进行了临床应用评价,报告如下。

1 材料与方法

1.1 软件设计及操作方法:操作系统为 WindowsXP 以上,全部程序用 VBA 语言编写。程序组成模块包括:数据录入、数据识别及数据处理、酸碱平衡紊乱类型判断。操作程序:打开程序后,进入软件判断界面。输入患者的动脉血气测定值[pH 值、碳酸氢根(HCO_3^-)、动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)]以及血电解质测定值(Na^+ 、 Cl^-),即可判断酸碱失衡的类型。

1.2 研究对象:回顾性分析 2012 年 6 月至 2013 年 9 月广州医科大学附属第二医院收治住院患者的临床资料,共纳入血气数据和电解质结果完整的病例 220 例,男性 122 例,女性 98 例;年龄 1~92 岁,平均(65.80 ± 20.51)岁;其中酸碱平衡正常 65 例,单纯型酸碱失衡 90 例,混合型酸碱失衡 41 例,三重型酸碱失衡 24 例。

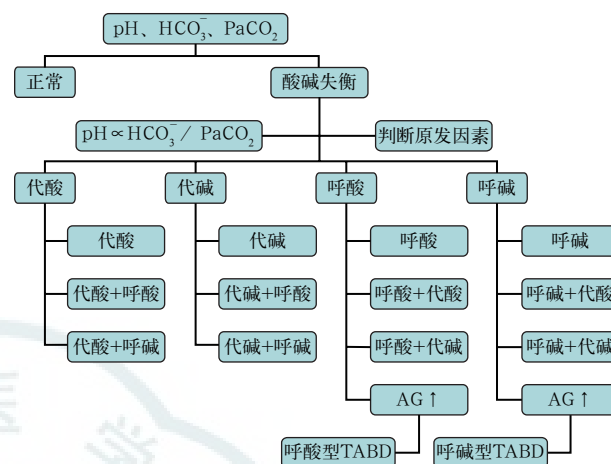
本研究符合医学伦理学标准,经医院伦理委员会批准,并获得患者或家属知情同意。

1.3 数据收集:采用雷度 ABL800 型血气分析仪,罗氏 C8000 型全自动生化分析仪、日立 7600 型全自动生化分析仪、强生 Vit 560 型全自动干式生化分析仪,每日开机,质控在控,再检测患者标本。收集入选患者的相关血气数据(pH 值、 HCO_3^- 和 PaCO_2)和电解质数据(Na^+ 、 Cl^-)。

1.4 判断方法

1.4.1 酸碱失衡类型的判断步骤及代偿范围:酸碱失衡类型判断步骤见图 1。根据酸碱失衡代偿规律,首先看 pH 值、 HCO_3^- 和 PaCO_2 是否在正常参考值范围内,只要有一个指标不在正常参考值范围内即考虑为酸碱失衡,根据 H-H 公式 $\text{pH} \propto \text{HCO}_3^- / \text{PaCO}_2$,依据 pH 值、 HCO_3^- 、 PaCO_2 变化趋势判断哪个为原发,一般引起 pH 值改变的为原发。在代

偿范围内为单纯型,失代偿的为混合型或三重型酸碱失衡(TABD),代偿公式见表 1。



注: HCO_3^- 为碳酸氢根, PaCO_2 为动脉血二氧化碳分压,代酸为代谢性酸中毒,代碱为代谢性碱中毒,呼酸为呼吸性酸中毒,呼碱为呼吸性碱中毒,AG 为阴离子隙, TABD 为三重型酸碱失衡

图 1 酸碱失衡类型判断步骤

表 1 单纯型酸碱平衡紊乱的预计代偿范围

失衡类型	预计代偿范围计算公式	代偿极限
代酸	$\text{PaCO}_2 = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8 \pm 2$	10 mmHg
代碱	$\text{PaCO}_2 = 40 + (\text{HCO}_3^- - 24) \times 0.9 \pm 5$	55 mmHg
呼酸(慢性)	$\text{HCO}_3^- = 24 + (\text{PaCO}_2 - 40) \times 0.35 \pm 5.58$	45 mmol/L
呼碱(慢性)	$\text{HCO}_3^- = 24 + (\text{PaCO}_2 - 40) \times 0.5 \pm 2.5$	12 mmol/L

注:代酸为代谢性酸中毒,代碱为代谢性碱中毒,呼酸为呼吸性酸中毒,呼碱为呼吸性碱中毒, PaCO_2 为动脉血二氧化碳分压, HCO_3^- 为碳酸氢根; 1 mmHg = 0.133 kPa

1.4.2 手工法对酸碱失衡类型的判断:根据改良 H-H 公式评估检验结果的准确性。 H^+ (mmol/L) = $24 \times \text{PaCO}_2$ (mmHg) / HCO_3^- (mmol/L), 1 mmHg = 0.133 kPa。将筛选后相关血气数据及电解质数值代入代偿公式计算,判断酸碱失衡类型。

1.4.3 计算机辅助软件对酸碱失衡类型的判断:将患者的血气数据及电解质数据输入软件进行判断,记录判断结果,比较其与手工法判断结果的一致性。

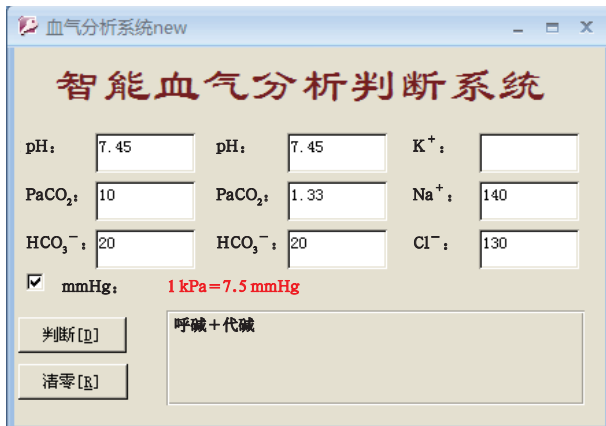
1.5 统计学分析:将患者数据输入 Excel 2007 表格,使用 SPSS 17.0 软件进行统计学处理,用 Kappa 检验评价计算机软件判断结果与手工法判断结果的一致性, Kappa 值越大表明一致性越好。

Kappa 检验评价标准: ① 差: $\text{Kappa} \leq 0.2$; ② 一般: $0.2 < \text{Kappa} \leq 0.4$; ③ 中等: $0.4 < \text{Kappa} \leq 0.6$; ④ 好: $0.6 < \text{Kappa} \leq 0.8$; ⑤ 非常好: $\text{Kappa} > 0.8$ 。

手工法判断和计算机软件判断所用时间以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,采用 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 计算机软件程序主界面(图 2):在软件的判断界面输入患者的 pH 值、 HCO_3^- 、 PaCO_2 、 Na^+ 、 Cl^- 等数据, PaCO_2 单位可选 mmHg 或 kPa, 按回车或点击“判断”按钮, 即可得出酸碱失衡判断结果。



注: PaCO_2 为动脉血二氧化碳分压, HCO_3^- 为碳酸氢根, 呼吸为呼吸性碱中毒, 代碱为代谢性碱中毒; 1 mmHg=0.133 kPa

图 2 酸碱失衡分析软件的判断界面

2.2 计算机软件判断和手工法判断酸碱失衡准确率的比较(表 2):对 220 例患者酸碱失衡手工法判断和计算机软件判断为“正常”及“三重型”的准确率均为 100%, 判断为“单纯型”的准确率为 98.9%, 判断为“混合型”的准确率为 78.0%, 总准确率为 95.5%。

表 2 手工法判断和计算机软件判断 220 例患者酸碱失衡准确率的比较

手工法判断	计算机软件判断(例)				准确率 [% (例/例)]
	单纯型	混合型	三重型	正常	
单纯型	89	0	1	0	98.9 (89/90)
混合型	0	32	9	0	78.0 (32/41)
三重型	0	0	24	0	100.0 (24/24)
正常	0	0	0	65	100.0 (65/65)

2.3 计算机软件判断与手工法判断酸碱失衡的一致性:对 220 例患者酸碱失衡的计算机软件判断结果与手工法判断结果进行 Kappa 检验, 结果显示, 计算机软件与手工法判断酸碱平衡类型的 Kappa 值为 0.935, 渐进标准误差为 0.20, 近似值为 22.678, 近似值 Sig 为 0.000, 精确 Sig 为 0.000, 可见计算机软件判断和手工法判断结果一致性非常好。

2.4 计算机软件判断与手工法判断酸碱失衡时间的比较:抽取样本中各种类型酸碱失衡患者共 47 例, 分别用秒表计时手工法判断和计算机软件判断酸碱失衡的时间。结果显示, 计算机软件判断所需时

间较手工法判断明显缩短($s: 18.14 \pm 3.80$ 比 43.79 ± 23.86), 差异有统计学意义($t=7.466, P=0.000$)。

3 讨论

机体的内环境必须具有适宜的酸碱度才能维持正常的生理代谢功能。正常情况下, 机体每日摄入和代谢所产生的酸碱物质与其排出的量总是处在动态平衡之中, 当这种动态平衡被打破时, 机体就会处于酸碱失衡状态^[21-22]。目前, 分析判断酸碱失衡主要靠血气分析, 血气分析是反映机体酸碱失衡的理想指标^[23-24]。临床上正确判断酸碱失衡类型对于急危重患者的抢救具有重要的指导意义^[25-28]。我们参考国内外近年的进展, 利用 VBA 语言编写程序, 开发出可以自动判断酸碱失衡的分析软件。该软件无需临床资料判断原发病因, 直接输入相关血气测定值和电解质测定值即可对酸碱失衡类型进行快速、准确的判断。

该软件必须在检验结果准确的前提下进行酸碱失衡的判断^[22]。另外, 在检验结果准确的情况下, pH 值和 $\text{HCO}_3^-/\text{PaCO}_2$ 结果变化不一致, 提示存在测量误差, 应该不采用而舍弃。例如, 一例患者 pH 值 7.41, PaCO_2 35.1 mmHg, HCO_3^- 21.8 mmol/L, Na^+ 140 mmol/L, Cl^- 104.1 mmol/L, 将该组数据代入改良 H-H 公式, 评估检验结果的准确性, pH 值偏碱, $\text{HCO}_3^-/\text{PaCO}_2$ 中 HCO_3^- 下降, 结果变化并不一致, 存在测量误差, 故舍弃不采用。由于各指标正常参考范围及公式不统一, 本研究中以《全国临床检验操作规程》第 3 版为标准^[23]。

我们通过对 220 例患者的数据进行分析发现, 计算机软件判断结果和手工法判断结果的一致性非常好, Kappa 值为 0.935, $P=0.000$, 相比国内外其他同类软件的准确率和一致性都较高^[8-10]。而且本组患者的酸碱失衡用手工法判断和计算机软件判断所需时间差异具有统计学意义, 计算机软件判断所需时间远远快于手工法, 说明计算机软件判断具有快速和准确的特点。所以我们认为, 临床上应用计算机软件判断酸碱失衡可以代替手工法判断, 可大大提高危重患者的抢救成功率, 具有较大的临床意义。

在 220 例危重患者的数据中, 有 10 例手工法判断和计算机软件判断结果不一致, 其中单纯型 1 例为高阴离子隙 (AG) 型代酸, 混合型 9 例为高 AG 型代酸 + 代碱; 计算机软件均误判为三重型酸碱失衡。综合分析判断差异的原因, 10 例都为原发判断为代酸而且 AG 增高型, 由于计算机软件判断和手

工法判断 AG 增高型的过程不同,导致其结果不同。手工法判断三重型酸碱失衡需首先判断原发性是呼吸型,然后再进行下一步的 AG 判断分析;而计算机软件判断误将 AG 增高型的酸碱失衡列入了三重型失衡范围,才导致结果不一致。为此我们可以进一步改进软件,根据酸碱失衡的代偿规律,通过 pH 值、 HCO_3^- 和 PaCO_2 的变化关系,粗略判断原发性的因素,改善判断三重型和高 AG 型代酸的酸碱失衡准确率,以减少误诊率。

由于本研究中的 220 例患者在收集数据过程中未见到三重型酸碱失衡中的呼酸型 TABD,故无法体现本软件对其的评估作用。代酸合并代碱的动脉血气变化较为复杂,此类型的判定必须具有引起高 AG 型代酸和代碱的病因存在,然后结合血气分析判定,故此类型酸碱失衡不在本软件涉及的酸碱失衡范围内。

本软件仍存在一些不足,还需进一步改进。例如,急性呼吸型酸碱失衡患者由于不清楚发病时间,本软件设计不包含此类酸碱失衡。在将来的研究中我们可以设置手动判断和自动判断模式,手动判断可以让临床医生根据患者发病时间自行选择慢性和急性,扩大软件的适用范围。另一方面,由于计算机广泛应用于医疗信息系统,该软件可以进一步改进,自动读取实验室信息系统(LIS)或医院信息系统(HIS)患者的血气分析数据,输入承载患者信息的病历号或条形码号自动判断酸碱失衡类型,以减少人为输入的错误;或者可以应用于血气分析仪上,即时对患者的数据给出血气判断信息。

综上,通过对 220 例患者的数据分析发现,计算机软件判断酸碱失衡的结果和手工法判断的结果有非常好的一致性,而且计算机软件判断酸碱失衡所需时间较手工法判断明显缩短。因此,可以用计算机软件判断替代手工判断,以满足临床的基本需要,且具有重要的临床应用价值和指导意义。

参考文献

- [1] Fall PJ. A stepwise approach to acid-base disorders. Practical patient evaluation for metabolic acidosis and other conditions [J]. Postgrad Med, 2000, 107 (3): 249-250, 253-254, 257-258.
- [2] 周寿生. 原发酸碱失衡与代偿变化示意图设计及在临床治疗中的价值[J]. 中国临床医学, 2006, 13 (5): 871-872.
- [3] Poesen K, De Prins M, Van den Berghe G, et al. Performance of cassette-based blood gas analyzers to monitor blood glucose and lactate levels in a surgical intensive care setting [J]. Clin Chem Lab Med, 2013, 51 (7): 1417-1427.
- [4] 杨旭峰,王海嵘,顾金花,等. 自动化酸碱平衡图在急诊社区获得性肺炎诊治中的应用[J]. 中国危重病急救医学, 2012, 24 (10): 600-603.
- [5] Rurak D, Bessette NW. Changes in fetal lamb arterial blood gas and acid-base status with advancing gestation [J]. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2013, 304 (10): R908-916.
- [6] Kosaka N, Akashiba T, Minemura H, et al. Long-term effects of nasal continuous positive airway pressure on pulmonary function and blood gas data in patients with obstructive sleep apnea syndrome [J]. Nihon Kokyuki Gakkai Zasshi, 1998, 36 (12): 1011-1016.
- [7] Singh BS, Gilbert U, Singh S, et al. Sidestream microstream end tidal carbon dioxide measurements and blood gas correlations in neonatal intensive care unit [J]. Pediatr Pulmonol, 2013, 48 (3): 250-256.
- [8] 汤学民,梁宝铎. 血气酸碱分析计算机辅助诊断系统的开发[J]. 数理医药学杂志, 1999, 12 (4): 344.
- [9] 谢晓谦,陈建荣,李民,等. 酸碱平衡判断软件的研制和临床应用[J]. 中国危重病急救医学, 2003, 15 (12): 745-747.
- [10] 胡茂胜,张策,张有顺. 开发自动判断酸碱失衡类型的计算机软件系统及应用[J]. 中国现代医学杂志, 2006, 16 (5): 759-762.
- [11] 陈宝春,陈建荣,蔡映云,等. 动脉血气分析治疗建议和培训软件的开发与临床应用[J]. 中国危重病急救医学, 2007, 19 (9): 528-531.
- [12] 罗凯,罗炎杰. 血气分析的计算机判定[J]. 华西医学, 2008, 23 (2): 278-279.
- [13] 韦国强,陈娟,聂森,等. 血气分析结果智能判断和图示软件的编制及应用[J]. 东南国防医药, 2009, 11 (6): 520-522.
- [14] 陈建荣,蔡映云,谢晓谦,等. 慢性阻塞性肺疾病动脉血气图分区与酸碱失衡的关系[J]. 中国危重病急救医学, 2005, 17 (9): 527-529.
- [15] Su CP, Chiang WC, Ma MH, et al. Validation of a novel severe acute respiratory syndrome scoring system [J]. Ann Emerg Med, 2004, 43 (1): 34-42.
- [16] McCulloch CC, Kaucic RA, Mendonça PR, et al. Model-based detection of lung nodules in computed tomography exams. Thoracic computer-aided diagnosis [J]. Acad Radiol, 2004, 11 (3): 258-266.
- [17] Ashizawa K, Ishida T, MacMahon H, et al. Artificial neural networks in chest radiography: application to the differential diagnosis of interstitial lung disease [J]. Acad Radiol, 1999, 6 (1): 2-9.
- [18] Perchiazzi G, Giuliani R, Ruggiero L, et al. Estimating respiratory system compliance during mechanical ventilation using artificial neural networks [J]. Anesth Analg, 2003, 97 (4): 1143-1148.
- [19] 周寿生. 酸碱失衡类型系统划分及划分视图设计[J]. 临床肺科杂志, 2009, 14 (2): 262-263.
- [20] Park HW, Lee BS, Lim G, et al. A simplified formula using early blood gas analysis can predict survival outcomes and the requirements for extracorporeal membrane oxygenation in congenital diaphragmatic hernia [J]. J Korean Med Sci, 2013, 28 (6): 924-928.
- [21] 罗炎杰,冯玉麟. 简明临床血气分析[M]. 2版. 北京:人民卫生出版社, 2009: 49-100.
- [22] 肖献忠. 病理生理学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2008: 41-62.
- [23] 叶应妩,张宗久,赵明钢. 全国临床检验操作规程[M]. 3版. 南京:东南大学出版社, 2006: 496-510.
- [24] 刘景衍. 酸碱失衡的诊断方法[J]. 中国冶金工业医学杂志, 2005, 22 (6): 625-627.
- [25] 张家骥. 在酸碱平衡紊乱诊断中判断主要酸碱失衡的方法[J]. 小儿急救医学, 2004, 11 (1): 54-55.
- [26] Roupie EE, Brochard L, Lemaire FJ. Clinical evaluation of a continuous intra-arterial blood gas system in critically ill patients [J]. Intensive Care Med, 1996, 22 (11): 1162-1168.
- [27] 丁小平,黄国英. 血气分析在临床的应用[J]. 华北煤炭医学院学报, 2004, 6 (2): 181.
- [28] Rieser TM. Arterial and venous blood gas analyses [J]. Top Companion Anim Med, 2013, 28 (3): 86-90.

(收稿日期: 2014-05-09) (本文编辑:李银平)