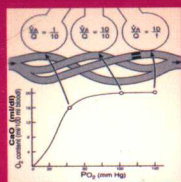


临床检查快速解读系列

Rapid Interpretation of Arterial Blood Gases Analysis



动脉血气分析 快速解读

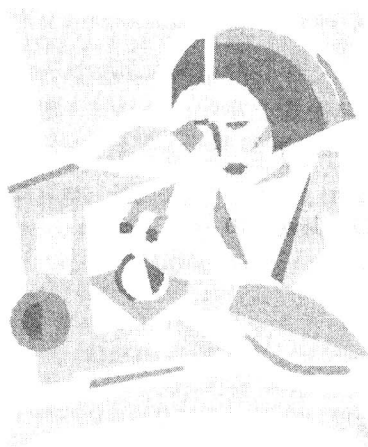
编 著 朴镇恩

中国医药科技出版社

• 临床检查快速解读系列 •

动脉血气分析快速解读

编著 朴镇恩



中国医药科技出版社

内 容 提 要

动脉血气分析对临床各科患者尤其是危重患者病情的监测十分重要,广泛受到临床医生的重视。作者总结多年的临床经验,从实际需要出发,结合最新的研究进展,更深层次地探讨了动脉血气与酸碱平衡领域的基础理论和临床应用。全书共十一章,介绍了动脉血气分析相关的公式、评估内容、常用指标、分析方法,以及酸碱平衡失调等相关内容。以问题导出相关内容,立意新颖,易记易学。本书适合各级医院临床各科及重症监护室医师阅读、使用。

图书在版编目(CIP)数据

动脉血气分析快速解读/朴镇恩编著. —北京:中国医药科技出版社, 2013. 1

(临床检查快速解读系列)

ISBN 978 - 7 - 5067 - 5528 - 3

I. ①动… II. ①朴… III. ①动脉 - 血液气体分析 IV. ①R543. 504

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 109863 号

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行:010 - 62227427 邮购:010 - 62236938

网址 [www. cmstp. com](http://www.cmstp.com)

规格 710 × 1020mm $\frac{1}{16}$

印张 14

字数 210 千字

版次 2013 年 1 月第 1 版

印次 2013 年 1 月第 1 次印刷

印刷 北京地泰德印刷有限责任公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5067 - 5528 - 3

定价 28.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

前言

Preface

动脉血气分析与酸碱平衡是临床各科都很关注的问题。近年来,危重医学和重症监护得到了迅速发展,而动脉血气的监测又是重要内容之一。因此,临床各科医师,尤其急症医学与重症监护病房医护人员均应熟练掌握和了解动脉血液气体和酸碱平衡等方面的基础理论和临床诊治知识,以便更好地为临床服务。

本书主要对血液气体领域的主要临床生理、方程、动脉血气分析与酸碱平衡的临床快速解读作了重点阐述,并结合临床实例分析,突出临床应用。全书共十一章。书中动脉血气与酸碱参数大部分仍使用习用单位。多数章节配有很有意义的插图,便于阅读和理解。

本书不仅可对各级医院临床各科医师为提高危重患者的抢救技能提供极其有效的专业知识和实际应用经验,而且可作为医学院校基础医学研究员、研究生、本科生参考书和选读教材,也可作为临床专科医学继续教育和急诊科、重症监护病室(房)专业培训的高级专修教材。

本书编写过程中,朴京哲负责打印、绘图等多方面工作,在此表示衷心地感谢。由于编者水平有限,书中不妥之处,恳切希望广大读者和同仁批评指正,以便再版时修订。

朴镇恩

2012年6月于美国



目录

Contents

预先测试	(1)
有关动脉血气分析的主要公式	(9)
第一章 动脉血气分析的评估内容和常用指标	(14)
第一节 血气分析可评估的内容	(14)
第二节 常用动脉血气指标及其意义	(16)
第二章 四个方程式简介	(25)
第一节 PaCO_2 公式	(25)
第二节 肺泡气公式	(28)
第三节 血氧含量公式	(29)
第四节 亨德森-哈塞尔巴赫 (Henderson-Hasselbach) 公式	(32)
第三章 血氧评估	(38)
第一节 氧降阶梯与呼吸的五个环节	(38)
第二节 PO_2 和肺泡气 - 动脉血氧分压差	(40)
第三节 PaO_2 、 SaO_2 、Hb 和动脉血氧含量	(46)
第四节 评估组织氧合状态的监测内容	(55)
第五节 脉搏血氧饱和度仪	(63)
第四章 PaCO_2 、肺泡通气量及呼气末 CO_2 分压监测	(68)
第一节 PaCO_2 与肺泡通气量	(68)
第二节 呼气末 CO_2 分压监测	(74)
第五章 评估酸碱平衡	(83)
第一节 亨德森 - 哈塞尔巴赫公式与 pH	(83)
第二节 电中和定律	(87)
第三节 阴离子间隙	(89)
第四节 碳酸氢盐间隙	(97)
第五节 矫正的碳酸氢盐	(100)

第六节	delta 比值	(103)
第七节	酸碱失衡预计代偿公式和代谢性酸碱中毒预期代偿的大拇指规则	(105)
第六章	单纯性酸碱失衡	(107)
第一节	呼吸性酸中毒	(107)
第二节	呼吸性碱中毒	(112)
第三节	代谢性酸中毒	(116)
第四节	代谢性碱中毒	(125)
第七章	混合性酸碱失衡	(134)
第一节	混合性酸碱失衡的类型	(134)
第二节	判断混合性酸碱失衡的基本原则和关键因素	(135)
第八章	动脉血气分析的主要步骤	(150)
第一节	分析动脉血气异常的八个步骤	(150)
第二节	三重酸碱失衡(TABD)的判断方法	(155)
第九章	临床病例分析	(160)
第十章	静脉血气的评估及意义	(182)
第一节	对混合性静脉血气的评估和意义	(182)
第二节	心肺骤停、心肺复苏时静脉血气变化的特点	(186)
第十一章	动脉血气测定结果的影响因素	(190)
附录 1	课后测验和参考答案	(193)
附录 2	略语与符号	(200)
参考文献		(204)

c. 通常情况下,吸入纯氧($FiO_2 = 1.0$)20min后,正常人 PaO_2 可达 550mmHg, 如果 $PaO_2 < 350$ mmHg,则提示肺内可能分流增加。

d. 贫血只减少了氧含量(CaO_2),不影响 PaO_2 。

2. 关于 SaO_2 、氧解离曲线的陈述哪些是正确的?

a. 血红蛋白含量减少时 SaO_2 不降低

b. 一氧化碳中毒时 SaO_2 降低

c. 贫血不能影响氧解离曲线

d. $P_{50} < 27$ mmHg 时,氧解离曲线右移

e. 吸入过多 CO($COHb$)时,氧解离曲线右移

答案:

a、b、c 是正确的。

a. 单纯血红蛋白量减少时,由于血氧含量和氧容量均减少,所以 SaO_2 不减低。

b. 一氧化碳中毒引起的碳氧血红蛋白血症时,由于 CO 与 Hb 结合力比氧大 230 多倍,因此负载 CO 的 Hb 与 O_2 结合更紧密,所以 Hb 已丧失了与 O_2 结合的能力,导致 SaO_2 降低。

c. 通常氧解离曲线形状和位置对不同血红蛋白含量是相同的,所以通常贫血不能影响氧解离曲线。

d、e 是不正确的。

d. 记住一个重要公式,高 P_{50} (> 27 mmHg) 时,氧解离曲线向右移,低 P_{50} (< 27 mmHg) 时,氧解离曲线向左移,所以 $P_{50} < 27$ mmHg 时,氧解离曲线应该左移,不是右移。

e. 过多的 CO 存在条件下,Hb 和 O_2 持续紧密结合一起,结果使氧解离曲线向左移,不是右移。

3. 关于 CaO_2 的陈述哪些是正确的?

a. 如果 Hb 含量下降 30%, CaO_2 将下降 30%

b. 在 PO_2 相同情况下,比较含有血红蛋白($Hb = 15$ g/dl)的烧杯 1 和含纯血浆(无 Hb)的烧杯 2 的氧含量时,前者(烧杯 1)高于后者(烧杯 2)

c. 一杯水中的 CaO_2 是 0,因为是其中不含 Hb 存在

d. 溶解的氧含量是总氧含量的 1.5%

e. 动脉血氧含量(CaO_2)与静脉血氧含量(CvO_2)差反映组织的摄氧量



答案:

a、b、d、e 是正确的。

a. 如果 Hb 含量下降 30%, CaO_2 大概也下降 30%, 这是因为按 CaO_2 方程式, 主要与 Hb 结合的氧量有关, 而其溶解于血浆中 O_2 含量在生理情况下影响 CaO_2 很小。

b. 在 PO_2 相同的情况下, Hb 携带 O_2 比血浆中携带的 O_2 多, 大概 67 倍, 这提示含有 $\text{Hb} = 15\text{g/dl}$ 的氧含量烧杯 1 比纯含血浆的烧杯 2 高得多。

d. 溶解的氧含量是总氧含量的 1.5%, 这是按氧含量公式计算(正常人 $\text{Hb} = 15\text{g/dl}$, $\text{PaO}_2 = 100\text{mmHg}$, $\text{SaO}_2 = 98\%$): $\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2) + (0.003 \times \text{PO}_2) = (15 \times 1.34 \times 0.98) + (0.003 \times 100) = 19.7 + 0.3 = 20.0\text{ml/dl}$ 。其溶解的 O_2 含量是总氧含量的 $0.3 / 20 = 1.5\%$ 。

e. 动脉血氧含量(CaO_2)与静脉血氧含量(CvO_2)差反映组织的摄氧量, 所以两者含量差越大, 其组织的摄氧量则越多。

c 是不正确的。

c. “一杯水中的 CaO_2 是 0, 因为是其中不含 Hb 存在”, 这句话是错误的。水在温度 37°C , 其溶解的氧含量为 $0.0031\text{ml}/(\text{mmHg} \cdot 100\text{ml})$, 其溶解的氧含量与血液相似, 水中尽管不含 Hb, 但是因含有溶解氧, 所以其 CaO_2 不是 0。

4. 关于 PaCO_2 的陈述哪些是正确的?

a. PaCO_2 上升而 HCO_3^- 不变时, pH 总是下降

b. 肺泡通气量不变, 但 CO_2 产量增加时, PaCO_2 将上升

c. 吸入气氧分压(FiO_2)不变, 如果 PaCO_2 升高时, PaO_2 将下降

d. 肺泡通气量降低为原来的 $1/2$ 时, PaCO_2 将增加为原来的 2 倍

e. 登上山峰(大气压 $= 630\text{mmHg}$)条件下, 正常人 $\text{PaCO}_2 = 32\text{mmHg}$ 时, 估算其 PaO_2 为 90mmHg

答案:

a、b、c、d 是正确的。

a. H-H 方程式表明, pH 与 HCO_3^- 对 PaCO_2 比值直接相关。如果 PaCO_2 上升而 HCO_3^- 不变, pH 应该总是下降。

b. 根据 PaCO_2 方程式表明, PaCO_2 直接与代谢产生并运输到肺的 CO_2 (VCO_2) 量成正比, 与肺泡通气量 (V_A) 成反比。所以, 如果

肺泡通气量不变,而其 CO_2 产量增加时, PaCO_2 势必上升。

c. 按肺泡方程式 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2 = \text{PiO}_2 - 1.2 \times \text{PaCO}_2$, 计算 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2$ 时, 假设 $\text{PaO}_2 = \text{P}_{\text{A}}\text{O}_2$, 吸入气氧分压 (FiO_2) 不变的条件下, 如果 PaCO_2 升高时, PaO_2 将势必下降。

d. 与 b 选项答案机制相同。

e 是不正确的。

e. 高山氧气浓度并不稀薄, 只是气压低, 按肺泡气方程式, 即 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2 = \text{PiO}_2 - 1.2 \times \text{PaCO}_2$ 计算, 先计算 $\text{PiO}_2 = (\text{PB} - 47) \times \text{FiO}_2 = (630 - 47) \times 0.21 = 122.4 \text{ mmHg}$, 计算 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2 = 122.4 - (1.2 \times 32) = 84 \text{ mmHg}$ 。假设 $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 为 10 mmHg , 则估算 $\text{PaO}_2 = 84 - 10 = 74 \text{ mmHg}$ 。而不是 PaO_2 为 90 mmHg 。

5. 关于肺泡 - 动脉血氧分压差 $[\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2]$ 的陈述, 哪些是正确的?

a. 在海平面呼吸室内空气时, PaCO_2 升高、 PaO_2 降低和 $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 正常表明其低氧血症的主要原因是肺泡通气量降低

b. $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 增大的主要生理性因素有年龄增大

c. 通常, 正常人 $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 值可以为负值

d. 在海平面呼吸 100% 的纯氧 20min 时, $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 可达 100 mmHg 是正常的

e. $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 增大的最常见的病理因素是通气/血流比值异常、分流和呼吸膜弥散障碍

答案:

a、b、d、e 是正确的。

a. $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 是判断肺换气功能的标志。同时有低氧血症和高碳酸血症而 $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 正常, 表示其低氧血症完全是由肺泡通气障碍引起的。

b. $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 随年龄增长而升高, 但通常不超过 30 mmHg 。可用下式计算其预计值: $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2 = \text{年龄} / 4$ 。

d. $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 是随吸氧浓度而改变的。通常, 在海平面呼吸 100% 的纯氧 20min 时, $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 可达 100 mmHg 是正常的。

e. 在病理情况下, $\text{P}(\text{A} - \text{a})\text{O}_2$ 增大的三大要因是通气/血流比值异常、分流和呼吸膜弥散障碍等。

c. 是不正确的。在通常情况下, 除非吸氧浓度 (FiO_2) 突然降低, 一



般不应该是 $P(A-a)O_2$ 为负值, 因为其负值是生命不能适应的现象。在临床上, 出现负 $P(A-a)O_2$ 的可能原因有: ①不正确的 FiO_2 ; ②不正确的血气检测或报告或记录错误; ③样本内有大量气泡。

6. 关于酸碱平衡有关的陈述哪些是正确的?

- a. 动脉血 pH 与 PaO_2 呈反相关
- b. pH 上升 ($pH > 7.45$) 使氧解离曲线左移
- c. 慢性呼吸性酸中毒肾脏代偿时, HCO_3^- 增加达高峰的时间为 3 ~ 4 天
- d. $[HCO_3^-]$ 和 $[H_2CO_3]$ 的比值维持 20:1 时, pH 才维持正常范围
- e. 高 AG 型代谢性酸中毒和正常 AG 型酸中毒可以同时出现

答案:

- b、c、d、e 是正确的。
- b. pH 上升 ($pH > 7.45$) 可使氧解离曲线左移, Hb 与氧气的结合力增加, 不易释出氧气, 使 HbO_2 在组织释放氧气减少。
- c. 慢性呼吸性酸中毒肾脏代偿过程是比较缓慢, 多为 6 ~ 7h 开始 HCO_3^- 增加, 3 ~ 4 天达高峰, 约 1 周左右完成。
- d. 根据 H-H 方程式, 血液正常 pH 的维持, 主要决定于 $[HCO_3^-]$ 和 $[H_2CO_3]$ 的浓度之比值为 20:1, 即只要其比值保持 20:1 恒定, 即可维持正常的 pH。
- e. 高 AG 型代谢性酸中毒和正常 AG 型酸中毒(高氯性代谢性酸中毒)可以同时出现。
- a. 是不正确的。
- a. 动脉血 pH 与 PaO_2 不直接与任何等式相关关系, 故动脉血 pH 与 PaO_2 呈反相关是没有根据的。

7. 关于动脉血气数据有关的陈述哪些是正确的?

- a. PaO_2 与 SaO_2 呈线性相关
- b. $PaCO_2$ 与 CO_2 产量正相关
- c. P_{AO_2} 定义为 PaO_2 的上限, 任何 P_{AO_2} 下降都使 PaO_2 减少
- d. CO_2 弥散速率大于 O_2 的 21 倍
- e. PaO_2 是 SaO_2 惟一的决定因素

答案:

- b、c、d 是正确的。

- b. 按 PaCO_2 方程式表明, PaCO_2 与 CO_2 产量呈正相关, 而与肺泡通气量呈反相关。
- c. 氧气通过肺呼吸膜被动扩散入血, $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2$ 是永远高于 PaO_2 , 通常 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2$ 值相当于 PaO_2 的上限。任何 $\text{P}_{\text{A}}\text{O}_2$ 下降都使 PaO_2 减少, 但要注意, 反过来则不对。
- d. CO_2 弥散速率约为 O_2 的 21 倍。
- a, e 是不正确的。
- a. PaO_2 与 SaO_2 两者的关系并不是呈线性关系, 而是通过氧解离曲线的 S 形曲线关系。
- e. PaO_2 是 SaO_2 的主要决定因素, 但不是以惟一决定因素, 因为还有其他因素如温度、pH、 PaCO_2 和 2, 3 - DPG 等可影响氧解离曲线位置而引起 SaO_2 数值改变。
8. 慢性阻塞性肺疾病 (COPD) 慢性加重 PaCO_2 升高到 90mmHg, pH 7.30, HCO_3^- 49mmol/L, PaO_2 50mmHg, 阴离子间隙 12mmol/L 时, 表示:
- a. 单纯性急性呼吸性酸中毒
- b. 单纯性慢性呼吸性酸中毒
- c. 呼吸性酸中毒 + 代谢性碱中毒
- d. 呼吸性酸中毒 + 代谢性酸中毒
- e. 呼吸性酸中毒 + 代谢性碱中毒 + 代谢性酸中毒

答案:

c 是正确的。

① PaCO_2 90mmHg ($>45\text{mmHg}$), pH 7.30 (<7.35), 应考虑呼吸性酸中毒。

② 按慢性呼吸性酸中毒的预计代偿公式计算, $[\text{HCO}_3^-] = 24 + (0.4 \times [90 - 40]) \pm 2 = 44 \pm 2 = 42 \sim 46\text{mmol/L}$, 该患者 HCO_3^- 49mmol/L ($>46\text{mmol/L}$), 并且其 HCO_3^- 49mmol/L $>$ 呼吸性酸中毒时 HCO_3^- 代偿极限 45mmol/L, 故考虑又合并代谢性碱中毒。

③ 该患者阴离子间隙 12mmol/L, 未见有代谢性酸中毒。

结论: 呼吸性酸中毒 + 代谢性碱中毒。

a、b、d、e 是不正确。



9. 关于无创血气监测的陈述哪些是正确的?

- a. CO 中毒时,不能用脉氧仪来评定患者的氧合水平
- b. 高铁血红蛋白可以引起脉氧仪 SpO_2 读数的假性升高
- c. 组织灌注不足或体温过低时,脉氧仪的精确度和联合血氧计是相同的
- d. 呼气末 PCO_2 (PetCO_2) 增高有助于判定心肺复苏效果
- e. PetCO_2 连续监测并能指导呼吸机设定条件的调节

答案:

a、b、d、e 是正确的。

- a、b 脉氧仪可将碳氧血红蛋白和高铁血红蛋白误认为氧合血红蛋白,这样 SpO_2 读数假性增高。
- d. 心肺复苏过程中,使用 PetCO_2 监测时,如果心肺复苏, $\text{PetCO}_2 > 8\text{mmHg}$,则提示复苏成功率高。 PetCO_2 测定来判定心肺复苏的效果较心电图、脉搏和血压更为有效。
- e. PetCO_2 连续监测并能指导呼吸机设定条件的调节,通过 PetCO_2 能及时发现和处理。
- c. 是不正确的。
- c. 当组织血流灌注不良或体温过低时,因血流减弱,脉搏弱而脉氧仪很可能会出错误,此时应使用联合血氧计来测定血气是可取的。

10. 关于血气分析中的术语陈述哪些是正确的?

- a. 正常的动脉血 pH,但显著不正常的 PaCO_2 和 HCO_3^- ,提示存在混合性酸碱失衡
- b. 原发性变化通常必大于继发性变化
- c. pH 是随 $[\text{HCO}_3^-]$ 和 PaCO_2 两个变量变化而变化的变量
- d. 在海平面吸入室内空气时, PaO_2 不会超过 100mmHg
- e. 心肺功能正常人贫血将不会影响 PaO_2

答案:

a、b、c、e 是正确的。

- a. 虽然动脉血 pH 正常但 PaCO_2 和 $[\text{HCO}_3^-]$ 均有大幅度的明显异常,提示两个或更多的互不相关的酸碱失衡因素侵蚀,这说明存在混合性酸碱失衡。
- b. 原发性变化通常必大于继发性变化是一个重要规律。

- c. 根据 H-H 公式, pH 主要取决于 $[\text{HCO}_3^-]$ 与 PaCO_2 的比值。所以 pH 是随 $[\text{HCO}_3^-]$ 和 PaCO_2 两个变量变化而变化的变量。
- e. PaO_2 仅反映溶解于血浆中的 O_2 分子压力, 而不是 Hb 含量或它的特点的作用, 所以心肺功能正常人贫血将不会影响 PaO_2 。
- d. 是不正确。
- d. 通过过度通气, 正常肺脏可以使 PaO_2 超过 100mmHg。

有关动脉血气分析的主要公式

公式 1: PaCO₂ 公式 (PaCO₂ equation)

$$\text{PaCO}_2 = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2} \times 0.863}{\dot{V}_A}$$

$\dot{V}_{\text{CO}_2}$ = 每分钟 CO₂ 产生量; $\dot{V}_A$ = 每分钟肺泡通气量; 常数 0.863 是将 $\dot{V}_{\text{CO}_2}$ (ml/minSTPD*) 和 $\dot{V}_A$ (L/minBTPS**) 的单位转变为 PaCO₂ 的 mmHg 的常数。

* STPD 是指“标准状态”, 即 0℃, 1 个大气压、干燥气体状态。

** BTPS 是指体温 - 标准压力 - 饱和水蒸气。

从上式可以看出, 如果 CO₂ 产生量 (ml/min) 一定, PaCO₂ 与肺泡通气量 (L/min) 成反相关。

$$\text{PaCO}_2 \cong \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2} \times 0.863}{\dot{V}_A}$$

PaCO₂ < 35mmHg 为低碳酸血症, 其原因有二: ① CO₂ 排出增加 (过度通气); ② CO₂ 生成减少 (代谢率降低)。

PaCO₂ > 45mmHg 为高碳酸血症, 其原因也有 2: ① CO₂ 排出减少 (通气不足); ② CO₂ 生成增加 (代谢率增加)。

每分钟肺泡通气量 ($\dot{V}_A$) 等于分钟通气量 ($\dot{V}_E$) 减去死腔通气量 ($\dot{V}_D$), 可用下式表示:

$$\dot{V}_A = \dot{V}_E - \dot{V}_D$$

式中 $\dot{V}_E$ (分钟通气量, L/min) = 呼吸频率 (f) × 潮气量 (V_T)

$\dot{V}_D$ (死腔通气量, L/min) = 呼吸频率 (f) × 死腔量 (容积)

$$\dot{V}_A = f (\dot{V}_T - \dot{V}_D)$$

正常人死腔气量与潮气量之比 ($\dot{V}_D/\dot{V}_T$) 低于 30% (或 167ml)。

$$\dot{V}_D/\dot{V}_T = (\text{PaCO}_2 - \text{PECO}_2) / \text{PaCO}_2$$

式中 $P_E\text{CO}_2$ 为呼出气 CO_2 分压。

$\dot{V}_D/\dot{V}_T$ 比值增大主要见于：① 在严重肺部疾患时， $\dot{V}_D/\dot{V}_T$ 比值可增高达 50% ~ 70%；② 通气 / 灌注比值异常。

公式 2: 肺泡气氧分压 ($P_A\text{O}_2$) 公式 (alveolar air equation)

$$P_A\text{O}_2 = P_i\text{O}_2 - P_A\text{CO}_2 \left(\text{FiO}_2 + \frac{(1 - \text{FiO}_2)}{R} \right) \quad (1)$$

$P_i\text{O}_2$ = 吸入气氧分压, $P_A\text{CO}_2$ = 肺泡气 CO_2 分压, FiO_2 = 吸氧浓度, R = 呼吸商, 通常为 0.8。将上式可简写为下式 (最常用):

$$P_A\text{O}_2 = \text{FiO}_2 (PB - 47) - 1.2 (P_A\text{CO}_2) \quad (2)$$

该方程式本质上, $P_A\text{O}_2$ 等于吸入气的氧分压 ($P_i\text{O}_2$) 减去肺泡气 CO_2 分压 ($P_A\text{CO}_2$) 的 1.2 倍。PB 为大气压, 47 是水蒸气的压力。与 PaO_2 不同, PAO_2 没有年龄的依赖性。

评估肺传递氧气是否正常必须计算肺泡气 - 动脉血氧压差 [$P(A - a)\text{O}_2$] 来证实。它是反映肺换气功能的重要指标, 也是评估氧合功能的敏感指标, 如果 $P(A - a)\text{O}_2$ 增大时, 表示肺内的通气与血流失衡状态。

$$P(A - a)\text{O}_2 = P_A\text{O}_2 - \text{PaO}_2 = P_i\text{O}_2 - \text{PaCO}_2 \times 1.25 - \text{PaO}_2$$

$$P(A - a)\text{O} = [\text{FiO}_2 \times (PB - 47) - \text{PaCO}_2 \times 1.25] - \text{PaO}_2$$

$P(A - a)\text{O}_2$ 的正常值, 青年到中年人 [呼吸室内空气 ($\text{FiO}_2 = 0.21$)] 为 5 ~ 15mmHg, 随着 FiO_2 的增高和年龄的增加而加大 ($= \text{年龄}/4 + 4$)。吸入纯氧 ($\text{FiO}_2 = 1.0$) 时, 其正常值上限是可达 120mmHg。

公式 3: 动脉血氧含量 (CaO_2) 公式 (arterial oxygen content equation)

动脉血氧含量 (CaO_2) (ml / dl) = 血红蛋白结合的氧 + 物理溶解在血浆中的氧

$$\text{CaO}_2 = \text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2 + \text{PaO}_2 \times 0.003$$

其中 0.003 为氧在血中的物理溶解系数。 CaO_2 的正常值为 19 ~ 21ml / dl。 SaO_2 为动脉血氧饱和度 (%)。 Hb 为血红蛋白 (g / dl)。 CaO_2 是反映动脉血携氧量总数, 是评估氧合的重要指标。与 PaO_2 、 SaO_2 相比 CaO_2 依赖于 HB 含量并直接相关。在贫血、CO 中毒和高铁血红蛋白血症时, PaO_2 正常但 SaO_2 和 CaO_2 减少。

动 - 静脉血氧含量差 ($\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2$) 可评估组织摄氧量。



公式 4: 亨德森 - 哈塞尔巴赫公式 (Henderson - Hasselbach equation, H - H equation)

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = \log \frac{1}{[\text{K}_a]} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \\ &= \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 \times \text{PaCO}_2} \\ \text{pH} &= \text{pK} + \log [\text{HCO}_3^-] / 0.03 \times \text{PaCO}_2 \\ \text{pH} &\approx [\text{HCO}_3^-] / \text{PaCO}_2 \end{aligned}$$

式中 pK 是酸的解离常数, 在 37℃ 血浆 pK 为 6.1, 0.03 为 CO₂ 的溶解系数。pH 主要取决于 [HCO₃⁻] 与 PaCO₂ 的比值, 而不是单纯取决于 [HCO₃⁻] 或 PaCO₂ 任何一个变量的绝对值。通常动脉血正常 pH 为 7.35 ~ 7.45。若 pH < 7.35 为酸血症 (acidemia), pH > 7.45 为碱血症 (alkalemia)。酸血症或碱血症仅就 pH 改变而言, 并不包括其背后存在的异常代偿性病理生理改变。酸中毒 (acidosis) 或碱中毒 (alkalosis) 均表示引起酸 (或碱) 血症原发性的病理生理过程。

[H⁺] 与 PaCO₂ 和 [HCO₃⁻] 的关系, 可用下式表示:

$$[\text{H}^+] = \text{PaCO}_2 / [\text{HCO}_3^-] \times 24$$

四种单纯性酸碱失衡的判定

三个变量指的是 pH、[HCO₃⁻] 和 PaCO₂ 等三个最基本的血液气体分析的参数, 根据这三个基本参数可初步判定其酸碱失衡类型可参考下表。

根据 pH、HCO₃⁻ 和 PaCO₂ 判断酸碱失衡

类型	pH	PaCO ₂	HCO ₃ ⁻
代谢性酸中毒 (metabolic acidosis)	N 或 ↓	↓	↓↓
代谢性碱中毒 (metabolic alkalosis)	N 或 ↑	轻度 ↑	↑↑
呼吸性酸中毒 (respiratory acidosis)	N 或 ↓	↑↑	↑
呼吸性碱中毒 (respiratory)	N 或 ↑	↓↓	轻度 ↓

注: N (normal), 正常; ↓, 降低; ↑, 升高; ↓↓ 或 ↑↑, 原发性紊乱。

阴离子间隙 (AG) 公式

$$\text{AG} = \text{Na}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$$

AG 正常值 (不算 K⁺) 为 12 ± 4 mmol/L。目前多以 AG > 16 mmol/L, 作

为判断是否有 AG 增高型代谢性酸中毒的界限(依据实验室的不同而不同)。若 $AG > 20\text{mmol/L}$ 时,提示高 AG 代谢性酸中毒的可能性很大。若 $AG > 30\text{mmol/L}$ 时,可以肯定为代谢性酸中毒。

四种单纯性酸碱平衡失衡的预计代偿公式

酸碱失衡类型	预计代偿公式	代偿极限
代谢性酸中毒	$\text{PaCO}_2 = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8 \pm 2$	$\text{PaCO}_2 = 10\text{mmHg}$
代谢性碱中毒	$\text{PaCO}_2 = 40 + 0.7 \times [\text{HCO}_3^- - 24] \pm 2$	$\text{PaCO}_2 = 55\text{mmHg}$
呼吸性酸中毒	急性: $\text{HCO}_3^- = [\text{PaCO}_2 - 40] \times 0.1 + 24 \pm 2$	$\text{HCO}_3^- = 30\text{mmHg}$
	慢性: $\text{HCO}_3^- = [\text{PaCO}_2 - 40] \times 0.4 + 24 \pm 2$	$\text{HCO}_3^- = 45\text{mmHg}$
呼吸性碱中毒	急性: $\text{HCO}_3^- = 24 - [40 - \text{PaCO}_2] \times 0.2 \pm 2$	$\text{HCO}_3^- = 18\text{mmHg}$
	慢性: $\text{HCO}_3^- = 24 - [40 - \text{PaCO}_2] \times 0.5 \pm 2$	$\text{HCO}_3^- = 15\text{mmHg}$

代谢性酸碱中毒预期代偿的大拇指规则 (rule of thumb)

(1) 代谢性酸中毒的大拇指规则:在代谢性酸中毒时 pH 7 后的两位小数点就是其预期代偿值。例如:代谢性酸中毒 pH 7.25 (检测)时,7 以后的 25 就是其 PCO_2 的预计代偿值 = 25mmHg 。

(2) 代谢性碱中毒的大拇指规则:在代谢性碱中毒时 pH 7 后的两位小数点就是其预期代偿值。例如:代谢性碱中毒 pH 7.54 (检测)时,7 以后的 54 就是其 PCO_2 的预计代偿值 = 54mmHg 。

有关混合性酸碱失衡诊断的公式

(1) 碳酸氢盐间隙(bicarbonate gap)公式

$$\text{碳酸氢盐间隙} = \Delta\text{AG} - \Delta\text{CO}_2 = \text{Na}^+ - \text{Cl}^- - 39$$

碳酸氢盐间隙 $> +6\text{mmol/L}$ = 合并代谢性碱中毒和(或)呼吸性酸中毒所致的或 HCO_3^- 潴留。

碳酸氢盐间隙 $< -6\text{mmol/L}$ = 合并正常 AG 型代谢性酸中毒和(或)呼吸性碱中毒所致的或 HCO_3^- 排泄。

(2) 矫正的碳酸氢盐(corrected HCO_3^-)公式

$$\text{矫正的碳酸氢盐} = \text{实测}[\text{HCO}_3^-] + (\text{AG} - 12)$$

矫正的碳酸氢盐 $> 26\text{mmol/L}$ = 合并代谢性碱中毒

矫正的碳酸氢盐 $< 22\text{mmol/L}$ = 合并正常 AG 型代谢性碱中毒