

动脉血气分析 ——快速解读

(第二版)

ALL YOU REALLY
NEED TO KNOW
TO INTERPRET
ARTERIAL BLOOD
GASES

[美] LAWRENCE MARTIN 著

辛建保 张建初 译

Includes: ABG Quik Coures

anion gap

MetHb

CaO₂
pH
pO₂
SaO₂
hemoglobin
%COHb
HCO₃
paco₂

中国医药科技出版社

动脉血气分析 ——快速解读

(第二版)

LAWRENCE MARTIN, M. D. 著
辛建保 张建初 译

中国医药科技出版社

图字: 01 - 2003 - 6446 号

原书《All You Really Need To Know To Interpret Arterial Blood Gases》之版权归 Lippincott Williams & Wilkins 所拥有。经 Lippincott Williams & Wilkins 同意并授权, 中国医药科技出版社出版中文版。本书之中文版权归中国医药科技出版社所有。

图书在版编目 (CIP) 数据

动脉血气分析: 快速解读/ (美) 马丁 (Martin, L.) 主编: 辛建保等译. —北京: 中国医药科技出版社, 2006. 1

书名原文: All You Really Need to Know To Interpret Arterial Blood Gases

ISBN 7 - 5067 - 3300 - 5

I. 动... II. ①马... ②辛... III. 动脉 - 血液气体分析
IV. R543. 504

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 159571 号

美术编辑 陈君杞

责任校对 张学军

版式设计 程 明

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 100088

电话 010 - 62244206

网址 www.mpsky.com.cn

规格 850 × 1168mm ¹/₃₂

印张 9½

字数 211 千字

版次 2006 年 1 月第 1 版

印次 2006 年 1 月第 1 次印刷

印刷 北京市朝阳区小红门印刷厂

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 7 - 5067 - 3300 - 5/R · 2742

定价 38.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

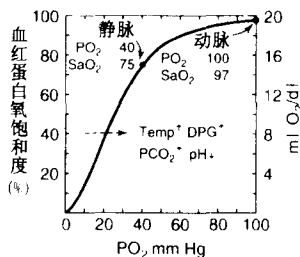
快速血气分析卡——Lawrence Martin, M. D.

© Lawrence Martin, M. D.

正常值(海平面,吸入气氧浓度为

0.21)

pH	7.35 ~ 7.45
PaCO ₂	35 ~ 45mmHg
PaO ₂	70 ~ 100mmHg(与年龄相关)
SaO ₂	93% ~ 98%
HCO ₃ ⁻	22 ~ 26mEq/L
% MetHb	<2.0%
% COHb	<3.0%
碱剩余	-2.0 ~ 2.0mEq/L
CaO ₂	16 ~ 22ml O ₂ /dl



方程1)

$$PaCO_2 = \frac{\dot{V} CO_2 \times 0.863}{\dot{V} A}$$

$\dot{V} CO_2$ = 每分钟二氧化碳产生量

$\dot{V} A = \dot{V} E - \dot{V} D = f(V_T - V_D)$

f = 呼吸频率

V_T = 潮气容积

$\dot{V} D$ = 死腔容积

PaCO₂ 增高的原因有:

$\dot{V} E$ 异常(f降低或 V_T 降低)

中枢神经系统药物

呼吸肌疲劳

中枢性低通气

$\dot{V} D$ 增高

肺实质疾病(V-Q 失衡)

浅快呼吸

PaCO₂

>45mmHg

35 ~ 45mmHg

<35mmHg

血液状况

碱血症

血碳酸正常

酸血症

肺泡通气状态

低通气

正常

高通气

注:(1)在 PaCO₂ 和 f、 V_T 、临床征象之间并不存在可预计的相关性,这是因为它们既不表示 CO₂ 产生量,也不表示肺泡通气量。(2) ↑ PaCO₂ → ↓ PAO₂ (见方程2,肺泡气方程式)和 ↓ PaO₂。(3) ↑ PaCO₂ → ↓ pH(见方程4,H-H 方程式)

方程式 2)

$$\text{肺泡气氧分压 (PaO}_2\text{)} = \text{FIO}_2 (\text{P}_B - 47) - 1.2 (\text{PaCO}_2)$$

$$\text{肺泡气动脉血氧分压差 (A-a 梯度)} = \text{PaO}_2 - \text{PaO}_2 = \text{P(A-a)O}_2$$

注: (1) PaCO_2 随 PaO_2 的变化而变化, 因此, 在无 PaO_2 、 P_B 、 FIO_2 和 PaCO_2 等参数时你不能对 PaCO_2 作出任何恰当的解释。(2) 正常 P(A-a)O_2 随着 FIO_2 的增高和年龄的增大而加大, 异常的 P(A-a)O_2 表示有肺实质疾病或有分流。(3) 正常 P(A-a)O_2 值: 吸入室内空气 = $(3 + 0.21 \times \text{年龄}) \pm 5 \text{ mmHg}$; 吸入纯氧 ($\text{FIO}_2 = 100$), 正常值上限是 120 mmHg 。

方程式 3)

$$\text{CaO}_2 (\text{血氧含量}) = \text{与 Hb 结合的氧} + \text{溶解在血浆中的氧 (mlO}_2\text{/dl)}$$

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

低氧血症原因 ($\downarrow \text{PaO}_2$ 、 $\downarrow \text{SaO}_2$, 或 $\downarrow \text{CaO}_2$)¹

呼吸因素	PaO ₂	P(A-a)O ₂	SaO ₂ ²	CaO ₂
肺右→左分流	↓	↑	↓	↓
通气-灌注(V-Q)失衡	↓	↑	↓	↓
弥散障碍 ³	↓	↑	↓	↓
肺泡低通气	↓	N	↓	↓
非呼吸因素				
心右→左分流	↓	↑	↓	↓
PIO ₂ 降低 ⁴	↓	N	↓	↓
低混合静脉血氧含量 ⁵	N	N	N	N
贫血 ⁶	N	N	↓	↓
一氧化碳过多 ⁷	N	N	↓	↓
高铁血红蛋白过多 ⁷	N	N	↓	↓

注: (1) N = 正常; (2) 通过氧离曲线, SaO_2 与氧分压的关系密切 (参见上图, 显示的是 $\text{Hb} = 15 \text{ g/dl}$ 时的氧含量)。曲线右移的因素: $\downarrow \text{pH}$, $\uparrow \text{PaCO}_2$, $\uparrow 2,3\text{DPG}$, 或 $\uparrow$ 体温。若改变相反, 则左移。(3) 仅仅在肺血流增加的时候, 才显示出临床意义 (如运动)。(4) PIO_2 降低的原因有大气压降低或 FIO_2 降低。(5) 如果存在静脉混合增加, 低 CvO_2 可以导致 PaO_2 、 SaO_2 、 CaO_2 的降低。(6) Hb 降低一般不会影响到 PaO_2 和 SaO_2 的降低, 除非有静脉混合增高, Hb 降低会影响到 CaO_2 的降低 (参见方程式 3)。(7) 一氧化碳过多和高铁血红蛋白过多将影响到 SaO_2 降低而不影响 PaO_2 , 如果通过 PaO_2 来计算或通过脉搏血氧记检测 SaO_2 , SaO_2 则会显示出正常的假象; 必须用联合血氧计检测血液标本。

方程式 4) Henderson - Hasselbalch 方程式

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3^-}{0.03(\text{PaCO}_2)}$$

酸血症: 血 pH < 7.35
酸中毒: 引起酸血症原发性的生理过程
碱血症: 血 pH > 7.45
碱中毒: 引起碱血症原发性的生理过程

四种原发性的酸碱平衡紊乱: 定义, 某些临床原因和预计的代偿度。

原发改变

代偿

$$\downarrow \text{pH} \equiv \frac{\uparrow \text{HCO}_3^-}{\uparrow \text{PaCO}_2}$$

$$\uparrow \text{pH} \equiv \frac{\uparrow \text{HCO}_3^-}{\uparrow \text{PaCO}_2}$$

呼吸性酸中毒—原发性酸碱平衡紊乱: 首先是 PaCO_2 增高引起 $\downarrow \text{pH}$, 通过肾保留 HCO_3^- 来代偿

呼吸性酸中毒的某些原因: 中枢神经系统抑制(如药物过量), 胸运动失调(如重症肌无力), 肺或气道疾病(如哮喘, COPD, 肺水肿)

呼吸性酸中毒的代偿性改变: PaCO_2 每升高 10mmHg:

* 急性: HCO_3^- 上升 1mEq/L (由于化学缓冲作用), pH 降低约 0.07。

代偿(数天): HCO_3^- 上升 3 ~ 4mEq/L, pH 降低约 0.03。

$$\uparrow \text{pH} \equiv \frac{\downarrow \text{HCO}_3^-}{\downarrow \text{PaCO}_2}$$

$$\uparrow \text{pH} \equiv \frac{\downarrow \text{HCO}_3^-}{\downarrow \text{PaCO}_2}$$

呼吸性碱中毒—原发性酸碱平衡紊乱: 首先是 PaCO_2 降低引起 $\uparrow \text{pH}$, 通过肾排泄 HCO_3^- 来代偿。

呼吸性碱中毒的某些原因: 低氧血症(如高海拔), 肺栓塞, 焦虑, 脓毒症, 肝功能衰竭, 以及急性肺部疾病。

呼吸性碱中毒的代偿性改变: PaCO_2 每降低 10mmHg:

急性: HCO_3^- 减少 2mEq/L (由于化学缓冲作用), pH 上升约 0.08

代偿(数天): HCO_3^- 降低 5mEq/L, pH 上升约 0.03

$$\downarrow \text{pH} \equiv \frac{\downarrow \text{HCO}_3^-}{\downarrow \text{PaCO}_2}$$

$$\downarrow \text{pH} \equiv \frac{\downarrow \text{HCO}_3^-}{\downarrow \text{PaCO}_2}$$

代谢性酸中毒—原发性酸碱平衡紊乱: 首先是 $\downarrow \text{HCO}_3^-$ 引起 $\downarrow \text{pH}$, 通过过度通气来代偿

代谢性酸中毒的某些原因:

阴离子间隙增加: 乳酸中毒, 酮症性酸中毒, 某些毒物(乙二醇、甲醇), 某些药物过量(如阿司匹林, 异烟肼)。

阴离子间隙正常:腹泻,间质性肾炎,肾小管肾炎

代谢性酸中毒的代偿性改变:完全代偿(>12h):

预计 $\text{PaCO}_2 = (1.5 \times \text{血浆 } \text{CO}_2) + (8 \pm 2)$ 或 pH 的最后 2 个数字 = $\text{PaCO}_2 \pm 2$ (如 pH7.25, $\text{PaCO}_2 25 \pm 2$)。

$\uparrow \text{pH} \cong \frac{\uparrow \text{HCO}_3^-}{\text{PaCO}_2}$ $\uparrow \text{pH} \cong \frac{\uparrow \text{HCO}_3^-}{\uparrow \text{PaCO}_2}$ 代谢性碱中毒—原发性酸碱平衡素乱:首先是 $\uparrow \text{HCO}_3^-$ 引起 $\uparrow \text{pH}$, 通过通气不足来代偿。

代谢性碱中毒的某些原因:氯治疗反应:收缩性碱中毒,利尿,类固醇,抽吸胃液,呕吐;氯治疗抵抗:任何高类固醇状态,如 Cushing 综合征, Bartter 综合征,严重钾离子丢失。

代谢性碱中毒的代偿性改变:四种原发性紊乱的最小代偿预计值: HCO_3^- 每升高 1mEq/L, PaCO_2 将会升高 0.6 ~ 0.7mmHg。

混合性酸碱平衡的诊断

1. 检查血清电解质(Na^+ , K^+ , Cl^- , CO_2)。计算阴离子间隙(AG), ΔAG , ΔCO_2 和碳酸氢盐间隙。

$\text{AG} = \text{Na}^+ - (\text{Cl}^- + \text{CO}_2)$: 正常值: $12 \pm 4\text{mEq/L}$ (依据实验室的不同而不同)

$\Delta\text{AG} = \text{AG} - 12$

$\Delta\text{CO}_2 = 27 - \text{静脉血 } \text{CO}_2$

碳酸氢盐间隙 = $\Delta\text{AG} - \Delta\text{CO}_2 = \text{Na}^+ - \text{Cl}^- - 39$ (正常值 $0 \pm 6\text{mEq/L}$)

碳酸氢盐间隙 > +6 = 代谢性碱中毒和/或呼吸性酸中毒所致的 HCO_3^- 潴留

碳酸氢盐间隙 < -6 = 高氯代谢性酸中毒和/或呼吸性碱中毒所致的 HCO_3^- 排泄

2. 检测动脉血气。单纯的酸碱平衡紊乱不会代偿致正常的血 pH。正常的血 pH 常是 PaCO_2 和/或 HCO_3^- 的异常。如果 pH 异常,检测其他的参数是否符合单纯性酸碱平衡紊乱或是否提示有混合性酸碱平衡失调(参考上述代偿性预计值)。

3. 全面的临床评价(病史,体检,其他的实验检查),以临床原因(见上述)来解释酸碱失衡。

4. 治疗基础疾病

5. 纠正 pH,尤其是 $\text{pH} < 7.30$, 或 > 7.52 ($[\text{H}^+] > 50, < 30\text{nm/L}$)。

必须结合临床情况进行判断

声 明

这是一本关于在临床实践中怎样判读血气数据的书籍。尽管提供了许多临床实例，但没有任何书籍（包括本书）能告知你在特定临床情况下应该做些什么。依赖于临床环境，相同的血气结果会导致非常不同的临床对策。作者对任何可能在基于本书所提供信息基础上的个人任何行为或无行为均不负责任。

**谨以此书献给我所教过的医学生及临床医生
并感谢他们教给我的一切。**

还要献给 Joanna，我最欣赏的医学生。

一项基本检验：第一版序言

在治疗病人时常常要使用一些基本检验。一个基本检验应是可适用于大量病人，迅速提供重要的信息，能在必要时尽可能多次重复，并确保准确。我简短地列出这些必要的检验：

1. 动脉血气
2. 胸部 X 线
3. 全血细胞计数 (CBC)
4. 心电图
5. 细菌革兰染色
6. 血清电解质, BUN 和血糖
7. 尿液分析

毫无疑问，我们越能理解这些检验所提供的信息，我们就越能更好的治疗我们的病人。CT 扫描，超声心动图，灌注扫描，多普勒研究，酶分析，肺量计测定和其他特异性的检验（如甲状腺、肝、胰腺）都有它们的价值，有时这些检验是必须的且对诊断具有决定性的意义。然而，上面列出的七项检验，结合病史及体格检查，是处理所有住院病人和大量慢性疾病门诊病人的基础。

在这个列表中变成常规可用的最新检验是动脉血气。第一个动脉穿刺是 1912 年由一位叫 Hunter 的德国医师进行的。在 1919 年，动脉血气分析第一次被作为诊断程序得到了运用。采用 Hunter 的桡动脉穿刺技术，W. C. Stadie 测量肺炎病人的氧饱和度并表明严重发绀的病人起因于血红蛋白不完全氧合 (Stadie 1919)。

在接下来的 40 多年，血气检测更多的是实验室研究工具而不是每天治疗病人可利用的检验。测量血气的技术因需要特殊的设备而很难实施。直到 19 世纪五十年代，发展了可快速和可重复检测 PaO_2 、 PaCO_2 和 pH 的电极。

在 1953 年，Leland Clark 发明了铂氧电极，一个进化为第一个现代血气电极的原型 (Clark 1953, Clark 1956)。商业上可应用的 pH 和 PCO_2 电极随后很快发展起来，在六十年代中期，虽然运用笨重的和非自动化的设备，几个大学中心能够提供动脉血 pH、 PaCO_2 和 PaO_2 测量。在 1973 年，第一个商业上能应用的自动血气机器被生产出来 (Radiometer 的 ABL1)，其他公司也很快生产出自动血气仪 (Severinghaus 1986)。实际上，今天每一所急诊医院在每天的 24 小时都能进行快速自动的血气检验。

像一份单一动脉血样电极的使用那样，现在出现了无创测量。特别普遍的替代一些动脉血样检测氧饱和度及对 PCO_2 进行潮气末气体分析的脉搏血氧计。测量 PO_2 和 PCO_2 的皮肤电极在新生儿和儿童得到了广泛运用。甚至更令人激动的是运用安装在血管内微小的纤维光学传感器进行连续检测血气的新技术。通过这种有创技术，能增加新的范围来监测 pH、 PaCO_2 和 PaO_2 的变化。

不管什么技术，重要的是将它们合理的运用临床。所有血气技术被设计成通过一次或多次检测提供氧合、通气和/或酸碱失衡的信息。教会你怎样判读和广泛使用血气数据则是本书的目标。

这不是一本生理学教材。我删去一些生理学感兴趣但对学习基本血气判读不重要的内容：如分流方程式，二氧化碳解离曲线，氧摄取 Fick 方程式。也省略了婴儿期血气、混合静脉氧测量和在高压氧治疗期间血气变化的讨论。文献目录提供了能找到这些讨论和其他特定题目的参考。

IV

本书并不是一部包含所有东西的百科全书。我试图尝试一种工作，教授一流的、有深度的对临床有用的知识。当运用动脉血气治疗病人时，多数将在本书中找到他们“真正需要知道的”信息。

Lawrence Martin, M. D.

Cleveland

第二版序言

在血气判读领域，自从本书第一版（1992 年）后没有很大变动。当然，基本生理过程是一样的，检验的方法也变化很小。尽管如此，新版本还是进行了某些改变。

首先，需要分析无创“血气”数据的信息，主要是脉搏血氧计 SpO_2 测量和潮气末 PCO_2 (PetCO_2) 监测。这两个检验现在已成为在处理病人时的常规工作， PetCO_2 主要在重症监护领域。这些检验降低了动脉血气分析的数目。确实，机械通气患者几乎完全不抽动脉血，仅用无创血气检测。这些内容将在 PCO_2 和氧饱和度的相关章节中讨论。

在和学生及医师讨论中，有人经常混淆 PaO_2 、 SaO_2 和氧含量之间的关系，对其影响因素如贫血、碳氧血红蛋白和高铁血红蛋白的理解也不是十分明了。新版提供我们更好解释这些重要生理过程的机会。另外，我们还扩展了阴离子间隙和电解质章节的内容；提供几个病例运用碳酸氢盐间隙来揭示混合酸碱失衡。

我也增加了三个“综合分析”章节；这是关于临床评估和检验的程序。第一版的两个章节给出血气数据来判读，但没有问何时血气是必要的及是否有其他一些检验能代替。新章节出现 16 个病人简要方案，大部分没有任何血气数据，你需要决定应获得怎样的气体交换检查：例如完全血气检测，仅仅联合血氧计，仅仅脉搏血氧计，或根本不用检验。

在第一版，我省略静脉血气讨论。因为按我的观点，大多数临床医师不一定真正需要知道这个信息。即使他们很少被要求判读混合静脉血气，但许多学生和临床医师想学习这个内容。为

此，我增加一章“静脉血气：不是你真正需要知道的知识”。

本版另一些变化包括更多图表，检验的扩展，扩充参考章节，和对我们肺部医学环球网地址的国际互联网地址。

像以往一样，本书重点在于对治疗病人有用的基本气体交换生理过程。你需要一杆铅笔学习本书的大部分，但计算器是不必的（虽然它可能加速解决问题）。如果你完成了这些练习，你将很自然地学会“动脉血气分析——快速解读”。如果你仔细阅读每一章节，处理所有问题和练习，你将得到足够教授这个论题的专业知识。

Lawrence Martin, M. D., FACP, FCCP

Cleveland

`martin@lightstream. net`

互 联 网

自从第一版出版，像许多其他人一样，我学会互联网和环球网使用它们作为潜在有价值教学工具。我们 Mt. Sinai 医院肺科开发了一个教育网址，包含题目范围广泛，包括血气判读，肺部基础生理，氧疗历史。这个网址在几个地方包含我连接的电子邮件地址（martin@Lightstream.net）。网址是

[http: //www. mtsinai. org/pulmonary](http://www.mtsinai.org/pulmonary)

怎样使用这本书获得最大的收获

- 拿一支铅笔

这是一本非常实用的有关动脉血气知识的书。重点是解释血气在临床工作中的应用。提供真实病人和实际临床情况的血气分析资料来学习是非常必要的。

建议读这本书的时候不要忘记拿一支铅笔。如果你照着做了，会在短时间内改变你自己。不需要计算器，只需要纸和笔。必要的计算可以写在书上。在核对答案之前，并不要求你用铅笔在纸上回答那些临床问题和其他的一些问题，你不是被迫去思考那些列出的信息。离开了书本就不能在从这本书中获得最大的价值。

在许多章节里，你将会看到很多编号的临床问题，每个都在一个框格里。这些问题的答案都在每章的最后。在正文里由你回答的另外的问题都预先由❷表示出来。在接下来的段落里都将解答这些问题。

问题

编号的临床问题：在每章的后面回答

没有编号的（❷）：在接下来的段落回答

我推荐当你遇到一个问题的时候就用铅笔回答，然后检查你的答案。照着我得建议去做，你会在不知不觉中学会血气分析的基本原则。如果你没有用铅笔，你就不知道信息是否记录或者你是否真正学会什么是重要的。用纸和笔是唯一有效的方法来学会这本书所能教给你的知识。

所以拿一支笔。

- 做预先测试，然后在附录 B 里面检查你的答案

- 读“ABG 快速课程介绍”，然后一边复习快速课程，一边开始这本书的章节。

- 用你自己的速率来读这些章节，停下来用铅笔回答每个问题。

- 确定在你继续下一章节之前，你理解了已给出章节的所有的问题和答案。

- 在符号和术语表里核对不熟悉的术语（附录 C 和 D）

- 完成所有的章节后做课后测验（附录 A）

- 写信或 e-mail 我关于所有能够改进的修正，异议或建议

Lawrence Martin , M. D.

Chief, Division of Pulmonary and

Critical Care Medicine

Mt. Sinai Medical Center

One Mt, Sinai Drive

Cleveland, Ohio 44106

Fax: 216 - 421 - 6952

e-mail: martin @ lightstream. net