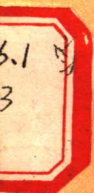


实用血气酸碱分析

陈南明 编著

江苏科学技术出版社



实用血气酸碱分析

陈南明 编著

江苏科学技术出版社

实用血气酸碱分析

陈南明 编著

出版、发行：江苏科学技术出版社

印 刷：南京铁道医学院印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张 4.88 字数 103,000

1985年6月第1版 1985年6月第1次印刷

印数 1—10,000册

书号：14196·177 定价：1.10元

责任编辑 顾志伟

前 言

血气酸碱分析是了解人体内环境的重要方法之一，对危重病病人的抢救、重大手术病人监护都有实际应用价值。近年来这项新技术正在国内普及。然而，有关这方面的书籍国内尚属缺如。为了满足广大医务人员的迫切需要，作者收集了1982—1984年呼吸生理和肾脏酸碱代谢的有关资料，结合自己的工作实践编写成这本书。

本书分五章：基础理论、临床应用、血气与其他体液气体、仪器与测定和复习题与解答，以“临床应用”和“血气与尿气”为重点。前者包括低氧血症、酸碱紊乱、运动试验和局部器官代谢等，后者除阐述血气与尿气的关系外，还介绍了尿气测定在肾小管酸化功能的应用。书中对酸碱紊乱与电解质的相互关系进行了综合分析，并介绍了这方面的进展。从计算AG值，比较血中 Na^+ 与 Cl^- 浓度、AG与 HCO_3^- 浓度、 Cl^- 与 HCO_3^- 浓度对了解电解质与酸碱紊乱的关系，不仅有理论，而且有临床上的意义。这对临床各科所有危重病病人的抢救都有指导意义。

本书关于“血气和其他体液气体”，血气测定在“运动和运动试验”、在“了解局部器官代谢状况”的应用等章节都是国内首次提及。另外本书还专门论述了近年来引起重视的“乳酸酸中毒”和“肾小管性酸中毒”以及“仪器性能好坏的

新标准”。

本书简明实用，图文并茂，并有典型病例示范。书末附有复习题及其解答，以帮助读者复习。但有些解答的内容是前面各章节所没有的，如pH与 $[H^+]$ 换算法、血浆渗透压与酸碱代谢的关系和肺动脉平均压的计算等。因此还有补充作用。另外，书中采用国际单位，也照顾到习惯应用单位。

本书可供临床各科医生、麻醉科医生、检验师（士）、实习医生以及医学院校的教师、研究生和高年级学生阅读和参考。

本书编写过程中，承蒙北京医院老年病研究所、中华医学检验杂志副总编辑李健斋主任医师，南京医学院杨玉副教授审阅；尿气内容得到上海第一医学院华山医院林善琰主任的指导；血气与尿气的科研工作得到江苏省卫生厅的大力支持；生化方面得到我院魏湧和杜肇宗两位副教授的帮助，在此一并表示感谢。

限于作者水平，书中存在不足之处，冀望读者惠予指正。

陈 南 明

1985年5月于南京铁道医学院

血气酸碱分析的符号、名称和参考值

符 号	名 称	参 考 值
PaO_2	动脉血 O_2 分压	90 ± 15
$\text{P}_{\Delta}\text{O}_2$	肺泡气 O_2 分压	100
$\text{P}\bar{\text{V}}\text{O}_2$	混合静脉血 O_2 分压	40 ± 3
C-O_2	血 O_2 含量	18 ± 4
SaO_2	动脉血 O_2 饱和度	$96 \pm 3\%$
$\text{S}\bar{\text{V}}\text{O}_2$	混合静脉血 O_2 饱和度	75%
P_{50}	SO_2 50%时的 PO_2	26.6 ± 1.5
PaCO_2	动脉血 CO_2 分压	40 ± 5
$\text{P}_{\Delta}\text{CO}_2$	肺泡气 CO_2 分压	40 ± 5
$\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$	混合静脉血 CO_2 分压	46
pH	血浆酸碱度	7.40 ± 0.05
$\text{AB}(\text{HCO}_3^-)$	实际的 HCO_3^-	25 ± 3
SB	标准的 HCO_3^-	24 ± 2
BBp	血浆缓冲碱	41.7 ± 1
BBb	全血缓冲碱	48.5 ± 3.5
BEp	血浆碱超	± 3.0
BEb	全血碱超	± 3.0
SBE	细胞外液碱超	± 3.0
pH_{NR}	除外呼吸影响的pH	7.40 ± 0.05
T-CO_2	血浆 CO_2 总含量	27 ± 4
A-aDO_2	$\text{P}_{\Delta}\text{O}_2 - \text{PaO}_2$	10 ± 5
R	呼吸商= CO_2 呼出量/ O_2 摄取量	0.8
$\text{a-}\bar{\text{V}}\text{DO}_2$	$\text{PaO}_2 - \text{P}\bar{\text{V}}\text{O}_2$	50 ± 10
V/Q	通气量/血流量	0.8
Q_s/Q_T	分流率	$< 7\%$
$\text{F}_{\text{I}}\text{O}_2$	吸入氧浓度	
Pr^-	血浆蛋白质阴离子	17 ± 1
AG	血浆阴离子隙	12 ± 4

附注:

1. 参考值即以往的正常值 (中华医学检验杂志1983; 6(4):248)。
2. 血液pH是指没有分离红细胞时血浆的pH。
3. 分压单位mmHg, 代谢成分单位mmol/L。
4. PaO_2 参考范围根据Valtin为75—100mmHg, PaO_2 随年龄增大稍降低; 新生儿为40—70mmHg。 PaCO_2 参考范围根据Shapiro为30—50mmHg。儿童 HCO_3^- 偏低, 因此pH也偏低。
5. 静脉血 PO_2 各处不一 (25—45mmHg), 心排血量正常时与各部位 O_2 耗量有关。静脉血 HCO_3^- 高1-2 mmol/L, pH低0.02—0.05。
6. 体温上升时, 校正后 PO_2 和 PCO_2 升高, pH降低; 体温下降时结果相反。体温校正表如下:

体 温 校 正 表

T℃	pH	PCO_2	PO_2
20	7.65	19	27
25	7.58	24	37
30	7.50	30	51
35	7.43	37	70
36	7.41	38	75
37	7.40	40	80
38	7.39	42	85
39	7.37	44	91
40	7.36	45	97

7. Q_s/Q_T 为 $V/Q = 0$ 时的解剖分流, 吸纯 O_2 20分钟后测得。

目 录

血气酸碱分析的符号、名称和参考值	I
第一章 基础理论	1
第一节 分压	1
一、肺泡气分压和血气分压	1
二、 P_{AO_2} 、 P_{ACO_2} 、 P_{AN_2} 与 V/Q 的关系	3
三、通气量(V)与 P_{AO_2} 、 P_{ACO_2} 的关系	3
四、 $P_{ACO_2} = PaCO_2$	4
五、死腔(V_D)方程式	5
六、肺泡气方程式	6
第二节 血氧	7
一、氧合和氧离(PO_2 、 $C-O_2$ 、 $SO_2\%$)	7
二、 O_2 供与 O_2 耗	9
三、 P_{50}	11
四、 $A-aDO_2$ ($P_{AO_2} - PaO_2$)	13
五、分流——功能性分流(Q_{VA})和解剖分流 (Q_S 或 Q_{SAN})	15
六、影响 PaO_2 的肺外因素	21
七、低 O_2 血症时心肺的代偿	22
第三节 血二氧化碳	24
一、血中 CO_2 含量	24
二、Haldane 效应	25
三、 CO_2 的运输和体内的气体交换	26

四、高碳酸血症和低碳酸血症的危害	29
第四节 体液的 pH	29
一、酸碱概念和血中酸的来源	29
二、体内主要的缓冲系	30
三、Henderson-Hasselbalch方程(简称H-H方程, 即“三量”相关方程)	31
四、pH是 $[H^+]$ 的负对数	31
五、pH的调节	32
(一)调节因素和调节所需的时间	33
(二)肾的调节	34
(三)蛋白质的缓冲	36
六、AB、SB和 $CO_2 - CP$	37
七、BB和BE	38
八、呼吸因素对BB的影响(体外实验与活体实验的差异)	38
第二章 临床应用	41
第一节 低氧血症和呼吸衰竭	41
一、低 O_2 血症的分型	41
二、低 O_2 血症的原因和发生机制	41
三、低 O_2 血症和分流	41
四、低 O_2 血症和死腔	41
五、顽固性低 O_2 血症的原因	41
六、呼吸衰竭和呼吸衰竭时血气的变化	43
七、氧疗	50
第二节 酸碱紊乱	58
一、酸碱紊乱的类型	58

二、单纯性酸碱紊乱的发病机理和常见病因	59
三、酸碱紊乱的诊断	63
四、酸碱紊乱与电解质	68
五、各种类型酸碱紊乱个案解析	71
六、酸碱紊乱的治疗	77
七、肝病与酸碱紊乱	78
八、乳酸酸中毒和肾小管性酸中毒研究近况	79
(一)乳酸酸中毒	79
(二)肾小管性酸中毒	82
第三节 运动和运动试验	86
一、运动时心、肺、循环和肌肉的相互关系	86
二、正常人静息时和运动的血气的变化规律	87
三、运动与 O_2 耗量的关系	89
四、运动试验	91
第四节 了解局部器官的代谢状况	95
第三章 血气与其他体液气体	97
第一节 血气与脑脊液气体	97
第二节 血气与胸腹水气体	100
一、血气变化和胸腹水气体变化的关系	100
二、良恶性胸(腹)水的气体变化	101
第三节 血气与尿气	102
一、血气变化和尿气变化的关系	102
二、尿 PCO_2 ($PuCO_2$)是肾小管酸化功能的	
指标	103
三、尿气测定方法	104
四、尿气测定的应用	105

(一)尿气测定在肾小管性酸中毒的应用	105
(二)尿气测定在肾功能衰竭的应用	106
(三)尿气测定在饮食与肾脏排酸关系的应用	107
第四章 仪器与测定	110
第一节 仪器的性能	110
第二节 测定的有关问题	114
第三节 南京地区几种仪器型号的参考值	117
第四节 可接受的范围	117
第五章 复习题与解答	121
附 录 血气大事记	136

第一章 基础理论

第一节 分压

分压是混合气体中各种气体分子运动所产生的张力。肺泡里和血液里含有 O_2 、 CO_2 、饱和水蒸气和 N_2 。各种气体有各自的分压，根据道尔顿定律：总压力 $P_B = PO_2 + PCO_2 + PH_2O + PN_2 + P_{Ar}$ ，血中 N_2 容量仅占0.9%，动脉血和静脉血 PN_2 基本一样（ $P_{a}N_2 = P_{v}N_2$ ），在海平面上血中 N_2 气对人体的生理无影响。血中有生理效应的气体是 O_2 和 CO_2 。两种气体的相互交换都是由分压高处向分压低处弥散。根据亨利定律，血中 O_2 和 CO_2 溶解量与其分压大小成正比，所以测定 PO_2 和 PCO_2 就可以了解血中 O_2 和 CO_2 的含量，进而分析体内组织代谢状况。

总压力×各自气体浓度就是该气体的分压。总压力包括水蒸气压，体温37℃时，饱和 H_2O 压为47mmHg，计算时应予扣除，因此气道里的 $PO_2 = (760 - 47) \times 21\% = 149\text{mmHg}$ 。氧到达肺泡后由于被肺泡中的 CO_2 所稀释，所以 $P_{A}O_2$ 约为100mmHg。另外空气中 O_2 浓度为20.93%是指干燥气体而言，实际上仅为20.65%，因为空气是潮湿的。

分压的单位：

压力的国际单位用Kpa，但目前mmHg仍通用。

1 mmHg = 1 托 (torr) = 0.133千帕斯卡 (Kpa)

一、肺泡气分压和血气分压

肺泡气和血气中各分压正常值见表1、图1。

表1 气体分压表

气压	空气	气道	肺泡	动脉血	静脉血(混合)
PO_2	156	149	100	95	40
PCO_2	0	0	40	40	46
PH_2O	15	47	47	47	47
PN_2	589	564	573	573	573
总压力	760	760	760	755	706

(引自Cecil Medicine, 1982)

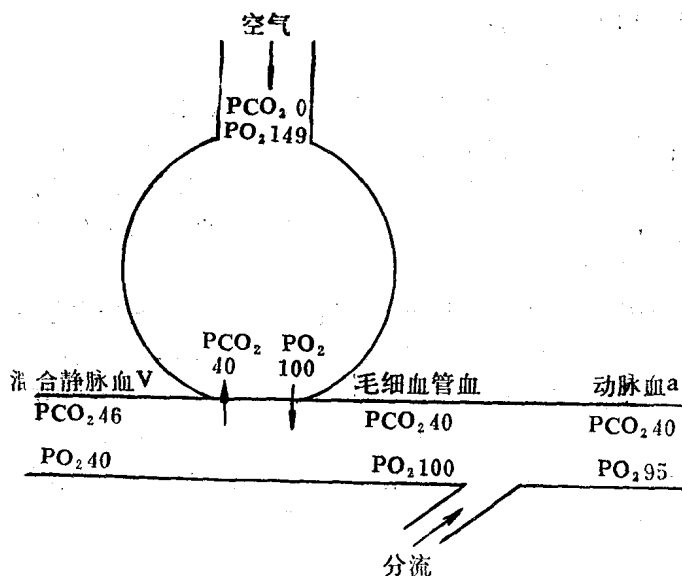


图1 肺内气体交换示意图

- 註: 1. 40mmHg = 5.3Kpa 100mmHg = 13.3Kpa
 2. 正常人有2~5%分流来自支气管静脉、心最小静脉和胸腔静脉

二、 P_{AO_2} 、 P_{ACO_2} 、 P_{AN_2} 与 V/Q 的关系

静息状态下，每分钟肺泡通气量($\dot{V}_A$)约为4,000ml，血流量($\dot{Q}$)约为5,000ml， $\dot{V}/\dot{Q}=0.8$ ($\dot{V}$ 指 $\dot{V}_A$ ，下同)；肺每分钟排出 CO_2 约为200ml，而摄取氧约为250ml；呼吸商 $R = \frac{200}{250} = 0.8$ 。在正常的肺泡内，其 V/Q 比例相互调节以适应正常气体交换的需要。但由于重心吸力和胸腔负压的影响，上肺部通气多而血流少(肺尖部肺动脉压近乎“0”)，下肺部通气少而血流多(相对而言)，因此上肺部 $V/Q > 0.8$ 而下肺部 $V/Q < 0.8$ ；上肺部 $R > 0.8$ 而下肺部 $R < 0.8$ 。通气多血流少的部位 P_{AO_2} 相应升高， P_{ACO_2} 和 P_{AN_2} 相应降低，通气少血流多的部位情况恰恰相反。

上肺部	下肺部
$V/Q = 1.7$	$V/Q = 0.68$
$R = 1.27$	$R = 0.68$
$P_{AO_2} \ 121$	$P_{AO_2} \ 92$
$P_{ACO_2} \ 34$	$P_{ACO_2} \ 42$
$P_{AN_2} \ 558$	$P_{AN_2} \ 573$

三、通气量(V)与 P_{AO_2} 、 P_{ACO_2} 的关系

通气量增加时， P_{AO_2} 升高， P_{ACO_2} (即 $PaCO_2$)降低，因此测定 $PaCO_2$ 就可以了解肺泡通气量的情况。 $PaCO_2$ 大于45mmHg提示通气不足， $PaCO_2$ 小于35mmHg提示通气过度。换言之， $PaCO_2$ 与肺泡通气量成反比。

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

$\dot{V}CO_2$ 为每分钟产生的 CO_2 量, 以 ml/L 计 (STPD)

$\dot{V}_A$ 为每分钟肺泡通气量, 以 L/min 计 (BTPS)

0.863 为 STPD 与 BTPS 转换常数。

注: STPD 为 $0^\circ C$ 、760 mmHg 大气压, 干燥气体的容积。

BTPS 为 $37^\circ C$ 、760 mmHg 大气压、饱和 H_2O 压的容积。

ATPS 为 $22^\circ C$ 、760 mmHg 大气压、饱和 H_2O 压的容积。

$$V(BTPS) = V(ATPS) \times 1.09$$

$$V(STPD) = V(ATPS) \times 0.94$$

通气量与肺容量的单位用 BTPS; 血中 O_2 含量、 CO_2 含量、溶解度的单位用 STPD, 因为 STPD 单位可换算成摩尔 (mol, 即克分子数)。

四、 $P_A CO_2 \approx P_a CO_2$

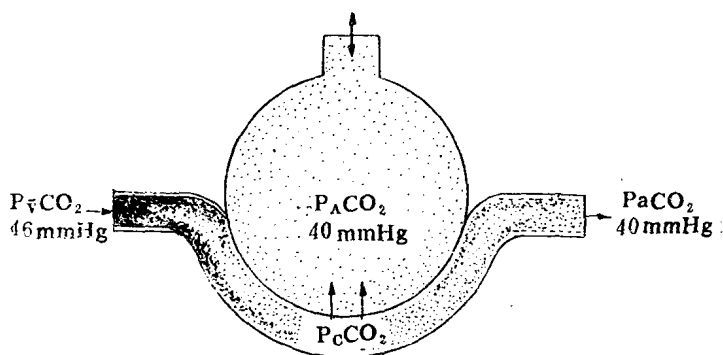


图2 $P_A CO_2 (P_c CO_2)$ 与 $P_a CO_2$ 平衡示意图 (引自 Shapiro)

新鲜空气的 CO_2 近乎“0”, 肺泡里的 CO_2 全部来自混合静脉血的 $CO_2 (P_V CO_2)$, 肺泡内 PCO_2 是两者混合的结果。当

血液通过肺泡壁毛细血管时,因为 CO_2 弥散力很强, PcCO_2 和 PaCO_2 之间很快达到平衡,这就意味着 $\text{P}_\text{A}\text{CO}_2 = \text{PaCO}_2$ 。我们曾同时测定呼气末肺泡气的 PCO_2 和动脉血的 PCO_2 ,结果两者一样。

注: PcCO_2 代表肺泡毛细血管 CO_2 分压,相当于 $\text{P}_\text{A}\text{CO}_2$ 。

五、死腔(V_D)方程式

正常人潮气量(V_T)约为500ml,其中350ml为肺泡通气量(V_A),150ml为死腔(V_D)。这样,正常的 $\text{V}_\text{D}/\text{V}_\text{T}$ 比值为0.3(0.2—0.4)。 $\text{V}_\text{D}/\text{V}_\text{T}$ 大于0.4,死腔过大,肺泡通气量少,这是 PaO_2 降低的常见原因之一。测定 PaCO_2 和 $\text{P}_\text{E}\text{CO}_2$ (呼出气的 CO_2 分压)即可计算生理死腔(解剖死腔+肺泡死腔)的大小。由于呼出气的 CO_2 全部来自肺泡血流,所以测定死腔可以了解肺内 V/Q 比值的状况。

计算方法如下:

$$\text{呼出气 } \dot{\text{V}}_\text{E} = \dot{\text{V}}_\text{A} + \dot{\text{V}}_\text{D}$$

$$\dot{\text{V}}_\text{E} \times \text{P}_\text{E}\text{CO}_2 = \dot{\text{V}}_\text{A} \times \text{P}_\text{A}\text{CO}_2 + \dot{\text{V}}_\text{D} \times \text{P}_\text{I}\text{CO}_2$$

$\text{P}_\text{I}\text{CO}_2$ 为吸入气 CO_2 分压

$$\begin{aligned} \dot{\text{V}}_\text{E} \times \text{P}_\text{E}\text{CO}_2 &= (\dot{\text{V}}_\text{E} \times \text{P}_\text{A}\text{CO}_2 - \dot{\text{V}}_\text{D} \times \text{P}_\text{A}\text{CO}_2) \\ &\quad + \dot{\text{V}}_\text{D} \times \text{P}_\text{I}\text{CO}_2 \end{aligned}$$

$$\dot{\text{V}}_\text{D} (\text{P}_\text{A}\text{CO}_2 - \text{P}_\text{I}\text{CO}_2) = \dot{\text{V}}_\text{E} (\text{P}_\text{A}\text{CO}_2 - \text{P}_\text{E}\text{CO}_2)$$

$$\frac{\dot{\text{V}}_\text{D}}{\dot{\text{V}}_\text{E}} = \frac{\text{P}_\text{A}\text{CO}_2 - \text{P}_\text{E}\text{CO}_2}{\text{P}_\text{A}\text{CO}_2 - \text{P}_\text{I}\text{CO}_2} \quad (\text{Bohr's 方程式})$$

$$\because \text{P}_\text{I}\text{CO}_2 = 0, \text{P}_\text{A}\text{CO}_2 = \text{PaCO}_2, \dot{\text{V}}_\text{E} = \text{V}_\text{T} \times f$$

$$\therefore \frac{\dot{\text{V}}_\text{D}}{\dot{\text{V}}_\text{E}} = \frac{\text{PaCO}_2 - \text{P}_\text{E}\text{CO}_2}{\text{PaCO}_2}$$

一般 P_aCO_2 为40mmHg, P_BCO_2 为28(25—30)mmHg, 代入公式后 $V_D/V_T=0.3$

六、肺泡气方程式

肺泡气方程式是计算 P_{AO_2} 的方程式, 计算方法如下:

吸空气时 $P_{IO_2} = (760 - 47) \times F_{IO_2}$

$$P_{IO_2} = 713 \times 0.21$$

$$P_{IO_2} = 149\text{mmHg}$$

P_{IO_2} 为吸入气的 O_2 分压, F_{IO_2} 为吸入 O_2 浓度, F_{IO_2} 最好用测氧仪测定, 无测氧仪时, 按以下公式计算: $F_{IO_2} = 21 + O_2 \text{ L/min} \times 4\%$ (适用于鼻导管给 O_2 , 参考“氧疗”章节)。

吸入气到达肺泡时, 因为肺泡里有 CO_2 , 所以

$$P_{AO_2} = P_{IO_2} - \frac{P_{ACO_2}}{R} + F \quad F \text{ 为校正常数, 很小,}$$

可忽略不计, 故

$$P_{AO_2} = P_{IO_2} - \frac{P_aCO_2}{R}$$

海平面上吸空气时 $P_{AO_2} = 150 - P_aCO_2 \times 1.25$ 。

R 代表呼吸商, 一般 CO_2 呼出200ml/min, O_2 摄取250ml/min, $R = 200/250 = 0.8$ 。平静状态下, 外呼吸 $R =$ 内呼吸 R 。食物燃烧时, O_2 被消耗成水。碳水化合物中H和O是按 H_2O 比例存在的; 脂肪和蛋白质中的 H_2 比 O_2 多出一倍以上, 燃烧时需从外界多摄取一些氧才能成为水。因此碳水化合物饮食的呼吸商为1, 脂肪饮食呼吸商为0.7, 混合饮食的呼吸商为0.8。呼吸商0.8的含义是指每摄取 O_2 1 ml, 就放出 CO_2 0.8ml。运动时, 呼吸商增大, 慢性消耗病患者呼吸商减少。