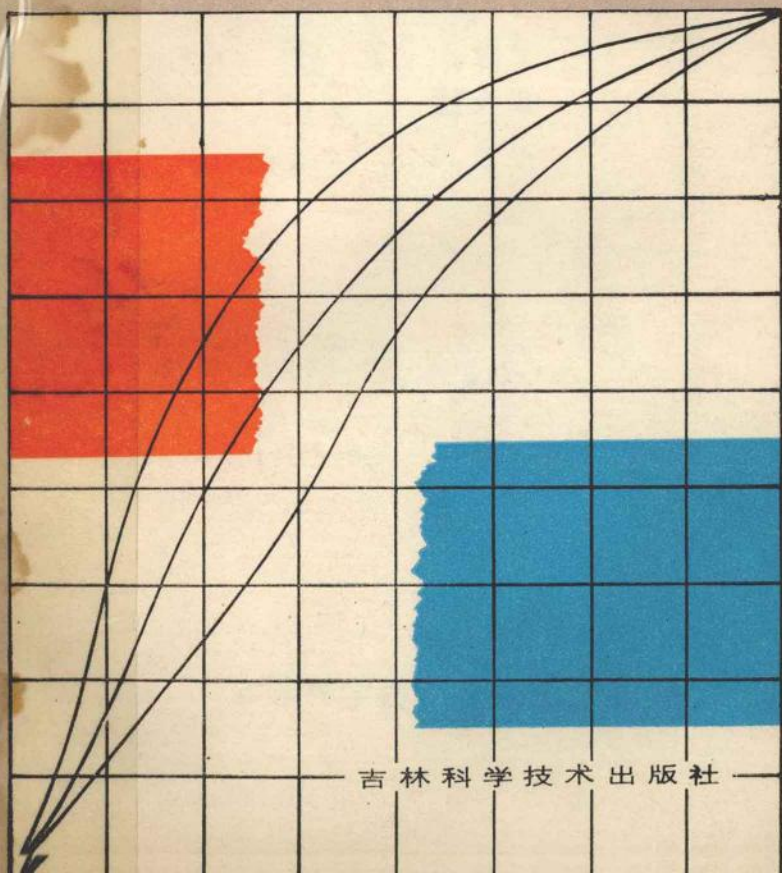


# 血液气体分析 及临床应用

创文海 主编



吉林科学技术出版社

# 血液气体分析及临床应用

主 编 剑文海  
编 者 范长生  
 剑文海  
 沈秀华

吉林科学技术出版社

**血液气体分析及临床应用**

刘文海 主编

责任编辑：齐向东 李影林（特邀）

封面设计 孙虹

**出版  
发行**

吉林科学技术出版社

787×1092毫米32开本

9.125印张

203,000字

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

印数：1—3000 册 定价：3.80元

**印刷** 空军医学专科学校印刷厂

ISBN 7-5384-0634-4/R·109

## 编 者 的 话

血液气体对维持正常人的生理功能至关重要。在一些疾病或病理过程发生发展演变的过程中，常导致血液气体运送的异常，而其改变与机体内环境酸碱平衡失调及电解质紊乱密切相关，互为因果，互相影响，使原来的疾病或病理过程更加复杂，严重影响病人的预后。

近些年来，随着电子技术的迅速发展，微量血液气体分析仪器的出现和不断改进，血液气体分析已经成为临床工作中不可缺少的重要检查项目之一，广泛应用于临床各个科系，成为临床上对酸碱失衡及电解质紊乱辅助诊断、指导治疗和考核疗效的一面镜子，在抢救重危病人中起到了重大作用。

1988年，我们受吉林省卫生厅委托，举办了五期全国性的血气分析学习班，受到来自全国各地学员的好评。近一年多来，我们不断收到学员来信，索要讲稿或恳促印刷出版，颇受激励。鉴于目前国内有关这方面知识的书籍尚属少见，为了满足临床工作者的要求，我们又在原讲稿的基础上，参阅了国内外有关文献，加以修改、补充，撰写了此书。作者在撰写过程中，力求由浅入深，通俗易懂，本着实用第一的原则，尽量照顾到各层次读者的具体情况，紧密联系临床实际，并介绍了国内外的新进展。

由于作者水平有限，时间仓促，不当之处在所难免，恳请读者指正。

编 者

## 序

血液气体分析目前已成为医学工作者普遍关注的化验技术，它可为呼吸功能与酸碱平衡提供多项血液指标的信息，是临床诊断与治疗的有力辅助手段。

最近，在现代血气分析理论与技术的重要创建者、丹麦著名学者Poul Astrup及美国学者John W. Severinghaus共同编写的《血液气体、酸与碱的历史》(The History of Blood Gases, Acids and Bases, 1986年版)一书中，J. W. Severinghaus指出：现代血气分析的发展，要归功于50年代初三位学者建立了重要理论与技术，即P. Astrup的从血液pH推算二氧化碳分压与酸碱平衡(剩余碱)的理论，R. Stow发明的二氧化碳电极和L. Clark发明的氧电极。后两种电极都经过J. W. Severinghaus改进而趋于实用。其后由于电子技术，特别是电子计算机技术的发展，使包括测定pH、二氧化碳及氧三种电极的血气分析仪得以在六十年代投入市场，并在1973年首先由丹麦Radiometer厂生产出第一台全自动血液气体分析仪，使血气分析得以实现快速准确且微量化、自动化，推动了血气分析技术的迅速发展，可以认为它的发展是现代科学发展的结晶，是临床医学现代化的一个重要标志。

我国虽早在60年代已引进该项技术，但由于仪器昂贵、操作复杂，一直没有得到应有的发展。直到最近10年，

我国才开始有比较完善的血气分析仪生产，而且有些医院还引进国外自动血气分析仪，使这项技术逐渐迅速发展。但是，毕竟由于较普遍应用这项技术的时间尚短，因而临床医生与化验人员比较普遍感到陌生，急需这类技术的读物。剑文海、范长生等同志以他们多年教学与医疗实践经验撰写了《血液气体分析及临床应用》一书，从理论、实际操作与临床应用都作了相当详尽的介绍，内容相当丰富实用，相信必将受到广大医务工作者的欢迎，定能为推动我国医疗事业现代化作出贡献。愿就此机会向本书作者及参与本书出版的同志们，对他们付出的艰苦劳动表示深切的敬意。

麦荫乔 于白求恩医科大学

一九九〇年九月十四日

# 目 录

<b>第一篇 血气分析的基础知识及血气检测技术</b> ·····	1
<b>第一章 血液酸碱和气体</b> ·····	2
<b>第一节 生物学及生物化学认定的酸与碱</b> ·····	2
一、医学界曾出现的习惯认识·····	2
二、广义的酸与碱定义·····	2
<b>第二节 血液中的酸与碱</b> ·····	4
一、体内的酸·····	4
二、体内的碱·····	5
三、氢离子浓度与酸碱度·····	6
<b>第三节 血液中的气体</b> ·····	7
一、血液中的 $O_2$ 及 $CO_2$ ·····	8
二、血液气体存在形式及其运输·····	8
<b>第二章 对常用的血气分析生化指标的解释</b> ·····	15
<b>第一节 气体指标</b> ·····	15
一、 $PCO_2$ (二氧化碳分压)·····	15
二、 $T-CO_2$ (二氧化碳总量)·····	16
三、 $PO_2$ (氧分压)·····	16
四、 $Sat. O_2$ (血氧饱和度)·····	17
五、 $C-O_2$ (氧含量)·····	17
六、 $P_{50}$ (血红蛋白50%氧饱和度的氧分压)·····	18
七、 $A-aDO_2$ (肺泡-动脉氧分压差)·····	18
<b>第二节 酸碱指标</b> ·····	20

一、pH .....	20
二、 $pH_{NR}$ .....	20
三、 $HCO_3^-$ .....	21
四、 $BB^-$ .....	22
五、BE .....	24
六、AG .....	25
第三节 血气分析中的主要指标 .....	26
第三章 体内酸碱平衡与失衡 .....	28
第一节 体内酸碱平衡及其调节 .....	28
一、血液缓冲系统对酸碱平衡的调节 .....	28
二、肺脏对酸碱平衡的调节 .....	33
三、肾脏对酸碱平衡的调节 .....	33
第二节 酸碱失衡及代偿 .....	38
一、酸碱失衡 .....	38
二、代偿 .....	39
第三节 酸碱失衡的类型及酸碱指标的 一般变化规律 .....	45
一、单纯性酸碱平衡紊乱 .....	45
二、混合型酸碱平衡紊乱 .....	47
第四章 酸碱血气检测技术 .....	49
第一节 血气检测的基本原理 .....	50
一、 $PO_2$ 电极的基本结构和工作原理 .....	50
二、pH电极的基本结构和工作原理 .....	53
三、 $PCO_2$ 电极的基本结构和工作原理 .....	56
第二节 采血技术 .....	57
一、动脉血采集方法 .....	57
二、动脉化毛细血管血采集方法 .....	58



第三节	血液pH单项测定	60
一、	仪器	60
二、	试剂	60
三、	pH测定的操作规程	62
四、	测定的误差控制	64
第四节	血液PCO <sub>2</sub> 测定	66
一、	PCO <sub>2</sub> 电极的标化	66
二、	PCO <sub>2</sub> 的测定	69
第五节	PO <sub>2</sub> 测定	71
一、	PO <sub>2</sub> 电极的标化	71
二、	PO <sub>2</sub> 测定方法	72
第六节	血液pH、PCO <sub>2</sub> 、PO <sub>2</sub> 联合测定	75
一、	DH-100型血气酸碱分析仪的大体结构	75
二、	DH-100型血气酸碱分析仪主要部件 的工作原理	75
三、	DH-100型血气酸碱分析仪的操作方法	76
四、	使用本仪器对其他酸碱指标的推算方法	82
第七节	全自动酸碱血气分析仪及其使用	84
一、	ABL系列自动酸碱血气分析仪	85
二、	AVL940型全自动血气分析仪	92
<b>第二篇</b>	<b>血气分析与酸碱平衡失调的临床</b>	<b>116</b>
第五章	酸碱平衡失调的临床	116
第一节	代谢性酸中毒	118
一、	病因	118
二、	自体稳定效应	120
三、	临床表现	121
四、	实验室检查	121

五、诊断·····	122
六、防治·····	123
第二节 代谢性碱中毒·····	129
一、病因·····	129
二、自体稳定效应·····	131
三、临床表现·····	133
四、实验室检查·····	134
五、诊断·····	134
六、治疗·····	135
第三节 呼吸性酸中毒·····	137
一、病因·····	137
二、自体稳定效应·····	139
三、临床表现·····	141
四、实验室检查·····	143
五、诊断·····	144
六、防治原则·····	145
第四节 呼吸性碱中毒·····	147
一、病因·····	147
二、自体稳定效应·····	149
三、临床表现·····	150
四、实验室检查·····	151
五、诊断·····	152
六、防治原则·····	152
第五节 混合型酸碱失衡·····	153
一、呼吸性酸中毒合并代谢性碱中毒·····	154
二、呼吸性酸中毒合并代谢性酸中毒·····	156
三、代谢性碱中毒合并呼吸性碱中毒·····	159

四、代谢性酸中毒合并代谢性碱中毒 .....	161
五、代谢性酸中毒合并呼吸性碱中毒 .....	163
六、混合型代谢性酸中毒 .....	165
七、“三重”型酸碱失衡 (TABD) .....	167
第六章 血液气体分析的临床应用 .....	170
第一节 血液气体的组成 .....	170
一、氧的测定 .....	171
二、二氧化碳的测定 .....	173
第二节 血液气体分析的常用指标及其临床意义 .....	173
一、pH值 .....	173
二、动脉血二氧化碳分压 ( $\text{PaCO}_2$ ) .....	174
三、实际碳酸氢 ( $\text{HCO}_3^-$ , AB) .....	175
四、剩余碱与碱不足 (BE) .....	176
五、二氧化碳总量 ( $\text{TCO}_2$ ) .....	177
六、动脉血氧分压 ( $\text{PaO}_2$ ) .....	177
七、动脉血氧饱和度 ( $\text{SaO}_2$ ) .....	178
第三节 血液气体的临床 .....	178
一、酸碱平衡的调节 .....	178
二、酸碱平衡失调的基本类型 .....	181
第七章 肺心病的血气异常与酸碱失衡 .....	188
第一节 呼吸性酸中毒 .....	190
一、内稳系统的调节 .....	191
二、电解质紊乱的特点 .....	192
三、临床表现 .....	193
四、诊断 .....	197
第二节 呼吸性酸中毒合并代谢性碱中毒 .....	197
一、原因 .....	198

二、危害性 .....	199
三、临床表现 .....	199
四 诊断 .....	200
第三节 呼吸性酸中毒合并代谢性酸中毒 .....	201
一、原因 .....	202
二、危害性 .....	202
三、临床表现 .....	203
四、诊断 .....	204
第四节 代谢性碱中毒 .....	204
第五节 呼吸性碱中毒 .....	206
第六节 三重型酸碱失衡 (TABD) .....	206
第七节 酸碱失衡的治疗 .....	210
一、酸中毒 .....	210
二、碱中毒 .....	212
第八章 心脏疾患的血气异常与酸 碱失衡 .....	216
第一节 急性心肌梗塞 .....	216
一、心肌梗塞急性期的低氧血症 .....	216
二、心肌梗塞急性期的过度通气与酸碱失衡 .....	217
三、心肌梗塞急性期氧气疗法的一些问题 .....	218
第二节 心脏骤停 .....	219
一、心脏骤停与血气异常 .....	219
二、心脏骤停与酸碱失衡 .....	219
三、心脏骤停血气异常及酸碱失衡的危害性 .....	220
四、心脏骤停血气异常及酸碱失衡的诊断 .....	224
五、心脏骤停血气异常及酸碱失衡的治疗 .....	228
第九章 肺心病与电解质 .....	235

第一节	体液的电解质分布及其与酸碱平衡	
的关系	.....	236
一、	体液的电解质分布 .....	236
二、	电解质分布与酸碱平衡的关系 .....	236
第二节	肺心病的血钠异常 .....	238
一、	肺心病低血钠的原因 .....	238
二、	低血钠与酸碱平衡的关系 .....	239
第三节	肺心病的血钾异常 .....	240
一、	低钾性碱中毒 .....	241
二、	高血钾与酸中毒 .....	243
第四节	肺心病的血氯异常 .....	243
一、	肺心病低血氯的发生机理 .....	244
二、	肺心病低氯血症的治疗 .....	245
第十章	酸碱与血气分析的临床讨论 .....	246
例1	频繁腹泻引起代谢性酸中毒 .....	246
例2	腹腔感染引起代谢性酸中毒 .....	247
例3	糖尿病酮症酸中毒 .....	248
例4	幽门梗阻—频繁呕吐引起代谢性碱中毒 .....	250
例5	风湿性心脏病引起低氧血症	
和呼吸性酸中毒 .....		252
例6	脑挫伤后引起 ARDS .....	254
例7	支气管哮喘引起呼吸性碱中毒 .....	256
例8	支气管哮喘引起呼吸性酸中毒合并	
代谢性碱中毒 .....		257
例9	肺心病引起呼吸性酸中毒合并	
代谢性碱中毒 .....		259

例10	自发性气胸引起呼吸性酸中毒 合并代谢性酸中毒·····	261
例11	胃肿瘤术后—肺感染—休克引起呼 吸性酸中毒合并代谢性酸中毒·····	263
例12	肺心病引起呼吸性碱中毒 合并代谢性碱中毒·····	265
例13	有机磷农药中毒引起呼吸性碱中 毒合并代谢性酸中毒·····	268
例14	胆系感染—败血症—休克引起代谢 性酸中毒合并代谢碱中毒·····	270
例15	肠痿—肺内感染—败血症引起代谢性碱中 毒合并代谢性酸中毒·····	271
例16	重症肺心病引起呼酸型三重型酸碱失衡·····	273
例17	支气管哮喘—肺心病引起呼碱型三重型 酸碱失衡·····	274
例18	肺心病引起呼碱型三重型酸碱失衡·····	275

# 第一篇 血气分析的基础知识及血气检测技术

血气分析包括血气生化指标的检测及血气诊断两大方面内容。前者重点讨论血气生化指标的检测方法及检测技术，后者主要讨论血气指标的临床应用。

血气分析是我国近年来迅速发展及应用着的一项重要的临床监测技术。这项监测技术不仅对肺心病、肺气肿及其他肺病所致的急、慢性呼吸衰竭病人的诊治有重要的指导价值，对心肺复苏、麻醉、体外循环及神经外科手术，以及对其他各科重危病人的抢救，均有十分重要的临床意义。

血气分析是一项专业性很强的临床应用技术，在解释血气指标的变化、判断酸碱失衡及失衡的类型时，需要病理生理及生物化学等医学基础知识作分析指导。把围绕血气分析所要应用的基础知识作一些必要的归纳整理，以便为本书临床应用一篇的内容讨论奠定一些必要的基础是编写本篇的出发点。另外，在本篇的最后一章里，介绍了血气指标（项目）的检测技术和原理，因此本书对临床检验工作者的学习和临床血气诊断治疗工作具有一定的使用参考价值。

# 第一章 血液酸碱和气体

## 第一节 生物学及生物化学认定的酸与碱

### 一、医学界曾出现的习惯认识

生活中，人们对酸与碱并不陌生。如醋酸或米醋、盐酸、磷酸等是酸；小苏打、食用面碱等是碱。从化学的角度看，酸与碱解离后的离子哪些是酸，哪些是碱，有时在判断上就不大统一了，这主要表现在过去。 $H^+$ 是酸， $OH^-$ 是碱是无可争议的。 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 等哪个是酸，哪个是碱？ $Cl^-$ 、 $HSO_4^-$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Hb^-$ 等哪个是酸、哪个是碱？如果没有一个标准，判断起来就会有些模糊。过去，有些人曾习惯地把除 $H^+$ 以外的阳离子均认为是碱；把除 $OH^-$ 以外的阴离子均认为是酸。这种认识酸碱的方法是不正确的，如果把这种习惯性的不正确认识用来解释体内的酸性物质和碱性物质，并以此来分析体内的酸碱平衡及酸碱失衡，将会产生莫大的错误。那么，上面列举出的那些离子究竟哪个是酸，哪个是碱呢？这就需要重审一下被现在的人们所公认了的有关判断酸与碱的学说。

### 二、广义的酸与碱定义

1923年，Brønsted 氏提出了关于酸与碱的学说，称酸碱质子学说。学说认为，在一个化学反应中，凡任何一个能



给出质子 ( $H^+$ ) 的物质都称为酸；在一个化学反应中，凡任何一个能接受质子 ( $H^+$ ) 的物质都称为碱。这就是现在的人们在生物学、生物化学及医学领域判断酸与碱的标准和依据。

应用上述标准和依据，在前面例举出的几个阳离子和阴离子，其中的  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  在反应中既不能给出质子 ( $H^+$ )，又不能接受质子 ( $H^+$ )，所以它们既不是酸，也不是碱。而在那几个阴离子中， $HSO_4^-$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$  虽然是阴离子，却不能按过去的习惯把其认为是酸，因为它们在体内化学反应中都能接受质子 ( $H^+$ )，所以它们是碱。而  $Cl^-$  虽然是阴离子，但它不能给出质子 ( $H^+$ )，所以不是酸，却能接受质子 ( $H^+$ )，所以  $Cl^-$  是碱。上述的这些仅仅是举几个例子，目的是强调一下判断酸与碱的标准。这对从事酸碱血气分析的医生及临床检验工作者来说是不能持有疑义的。因为，在机体酸碱平衡紊乱时，细胞内外液的阴、阳离子会发生交换（转移），从而影响细胞内外液的酸碱度。同时，当一个物质作为酸给出质子 ( $H^+$ ) 时，必然有一个对应的碱生成；当一个物质作为碱接受质子 ( $H^+$ ) 时，必然有一个对应的酸生成。这就是化学中谈到的所谓共轭体系。正常人体内酸与碱在动态中总是保持一定的浓度和比例的，这就是所说的体内酸碱平衡。因某些疾病使体内某些酸碱物质的生成、排出或某些离子的吸收、交换及排出发生障碍时，体内酸碱平衡被破坏——酸碱平衡紊乱（内稳失衡），于是机体处于酸（碱）中毒状态，严重者（尤其失代偿时）会成为病人死亡的原因。

所以，正确认识体内的酸性和碱性物质及其变化规律，对血气检测指标的波动，以及因此而对机体可能产生的影响