

第一卷目次

术语学	(1)
-----	-----

第一部分 酸硷和电解质平衡的一般知识

第一章 酸硷平衡	(2)
现代方法和术语学	(2)
操作注意事项	(7)
第二章 酸中毒的原因	(7)
第三章 酸硷平衡与电解质平衡间的关系	(9)
第四章 酸的一般知识	(13)
第五章 酸硷平衡的代谢性成分	(13)
第六章 酸硷平衡的计算	(16)
一、定义	(16)
二、Siggaard-Andersen 曲线图表	(16)
三、Siggaard-Andersen 列线图表	(18)
四、对未饱和血红蛋白的校正	(24)

第二部分 酸硷和电解质平衡的临床方面

第七章 糖尿病酮症	(26)
高渗性无酮症性糖尿病昏迷	(31)
第八章 呼吸功能不全	(32)
第九章 因电解质丢失所致的酸硷失衡	(35)
第十章 因电解质紊乱所致失衡的临床实例	(37)
一、一例小儿腹泻所致的代谢性酸中毒	(37)
二、幽门狭窄所致的代谢性硷中毒	(37)
三、低钾性硷中毒	(39)
第十一章 利尿剂	(39)
一、利尿剂对酸硷和电解质平衡的影响	(39)
二、钾和利尿剂	(40)
三、利尿剂的自身限制作用	(41)
第十二章 水杨酸盐中毒	(41)

第二卷目次

绪论	(44)
第一章 术语学	(45)
第二章 饥饿时的代谢性酸中毒	(48)
混合性代谢性酸中毒和代谢性硷中毒	(49)
临床举例	(50)
第三章 代谢性酸中毒的呼吸性代偿	(52)
代谢性硷中毒的呼吸性代偿	(55)
临床举例	(55)
第四章 细胞内氢离子浓度增高所致的酸硷、电解质和水的变化	(56)
酮症	(59)
第五章 呼吸功能不全所致的混合性酸硷失衡	(60)
一例慢性呼吸功能不全病人的组织缺氧	(62)
一例慢性呼吸功能不全病人的代谢性硷中毒	(65)
临床举例	(68)
第六章 呼吸功能不全时碳酸氢钠的补给	(69)
临床举例	(72)
第七章 妊娠和分娩	(74)
第八章 出生后酸硷变化	(78)
呼吸窘迫综合征	(79)
临床举例	(79)
第九章 血浆以外的体液	(81)
第十章 计算	(83)
间质液电解质浓度的计算	(83)
细胞内变化的估算	(83)
静脉注射各种溶液后血浆酸硷和电解质情况的计算	(83)
细胞外液量的估算	(84)

术 语 学

酸硷平衡 (Acid-base balance): 有关 pH 及其异常的原因的论述。

酸硷度 (pH): 氢离子活性的负对数。常将其和氢离子浓度等同起来, 虽然这样理解不十分确切。

二氧化碳分压 (PCO_2): 二氧化碳的张力, 以毫米汞柱 (mmHg) 计算。

缓冲线 (Buffer line): PCO_2 对数值-pH 值图表上的线, 表示 PCO_2 与 pH 间的关系。

酸硷平衡的呼吸性成分 (Respiratory component): 即 PCO_2 。

呼吸性酸中毒 (Respiratory acidosis): 原发性肺泡通气不足, $PCO_2 > 40$ 毫米汞柱, 并使 pH 值降低, 即 < 7.40 。

呼吸性硷中毒 (Respiratory alkalosis): 原发性肺泡通气过度, $PCO_2 < 40$ 毫米汞柱, 并使 pH 增高, 即 > 7.40 。

酸硷平衡的代谢性成分 (Metabolic component): 即酸硷平衡的非呼吸性成分, 系指除 PCO_2 外影响血液 pH 的所有因素。

硷过剩* (Base excess): 简称 BE, 是酸硷平衡代谢性成分中最好的参数。如果硷过剩是负值, 最好说成是硷缺失 (Base deficit), 简称 BD。市售的应用图表仅标有硷过剩, 这在以后的正文中将常常提到。一个典型的例子是: 硷过剩的读数是 -18, 就是指硷缺失为 18 毫当量/升。

代谢性酸中毒 (Metabolic acidosis): 原发性硷缺失的过程 ($BE < 0$, 等于负值), 并使 pH 值降低。

代谢性硷中毒 (Metabolic alkalosis): 原发性硷过剩值增加的过程 ($BE > 0$, 等于正值), 并使 pH 值增高。

缓冲硷 (Buffer base): 简称 BB, 是酸硷平衡代谢性成分中另一个参数, 正常血浆或血清中的缓冲硷值是 42 毫当量/升。

其数值增加表明是代谢性硷中毒。

其数值降低表明是代谢性酸中毒。

* 根据定义, 硷过剩数值是在血液氧实际饱和度的条件下给予的, 如应用 Astrup 平衡技术, 则硷过剩是在血液完全氧合的条件下获得的数值, 而且这种硷过剩值是时常应用的。如果是这样, 那末当讨论来自不同化验室的硷过剩值时, 应当将上述情况作清楚的说明。

第 一 部 分

酸硷和电解质平衡的一般知识

第一章 酸 硷 平 衡

现代方法和术语学

对酸硷平衡已广泛地讨论了很多年。以往的十年中，对这一课题的兴趣又有所增加，同时一些主要杂志。特别是“柳叶刀”(Lancet)杂志，于1963年至1966年间发表了有关这一课题的一些论文，并几乎连续登载了致编者的信。Weisberg在其有关水、电解质和酸硷平衡的著作中，提出了一个计算酸硷平衡的图表，他举的大约12种不同的图表。在以后的几年中，几乎又出现了同样多的新图表。在业已发生混乱的这一领域内，这样多的新图表对于学习者来说，并没有使问题变得简单化。

目前之所以将这样大的注意力集中在这一领域中，是有某些原因的。例如，广泛应用人工肾、人工呼吸（指机械呼吸—译註）和心肺机，以及低温等，这些都是必须多次作酸硷平衡的测定。新技术的应用使得有可能对酸硷平衡作出迅速而定量的评定。能够定量这一点是特别重要的，因为由此可判定酸硷平衡与电解质平衡间的相互作用。

测定 PCO_2 的两种新技术已开始应用，而且各有其优点，这将在以后讨论。然而，用哪一种技术并不重要。因为，所有有关酸硷方面的数据最后常常是通过应用Siggaard-Ander-sen图表来计算的，而不管原先的测定值如何。

第一种新方法是Astrup法，系根据pH测定值而定的。Astrup证明，在pH值和 PCO_2 对数值间，实际上存在着一种直线关系（图1）。如果知道两个点，则可画出一直线，根据血液pH值的测定值，即可读出 PCO_2 值。不论测定的是血浆的pH还是全血的pH，都同样适用。

pH和 PCO_2 间的相互关系是通过用两种含有氧和已知不同浓度的 CO_2 （因而 PCO_2 也得知）的气体平衡血液而设立的。在平衡气体时之所以需要氧，是为了使所有血红蛋白都变为氧合血红蛋白，未知的 PCO_2 可通过测定隔绝空气条件下采血的血液pH值而获得。应用两种含约3%和6% CO_2 的气体作平衡之用，由此可得出 PCO_2 分别约为30和60毫米汞柱。同一个血标本在这两种已知 PCO_2 的气体处理后可测得两个pH值，从而得出图1中的 A_2 点和 B_2 点。另两个血标本可据此得出不同的缓冲线。取图1中的1号和3号血，将这两个血标本平衡后则可得到 PCO_2 为60毫米汞柱时的 A_1 点、 A_3 点和 PCO_2 为30毫米汞柱时的 B_1 点、 B_3 点。将相应的点连接起来，可画出 A_1-B_1 和 A_3-B_3 两条线。如果确定 A_2-B_2 线的一个血标本是在隔绝空气条件下取得的，其pH为7.40，则可读出其 PCO_2 为40毫米汞柱。

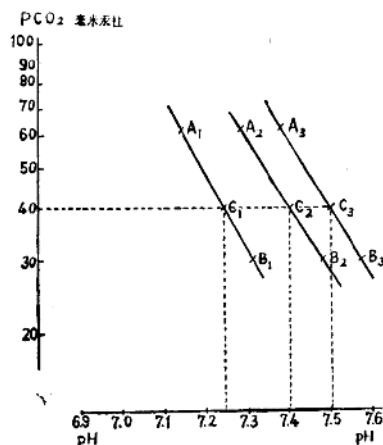


图 1 Astrup 技术的基本原理

三个不同血标本中 pH 与 PCO_2 间的关系。对每个血标本来说，均用两种已知 PCO_2 的气体平衡后测定 pH（指同一血标本分别用两种已知 PCO_2 的气体平衡后分别测得两个 pH 值，这样，一个血标本可得到两对 pH 和 PCO_2 数值，每对数值在上图中均能定出其坐标位置，如 A_1 、 B_1 ——译注），确定 A 点和 B 点后将其连成一直线。每个血标本中 PCO_2 和 pH 间的相互关系可通过此线而确定下来。此线称为缓冲线，因为它显示了 PCO_2 变动对 pH 的影响。从隔绝空气情况下所取的血标本中测定出实际的 pH 后，连于 C 点处就可求出实际的 PCO_2 。从本图中可以推断，所有三个血标本均采自呼吸正常的病人，亦即 PCO_2 均为 40 毫米汞柱。实际的 pH 值通过连到 pH 标尺（横座标）上的虚线而显出， PCO_2 值则通过连到 PCO_2 标尺（纵座标）上的虚线而读出。

A-B 线是 PCO_2 的缓冲线。血液的缓冲能力越大，则此线的倾斜度越大。所以用“缓冲线”这个词，就是因为此线的倾斜度可以表明 pH 随着 PCO_2 的变化而出现相应的变化。如果缓冲线较接近水平方向，则 PCO_2 轻微的增加就可使 pH 显著下降，如果缓冲线较为陡峭，则 PCO_2 虽有同样程度的增加，引起 pH 的改变却小得多。就全血而言，缓冲能力在很大程度上取决于血液中蛋白质的浓度，进而取决于血红蛋白的浓度，更详细的论述见后文。

由于现今的微量 pH 计能迅速而准确地进行测定，因而 Astrup 技术在临床化验室中已得到越来越广泛的应用，并且不再留作供装备有各种精密气体分析常需设备的一些实验室专用。

对图 2 中缓冲线的进一步研究被证明是有用的，因为正确地理解这些缓冲线可能是正确理解酸硷平衡的一个捷径。

缓冲线的上部表明 pH 较低和 PCO_2 较高，这是纯呼吸性酸中毒的典型表现。相反，线的下部表明 pH 较高和 PCO_2 较低，就是说属于纯呼吸性硷中毒的情况。由此可见，所有呼吸性变化只要通过沿缓冲线移动相应的各点就可表示出来。如果我们只关心酸硷平衡的呼吸性成分，那末就不需要作更多的了解。但是，当必须知道代谢性成分时，则不可避免地会遇到某些困难。

所有的人都同意用 PCO_2 作为酸碱平衡呼吸性成分的参数。可是，当涉及到代谢性（非呼吸性）成分时，混乱的情况就使人感到很为难。这是由于术语尚未标准化，许多作者还持有不同的意见。

纽约科学院于1964年11月安排了一次学术讨论会，其目的是让世界各地的工作者和不同的学派一起将酸碱测定方面的技术及术语标准化。结果表明，与会者不同意用一个术语来代表酸碱平衡的代谢性成分。因此遗憾的是，对代谢性成分来说，仅仅知道一个术语是不够的。因为，如果只知道一个术语，那末就难以或不可能去评价从其他应用不同术语的化验室中得来的资料。不管这是多么遗憾，学习者目前还不能回避这一事实，即必须对酸碱平衡的一些不同术语具有充分的知识。所幸的是，这并非象乍看起来有那样多的不利之处。因为，不同的术语都有助于对酸碱平衡的整个情况作较为全面的理解。

为了对酸碱平衡下一个全面的定义，我们除了需要了解 pH 和 PCO_2 外，还要了解其代谢性成分。Astrup 及其同事开拓性工作的巨大功绩就在于，他们能制订出一个系统，依据这一系统，从最初两次 pH 的测定值中就足以提供出所有有关代谢性成分的必要资料。这就是说，需要在已知 PCO_2 的情况下两次测定全血的 pH ，以便定性地和定量地确定代谢性成分。正如我们所看到的那样，这些测定对确立呼吸性成分也是必要的，由此在不作任何其他测定的情况下就可得知代谢性成分。这的确是一种非常有利的情况。Astrup 实验室的 Siggaard-Andersen 和 Engel 在 PCO_2 对数/ pH 图表上又附加了两个标尺，其一是缓冲碱标尺，另一个是硷过剩标尺，通常缩写成 BB 和 BE。这一图表后来又被 Siggaard-Andersen 修改过，图 2 就是经修改的图表。

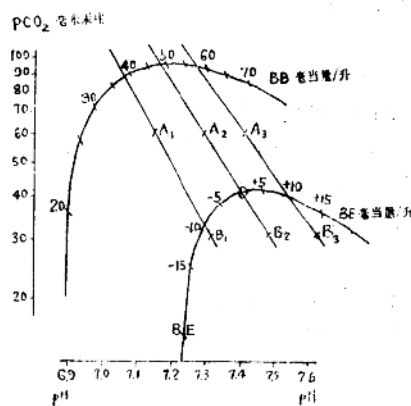


图 2. 酸碱平衡中代谢性成分的判定。

此图是与图 1 相同的 PCO_2 对数/ pH 图表，也是同样的三个血标本。A₁、A₂、A₃ 和 B₁、B₂、B₃ 各点也与图 1 相同。唯一的差别就是包括了一个缓冲硷线（上面的曲线）和一个硷过剩线（下面的曲线）。从缓冲线 A₁—B₁、A₂—B₂、A₃—B₃ 穿过 BB 或 BE 线的地方，就可简便地读出代谢性成分。A₂—B₂ 线来自一个代谢性成分正常的血标本，其硷过剩为 0 毫当量/升。A₁—B₁ 线有代谢性酸中毒，BE 为 -10 毫当量/升。A₃—B₃ 线有代谢性硷中毒，BE 为 +10 毫当量/升。参见正文第 5 页。

从最初两次 pH 的测定中，可得到如图 1 中的 A-B 型线。此线穿过硷过剩标尺处，即可读出 BE，穿过上面的缓冲硷标尺处，即可读出 BB。BE 和 BB 都是以毫当量/升来表示酸硷平衡中的代谢性成分，而且与呼吸性成分无关。BB 根据 Singer 和 Hastings 所下的定义，是指实际碳酸氢和缓冲蛋白质的总和。BE 是指加入到一升血（在正常温度和正常 PCO₂ 条件下）中使其 pH 回到正常所需的酸或硷量，单位是毫当量/升。当 BE 是正值时，必须加入酸，当 BE 是负值时，必须加入硷。例如，加 10 毫当量/升的盐酸或乳酸于一升正常血中，所得的 BE 值为 -10 毫当量/升，加 10 毫当量/升的氢氧化钠于一升正常血中，所得的 BE 值则为 +10 毫当量/升。

学会理解酸硷问题最快的方法大概就是要完全熟悉这个图表，即图 2（略图）或图 6（原图）。呼吸性改变可用图 1、2 中缓冲线 A-B 上的点上下移动而显示出来，代谢性成分的变化则通过缓冲线本身的移动而显示出来，向图表的右侧移动说明是代谢性硷中毒，向左侧移动说明是代谢性酸中毒。

按照原先 Astrup 技术作三次 pH 测定并不是完成适当的酸硷平衡分析的唯一方法，也可在已知 PCO₂ 的情况下将两次测定 pH 减少一次，而代之以血红蛋白（Hb）浓度的测定。图 3（第 6 页）可帮助说明这种情况，A 线是从血红蛋白浓度为 15 克/100 毫升血的正常人取全血而得出的缓冲线，B 线是从无酸硷失衡但血红蛋白仅有 7 克/100 毫升血的一例病人取全血而得出的缓冲线，当缓冲线是以正常血浆用已知 PCO₂ 作两次 pH 测定的方法而求出时，其斜度更接近于水平方向，相当于 C 线，并通过 Hb 标尺上的 O 点。由此可见，当得知血液的血红蛋白浓度时，则缓冲线的斜度也确定下来。为了证明这点，可用图 6（第 17 页）说明。在正常血液中，不管血红蛋白浓度如何，BE 均为 0。BB 随蛋白质浓度不同而有所变化，因为 BB = 碳酸氢 + 蛋白质。图 6 中 BB 线的下侧包括 -Hb 标尺，将 BE 线上的 O 点与 BB 线上相应的 Hb 浓度相连，由此可得出缓冲线的斜度。就全血而言，缓冲线是通过下述方法而确定的：用一种已知 PCO₂ 的气体平衡后测定 pH，同时还测定 Hb；或是在已知 PCO₂ 的条件下两次测定 pH，在血浆中蛋白质浓度正常的情况下，由于斜度已知，在已知 PCO₂ 的条件下测定一次 pH 就足够了。

一种纯碳酸氢溶液，其斜度较血浆缓冲线更接于水平方向。在图 1、2、6 中，碳酸氢溶液的斜度为 -1.0，也就是说，可用 45° 线来代表它。

判定酸硷平衡的另一个途径就是 Severinghaus 和 Bradley 所介绍的应用直接测定 PCO₂ 的方法。他们制成了一种改良的 pH 电极，这种电极是按 PCO₂ 标定的。大体上说，这是一个由稀释的碳酸氢溶液所包绕的玻璃电极。溶液用一种可透过 CO₂ 的薄膜保持于应有的位置。当气体或血液标本与此膜接触时，标本和碳酸氢间的 PCO₂ 出现平衡，碳酸氢溶液的 pH 因此而将发生改变。但是仪器是按 PCO₂ 标定的，因而并非记下实际 pH 的改变。pH、PCO₂ 和碳酸氢浓度间的关系在 Henderson-Hasselbalch 方程式中看得最清楚：

$$\text{pH} = \text{pK}' + \text{Log} \frac{\text{碳酸氢} (\text{HCO}_3^-)}{\text{S} \cdot \text{PCO}_2}$$

pK' 并非常数，但为了实际应用可认为是 6.10。

S 为 CO₂ 的溶解度系数，即 0.03。

由于酸碱平衡的这些数据不是直接测定的，因此为了计算方便而应用某种类型的图表。据我们的经验，Siggaard-Andersen 图表优于其他任何图表，以至对其他图表已不必再进行了讨论。不管那个工作者愿意用何术语，也不管他用什么仪器，现今都会愿意用 Siggaard-Andersen 等的原形图表或 Severinghaus 设计的计算尺。

在这里，讲述一下这些 PCO_2 测定技术产生的历史背景是有意义的。当哥本哈根出现一次空前严重的伴有呼吸麻痺的脊髓灰质炎流行时，Astrup 医生是该城市传染病医院化验室的负责人。管尽当时将所有的人工呼吸器都用上了，病人仍不断地死亡。医院负责人 Lassen 医生及其同事们认为，对于这样高的死亡率，能够而且必须采取某些措施。因此，他们对于呼吸麻痺的病人使用了麻醉时麻醉医生所用的人工呼吸法，即用手压橡皮囊进行通气。结果，病房内挤满了医学生在昼夜不停地挤压橡皮囊。这样，他们就使一些病人渡过了最困难的阶段。可是，为了搞清楚应当何时开始给病人通气，何时停止给病人通气，以及给病人多大程度的通气，这些都需要知道血液的 PCO_2 。由于没有快速而简便的方法可利用，因而 Astrup 就想到他后来提出的测定技术。Severinghaus 是一位麻醉师，他也是首先注意到 PCO_2 的，他还改进了 PCO_2 电极。

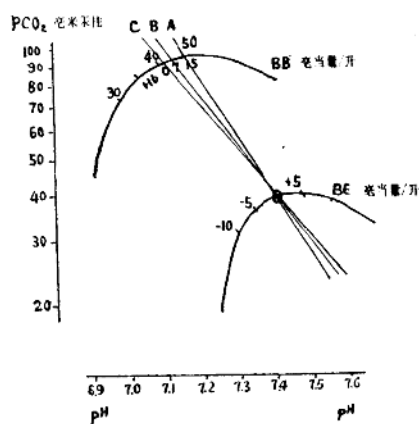


图 3 不同的血红蛋白浓度对血液缓冲线的影响。

与图 2 相同的图表。研究了三个血标本，其酸碱平衡的代谢性成分均正常，即 BE 为 0 毫当量/升。A 线代表 Hb 为 15 克/100 毫升血的血液；B 线代表 Hb 为 7 克/100 毫升血的血液；C 线代表 Hb 为 0 的血液，即血浆。由此可见，血红蛋白的浓度确定缓冲线的斜度，而缓冲线不管血红蛋白浓度如何均通过 BE 的 0 点。参见正文第 5 页。

业已表明, 根据 Astrup 的测定技术, 可计算出酸硷平衡的各种参数, 如果 pH 和 Hb 都是已知的, 那末应用 PCO_2 电极也可计算出同样多的数据。缓冲线的斜度是由 Hb 含量来确定的, 而缓冲线的位置则取决于 pH 和 PCO_2 值 (见图 2、3, 第 3、5 页)。

为了对酸硷平衡作定量的判定, 我们需要作三次测定。应用 Astrup 技术, 我们需要作三次 pH 测定, 或是作两次 pH 测定及一次 Hb 测定。如应用 PCO_2 电极, 可直接得知 PCO_2 , 此外还需测定 pH 和 Hb。大多数教科书中提到, 为了判定酸硷平衡情况, 只需知道碳酸氢和 pH 即可。其实, 这样说是过于简单化了。对于血浆来说确实是如此, 但是应用全血测定常更为方便, 因此必须作第三个测定。后面在讨论新的 Siggaard-Andersen 图表时, 将会看到碳酸氢、pH 和 Hb 如何被用来作酸硷平衡中各种因素的全面分析。这一方法颇为重要, 因为有些医院仅有测定 CO_2 总量和碳酸氢的设备。

由此可见, 为了全面地表述酸硷平衡, 我们需要知道三个数值, 但不必限定于三个特定的测定。相反地, 可根据现有的设备进行挑选。当然, 任何情况下 Hb 是知道的, 所以这是一个测定值。第二个数值显然是 pH, 这是一个最重要的数据。可以这样说: 整个酸硷平衡的分析都只是用来解释为什么 pH 异常或不异常。可是, 在读到最后一个即第三个测定值时, 我们认为可以作较广泛的选择: 或是用 PCO_2 电极; 或是用已知 PCO_2 的气体来平衡, 然后测定 pH, 或是用任何化学方法测定血浆碳酸氢。

操作注意事项

为了使 pH 测定具有理想的可重复性, 有几点已证明是颇为重要的, 因此作如下的介绍。

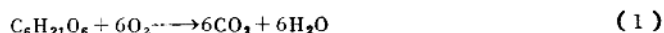
1. 如采用毛细血管血, 应取自然流出的, 因任何挤压下流出的都主要是静脉血。
2. 如不能在 12 分钟内进行分析, 采血后必须尽快地将标本冷却, 并可在冷却情况下保持 4 小时。
3. 经常需要将血液作适当的混合, 血标本在刚测定前必须充分转动。
4. pH 电极不用时应装满厂家所介绍的清洗液和储存液。
5. pH 电极在使用前应当用 0.9% NaCl 液冲洗, 然后吸干。
6. 放缓冲液时: (1) 装满缓冲液; (2) 吸出空气; (3) 装满缓冲液并校准 pH。
7. 应当用胃蛋白酶盐酸溶液每周清洗一次电极。

第二章 酸中毒的原因

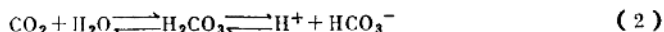
让我们暂时从另一个角度来探讨酸硷平衡问题。第一章中主要讨论了实用方面的问题, 本章中将涉及某些基础理论问题。为了对由酸硷平衡测定所提供的数据作出正确的评价, 必须对引起代谢性或呼吸性酸中毒的发生机理有一个确切的理解。

酸硷平衡问题就是氢离子问题, 因此研究以下一些问题是有意义的: 体内何处产生氢离子? 氢离子在局部是如何被处理的? 氢离子如何被排出? 当然, 氢离子在许多反应中都有重要作用, 因而对这些反应都进行讨论看来是不实际的。有时会出现氢离子生成异常, 如酮症时那样, 这将在以后讨论。氢离子生成正常是如此重要, 以致生成率或排出方面轻微的改变都将会引起严重的酸硷失衡。主要的正常氢离子生成发生于细胞内, 这是由于酮和脂肪分解的结果。

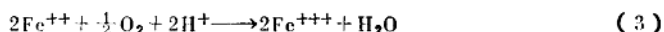
糖的整个反应是:



CO_2 与水化合形成碳酸, 碳酸解离后形成氢离子和碳酸氢离子:



反应(1)中形成的 $6\text{H}_2\text{O}$ 是通过电子传递体系统所引起的一系列反应的最终结果, 其最终阶段可写成下式:



让我们接着看一下(2)和(3)反应式中 H^+ 的结局如何。

作为糖和脂肪分解的结果, 生产了 CO_2 。 CO_2 一经溶解, 就立即出现解离的 H^+ 。在肺内则发生逆反应, CO_2 被排出, 反应(2)自右向左进行。在机体的平衡系统中, 单位时间内 CO_2 生成的总量等于呼吸时 CO_2 排出的量, 因而 pH 不发生变化。如果由于任何原因使单位时间内生成的 CO_2 不能被排出, 那末 pH 就将降低 (氢离子浓度将增加); 反之, 如呼吸量增加而 CO_2 生成量未改变, 则氢离子浓度将减少 (pH 将增高)。

引起原发性酸中毒有以下四种机理:

- I. CO_2 排出减少;
- II. 细胞供氧不足, 从而减少了通过水的形成而使氢离子中和;
- III. 异常酸生成;
- IV. 非挥发酸排出不足; 肾功能不全。

上述的这些原因称为原发性的, 因为存在着一种原发性的氢离子生成或排出方面的失衡, 后面在谈到电解质失衡时, 我们还将讨论继发于阴—阳离子失衡的另外两个酸中毒的原因。

I 的补充说明 溶解的 CO_2 量的任何变化称为呼吸性变化, 因为影响 CO_2 量的最常见的因素就是呼吸的改变。某些情况下: 例如剧烈的肌肉活动时, CO_2 生成增多, 而排出则落在后面。此时溶解的 CO_2 量将有所增加, 因此称为呼吸性酸中毒。呼吸性酸中毒也同样适用于下述情况: 从细胞处回流的循环血量不足, 由此使 CO_2 的排出过于缓慢。

根据反应(2)从肺排出的氢离子总量, 其数量级为每 24 小时 20,000 毫当量, 或每小时 850 毫当量,

II 的补充说明 从反应(3)可以看出, 如无充足的供氧, 则会发生氢离子过剩。氢离子通过电子传递体系统与氧起反应, 并以水的形式被排出。任何引起组织供氧不足的过程均会使氢离子中和减少, 从而异致酸中毒, 这种情况称为缺氧性代谢性酸中毒, 因为此种酸中毒并无 CO_2 量增加, 故不能称为呼吸性酸中毒。由于许多医院已经能利用常规的酸碱平衡的测定, 因此缺氧性代谢性酸中毒, 如休克和心脏停搏时所见的那样, 正越来越被认识到是一种常见的临床病症。

这样, 正常氢离子生成的一部分, 经过 H_2CO_3 , 以呼出 CO_2 的形式而排出; 另一部分 (也是较大的一部分) 与细胞内的氧结合而形成水。如果对这两种氢离子排出途径的每一阶段作了研究, 则酸碱平衡的许多重要问题均能加以解释。

III 的补充说明 当饥饿和糖尿病酮症时, 发生大量的 β -羟基丁酸和丙酮酸, 由此可

导致硷缺失的代谢性酸中毒。

IV的补充说明 酸中毒的第四个原因是肾功能不全,此时肾脏不能排出如硫酸之类的酸,因而使这些酸蓄积。由于通常每天从肾脏排出的 H^+ 仅100~200毫当量/24小时,因此暂时性的肾功能不全将不致影响酸硷平衡。肾脏损伤必须持续很久才能发生明显的酸中毒,而呼吸功能不全即使出现不久,就可引起显著的酸中毒。从量的方面还可看出,组织供氧不足可引起迅速出现的酸中毒。

第三章 酸硷平衡与电解质平衡的关系

对酸硷平衡继续作更为深入的讨论以前,有必要对电解质平衡略加讨论。因为酸硷平衡与电解质平衡是相互依赖的,彼此不可能分开。

电解质平衡,间接地也关系到酸硷平衡,是受一个生理学定律所控制的。这些定律是:

1. 电中和定律;
2. 等渗透浓度(iso-osmolarity)定律;
3. 机体力图维持正常的pH。

电平衡定律说明,带负电荷的阴离子总量必须与带正电荷的阳离子总量相等。在血浆中,阳离子有153毫当量/升,根据此定律,阴离子也有153毫当量/升。此定律适用于所有机体各间区*的阴离子和阳离子,以及其他任何溶液。

等渗透浓度定律说明,相互能进行水交换的机体各液体系统内,渗透浓度必须是相等的。换言之,血浆、细胞外液**和细胞内液的渗透浓度均相同。血浆的渗透浓度为294毫渗量/升,细胞外液和细胞内液中的渗透浓度也是如此。在各个间区之间,水可以自由移动。如果在某一间区内溶于水中的粒子数有所增加,也就是说,如果渗透浓度增加了,那末水就会从低渗透浓度部分移向渗透浓度较高的部位,其结果是水在这三个间区(血浆、细胞外液和细胞内液)之间出现平衡,直至达到一个新水平的等渗透浓度为止。

有时电中和定律和等渗透浓度定律彼此间发生干扰,如果两个间区之间存在有半透膜,就会发生上述情况。水可自由通过,但溶于水的离子中,有些能通过,有些则不能。这样,在两个不同的间区之间就形成了一个电压差。例如,肌肉内和细胞外液间约有80毫伏的电压差。半透膜还可引起众所周知的多南氏效应(Donnan effect)。因未深入讨论这个问题,故只提一下:间质液体中阴离子(如氯离子)的浓度较血浆中高1.05倍,阳离子的浓度正好相反。

控制酸硷和电解质平衡的第三个定律是一个生理学定律。该定律说明,机体有使pH恢复到7.40,即达到正常值的趋势。

概略地说,有两个理化学定律和一个生理学定律调节着由半透膜分隔开的机体各间区内的各种平衡。要计算出机体某一间区内任何成分的改变对其他间区所产生的实际结果是困难的,因为起作用的因素很多。但是,由于所有这些因素都是受已知定律控制的,故其结

*Compartment; 指以半透膜隔开的部分,如血浆、组织间液和细胞内液——译注

**细胞外液包括血浆和组织间液两部分,但本书中细胞外液和组织间液有时混用——译注

果可从性质上，而且也可能从数量上预计到。目前，有些团体正积极致力于建造计算酸硷和电解质平衡的计算机。这些人认为，由于控制电解质和酸硷平衡的定律数量是有限的，而且根据这些定律所发生的变化可以计算，所以有可能建造出一种计算机来预计由于机体一个或数个区间发生某种改变而引起的电解质和/或 pH 的变化有多大。

为了理解电解质平衡和酸硷平衡间的相互关系，最好研究一下 Gamble 图表，这是对血浆中电中和定律的图解（图 4）。

血浆中主要的阳离子是钠（142 毫当量/升），钾、钙和镁一起构成其余的部分，使阳离子总量达到 153 毫当量/升。血浆中主要的阴离子是氯（101 毫当量/升），其次是碳酸氢（24 毫当量/升）、蛋白质（17 毫当量/升），还有其他一系列低浓度的阴离子：磷酸盐、硫酸盐以及残余的有机酸，如乳酸盐、丙酮酸盐等等。缓冲硷是碳酸氢和蛋白质的总和，即 $24 + 17 = 41$ 毫当量/升。正常血浆缓冲硷为 41 或 42 毫当量/升，此两个数值均可用，这和 Siggaard-Andersen 图表上的 BB 相同。因此，缓冲硷是酸硷平衡和电解质平衡间相连接的桥梁，如果说碳酸氢是一个相连接的桥梁也是正确的。但是，由于从缓冲硷所获得的有关代谢性酸硷平衡整个变化的定量资料，较从碳酸氢所得到的资料更好，因此作者只限于对缓冲硷的讨论。

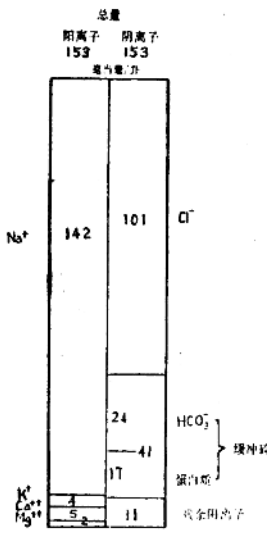


图 4 Gamble 图表

正常血浆中的阴离子和阳离子。

根据电中和定律，阴离子的总量和阳离子的总量相等，因此两个柱等高。由此可见，如残余阴离子量正常，则血浆 Na^+ （即 Na_p^+ ）— 血浆 Cl^- （即 Cl_p^- ）— 血浆 BB（即 BB_p ），残余阴离子常通过阳离子总数减去血浆 Cl^- 和血浆 BB 而测定出。

缓冲硷作为电解质和酸硷平衡间的一个桥梁，是酸硷平衡代谢性成分中必须要知道的两、三个参数之一。

象糖尿病酮症这样的情况下，硷过剩可降低 10 甚至 20 毫当量/升，因而 BB 变为 22 (42-20) 毫当量/升。为了保持电中和，必须增加 BB 以外的阴离子，或是减少阳离子。正如后面还要详述的那样，在糖尿病酸中毒时，残余有机酸的浓度会有所增加，阳离子和氯离子浓度也有改变。

在代谢性硷中毒时，BB 会有所增加，同时为了保持电中和，必须使某些其他阴离子减少，或是使阳离子增多。在代谢性硷中毒时，几乎总是氯的浓度降低，而且代谢性硷中毒最常见的临床病因就是氯丢失。硷中毒是某一种电解质丢失的结果，而不是相反。当 Cl^- 丢失时，必须有另外的阴离子来取代它，这时总是从代谢中利用碳酸氢。

记住下述事实是颇为重要的：碳酸氢的浓度决不是直接取决于其生成或排出情况，而是取决于阳离子比阴离子多余的数量，或者说：

血浆碳酸氢 $^-$ = 血浆阳离子 $^+$ - (血浆氯离子 $^-$ + 血浆蛋白质 $^+$ + 血浆残余阴离子 $^-$)

钠、钾、氯、硫酸盐、磷酸盐和其他离子被称为“固定的”离子，其浓度可通过呼吸及缓冲反应（见第 13、14 页）而迅速被调整。

如碳酸氢因过度通气而显著减少，则乳酸盐会增多以保持电中和。虽然乳酸盐因此比其他离子“固定的”程度为低，但当应用“固定的”这一术语时，它仍然被包括在内。

为了十分熟悉酸硷和电解质平衡，将电解质的资料用 Gamble 图表的形式画出来是有帮助的。如果在一些临床病例中应用了此种方法，那末学习者将很容易掌握各种因素的意义。在以后对一些不同的酸硷和电解质失衡的临床病症进行讨论时，会多次回到 Gamble 图表上来，其原因就在于此。

在进行巡诊时，作者常看到电解质和酸硷平衡的资料都很完全。应当指出，这样做很少是需要的。充分的理解将会有效地代替好几个多余的测定。象这样全面的资料可作为实验室工作的验证，否则，这样提供的唯一有用的资料就是报告了未分析的残余阴离子的浓度，后者仅在某些情况下是必要的。残余阴离子增多的主要临床情况是：

1. 糖尿病酮症；
2. 肾功能不全；
3. 组织缺氧所致的代谢性酸中毒；
4. 甲醇和水杨酸盐中毒。

在上述情况下，评定疾病过程中及治疗开始时残余阴离子有何变化是有用的。

为了确定变动方向，利用电解质的资料作一些简单的计算也是有用的。

由于电解质平衡和酸硷平衡间的相互作用，电解质资料常可用来作为酸硷状况的估算，反之亦然。这样的计算简单到可以不要笔和纸就足以完成，其临床用途可举例说明：正常情况下，血浆 Na^+ - 血浆 Cl^- = $142 - 101 = 41$ 毫当量/升。由此可见，此数值大约相当于正常的血浆缓冲硷（即 BB_p ），后者为 42 毫当量/升。这是由于其余的阳离子与残余阴离子大致相等：血浆 K^+ + 血浆 Ca^{++} + 血浆 Mg^{++} = 11 毫当量/升；残余阴离子 = $10 \sim 11$ 毫当量/升。

为了迅速判定酸硷平衡的动向，正如巡诊时需要的那样，只要从钠中减去血浆氯以得

知血浆缓冲硷就足够了。这样就会告诉我们，病人是否有任何代谢性酸硷失衡。这样的计算实际上立即就可显示出电解质平衡与酸硷平衡间的关系。虽然仅测定了两种电解质，但是我们却能估算出酸硷平衡的代谢性成分。

这种计算只有在蛋白质和残余阴离子正常的情况下才允许。因为血浆缓冲硷 = 血浆 HCO_3^- + 血浆蛋白质⁻，所以血浆蛋白质⁻减少(如肾病时)，将会在无任何酸硷失衡的情况下出现血浆缓冲硷减少。这从硷过剩中看得最清楚，因此时硷过剩未受影响。

此外，如残余阴离子也有异常，则情况将更为复杂。凡是怀疑残余阴离子有变化的情况下，最好是完全不要用这种单简化的计算法。残余阴离子只要有改变，总是意味着增多。可以列举两个最重要的实例，即肾功能不全和糖尿病性酮症时，这些残余阴离子就常有显著的增多。如按上述方法粗略地计算 BB，则算得的数值会过高。在这种情况下，如发现 BB 的数值低于 42 毫当量/升，即表明有代谢性酸中毒时，可以预期其真正的数值会更低，由此推断出代谢性酸中毒实际上更为重要。

重复说一下：有尿毒症或糖尿病酮症的病人中，计算残余阴离子是有益的。因为这些离子存在着原发性异常，而我们更常观察的其他电解质，其改变却只是继发于残余阴离子的变化。残余阴离子可用阳离子总量减去血浆 Cl^- 与血浆 BB^- 之和而求得，或写成下式：

$$\text{血浆残余阴离子} = \text{血浆阳离子总量} - (\text{血浆 } \text{Cl}^- + \text{血浆 } \text{BB}^-)$$

从上式中可以明显地看出，在估算残余阴离子时误差可以是很大的，这从下面列举的两个例子中可得到最好的说明。

假定测定阳离子的误差为 4%，血浆 Cl^- 的误差为 3%，BB 的误差为 5%。

如阳离子和阴离子的误差是按不同的方向发生时，则可得到下面两种结果：

$$\begin{aligned} \text{残余阴离子} &= 153 + (153 \times \frac{100}{4}) - [(101 - 101 \times \frac{100}{3}) + (42 - 42 \times \frac{100}{5})] \\ &= 159 - (97 + 40) \\ &= 159 - 137 = 22 \text{ (毫当量/升)} \end{aligned}$$

或是换一种情况

$$\begin{aligned} \text{残余阴离子} &= 153 - (153 \times \frac{4}{100}) - [(101 + 101 \times \frac{3}{100}) + (42 + 42 \times \frac{5}{100})] \\ &= 147 - 148 \\ &= -1 \text{ (毫当量/升)} \end{aligned}$$

上述例子表明，利用常规完成的化验室分析来计算残余阴离子，不幸并非都是可能的。

为了准确的测定残余阴离子，需要用稍许更复杂的方法。如上所述，这是因为血浆 BB 不仅受蛋白质浓度的影响，而且也受 pH 的影响。因此，血浆 BB 的两个因素，即血浆 HCO_3^- 和血浆蛋白质⁻，必须分别测定。血浆 HCO_3^- 可以从第 19 页上的 Siggaard-Andersen 图表中查到，而蛋白质浓度则必须用化学方法测定。血浆蛋白质⁻可从 van Slyke 等人的方程式中计算出：

$$\text{血浆蛋白质}^- = 0.104 \text{ (蛋白质克/升)} (\text{pH} = 5.08)$$

还可参阅 Rooth 和 Thalmé 的文章 (见 Amer. J. Obstet. Gynec. 108 : 232, 1970)。

第四章 酸的一般知识

前几章中已反复提到,为了评定酸硷和电解质平衡间的互相关系,用缓冲硷来表示是很方便的。那末,缓冲硷又是什么呢?在回答这个问题以前,重申一下酸硷的定义是有益的。这一命题的历史沿革,涉及面很广,有兴趣的读者可参阅 Weisberg 的说明。

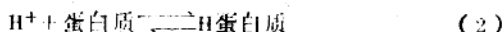
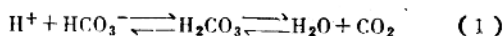
根据已被广泛接受的 Bronsted 的定义,酸是氢离子或氢原子核 (Proton) 的提供者,硷是氢离子或氢原子核的接受者。水可接受 H^+ 而形成 H_3O^+ , 或放出 H^+ 而形成 OH^- 。由此可见,水即是硷,又是酸, H_3O^+ 称为水合氢离子 (hydronium ion)。体内的氢离子只能是以水合的形式,即 H_3O^+ 而存在,但从临床应用方面考虑,本书中未顾及这种情况。 H_2O 只有很少一些解离成 H^+ 和 OH^- , 显然, H^+ 和 OH^- 的数量是相同的,每种离子的浓度都是 $1/100,000,000$ 当量/升或 10^{-7} 当量/升。pH 习惯上用 $- \log (H^+)$, 即氢离子浓度的负对数来表示;水的 pH 就是 7。

根据 Bronsted 的定义可以看出,在旧的医学教科书中被称为硷的 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等,实际上即不是酸,也不是硷,因为它们即不是氢离子的提供者,也不是氢离子的接受者。以往被称为硷的离子中大多是阳离子,但是正如 Gamble 图表上明显看到的那样,缓冲硷却是一组阴离子。这样看来是很混乱的,同时应当承认,缓冲硷并不是一个好的术语,但是在尚未有理想的替换词可以利用以前,我们还不得不应用缓冲硷这一术语。

酸硷平衡中最重要的因素就是 pH, 或者另外用氢离子浓度来表示。 H^+ 是一种阳离子,电解质在酸硷平衡中的重要性已经谈过了。最初会很奇怪,为什么 H^+ 未被包括在 Gamble 图表内,但是当氢离子浓度为 $1/10,000$ 毫当量/升时 (如上所述, $pH 7 = (H^+)10^{-7}$, 如用毫当量/升表示,就成为 $1/10,000$ 毫当量/升),在用毫当量/升标记的 Gamble 图表上就无法表示出来了。这在一定程度上也说明了氢离子的重要性,它在其浓度仅为钠、氯及许多其他离子几千分之一的情况下就能显示其生物学的影响。如用整数表示,则氢离子浓度变动于 $1/100,000$ 和 $1/10,000$ 毫当量/升之间。机体只能承受氢离子浓度轻微的改变。这些改变可能相对来说较大。因为,氢离子浓度在 pH 为 7 时相当于 pH 为 8 时的 10 倍,但与其他离子的改变相比较,其绝对量的变化却是很小的。

第五章 酸硷平衡的代谢性成分

依据 pH 稳定性的生理学定律, pH 不会有很大的变动。如大量氢离子加入到象机体这样的生物系统内,则可能被缓冲系统所吸收。这样,被吸收或离开血液的氢离子量,就在这些缓冲系统中表现出来,而不表现于氢离子的浓度中。



式(1)和式(2)指明了两个主要的缓冲系统:碳酸氢系统和蛋白质系统。当呼吸性酸

中毒时,会出现 CO_2 蓄积,此时式(1)将向左移,同时,由此引起的 H^+ 增多又使式(2)向右移,但 HCO_3^- 和蛋白质⁻的总量并不改变,这个总量就是缓冲硷。而且这两个方程式还表明,代谢性变量缓冲硷与呼吸性 CO_2 无关。如果不是 CO_2 ,而是其他酸加入进来,那末式(1)和式(2)均向右移, $\text{HCO}_3^- + \text{蛋白质}^-$ 的总量将会减少,也就是说,在代谢性酸中毒时,缓冲硷会有所降低。

酸硷平衡常用碳酸氢系统的变化来解释,但是这样做有一些缺点。

1. 将代谢性成分用 CO_2 总量或碳酸氢来表示,会使学习者感到很混乱,因为表面上看起来它与呼吸参数 PCO_2 太相近了。

2. 碳酸氢不能定量地指明血液中氢离子的过剩或缺失,因为它把其他缓冲系统排除在外了。由于在沒有作其他测定的情况下就可能获得定量的资料,因此有充分的理由在做同样工作量的条件下使所得的资料尽可能的完全。

缓冲硷至今仍被用来作为代谢性成分的术语,而且仅有少量的参考文献谈到硷过剩。硷过剩的定义是:在 PCO_2 40 毫米汞柱和 37°C 的条件下,将血液标本 pH 调至 7.40 所需的酸量或硷量。

硷过剩和缓冲硷这两个术语是密切相关的:

硷过剩 (BE) = 测定的缓冲硷 (BB) - 正常缓冲硷 (NBB)

如果出现代谢性酸中毒,因而 BE 为负值,即硷缺失 (BD) 时,则方程式变为:

硷缺失 (BD) = 正常缓冲硷 (NBB) - 测定的缓冲硷 (BB)

如无代谢性酸硷失衡,则 $\text{NBB} = \text{BB}$, $\text{BE} = 0$ 。就全血而言,正常的缓冲硷 (BB_b , 即全血的 BB) 如图 3 (第 6 页) 所示,是随着血红蛋白浓度的不同而有所差异。每 100 毫升血中有 15 克 Hb 时,全血的正常缓冲硷 (NBB_b) 为 46 毫当量/升; Hb 为 7 克时, NBB_b 为 44 毫当量/升。因此,在对 Hb 浓度不同的各个血液标本进行比较时,缓冲硷不是一个理想的参数。硷过剩 (BE) 的优越处在于不管 Hb 浓度如何,正常血中的数值均为 0, BE 另外还有一个好处,就是它能直接给出血中多余的酸量或硷量 (毫当量/升)。例如,正常血中加入 10 毫当量/升的 HCl 时, BE 就变为 -10 毫当量/升。如前所述, 血红蛋白为 15 克时,缓冲硷为 46 毫当量/升,当加 10 毫当量/升的 HCl 时, 则缓冲硷变为 $46 - 10 = 36$ 毫当量/升。当看到 BB 的数值为 36 毫当量/升时,习惯于用这种数值的人都很清楚,这是一个代谢性酸中毒,酸过剩了 10 毫当量/升,但是这必须从正常值中减去后才能得出。如果我们用 BE 来代替,那就不需要这样减一次了。

在谈到缓冲硷和硷过剩时,必须注意要明确这些数据究竟来自血浆还是全血。钠、氯和其他从血液中测定的任何指标也是同样的情况。为了避免混乱,最可靠的方法是经常写成 BB_b (全血缓冲硷) 或 BB_p (血浆缓冲硷) 以及 BE_b (全血硷过剩) 和 BE_p (血浆硷过剩)。正常的 BE 值不论血浆中还是全血中均为 0, 但 BB 正常值则不同,如前所述, 血浆中为 42 毫当量/升,全血中则更高,后者完全取决于 Hb 的浓度。

应用 BE 较之 BB 有若干优越之处。可是,为了确立酸硷平衡和电解质平衡间的相互关系, BB_p 是需要的, 因为 BB_p 是阴离子的一部分。一旦掌握了这些概念,那末理解和计算酸硷平衡和电解质平衡的变化就容易了,同时,学习者也将能理解为什么酸硷平衡与电解质平衡决不能分隔开来。

在结束本章关于酸碱平衡代谢性成分的内容以前，讨论一下波士顿的 Schwartz 和 Relman 对于 Astrup 及其同事所应用的硷过剩和缓冲硷这两个术语所表示的反对意见是颇有意义的。为了简明的叙述起见，作者在涉及到他们时写成 Astrup 和 Schwartz 以区别这两个学派。辩论已进行很久了，但所幸没有必要详细谈这些争论，因为这在很大程度上是关于词义方面的。在述及这一命题时，显然应当保持客观和用词严谨。诚然，近来在一段时间内，所以在酸碱平衡方面出现这样多附加的混乱，原因之一就是 Schwartz 的某些支持者自己所表示的感情方面的因素。

事实是这样的：Schwartz 研究了急性和慢性呼吸性酸中毒病例的酸碱平衡。他发现，当 PCO_2 增高到 70 毫米汞柱以上时，“体内”的硷过剩与 PCO_2 有相互依存的关系，因此他认为硷过剩和缓冲硷这两个概念是无用的，他还坚持，除了实际碳酸氢浓度外，没有什么理由再要用代谢性成分的其他任何参数了。随后，Schwartz 的支持者们还否认 Astrup 方法的所有贡献——虽然他们并未批评他的仪器，而且其中大多数人还应用 Siggaard-Andersen 图表来作他们自己的计算。

Schwartz 主张用一种“体内”滴定曲线的“生理性”方法来代替 Astrup 所用的以数字表示的代谢性成分参数。这些滴定曲线表明了 HCO_3^- 如何随着“体内” PCO_2 的变动而发生变化。Schwartz 也不喜欢用对数标尺，因此他画出的是 HCO_3^- 对氢离子浓度的值线关系。从这些图表中，他能看出，病人是否仅有呼吸性变化，或是还有酸碱平衡的代谢性失衡。

当然，上面介绍的只是许多种论述和画出酸碱平衡图中的一种。如前所述，目前可用的图表还有许多种。Schwartz 方法的缺点之一是：在缺乏代谢性成分数据的情况下，难以判定代谢性变化的程度，因此，从发展的观点出发，看看 Pontén 如何把硷过剩的等值线 (Base excess isopleths) 引入到 Schwartz 的图表中是特别有意义的。

根据 Schwartz 系统，难以研究酸碱平衡与电解质平衡间的相互关系。

在 PCO_2 很高的情况下，体内和体外硷过剩值的差异问题，在 Schwartz 以前已被其他人所注意过，而且也作为 Astrup 实验室的 Siggaard-Andersen 所述及过。应当了解的一个重要之点是：Schwartz 的批评只是在严重的呼吸性酸中毒时才是适用的。如图 5 所示，酸碱平衡涉及到四个主要方面。

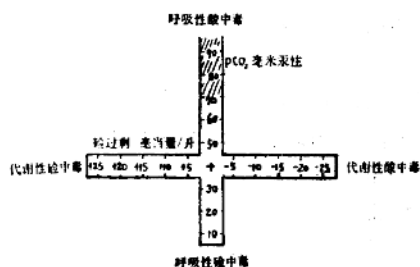


图 5 酸碱平衡的四个主要方面

Schwartz 的批评仅涉及呼吸性酸中毒，而且常常只是在阴影区内才有临床意义。