

馬永江等編著

水和电解质平衡 在外科上的应用

上海科学技术出版社



水和电解质平衡在外科上的应用

馬永江等 編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

近年来由于外科手术范围不断地扩大、发展,同时对于創伤、疾病和手术所形成的体液紊乱及其調节机制,也有不少新的发现。中华医学会上海分会外科学会有鉴于此,乃在1962年初組織了一次专题讲座,对于水和电解质平衡的原理及其在临床外科中的应用問題,作了有系統的讲解和分析。事后,为了满足未能参加听讲的医务工作者,汇编成册以饗讀者。

水和电解质平衡在外科上的应用

馬永江等編著

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出003号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 6 排版字數 157,000

1963年4月第1版 1963年4月第1次印刷 印數 1—10,000

統一書号 14119·1089 定价(十二) 0.86 元

前 言

現代外科学家除了对創伤愈合、血液凝固、内分泌的代謝、恢复期的代謝、骨与胶原质的物理化学和体液的生物化学等方面有濃厚的兴趣外,还对損伤、疾病和手术所形成的体液紊乱及其調节当作主要的課題来研究。这是由于外科疾患常伴有水和电解质的不平衡,而後者的处理又是决定病人預后的关键。近年来由于外科手术的範圍又在不断地迅速发展,这一系列新的、扩大的手术带来了不少手术前后水和电解质的紊乱。为此有很多生物化学家和临床外科学家,在近 10 年来对水、电解质平衡問題,作了不少深入的研究。

中华医学会上海分会外科学会在 1962 年初,将水和电解质平衡列为临床外科的基本功之一,組織一个水、电解质平衡专题小組,由馬安权、吳珏、董方中、史济湘、吳肇光和編者等具体負責。自 1962 年 3 月开始分別由上述組員作有系統的讲座,每两周一次,至同年 7 月上旬結束,共計 8 次,包括下列讲題:总論,腎功能,酸碱平衡,水、电解质与麻醉,創伤与手术后的水、电解质平衡,胃腸道外科疾病中水、电解质平衡,急性腎功能衰竭和小儿外科疾病的水、电解质平衡等。在准备讲座时受到中华医学会上海分会外科学会主任委員傅培彬院长和各医学院校党和行政負責同志的督促和鼓励,并承上海科学技术出版社允予将讲稿作为汇编出版。可是限于編者等的业务水平,对本专题的探討尚不够深入,編写時間也較匆促,因此在內容方面,缺点和不足之處一定很多,希望讀者提出批評和指正。

馬 永 江 1962 年 8 月

目 录

水和电解质平衡——总論	1
一、引言	1
二、机体的稳定性	3
三、体液的代謝	3
四、水和电解质的正常平衡	12
五、水和电解质的平衡失調	14
六、体液不平衡的診斷	17
七、水和电解质紊乱的治疗原則与程序	18
八、結語	24
肾脏調节水与电解质之功能	27
一、引言	27
二、肾脏的功能单位——腎单位	28
三、鈉离子的代謝	37
四、鉀离子的代謝	40
五、氫离子的排出——尿的酸化作用机制	44
六、內分泌对于水、电解质代謝的影响	46
七、內分泌的調节与体液容量、渗透压相互之間的关系	53
酸碱平衡	57
一、引言	57
二、酸和碱的意义	57
三、酸碱平衡中常用的名称	58
四、机体对酸碱平衡的調节机制	60
五、酸碱平衡失調的分类及其产生和糾正机制	67
六、酸碱平衡失調的治疗	71
七、酸碱平衡失調之常見类型	76
八、其他影响酸碱平衡的因素	79
九、結語	80

水、电解质平衡与麻醉	82
一、引言	82
二、肾功能与神经内分泌	84
三、代谢型酸中毒	88
四、呼吸型酸碱平衡失调	90
五、掌握和处理的原则	93
六、结语	97
创伤及手术后水、电解质和代谢反应的变化	101
一、引言	101
二、系统性反应	101
三、神经内分泌系统的反应	103
四、代谢反应简述	106
五、创伤后水、电解质的分布与紊乱	109
六、手术后水、电解质的代谢紊乱	112
七、手术或创伤后的补液问题	116
外科胃肠道疾病中水和电解质紊乱的处理	121
一、引言	121
二、病理生理	122
三、临床表现	128
四、诊断	129
五、预防和治疗	130
六、常见外科胃肠道疾病的体液变化	135
七、结语	141
急性肾功能衰竭	143
一、引言	143
二、致病原因	144
三、急性肾功能衰竭时的体液改变	149
四、急性肾功能衰竭的诊断	152
五、急性肾功能衰竭的处理	158
六、结语	170
小儿外科疾病之水、电解质平衡	173
一、引言	173

二、生理解剖特点	173
三、正常需要量	175
四、失衡量和額外丧失量	178
五、常見水、电解质紊乱及治疗原则.....	179
六、小儿外科水、电解质补充的具体方法.....	181
七、結語	185

水和电解质平衡——总論

馬 永 江

一、引 言

临床医学的各个部門均有其不同的重点，这些重点又都有一定的相互交叉之处，但每一部門均有其主要的一面。例如小儿科着重在小儿生长发育方面的研究，内科則將內脏的原发病作为重要的課題。临床外科的主要方面是损伤、疾病和手术所造成的体液紊乱及其調节障碍。当然新型的外科尚有其他主要的課題，如骨与胶原质的物理化学，伤口愈合，血凝固，皮质激素的合成与代謝，以及体液的生化等。

外科病人大多数是以急症姿态出現的，在数小时之前尚是一个完全健康的人，而于創伤后大量失血、腹膜炎、燒伤、急性感染、大手术后等即出現一系列的紊乱。所以外科医务工作者必然对正常人的健康状态、“內环境”的伸縮性以及损伤后如何方能使机体化学与代謝紊乱恢复正常等問題感到关切。

外科病人丧失大量体液后所造成的后果，不是外科医务工作者可用某些常規、某些簡便方案所能解决的，决定某些治疗方針或方案时，必須根据下列几点：(1) 对机体正常組成的知識；(2) 对丧失体液及其原发病正确而詳細的病史；(3) 水和电解质紊乱对人体組成和功能的影响。虽然过去的治疗經驗有助于临床症状的解釋和治疗，但如对身体、生理情况了解愈深，則可作出更理想的治疗方案。对于水和电解质紊乱的病人，不可能有一套固定不变而适用于每一个病例的診斷和治疗方法，因为病人的机体經常不断地进行着互相联系的、复杂的代偿反应，可是后者常被临床工作者由于追求簡便的治疗方法而忽視。

外科工作者应当承担体液紊乱后一切細致的处理，因此必須掌握有关的資料。在 1939 年以前关于体液生理上的知識只限于血浆与細胞外液某些成分的化学，以及血浆与細胞外液量的測定方法。但在近 15 年来，由于稀釋測定法 (Dilution Technique) 和放射性同位素的应用，涌現出一系列新的測定方法，如紅血球、血浆、全身体液、細胞內液的容量，体液中和組織中可交換的鈉、鉀和氯的量。根据上述資料，目前对細胞周圍的水容量、細胞內和細胞外組成有了較深的認識。

可是这些新的測定还不能提供全身体液的整个面貌，測定所得的数据亦有技术上的差錯和生理上的差別，尤其在疾病时和損伤后其差別更大。因此这些測定必須在同一病人身上重复施行來作比較，始有重要的价值，決不可依賴一个測定所得作为最后結論。某些測定方法需要特殊的精密仪器和特殊操作訓練，因此只能用于研究工作或偶而用于临床，不能作为常規操作，必須进一步簡化和改进后方能在临床上应用。近数年来某些基本知識業已滲入对某些疾患的認識和处理。可是目前所有最完整的實驗室报告还不能将病人全貌表示出来，并且这些實驗室报告尚存在下列問題：(1) 需要相当時間，紧急情况下不能及时得到报告；(2) 每一个化驗本身有一定的差錯率；(3) 对真正的正常数值尚无一致同意的定論，有时在临床上如欲将病人某些測定結果恢复正常数值时有一定的危險性，例如糾正酸中毒时可能变成碱中毒；(4) 實驗室报告可能帶來錯誤情报，并且这些情报最多是肯定診斷而不是作出診斷，例如血清鈉报告是低的，但实际上机体內总鈉量是正常的，或是高于正常。所以單純地依賴化驗报告是不可靠的，因此，縝密而持續的临床观察較之實驗室报告更为重要。必須对机体各部分看成一個互有联系的整体，是一个完整的功能单位，这是近代生理学的主要精华所在。

在体液代謝方面，有三个主要問題需要了解：(1) 調节机体的体液量；(2) 体液中离子总数調节体液的滲透压；(3) 体液中离子不同的比例調节体液的酸碱度。

二、机体的稳定性

根据 1960 年 McCance 的看法,水和电解质平衡基本上需要三个条件来完成:(1)机体在外界引起生理和病理改变时调节其内环境以求适应;(2)机体在细胞功能紊乱时调节内环境;(3)内环境有一定的稳定性。关于机体内环境的稳定性是近代水和电解质理论中的一个重要论点。象人类这样复杂的动物,自胎儿时期到老年死亡止,经常维持一定的“机体稳定性”。人体自胎儿至老年时期并非维持一个恒定不变的机体组成,而是随着不同的年龄进行一系列的调整。后者是通过肾脏、肺、肾上腺、脑下垂体、脑干及其他因素在生长和组织新陈代谢之间的调节。这就是机体的稳定机制。这个看法与以往 Claude Bernard 的“恒定内环境”学说有本质上的区别。目前的科学证明,从胎儿至老年的内环境是稳定的,可是体液的量与组成在每一个时期是不同的。胎儿及婴儿的细胞外液是多于成人的,电解质与蛋白等成分也有不同的水平。胎儿除肾脏以外,羊膜、羊水和胎盘也是维持电解质平衡的重要器官。在婴儿时期,由于肾功能尚未臻健全,因而食物与生长的因素对维持电解质平衡方面较肾脏更为重要。可是在成人时期,肾脏成为主要调节水与电解质的器官,它远较食物、生长的重要性为大。老年人由于肾功能减退,肺的伸缩性降低,所以内环境的稳定更需要精密的调节,这与青年成人又有不同之处。

三、体液的代谢

(一) 体液的分布

全身体液目前仍认为在体重 45~60% 之间,成年男性为 55%,成年女性为 50%,婴儿为 75%。以往将全身体液分成两个间隙:细胞外间隙(又可分间质体液与血浆)与细胞内间隙。1959

年 Edelman 等认为細胞內液仍聚积在一个間隙內，而細胞外液則不能象过去的那样分法，必須再分成四个主要部分：(1) 血浆；(2) 間质体液与淋巴；(3) 致密結締組織、軟骨、骨；(4) 经过細胞 (Transcellular) 的体液。

(1) 血浆 是在心脏与血管之內的体液。

(2) 間质体液与淋巴 代表細胞周圍的体液。

(3) 致密結締組織、軟骨、骨 这些組織由于結構的不同和血液供应較少，所以与其他間隙內水和电解质交換較少。因此必須划分为細胞外液中的特殊部分，不能与上述二部分混淆。

(4) 经过細胞的体液 包括由某些細胞轉运或分泌的細胞外液，如在唾腺、胰腺、肝胆系統、甲状腺、性腺、皮肤、呼吸道、消化道和肾脏粘膜等处的分泌。当然也包括眼球內的液体、脑脊液与消化道管腔內的分泌物。

因此目前对体液分布的新概念是，細胞外液中有很大一部分不是血浆和間质体液，約占全身体液的 17.5%。

来 源	毫升/公斤体重	全身体液的%
細胞內	330	55.0
細胞外	270	45.0
血浆	45	7.5
間质+淋巴	120	20.0
結締+軟骨	45	7.5
骨	45	7.5
经过細胞	15	2.5
全身体液	600	100.0

有关 Na^+ 和 K^+ 的分布情况如下：

1) Na^+ 的分布

血浆 $\text{Na}^+ = 11.2\%$ ，間质淋巴 $\text{Na}^+ = 29.0\%$ ，結締組織与軟骨 $\text{Na}^+ = 11.7\%$ ，骨 $\text{Na}^+ = 43.1\%$ (全)，其中可交換骨 $\text{Na}^+ = 13.8\%$ 。細胞內 $\text{Na}^+ = 2.4\%$ ，经过細胞 $\text{Na}^+ = 2.6\%$ 。所有的 Na^+ 均可交換，除了骨全部 Na^+ 减去可交換骨 Na^+ ，即 $43.1 - 13.8$

=29.3% 不能交換,故可交換 $\text{Na}^+=70.7\%$; 水腫時可增加 20~100%, 阿狄森氏病可減少 50%。

2) K^+ 的分布

血浆 $\text{K}^+=0.4\%$, 間质淋巴 $\text{K}^+=1.0\%$, 結締組織与軟骨 $\text{K}^+=0.4\%$, 骨 $\text{K}^+=7.6\%$, 細胞內 $\text{K}^+=89.6\%$, 經過細胞 $\text{K}^+=1.0\%$ 。

目前估計体液時仍用下列數值:

細胞外液(升) = 体重(公斤) $\times 20\%$; 例如:

$$70 \text{ 公斤} \times 20\% = 14 \text{ 升}$$

細胞內液(升) = 体重(公斤) $\times 40\%$; 例如:

$$70 \text{ 公斤} \times 40\% = 28 \text{ 升}$$

(二) 机体脂肪含量和体液的关系

一般計算全身体液量往往用体重之%作为根据, 目前认为这种估計是不够准确的, 应当考虑机体的脂肪含量。1950年 Hardy 等观察到血容量在很胖的人是 70 毫升/公斤体重, 在很瘦的人是 105 毫升/公斤体重, 一个人的脂肪含量可占全身体重的 10% 至 50%。极度肥胖的人, 全身体液可在 40% 体重之下(38%)。中性脂肪基本上不含水, 故水分愈多, 脂肪愈少; 脂肪愈多, 水分愈少。含水丰富的組織为肌肉和內脏(見下图)。

1956 年 Allen 等提出下列公式来計算血容量与脂肪含量:

血容量

男性: 血容量(升) = $0.417 [\text{高度(米)}]^3 + 0.045 \text{ 体重(公斤)} - 0.03 \text{ 升}$

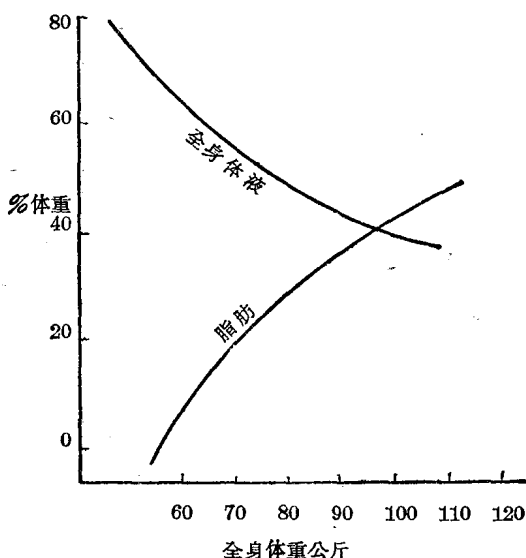
女性: 血容量(升) = $0.414 [\text{高度(米)}]^3 + 0.0328 \text{ 体重(公斤)} - 0.03 \text{ 升}$

脂肪含量

男性: 脂肪含量(公斤) = $0.685 \text{ 体重(公斤)} - 5.86 [\text{高度(米)}]^3 + 0.42 \text{ 公斤}$

女性：脂肪含量(公斤) = $0.737 \text{ 体重(公斤)} - 5.15 [\text{高度(米)}]^3 + 0.37 \text{ 公斤}$

Moore 提出： 脂肪 % = $100 - \frac{\% \text{全身体液量}}{0.73}$



上升脂肪含量与全身体液量下降关系之示意图

(三) 影响全身体液分布的因素

聚积在体内水的总量是比较恒定不变的，可是水的分布经常是在改变。身体内各个间隙内水的含量与分布的改变取决于渗透压，这些渗透压是由体液中溶质来维持的。

1. 体内溶质

体液内溶质非但对体液分布有主导作用，并可维持酸碱平衡。为了叙述的方便，可将体内溶质分成三类：

(1) 小分子的有机物质(葡萄糖、尿素、氨基酸等) 由于这类

物质可自由通过細胞膜，它們对水的分布不起主要作用，但上述物质大量存在时，可潴留水分，因此亦可影响全身体液的分布。

(2) 大分子的有机物质(主要是蛋白质) 血蛋白的主要功能之一为維持血流与組織間隙之間的渗透关系。血蛋白負責血液渗透压总数(4940 毫米汞柱)中的 25 毫米汞柱，組織間隙內亦有少量蛋白具有 10 毫米汞柱渗透压，因此血液有效渗透压为 $25 - 10 = 15$ 毫米汞柱。如能維持这压力，即可将水与溶质从組織間隙回收至血液內；但血管內的靜水压企图将水分压出血管，所以渗透压与靜水压的对抗結果，决定了液体流动的方向。在毛細血管动脉端有效血压为 22 毫米汞柱，而渗透压为 15 毫米汞柱， $22 - 15 = 7$ 毫米汞柱，所以水从血管內流出至組織間隙。在毛細血管靜脉端，有效血压为 7 毫米汞柱，而渗透压为 15 毫米汞柱， $15 - 7 = 8$ 毫米汞柱，所以液体回收至血管內。在維持渗透压的血浆蛋白中，白蛋白占主要地位，因 1 克%白蛋白可有渗透压 5.54 毫米汞柱，同量球蛋白只有 1.43 毫米汞柱。目前认为 1 克白蛋白可以保持 18 毫升在血內的液体部分。因此濃縮白蛋白(25 克/100 毫升) = 500 毫升血浆的渗透作用，这对增加血容量和从組織間隙內回收水分有很大作用。

血浆蛋白最主要作用是将水从一个間隙移至另一个間隙，对全身体液无甚影响。

(3) 无机的电解质 由于身体內有大量的电解质，因此它对身体水分的分布和聚积起了主要的作用。

鈉和鉀在水代謝中的重要性：在全身控制渗透压和总水量时 Na^+ 和 K^+ 为体液中最重要因素。

1) 鈉 Na^+ 为細胞外液中的骨干分子，可以决定細胞外液中水的总量。因此在細胞外液中缺少 Na^+ 时，細胞外液即减少，反之則可聚积水分增加細胞外液量。 Na^+ 除了决定細胞外液渗透压外，亦为維持 pH 的主要离子，所以說鈉是細胞外液的“骨干”。

2) 鉀 在某些情况下(嘔吐、腹瀉、长期胃吸引)有大量 K^+ 損失，如仅补充 Na^+ ，則 Na^+ 可进入細胞內形成很大的細胞代謝上

紊乱,如碱中毒,在治疗上应当同时补充鈉和鉀。

3) 电解质对水轉移的影响 由于水可在細胞膜自由出入,其轉移方向取决于細胞内外对有效渗透压有影响的电解质,如 Na^+ 和 K^+ 。临床上細胞外液电解质濃度改变为水轉移最常見的原因。这是根据 Darrow-Yannet 的理論。当水注入身体后,即很快地分布到細胞内外間隙,当鈉盐注入体内后,由于盐在細胞外液中增多,为了維持渗透压的平衡,水即从細胞内逸入細胞外間隙。这是临床治疗水中毒的根据。

4) 如何維持細胞内外液中电解质濃度的不同 細胞内主要阳离子为 K^+ ,而細胞外主要阳离子则为 Na^+ ,目前对这个細胞内外电解质不同濃度的解釋有下列公认理論。

① “鈉泵”学說:鈉为何不在細胞内而在細胞外,可用鈉泵学說来解釋。

i. 营养物质 $\longrightarrow$ 細胞 $\longrightarrow$ $\left. \begin{array}{l} (1) \text{ 糖 分 解} \\ (2) \text{ 呼 吸} \\ (3) \text{ 脂肪分解} \end{array} \right\} \longrightarrow \text{燃烧} \longrightarrow \text{能}$

量 = ATP。

ii. ATP $\longrightarrow$ 推动鈉泵 $\longrightarrow$ $\left. \begin{array}{l} (1) \text{ 將細胞内 Na 抽出去。} \\ (2) \text{ 將細胞外 K 抽进来。} \end{array} \right\}$

iii. $\left. \begin{array}{l} \text{心力衰竭} \\ \text{尿 毒 症} \\ \text{营养不良} \\ \text{慢 性 病} \end{array} \right\} \text{破坏細胞内代謝过程} \longrightarrow \text{减少 ATP} \longrightarrow \text{使鈉}$

泵无原动力。 Na^+ 与 K^+ 即按細胞内外濃度决定其細胞内外位置。 Na^+ 与 K^+ 在細胞内外的新比例破坏正常 $\frac{\text{細胞内 K}}{\text{細胞外 K}}$ 和 $\frac{\text{細胞外 Na}}{\text{細胞内 Na}}$ 比例,細胞外 K 相对的上升,而細胞外 Na 則相对下降,影响水的潴留和代謝紊乱。

② “鉀固定”学說:由于細胞内有荷負电的蛋白质,因此鉀离子即被固定在荷負电的蛋白质上,这是細胞内 K^+ 高的原因,特別

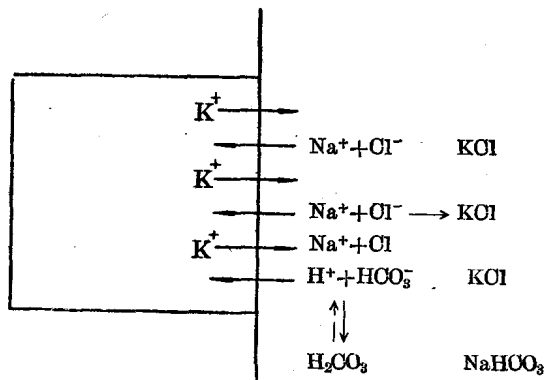
是肌細胞內的肌素 (Myosin) 可将 K^+ 固定。

③ 载体轉运論：要进入細胞的离子+载体 $\longrightarrow$ 离子①载体复合物 $\longrightarrow$ 通过細胞膜 $\longrightarrow$ 在細胞內解除载体与离子的亲和力 $\longrightarrow$ 载体② + 离子 $\longrightarrow$ 载体由細胞內外出 $\left\{ \begin{array}{l} (1) \text{ 空手} \\ (2) \text{ 帶其他細胞內物质} \end{array} \right.$ $\longrightarrow$ 細胞外。

〔例〕哺乳动物細胞 Na^+ 和 K^+ 的进出，
腎小管細胞的重新吸收与分泌，
胃腸道細胞的吸收与分泌，
細菌的摄入糖，氨基酸和无机离子。

载体轉运过程是一个重要的机制，它可使一个細胞：(1) 从細胞外摄入需要的营养物质，而这些物质在細胞內的濃度是相当高的，根据渗透規律这些物质不能进入細胞內；(2) 使細胞排出不需要的物质，从而維持一个正常的細胞內容量和环境。

④ 离子交换机制：細胞內鉀离子外逸时即有鈉离子交换进入細胞內。根据目前研究細胞內出来三个 K^+ ，即有二个 Na^+ 和一个 H^+ 进入細胞內，因此有一个 $NaHCO_3$ 多余，即形成碱中毒。



① 与 ② 均需 ATP。

5) 电解质的三个主要功能

① 渗透压与水平衡的管制：細胞內与細胞外的渗透压是經常保持相等的。在健康情况下体液的渗透压 = 310 毫当量/升。

細胞內外离子成分是不相同的，水在細胞內外的轉移是維持渗透平衡的主要方式，当机体的水和电解质有改变时，即用上法来維持渗透平衡。

② 維持正常神經肌肉功能：机体的电解质质量在于維持一定的平衡，主要是由肾脏来担負。許多阳离子的水平与平衡对維持正常肌肉神經功能是十分重要的。正常情况下这些阳离子的量很少变更，电解质变动很大时，即不能生存，过多或过少均可引起症状。

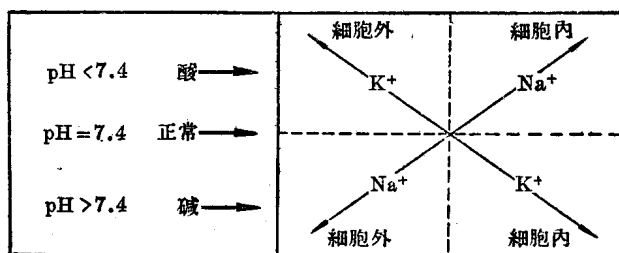
③ 电解质对酸碱平衡的关系：

酸中毒：K 从細胞外逸，細胞外 K 上升；

Na 从細胞外进入細胞內。

碱中毒：K 帶 H^+ 进入細胞內；

Na 由細胞內外逸，加重細胞外碱中毒。



細胞外体液 pH 应維持在 7.35 至 7.45 之間，在这幅度之外的 pH 即不能維持生命。緩衡系統 HCO_3^- 是主要維持酸碱平衡的系統。

$$pH 7.4 \text{ 时} = \frac{1.35 \text{ 毫当量/升 } H \cdot HCO_3}{27 \text{ 毫当量/升 } HCO_3} = \frac{1}{20}$$

維持 HCO_3^- 緩衡系統的平衡有二个主要生理机制：(1) 呼吸机制——保存或呼出 CO_2 ；(2) 腎——分泌酸性尿 (pH 4.2) 而保留碱，和制造 NH_4^+ 来与阴离子結合使 HCO_3^- 回收至腎小管。