

131929



# 細胞外液的化學組成 生理和病理



2

人民衛生出版社

369

131929

/442

—51496—

# 細胞外液的化學組成 生理和病理

J. L. 甘 伯 著

全如斌 李鼎九 譯

劉思職 劉 永 校

人 民 衛 生 出 版 社

一九五五年·北 京

CHEMICAL ANATOMY  
PHYSIOLOGY AND PATHOLOGY  
OF  
EXTRACELLULAR FLUID  
A LECTURE SYLLABUS

James L. Gamble

Department of Pediatrics  
The Harvard Medical School

Harvard University Press

Cambridge, Mass.

1949

## 內 容 提 要

本書內容主要以圖表敘述體液及其所含電解質在生理的與某些病理的狀態下動態的平衡並配合精簡的解釋。

全書共有五十二組圖表，藉以說明細胞外液的組成、酸鹼度與滲透壓的調節、腎臟對體液化學組成的保護作用以及脫水和酸鹼中毒之病理發生等等。因此本書對生理學研究工作者有參考價值。

### 細胞外液的化學組成 生理和病理

書號：1801 開本：787×1092/25 印張：6 $\frac{23}{25}$  字數：76 千字

全 如 斌    李 鼎 九    譯

人 民 衛 生 出 版 社 出 版

(北京書刊出版業營業許可証出字第〇四六號)

• 北京崇文區綏子胡同三十六號 •

公私合營醫學圖書印刷廠印刷 • 新華書店發行

1955年11月第1版——第1次印刷

印數：1—2,100

(長春版)定價：(7)0.71元

## 本書所用的單位

在研究細胞外液的化學組成時，其中每一成分的單位最好用化學當量。只有這樣，它們相對的大小及其間的關係才能正確地反映出來。最適合的單位是每升若干毫克當量。用原子量去除每升所含毫克數再乘以原子價，就得出每升的毫克當量值。

因為無機離子的濃度通常是用每100毫升的毫克數計算，故變成每升毫克當量數值應按下列方法計算：

$$\begin{aligned}\text{Na}^+ & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 23 \\ \text{K}^+ & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 39 \\ \text{Ca}^{++} & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 40 \times 2 \\ \text{Mg}^{++} & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 24 \times 2 \\ \text{Cl}^- & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 35 \\ \text{HPO}_4^{--} \text{ (毫克P)} & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 31 \times 1.8 \\ \text{SO}_4^{--} \text{ (毫克S)} & \quad \text{毫克/100毫升} \times 10 \div 32 \times 2\end{aligned}$$

$\text{HPO}_4$ 的價數以1.8計，是因為在細胞外液的正常pH時，這離子中有20%以單價的形式 $\text{BH}_2\text{PO}_4$ 存在，80%以雙價的形式 $\text{B}_2\text{HPO}_4$ 存在；B代表單價的鹼基。因之每單位 $\text{HPO}_4$ 的鹼基量值應為 $0.2 + (0.8 \times 2) = 1.8$ 。所以雙價的符號是有一定的不正確性。

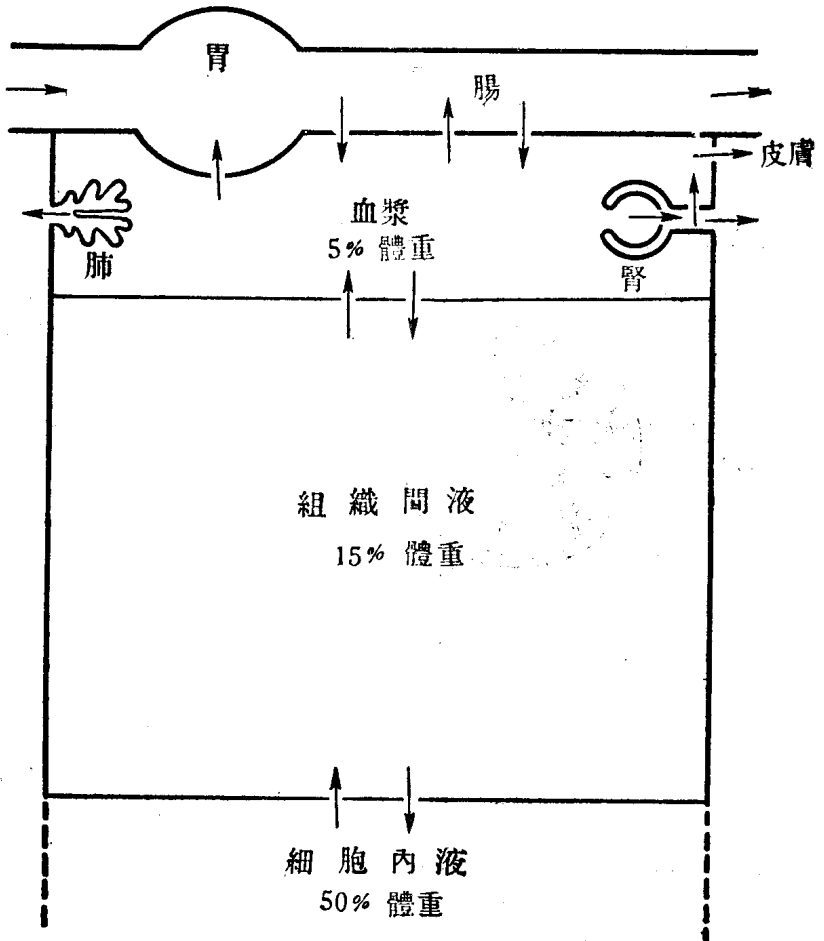
表示碳酸( $\text{H} \cdot \text{HCO}_3$ )和碳酸氫鹽( $\text{B} \cdot \text{HCO}_3$ )濃度的傳統單位是每100毫升的 $\text{CO}_2$ 體積數。用2.22去除這個體積數就得出每升的毫克當量數。

研究細胞外液的滲透平衡時，其中每一成分的單位是用離子濃度來表示。換句話說，就是不考慮原子價了。最適合的單位是每升毫滲透壓當量數(用原子量去除每升毫克數)。單價離子的毫滲透壓當量值和毫克當量值顯然是同樣的。雙價離子的化學當量值是它的毫滲透壓當量值的兩倍。我們用毫滲透壓當量值而不用毫克分子數，是為了表明多數離子的總滲透壓為其個別離子滲透壓的和；譬如氯化鈉溶液的毫滲透壓當量值為其毫克分子值的兩倍。

## 目 錄

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 正常組成(圖 1—3).....            | 1   |
| 酸鹼度的調節(圖 4—13).....         | 8   |
| 滲透壓的調節(圖14).....            | 34  |
| 腎臟對體液化學組成的保護作用(圖15—30)..... | 36  |
| 體液體積的調節(圖31—35).....        | 83  |
| 脫水現象的病理發生(圖36—40).....      | 98  |
| 酸中毒及鹼中毒的病理發生(圖41—44).....   | 117 |
| 胃腸外輸液療法(圖45—50).....        | 126 |
| 附錄(附圖 1—2).....             | 138 |

圖 1



細胞外液包括血漿及界於血管及組織細胞間的組織間液（包括淋巴）。在功能上，細胞外液可以認為是一個獨立的系統。它的生理功能正像神經系統同樣的明確，而它的組織也是同樣的巧妙。

正如 Claude Bernard 氏所描寫的，細胞外液構成了機體緊鄰的環境；它代替了原始生物的外環境（海水）。但是二者基本上却是極為相似的，在組織細胞周圍的水溶液是運輸營養物及廢物的交通工具，除了這個簡單的功用之外，它又使生理化學狀況保持穩定，如氫離子濃度、滲透壓及溫度等。細胞液中的氫離子濃度、滲透壓、溫度等數值決定於細胞外液的數值，而整個生命過程正需要這些數值的近乎恆定。

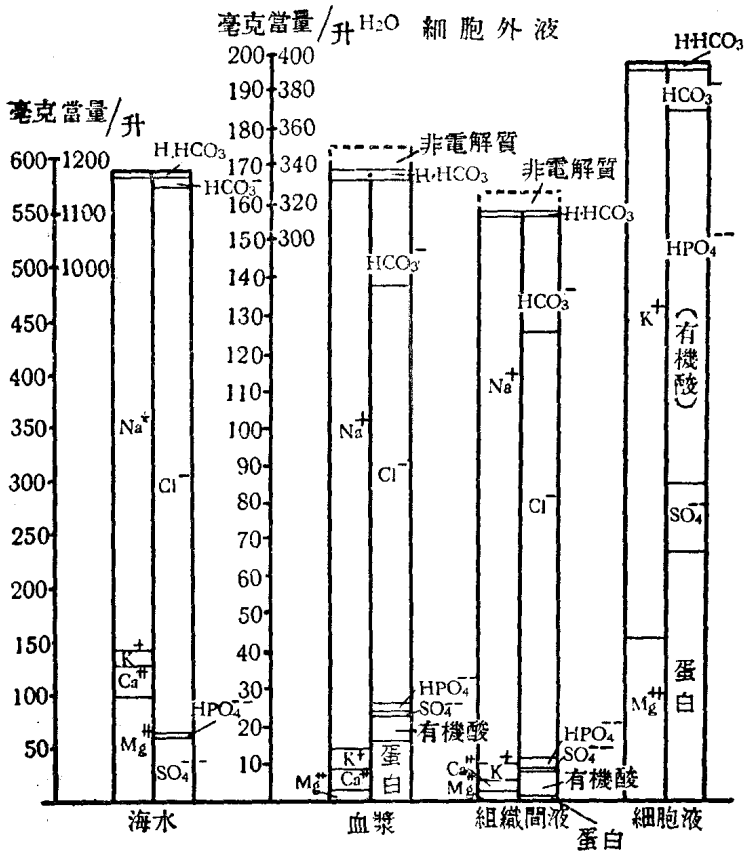
機體需要一個如可以運輸各種不同的化學物質的溶液，同時又需要保持其物理性能近於平衡狀態。因此，就不僅需要這溶液本身能適合以上條件，並且需要有一個比較複雜的機構來控制和調節。這個溶液在體內的運行靠心臟血管系統、藉肺臟龐大的血管系統與外界交換氣體。紅血球是個特殊的運輸工具，含有血紅蛋白，它有與氧及二氧化碳可逆性結合的能力；因此，它可以按所需要的速度，運輸體內代謝過程中的這兩個最主要成分。另外一個調節的器官，腎臟，則維持細胞外液的化學組成。Mac Callum 氏認為體內建立了封閉的水溶液內環境是動物演化史中的最大進步，而在此方面腎臟有其相當重要的意義。

細胞外液的總量大約有體重的20%。如圖中所示， $\frac{1}{4}$ 存在血管系統中， $\frac{3}{4}$ 存在組織間隙。在組織細胞內的液體大約為體重的50%，為其四周介質的2.5倍，攝入的物質首先進入血漿，而這部分迅速運轉的體液是直接接受調節機構的控制；在微血管的動脈端，由於心臟收縮而造成的血壓促使液體外滲至細胞間隙；在靜脈端，血漿蛋白質所產生的滲透壓使液體回到血管系統內。細胞外液的化學組成將在下圖中說明。



圖 2

細胞內、外液的化學組成



圖中用酸鹼當量表明細胞外液(包括血漿及組織間液)、海水及細胞內液的化學組成,每個陽離子(或稱為潛在鹼基 Potential base)的數值均列於左側,陰離子(或酸根)列於右側,每一個組成部分的數值都可以在縱坐標中讀出,在標尺上內側的數值表示總

當量數值(即陰陽離子的總值)。單位是以每升水溶液計,蛋白質所佔的體積略而不計。

由中間的兩個圖解看出血漿及組織間液的化學組成甚為相似,他們惟一主要的區別在於後者中的不擴散的物質(蛋白質)較少,這就需要調節可擴散的離子的濃度以保持陰陽離子間的平衡(即所謂多南氏平衡 Donnan's Equilibrium)。與血漿相較,細胞間液中的蛋白質非常少,但細胞間液中陽離子亦相應地較少,同時可擴散的陰離子却較多,這樣就維持了細胞間液中的當量平衡,結果是血漿內酸鹼物質的總當量比細胞外液者多,其超出的部分近於血漿蛋白質的鹼當量數值(16毫克當量每升)。由於蛋白質的多價性,它的化學當量為其濃度的 8 倍。所以此二體液的濃度差別約為 2 毫克滲透壓當量/升(milliosmols)。這小的區別對於細胞外液的循環有重要的意義(見圖 1)。血漿中存在的非擴散物質促使液體在血漿及組織間液之間交換,自然,這並不能妨碍細胞外液本身自成一個完整統一的介質。

非電解質的總量列於每個圖解的頂端,其中包含營養物質;葡萄糖,氨基酸等及蛋白質代謝所產生的廢物。雖然在單位時間內體液所運輸的非電解質總量較電解質多數倍,但以濃度而言,它只在圖上相對地佔有很小的地位,非電解物只需要迅速的運輸,電解質則構成了穩定細胞外液的物理性質的基礎。運輸這些物質也是為了保持其物理性質穩定的需要,這就是電解質突出重要的地方。

從演化史看來,細胞外液的化學組成與海水極為相似,在海水組成的圖解中可見到同樣的四種鹼基,鈉與氯離子的突出地位,和同樣的碳酸和重碳酸鹽的緩衝系統。在細胞外液中可以明顯地見到與海水相似的基本化學組成。海水的總離子濃度比細胞外液要大數倍。這個可能是由於海水濃度不斷增長的緣故,而細胞外液的離子濃度仍然維持在剛剛建立起來的液體內環境的海水情況。

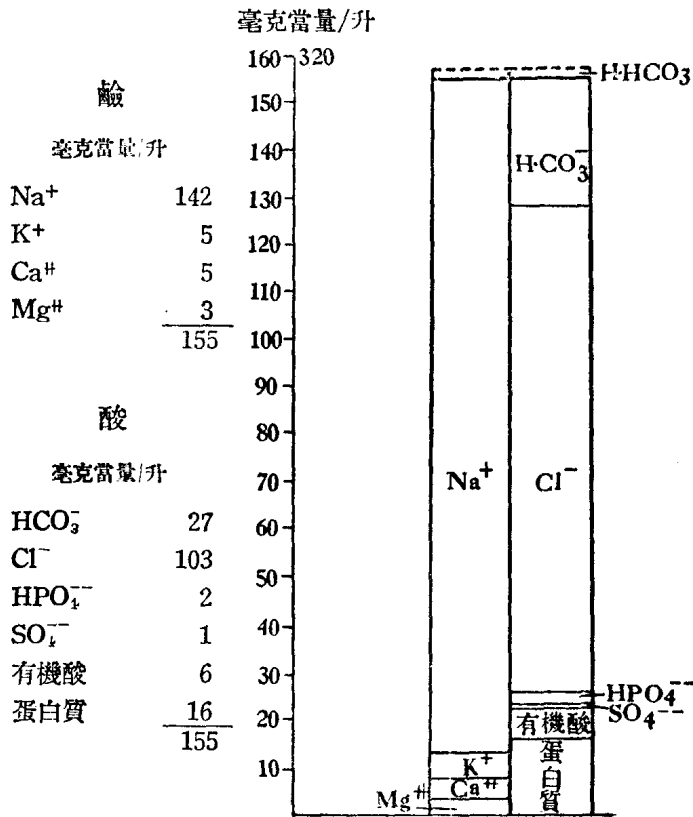
細胞外液是圍繞機體組織細胞周圍的,但並非浸透其中的介質。細胞內液的電解質組成與細胞外液的不同就是其明證。構成

本圖解的數值在一定程度上雖然是根據推測，但仍足以說明此二溶液一方面彼此緊密相接，並維持滲透平衡，但另一方面其離子成分却有完全不同的特徵。最重要的一點即細胞外液中最重要組成，鈉及氯離子不能透過原生質的界膜（即細胞膜），現在除了對於鈉還有一點保留之外，我們可以大致肯定這兩個離子是完全存在於細胞之外的。

前面所提到的細胞外液的化學組成乃指一般正常情況下的平均值而言。細胞外液物理性質的穩定是建築在化學組成的穩定性的基礎上。若是化學組成能維持極好的穩定狀態，則氫離子濃度及滲透壓將是不變的。但是由於物質進入細胞外液的時間和數量常是極不規則的，又由於腎臟調節作用需要相當的時間，所以機體不能很精確的維持細胞外液中某一個物質濃度在一定的水平；即使在極為理想的情況下，小的波動仍是難免的，因之在疾病的情況下，就會有更大的變動。但是由於機體的調節，體液成分的變動却不能太大地影響體液的物理性質，除了腎臟之外，還有數種調節細胞外液的機構，它們在化學成分發生變化時，雖不能完全阻止，但却可以大大地限制物理性質的變化，從以後講述這些調節機構的作用過程的各圖（圖4—10）中可看出，調節機構對物理性質調節不足的程度與最初發生的化學成分紊亂情況成正比。因此無論化學組成或物理性質都不會是一成不變的，體內任何良好的物理、化學系統都必須是極富有彈性的，不然就要被任何迅速發生的化學變化所破壞。為了能夠渡過極端不利的情況，機體復原的能力就必須遠遠超乎尋常的需要，細胞外液的物理、化學系統就具有此種必要的伸縮性。

圖 3

血漿之酸鹼結構



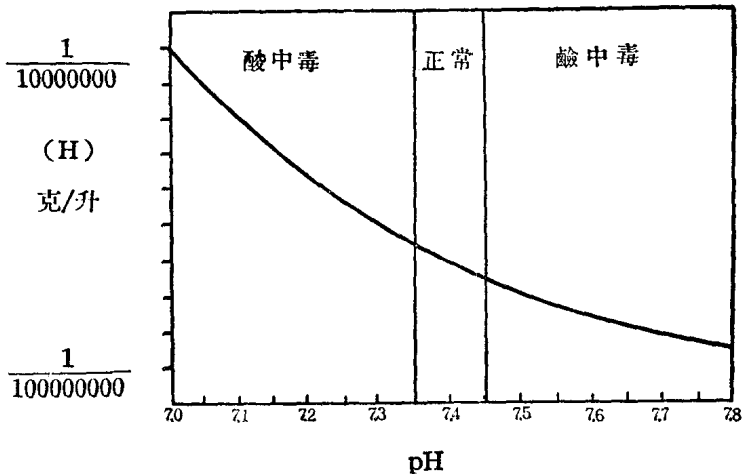
欲知維持細胞外液化學組成的調節機構完善與否，可以由測量血漿的成分來判定，除碳酸(受呼吸機構的調節)及蛋白質(控制機轉尚未明確)外，所有在圖中的其他組成全受腎臟的調節。正常值用毫克當量/升血漿計算而不以上圖中的毫克當量/升水表示，

以血漿水分來表示濃度顯然是更正確的。但是欲求水分的確值需要同時測量血漿的比重，即或求其近似值也需要測定血漿蛋白質濃度。因此一般實際應用上一致選擇比較方便的辦法，即以血漿體積來表示，這種單位對於大部分的血漿研究都很適合。

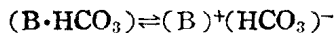
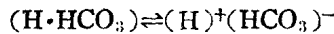
在圖解中把所有的陽離子值加起來列在左側，陰離子列在右側。圖解中清楚地表明了酸鹼成分的各個組成部分和它們的相對數值。值得注意的是幾乎所有的鹼基(91%)是由鈉組成，而氯是酸基中最大的成分。次要的一項即碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )，它與其相應的鹼離子構成了血漿中的碳酸氫鹽。血漿中有機陰離子總值取自總鹼基與其他陰離子總值的差，雖然若干其他成分已經可以很容易測知，但是目前尚沒有一個直接測量有機陰離子總值的方法。圖中央的線很正確地表示出，在血漿中我們所考慮的不是鹽的分子，而是鹽的個別離子的數量，只有一個電離度甚小的碳酸是例外，所以，用點代替線來分開它的兩個組成部分。圖中的數值均為正常情況下的平均值。他們並不是一成不變的，但是在正常情況下波動也是很小的。

因為血漿化學組成中 $9/10$ 是由單價離子組成，所以本圖也可用離子濃度表示其結構大意。總離子濃度可由圖中的數據算出。其中2價離子的數值需要被2除，蛋白質的值被8除，加起來的和一共是290.5毫滲透壓當量/升。在研究體液的滲透作用時離子濃度用每升水來表示更為合適。設血漿蛋白質含量為6.5%，血漿中的水分則為其體積的93.5%，而每升血漿水中的總離子濃度則為 $290.5 \times 100 / 93.5 = 311$ 毫滲透壓當量/升。減去所含蛋白質的量2毫滲透壓當量/升(見第2圖)則組織間液的離子濃度為309毫滲透壓當量/升。就細胞外液整體來講，其離子濃度正常值可認為是310毫滲透壓當量/升。

圖 4



同 離 子 效 應



不影響生命的氫離子濃度範圍大約是從  $\frac{1}{10,000,000}$  —  $\frac{1}{100,000,000}$  克/升。雖然這是極為微小的數量，但是在這個範圍內却可以有相當大的變動（幾乎有 10 倍）。用 pH 單位來講的話，它的限度在 7.0 和 7.8 之間。整個正常生理變化的範圍都是在中性偏鹼的這一邊。在健康的情況下，氫離子濃度是限制在極狹窄的範圍內，這個範圍是規定在 pH 7.35—7.45 之間。在此範圍之外的廣大區域都被認為是酸中毒或鹼中毒，如果造成酸或鹼中毒的原因是可以去掉的話，那麼氫離子濃度仍可回到原有的情況。

碳酸的低解離度是控制氫離子濃度在正常狹窄範圍內的基

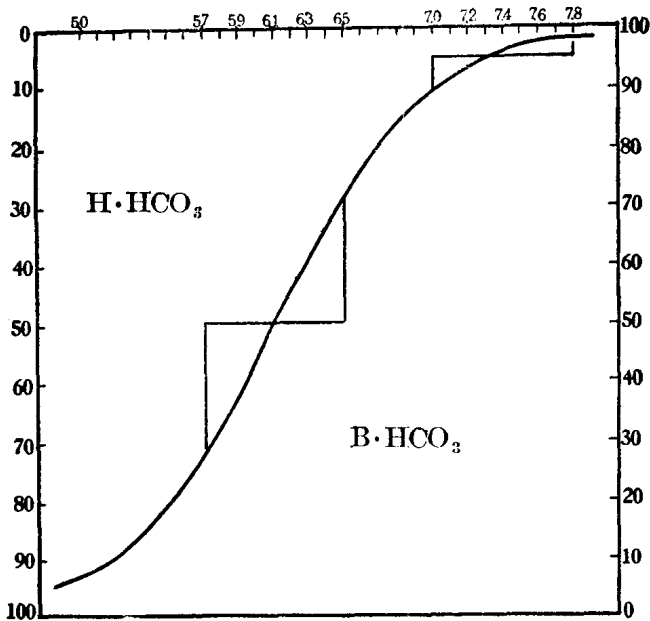
礎。這個極弱的酸在體液中的濃度是由呼吸作用所調節的。當碳酸鹽與碳酸同時存在時，自碳酸中電離出的氫離子就更少了。這是由於[同離子效應](Common ion effect)的緣故，也就是說，自碳酸鹽中電離出的  $\text{HCO}_3^-$  攪亂了原有的碳酸的電離平衡，於是便形成了一個新的平衡關係，即  $\text{H}^+$  和  $\text{HCO}_3^-$  結合成  $\text{H} \cdot \text{HCO}_3$ ，而使碳酸分子的濃度增加。通過這個過程，氫離子濃度便減低了。

圖 5 甲

亨-海二氏方程式

(HENDERSON-HASSELBALCH EQUATION)

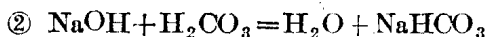
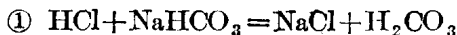
$$\text{pH} = 6.1 + \text{LOG} \cdot \frac{\text{B} \cdot \text{HCO}_3}{\text{H} \cdot \text{HCO}_3}$$



〔同離子效應〕解釋了碳酸氫鹽的鹼性鹽的性質，並且說明了溶液中氫離子濃度和碳酸與碳酸氫鹽濃度比例間的關係。這並不是一個直線關係，而是如圖中所示的S形曲線。這個曲線對於碳酸 碳酸氫鹽溶液的緩衝能力，具有特殊的意義。〔緩衝作用〕的意義就是在溶液中用一個弱酸（ $\text{H}^+$  電離度很低的）來代替一個



強酸( $\text{H}^+$  電離度很高的),或是用一個弱鹼來代替一個強鹼。現說明碳酸-碳酸氫鹽溶液的代替作用如下:



(讀者應明瞭上列方程式僅係簡化的寫法。在溶液中,這些物質並不是以此方式存在。這些物質彼此間,以及與水之間由於解離平衡的關係而相互作用,這些平衡關係決定了羥離子 $\text{OH}^-$ 和氫離子 $\text{H}^+$ 的濃度。這二者間是有一個倒數的關係。)

在 $\textcircled{1}$ 式中,幾乎完全電離的 $\text{HCl}$ 為部分電離的 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 所代替。而在 $\textcircled{2}$ 式中,較弱的 $\text{NaHCO}_3$ 代替了 $\text{NaOH}$ ,因而便避免了 $\text{NaOH}$ 中的 $\text{OH}^-$ 使 $\text{H}^+$ 過分減少。在這些緩衝過程中, $\text{NaHCO}_3$ 轉變為 $\text{H}\cdot\text{HCO}_3$ (方程式 $\textcircled{1}$ ),或是 $\text{H}\cdot\text{HCO}_3$ 轉變為 $\text{NaHCO}_3$ (方程式 $\textcircled{2}$ )。

碳酸-碳酸氫鹽緩衝液的緩衝能力,即當溶液中加入酸或鹼時它限制 $\text{pH}$ 變動的能力,是由在一定的 $\text{pH}$ 值改變時 $\text{H}\cdot\text{HCO}_3$ 及 $\text{B}\cdot\text{HCO}_3$ 的相互變化中測知。由於曲線形狀的關係,緩衝能力是和開始時的 $\text{pH}$ 值有關。這在圖中已加表明。正常體液中的 $\text{pH}$ 範圍是在曲線的上端,此處正當曲線開始變平,那也就意味着,當 $\text{pH}$ 值改變時, $\text{H}\cdot\text{HCO}_3$ 和 $\text{B}\cdot\text{HCO}_3$ 的相互變化也漸趨變小。換言之,改變一個單位 $\text{pH}$ 值所需的酸或鹼量變小了。在曲線傾斜部分要造成同樣的改變就需要加入更多的酸或鹼。就如圖中垂直線所表示的,在 $\text{pH}6.1$ 時的碳酸-碳酸氫鹽溶液的緩衝力比在 $\text{pH}7.4$ 時大四倍。

從表面看來,碳酸與碳酸氫鹽緩衝液在生物體液中似乎效力稍差,而正常 $\text{pH}$ 值的位置也不太合適。但實際上,我們以後也要談到(圖11),由於呼吸機構對 $\text{H}\cdot\text{HCO}_3$ 的調節作用,此緩衝系統是相當有效,而 $\text{pH}7.4$ 是有其特殊的安全性。