

生物化学讲义

(下册)

北京医学院生物化学教研组

1966.3.

目 录

第十一章	血 液	1
第十二章	水和无机盐的代謝	12
第十三章	腎与尿	24
第十四章	酸鹼平衡	29
第十五章	肝及胆汁	40
第十六章	神經系統及感官的生物化学	51
第十七章	肌肉的生物化学	55
第十八章	結締組織的生物化学	61

第十一章 血液

血液由有形成分（紅血球、白血球、血小板）与溶有多种有机及无机物質的水溶液，血浆，組成。全血或血浆凝固后，由凝块析出的清液称为血清。血清除不含血液凝固直接需要的蛋白質（纖維蛋白元）外，其它成分与血浆相同。血浆是血管中的体液。它与直接接触細胞的体液，細胞間液，之間仅有血管壁之隔。而血浆中化学成分除蛋白質等大分子外，均易于自由透过微血管壁，所以血浆实际上可以代表細胞所浸潤的环境，即身体的內环境。

內环境的渗透压，酸碱度，无机离子浓度等的相当恒定，以及由內环境供应养料和排除废物等为維持体内細胞正常生活所絕對必需。血液受心脏推动，在体内循环流过各部位。由体外摄取的和由各細胞生成的物質不断的进入血液；血液中物質亦不断的进入各細胞和排出体外（通过肺、腎、皮肤、腸道）。由于各种器官的生理机能，和神經、激素以及細胞本身的調节，血中有形及无形成分的含量得以維持相当恒定。这样就体现出內环境的稳定。

正常情况下血液成分的浓度及含量略有变动，經過身体的調节机能，可以迅速恢复原状。任何成分的含量及浓度出現較大或較持久的变动，均反映生理上或代謝上的异常。所以进行血液分析不仅有助于探究发病原因和了解病情变化，而且对采取医疗措施亦极为重要。

学习本章需要熟練掌握（1）血液各重要化学成分的来源和去路，和它們在生理上及代謝上的意义。如出現异常反映何种主要問題。〔在以后实际工作中需要了解一些成分浓度的正常范围，和不同的表示浓度的方法，如毫克%（每百毫升全血或血浆（清）中含毫克数）与毫克当量/升，及其相互换算〕。（2）血液作为生化体系所表明的功能的机制，如呼吸气体的运输、渗透平衡及酸碱平衡的維持等。此外对造血作用稍为了解。

第一节 血液的理化性質和功能

一、理化性質。

1. 比重，全血。1.050—1.060。紅血球，1.090。血浆，1.025—1.030。由血浆比重依据經驗式可以推算血浆蛋白質浓度。

2. 渗透压。血浆渗透压約为6.8大气压，相当于5,168毫米Hg，主要为无机离子所产生。其中仅約0.5%为血浆蛋白質产生，此部分称为胶体渗透压。

血浆蛋白質难于透过微血管壁，故其胶体渗透压为調节水分在血管內外分布的重要因素之一。当其浓度降低时（例如，蛋白質营养不良时生成減少，或腎脏患疾病时由腎排出）将导致血管內水分減少，而細胞間液水分增多，遂出現水肿。当血液体积減少（如失血）补給液体时其中必須含有能产生胶体渗透压的物質，以使血管內能保留水分。

血浆及細胞間液中无机离子产生的渗透压是調节水分在細胞膜內外分布的最重要因素。其它溶解物質的渗透压太小作用不大。血浆无机盐不足（多汗、多尿、或吐泻而所摄取无机盐不足时），則血浆及細胞間液成为低渗，水分多量进入細胞，使細胞膨胀，即产生水中毒。影响到脑細胞时更为严重。低渗溶液可使紅血球胀破，产生溶血現象。

3. 酸碱度。血浆及血球均含有多种缓冲体系。血浆 pH 为 7.4 ± 0.05 。静脉血含 CO_2 稍多，其 pH 值较动脉血的略低（差别 < 0.05 ）。

二、功能：

1. 细胞的最适媒介。由于血液本身的性质及各器官的协作，血浆及细胞间液能维持 pH，渗透压，无机离子浓度以及体温相当恒定，借以维持内环境相当恒定，而使细胞处于最适媒介之中。

2. 载运功能。血液载运物质①进行体内外的交换，如由胃肠载运消化的食物，及由肺载运氧气至各细胞。由细胞载运代谢废物至肾（主要排泄部位），及载运 CO_2 至肺排出体外。②进行体内各组织器官间的交换。如载运贮存物质供各组织利用（肝供血糖，脂库供脂肪酸等），载运中间代谢产物在不同组织内完成代谢过程（酮体在肝内生成，在肝外其它组织氧化）等。③载运激素以使全身各器官组织生理及代谢的活动步调一致。

3. 防御功能。如白血球能吞噬细菌，抗体有免疫作用，及血液能凝固以避免多量失血等。

① 血浆中的蛋白质

② 血浆蛋白

第三节 血液的化学成分

① 血浆蛋白

② 液体运输

血液的化学成分可分为蛋白质，非蛋白质含氮物质（简称非蛋白氮），脂类其它不含氮有机化合物，无机盐，水，及气体等。

一、血中蛋白质

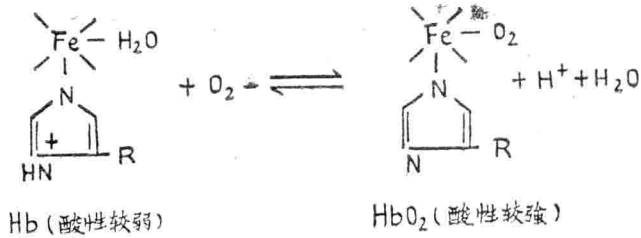
1. 血红蛋白（简称为 Hb）。

（一）结构。Hb 在红细胞中，为具有亚铁血红素辅基的结合蛋白质。每分子有四个辅基。Hb 受酸处理，辅基即脱落，并自发氧化为高铁血红素 (Fe^{+++})。后者呈棕黄色，临床上测定 Hb 即利用此反应，进行比色。Hb 的蛋白质部分称为珠蛋白，由四条肽链组成 α 及 β 链各二。胎儿及成年人 Hb 的肽链中有极少数氨基酸不同。成年人 Hb 也有多种先天性异常者。我国成年男子血中 Hb 平均为 14.4 克%，成年女子平均为 13.1 克%。当失血后或患贫血病时，Hb 浓度减少；当失水而血液浓缩时，Hb 浓度增大。长期居住于高山地带血中 Hb 含量亦较多。

（二）性质。

（1）与分子氧结合生成氧合血红蛋白 HbO_2 。Hb 分子的每一辅基中的铁均可与一分子氧结合，结合后铁仍为两价。通常用 $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$ 表示此反应；氧张力高时反应顺行，低时逆行，反应平衡位置并受媒介中 pH， CO_2 分压力及温度的影响。在同一氧分压力下，而 CO_2 分压力增加，或 pH 降低，或温度增加时，均可使更多的 HbO_2 分解。此性质为血液载运氧气的基础。

Hb 带氧后，其肽链上与辅基中 Fe 相连接的组氨酸的异吡唑环上的 H^+ 游离度增加（酸性加强 $\text{PK}=6.68$ ）。此 H^+ 游离后，从维持红细胞内正负电荷的平衡上看，可以认为有 HbO_2 的钾盐 KHbO_2 生成。 HbO_2 脱氧后 H^+ 游离度减少（酸性减弱 $\text{PK}=7.93$ ），此时 H^+ 返回异吡唑核，从维持红细胞内正负电荷的平衡上看， HbO_2 的钾盐又成为 HHb 。此 H^+ 的游离与固定实际上使 Hb 具有缓冲剂的作用，在中和由于 CO_2 进入血中生成之 H_2CO_3 时颇为重要。



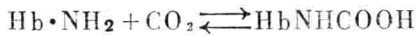
由紅血球內正負电荷平衡考虑，可用： $\text{HHb} + \text{O}_2 + \text{K}^+ \rightleftharpoons \text{KHbO}_2 + \text{H}^+$ 简单表示之。

(2) 与 CO 結合生成碳氧血紅蛋白 (HbCO)。CO 可与 Hb 中 Fe 結合，而且 Hb 对 CO 的亲合力比对氧的大 210 倍，故极易生成 HbCO。此物不能載氧。故空气中仅有少量 CO，如 0.1%，即可产生煤气中毒。HbCO 在光下可以分解释出 CO。

(3) 氧化成高铁血紅蛋白 (MetHb)。多种氧化剂可将 Hb 中鐵氧化成三价鉄，生成高铁 -Hb。它不能帶氧。正常紅血球中亦有微量存在。

上述 Hb、HbO₂，高铁 Hb，HbCO 均可借其特有吸收光譜辨認之。

(4) 与 CO₂ 結合生成氨基甲酸血紅蛋白或碳酸血紅蛋白。此 CO₂ 系与 Hb 肽鏈上自由 α 氨基結合。Hb 帶氧后結合 CO₂ 少，放氧后結合 CO₂ 多。由于此种性質，所以 Hb 也可以載运 CO₂。



(5) Hb 及 HbO₂ 的缓冲 pH 功能。Hb 的等电点为 pH 6.8，HbO₂ 的为 pH 6.7。在血球中均以負离子形式存在，而且均有一部分为自由酸一部分为鉀盐。即在动脉血或靜脉血中 HHb，KHb，HHbO₂，KHbO₂ 均同时存在，只是数量不等。KHb/HHb 及 KHbO₂/HHbO₂ 各自构成缓冲体系，有缓冲 pH 变动的能力。尤其是前述 Hb → HbO₂ 时可释出部分 H⁺。HbO₂ → Hb 时固定部分 H⁺ 的性質，更加强血紅蛋白的缓冲能力。

3. 血紅蛋白及紅血球的生成：

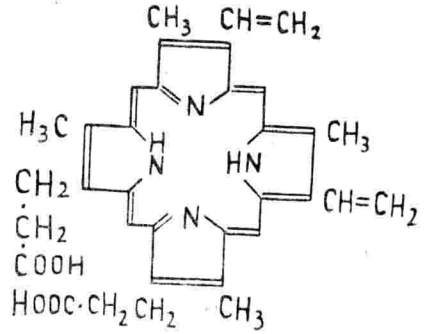
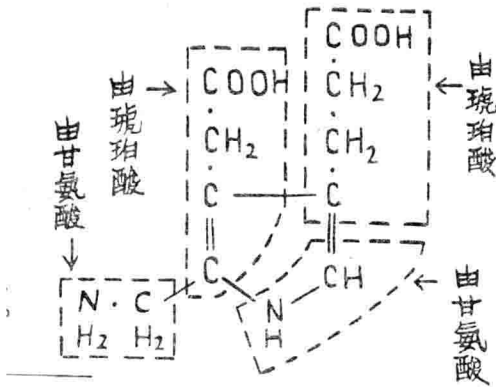
胚胎时期血球在肝及骨髓中生成，出生后仅在骨髓內生成。血紅蛋白生成时需要甘氨酸、琥珀酰輔酶 A (二者为构成卟啉环原料)，鉄 (由鉄蛋白来) 及珠蛋白等为原料。与 Hb 合成有关的輔助因素有銅 (作用不明) 及維生素 B₁₂ (与卟啉合成过程中的脫羧反应有关)。

血紅蛋白生成的基本程序是先由甘氨酸及琥珀酰輔酶 A 生成吡咯单元。四个吡咯单元构成卟啉环，再轉变成原卟啉Ⅸ。后者絡合 Fe⁺⁺ 即成亚鉄血紅素。四分子亚鉄血紅素与珠蛋白結合即成血紅蛋白；亚鉄血紅素的 Fe 及二个丙酸基与珠蛋白相連結。

与紅血球成熟有关的因素有維生素 B₁₂ (参与 -C 单位的传递，与脫氧核糖胸腺核苷酸合成有关，因之影响 DNA 合成)，叶酸 (传递 -C 单位与 DNA 合成有关)，及維生素 C (与叶酸生成四氢叶酸有关)。Fe 不足，主要影响 Hb 生成，此时紅血球小而含 Hb 少。Cu 不足可引起貧血，原因不明。維生素 B₁₂，維生素 C 及叶酸不足，主要影响紅血球成熟，此时紅血球大而含 Hb 多，但血球数少。上述异常情况均为貧血。維生素 B₁₂ 缺乏引起者称为恶性貧血。患者的胃液中缺乏称为“体内因子”的物質。正常人 B₁₂ 在胃中先与此物質結合后，再在腸內被吸收，恶性貧血患者因无此物質故不能吸收膳食中的 B₁₂。

肾脏能分泌促紅血球生成素 (蛋白質)，后者可刺激骨髓造血，作用不明。氧张力低时

可引起其分泌。



血清 + 吡咯单元
2. 血浆蛋白质。 72

电泳分离原因，不同蛋白质在PH8.6中泳带电荷不同，电荷不同泳带，蛋白电泳时大小不同，M_r不同快。

1) 种类及含量：血浆蛋白质种类虽多，但可分为清蛋白、球蛋白及纤维蛋白元三种。临床上常用电泳法将人血清蛋白质分为清蛋白、 α_1 球蛋白、 α_2 球蛋白、 β 球蛋白及 γ 球蛋白。大量分离时则常用盐析法或低温有机溶剂沉淀法。常人血浆蛋白质总量约为 7 ± 0.5 克%，其中约 $3/5$ 为清蛋白约 4 克%， $2/5$ 为球蛋白约 3 克%，纤维蛋白元仅为 0.2—0.4 克%。清球蛋白比率 (A/G) 常在 1.5—2.5。蛋白质营养不良，肝脏疾患影响血浆蛋白质合成（主要是清蛋白）肾疾患排出血浆蛋白质时（主要是清蛋白），均导致血浆蛋白质浓度降低；有细菌感染时 γ 球蛋白增多，此时 A/G 比率常倒置。

12. 生理功能：

(一) 修补组织。当人或动物营养不良或饥饿时，血浆蛋白质特别是清蛋白减少。动物实验结果表明，完全依赖注射同种动物的血浆蛋白质，即可维持氮平衡。上述均表明血浆蛋白质可被利用于修补组织。清蛋白在肝脏生成。若蛋白质营养不足，多量血浆蛋白质用于修补组织，不仅血浆蛋白质浓度降低，肝蛋白含量亦降低。

(二) 维持血液胶体渗透压。水分子可以自由透过微血管壁，而水分在血管内外的分布，则决定于促使水自血管外出及促使水流进血管的相对速度。促使水分外出的动力为血液的有效水静压（即血压——细胞间液水静压）促使水流入的动力为血液的有效胶体渗透压（血浆胶体渗透压——细胞间液胶体渗透压）在微血管的近动脉区，有效水静压 > 有效胶体渗透压，故水分自血管内流出到血管外。在其近静脉区，血压因血液流过微血管而减低，胶体渗透压则无改变，故有效胶体渗透压 > 有效水静压，结果水由细胞间液流入微血管。血浆及细胞间液中分子物质亦随水流而出入微血管，促进了物质交换。若血浆蛋白质浓度减少（蛋白质营养不良或因肾脏病排出），则有效胶体渗透压减小，因之水分流出血管者多而流回者少，而导致细胞间液水分增多（水肿）。

胶体渗透压决定于血浆中蛋白质的浓度，即单位体积内蛋白质分子数目的多寡。清蛋白含量在重量上既多于球蛋白，分子量又小于球蛋白，故血浆中清蛋白分子数 > 球蛋白分子数。因之在产生胶体渗透压上，清蛋白比球蛋白更为重要。由于清蛋白分子小，当肾脏有疾病时，比球蛋白更易于丧失。

(三) 載運功能。血漿中有多種物質，尤其是水不溶性物質，系與蛋白質結合成複體而被血液輸送。如脂肪酸與清蛋白結合成複體；多種脂類與 α 及 β 球蛋白分別構成 α 及 β 脂蛋白；鐵被嗜鐵蛋白載運；甲狀腺素及類固醇激素亦與蛋白質結合等等。在臨床上常借測定與血漿蛋白質結合的碘（即甲狀腺素中者）量以反映甲狀腺機能狀況。

(四) 免疫作用。絕大多數抗體是 γ 球蛋白。它們在網狀內皮細胞內生成。當患傳染病時， γ 球蛋白增多，可導至〔清蛋白〕<〔球蛋白〕，即A/G比率減低。

(五) 凝血功能。血液凝固的主要過程是血漿中水溶性纖維蛋白元轉變成不溶于水的纖維蛋白。血液凝固的機制頗為複雜，其基本反應為下二者： $(1) \text{ 凝血酶元} \xrightarrow[\text{其它因素}]{\text{Ca}^{++}}$

 凝血酶 ， $(2) \text{ 纖維蛋白元} \xrightarrow{\text{凝血酶}} \text{ 纖維蛋白}$ 。凝血酶元系在肝內生成，由維生素K促進，

故維生素K缺乏時，血液不易凝固。凝血可防止失血但在病理情況下血管內出現血凝塊則將阻斷血液循環，有嚴重危害。

(六) 緩沖功能。血漿蛋白質同時以自由酸及鈉鹽兩種形式存在，構成緩沖體系，Na蛋白質/H-蛋白質。

3. 血漿中的酶。血漿中有多種酶，它們來自各種組織細胞。特別是當這些細胞處於病理情況下時，可能由於細胞膜的破壞，或是膜通透性的增加，因之有較多量的酶進入血漿。此時測定血漿某種酶活性，可以幫助診斷疾病。例如，肝或心有病變時，血漿轉氨酶活性增加，患急性胰腺炎或腮腺炎時，血漿淀粉酶活性增加。此外，佝僂病患者的成骨細胞活動旺盛，其血漿鹼性磷酸酶活性增加。

二、非蛋白質含氮物質。此類包括氨基酸，多肽，肌酸，氨（以上為中間代謝物）及尿素，肌酸酐，尿酸，膽紅素（以上為代謝廢物）等，簡稱為非蛋白氮（NPN）。以含氮量計全血中濃度為20—40毫克N%，平均值34毫克N%。其中以尿素最多約占總氮量的 $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ 。血中尿素濃度可以反映蛋白質分解的強度或腎排泄機能。氨為有毒性作用物質，濃度過高導致昏迷。其濃度改變可反映肝合成尿素機能，或腎排泄機能。排尿過少甚至無尿時，由於體液組成的異常可以致死。尿酸是嘌呤代謝的最後產物。它的濃度改變可反映核酸的分解代謝情況。臨床上常測定血中非蛋白氮的濃度。若蛋白質代謝正常，而血中非蛋白氮過多則表示腎排泄機能不暢。若腎功能正常，而血中非蛋白氮過多則表示蛋白質分解代謝過速。

三、脂類：在血漿中脂類與蛋白質結合成複合體。如乳糜微滴， α 及 β 脂蛋白，清蛋白——脂肪酸複體等。其中除乳糜微滴外均為水溶性。脂肪酸濃度雖小但轉換率很快，可以反映體脂動員情況。臨床上對血漿膽固醇濃度頗為重視。若濃度過高在血管壁上沉着的機會亦多。它在動脈管壁沉着，可導致血管硬化。

四、其它不含氮有機物。主要為血糖，乳酸，酮體等。血糖濃度可以反映醣代謝情況。酮體濃度可反映脂類分解代謝強度，同時間接反映醣代謝情況。酮體過多稱為酮血症，可使血液pH偏向酸性（酸中毒）。

五、無機鹽及水（參看附表11:1）。 Na^+ 主要在血漿中， K^+ 主要在血球內。紅血球有主動調節其中 Na^+ 、 K^+ 出入的能力。 Cl^- 可出入紅血球。無機磷主要在血漿。 Ca^{++} 全在血漿。血漿 Na^+ ， K^+ 及 Ca^{++} 以適當比例存在為維持神經肌肉正常興奮性所必需，其中 Na^+ 及 K^+ 有興奮作用， Ca^{++} 有抑制作用。故 Ca^{++} 低時可出現搖擻。但對心肌則 K^+ 有抑制作用。 K^+ 過

多可使心跳停止。Na⁺, K⁺ 及 P 又为維持 pH 恒定所必需, 例如 $\frac{\text{NaHCO}_3}{\text{H}_2\text{CO}_3}$, $\frac{\text{KHCO}_3}{\text{H}_2\text{CO}_3}$

$\frac{\text{Na}_2\text{HPO}_4}{\text{NaH}_2\text{PO}_4}$ 及 $\frac{\text{K}_2\text{HPO}_4}{\text{KH}_2\text{PO}_4}$ 均构成缓冲体系。水为維持血液体积所必需, 在产生渗透压力以維持水平衡上 Na⁺ 及 Cl⁻ 最为重要。

表 11:1 血浆中无机离子浓度表

正 負 子	毫当量/升	負 离 子	毫当量/升
Na ⁺	142	Cl ⁻	111
K ⁺	5	HCO ₃ ⁻	28
Ca ⁺⁺	6	HPO ₄ ⁼⁼ , H ₂ PO ₄ ⁻	3
Mg ⁺⁺	2	SO ₄ ⁼⁼	1
合 計	155	合 計	143

第三节 呼吸气体的运输

一、气体交换: 吸入的氧气在肺泡进入血液, 再由血液运输至組織, 經過細胞間液进入細胞。細胞产生的 CO₂ 經過細胞間液进入血液, 再由血液运至肺中排出。血液携带气体在血管內移动有賴于心脏推动, 而 O₂ 及 CO₂ 进入与离开血液则包括一系列的物理的及化学的变化。气体由分压力高处向低处扩散移动。液体中气体分压力决定于其中以溶解状态存在的气体的浓度。

大气氧分压力 (pO₂ = 158 毫米 Hg) > 肺泡气 pO₂ (100 毫米 Hg) > 靜脉血 pO₂ (40 毫米 Hg), 故在肺中 O₂ 由肺泡进入血液。动脉血 pO₂ (100 毫米 Hg) > 組織 pO₂ (≤ 30 毫米 Hg), 故在組織 O₂ 由血进入組織。組織 pCO₂ (≥ 50 毫米 Hg) > 动脉血 pCO₂ (40 毫米 Hg), 故 CO₂ 由組織进入血。靜脉血 pCO₂ (46 毫米 Hg) > 肺泡气 pCO₂ (40 毫米 Hg), 故在肺內 CO₂ 由血进入肺泡中, 再呼出体外。

虽然液体中以溶解状态存在的气体数量决定該气体的分压力, 分压力差又决定气体移动方向和速度, 但限于溶解度, 血中溶解的 O₂ 及 CO₂ 很少, 远不能滿足供应 O₂ 及排出 CO₂ 之需。实际分析結果証明血中 O₂ 及 CO₂ 絕大部分是以結合状态存在的。

二、血中氧及 CO₂ 的存在形式及数量。

1. 氧, 动脉血中溶解状态存在的氧仅 0.24 毫升%, 靜脉血中仅 0.1 毫升%; ^{19.6 毫升% 中} 与 Hb 結合的氧在动脉血中平均为 19.36 毫升%, 靜脉血中平均为 12.9 毫升%。血液在組織微血管释出氧总量为 6.7 毫升%, 其中 6.56 毫升% 系由 HbO₂ 放出, 占总释出量的 97.9%。故动脉血及靜脉血中均有 Hb 及 HbO₂ 存在。 $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HbO}_2$

表达血中氧数量的名詞有: (1) 氧容量, 即血液在氧气充足 (如空气) 条件下吸收氧的最大数量。我国人氧容量平均为 19 毫升%。(2) 氧結合量, 即在上述情况下与 Hb 結合的氧数量。此二者的主要决定因素为血中 Hb 量。因 Hb 与氧結合有一定数量关系 (1.36 毫升/克 Hb), 故由此可測定血中 Hb。因溶解氧量很少, 习惯上可以 ① 代表 ②。③ 氧含量, 为体内血液实际含氧量。取血样品时必须与空气隔絕。此数值决定于血中 Hb 含量及 O₂ 张

力。

2. CO_2 。血中 CO_2 ，除(1)简单溶解外尚有(2)与水结合成为 H_2CO_3 的。 CO_2 ； H_2CO_3 约为800:1，通常将此二者统称溶解的 CO_2 。(3)以碳酸氢盐形式存在的 NaHCO_3 （血浆中）及 KHCO_3 （血球中）及(4)以碳酸血红蛋白形式存在的。一般由组织运出的 CO_2 量等于排入肺中的 CO_2 量。每100毫升血每循环一次运出的 CO_2 约为3.8毫升。其中平均仅约8%为来自溶解状态的 CO_2 ，27%为来自 HbCO_2 。65%来自 NaHCO_3 及 KHCO_3 。

一般临床上只测定血清（浆）中的 CO_2 。常用名词有：(1) CO_2 含量。指血浆中实际含 CO_2 量（取血样品时与外界空气隔绝）。(2) CO_2 结合力。取血样品时不与外界空气隔绝，先分离出血清（浆），然后在室温用肺泡气（含 CO_2 5.5%， $p\text{CO}_2 = 40$ 毫米Hg）饱和后，再测定其中 CO_2 总量。由此值再减去溶解状态的 CO_2 及 H_2CO_3 数量即为 CO_2 结合力，即血浆中以 HCO_3^- 状态存在的 CO_2 。但在临床化验上，因溶解的 CO_2 及 H_2CO_3 量很少，常不加矫正。(3) CO_2 容量。血样品先用含5.5% CO_2 的混合气体饱和，再在与空气隔绝的条件下分离血浆，并测定其中 CO_2 总量。

临床上常用血浆（清） CO_2 结合力（血浆中的 HCO_3^- 数量，以 CO_2 毫升%表示）反映体内中和酸的能力，故称 CO_2 结合力为碱储。人正常值范围为45—60毫升%。

三、氧的运输具见前述 HbO_2 在高氧张力下生成，在低氧张力下分解。可用下式表示之。 $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$ ，若同时注意其酸性的变化及红血球内正负电荷的平衡，则可用： $\text{HHb} + \text{O}_2 + \text{K}^+ \rightleftharpoons \text{KHbO}_2^- + \text{H}^+$ 表示之。一般情况血液流过组织时约有 $\frac{1}{3}$ 的 HbO_2 分解放出 O_2 。

$\text{Hb} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HbO}_2$ 进行的程度决定于肺中氧分压力。例如，当氧分压力为100毫米Hg时，约98%的Hb生成 HbO_2 。此%数值称为血液氧饱和度，即血液结合氧的实际数量与结合氧最大限度的比值（%）。

虽然血液氧饱和度决定于氧分压力，但二者并非成直线比例，而呈形曲线关系，而且受pH及温度的影响。此性质可用血氧分解曲线表示之，见下图。当氧分压约70毫米Hg时饱和度即高达约90%（即此时每百分子Hb中有90个成为 HbO_2 ）。此性质颇有生理意义，即当肺泡气氧分压力稍低时（如在高山空气稀薄处，或呼吸减弱换气不足时），仍可有足够

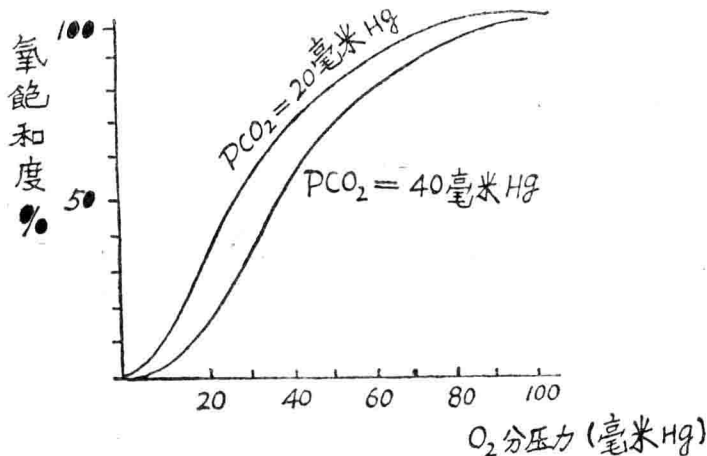
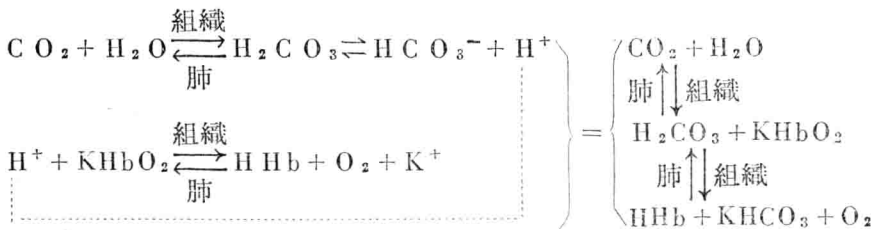


图 11:1 血液氧分解曲线

的 Hb 帶氧。當氧分壓力低於約 30 毫米 Hg 時，血氧飽和度迅速下降，即此時有更多的氧釋出 ($\text{HbO}_2 \rightarrow \text{Hb} + \text{O}_2$) 此性質亦有生理意義，即當組織耗氧多需多量供應氧時，氧分壓力稍低即可引起多數 HbO_2 分解以供氧。

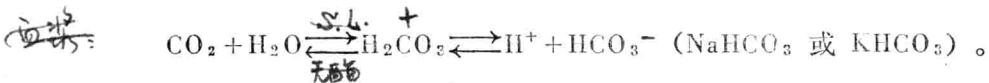
由上圖尚可看出在同一氧分壓力下， CO_2 張力大時氧飽和度低，即 CO_2 張力大時有助於 HbO_2 的分解。此性質亦有生理意義，即組織中 CO_2 張力 > 肺中的，而且組織愈需要氧時 CO_2 張力愈高，此高 CO_2 張力恰可促進 HbO_2 的分解。 CO_2 張力的影響實際上是 pH 改變的影響： $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 。

由上述可見血紅蛋白帶氧放氧的性質最適於生理的重要。此外尚可注意一點，當血液流過組織時由於 CO_2 的進入而酸性趨於增加，這不利於維持血液酸鹼度恒定。但 HbO_2 在此處放氧成為 Hb，伴有酸性的減弱。二者互相配合即利於維持酸鹼平衡，亦即 Hb 有中和 CO_2 的酸性的作用。在肺中因 CO_2 呼出而血酸性趨於降低，此時 Hb 帶氧成為酸性較強的 HbO_2 ，而有利於維持血液 pH。可用下式表示之：



據實驗測定 HbO_2 放氧的酸性改變約可抵消 CO_2 酸性影響的 70% 左右。

四、 CO_2 的運輸。血中 CO_2 僅有少數為簡單溶解及與水生成 H_2CO_3 者。大多數以結合狀態存在。血漿中有 NaHCO_3 ，血球中有 KHCO_3 及碳酸血紅蛋白， CO_2 ， H_2CO_3 及 HCO_3^- 之間的关系可用下式表示之： ~~$\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{H} - \text{蛋白質}$~~



上式實際的進行方向受 CO_2 張力的影響， CO_2 張力高時（如在組織中 CO_2 進入血中）反應向右進行，生成多量 HCO_3^- 以攜帶 CO_2 。 CO_2 張力低時（如在肺中）反應向左進行，以促進結合狀態的 CO_2 的釋出。

此外前已述及血液中有多种缓冲体系可以中和酸，如血漿中

的 $\frac{\text{Na蛋白質}}{\text{H-蛋白質}}$ ， $\frac{\text{Na}_2\text{HPO}_4}{\text{NaH}_2\text{PO}_4}$ ，血球中的 $\frac{\text{KHbO}_2}{\text{KHb}}$ ， $\frac{\text{HHbO}_2}{\text{HHb}}$ ， $\frac{\text{K}_2\text{HPO}_4}{\text{KH}_2\text{PO}_4}$ 等。而由 CO_2 生成的 H_2CO_3 本身即为酸。 H_2CO_3 与上述各缓冲体系的盐进行中和反应生成 NaHCO_3 及 KHCO_3 和相应的弱酸。

對於運輸呼吸氣體而言，血液是由多种弱酸及其盐同时存在，所构成的体系。其中各种弱酸及其盐的浓度，因 $p\text{O}_2$ 及 $p\text{CO}_2$ 不同而有所改变。血液流至肺中时，它們之間達到一種平衡状态。血液流至組織微血管时，由於 $p\text{O}_2$ 減小， $p\text{CO}_2$ 增加，原來平衡即被打亂。此時血中即進行一系列互相關連的反應，再重新建立一種平衡状态。

還應注意，可以透過紅血球膜的離子，如 HCO_3^- ， Cl^- ，在膜兩側有一定的分配比例，但非相等，其原因為 Cl^- ， HCO_3^- 離子雖可通過膜，但膜內外均尚有其它不能透過膜的離

子存在，后者对 Cl^- 及 HCO_3^- 在膜内外的分配起一定的作用。此即所谓多南氏膜平衡现象，其分配平衡可用下式表示之：

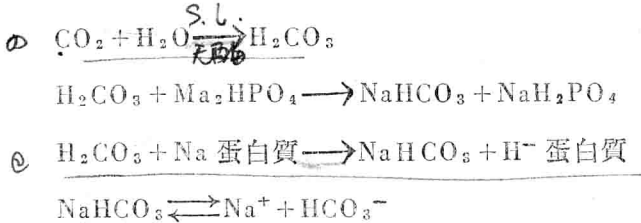
$$\frac{[\text{Cl}^-]_{\text{紅血球}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{血浆}}} = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{紅血球}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{血浆}}} = \gamma \quad \gamma \neq 1$$

$[\text{Cl}^-]$ 及 $[\text{HCO}_3^-]$ 分别代表紅血球中或血浆中每升水中 Cl^- 及 HCO_3^- 的浓度。

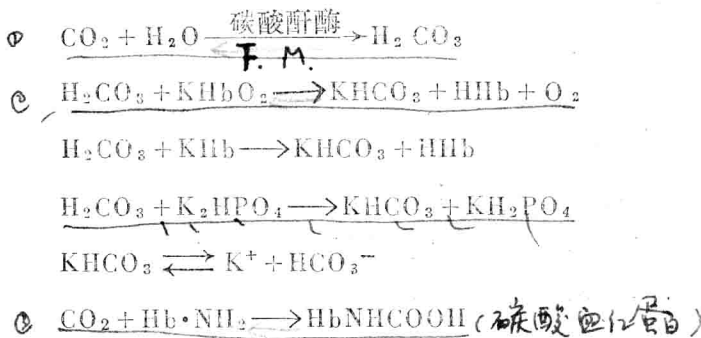
上述各点为血液输送 CO_2 机制的基础。

1. CO_2 在組織微血管中的受納：

(一) 血浆中 CO_2 的載运。 CO_2 首先扩散入血浆，在血浆中自发的与水生成 H_2CO_3 。此 H_2CO_3 与缓冲剂中 Na_2HPO_4 及 Na 蛋白質进行中和反应而生成 NaHCO_3 ， NaHCO_3 可以游离。此过程可表示如下：



(二) 血球中 CO_2 的載运。 CO_2 经过血浆进入紅血球，在其中亦生成 H_2CO_3 。但此反应是由碳酸酐酶催化的，进行迅速。 H_2CO_3 再为 KHbO_2 ， KHb ， K_2HPO_4 所中和而生成 KHCO_3 ； KHCO_3 ；当然可以游离。此外 CO_2 尚与 Hb 结合成为碳酸血紅蛋白。上述过程可表示如下：



(三) 紅血球中 HCO_3^- 向血浆的轉移。

当血液流过組織时，紅血球中 HCO_3^- 的生成較血浆中快因血球中 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 的生成成为酶促反应。故在同一時間內血球内 $[\text{HCO}_3^-]$ 的增加量 X 超过血浆中 $[\text{HCO}_3^-]$ 的增加量 y 。此結果攪乱原有的多南氏膜平衡，即

$$\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{紅血球}} + X}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{血浆}} + y} \right) \neq \left(\frac{[\text{Cl}^-]_{\text{紅血球}}}{[\text{Cl}^-]_{\text{血浆}}} \right) \quad X > y.$$

当此平衡被攪乱后，須重新建立平衡，血球内增多之 HCO_3^- 既多，故必然有一定数量的

HCO_3^- (A) 向血浆中扩散, 但 HCO_3^- 为带负电荷离子, 它不可能单独外出, 因为此时仍须维持正负离子间的静电平衡。实际情况是膜内 HCO_3^- (原与 K^+ 配对) 与膜外等量的 Cl^- (原与 Na^+ 配对) 互换, Cl^- 进入 (形成 KCl) 如此 HCO_3^- 即可外出 (形成 NaHCO_3), 以后重新建立膜平衡又不致搅乱静电平衡。互换的数量达到重新建立膜平衡为止: 如下式

$$\frac{[\text{HCO}_3^- + x\text{HCO}_3^- - \text{AHCO}_3^-] \text{ 紅血球}}{[\text{HCO}_3^- + y\text{HCO}_3^- + \text{AHCO}_3^-] \text{ 血浆}} = \frac{[\text{Cl}^- + \text{A}\text{Cl}^-] \text{ 紅血球}}{[\text{Cl}^- + \text{A}\text{Cl}^-] \text{ 血浆}}$$

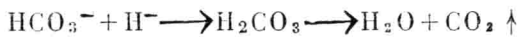
上述现象称为**氯离子转移**, 经过膜平衡的搅乱及重新建立, 原在红血球内生成之一部分 HCO_3^- 即转移至血浆中, 在运输时为血浆所承运。此现象尚有另一意义, 即因 HCO_3^- 具有中和酸 (结合 H^+) 的性能。此时血浆由血球获得一部分 HCO_3^- 即加强血浆缓冲酸的能力。因为血液流经组织时有酸性代谢产物进入, 此时其缓冲酸能力增加还是有意义的。

此外, 由于 CO_2 进入红血球后, H_2CO_3 及 HCO_3^- 生成的迅速, 瞬间内血球内物质浓度 > 血浆中者, 故渗透压增加, 而引起水分流入红血球。

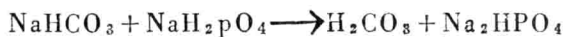
由上述可见, 血液流过组织微血管时, CO_2 进入血中生成 H_2CO_3 , 引起一系列的酸碱中和反应, 生成 NaHCO_3 及 KHCO_3 。又由于血球内 HCO_3^- 的增加比血浆中者快, 遂引起膜平衡的紊乱。在重新建立平衡时原在血球中生成的 HCO_3^- 有一部分转移至血浆中, 为血浆中所承运。此外, 血球中 CO_2 与 Hb 尚可结合成碳酸血红蛋白。

2. CO_2 在肺的释放。血液流经组织微血管时其中 CO_2 , H_2CO_3 , KHCO_3 , NaHCO_3 , HHbNHCOOH 等等, 达成一种平衡。在肺中由于 O_2 分压力增加及 CO_2 分压的减少, 以及由于 Hb 带氧后酸性的增高等等因素, 使原有平衡 (各物质的浓度) 发生改变。

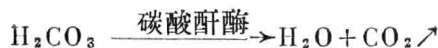
首先可见下式向右方进行, 由各缓冲体系的酸获得 H^+ :



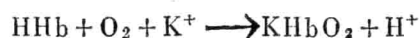
(1) CO_2 : 由血浆释出。上式右行的结果使血浆中 NaHCO_3 分解。



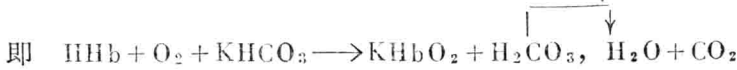
(2) 红血球中 CO_2 的释出。



此时 Hb 带氧, 即 $\text{Hb} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{HbO}_2$ 。前已述及, HbO_2 的酸性 > Hb , 实际上可用下式表示:



此反应表明 Hb 的带氧，可自 KHCO_3 中取得 K^+ 而供以 H^+ ，以生成 H_2CO_3 ，亦即表明 Hb 的带氧有促进 KHCO_3 分解的作用。



此外碳酸 - Hb 的带氧亦促使其所结合的 CO_2 释出一部分：



(3) 血浆 HCO_3^- 向血球内的转移。因为红血球内有碳酸酐酶，故下式②反应比血浆中进行者迅速，同时带动①反应。



因之在同一时间内血球内 HCO_3^- 的减少比血浆中的快。因之又搅乱多南氏膜平衡。在重新建立膜平衡过程中，血浆中 HCO_3^- 向血球内转移，同时换出等量的 Cl^- 。

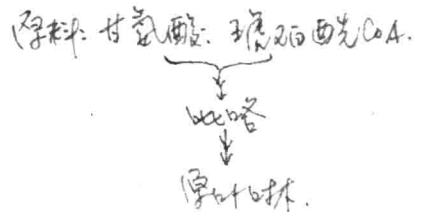
由上述可见血液流到肺部时，由于 CO_2 分压力差，而由血中释出一部分 CO_2 。但应注意一部分原在血浆中运输的 HCO_3^- ，此时转移入血球中再行分解。并可见到在肺内由于 Hb 带氧酸性的加强，有促进 KHCO_3 分解的作用。

可见血液运输 CO_2 所涉及的化学反应绝大部分是酸碱中和反应。血液对运输气体而言，实际是多种弱酸及其盐等多种物质共存的体系。由于 O_2 分压力及 CO_2 分压力的变动引起各个物质数量的变动，加上心脏推动血液循环，客观上起运输 CO_2 的作用。Hb 本身不仅运送 O_2 而且也直接和间接参与 CO_2 的运输，同时即起直接和间接消除 CO_2 酸性的作用。在组织中 CO_2 促进 HbO_2 的放氧，在肺中 Hb 的带氧促进 KHCO_3 的释出 CO_2 。若 CO_2 排出不畅（如呼吸道有障碍，呼吸减弱等等），则血中 CO_2 量高于正常，即酸性物质较正常者多，此种情况称为酸中毒，反之则出现碱中毒。

第二章：血红蛋白和 Fe 的代谢

2. 原叶林合成

血红蛋白 { 珠蛋白
 铁蛋白 { 五铁
 原叶林区



- 1. 铁的代谢：共 2.4g
 - 70% 在血红蛋白中
 - 20% 贮存在铁蛋白
 - 5% 细胞色素
 - 5% 结合蛋白 (可贮存 O_2)

Fe 的排出：粪便

- ① Fe 在肝、脾、骨髓可与蛋白结合成铁蛋白贮存
- ②

第十二章 水和无机盐代謝

一切物質均由元素組成，人体亦如此。

人体的重要元素及其大約含量列于表 12:1

表 12:1 人体的元素組成

元 素	体 内 含 量 (%)	元 素	体 内 含 量 (%)
氧	65.0	鎂	0.05
碳	18.0	鉄	0.004
氢	10.0	鋅	0.003
氮	3.0	氟	0.0009
鈣	1.5至2.2	錳	0.0003
磷	0.8至1.2	銅	0.00015
鉀	0.35	碘	0.00004
硫	0.25	鈷	微 量
鈉	0.15	鉬	微 量
氯	0.15		

从表中可見：碳 (18%)、氢 (10%)、氧 (65%) 及氮 (3%) 共約占 96%。过去講过的醣、脂类、蛋白質即主要由上述元素組成。本章还要講由氢氧所組成的水；它是体内含量最多的化合物。

此外，鈉、鉀、氯、鈣、磷、鉄等元素虽共占体重不到 5%，但也是不可缺的，也都在章講述。它們的功用是多方面的，因而留至分述各个元素时再介紹。

水和无机盐的代謝自有特点，它們或則是简单的化合物，或則是元素，所以在代謝上沒有象醣、脂类、蛋白質等有机化合物复杂的代謝反应，众多的相互轉变过程。水与无机盐主要的作用在于它們化学上的稳定性，所以在学习时要注意它們的浓度、体积、分布、动向以及水和存于其中电解質的相互关系。

水与无机盐代謝在临床应用上既广泛又重要：内科、外科和儿科等很多常見多发病都和水与无机盐代謝有关；同时在很多情况下，是否正确診疗水和无机盐代謝的紊乱又是病人能否治癒的关键。

在学习水与无机盐代謝时，为了便于比較，无机盐（它們常以电解質存在）的浓度不用毫克数表示而用毫当量/升为单位。

从毫克%折合成毫当量/升可用下式求得：

$$\text{毫当量/升} = \text{毫克}\% \times 10 \div \text{原子量} \times \text{原子价}$$

一般电解质的浓度由毫克%换算为毫当量/升。可按下列各式，

$$\text{Na}^+ : \text{毫克} \% \times 10 \div 23$$

$$\text{K}^+ : \text{毫克} \% \times 10 \div 39$$

$$\text{Ca}^{++} : \text{毫克} \% \times 10 \div 40 \times 2$$

$$\text{Mg}^{++} : \text{毫克} \% \times 10 \div 24 \times 2$$

$$\text{Cl}^- : \text{毫克} \% \times 10 \div 35$$

$$\text{HPO}_4^{--} : \text{毫克} \% \times 10 \div 31 \times 1.8 \text{ (在细胞外液的正常 pH 下, 实际上只有 80 \% 是 } \text{HPO}_4^{--}, \text{ 余下 20 \% 是 } \text{H}_2\text{PO}_4^- \text{)}$$

$$\text{HCO}_3^- : \text{体积 } \text{CO}_2 \% \times 10 \times 1 \div 22.2$$

$$\text{血浆蛋白质} : \text{克} \% \times 10 \times 0.243 \text{ (是经验式)}$$

水的动向与渗透压密切相关，渗透压的浓度单位是渗量 (Osm.)，(或称渗透克分子量) 单价元素 1 当量 (例如钠 23 克) 具有 1 渗量的压力，双价元素则需要 2 当量才能产生 1 渗量的压力，例如钙 40 克为 2 当量，等于 1 渗量。1 渗量等于 1,000 毫渗量 (m.Osm.) (或称渗透毫克分子量)。电解质的毫渗量可从下式计算：

$$\text{毫渗量} = \frac{\text{毫克} \% \times 10}{\text{原子量}}$$

1 升血浆所含蛋白质的毫渗量则用 8 除蛋白质克数%来算，即蛋白质克数 \div 8。

不解离的分子如葡萄糖，它 1 毫克分子量具有 1 毫渗量的渗透压；解离成两个离子的分子如 NaCl，1 毫克分子量产生 2 毫渗量的渗透压。一个比较复杂的分子，例如 Na_2HPO_4 解离成 2 个 Na^+ 和 1 个 HPO_4^{--} ，则 1 毫克分子量的磷酸氢二钠相当于 3 毫渗量的渗透压。

第一节 水和钠、氯、钾代谢

水是人体含量最多的化合物，是细胞中的必需成分，也是最重要的养分。水的溶解力极强，介电常数很大，所以它是体内化学反应中的介质，也是物质运输的介质。同时，水的比热高，所以在调节体温上也有重要作用。

由于水和存于其中的电解质 (尤以 Na^+ 、 Cl^- 和 K^+) 密切相关；在临床应用上也一起考虑的，所以合在一起讲述。

一、水在体内的含量及分布：水是人体内含量最大的物质。水在成年男人占体重 50—70% (平均为 60%)，水在成年女子也占体重 40—60% (平均为 50%)，至初生婴儿，水更占其体重之 70—80%。可见水占体重的比例随年龄增长而有所下降。11.90%

需要指出，水占体重的比例随体脂的增加而减少，这是因为体脂含水极少。因而肥胖者含水占体重百分率低于瘦人；女子水含量占体重百分比之低于男子，也是因其体脂较男子丰富也。

水占体重百分比这样高，其在各个器官和组织中所占百分比也应不低。从表 12:2 所见，果然是这样。要指出，肌肉含水量不算最高，但因其在内含的含量最大，因而其所含水约占体内水之一半。

此水占
液体中的水占 11.90%

表 12:2

成年人的器官、組織与体液中水的含量

組織或器官	水的含量%	水占体重的%	組織或器官	水的含量%	水占体重的%
脂肪組織	25—30	18	腎	82	0.3
骨	16—46	16	血液	83	5.0**
肝	70	2.3	紅血球	65	—
皮膚	72	7.0	血漿	92	—
腦髓(白質)	70	2.0*	胆汁	86	—
腦髓(灰質)	84	2.0*	乳	89	—
肌肉	76	41.6	尿	約95	—
心脏	79	0.5	唾液	99.4	—
結締組織	60—80	—	汗	99.5	—
肺	79	0.6			

* 包括腦及脊髓；**此值代表由尸体抽出的血液。

水既是体内最多的物質，已如上述，它在体内又是如何分布的？大部分的水（約占体重的40%）存在于細胞里面，这部分水称为細胞内水；余下部分的水（約占体重的20%）存在于細胞之外，这部分水称为細胞外水。細胞内水及其所含的溶解物質称为細胞内液；細胞外水及其所含的溶解物質称为細胞外液。

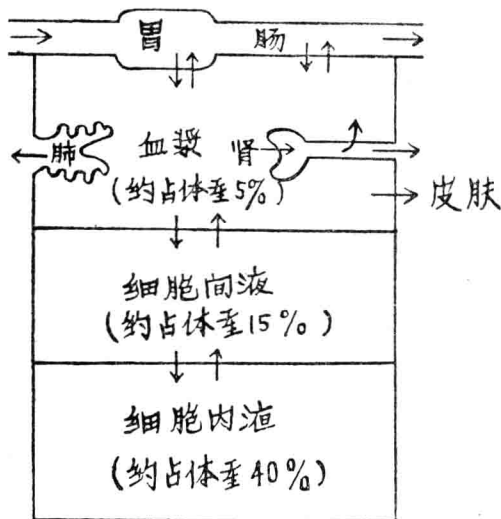


图 12.1 体液分布及动向

不过也有人把細胞内水及細胞外水籠統的称为細胞内液及細胞外液。)細胞外液还可按其存在于血管里或血管外区分为血漿及細胞間液(或称組織間液)。細胞内液及細胞外液总称为体液。

从图 12:1 可見体液間的关系及其含量。水从胃腸道进入人体，再进入血浆；相当量的水也經腎、肺、皮膚和腸道排出。血浆的水通过毛細血管壁与細胞間液相平衡；細胞間液通过細胞膜与細胞内液相平衡。細胞間液居于中間地位，而且細胞間液的体积可有較大的伸縮性。所以在調节水平衡上有缓冲的作用。这是說，当体液中的水分或其中的电解質有增減，細胞間液可以适当的扩大和縮小，以免血浆和細胞内液发生急剧变化，这样就能維持正常的血液循环及細胞功能。

水是可以自由通过毛細血管壁以及細胞膜，那么水的动向是由什么因素决定的。在这里，渗透压是很重要的；为此，在下面先介紹体液中的电解質。

二、体液中电解質。体液区分为細胞内液及細胞外液（它又分为血漿和細胞間液）。在图 12:2 和表 12:3 列出这些体液的化学組成。

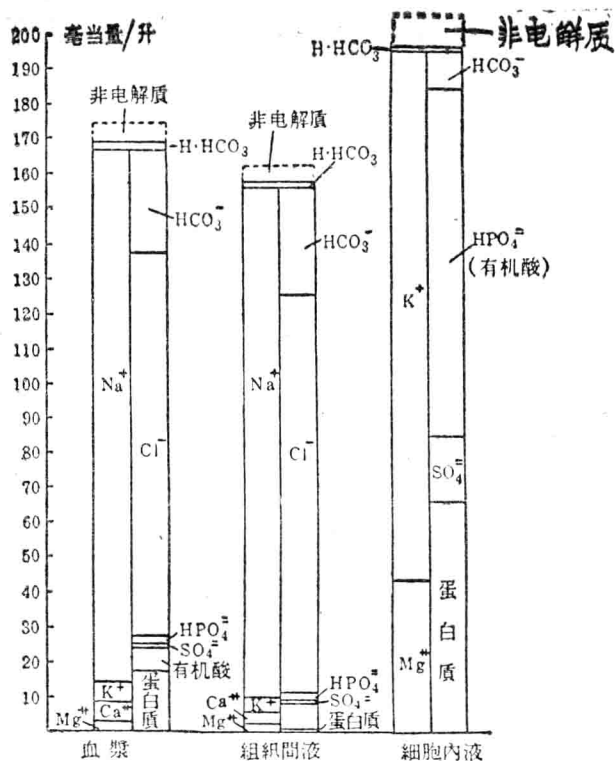


图 12:2 体液的組成

表 12:3 体液的化学組成

	血 浆		細 胞 間 液		細 胞 內 液		
	毫当量/升 血浆	毫当量/升 水	毫渗量/升 水	毫当量/升 水	毫渗量/升 水	毫当量/升 水	毫渗量/升 水
正 离 子							
Na ⁺	142	154	154	147	147		
K ⁺	5	5.4	5.4	4	4	15.2	15.2
Ca ⁺⁺	5	5.4	2.7	3	1.5		
Mg ⁺⁺	3	3.3	1.7	2	1	4.3	21.5
正 离 子 总 量	155	168	164	156	154	195	174
負 离 子							
Cl ⁻	103	111.8	111.8	114	114		
HCO ₃ ⁻	27	29.3	29.3	30	30	10	10
SO ₄ ⁼⁼	1	1	0.5	1	0.5	18	9
HpO ₄ ⁼⁼	2	2.2	1	2	1		
有 机 酸	6	6.6	6.5	7.5	7.5	100	100?
蛋 白 質	16	17.3	2.2	1.5	0.2	67	8.4
負 离 子 总 量	155	168	151	156	153	195	127
正 負 离 子 共 計	310	336	315	312	307	390	301