

生物化学

下册

生 物 化 学

下 册

江苏工业学院图书馆
藏书章

湖南医学院生化教研组编

1959 年 10 月

第三篇 第六章 水与无机盐的代谢

水的代谢

水在机体生活过程中非常重要，不仅是所有细胞组织不可少的构成成分，并且还是进行一切活活动中化学变化的媒介。

I 机体内水的含量：水含量随年龄的增加而累减少。新生儿的组织含水最多，约占体重 $\frac{3}{4}$ ，成年人体内含水约为体重的 $\frac{2}{3}$ 。关于水在人体各部分的分布列表于下：

成年人的器官、组织与生物液体中水的含量（以百分数计之）

器官组织	水的含量	器官组织	水的含量	器官组织	水的含量
脂肪组织	25-30	心脏	79	胆汁	86
骨	18-46	结缔组织	60-80	乳	89
肝	70	肺	79	尿	约95
皮肤	72	肾	82	唾液	99.4
脑髓(白质)	70	血液	83	汗	99.5
脑髓(灰质)	84	红细胞	65		
肌肉	76	血浆	92		

由表中可见，水分在人体内的分布非常不平衡。有些组织（肝、脑、皮）含水约为其重量的70%，而另一些（肌、心）中则更多（70—80%），如肾、肺、结缔组织以及血液含水量达80—83%。生物的其他液体中（尿、唾液、汗）含水约95—99%。

虽然，肌肉含水的百分数并不比其他组织高，但肌肉的重量最大，因而它所含的水分的总量约占人体总水量的一半。

人体器官内水分的重量与总含量

组织器官	器官佔体重的百分比	水的含量(克)	水的含量(%)	水佔在个体内总水量的百分比
骨骼	16	5100	46	12.5
肌	41.6	22022	75.6	54.8
肠	1.8	943	74.5	2.3
肝	2.3	1076	68.2	2.6
脾	0.2	99	75.7	0.2
肾	0.3	214	82.7	0.5
肺	0.6	375	79	0.9
心脏	0.5	263	79.2	0.6
脑髓(大脑与脊髓)	2	1050	74.8	2.6
神经	0.4	169	58.3	0.4
皮肤	7	3493	72	8.7
脂肪	18	3760	30	9.3
血液*	5	2836	83	7

*: 将死者脏器中的血液完全排空是很困难的, 因此上面所举出的表示体内血液含量的数值较实际为少。

比较: 淡水与海水

水具有许多特殊理化性质, 为其他许多化合物所无。纯水为中性液体, 具有很大电介常数, 很便于溶解各种无机和有机物质。同时因其电介常数大, 故能促进溶液中电解质的离解。此外, 水的表面张力很大, 体液在血管、淋巴管以及组织间隙中的移动速度, 因而也很高。为了正确估计水的功用, 应考虑到动物体内一切化学和物理化学反应, 是在水中进行的。水不仅是中性溶剂, 而且还积极参加许多代谢反应, 其中不只是水解作用, 还有许多氧化及水化作用, 胶体膨胀等等。

⑤ 代谢最终产物的运输与排除也是在水溶液状态下进行的。

⑥ 水还起着重要的机械作用, 它能润滑关节、韧带、肌肉等摩擦表面。

⑦ 体内有部分水, 与亲水的蛋白胶粒成结合状态存在, 结合的水丧失了普通的流动性, 因此有时仅含微量蛋白质的凝胶体, 也常显示半固体性质。

像心、肾、肌肉、皮肤等致密组织中含水约70—88%, 心脏虽是坚硬具有弹性的器官, 但其含水量仅比血液少3—5%。乍看这些事实好象很奇怪。不过更加奇怪的是, 象水母类的动物, 含水达96—99%, 几乎就等于是纯水, 有时仅含有1%以下的干物质。但是这少量的蛋白胶凝体, 具有一定的形状和构造, 因而显示一种特性, 能与大量的水结合便失去其流动性。蛋白胶凝体内部的细微构造, 有时由于振动物, 容易破坏。机械地振动物凝胶, 能使它解凝变为流体, 但不久之后, 仍旧能恢复它的内部构造, 由流体又重新变为凝体。由此可见, 水在形成生物物质构造成分中, 起着十分重大的作用。

一般动物机体若缺水过多, 即不能生成。人与动物因水分不足而死亡, 比较因食物不足时还迅速得多。根据实验, 人类完全禁食(但不禁水), 还可以维持30日甚至更多的时间, 若完全不能饮水, 故日即会死亡。象这样缺少水分就不能生存的动物还很多。当然某些微小生物(虫类)可能例外。也还有许多细菌、酵母等虽在干燥下能继续生存, 但也不能生长繁殖。

II. 水的需要量: 成年人每日需水量, 约每体重一公斤需水40克, 乳婴需水量较此多3—4倍。水的来源大致可分三项: (1) 饮料如茶、汤等每日约为1—1.5升; (2) 食物中含水约为1—1.5升; (3) 代谢时产生的水约400毫升。

由体外摄入的水应当能完全补偿排泄所消耗的水分(经肾(尿)、皮肤(汗)、肺(蒸汽)、肠(粪)), 这些水的丧失, 是与人类、动物在地球上长期进化过程中, 所产生的许多重要生理机能有着密切的关系。实际上, 人和高等动物氮代谢的主要最终产物, 就是经肾脏随尿排至体外的。人类排尿量与体重、性别有关, 每昼夜内1.2—1.5升。当然饮水多则尿多, 饮水少, 尿也少。但是尿的浓缩有一定的限度。若是饮水过少, 就会引起严重的机能障碍——代谢最终产物排泄的障碍。例如: 尿素、尿酸以及NaCl、磷酸盐、硫酸盐等无机盐类, 都成溶液状态自尿中排出。若是这些物质滞留于体内, 就引起血液、细胞间液、与组织液之间的渗透压对比发生变化, 这种变化往往是不适于生命的。

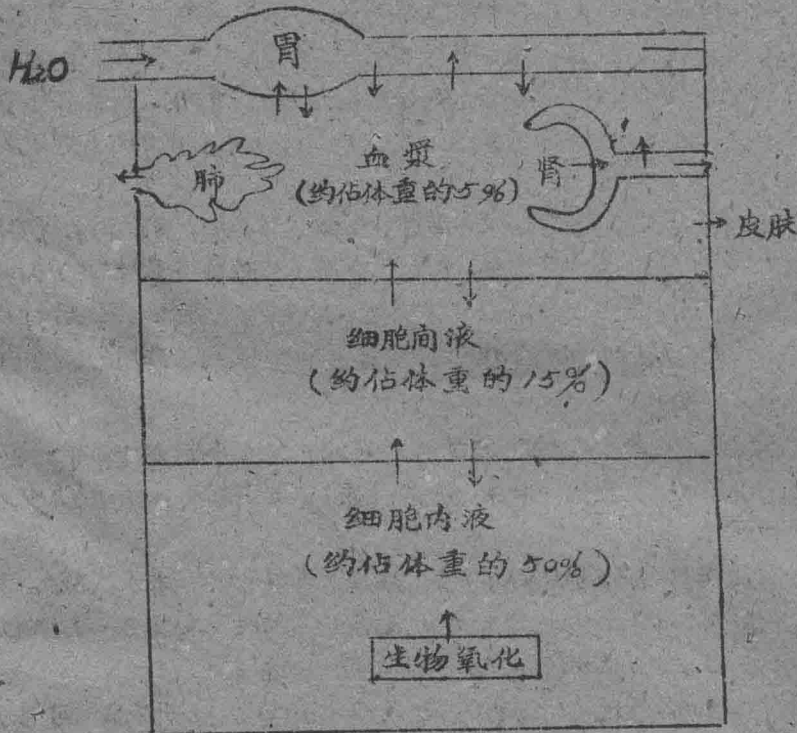
有一部分水(250—350毫升)成为蒸气经肺呼至体外。冬季呼气成白雾, 实是细微水滴。昏迷的病人, 呼吸微弱, 很难察觉, 诊察时可以冷镜置于口前, 让呼出的蒸汽凝结, 使镜子失去光泽。水自肺部排出, 乃是由于气管及肺泡广大表面上蒸发的结果。肺泡和气管只能在充分湿润的情况下正常工作。蒸发了的水分必需即时补充。

每昼夜随大便排出的水分虽仅50—200毫升, 但必需有一定湿度才能保证排泄便利。

维持膜功能的正常。

最后,经皮肤汗腺排出水分很多,而且与体温调节有密切关系,因为随着皮肤汗液蒸发,能散失大量热量。正常人平均一昼夜从皮肤约排水0.5—1升,从事于工厂高温作业,或繁重体力劳动的人,常大量出汗,每日可失水5升以上。

由肾、肺、皮、肠排出的水,经常较摄入的水量稍多(约多1/3)。可以这样解释:最重要的代谢最终产物中,除 CO_2 以外还有 H_2O 。几乎所有基质在代谢中都能脱氢,然后被氧化生成水。其中特别是脂肪,含氧少而含氢多,经过氧化时产生的水也最多。就地球上某些动物(沙漠上的骆驼)说,利用内生性的水,有很重要的意义。氧化每100克脂肪时生水107毫升,同重量的糖只生55毫升,蛋白质仅41毫升。



体内水的吸收、排出及水与体液间的关系

III. 水代谢的调节: 人体能维持水的平衡,是通过特殊的生理机制对饮水的增减,以及水排出的速度的变化加以调节,才能完成的。饮水是受口渴感觉的调节,而这种感觉又正是由大脑皮质某一定部位上的反射性兴奋所引起。血浆渗透压的改变,是引起这种兴奋的最初信号。肾脏、皮肤等器官排水的机能也是由中枢神经系统直接及间接(通过激素)所控制。

水进入体内时,在胃中即开始被吸收,不过主要还是由肠道吸收进入血液及淋巴。大体上血液渗透压比食糜高,水分的吸收先须消耗能量。进入的水随血流经肝后,到达大循环。但血液并无稀释现象,因为血液中水分增加时,即迅速渗入细胞间液的缘故。此外皮肤和肝脏,都有储水的功用。动物饮水后,发现所饮水分的80%储在皮肤,可见它是存水的主要仓库。

水与其他物质(蛋白、脂肪、糖及盐类)在代谢上有密切关系。这种关系特别表现在盐类代谢方面,盐类中某些离子能促进水在组织内的积蓄,某些离子则相反。如钠使水积存,钾使

则促进水的排泄，但它的作用机制尚不明白。例如有人饮用1500毫升含有1.65% NaCl的水后在4小时内仅排尿管200—300毫升，平时海水中含盐达3%，故不适于作饮料水。反之马铃薯、蔬菜、水果含钾较多，食后能促进水的排泄。可见水的代谢与无机代谢关系密切，决不是孤立的。

(三) 食物性质对于水的平衡也有影响。幼儿摄取富于酐的膳食，体重增加，但由于同时在体内也相应地积存了水，因而体质有些松软。通常认为体内增加每一克酐或蛋白质时，可同时积蓄3克水。脂肪不是亲水物质故在体内储存时无此现象。

一般大量饮水后，能使代谢突然增加。耗水过多则蛋白质在体内分解过程加速，使氮排尿管增高，有时可达20%，甚至造成氮的负平衡。对这些情况现虽没有适当的解释，但颇引人深思。组织中条件改变对机体的影响巨大，于此可见。

水自体内排尿管，受几种机构调节，其中调节尿管排泄的机构最重要。这些机构皆受中枢神经系统的约束。贝可夫及其同工早已证明，水代谢及肾功能首先受大脑皮质发出的冲动而控制。甚至饮水的动作就能刺激组织对水的需要。例如用狗作假饮实验时，虽然没有一滴水能进入体内，而水分却由血液进入组织，使血液浓缩了。假饮后1/2到2小时内，排尿管减少，就是这个缘故。

已经证明间脑与灰白结节能调节水的代谢。信号沿神经传给大脑皮质，可能再由皮质传到间脑与灰白结节。皮质的兴奋以一定方式表现于肾的工作上。或由于冲动直接沿神经的传导，或通过某些内分泌腺，尤其是脑下垂体，使肾的机能在这种情况下有所改变。例如垂体后叶的血管加压素，可加强水在肾小管的吸收，有抗利尿作用。而垂体前叶则有利尿作用的激素。这种方式可称为排尿的神经体液调节机构。

四、水代谢的障碍：由于各种病理的原因可以引起水平衡的障碍；或使水分积存于体内，引起各种类型的水肿（炎症性、过敏性、饥饿性等）。或引起部分组织缺少水分，形成严重脱水现象。

若测定某人机体是否有能力维持水的平衡，在床上常用重要的排水试验。其法先使病人饮水1.5升，然后收集3—4小时内所排尿管的尿，若系正常的成年人则3—4小时内排尿管的尿不应少于1200毫升左右。如显著减少，应引起注意有疾病态。

如果患者经由肾脏排尿管的水分过多（每日达10—15升甚至20升尿），可能引起组织严重的病理脱水现象。例如尿崩症患者，因其肾脏丧失了浓缩原尿的能力，大量稀薄的尿排尿管体外，其比重极小。又例如糖尿症患者，随着大量葡萄糖的排尿管，尿量也很大（比重大）。这两种病人都是大量排尿而且都伴有口渴，因此他们对水有自然的要求；对此我们也不应加以限制。

二、无机的代谢

彭格(Byhre)氏最先注意到无机盐类在人类与动物营养上的意义，及其对机体生活机能的作用。其后路宁ЛыHH氏又作了进一步的详细研究，他用实验证明：如果用当时已知乳的成分如纯净的酪蛋白、乳粉、脂肪等，饲养大鼠时，则鼠经常死亡。但若向此种食物中添加乳的灰分（乳经过烧后有机物质皆被破坏，仅剩无机盐类称为灰分），则鼠在更长的时间内继续生活，由是证明了无机盐在营养上的重要意义。

无机代谢与水代谢有密切关系。大多数无机盐在机体中是以水溶液状态存在的，因而无机盐在体内移动，不能与水代谢分离。无机盐与水虽不能向机体供给热能，但在保持正常生活机能上意

义很大。

I 脏器与组织中无机元素的含量：人体所含无机元素种类很多，50余种元素中，除碳、氢、氧、氮外，通常都列入无机质范围内。本章所涉及的，仅限于下列诸元素：钠、钾、钙、镁、铁、铜、钴、锰、锌、磷、硫、氟、碘、氯等。其中又以钠、钾、钙、镁、铁、氯、磷、碘为主。并非这些元素在生理上显得特别重要些，而是由于它们的代谢障碍所引起的疾病比较常见。总之这一方面的知识还很有限，不能详论所有这些元素（详见蛋白质代谢章）。

若将人体脏器与组织中各种无机元素的含量数值列成一表，则不难看出其中以骨骼与牙齿的成分内的无机元素（特别是Ca, P, Mg）含量最高。大葬时屍体的灰炆约三公斤，其中以骨灰类为主成分。骨灰中约含有85%的磷酸钙，10%的碳酸钙，1.5%的磷酸镁，和0.3%的氧化钙。可见骨骼中钙和镁是以磷酸盐为主要形式，其次为碳酸盐和氧化物。它们即以细微的内含物状态分布在骨骼的有机成分中。

人体脏器与组织中主要矿质的含量表
(以新鲜组织的毫克%计列)

器官组织名称	K	Na	Ca	Mg	Cl	F	P
人体与所有骨骼	265	109	2010	36	156	0.9	1160
肾组织	61	180	11000	105	190	—	5050
牙齿* 牙齿质	50	250	36000	400	300	111	17000
象牙质	70	190	27000	800	0	117	13000
肌肉	360	72	7	23	66	—	220
心	250	185	10	17	135	0.16	270
肺	150	250	17	7	260	0.08	120
脑髓	330	170	12	16	150	0.06	380
肝	215	190	12	22	160	0.25	210
肾	175	175	20	21	220	0.48	140
红血球	460	80	—	5	190	—	60
血清	20	335	10	2	370	—	45

* 牙齿的材料根据无脂肪的干燥组织的毫克%计列。

机体其他细胞、血液或其他体液中，也都含有钙和镁。它们或呈离子状态或与蛋白质结合。这种结合了的无机元素，没有渗透活性。

(1) 体内有机磷酸化合物很多，可见磷并非只以无机盐形式存在。而且许多磷酸化合物如核蛋白、核酸、核苷酸、磷蛋白、磷脂、许多磷酸酯类等。它们不仅是在机体生活过程中或代谢反应中即是有着非常重要的生物学意义的。

(2) 钠和钾主要是以离子状态存在于机体的一切组织和体液中。而钠则多在细胞外液（血液、淋巴、消化液、渗液等）。相反地，钾则多在细胞内液。

Na^+ , K^+ 离子在细胞内外分布的差异，是由于它们对细胞膜的渗透性与细胞特殊代谢活动，特别是与新的氧化有关，但其详细机制，尚未彻底弄清楚。

③ 氯主要是以阴离子形式存在。氯离子常与 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等阳离子一道呈游离状态存在于血浆、淋巴、细胞内液、脑脊髓液等，成为渗透上最主要的活性阴离子，比其它阴离子的影响大得多。正如 Na^+ 、 K^+ 离子分别是细胞外液与细胞内液中主要渗透活性阳离子一样。

④ 硫差不多是体内所有蛋白质中的一个成分，特别是支柱组织与保护组织的主要成分硬蛋白类，含有大量的胱氨酸。故毛、发、皮、角、指甲都富于硫。此外谷胱甘肽（三肽）、维生素（B）、硫辛酸、生物素（激素（胰岛素、肾上腺素、加压素、促甲状腺素等），以及许多重要的生物活性物（辅酶A）也都含有硫。

机体内还经常含有微量的其他无机元素，它们大多能与有机化合物相结合。例如 I、Fe、Zn、Cu、F、Br 等。此外组织中还有一些为量极微的元素如：Mn、Co、Al、Sn、Ag、As、Si、Ni、Cr 等，是用放射光谱分析法发现的，称为“微量元素”。它们的存在并不是偶然的。机体各个脏器或组织中所含无机元素的种类和数量各有不同。例如人类甲状腺中含碘达 50 毫克%；而血液中则仅 0.0021 毫克%，也有些元素的含量随着机体年龄不同而有所变化。

现在已经有许多事实证明许多种微量元素，具有极其重要的生理意义。也许人体对某一种微量元素的需要量，每日不过千分之一甚或百万分之一毫克，但食物若完全缺少它，就能引起代谢障碍，导致疾病。例如：I、Fe、Cu、Co、Zn 等元素的重要生理意义，现在都已初步明白了。

II. 无机盐在体内的功用：① 无机盐类不仅是构成身体的组织与细胞成分，而且也参加细胞与细胞间液之间的许多交换过程。② 他们还是许多酶系的激活剂。③ 它们成为一切液体不可缺少的成分而起着重要的作用，保证了机体所有组织器官的正常生命活动。这些都足以使我们确信，盐类的代谢是很值得注意的。

无机盐类既是人体组织与细胞的成分，并且缺少盐类时则新陈代谢就不可能在体内正常进行。所以在人类或动物的食物中，正如需要维生素和某些氨基酸一样，必须含有一定量的各种盐类。尤其对于幼小机体的生长发育来说，摄取一切必需的无机元素更具有特别重大的意义。无论是在胚胎期或正生后的发育期中，都必须由食物中摄取足量的 Ca、P、Mg 与 F 等盐类，如果缺少它们则骨骼形成发生障碍。若食物中这些元素含量不足，结果一定会使骨骼钙化不良。大家都知道鸡在上述的情况下则生“软壳蛋”，其壳若如纸。在妇女、乳母、婴儿、儿童对于这几种元素的需要最为迫切，食物中供给量也高于一般情况。其中特别是 Ca 的来源比较困难，应特别注意。

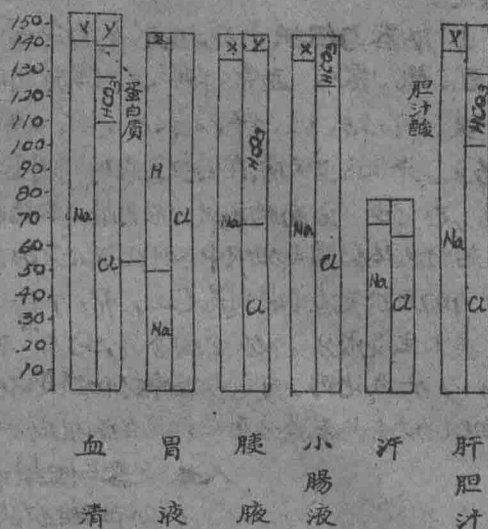


图 某些生物液体中电解质的含量 (以 1 升中之毫克当量计) X-阳离子 (Na 除外); Y-阴离子 (Cl、HCO₃ 与蛋白质除外)。

无机盐在植物与微生物的正常生长发育上也是不可缺少的。很早就知道土壤是否肥沃，与其所含的K, Ca, P, Mg, Fe, S, 以及某些微量元素的含量有关。在许多元素之中即令只有一种元素不足，植物也不能正常地生长发育，甚或停止生长。而土壤中施加矿物肥料（即无机元素）可使它恢复肥沃。苏联著名的“玻璃肥料”正是利用玻璃溶解度小能万份供给许多微量元素。植物的无机盐营养问题对国民经济，人类食物营养价值都有非常重要的意义。

在血液及其他体液中呈离子状态的无机盐类起着很重要的生理作用。首先就是它们在维持“生物液体”的渗透压恒定方面有重要的意义。

① **盐类与渗透压**：溶液的渗透压是由溶质克分子浓度决定的。而在盐类溶液中，则其离子浓度乃是决定因素。因此它们所产生的渗透压比同样克分子浓度非电解质（糖、尿素等）要大得多。因为电解质一分子在溶液中能离解成二个或二个以上具渗透活性的离子，而非电解质则否。生物液体，例如血液的渗透压，也是借助于无机盐类以维持在一定水平上，其中最主要的渗透活性物质就是NaCl。

细胞的许多生活机能，例如细胞自外部摄取物质，或将其排到外部去，或者维持细胞一定的形状（能的状态等），都依靠细胞内外液体的渗透压为转移。因此盐类实起着非常重要的生理作用。

人体血液与组织液渗透压的恒定，首先是由肾脏机能来维持的。通过它可将过剩的水或渗透活性物质如NaCl, KCl, 含N的代谢最终产物等，排至体外。

② **盐类在机体缓冲体系中的功用**：无机盐类对于维持机体pH恒定，有非常重要的意义，它是构成组织与体液缓冲体系的重要物质。

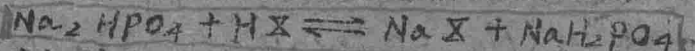
① 蛋白质是体内很重要的缓冲物质，乃是因为它具有两性性质，既能与 H^+ 结合，也能与 OH^- 结合。当体内出现过剩的酸或碱时，蛋白质可以与之结合而防止pH过多的变化。

② 无机盐类特别是钠和钾的重碳酸盐与磷酸盐的溶液，也具有对抗pH变化的能力。这是由于它们能与 H^+ 和 OH^- 离子（自酸解中来的）作用生成不易离解的酸或生成盐，而这些产物的酸性或碱性都很微弱。例如当有酸性物质在体内出现时（代谢产生的，或外面进来的），重碳酸盐与酶作用生成 H_2CO_3 。



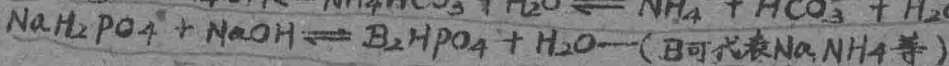
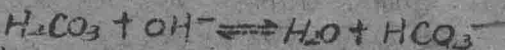
碳酸是一个很弱的酸，并且组织中，特别是血液中，含有碳酸酐酶，能迅速分解 H_2CO_3 成 H_2O 和 CO_2 排至体外。因此只要血液内有足够的重碳酸盐存在，机体代谢所产生的酸，一般情况下只会使血液重碳酸盐减少，而不会引起体内pH很大的改变。

磷酸盐对抗pH变化的作用机制，可用下式表示之：



磷酸氢二钠与酸作用生成酸性很弱的磷酸二氢钠。这时的重离子浓度比起让强酸HX存在时要低若干倍。这就是体内磷酸盐对代谢中酸性产物所起的缓冲作用。

机体不仅于酸性的代谢产物有对抗能力，对于碱性产物（如氨等），也有同样的功效。此时游离的碳酸和微弱酸性的磷酸二氢钠，起着重要的缓冲作用。它们能结合 OH^- 离子使碱性变弱。



血液在机体缓冲体系中如何变化将在血液章中详细讨论。

③ **盐类对机体胶态物质的影响**：对于人体组织蛋白质的胶体状态，盐类表现一一定而且很强的影响，许多细胞内外蛋白质的分散度、水化作用及溶解度等，皆依组织和细胞内存在的离子种类及一定浓度为转移。在这种情况下，离子的原子价和化学本质极为重要。每种阳离子或阴离子对于细胞胶态物质的理化状态所起的作用的特点（参看胶体化学讲义）就决定了各种离子的特殊的生理作用。

④ 先说温血或凉血动物的器官、组织与细胞，在一定条件下，能在与其原体液相近似的盐类溶液中，保持其生活机能与工作精力，这相当长时间，然而这些盐类不仅含有一定的渗透压和pH值，而且还需含一定种类的离子，相互之间呈一定浓度的比例。生理实验中常用任氏溶液是个好例子。其中含有一定浓度的 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{++} 和 HCO_3^- 等离子，用于温血动物上的任氏液其浓度比用于青蛙的高一些。这是因为温血动物血浆渗透压比蛙的高。

任氏溶液的成分表

	一升蒸馏水中的克数			
	NaCl	KCl	CaCl_2	NaHCO_3
凉血动物适用	6.5—7.0	0.1	0.1	0.2
温血动物适用	8.5	0.2	0.2	0.1

利用蛙的离体心脏做生理实验时，所用生理溶液要求包含所有必需的离子，才能保持长时间内在体外工作，一般继续收缩至数小时。但只要将 NaCl 或 KCl 的浓度改变一下，那怕改的很少，也能使心脏活动发生障碍，甚或完全停止活动。

如果单独使用某一种盐类例如 KCl 或者 CaCl_2 的水溶液，即令牠和血浆等渗，也不适于离体的脏器。它可立刻引起心跳的停止，可见组织细胞的重要生理机能不仅与体液、pH值及渗透压有关，而且也与离子的性质以及它们相互之间的浓度比例大有关系。若是这种浓度发生了变化，就一定会引起许多生理机能障碍。

Ⅲ **无机盐类的吸收**：肠壁对于 NaCl 、 KCl ，等容易吸收的盐类（钾盐来自植物中）几乎可以说无限制的接纳。口内进入多少，肠内就吸收多少。此时血液和组织液中渗透压及离子浓度变化可能产生的危机，机体可借肾脏排出盐类，并吸入大量水分以消除它。生活经验证明，饮水易决定口渴的适感，而每当食盐过多时，口渴特别严重。液体进入消化道后，在吸收过程中，很快变成血清的等渗液。这时根据肠道中液体盐类最初浓度的不同，水和盐或者是由肠进入血液与淋巴，或者是与此相反，随肠液一同排入肠道。

② 某些不容易被吸收的盐类如芒硝（ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）或泻盐（ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ），它们的下泻作用乃是因为进入肠道后，肠道内渗透压显著增高，大量水分由血浆进入肠内。

③ 不易溶于水的盐类如钙和镁的磷酸盐及碳酸盐，只有当它们转变为易溶的酸性盐后方能吸收。因此有许多因素可以影响它们的吸收。食物中含有一定量的脂肪和蛋白质，以及胆汁与胰液的正常分泌，均能保证肠道维持一定的酸度，而有助于此类盐的吸收。此外维生素D₃及食物中钙和磷的比例都能影响它们的吸收。磷酸还可以其有机化合物的形式（如核苷酸）被吸收。凡是能使钙、磷在肠道中沉淀的因素，如食物中含有较多的草酸及植酸等都会妨碍Ca、P的吸收。

④ 铁的吸收量，主要决定于机体需要情况。当机体缺乏铁的时候吸收的也多，没有需要时吸收量很少（详见）。吸收时以低价的无机铁盐（ Fe^{++} ）为主。食物中血红蛋白中卟啉中的铁因在肠道内不能分解，因此完全不被吸收。

⑤ 此外碘、碘及许多其他元素亦不仅以无机盐的离子形式，也成比较复杂的有机化合物形式被吸收。例如甲状腺素就是完全可以口服而被吸收的。

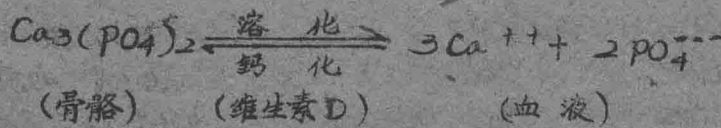
四、无机盐类吸收后的代谢途径：无机盐类与水分一同经肠壁被吸收后一部分积存于骨骼、肝脏、皮肤等器官组织内，一部分进入血液。多余的盐类则以各种不同的方式排出体外。进入组织细胞的盐类之中，有一部分能与细胞原生质的蛋白质相结合，这些无机盐离子因而失去了它的渗透活性。由于这一过程可使局部渗透压发生变化。仅 K^{+} 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 PO_4^{--} 等离子有此情况。细胞外液中（血浆、淋巴、体液等）的钠盐主要是成离子状态存在的。

吸收的可溶盐类，能在各种不同脏器中保留一部分。不过各个不同器官对不同盐类有一定的选择能力。例如： Ca^{++} 、 Mg^{++} 的磷酸盐多积存于骨骼中， I 多积存于甲状腺体内 $NaCl$ 则存在皮肤中。 Fe 主要是储存在肝内，也可看作是铁的储存仓库，当机体由肠中摄取的无机盐类感到不足时，则盐类可由这些储存仓库重新进入血液中，通过血液运到全身。

像体内有机成分一样，无机盐类在活体中也处于不断更新的状态，甚至连骨骼中的无机成分也在逐渐更新，与食物中新来的同一成分经常达成动态平衡。但各种无机盐的更新速度不一样，注射同位素 Na^{+} ，故小时后即均匀分布于各种组织中，而注射同位素 K^{+} 则需数天才能使其分布达到平衡。骨骼中的 Ca^{++} 的更新速度则更慢。

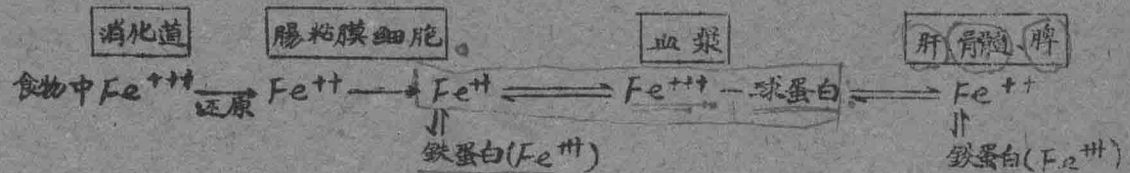
血液中 Ca 和 P 含量不仅有一定水平而且血清 Ca （9—11 毫克%）与血清磷（3.5—4.5 毫克%）保持一定的比值，即 $[Ca] \times [P] = 36-40$ 。（如 $3.5 \times 11 = 38.5$ ）。若是超过了一定数字就会在骨内沉积（主要为 $Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$ ）。如果小于这个数字则骨内磷酸溶解产生离子。试暂以简单平衡式表示之（这仅是为了便于理解而写的，骨内的情况没有这样简单）。

（甲状腺腺）



这一个平衡式不但说明血清中 Ca^{++} 及 PO_4^{--} 离子和骨骼中磷酸钙的动态平衡关系，也清楚地表示了甲状腺腺和维生素D对 Ca 、 P 代谢的影响。维生素D既能促进 Ca 和 P 的吸收，又能激动磷酸酶因而增加了血中 PO_4^{--} 离子浓度，故有利于钙化作用。甲状腺腺则能抑制肾小管对 PO_4^{--} 的重吸收，使血中 PO_4^{--} 下降，促进骨的溶化，因而使血钙增高。

此外铁的代谢途径也比较复杂。食物中仅那些能变成无机铁盐的才被吸收，卟啉环中央的铁不被机体利用。食物中 Fe^{+++} 先还原成 Fe^{++} 然后进入肠壁随血流运往各处，形成铁蛋白储存在肠、肝、骨髓、脾脏等处。可以示意简图表示之。



当Fe进入肠粘膜细胞后，部分成铁蛋白储存，部分进入血液，另一部分则在粘膜细胞中自由存在，而且与铁蛋白及血液中铁成动态平衡。若粘膜中Fe已达饱和，则外来的Fe将不被吸收，故它是调节铁吸收的重要因素之一。铁在体内能被重复使用，我们自己体内的红血球破坏时能放出的铁，能储存于网状内皮系统的铁蛋白内，并可再作为制造红蛋白及含铁酶类之用。

同样地，构成有机化合物中的无机元素如硫、碘等也参加代谢反应，然后又在分解过程中游离出来，甚或排出体外。

V. 无机盐类的排泄：人类的食物中，含有许多无机化合物，它们的含量，并非与需要量一致，大部分未被机体利用的盐类随着尿及粪便排出体外。故大小便中的盐类成分，是依食物中的含量多少而变化的。此外人类还有相当多量的氯化钠与小部分其他盐类自汗中排出。

食物中的某些无机元素，如Fe和Ca，Mg（磷酸盐）以及偶然或自异物进入体内的重金属如Hg，Pb，Bi等，主要经大肠粘膜排出体外。甚至当它们被注射进入体内时，亦极易在粪便中发现，而在尿中只有少量。

磷和钙在排泄时大小便中的分布，常随食物种类和性质而转移。例如酸性食物（富于蛋白质）和维生素D能促进Ca和P自尿中排出。反之硷性食物使尿呈硷性，Ca磷酸盐溶解度小，不易自尿中排出，必须自大便中排出。维生素D能促进钙和磷的吸收，故有以上的影响。皮肤汗腺也是无机盐排泄器官，汗内固体物除尿素等有机化合物外也含有盐类，其中最重要的是NaCl。当人们因为气候或工作的缘故而大量出汗时，一日之内能出汗数升，常引起明显的缺盐现象，严重地影响了健康。我国劳动人民自古以来就有“喝姜盐茶”的风尚。今日的医学家常建议高温车间的工人及长途步行的兵士，在饮水中加盐就是这个道理。

VI. 机体对盐类的需要量：由于各种原因每个人所需无机盐的份量各不相同，成年人每人每昼夜的需要量大约如下：

Ca	0.7—0.8克	Na	4—6克
P	1.5—2克	Cl	2—4克
Fe	0.015—0.020克	K	2—3克

孕妇、乳母、以及幼儿所需Ca，P比较一般成年人多，7—8岁小孩每日需Ca 1克左右，P也如此。如果机体摄取无机盐类的数量不足时，就发生“盐类饥饿”的现象。甚至可以引起许多严重的生理机能障碍。另一方面某些盐类的摄取量也有决定于饮食习惯的。例如人类每日所获得的NaCl常较实际需要量为大，而且与习惯有很大的关系。减少食盐量至每日4—5克对某些患者，不但不坏而且常常是必需的。

人类食品中无机元素的含量列举于下，以供参考：

每市斤食品中无机盐含量表 (以毫克计)

食物名称	钙 (毫克)	磷 (毫克)	铁 (毫克)	食物名称	钙 (毫克)	磷 (毫克)	铁 (毫克)
机米	50 ⁺	500	5.0	马铃薯	48	260	4.0
糙米	420	1450	10.0	茄子	96	135	1.7
面粉、头号粉	95	430	18.5	冬瓜	72	46	1.1
猪肉(去皮)	52	808	1.9	白萝卜	191	133	2.0
牛奶(鲜)	610	450	0.5	大白菜	112	143	1.4
鸡蛋	234	893	11.5	小白菜	426	134	5.9
黄豆	1600	2850	29.5	莴菜 ⁺	550	127	13.2
豆腐(北) ⁺	550	550	18.0	黄瓜	108	159	1.7
绿豆芽	115	255	4.5	西红柿	38	150	1.9
四季豆	310	230	7.5	西瓜	16	27	0.5

VII 无机盐代谢的障碍：机体无机盐供给不足，或是水与盐的代谢调节机制发生了障碍，就一定会引起严重的疾病。前面已经提到过地方性甲状腺肿大，是由于水和食盐中缺乏碘所致。某些贫血症是由于缺乏铁或者由于铜不足，铁在体内不能被利用所致。并且由动物实验完全可以证明。Ca和P等盐类缺少时对于幼儿生长和骨骼发育有严重不良影响(佝偻病、软骨病)。

(一) 人类也有因为内分泌系的机能失调或是某些维生素的供给不足，而导致盐类代谢紊乱的。例如患者甲状腺机能减退时，血浆中钙含量由9—11毫克% (标准) 下降至5—7毫克% 或更低落，甚而产生抽搐症，可给予钙补或甲状腺激素以消除痉挛现象。又如青铜色病患者，因其肾上腺皮质机能不足，引起血液中K补/Na补浓度对比关系发生剧烈变化(K高Na低)。在病人膳食中增加Na补减少K补，可以消除患者许多症状。

(二) 当人类膳食中缺乏Ca, P, 或Ca:P比例不恰当，以及体内维生素D(或D元)不足时，都可引起钙和磷代谢的紊乱。而骨骼钙化过程的障碍表现在儿童有佝偻病，表现于成人的有骨质疏松或骨软化病。由此可见无机盐类的代谢与激素、维生素代谢之间有着非常密切的关系。还有由于严重脱水而引起的NaCl的大量消耗也发生于腹泻、呕吐、以及糖尿病等情况下。随时检查患者血液与尿中无机盐类的含量，有时就有重要的临床意义。

年表，血液的生理意义。理化性质。生理功能。

生理作用：循环、运输、调节、防御、内分泌和免疫等。

生178

第四篇 生物体液与某些组织的生物化学

第一章 血液

在机体新陈代谢中，血液循环起着非常重要的作用。通过血液建立了各个脏器组织之间，以及组织与外界之间的紧密联系这是它最重要的功能。同时由于血液的存在，整个机体的生活活动能够处在最适宜的内环境中。通过血液机体能将外界进入体内的各种物质带给器官组织。同时也由各器官组织运送许多必须排出体外的代谢产物。例如动脉血运氧至组织，以供其呼吸过程使用。门静脉血载运着肠内吸收的营养料经肝脏送至各组织供其消耗。另一方面机体生活活动的所有产物，无论是需要排出体外的，与代谢有一定影响的（包括激素等）或者是能再被其他组织利用的，皆从各器官组织进入血液。因此血液和淋巴是机体的内环境。各种由血液进入组织的物质，或者由组织排入至血液的代谢产物，皆必通过组织微血管网的广大表面。这些作用特别是在肝、肾、肠、肺中进行得最剧烈。血液循环、造血过程及血液化学成分的恒定皆受中枢神经系统，主要是其高级部位所调节。

测定人类和动物体中血液容积的方法很多。通常可向静脉注入一定量的无毒性的色素或染料（刚果红、T₁₈₂₄等）溶液，让它很快在血管中和血液混合，然后取出一部分血液，测定色素的稀释程度，因此不难计算出体内血液的总体积。此外，依同理亦可运用放射性同位素以测定之。经过许多研究，最后已肯定，平均70公斤的人，约有5—5.5升血液，即占整个体重的8%。

血液是血浆与浮在其中的有形成分所构成的，血液中的红细胞，白血球，及血小板皆属于有形成分。其中红细胞最多，而且它使血液呈特殊红色。红细胞与其他有形成分都可借离心法，使之在新取血液中与血浆分离。若按体积计算，血浆佔全血的55—60%，而有形成分（主要是红细胞）佔40—45%。正常成年男子的血液中，每一立方毫米有红细胞约五百万，女子约有四百五十万。红细胞中固体物质以血红蛋白为主。它的性质和构造已讨论过（蛋白质章）。血红蛋白并不存在于人类（或有脊椎动物）的血浆中。

红细胞本是浮在血液中，但向新抽出的血中加抗凝剂后，则红细胞以不同的速度沉降，这种沉降的速度依血中红细胞的数量及血浆的成分（主要是蛋白质与脂肪）而定。用具刻度的测定管能测定红细胞沉降速度，即所谓红细胞沉降反应，在临床上有很重要的意义。正常人每小时为5—10毫米，病态下沉降速度增高，例如患某些传染病时，每小时可达50毫米以上。

正常人血液中每1立方毫米有白血球7000个。许多传染病患者白血球数字增加。尤其是患白血病的人，可增加至60万以上。

血小板在血液凝固过程中起着很重要的作用。正常人血液中每1立方毫米有血小板约30万个。

血浆是将有形成分自血液分离后所遗留的一种淡黄色不甚透明的液体。它包含血液中除血液有形成分外的其他化学成分而血清则是血液凝固后，将凝块除去所遗留的液体部分，它所含的化学成分除某些凝血因素随血液凝固消耗或除去外，其他均与血浆相同。

全血 — 有形成分 = 血浆

全血 — (有形成分 + 凝血因素) = 血清

一、血液的物理化学性质

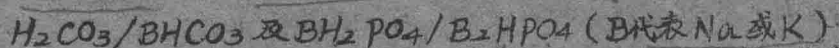
人体血液正常比重约为1.05—1.06 (15°C时)。血液含有大量蛋白质和红细胞,故粘度很大,而且其粘度大小又与这些成分的多少成正比。

血液的正常pH等于7.4。虽然各种具有酸性或碱性的代谢产物,不断自不同组织进入血液,然而血的pH改变很小。维持血液pH的恒定,对于机体正常生活机能非常重要。

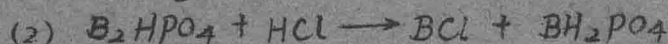
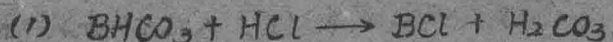
由肠管吸收的消化产物或组织代谢产物,都有酸性或碱性的不同。如蔬菜水果中的有机酸,或水解磷酸酯所生的磷酸,氧化含硫化合物所生成的硫酸,以其代谢中间产物如:乳酸、乙酰醋酸、丙酮酸等都呈酸性。呈碱性的物质虽较少,然而氨、肌酸、某些氨基酸等,也不断在体内产生。但平时少量酸或碱进入血液内,并不能改变它的pH,因为机体具有迅速使酸碱平衡的力量。血液pH的恒定,不仅是由血液缓冲体系来维持,而且在中枢神经系统管制下,另有特殊生理机构,保证了血液酸碱度的精确调节。

I. 血液的缓冲体系:

血液中钠和钾的重碳酸盐与磷酸盐,血浆蛋白,和血红蛋白等,都是重要缓冲物。无机盐类特别是钠和钾的重碳酸盐和磷酸盐,在组成血液缓冲体系,维持生物体液pH的恒定,有着非常重要的意义。Na和K的重碳酸盐与 H_2CO_3 , 酸性与碱性磷酸盐,各成一个缓冲对如:

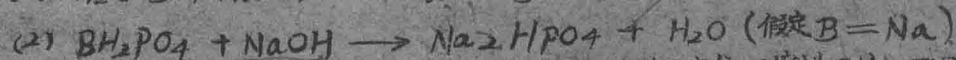


当血液中出现游离的酸或碱时,这些缓冲对能够使他们转化成为离解度很小的酸或碱,因而 H^+ 或 OH^- 离子浓度改变很小,例如向动物注射HCl,血中碱性缓冲剂即与HCl作用:



产生酸性很弱的 H_2CO_3 和 BH_2PO_4 。而且红细胞中碳酸酐酶能促使 H_2CO_3 分解成 CO_2 由肺呼出,肾又能制造 NH_3 以代替B,保存了固定碱(即B)排出过多的 $NH_4H_2PO_4$,使得酸度没有改变。

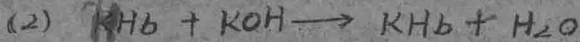
又例如向动物注射NaOH,血中酸性缓冲剂即与NaOH作用:



产生碱性很弱的 $NaHCO_3$ 和 Na_2HPO_4 。肾也能排出它们以控制pH。可见肾脏在保持酸碱平衡上的重要意义。

在血液酸度正常, pH为7.4时,血浆中 $[NaHCO_3]/(H_2CO_3)$ 浓度比例为20:1;当酸性物增加(如注入HCl),血液pH虽未改变,但 $BHCO_3$ 被消耗了一部分(生成BCl),临床上称为碱藏减少。同时由于 $NaHCO_3$ 的减少,若 $NaHCO_3/H_2CO_2$ 的比例仍须维持20:1(即pH7.4),必然也要减少 H_2CO_3 的含量,因此血中酸多时,所生 H_2CO_3 即分解成 $CO_2 + H_2O$,呼吸加快,以排出 CO_2 ,使 $NaHCO_3:H_2CO_3$ 的比值迅速恢复原状。由此可见当体内酸性物增加时,由于呼吸系统生理调节机制的帮助,虽然体内碱藏减少,但血液pH并无改变。反之当体内碱性物增加时,肾脏的排泄机能协助维持pH的恒定。开始排出较平时为多的碱性盐类(如 Na_2HPO_4)。脏器生理机能的调节作用,对于机体维持酸碱平衡,具有十分重要的意义。

重碳酸盐缓冲对被公认为血浆中最主要的无机缓冲体系，它们比血浆蛋白质的缓冲效应高得多，不过在血球内血红蛋白却是最重要的缓冲体系，约占全部血液缓冲量的 $\frac{3}{4}$ 。它的特点在于血红蛋白钾盐，可看作是巨大的缓冲库存，血中重碳酸盐的形成主要依靠这个盐的来源。故能接受大量 H^+ 使pH稳定。血红蛋白缓冲对为 KHb/HHb 。当酸性物增加时血红蛋白的钾盐即和酸作用生成酸性极弱的 HHb ；硷性物增加时，血红蛋白和硷作用生成钾盐。特别在正常呼吸过程中，血红蛋白对酸碱平衡的意义更大，将在血液呼吸功能一段时讨论。



当然我们不能忘记，这些缓冲对之间，还有很密切的相互关系，它们不可能孤立地起着作用。

上述这些缓冲体系在临床上非常重要。血液中的重碳酸盐被称为硷藏，如果硷藏低于正常称为酸中毒，这时由于血中硷性物减少，和 CO_2 结合的能力也降低，故临床上常以检查 CO_2 结合力的方式来测定硷藏，用以评定病人酸碱平衡的情况。若单是硷藏不足，而血液pH并未改变，则称为补偿性酸中毒。若pH也稍有改变时，称为非补偿性酸中毒。后面这种情况较少，仅当有严重疾病（如糖尿病）时，才会发生。

血液硷藏增高，则发生硷中毒，也有补偿性与非补偿性之分。例如初居高山的人（3000以上）呼吸加快， CO_2 减少，影响了20:1的比例，血液pH向硷性方向改变，称为高山病。久居习惯了，则pH恢复正常。也有人因为服了过多的 $NaHCO_3$ 而使硷藏增加的。

II. 血液的渗透压：在 $37^\circ C$ 时，人类血浆渗透压在7.9—8.1大气压范围内变动，不过渗透压的数值通常并不用大气压表示。因为溶液的冰点下降（ Δt ）与分子浓度成正比，也就是与其渗透压成正比。因此常借冰点下降数值来表示液体的渗透压，人类正常血浆的冰点下降度（ Δt ）等于 $0.56-0.58^\circ$ 。

对于机体正常机能说，维持血液渗透压与pH的恒定，有着同等重要的意义。在保持血浆渗透压中，以溶液状态存在的离子与分子的浓度，起着一定作用，不过在渗透压方面最有活性的物质是盐类（ $NaCl$ 与 $NaHCO_3$ ），因一分子的盐类能游离成离子存在，对渗透压能发挥较大的作用。血浆中有机成分一般均为非电解质（葡萄糖、尿素），含量既少，又不能离解，对渗透压影响较小。

水、糖或其他溶液，若是渗透压与正常血清相等时，称为血清的等渗溶液，或简称等渗液。例如0.9%的 $NaCl$ 溶液（0.16M），非电解质溶液，必须在分子浓度更大时才能成为等渗，例如葡萄糖5.4%（0.3M）溶液才是等渗液。

若是某溶液的渗透压低于7.9—8.1大气压，或是 $NaCl$ 溶液低于0.85%（葡萄糖低于5.4%）则称为低渗溶液。红血球在低渗溶液会产生溶血现象。反之渗透压或浓度高于上列数值的，就称为高渗溶液。血球在高渗溶液中有收缩的现象。

如果向血液中添加蒸馏水（使成低渗），则红血球膨胀以致最后破裂。此时血红蛋白进水溶液中，称为溶血作用。这时所得的透明血液称为已溶血液。溶血作用发生的原因，乃由于水能透过红血球的膜，而阳离子不能，因此膜内外渗透压不同（ K^+ 、 Na^+ 等阳离子浓度不同），水水迅速向红血球内扩散，致使膜破裂。反之，如果向血液中添加盐类（使成高渗），血球中水向

（注）※这里所谈等渗是红血球内外等渗。与以后谈与血浆蛋白质有关的胶体渗透压不同

应特别注意不要混为一谈

外透示, 红血球即自行收缩。只有当血球周围渗透压相当于0.9% NaCl 溶液时, 才最适宜于红血球。故0.9% NaCl 溶液, 被称为生理盐水。

从生理机能来说, 肾脏是调节血液渗透压的首要器官, 经过肾脏不仅排水也排击渗透活性物质(首先是NaCl)。调节血液渗透压的其他辅助生理机构, 作用较小, 已在前面讲过(代谢章)。

二、血液的化学成分

各种不同的有机与无机化合物, 不断进入血液, 也不断自血中透出。由于这些物质含量经常在改变, 并且水也经常出入。似乎只能说血液的化学成分在质上是相对恒定的。但实际上, 正常血液化学成分浓度, 变化范围很小在量方面也保持一定相对恒定性。在健康机体内, 由于有一系列的生理调节机构, 一切血液化学成分偶然改变, 都能很快恢复平衡。

血液化学成分相对恒定性的维持, 与神经系统的活动有着密切的关系, 它经常调节着营养物质的进入血液, 代谢产物的排泄, 血液与组织间物质交换, 组织中物质代谢以及血液成分的形成等过程。另一方面, 血液化学成分或性质的任何变化, 影响各种的生理机构的功能活动。特别是中枢神经系统, 后者又直接或间接通过它所调节的血液成分(特别是激素), 以影响其他器官的活动, 而发挥调节作用。

与此相反, 在病态下, 尤其是当肾、肝、胰、心, 这些脏器机能发生障碍时, 就会引起血液化学上不同程度的严重变化。这就是临床家必需研究全血或血浆(血清)的道理。此外分析血液对于临床之所以重要, 也还在于它是一种适于分析的组织, 可以重复取血, 于病人没有太大的损害。因此血液的生化分析, 有很大的诊断意义。对于一个医生了解血液成分及其浓度变动的正常范围非常重要。超出正常范围的浓度改变, 若表现于浓度减少(低下), 例如血液中蛋白质、钙、钙等含量减少, 则用下列名词表示: 血红蛋白过少症, 血钙过低, 血钙过少等。若表现于含量过高时, 采用相对应的血红蛋白过多, 血钙过高, 血钙过多等名词。

下表列举人类血液中有有机化合物的含量:

人类的血液, 血浆与红血球中重要有机化合物之组成成分

体积与组成成分	全血 (毫克%)	血 浆 (毫克%)	红血球 (毫克%)	体积与组成成分	全血 (毫克%)	血 浆 (毫克%)	红血球 (毫克%)
体积之%	100	54-59	41-46	肌酸	2-5	1-15	6-10
水之%	75-85	90-91	57-68	氨基酸氮	6-8	5-6	8
固体物质之%	15-25	9-10	32-45	葡萄糖	80-120	80-120	60-70
血红蛋白	14-16	*	30-41	多醇		90-120	
总蛋白质	—	6.5-8.5	—	氨基葡萄糖		70-90	
纤维蛋白元	—	0.2-0.4	—	脂肪酸总量	约380	200-400	170
球蛋白	—	2.0-3.0	—	胆固醇总量	150-200	150-250	150
清蛋白	—	4.0-4.5	—	卵磷脂	约200	100-200	350
非蛋白氮	25-35	20-30	30-40	酮体		0.8-5	
谷胱甘肽	35-45	微量	75-120	柠檬酸		2-3	
尿素	20-30	20-30	20-30	丙酮酸		0.8-1.2	
尿酸	3-4	4-5	2-3	酮戊二酸		0.8	
肌酸酐	1-2	1-2	1-2	琥珀酸		0.5	

(* 表示为克%)