

血液保存

上海生物制品研究所 柏乃庆等 编著

上海人民出版社

血 液 保 存

上海生物制品研究所 柏乃庆 陈厚初 吴国光 编著
杨振修 张 立 冯玉润

上 海 人 民 出 版 社

内 容 提 要

本书共分四章,即血液一般生理、血细胞生化、血液保存和运输。其中以血液保存一章为重点,从基本概念到研究途径、方法和结果等方面都作了比较详细的介绍,其它三章也作了一般性的叙述:介绍了血液生理的基本概念,血细胞生化的理论和血液运输的研究动态。本书初步总结了我国解放以来血液保存的成就,同时也介绍了国外关于血液保存的发展趋向。

本书可供血液保存、血液工作者、中心血站及医院血库等医务人员参考。

序

随着医疗卫生事业的迅速发展，输血已成为现代医疗和战时抢救伤员的一项极为重要的治疗措施。为了迅速提高我国的医疗卫生水平，遵照毛主席关于“把医疗卫生工作的重点放到农村去”及“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大教导，我国的广大输血工作者已将提高血液制品的质量提到议事日程，广泛地开展了血液保存和应用的研究工作。由于血液保存工作在我国还比较年轻，同时国内外至今还缺少比较系统的专门著作，这给输血工作者在工作中带来了一定的困难。因此，当前输血工作者迫切需要有关血液保存的基本理论和方法的参考资料。

我们在兄弟单位的热情鼓舞和支持下，为了适应革命形势的需要，初步尝试编写了《血液保存》一书。本书力求从实践出发，比较系统地总结和介绍我国解放以来有关血液保存的成就；同时也介绍了国外有关血液保存的发展趋向，以供血液保存工作者、医院血库、中心血站等有关医务人员参考。

由于我们实践经验、收集资料和编写水平有限，本书可能还存在这样或那样的缺点和错误，希望广大工农兵及革命医务工作者提出宝贵的意见，使本书能不断地充实提高，日臻完善，更好地为飞跃发展的社会主义建设事业服务。

编 著 者

目 录

第一章 血液的一般生理	1
第一节 血液的组成	1
第二节 血液的理化特性	3
一、物理性质	3
二、化学成分	12
第三节 血液的机能	22
第四节 凝血原理	24
第二章 血细胞生化	35
第一节 红细胞生化	35
一、红细胞数量、结构和功能	35
二、红细胞代谢	45
三、红细胞中阳离子(K^+ 和 Na^+)的转运以及 红细胞膜的透过性	70
四、红细胞的溶血(溶解作用)	72
第二节 白细胞生化	75
一、白细胞代谢的一般概况	76
二、白细胞的能量代谢	76
三、白细胞的呼吸、酵解及其关系	77
四、影响白细胞代谢的因素	79
五、白细胞含磷有机化合物	80
六、参与白细胞酵解的主要“酶”系	81
七、其它	82
第三节 血小板生化	83
一、血小板的结构和功能	83

二、血小板代谢	85
第三章 血液保存	87
第一节 引言	87
一、国外血液保存发展概况	88
二、国内血液保存发展概况	93
第二节 全血的保存	94
一、概况	94
二、全血在零上温度(2~6℃)的保存	95
三、全血在低温下的冰冻保存	132
四、全血在常温下的保存	152
五、全血在保存过程中的变化	154
六、库存血液在输注前的检查	157
七、保存液配制的基本原则及方法	159
八、保存血液的质量鉴定方法	166
第三节 血液有形成分的分离、保存和可溶性血浆成分的保存	191
一、血液有形成分的分离和保存	192
二、可溶性血浆成分的保存	230
第四章 血液运输	232
第一节 引言	232
第二节 血液运输箱	232
一、血液运输箱的设计原则	232
二、血液运输箱的类型	235
第三节 结尾	242
附一 本书引用的略号表	244
附二 糖酵解酶英汉名称对照表	245
附三 主要参考文献	246

第一章 血液的一般生理

第一节 血液的组成

血液，广义地说是结缔组织中的一种，是由液态的血浆和自由悬浮于血浆中的有形成分——血细胞所组成。它也可以看作是一种红色、不透明、具有一定腥味和粘性的液体组织。

当血液流入含有抗凝剂(如草酸钾)的玻璃管中，经离心后则见管中的血液分为两部分：上层是透明的液体，在人类略带黄绿色，称之为血浆；下层呈暗红色，不透明，除少量的血浆外，绝大部分是红细胞，在红细胞的表面还可看出一层薄薄的白色物质，即为白细胞和血小板（因它们的比重轻于红细胞）。如果玻璃管中不含抗凝剂，则离体的血液将会发生凝固，出现胶冻状的血块，随着血块的逐渐缩小，渗出一层清澄的黄绿色液体，称为血清。它与血浆的区别在于没有纤维蛋白原。

一般正常人血液占体重的8~9%，约有5~6升。其中血细胞约占血液总容积的45%（男子约为42.2~47.5%，平均45.0%；女子约为35.7~42.7%，平均40.0%）。血浆占55~60%。

血液组成如下：

- 血液 {
- 血浆 (水分占 91~92%, 其余 8~9% 固体成分) {
- 1) 血浆蛋白: 有白蛋白、球蛋白、纤维蛋白原和凝血酶等, 约占 6.5~7.5%。
 - 2) 无机盐类: 主要是氯化物, 其它有 Ca^{++} 、 K^{+} 、 P 、 Mg^{++} 、 Cl^{-} 等占 0.75%。
 - 3) 有机物质: 有非蛋白质(尿素、尿酸、肌酐等)、磷脂类、胆固醇、脂肪、葡萄糖、内分泌素、维生素、抗体、酶等, 约占 0.85%。
- 血细胞 {
- 1) 红细胞: 直径为 7~8 μm , 含量 450~550 万/立方毫米, 主要为水分, 占 65~68%, 其余 32~35% 为固体成分, 包括:
 - ① 血红蛋白 30~33%;
 - ② 蛋白质 0.5~1%;
 - ③ 无机盐主要是氯化钾 0.5~0.6%, 其它为 Fe^{++} 、 Mg^{++} 等;
 - ④ 磷脂、胆固醇、脂肪及葡萄糖、尿素等有机物为 1.2%。
 - 2) 白细胞: 含量 5000~9000/立方毫米, 它分为:

无粒白细胞 {	淋巴细胞: 直径为 6~18 μm , 占 20~25%。
	单核细胞: 直径为 12~20 μm , 占 3~8%。
有粒白细胞 {	嗜中性细胞: 直径为 10~12 μm , 占 60~70%。
	嗜酸性细胞: 直径为 10~15 μm , 占 2~4%。
	嗜碱性细胞: 直径为 10~12 μm , 占 0.5~1%。
 - 3) 血小板: 直径为 2~3 μm , 含量 20~35 万/立方毫米。

哺乳动物的成熟红细胞没有细胞核, 充满着红色的色素——血红蛋白, 由于红细胞占全部血细胞的绝大部分, 以致使血液呈现红色。我国正常人的血红蛋白, 男女也不一样, 在每 100 毫升的全血中, 男子为 13.5~15.7 克(平均 14.3 克),

女子为 11.3~13.7 克(平均为 12.7 克)。

正常人的血液总量, 血浆总量与红细胞总量易受各种因素(如年龄、性别、身高和体重)的影响。见表 1;

表 1 健康成人的全血、血浆与红细胞总量

测定方法 名称	T-1824		P ³²		Cr ⁵¹	
全血总量 (毫升/公斤)	男	76 ± 8	男	69.0	男	61.54 ± 8.59
	女	68 ± 6	女	46.4	女	58.95 ± 4.94
血浆总量 (毫升/公斤)	男	42 ± 5	男	38.7	男	33.45 ± 5.18
	女	40 ± 4	女	37.8	女	34.77 ± 3.24
红细胞总量 (毫升/公斤)	男	35 ± 4	男	29.9	男	28.27 ± 4.11
	女	28	女	27.0	女	24.24 ± 2.59

(摘自南京市中心血站《输血讲义》)

在正常情况下, 血液成分通过生理调节原理, 维持在动力学稳定状态(指血细胞的生成与破坏, 血液化学成分进入血液循环与排出血液循环的速率相等), 但不是指可逆性化学反应的动力平衡, 同时, 人体血液中各种化学成分并非绝对固定, 经常变异于某种范围内, 其中尤以蛋白质、葡萄糖、脂肪等成分受各人的营养及其它生理情况影响颇大。

第二节 血液的理化特性

一、物理性质

在机体循环着的血液温度为 37.7°C, pH 为 7.35~7.45, 略带碱味, 其物理性质大部分决定于蛋白质的含量。

(一) 颜色和比重

血液的颜色随着红细胞所含的氧量的多少而不同,充满氧气的动脉血(氧合血红蛋白)呈鲜红色,含氧量很少的静脉血(还原血红蛋白)呈暗红色。若血液中含有过多的高铁血红蛋白或其它血红蛋白衍生物,则呈紫黑色。

人的血浆(血清)中因含有胆红素则呈现黄色,在一般情况下血浆都是透明的,但在高脂肪饮食后,血浆(血清)含有乳糜微粒而呈现混浊,如糖尿病。若在采血过程中红细胞受机械损伤而导致破坏,以及在保存过程中随着保存时间的延长,红细胞逐渐死亡,细胞内的血红蛋白释放到血浆中则血浆呈现红色。

血液的比重随其所含成分的浓度主要是红细胞浓度的改变而改变,红细胞的数量越多,血液的比重就越大。一般正常人血液的比重约在 1.050~1.060 之间,男性为 1.0566,女性为 1.0533,昼间的改变为 0.0033,下午与餐后较低,劳动后与夜间较高。血液虽是水溶液,但其中溶解很多的固体物质,所以比蒸馏水重 50~60/1000。血浆的比重约介于 1.025~1.030 之间,血浆蛋白质较多,其比重较大。红细胞的比重平均约为 1.090,这主要决定于血红蛋白的浓度。由于蛋白质是维持血液比重的重要物质,所以在输血工作上常用比重方法来测定献血员的蛋白含量而估计是否适合献血(一般用硫酸铜法)。现介绍另一方法,是用两种不同有机溶剂合成:

氯代苯 32 毫升 + 煤油 18 毫升 为甲液(比重 0.99)

氯代苯 46 毫升 + 煤油 4 毫升 为乙液(比重 1.07)

将乙液缓慢地倒入甲液,轻轻上下搅匀,形成不同的层次,取已知比重的硫酸钾溶液作为标准液,测知各层次的比重,以后滴入血液,即可根据其停留在那一层次而读出其比

重。此法优点是不需用许多瓶试剂，且适合于大量比重测定。

(二) 血液的粘滞性

液体在管内流动，管壁对之有外摩擦力，液体本身每一层之间有内摩擦力，此种摩擦力称为粘滞力，因而表现了粘滞性。血液的粘滞性是各种细胞外液中最高的一种。同蒸馏水比较，正常人血液的相对粘滞性为水的4~5倍，血浆的粘滞性较低约为水的1.6~2.4倍。

Hess氏测定成年男性之相对血液粘稠度为4.7，女性为4.4，儿童为4.2。血浆为1.8，血清为1.5(与37°C蒸馏水比较)。血液粘滞性的高低，主要决定于红细胞数量和血浆蛋白质，而以前者更为重要。若单位容积的血液内含红细胞愈多，则血液的粘滞性就愈大，这种高度粘滞性存在，对于血液在血管系统中流动的速度具有重大的作用，以其所增加血流的阻力，因而使循环的速度降低。血浆粘滞性主要决定总蛋白质含量，而血浆中这些蛋白质之粘滞性不仅决定于其大小，也决定于它们的结构是否成对称性。如纤维蛋白原是最不对称的分子，其对粘滞性之影响较对称的白蛋白大6倍。

血液粘滞性的存在对于血流速度和血压都有重要影响，当粘滞性降低，而其它因素不变时，血流速度将行增加，血压将行降低。

测定血的粘度用粘度测定计(见图1)，先用水测定从F加入适量的液体约5毫升至E球，然后从F将液体吹至旁管至C以上，用跑表测定液体由C降至D所用的时间。须反复测定数次，便得液体的相对粘

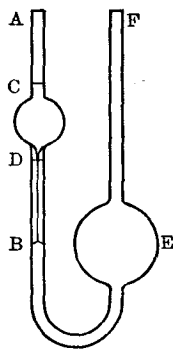


图1 奥氏粘度计

度。例如水的 t_1 是 60 秒, 血的 t_2 是 300 秒, 则血的相对粘度是 5。

(三) 渗透压

有一种半透膜, 其膜孔之细小, 只有小的分子可以自由透过, 大分子如蛋白质等便不能透过, 因而碰撞于膜的一边而产生一种压力。这样的半透膜在动植物体内都存在, 如细胞膜、肠衣等。如果在半透膜的外面放水, 里面放糖浆, 水分就会穿过半透膜往糖浆里扩散(低渗→高渗), 糖浆的液面就逐渐上升, 以达到膜两边的渗透压的平衡, 这个升高的液柱说明渗透的力量, 这压力称为渗透压。同一种物质的溶液, 其浓度越大, 则渗透压也越大, 不同物质的溶液, 其克分子浓度相同的, 渗透压亦相同。

渗透压的大小决定于溶质分子或颗粒的数量, 数量越多, 渗透压就越大。晶体物(如氯化钠)分子较小, 在水溶液中又能起电离作用, 因此颗粒数量多, 渗透压大; 反之, 胶体物(如蛋白质)分子较大, 在水溶液中又能起聚合作用而形成很大的颗粒, 因此颗粒数量少, 渗透压亦小。

血液中含有大量的晶体物和胶体物, 故具有相当大的渗透压, 就血浆来说, 正常人血浆在标准状况(即 0°C 及 760 毫米汞柱)下的渗透压为 6.7 大气压(体温 37°C , 血浆渗透压稍大, 约为 7.6 大气压, 其冰点为 -0.56°C), 这同 0.9% NaCl 溶液的渗透压相等。血浆这种巨大的渗透压, 主要是它所含的晶体物所造成的(主要是 NaCl, 其次是重碳酸钠, 无机离子 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-), 至于胶体渗透压仅占极少部分[胶体物主要是白蛋白, 其次是球蛋白, 由于白蛋白分子量较小, 为 70,000, 而数量又远多于球蛋白(分子量为 160,000), 故血浆白蛋白浓度的改变而显著地影响胶体渗透压的变化]。据各方面报告,

正常人血浆胶体渗透压仅约为 25~30 毫米汞柱。血浆胶体渗透压虽然很小，但对于血量及机体水平衡的保持却具有重要的作用，因为组织液的来源是血浆。如当血液流经毛细血管时，血浆的水分和晶体物可以自由透出毛细血管壁的薄膜而到组织间隙液，组织间隙液的水分和晶体物也同样可以自由透进毛细血管，故血浆与组织间隙液两者晶体渗透压无差异，因此血浆晶体渗透压虽很大，但对于水分之进出血管并不起什么作用。此外，血浆蛋白质在正常情况下是不能透过毛细血管壁，而血浆蛋白浓度又常较组织间隙液高，所以血浆渗透压也就常比组织间隙液的大，因此对于水分透出血管就经常能起调节作用。

血液渗透压的恒定对于维持血液有形成分，特别是红细胞的形态亦具有意义。红细胞内部的渗透压是和血浆的渗透压相等的。

通常是用间接方法测定渗透压值，一般常用冰点测定法即测定血液的冰点下降。人类血液的冰点下降度是 $0.56 \sim 0.58^{\circ}\text{C}$ ，一升中含一克分子量的溶液冰点下降为 1.86°C （分子冰点下降）。由此可知，血浆及红细胞内的克分子浓度约为一升中含 0.3 克分子量。按范特荷甫（Van't Hoff）氏方程式：

$$P = CRT$$

P —渗透压

C —分子浓度

R —气体常数 (0.082 升·大气压/度·克分子)

T —绝对温度

就容易算出在体温 37°C 时，血浆渗透压为 7.6 大气压。计算溶液的渗透压可根据其冰点降低及沸点升高来测定。因为

溶液的冰点降低或沸点升高是与溶液的克分子浓度成正比，而渗透压亦是与溶液的克分子浓度成正比，所以利用这关系推知溶液的渗透压是与其冰点降低及沸点升高成正比关系。红细胞必须在等渗溶液中方能维持其生理活动，因此临床上需要补液时必须输进等渗液体，其浓度大小可根据溶液的冰点降低或沸点升高。例如要制备与血液等渗的葡萄糖液，已知 1% 葡萄糖水溶液的冰点降低为 0.11°C ，血液的冰点降低为 -0.56°C 。

$$\text{则 } 1\% : 0.11 = x : 0.56$$

$$\therefore x = \frac{0.56 \times 1\%}{0.11} = 5.1\%$$

故 5.1% 葡萄糖溶液为血液的等渗溶液。

ACD 保存液亦为等渗溶液，根据其成分可推算出冰点降低度数，它的冰点是与血液近似的。

ACD 溶液成分	冰点降低度数
3% 葡萄糖	0.33°C
1.33% 枸橼酸钠	0.20°C
0.47% 枸橼酸	0.0263°C
	0.5563°C

血液的冰点降低 0.56°C ，所以 ACD 保存液是等渗溶液。

(四) 血液的酸碱度

酸碱度一般以氢离子指数 (pH) 表示之，pH 即氢离子浓度的负对数。

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+]$$

水是一种电解质，可以离解成离子： $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$

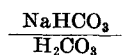
在 22°C 时每公升纯水的氢离子浓度是 0.0000001M (10^{-7}M)，这时 $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ 呈中性，其 pH 值 = 7.0。若溶液的 $[\text{H}^+]$ 浓度大于它，如 10^{-6}M , 10^{-5}M ……即 pH 值为 6、5、4……则溶液是酸性；反之，则为碱性。

血液的酸碱度经常保持恒定，人体血液的酸碱度一般是在 pH 7.35~7.45 的小范围内变动。静脉血因含有较多的二氧化碳，其 pH 值比动脉血稍小，接近 7.35，而动脉血则接近 7.45。

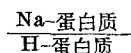
血液酸碱度之相对恒定，是由于血液中存在有好几对具有缓冲作用的物质，而这些缓冲物质则不断地由于机体的呼吸、代谢和排泄等活动而保持一定的量。每对缓冲物质都是由一种弱酸与一带有强碱基的弱酸盐配成，如 H_2CO_3 和 NaHCO_3 。这两者配合成为一对缓冲物质，其所以叫做缓冲物质，乃是因为每当血液中酸性物质增加时，即带强碱基的盐就同它起作用，而使其变成弱酸，于是酸度降低；另一方面，当碱性物质增加时，弱酸就同它起作用，生成弱酸盐，这样，碱度也降低，经此两方面的调节，血液的反应就得以缓和而恒定。

血液巾存在着数种缓冲体系，分布在血细胞和血浆中。

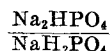
血浆中：



碳酸氢盐体系



血浆蛋白体系



磷酸盐体系

红细胞中：



碳酸氢盐体系



血浆蛋白体系

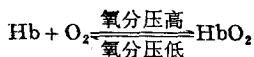


血红蛋白体系



磷酸盐体系

其中以碳酸和重碳酸钠(钾)一对为最重要；因当组织代谢所产生酸性物质进入血浆后就和重碳酸钠发生作用形成弱酸，再进一步分解生成 CO_2 气体，通过呼吸器官排出体外，而使血液的 pH 保持恒定状态。其次血红蛋白也是非常重要的缓冲物质，血红蛋白在运输 O_2 和 CO_2 的过程中，同时也就发挥了对酸碱度的缓冲作用，如血红蛋白与氧的结合是一种可逆的变化，不需要任何酶的帮助，当液体中的氧分压高即当红细胞经过氧分压较高的肺部时，血红蛋白分子与氧结合成为氧合血红蛋白(HbO_2)呈鲜红色；当液体中氧分压降低时，即在氧分压较低的组织部分，氧合血红蛋白将氧离解，成为还原血红蛋白(Hb)，呈暗紫色，又能迅速把氧(约放出 35%)分离出来，供给组织利用。



此种变化不是氧化，称为氧合，每克血红蛋白所结合的氧为 1.36 毫升。

而 CO_2 分子与 Hb 结合是 CO_2 分子直接与血红蛋白分子中之氨基相结合，成为氨基甲酸血红蛋白， $\text{HHb} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HHbCO}_2$ ，其机理是不同的，血红蛋白与氧结合乃由于分子中血红素部分的特性；而与 CO_2 结合，则为分子中蛋白质部分的性能。这两种性能也有一定的关系。 CO_2 与血红蛋白结合之量取决于这时血红蛋白的含氧量；如为氧合血红蛋白则在同一 CO_2 分压下， CO_2 结合量较小，如为还原血红蛋白，则 CO_2 结合量可较多，因此在体循环毛细管中，血红蛋白与氧分离，同时即能与更多的 CO_2 结合；在肺循环毛细管中，血红蛋白与氧结合，同时要释放一部分结合着的 CO_2 。

此外，血浆蛋白质和磷酸盐也都是重要的缓冲物质。

血液缓冲物质的有效作用,不仅和肺的呼吸机能有关,而且也 and 肾的排泄机能密切联系着的,它是通过下列三个途径来调节细胞外液的酸碱平衡:(1)分泌氢离子,增加了尿中酸性磷酸盐的浓度;(2)分泌氨,使其与酸性物质形成铵盐而排出;(3)排出游离的有机酸。

总之,在正常人体内,血液酸碱度的恒定,不仅有赖于数对缓冲物质的彼此协调,而且也受到肺和肾脏进行生理性调节。

(五) 血液的导电性

血清导电性似乎完全决定于盐含量,血清的离子强度相对恒定,故血清导电性的变化范围很狭。

红细胞对有电荷离子的通过以及电流通过产生一种抗力,所以血液的导电性变化范围大。血液的导电性与红细胞的数目成反比。测定血清的导电性,可以计算血清的总碱浓度。

(六) 血液的比热

成人每天产热约为 3000 卡,这些热量都必须带到体表散出,带的热量大小决定于血液的比热和皮肤血流量。

全血比热为 0.87 卡/克,红细胞为 0.77 卡/克,血浆为 0.94 卡/克。

(七) 血液混悬稳定性

红细胞在血浆中能够保持悬浮状态而不易下沉的特性,称为血液的混悬稳定性。红细胞在整个血液循环中,均匀一致地分散于粘稠之血浆中,当循环一停止,沉淀立即发生。红细胞所以能保持在混悬状态,是因周围血浆的摩擦抗力和血液流动速度较快及细胞之间相互碰撞的缘故。而其所以沉降是因为红细胞比重大于血浆。故血液的混悬稳定性决定于: