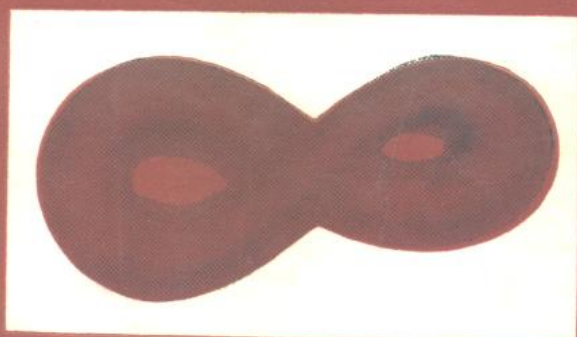


(联邦德国) H. 施密德-舍恩拜恩 G. 格鲁瑙 H. 布罗伊尔 著

图解血液流变学



科学出版社

图解血液流变学

〔联邦德国〕 H. 施密德-舍恩拜恩 著
G. 格鲁瑙 H. 布罗伊尔
廖福龙 译

科学出版社

1989

2V36/13

内 容 简 介

血液流变学是多学科交叉的一门新兴边缘学科,它与临床医学关系极为密切。本书以图解方式,生动形象地描述了血液循环生理与病理情况下的流变学问题,并介绍了血液流变学的测定方法、常用术语及测量单位等。概念清楚、确切,插图精美,内容深入浅出,既有助于医生、生物学工作者准确掌握血液流变学内容,又有利于生物医学工程人员加深对血液循环系统构造与功能的直观了解,使读者很容易由本书深入血液流变学的领地,寻求沃土,开拓耕耘。

本书可供医学、生物学、生物医学工程学、生物力学工作者,以及大专院校有关专业师生参考。

H. Schmid-Schönbein G. Grunau H. Bräuer
EXAMPLA HAEMORHEOLOGICA
Hochst, 1983

图解血液流变学

【联邦德国】 H. 施密德-舍恩拜恩 著
G. 格鲁瑙 H. 布罗伊尔

廖福龙 译

责任编辑 马素卿

科学出版社出版

北京市东黄城根北街16号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1989年3月第一次印刷 印张:6 3/4

印数:平1—2:500

插页:平2 精4

精1—2:500

字数:148,000

ISBN 7-03-001079-5/R·45(平)

ISBN 7-03-001080-9/R·46(精)

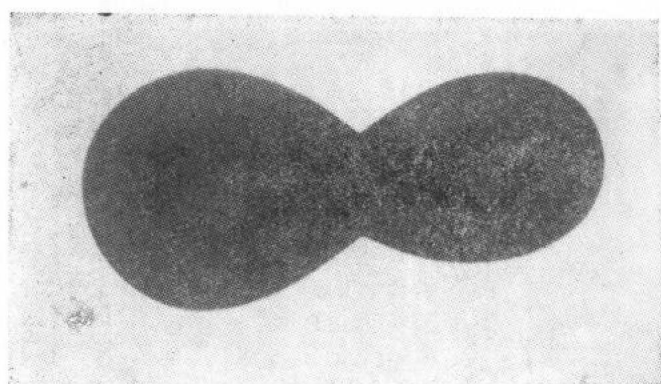
定价:平 装 4.90 元

布脊精装 6.70 元

留文虎克先生 (Mr. Leeuwenhock) 的一项观察值得我们回顾:

他注意到, 当自己身患重病之时, 血液中的小球体显得硬而不易弯曲; 而当康复之后, 这些球体又变得软而柔韧。

贝克 (Baker), 1743



译 者 的 话

在我国,血液流变学正在迅速发展,广大医务工作者需要准确地理解流变学概念及其具体的医学内涵;生物力学工作者则需要有关血液循环系统的结构与功能的明晰图像。图解血液流变学(Exempla Haemorheologica)一书对于血液流变学做了精辟而又形象的阐述,是不可多得的佳作。该书的德文版见于1981年,英译版则于1983年问世。彩图版的原著面世后,受到国际临床血液流变学界的欢迎。本中文版系根据英文版翻译,译者愿以它服务于国内血液流变学的同行。

原书主笔 H. 施密德-舍恩拜恩(H. Schmid-Schönbein)教授是知名的联邦德国血液流变学家。他对于中译本的出版给予了极大的关注。为使本书包括血液流变学的最新发展,他对原书的图文做了多处补充与修订。为了把彩色版改为黑白版(受成本的限制),他又热心地提供了全套黑白照片。在本书出版之际,对于施密德-舍恩拜恩教授的大力支持,特表衷心的感谢。

此外,本书的出版得到 Hoechst 药厂的大力支持与赞助,译者也借此致谢。

译者

1988年5月于北京

序 言

不论从写作的意图和实施来看,本书都着力描写血液循环的重要部分——被称之为微循环的细小血管系统。微循环的重要性在于毛细血管,它为机体的细胞创造了一个赖以生存的环境,从而维持了我们的生命。这就是伯纳德(Bernard)所指的“内环境”。外部的物质一般需要通过血液和毛细血管才能进入内环境。只有到达内环境之后,外来物质才能与机体的细胞相互作用并影响到机体。

在哈维(Harvey)发现血液循环之后,才形成了现代实验生理学。在此之前,人们认为生命的要素从肺经过动脉流入组织,并在该部位浸浴着细胞。哈维以前,人们认为动脉和静脉是开放的,不知道是毛细血管把它们联系在一起。哈维敏锐地推理了毛细血管的存在。

现在人们知道,早期生理学并不全错,哈维也并不全对,毛细血管系统比人们想像的要开放得多。毛细血管中的血液和构成内环境的细胞外液之间的物质交换约300次每分钟。因此,在毛细血管和组织之间存在着不间断的流动。所谓的毛细血管床就是个活跃的交换场所。在这里不停地进行着各种活动,给我们展现了一个小小的奇迹,也伴随着不少问题。纤细的毛细血管管壁绝不是被动的,其中进行的流动过程是由物理学定律所主宰的。血液这个流动的器官则执行着高度专一化的功能。在这个场所里,力学的、化学的和形态学的功能结合在一起,这是个不平凡的多学科配合。生命本身及其不断变更着的健康状况都不可避免地与此场所里的种种事件联系在一起。这些状况可以包括疲劳(此时红细胞和脂肪颗粒对脑血管有所阻塞)及梗塞(红细胞可变形性的丧失对此不无重要)。对这方面的问题,现有的教科书则多未论述。

本书试图把功能和结构交融在一起,作者把结构从组织学的二维世界里解放出来,在物理学的来龙去脉中重新寻找它的位置。其他的书多从功能和组织学的角度来描写自然的活动,本书则成功地把传统的语言“翻译”为三维形式,以图解的方式说明了结构和功能。图解的高超艺术性和学术水准则是本书成功的保证。

本书以通俗易懂的文字帮助读者理解展现于眼前的这一迷人的领域。从表述的角度来看,本书绝非平平之辈,它是相当完美的。读者将有幸目睹生命攸关的大战,这些战场从未如此明晰地暴露在我们的眼前。

汉斯·施查佛 教授

海得堡大学社会及工业医学研究所及生理学研究所名誉所长

目 录

译者的话	iii
序言	iv
概要	1
第一章 “血管-血液”功能单位的生理学	4
1. 导言	4
2. 血液生理学的历史	4
3. 作为运输器官的血液	7
4. 血液的发育	9
红细胞的产生与发育	9
血小板的产生与发育	16
5. 血管系统	18
血管生成	18
末梢血管床的结构与分布	19
6. 血液功能概要	29
第二章 血液的流动行为	32
1. 导言	32
2. 正常血流	32
层流	32
牛顿粘性定律及哈根-泊肃叶定律	33
流动性的概念	34
流动介质中的颗粒	35
流体中的流体	37
作为液滴的红细胞	38
3. 有形成分对于血浆流的被动适应	42
红细胞的膜	46
4. 红细胞的流动——高度特异化而又易受扰动	50
红细胞聚集体和血液的流动性	54
5. 血液流变学现象概述	56
6. 调节与控制	59
效应器原理	59
肌原性调节	60
代谢控制	61
神经-体液控制	62
血细胞的调节作用	63
血管外机械因素的影响(神经)	67
血管外机械因素(心肌)	67

7. 血小板的功能	69
血小板生理学	69
血小板病理学	72
第三章 末梢血管床中的微循环	75
1. 导言	75
2. 正常微循环	75
3. 微循环紊乱	78
4. 原发性与继发性红细胞刚化	80
5. 血小板聚集体	82
6. 血液流变学的测定方法	86
旋转式流变仪	87
毛细管粘度计	90
微流变学测试	90
红细胞聚集的测定	92
小结	93
术语汇编	95
测量单位	97
参考文献	98

概 要

可以认为,血液是个巨大的循环器官,它保障了全身细胞所需养分的良好供应,并把代谢产生的废物运离细胞。神经细胞、肌肉细胞、结缔组织细胞和上皮细胞都生活于胞间隙中,并都要从胞间隙获取养分。因此,细胞的活力取决于环境中氧与葡萄糖的情况。新鲜的氧与糖必须不断地运送到胞间隙,这一功绩是由毛细血管中流动的血液所建树的。血液则从肺获得氧,从肠与肝获得糖。

同样重要的是有毒的代谢产物(CO_2 和 NH_3)需要从组织液环境内得以迅速清除。只有这样才能保证机体细胞的正常功能。在这一过程中,有毒物质首先与血浆或红细胞结合;然后,当血液流经肾脏与肺脏时得以清除。

采用同样的方式,血液向胞间隙运送各种激素、脂质、氨基酸、盐分和维生素,并从那里运走尿素与尿酸。还有一点也很重要,即血液保障了胞间隙内正常的含水量和渗透压。

血液中的组分并非静止的,也不是一成不变的。所有的血液成分(血细胞、血浆、蛋白质和其他溶于血浆的物质)都只存留有限的时间。因此,血液中各种成分的浓度代表了一种动态平衡,即生成与解体以及摄入与排除之间的平衡。

血细胞主要在骨髓中生成(在淋巴结处也可生成),并有一定的生存期。因此,血细胞的浓度并不是总像教科书上所记述的那样恒定。

与此相仿,各种血浆蛋白于肝脏与淋巴结中合成,随后又经过不同的代谢途径得以分解。养分、结构成分、电解质、呼吸气体以及代谢分解产物的浓度也都在不断地波动。这种情况反映了存在于合成、降解及排除之间的动态平衡。

血液中的氧是由含铁大分子(血红蛋白)来运输的。这些大分子虽然使血液的携氧能力有大幅度的增加,但却有碍于血液的流动性。在无脊椎动物,携氧大分子直接溶于血浆,使得血液极为粘滞。在冷血动物与鸟类,携氧大分子含在有核红细胞之内。其后果是,虽然携氧能力提高了,但高粘的悬浮液仍有损于血液的流动性。在哺乳动物,“创造”了无核而又高度可变形的红细胞,这使血液流动性受损的程度降到了最低。因此,无核红细胞可以看成是氧运输系统进化史上的最佳产物。

机体内毛细血管的形成总是在血细胞生成之后,并围绕着血细胞而生长。与两栖动物相比,哺乳动物的红细胞有良好的可变形性,毛细血管也更为细小。这一特化意味着最大的有效性;也伴随而出现了极端的脆弱性。

在哺乳动物的组织中,同时存在着几种有利因素,即红细胞中的高浓度血红蛋白、细小的单支毛细血管及丰富的毛细血管网,这当然大大改善了毛细血管至需氧细胞间的氧扩散与运输。虽然在单支毛细血管中的血液并不多,但较高的血红蛋白浓度(即较高的氧浓度)、较大的物质交换表面,以及较短的扩散路径都使氧的扩散与供应增多。因此,与冷血动物相比,哺乳动物的氧供应增加了 30 倍以上。

纤细毛细血管的诞生也带来了固有的危险性,这就是阻塞。阻塞的原因可能有数种,即血流的减慢、血管内皮的肿胀,以及血细胞的刚化。毛细血管的阻塞不畅很容易加剧,

从而造成全面的乃至不可逆的血管阻塞。这种发生在末梢血管床内的血液瘀滞能导致组织缺氧和乳酸酸中毒的出现。这样,红细胞可出现继发性刚化。如此,一个恶性循环就出现了,并导致组织代谢不良的进行性加剧。

流变学机制也可以影响与干扰大血管中的血流。流速的减低可能明显低于正常的血液流动。在这种情况下,红细胞会形成钱串状聚集,继而形成具有三维网络结构的聚集体。

在理论上,增加流动速度可使红细胞聚集体重新解聚;随后,分散开来的细胞又恢复其原有的流动性。然而,在已经阻滞了的血管的下游,往往缺乏重新疏散红细胞聚集体所需要的剪切力。因此,微血管床部位阻塞的后果又被结构粘度所扩大。

末端血管床部位的微循环主要取决于驱动压差与流导的乘积;或者说,驱动压差与流动阻力的商。

在正常情况下,血液能很好地适应微血管床内出现的各种复杂流动条件。血液具有一些很理想的性质,使它在纤细毛细血管中流动时的阻力减小,并保证了最大的流量。

从泊肃叶(Poiseuille)时代起,人们就开始了解血液的非凡流动性质。时至今日,人们把这归因于红细胞所具有的特殊流动性。在哺乳动物的领域之外,这种血液流变学的非凡流动性是绝对见不到的。

在健康人的末梢血管床的循环中,血流可能完全由局部血管运动来调节。在这方面,末梢细动脉分支部位(前毛细血管括约肌)的作用最为突出。该部位受到激素、神经元和代谢因素的多重调节。血管的收缩会造成毛细血管压力的下降,红细胞所灌注的毛细血管数、滤过率及总的血流都会减小。相反,当血管舒张时,局部血流与滤过率均增加,血液所灌注的毛细血管数亦增多。

微循环紊乱的特征是毛细血管中血流的减缓、血管壁的病变,以及经毛细血管的液体交换量的增高或降低。一般来说,血流的减低或阻抑总要伴有流动行为的改变。从快速流动转变为缓慢流动之时,血液会背离溶剂的流动性质,并追随网状红细胞聚集体的流动性质。在理论上,这些细胞聚集体是可以疏散开来的。然而,当微循环紊乱之时,由于主宰局部流动的力不足以将聚集的细胞分散开来,继而发生了局部血流的进一步损害。从血流阻抑到红细胞聚集,再使血流进一步阻抑,这是一个恶性循环。它有可能导致局部循环的障碍,甚至最终使血流停滞。

血液中的血小板具有下列三项高度特异化的功能:

- (1) 当血管损伤暴露了某些结构之时,血小板可粘附其上(原发性粘附)。
- (2) 在已经粘附和沉积的血小板的基础上,血小板进一步聚集以形成较大的止血栓子(继发性聚集)。
- (3) 血小板可分泌与释放其内含物,这些物质作用于其他血小板、血管内皮以及凝血系统。

血小板聚集体在力学上相当稳定。同红细胞聚集体相比,血小板聚集体要稳定许多倍。它可以在快速流动的血流中持续存在,并且可能形成微栓子,造成血流的阻断。

许多证据表明,血小板聚集体对于一过性缺血(TIA)的病理生理过程有重要的作用。很可能,它也对某些类型的心绞痛起了突出的作用。

魏尔啸(Virchow)的三项基本原理(血流的紊乱、血管内皮细胞的损伤及高凝状态)

不应被视为一成不变的事实。我们应把已经有的基本原理看成对当今研究工作的鞭策与挑战。在探索有关问题的来龙去脉的过程中，血液流变学的概念与技术是有高度应用价值的。在流动的血液、损伤的血管壁与生物化学酶学过程之间，存在着极其复杂的相互作用。正是这些相互作用可能导致动脉血栓形成，并最终危及人的生命。面对这些重要的事件，血液流变学则有潜力为我们提供有关过程的更为清晰的解释。

第一章 “血管-血液”功能单位的生理学

1. 导 言

“我们越把先驱者的理论视为荒诞虚无之说,则越把我们自己的理论奉为武断的信条。”

桑顿 (J. E. Thornton)

可以认为,血液是一个巨大的循环器官,它携带着氧、二氧化碳、养分、激素、酶,以及细胞代谢的产物循迴于机体的每个部位。这一**输运介质**的无休止运动是靠心脏来推动的,对于人类与动物的生存都是必不可少的,即使是短暂的停止,也会对大脑等重要器官造成持久的损伤,甚至会危及生命。血液中还有多种**防卫系统**,这使人与动物(大生物)能在病原体(微生物)充斥的危险环境中得以生存。

机体细胞代谢所产生的热需要循环流动的血液来携带,这对于机体的恒温是有利的。血小板与血浆凝固机理的存在,则可以在血管损伤时阻止血液的损失。

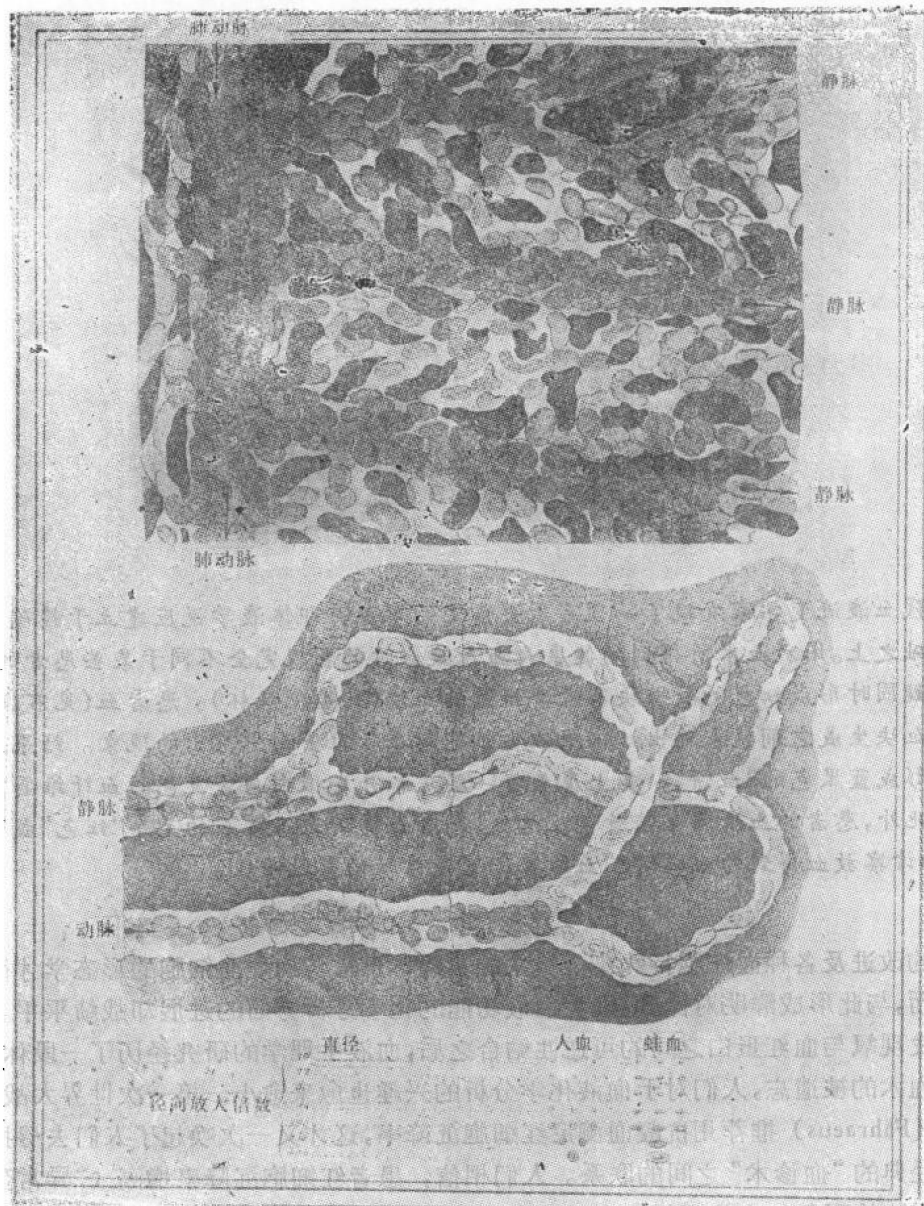
由此可见,血液这一流动的器官结合了多种性质与功能,它构成了生命的基础。

2. 血液生理学的历史

从远古时期至今,人们对于血液的观点有相似之处。可以说,有关血液的远古观点是现代血液生理学的初级形式。作为狩猎者或者动物的驯养者,古代人已经认识到心跳与血流之间有联系。人们早就了解这一事实——当大出血发生之后,一个原先生龙活虎般生命片刻之间就消亡了。古代人对于气的存在也有原始的概念,认为气须以某种方式与血“混合”,并且认为呼吸运动与血的活动对于生命与健康是基本的前提。从这些概念出发,原始医学必定会推演出某些治疗方面的结论来。

时至今日,巴布亚新几内亚的当地人不仅熟悉古老的医术——放血术,而且还在继续使用。对于放血术的渊源与动机已无从考证,可能出于对于巫术的迷信,也可能是为了取出血液用于诊察,或者是某种治疗手段上的考虑。人类早期文明的有关记载(例如早期梵文和希腊的文字记载)表明当时已经出现了关于血液生理学的“理论”,即从四种基本要素(火、水、气、土)及其相互作用来描述所有的生命过程。古希腊的医师把四要素原理及其辅助的四种性质(热、冷、干、湿)归入生理学的范畴。“健康”被认为是四种要素的均衡和四种体液的适当混合。这四种体液就是血(sanguis)、痰(phlegma)、黄胆汁(chol)和黑胆汁(melanchol)。疾病则被认为是四种体液的异常混合。这些古代的概念是**体液学说**或**体液病理学**的基础。

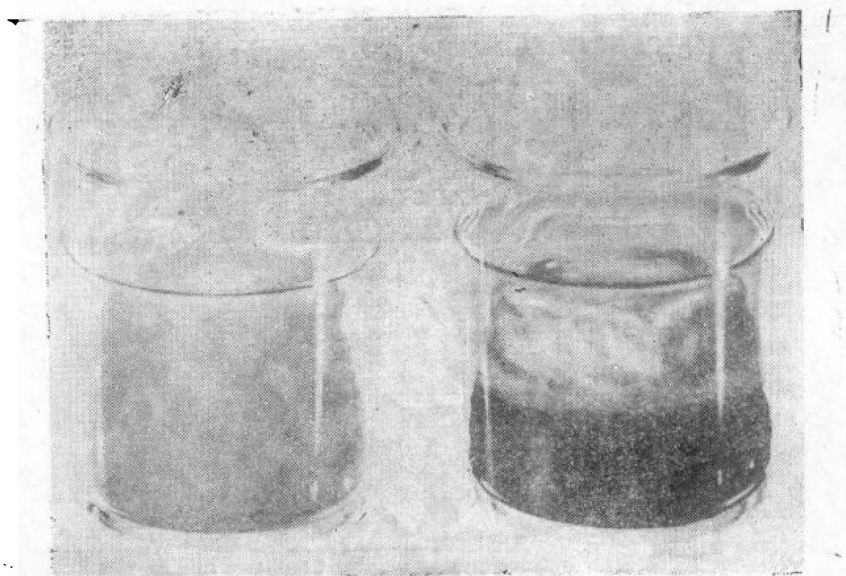
血液循环理论的出现是与方法学的革新分不开的。显微镜的发明才使哈维(Harvey)的革命性概念得以证实。血液循环的最终证实虽然很重要,但对于当时的医疗实践却影响



这是巴黎解剖学家朱尔斯·克劳奎 (Jules Cloquet) 所绘的一幅血细胞图谱 (引自 *Atlas du Manuel d'Anatomie Descriptive du Corps Humain*, Paris, 1825)。这幅逼真的图画说明,有关血液微循环生理的观点在 160 年前就很普及。

不大。医师们继续信奉体液学说。当时的著名医师,例如赫尔曼·布尔哈夫 (Herman Boerhaave) 等,则把“体液”概念与当时流行的水力学及血液动力学概念融合起来,使得体液病理学在审慎的临床观察和尸检的基础上得到进一步的提高。

细胞的发现与确认促进了显微镜技术的迅速改良,细胞病理学的理论于是应运而生。这一理论在整个19世纪的临床医学中占了统治地位,并使体液学说从此失宠。随着对于活细胞进行系统研究的复杂技术的逐步成熟,细胞生理学于19世纪末诞生了。随着显微



当代血液流变学家发现了一项有历史意义的事实，即体液学说应建立于精确的客观观察基础之上。用放血术所得到的健康人血在凝血时的表现完全不同于某些患者的血。健康人血凝固时形成红色的凝血块及澄清微黄的血清(见左侧烧杯)。患者血(见右侧烧杯)则在凝血块生成之前就表现出红细胞从白细胞与血纤维蛋白中沉出的现象。结果，在烧杯底部形成蓝黑色的“血饼”，其上覆盖着一层疏松并发微白与淡黄色的血纤维蛋白及白细胞。此外，患者的血清多呈暗黄色。总之，患者血样缺乏正常血的主导“红色”成分。可见，仔细诊察放血得到的血样(即“血疹术”)曾是诊断的有效手段。

镜技术的改进及各种血细胞特殊染色技术的发展，正常与病理血细胞的形态学才得以萌生。然而，与此形成鲜明对比的是，在血液功能的化学分析方面的进展却战绩平平。

在发现氧与血红蛋白之间的可逆性结合之后，血液生理学的研究经历了一段休闲期。随着放血术的被遗忘，人们对于血液化学分析的兴趣也愈来愈小。第一次世界大战之后，法利伍(Fähræus)推荐用抗凝血测定红细胞沉降率，这才又一次唤起了人们去寻找血液化学与经典的“血疹术”之间的联系。人们相信，患者红细胞沉降率增高(“异常蛋白血症”)所反映的现象与古代医师放血时注意到的异常凝血是一回事。

随着蛋白质分离技术的发展，血浆蛋白化学分析于第二次世界大战之后成为临床常规检验。主要的蛋白质分离技术包括电场法(纸上电泳)及重力法(超速离心)。与此同时，从血液本身或外源性化学物质来分析肝、肺与肾功能的技术也得到了发展。近年来，从血液的化学分析来测定内分泌腺功能的技术发展迅速。

为了理解血液的流动并形成关于血液生化组分与其力学流动行为之间关系的理论，作为现代科学的血液流变学把经历时间考验的“前科学”概念(其中包含真理的成分)与精密的现代科学方法结合了起来。由于粘度的影响，人们一直推测“瘀滞之血”会把血流完全阻断。在血液循环发现之前，体液病理学家们多持这一见解。根据近年有关不同浓度悬浮液的流动性的研究，这一看法则再度抬头。

现代血液流变学考虑到健康与疾病条件下控制与影响血液流动特性的各种因素。这

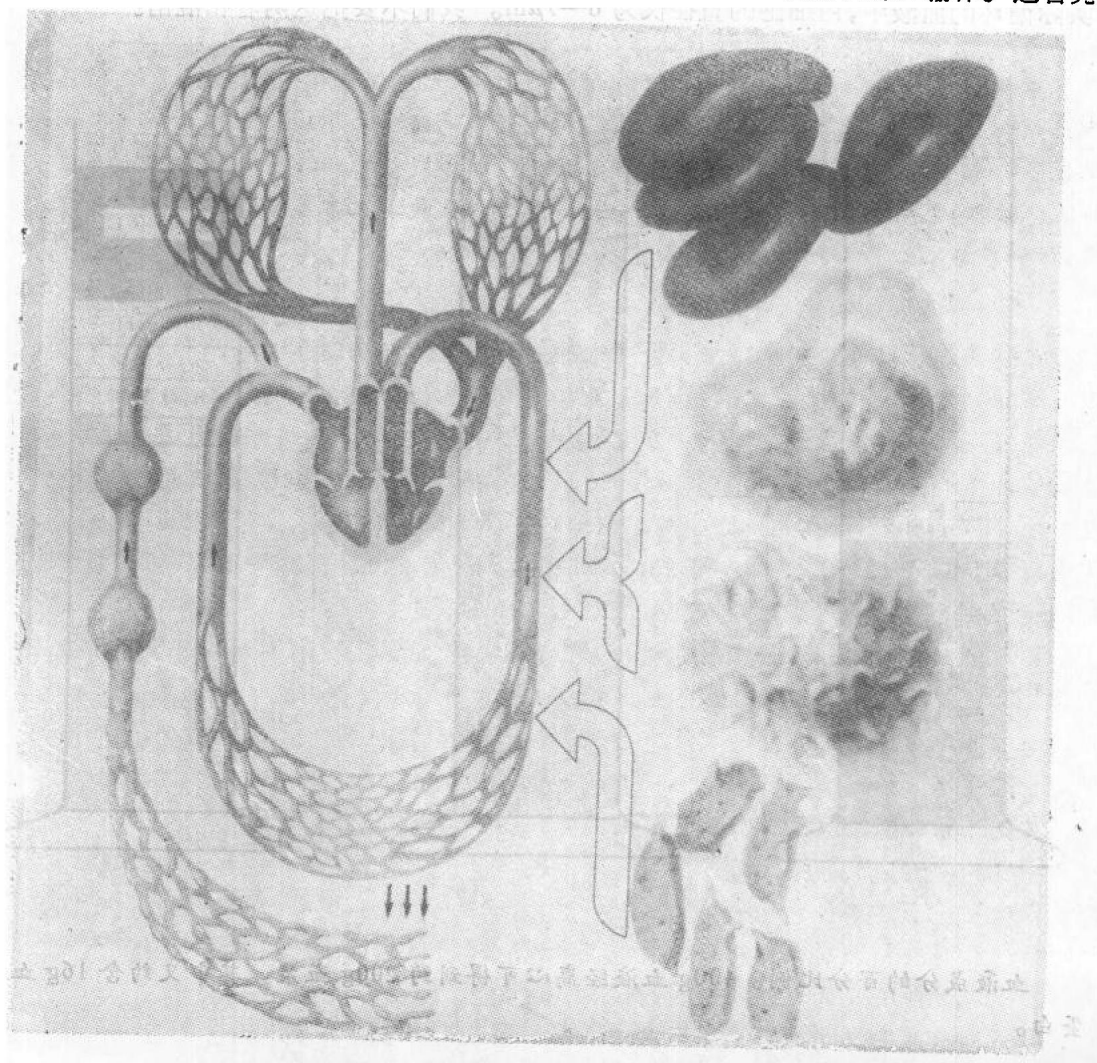
些因素包括血压,血管系统中的血液动力学,细胞反应机理,以及与功能单位(细胞壁、血浆和血液有形成分)有关的生物化学、血管自律性活动与凝血状况。目前的结果已为多种病理过程的机理提供了重要的资料。在这类病理过程中,血流都有不同程度的滞缓,甚至是完全停止。

然而,血诊术的原理仅在本世纪初才再度受到注意。当时,法利伍与韦斯特格伦(Westergren)把红细胞沉降率测定作为一项比较诊断技术介绍到医学中来。

3. 作为运输器官的血液

血液的运输功能无疑是其最主要的功能之一。血液容积的40—50%是由血细胞组成的,其中绝大多数是**红细胞**(erythrocytes)。哺乳动物的成熟红细胞是无核的,而且在成熟过程中大多数细胞器也都消失了。

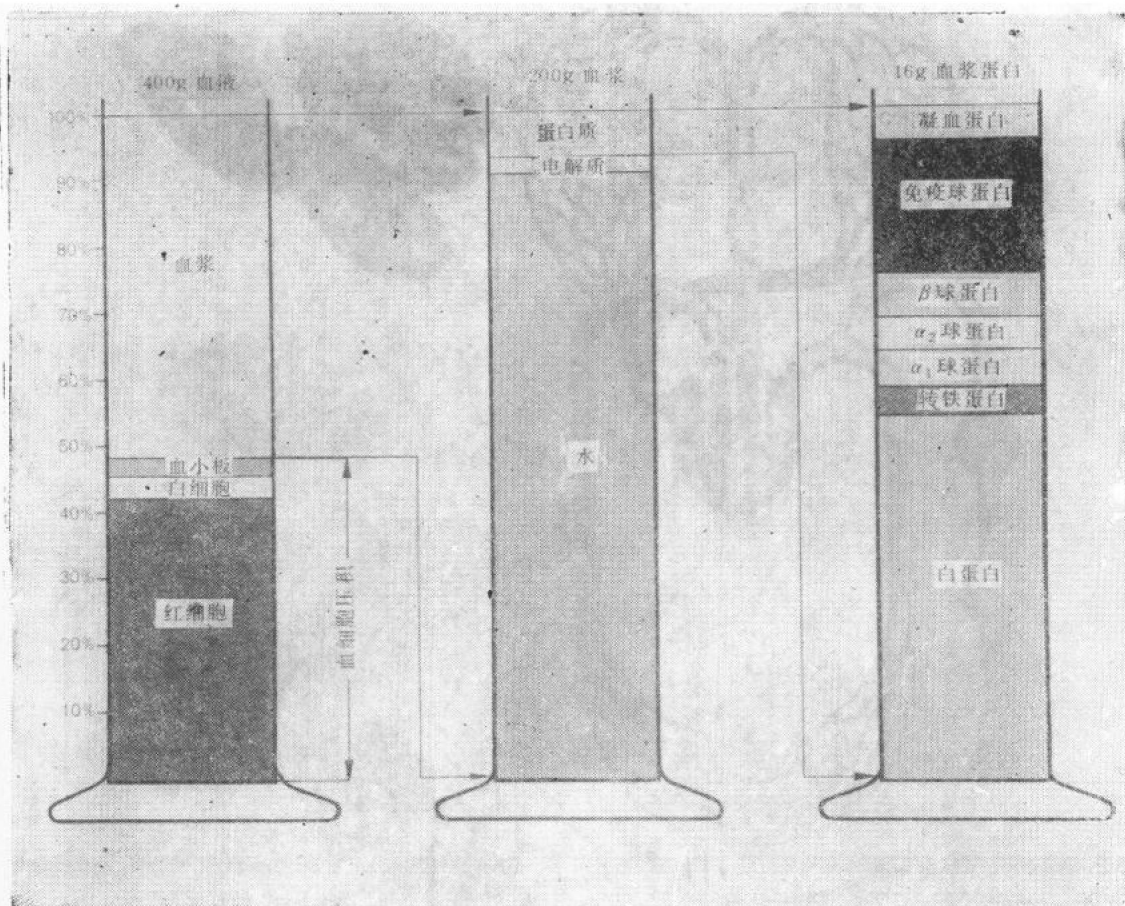
红细胞容积中约有35%是由血红蛋白分子组成的。红细胞的代谢活动是由胞质酶所催化的,主要是那些与糖酵解有关的酶。红细胞是高度特异化的氧的运输体。这首先



是由于它具有高度有效的结合氧的能力，其次是由于它对于血流作用力的优良适应能力（称之为“流动性”）。

红细胞的这一特征在相当程度上是由于在成熟过程中失掉了细胞核。在静止状态下，红细胞一般是双凹盘状。在流动的血流中，即使血流力不很大，红细胞也可以被动地产生适应性变形。在100—120天之后，红细胞丧失其流动性。此时，这些老化的红细胞在流经脾脏时被从血液中滤除，并产生溶血。细胞内容物（尤其是铁质）可被机体重新利用，这就保证了新的红细胞的产生。

白细胞（leucocytes）是有核的，它又有**粒细胞**（granulocytes）、**淋巴细胞**（lymphocytes）以及**单核细胞**（monocytes）之分。与红细胞不同，白细胞内具有存活所需要的各种细胞器，因而白细胞有较强的独立生存能力。在整个胞间隙内，白细胞都可以主动地或者被动地迁移。虽然在光学显微镜下白细胞或多或少呈现为圆球形；但须注意的是，它具有凝胶状可膨胀的膜。这使得白细胞在剪切力的作用下可以产生相当大的形状改变。当我们准备一个血涂片的时候，盖玻片以剪切的方式在载玻片上滑动，因而白细胞也被扩展成平盘状。组织学教科书中所记载的白细胞直径为15—20 μm ，这是有人为误差的。在实际循环的血液中，白细胞的直径仅为6—7 μm 。我们不要把这两者相混淆。



血液成分的百分比例。400g 血液经离心可得到约 200g 血浆，其中又约含 16g 血浆蛋白。

除了白细胞的活动性与吞噬功能之外,白细胞也具有分泌生物活性物质及酶的功能。这些物质包括组织胺及溶菌酶等,是在特化的颗粒中合成并贮存的;可在某种外部刺激下释放出来。在这一过程中,细胞成为脱颗粒细胞。

白细胞的移动、吞噬和分泌功能可能是从细胞质中收缩蛋白的活动所获得的。收缩蛋白的活动则是由钙离子(Ca^{++})的跨膜内流所造成的。外部刺激所造成的某些膜蛋白的构型改变很可能是跨膜内流的原因。现在来看,血液循环内的有核细胞(如粒细胞与单核细胞)很可能也存在于血管外空间,例如结缔组织细胞(嗜中性细胞为小吞噬细胞,嗜碱性细胞为肥大细胞,单核细胞为巨噬细胞)。

淋巴细胞(lymphocytes)占白细胞总数的25—40%。在形态学上,淋巴细胞具有染色较深的细胞核及较少的细胞质,从而有别于粒细胞。这些特征说明,淋巴细胞保持有繁殖能力。淋巴细胞还有阿米巴运动与吞噬功能,而且可产生多重变态与功能方面的改变。浆细胞就是从淋巴细胞变态而来的。这两类细胞统称为“免疫细胞”。这是由于它们有某些特异性的防卫反应,从而具有对于某些病原微生物体的免疫作用。

血小板(thrombocytes)是无核的细胞碎片,但细胞代谢功能很活跃。在血小板中,除了线粒体之外,还含有某些细胞器(贮存颗粒)。这些颗粒中贮存的是血小板代谢的产物,以及某些主动从环境中摄入的物质(例如5-羟色胺)。在循环的血流中,血小板呈现椭圆盘状,大约2—3 μm 长,厚及宽各为1 μm 。许多引人注目的观测表明,血小板的膜对于细胞内与细胞外空间的密切联系是很重要的。

血浆蛋白(plasma proteins)对于血液的运输功能也很重要,许多种物质溶解于血浆之中,它们结合于特定的具有运输功能的球蛋白或白蛋白之上。

4. 血液的发育

红细胞的产生与发育

在进化过程中,生物体的结构及细胞间的生物化学过程都不断复杂化,这使得特定器官的功能逐渐得到改善。然而,红细胞在微循环中的行为说明,某项特定的任务——向周围组织释放氧——可由某种简单的装置来实现。

大动物需要复杂的系统(鳃或肺)从环境中来摄取氧,而且具有复杂的心血管系统。心血管系统有无数的末梢小分支,这保证了体内终生不断的氧供应,即使是最远端的器官也不例外。具有输送氧功能的血红蛋白是进化的产物,它有特异性的携氧功能。人们已从分子和离子的水平详细研究了可逆性携氧的机理。

初等动物(无脊椎动物)的血红蛋白是自由溶解于血淋巴之中的。在所有高等动物中,血红蛋白都含在红细胞之内。红细胞的“创造”虽然在相当程度上增加了血液的携氧能力,但是使得血液的流动性受到了不利的影响,在纤细的末梢血管床中尤为如此。

可以认为,在与携氧有关的物理和化学特性的进化与特异化的进程中,极柔顺且无核的红细胞的出现已达到了它的顶点。由于松散的膜囊是理想的运载体,红细胞内血红蛋白的氧合能力也利用到了最佳程度。