

康振黄主编

血液流变学及其 临床应用

陈槐卿著

3



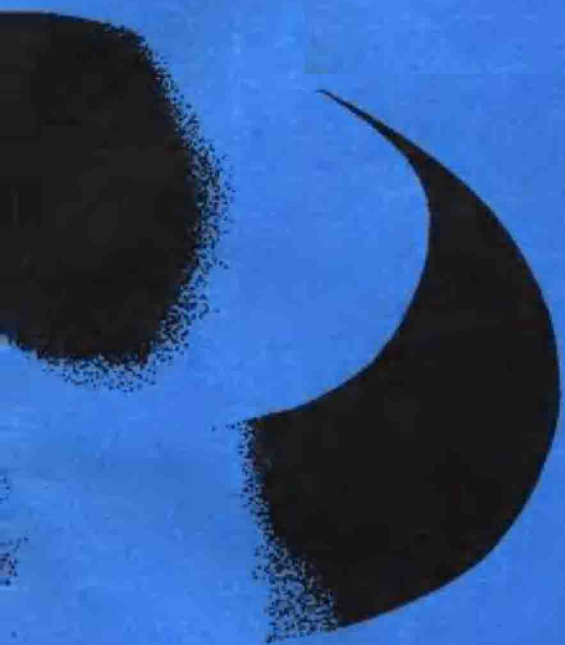
生物医学工程丛书 I

四川教育出版社

生物医学工程丛书 I

血液流变学及其临床应用

陈槐卿 著



责任编辑：杨亚雄
封面设计：何一兵
版面设计：刘江

血液流变学及其临床应用 陈槐卿

四川教育出版社出版发行 (成都盐道街三号)
新华书店重庆发行所经销 自贡新华印刷厂印刷

开本850×1163毫米 1/32 印张10.25 插页6 字数224千
1989年7月第一版 1989年7月第一版印刷
印数：1—1800册

ISBN7-5408-1118-8/G·1089 软精定价：3.68元



作者简介

陈槐脚 男 48岁 华西医科大学生物医学工程研究室副教授、现任华西医科大学科研处处长。

1963年毕业于北京大学生物系人体及动物生理学专业，1963—1966年为上海第一医学院(现上海医科大学)徐丰彦教授的研究生，后到四川医学院(现华西医科大学)生理学教研室工作。1982年—1984年到美国新泽西理工学院生物流变学实验室，在C.R.Huang(黄敬荣)教授指导下进行血液触变性的研究。目前主要从事血液流变学和心血管动力学的研究和教学工作。

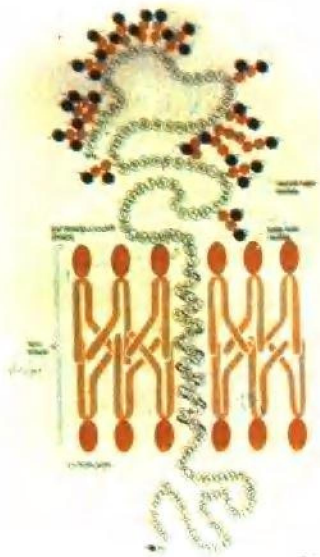


图 5.3 a 人体红细胞膜血型糖蛋白分子示意图(引自Alberts, B. et al, 1983)

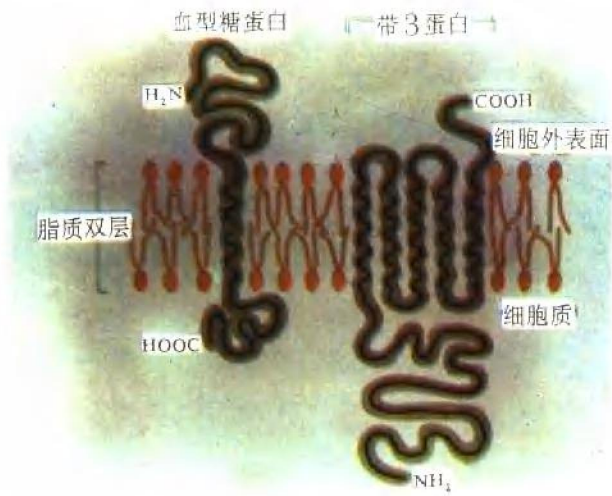


图 5.3 b 人体红细胞膜中带 3 蛋白排列示意图(引自Alberts, B. et al, 1983)



图 5.2 红细胞膜蛋白结构图(引自Alberts B. et al. 1983)

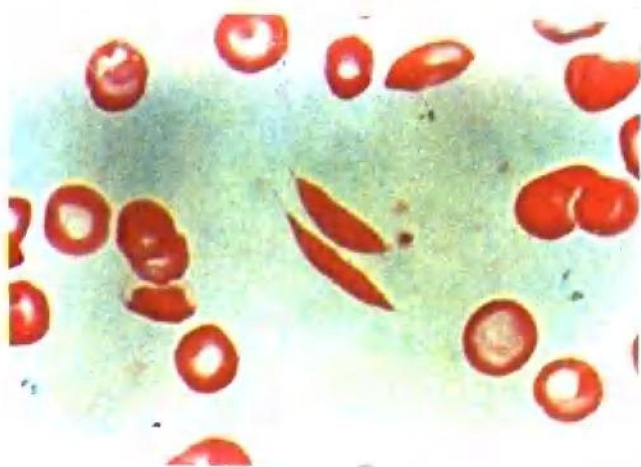


图 10.4 镰形细胞贫血(注意: 2个镰形细胞在图片中央, 还可见少数部分镰形化的细胞)

内容提要

本书从三个不同层次介绍血液流变学的基本理论，在宏观水平上介绍流变学的基本概念，血液的流变特性及其测定方法；在细胞水平上分别介绍了红细胞、白细胞、血小板的流变特性，微循环流变学；在分子水平上，本书展望了血液流变学发展趋势。本书着重介绍国内外血液流变学在临床医学的应用，在心脑血管系统疾病、血液病、糖尿病、妊高征、癌肿及其转移等疾病诊断和治疗中血液流变学可能发挥的作用，还介绍了新近发展起来的流变学疗法。本书可作为医学院校研究生、大学生的教科书和参考书，并适于临床医师、基础学科教学科研人员阅读。

序

在可敬的学术界和出版界朋友们的鼓励和支持下，我有幸主编这一套生物医学工程丛书，感到兴奋，也感到任重。

为什么要出这样一套丛书？我觉得，道理很简单。一句话，社会的需要。它既是促进医疗保健现代化的需要，也是开发新兴产业的需要；既是提高现代科学文化水平的需要，也是迎接世界新技术革命挑战的需要。总之，是社会的需要，是社会现代化的需要。

生物医学工程是一门新兴的综合性学科。到现在，人们有的对它感到陌生，有的看法不一，这都是很自然的。“生物医学工程就是生物学加医学加工程学，三合一”，这是一种看法；“生物医学工程就是工程学在生物学、医学中的应用”，这又是一种看法。我认为，无论是相加也好，应用也好，都有一定的道理。但是，从现实的情况，特别是发展的趋势看，还可以对生物医学工程再作一番深究。依我看，生物医学工程

正在形成一门现代工程科学，一门把生物学、医学和工程学由耦联到融合塑造而成的整体性现代工程科学，一门以生物体（现在研究的主体是人）整体及其各个组成系统和结构层次的动态和规律、生物体与人为条件、自然环境和社会群体的关系和规律为主要研究对象的生命工程科学。主要是人体生命工程科学。说到“工程”，老的概念是指修建、营造，中英文都如此。现代工程科学是指这样一种科学体系，它的任务是研究如何使物质（包括生物的和非生物的）、能源和信息，按照人们预期的目的，利用跨学科耦联性的原理和方法，在保证社会效益、经济效益和生态效益的原则下，转化成为适应人们需要的社会产品或社会服务业。和许多现代工程科学如能源工程、材料工程、信息工程等一样，生物医学工程也是一种现代工程科学，即人体生命工程科学。

这套丛书怎么编？我们有些想法和作法，且待实践来检验。第一，生物医学工程还在发展中，还没有一套完整定型的体系，我们也没有这样一套完整体系的工作准备。因此，我们不是先搞出一套全面的编辑构架来，然后逐项安排内容；而是根据有多少实际工作内容，出多少书。先求实，先不求全。第二，每本专书既反映这个专题研究领域的现状和可能的发展，更要有作者自己在这方面的研究工作和成果。力求在掌握动

态和开展研究的基础上，在“著书”的同时，还要“立说”，以此向读者奉献和求教。第三，丛书的编辑没有先验确定的组织机构，而是通过研究工作的结识，成果交流中的以文会友，靠学术交往，走到这套丛书中来，形成充分开放的合作。我们相信，开放的编辑系统有利于学术的繁荣。

这套丛书，希望能对从事生物医学工程和有关学科的中、高级科技人员的工作，有所帮助；同时，对有志趣进入或有兴趣了解生物医学工程科学领域的朋友们，起一些向导作用。说到底，一本书、一套书的作用，总是很有限的。但是，它所激发的社会响应，却可能要大得多。这，正是我们所追求的。

康振黄

一九八九年元旦

目 录

第一章 引言	1
一、流变学.....	2
二、生物流变学.....	3
三、血液流变学.....	4
1.宏观血液流变学.....	5
2.细胞血液流变学.....	5
3.分子血液流变学.....	6
4.普通血液流变学.....	6
四、临床血液流变学.....	6
第二章 流变学的基本概念	8
一、固体、液体在切应力作用下的应变... 8	
二、牛顿流体和非牛顿流体.....	10
(一)时间无关性非牛顿流体.....	11
1.Bingham 流体.....	11
2.拟塑性流体.....	12
3.触稠流体.....	12
(二)时间依赖性非牛顿流体.....	12
1.触变流体.....	12
2.震凝流体.....	13

3. 粘弹流体.....	14
三、层流和湍流.....	14
(一) 层流.....	14
(二) 湍流.....	18
(三) 层流和湍流之间的相互转化.....	19
第三章 血液的流变特性.....	21
一、血液是一种非牛顿流体.....	23
二、影响血液粘度的主要因素.....	26
(一) 血细胞压积.....	26
(二) 血浆粘度.....	27
(三) 红细胞的变形能力.....	30
(四) 红细胞聚集.....	30
(五) 温度的影响.....	31
(六) 血管口径对血液粘度的影响.....	32
(七) 壁面效应的影响.....	37
三、血液流变特性的定量描述—本构 方程.....	39
(一) 幂律方程.....	40
(二) Herschel—Bulkley 方程.....	40
(三) Casson 方程.....	41
(四) 描述血液触变性的 Huang 方程.....	43
第四章 血液流变特性的测定.....	48
一、血液粘度的测定.....	49
(一) 毛细管粘度计.....	49
(二) 旋转型粘度计.....	54
1. 共轴圆筒粘度计.....	54

2. 锥-板粘度计.....	56
(三) 血液粘度的正常值范围.....	58
二、血液粘弹性的测定.....	64
(一) 原理.....	65
(二) 测定方法.....	71
三、血液触变性的测定.....	76
第五章 红细胞的流变特性.....	85
一、红细胞沉降率.....	86
二、红细胞变形性.....	90
(一) 红细胞形态学.....	90
(二) 红细胞膜的结构及物理特性.....	91
1. 红细胞膜的结构.....	91
2. 红细胞膜的流动性.....	94
3. 红细胞膜的弹性.....	94
4. 红细胞膜的粘性.....	96
(三) 红细胞变形性的决定因素和影响 因素.....	98
决定因素:	
1. 红细胞膜的可曲性.....	98
2. 红细胞的几何形状.....	99
3. 红细胞的内粘度.....	100
影响因素:	
1. 血浆蛋白.....	101
2. 血浆渗透压.....	101
3. 温度.....	102
4. pH.....	102
5. 电解质.....	103

6. 氧分压和二氧化碳分压·····	103
7. ATP 的作用·····	103
8. 氧化剂的影响·····	104
(四) 红细胞变形性的测定·····	105
1. 粘度测定法·····	105
2. 反向旋转流变镜测定法·····	106
3. 激光衍射法·····	107
4. 底面附着法·····	110
5. 微吸管法·····	112
6. 微孔筛滤法·····	112
7. 电子自旋共振法·····	119

三、红细胞聚集····· 121

(一) 红细胞聚集时细胞表面能量分析·····	122
(二) 聚集形成与切变率的关系·····	129
(三) 红细胞聚集的超显微研究·····	130
(四) 红细胞聚集的测定·····	131
1. 红细胞聚集指数·····	131
2. 血液复粘度的弹性分量 η' ·····	132
3. 触变参数A值·····	132
4. 直接观察·····	132
5. 动态光学法·····	133
(五) 红细胞聚集与红细胞变形性的关系·····	134
(六) 红细胞聚集的生理和临床意义·····	135

第六章 白细胞的流变特性····· 143

一、白细胞形态学····· 144

1. 血涂片·····	144
2. 光学显微镜研究·····	144

3. 扫描电镜研究.....	145
4. 透射电子显微镜研究.....	146
二、白细胞胞浆的生物化学.....	147
三、单个白细胞的流变特性.....	148
1. 被动状态.....	148
2. 主动状态.....	150
四、白细胞悬液的流变学.....	152
五、微循环中的白细胞.....	153
1. 在毛细血管中单个白细胞的运动.....	153
2. 在毛细血管中白细胞和红细胞之间相 互作用.....	154
3. 在微动脉和微静脉中白细胞运动.....	155
4. 白细胞-内皮细胞相互作用.....	155
5. 白细胞趋边和血管阻抗.....	158
6. 白细胞使毛细血管堵塞.....	158
7. 白细胞粘附的生化机制.....	161
第七章 血小板的流变特性.....	166
一、血小板的形态和生理功能.....	166
(一) 血小板的超显微结构.....	166
(二) 血小板的生理功能.....	169
(三) 血小板生理功能的调节.....	170
二、血小板的活化反应.....	173
(一) 粘附反应.....	173
(二) 血小板聚集.....	175
(三) 血小板释放反应.....	177
三、影响血小板功能的流变因素.....	178

(一) 血流速度的影响·····	178
(二) 切变率的影响·····	178
(三) 剪切时间·····	180
(四) 不同抗凝剂的影响·····	181
(五) 血液其他成分对血小板生理活性 的影响·····	181
四、血液流变学因素对血小板血栓形成 的影响·····	182
第八章 微循环血液流变学·····	189
一、微循环结构和功能的流变学特征···	190
二、微循环血管中血液流动特点·····	197
(一) 血液在小管中的流动特点—血浆 层的形成和红细胞径向迁移·····	197
(二) 在毛细血管中血液流动特点—团流···	201
三、动态红细胞压积·····	204
四、血细胞在毛细血管网中的分布·····	209
五、通过毛细血管壁的物质交换·····	211
第九章 分子血液流变学展望·····	216
一、有关红细胞膜骨架蛋白4.1的分子 水平的研究工作·····	217
二、抗血小板抗体的研究工作·····	221
三、关于凝溶蛋白的研究·····	226
四、钙离子与剪切引起肿瘤细胞破坏 的关系·····	229
第十章 血液流变学在临床医学的应用·····	232