

S

高等医药院校选修课教材

SHIYONGXUEYELIUBIANXUE

# 实用血液流变学

张翼/主编



# S HIYONGXUEYELIUBIANXUE

高等医药院校选修课教材

供临床医学、医学检验、口腔医学、中药、中西医结合、  
护理、制药等专业用

## 实用血液流变学

主 编 张 翼

副主编 蔡 卓

编 者 (以姓氏笔划为序)

韦莹慧 张 翼 劳献明 蔡 卓



林健鼎 谢志文 刘西园 等 高

合 辞 副 西 中 , 校 中 , 学 国 部 口 , 部 分 考 选 , 学 国 本 部 对  
 册 业 考 考 卷 册 , 册 年

# 学 变 奇 疾 血 用 突

## 图书在版编目 (CIP) 数据

实用血液流变学 / 张翼主编. — 桂林: 广西师范大学出版社, 2009.1

高等医药院校选修课教材

ISBN 978-7-5633-8249-1

I. 实… II. 张… III. 血液流变学 IV. R331.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 006784 号

广西师范大学出版社出版发行

( 广西桂林市中华路 22 号 邮政编码: 541001 )  
 网址: <http://www.bbtpress.com>

出版人: 何林夏  
 全国新华书店经销

广西师范大学印刷厂印刷

(广西桂林市临桂县金山路 168 号 邮政编码: 541100)

开本: 890 mm × 1 240 mm 1/32

印张: 4.625 字数: 131 千字

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

印数: 0 001~2 500 册 定价: 9.80 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

# 前言

近几十年来,血液流变学基础理论和临床实践的迅速发展,已形成有一定完整性的学科知识体系。自 20 世纪 70 年代以来,我国有关专家、学者开始血液流变学的研究和临床应用,目前取得了一系列的成果,临床应用普及到全国县级以上中西医院,许多地方甚至普及到乡、镇医院。血液流变学检测仪器不断更新,促进科研和临床应用水平逐步提高。血液流变学已成为当今发展最迅速,临床应用最广泛的医学新兴边缘学科之一,为人类的医疗、预防和卫生保健发挥着积极的作用。为适应全国各地血液流变学科研和临床应用广泛普及和不断发展的需要,许多医学院校为临床医学、医学检验等专业学生开设血液流变学课程,培养大量具有系统血液流变学理论的专业人才。当前呈现出血液流变学科研、教学和临床应用全面协调发展,不断提高的良好局面。

本书结合各编者的教学经验、科研实践、临床应用以及收集到的大量最新资料编著而成。全书既介绍血液流变学的基础知识、检测仪器、检测指标和方法,还介绍血液高黏滞综合征的诊断及其治疗药物和方法等。微循环流变学是血液流变学的重要组成部分,本书也编入这部分内容,以满足临床应用和科研的需要。

本书适合于临床医学、医学检验、中医学、药学和护理学等专业学生做教材使用。亦适合临床医师、医学检验工作者和从事血液流变学、微循环学的科研、教学及临床应用的其他人员阅读参考。全书力求简明扼要,深入浅出,考虑到不同人员的基础状况,尽量避免复杂的数理公式和推导过程。由于受篇幅的限制,全书编入的章节不多,但力求形成包括基础理论、指标检测和临床应用在内的较完整的知识体系,做到既突出基础性、理论性,又强调实用性。

本书由张翼编写绪论、第三章、第四章;蔡卓编写第一章,与张翼合编第二章;韦莹慧编写第五章;劳献明编写第七章,与张翼合编第六章。全书由张翼审改、整理和定稿。

秦任甲教授对本书的编写和出版给予了大力支持,审阅了全部书稿,并提出了宝贵的意见,在此,深表谢意!在本书的编写、出版过程中,还得到其他一些人士的支持和帮助,在此一并致谢!

血液流变学知识及其临床应用涉及面较广,而且有些理论还处在不断充实和修正的过程中,由于编者水平所限,书中难免存在错漏和不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年8月16日

# 目 录

## 绪 论.....1

一、血液流变学的发展概况.....1

二、血液流变学在临床医学中的应用.....2

三、临床血液流变学研究方法及其应用.....4

## 第一章 血液流变学基础知识.....5

### 第一节 应力与应变.....5

一、应力.....5

二、应变.....6

三、剪应变与剪变率.....7

### 第二节 牛顿黏滞定律.....7

一、剪变率与速度梯度.....7

二、牛顿黏滞定律.....9

### 第三节 圆管内的泊肃叶流动.....10

一、层流.....10

二、流速分布.....10

三、泊肃叶定律	11
四、斯托克斯公式	12
<b>第四节 非牛顿流体的流变性</b>	13
一、非牛顿流体的特点	13
二、表观黏度	14
三、本构方程	15
<b>第五节 血液黏度</b>	17
一、黏度	17
二、几种黏度的定义	17
<b>第二章 血液流变学检测仪器</b>	20
<b>第一节 毛细管黏度计</b>	20
直立毛细管黏度计的原理	20
<b>第二节 旋转黏度计</b>	22
一、旋转圆筒黏度计	22
二、锥—板黏度计	24
<b>第三章 血液的流变性</b>	28
<b>第一节 血液的理化性质</b>	28
一、血液的组成	28
二、血液的理化特性	29
<b>第二节 红细胞的流变性</b>	30
一、红细胞的基本结构	30
二、红细胞的变形性	31
三、红细胞的聚集性	37
<b>第三节 白细胞的流变性</b>	39
一、白细胞的基本形态和功能特点	39
二、白细胞的趋边流动	39
三、白细胞的黏附性	40
四、白细胞的聚集性	41

五、白细胞的变形性·····	42
第四节 血小板的流变性·····	44
一、血小板的形态结构·····	44
二、血小板的聚集性·····	44
三、血小板的黏附性·····	46
第五节 影响血液黏度的因素·····	48
一、剪变率·····	48
二、红细胞压积·····	49
三、红细胞的聚集性·····	50
四、红细胞的变形性·····	51
五、血浆黏度·····	52
第四章 微循环的流变性·····	54
第一节 微循环的基本结构和功能·····	54
一、基本结构和功能·····	54
二、影响微循环的因素·····	55
三、微循环血流的特点·····	55
第二节 微循环的流变性·····	56
一、红细胞的向轴集中和血浆层·····	56
二、法氏效应·····	58
三、法—林效应及其逆转·····	59
第三节 微循环的流态·····	61
一、微循环的流态·····	61
二、微循环的病理改变·····	62
三、休克时微循环流态的变化·····	63
第五章 临床常用血液流变学指标及检测·····	65
第一节 血液黏度的测定·····	65
一、测量血液黏度的血样·····	65
二、测量血液黏度的方法·····	67



三、测量血液黏度的临床意义·····	67
第二节 红细胞压积的测定·····	68
一、测量红细胞压积的方法·····	69
二、测量红细胞压积的临床意义·····	71
第三节 红细胞变形性指标的测定·····	72
一、测量红细胞刚性指数 IR 和 TK 值·····	73
二、测量红细胞滤速 EFR、红细胞变形指数 DI·····	74
三、测量红细胞滤过指数 IF·····	75
四、测量红细胞变形性指标的临床意义·····	76
第四节 红细胞聚集性指标的测定·····	77
一、测量红细胞聚集指数·····	77
二、测量血沉方程 K 值·····	78
三、测量红细胞聚集性指标的临床意义·····	80
第五节 血浆纤维蛋白原的测定·····	80
一、克劳斯测定法·····	80
二、测量血浆纤维蛋白原的临床意义·····	81
第六节 血小板黏附率的测定·····	82
一、血小板黏附率的定义·····	82
二、玻珠柱法测量血小板黏附率·····	82
三、测量血小板黏附率的临床意义·····	84
第七节 血小板聚集率的测定·····	84
一、比浊法测量血小板聚集率·····	84
二、测量血小板聚集率的临床意义·····	87
第八节 体外形成血栓指标的测定·····	88
一、测量方法·····	88
二、测量体外形成血栓指标、药物溶栓率的临床意义·····	90

第九节	红细胞电泳指标的测定	91
一、	电泳仪的工作原理	91
二、	红细胞电泳指标的测量方法	92
三、	测量红细胞电泳指标的临床意义	93
第六章	血液高黏滞综合征	95
第一节	血液高黏滞综合征的分型	96
一、	血细胞增多型	96
二、	血细胞聚集增强型	97
三、	红细胞刚性增强型	97
四、	血浆黏度增高型	97
第二节	血液高黏滞综合征的病因及其危害	98
一、	血液高黏滞综合征的主要病因	98
二、	血液高黏滞综合征的发病机制	99
三、	血液高黏滞综合征对健康的危害	99
第三节	血液高黏滞综合征的诊断	102
一、	临床血液流变学指标检测报告单	102
二、	血液流变学指标检测的应用	106
第四节	疾病与血液高黏滞综合征	108
一、	高脂血症	108
二、	动脉硬化	109
三、	冠心病	110
四、	高血压病	112
五、	肺心病及呼吸衰竭	113
六、	肾病综合征	114
七、	红细胞增多症	115
八、	糖尿病	116
第五节	中医中药与血液高黏滞综合征	117
一、	血淤证与血液流变性	117

二、活血化淤药对血液流变性的影响·····	119
<b>第七章 血液流变学疗法·····</b>	<b>122</b>
<b>第一节 治疗药物·····</b>	<b>122</b>
一、中药方剂·····	123
二、化学药物·····	125
三、治疗血液高黏滞综合征各亚型的药物·····	127
<b>第二节 血液稀释疗法·····</b>	<b>128</b>
一、血液稀释度·····	128
二、血液稀释剂的选择·····	129
三、血液稀释疗法的分类·····	130
四、血液稀释的主要影响·····	131
五、血液稀释不良反应及并发症·····	132
六、血液稀释的适应证和禁忌证·····	133
<b>主要参考文献·····</b>	<b>135</b>
101·····	135
102·····	135
103·····	135
104·····	135
105·····	135
106·····	135
107·····	135
108·····	135
109·····	135
110·····	135
111·····	135
112·····	135
113·····	135
114·····	135
115·····	135
116·····	135
117·····	135
118·····	135

## 绪 论

血液流变学是研究血液、血管、血液组分的流变性质及其变化规律的新兴边缘学科。血液流变学包括两部分内容:宏观血液流变学和微观血液流变学。前者包括血液黏度、血浆黏度,血液及血管壁应力分布;后者包括红细胞的聚集性和变形性,血小板的聚集性和黏附性,白细胞的黏附性、聚集性和变形性等,故又称为细胞流变学。随着生物技术的高速发展,微观血液流变学又进一步深入到分子水平的研究,包括血浆蛋白成分对血液黏度的影响,介质对细胞膜的影响、受体作用等,故称为分子血液流变学。由于血液流变学近几十年临床应用越来越广泛,在疾病的诊断、治疗、疗效判定和预防中均有重要的意义。随着血液流变学基础理论研究的不断深入,血液流变学指标及其检测不断规范,血液流变学的临床应用也得到了长足发展。

### 一、血液流变学的发展概况

血液流动与变形的现象早在 17 世纪后期就为人们所注意。在 1675 年 Leeu Wenhok 就报道了红细胞通过毛细血管发生变形的现象。1750 年 Boerhaave 在球结膜血管中看到红细胞的轴流现象,而 1687 年英国科学家牛顿建立了牛顿黏滞定律,1842 年法国生理学家泊肃叶建立了泊肃叶定律,这两个定律成为当今血液流变学的基础理论。1948 年在荷兰斯赫维宁根召开的第一届国际流变学会, A. L.

Copley 在会上首次提出“生物流变学”(Biorheology) 这个名词。1951 年 Copley 首次提出“血液流变学”(Hemorheology) 这个名词。在 1958 年第三届国际流变学会议上, Copley 又主持讨论了“血液和血管壁关系”这一专题, 促进了血液流变学的发展。1961 年 Wells 等研制成适合测量血液黏度的锥—板黏度计, 促进了血液流变学基础研究和临床应用的开展。1966 年, 在冰岛召开的第一届国际血液流变学会上, Copley 当选为学会主席。1981 年, 第四届国际生物流变学会议决定出版“临床血液流变学(Clinical Hemorheology)”杂志, 对临床血液流变学的发展起着巨大的推动作用。

我国从 20 世纪 70 年代开展血液流变学的研究, 一些高等院校、科研院所率先投入人力、物力开展生物流变学, 尤其是血液流变学的研究、推广和应用。20 世纪 80 年代以来许多高等医学院校陆续为研究生、本科生开设了血液流变学课程, 并开始临床血液流变学的研究。虽然我国的血液流变学研究和应用起步较晚, 但发展很迅速。到 20 世纪 90 年代初, 血液流变学临床应用几乎普及到县级较大的中、西医院。目前, 有关研究已涉及几乎临床各科疾病的预防、诊治乃至发病机制的探讨。

## 二、血液流变学在临床医学中的应用

随着血液流变学基础研究的逐步深入, 血液流变学临床应用日趋广泛, 从疾病的预测、预防到疾病的诊断、治疗乃至预后判断; 从相对集中于心脑血管疾病的研究, 拓展到对临床各科疾病的探讨; 从宏观逐步深入到细胞乃至分子水平。血液流变学与临床医学有着密切的联系, 主要表现在以下几个方面:

### 1. 血液流变学提出了血液黏滞异常综合征

探讨血液流变性异常在疾病发生、发展中的作用, 是近年来血液流变学临床应用发展的重要标志之一。众多研究发现, 血液流变学各项指标正常, 机体血液流变性则处于平衡状态, 维持正常的机体功能。而许多疾病出现明显的临床症状之前即出现血液流变性异常, 提示血液流变性异常或许是这些疾病发生的因素或中间环节。如吸

烟、脂质代谢紊乱及情绪紧张等多种因素都可引起冠心病,同时也可引起血液流变性异常,且多发生在冠心病出现明显临床症状之前;血液黏度增高已被列为肺心病肺动脉高压的主要形成因素之一;红细胞压积增高与脑梗塞的面积有良好的相关性,提示红细胞压积增高引起的血液流变性异常是疾病发生、发展的重要因素。若患者的一个或多个血液流变学指标明显高于参考值,即表现为血液高黏滞综合征;若明显低于参考值则为血液低黏滞综合征,两者都处于病理状态。血液高黏滞综合征可造成患者微循环障碍,导致组织缺血、缺氧、酸中毒,甚至危及生命。血液高、低黏滞综合征是在血液流变学科研和临床应用中总结出来的一种新综合征,是血液流变学研究中的一大突破。它的提出强有力地推动血液流变学临床应用广泛开展,为疾病的诊治、预防指明了方向和提供了解决的途径。

## 2. 血液流变学在疾病诊断和防治中的应用

多种不同疾病可具有相同或相似的血液流变性异常。显然,不能单凭血液流变性异常来诊断某种疾病,血液流变学指标检测可作为某些疾病鉴别诊断的辅助手段。正常人血液流变学指标可能存在地区、年龄的差别,但就当地而言其统计平均值是确定的。研究表明,胰岛素依赖性糖尿病和非胰岛素依赖性糖尿病患者血液流变性异常有所不同;同一类型疾病的不同阶段亦有差异。有研究发现,无血管并发症的早期糖尿病患者并无血液流变性异常,而糖尿病酮症酸中毒患者的血液流变性异常最为明显。大量病例研究表明,血浆黏度与血压之间有显著相关性。

## 3. 血液流变学在疾病治疗中的应用

血液稀释疗法治疗缺血性脑血管病已获得公认,并取得了良好的效果。改善血液流变性的药物疗效,疾病的病情、病程和预后,均可借助血液流变学指标作出判断。血液流变学为中医的辨证分型及血淤理论的研究提供了客观依据,使之日臻规范化、科学化。从血液流变学角度研究药物的作用机制,促进了药物的开发和利用。

#### 4. 血液流变学是研究微循环的基础

临床微循环观测就是观测血细胞在毛细血管中所处的流变状态,如血细胞数量、运动状态、聚集、变形和黏附等情况,以及血液、血细胞和毛细血管的相互作用等,都是观测血管—血液器官的流变状态。因此,常把微循环的这些内容称为微循环流变学。血液流变学是研究微循环的基础。微循环流变学则是血液流变学的重要组成部分。

### 三、临床血液流变学研究方法及其应用

临床血液流变学的研究方法同医学临床其他学科的研究方法大同小异。临床血液流变学中最普遍应用的研究方法也就是医学中广为应用的实验性研究和临床试验性研究两种方法,在此仅就其在临床血液流变学中的应用做一些概述。

#### 1. 实验性研究方法的应用

实验性研究方法可人为地控制实验条件,较好地排除实验因素以外的其他因素对实验对象的干扰,从而可获得较为可靠的实验数据,得出正确、科学的结论。这种方法大多以动物作为实验对象,在实验室内进行,也常采用离体人血作为实验对象。实验性研究方法在临床血液流变学中主要作以下几方面的应用研究:①血液流变性的基础研究;②物理因素对血液流变性影响的研究;③药物对血液流变性影响的研究;④血液高黏滞动物模型的研究;⑤血液流变学检测指标和检测方法的研究。

#### 2. 临床试验性研究方法的应用

临床试验性研究是一种局限于对研究对象身心健康伤害程度尽量低的研究方法。其研究目的通常是观察药物、疗法、干预措施、干预因素的防治效果等。在临床血液流变学中主要应用于以下两个方面:①研究各种疾病的血液流变性改变及其变化规律;②研究血液高黏滞综合症的诊断,防治血液高黏滞综合症的药物、方法和措施等。

# 第一章 血液流变学基础知识

本章主要介绍与血液流变学相关的一些基础理论和概念,包括应力与应变、牛顿黏滞定律、泊肃叶定律、本构方程及血液黏度的定义等内容。

## 第一节 应力与应变

### 一、应力

#### 1. 应力

设有一粗细均匀的长方体,在其两端施加大小相等、方向相反的拉力  $F$ ,如图 1-1 所示。在长方体上任取一与  $F$  垂直的截面  $S$ ,根据牛顿第三定律,被分开的两个部分存在相互作用,这种相互作用称为张力。对整个长方体来说,张力是内力,而且是作用在整个横截面上,其大小与所施加的拉力  $F$  相等,在整个横截面上的分布是均匀的。物体内单位面积所受的内力称为应力,用  $\sigma$  表示,即

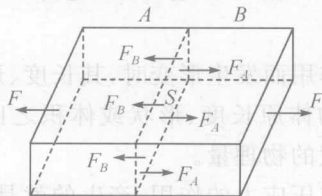


图 1-1 物体内力示意图



$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

物体被拉伸时称为张应力,处于压缩状态时称为压应力。张应力和压应力都是垂直于横截面的,因此又称为正应力。应力是矢量,单位为  $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

## 2. 剪应力

如图 1-2 所示,设有一长方体,底面固定,在上表面施加一与表面相切的作用力  $F$ ,上下底面发生相对位移。在物体中取任一与底面平行的横截面,显然横截面上下两部分也受到与  $F$  大小相等的与横截面相切的力作用。上下两部分作用力的方向相反,这种力是沿切向的内力。物体内部单位截面上的内力称为剪应力,用  $\tau$  表示。若横截面积为  $S$ ,则剪应力为

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (1-2)$$

总之,应力是作用在物体内部单位面积上的内力,应力反映了发生形变的物体内部的紧张程度。

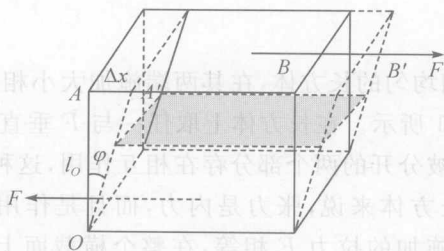


图 1-2 剪应力示意图

## 二、应变

物体受到应力作用而发生形变时,其长度、形状或体积都要发生变化。这种变化与物体原长度、形状或体积之比称为应变。应变是描述物体形变程度的物理量。

物体受张应力或压应力的作用,产生的就是张应变或压应变;受剪应力的作用,产生的就是剪应变。总之,应变是指物体在应力作用