

总编审  
翁维良

# 实用临床血液流变学

王怡 王仰宗 著

学苑出版社

总编审 翁维良

# 实用临床血液流变学

王怡 王仰宗 著

学苑出版社

(京)新登字 151 号

3618/107

实用临床血液流变学

编 著 者：王 怡 王仰宗  
责任编辑：陈辉  
责任校对：许秀森  
封面设计：建 中  
出版发行：学苑出版社 邮政编码：100036  
社 址：北京市海淀区万寿路西街 11 号  
印 刷：河北满城兴华印刷厂  
经 销：全国各地新华书店  
开 本：850×1168 1/32  
印 张：16.5 字数：574 千字  
印 数：0001~3000  
版 次：1994 年 12 月北京第 1 版第 1 次  
ISBN 7—5077—0742—3/R·127  
定 价：25.00 元

---

学苑版图书印、装错误可随时退换。

# 《实用临床血液流变学》编委会

总编审

翁维良

主 编

王 怡 王仰宗

编 委

(以姓氏笔画为序)

王 怡	马红雁	刘剑刚	刘耀明
李 刚	关建平	许秀森	沈祖培
张力平	赵存娣	袁伯野	翁维良

## 内 容 简 介

本书系由国内从事血液流变学研究工作较早、经验较丰富的专业人员编写。书中介绍了近年来国内外有关血液流变学的研究方法及其临床应用。重点介绍了切合我国实际的应用方法。具体内容包括：血液流变学的基础理论；粘度、红细胞压积、血沉、细胞电泳、红细胞聚集性和变形性、红细胞膜微粘度、血液触变性和粘弹性、血小板粘附性和聚集性、体外血栓形成、血栓弹力图、血浆纤维蛋白原、白细胞流变性、临床微循环等各种研究方法；各类血液流变学测定仪器操作常规，血液流变学各项指标临床意义与正常值；临床疾病如循环系统疾病、糖尿病、脑血栓形成、肿瘤、血液病、病毒性肝炎等血液流变学变化；肿瘤、冠心病、中风等疾病的监测；改善血液流变性的方法及血液流变学实验室基本设备与常规。

本书适合血液流变学专业人员、临床医师、检验人员阅读与参考，也供生物力学和生物物理学、生物医学工程学等专业人员参考。

# 前 言

血液流变学是一门年轻的新兴边缘学科,涉及医学、力学、化学、生物物理学等多个领域。由于各方面的努力,血液流变学在医学中的重要意义愈来愈被广大医务工作者认识,其应用也愈来愈普遍。可供实用的各种仪器不断推出与更新,使我国血液流变学研究推向新的阶段。已经显示出在医学诊断、治疗与预防中的重要地位。

但是,有关这方面的参考书籍尚不很多。1981年我与廖福庭教授曾翻译出版了丁坦法思的《血液流变学在诊断及预防医学中的应用》,1989年我们编著了《血液流变学研究方法及其应用》,重点介绍国内外血液流变学研究方法的进展及应用。受到血液流变学工作者的欢迎。1992年再版。由于近5年来血液流变学不论在研究方法、理论、临床应用、流变学治疗等方面均取得了显著的进展,而且日益引起临床医学界的重视,为许多疾病的病因病机探讨,诊断、鉴别诊断、治疗、预后判断、并发症防治、疗效评价等方面提供了十分重要的信息,我们编写本书目的在于介绍血液流变学的基本理论,研究方法,临床应用及最新研究进展。内容力求切合我国实际。故本书不仅可作为血液流变学专业人员、检验人员、临床医师日常工作的参考书,亦可供从事力学、生物物理学、生物医学工程专业人员参考使用。

本书在编写过程中,得到了重庆大学吴云鹏教授、中国中医研究院中药研究所廖福龙教授、北京中日友好医院庄逢源教授、中国科学院力学研究所陶祖莱教授、北京大学严宗毅教授、中国医科院天津血液研究所李贵山教授、成都华西医科大学陈槐卿教授等热情帮助与提供宝贵资料,同时我们还参阅了国内外学者的许多论著,在此一并表示衷心的感谢。

本书第一章为血液流变学的基础理论,其余各章侧重于方法与应用。为了保持全书的完整性与各章的独立性,各章的内容略有重叠交叉之处。由于我们学术水平有限,经验不足,缺点与错误之处,欢迎读者批评指正。

中国中医研究院西苑医院 (100091) 翁维良

1994.9

## 目 录

导论	( 1 )
第一章 血液流变学基本理论	翁维良 ( 5 )
第一节 流体的基本特性	( 5 )
第二节 血液的主要流变特性	( 9 )
第二章 粘度测定	王怡 ( 11 )
第一节 血液的特性	( 11 )
第二节 粘度测定原理与方法	( 16 )
第三节 粘度测定的临床意义	( 22 )
第四节 其他体液粘度测定与应用	( 31 )
第三章 红细胞压积测定	王怡 ( 34 )
第一节 红细胞压积测定原理	( 34 )
第二节 红细胞压积测定方法	( 40 )
第三节 红细胞压积正常值	( 44 )
第四节 红细胞压积测定临床意义	( 46 )
第四章 红细胞沉降率测定	王怡 ( 58 )
第一节 红细胞沉降率测定方法	( 58 )
第二节 红细胞沉降率测定的影响因素	( 63 )
第三节 红细胞沉降率测定临床意义	( 65 )
第五章 细胞电泳测定	王怡 ( 67 )
第一节 细胞电泳原理及影响因素	( 67 )
第二节 细胞电泳的种类	( 70 )
第三节 细胞电泳测定方法	( 73 )
第四节 细胞电泳测定临床意义	( 85 )
第六章 红细胞聚集性测定	王怡 ( 89 )
第一节 红细胞聚集性测定方法	( 89 )

第二节	红细胞聚集性测定的影响因素	(91)
第三节	红细胞聚集性测定的临床应用	(92)
<b>第七章</b>	<b>红细胞变形性测定</b>	王怡 (95)
第一节	红细胞变形性的生理意义	(95)
第二节	红细胞变形性测定方法	(104)
第三节	红细胞变形性测定临床意义	(123)
<b>第八章</b>	<b>红细胞膜微粘度测定</b>	王怡 (131)
第一节	红细胞膜的结构与特性	(131)
第二节	红细胞膜微粘度的生理意义	(136)
第三节	红细胞膜微粘度的影响因素	(137)
第四节	红细胞膜微粘度测定方法	(142)
第五节	红细胞膜微粘度测定临床意义	(150)
第五节	其它细胞膜微粘度的测定与应用	(155)
<b>第九章</b>	<b>血液触变性测定</b>	翁维良 (158)
第一节	血液触变性测定方法	(158)
第二节	血液触变性测定的临床意义	(162)
<b>第十章</b>	<b>全血粘弹性测定</b>	翁维良 (166)
第一节	血液粘弹性测定方法	(167)
第二节	血液粘弹性测定的临床应用	(168)
<b>第十一章</b>	<b>血小板粘附性测定</b>	王怡 (174)
第一节	血小板的生理特性	(174)
第二节	血小板生理功能的测定原理	(182)
第三节	血小板粘附性测定方法	(183)
第四节	血小板粘附性测定临床意义	(190)
第五节	血小板粘附性正常值	(201)
<b>第十二章</b>	<b>血小板聚集性测定</b>	王怡 (204)
第一节	血小板聚集性测定原理	(204)
第二节	血小板聚集性测定方法	(212)
第三节	血小板聚集性测定临床意义	(228)
<b>第十三章</b>	<b>体外血栓形成测定</b>	王怡 (242)
第一节	体外血栓形成测定原理	(242)



第二节	体外血栓形成的影响因素	(250)
第三节	体外血栓形成测定操作方法	(258)
第四节	体外血栓形成测定的临床应用	(264)
第十四章	血栓弹力图测定	王怡 (283)
第一节	测定仪器的原理与构造	(283)
第二节	血栓弹力图测定方法	(283)
第三节	血栓弹力图图形分析与正常值	(284)
第四节	血栓弹力图的临床意义	(288)
第十五章	血浆纤维蛋白原测定	王怡 (296)
第一节	血浆纤维蛋白原测定原理	(296)
第二节	血浆纤维蛋白原测定方法	(300)
第三节	血浆纤维蛋白原正常值	(303)
第四节	血浆纤维蛋白原测定临床意义	(305)
第十六章	白细胞流变特性测定	王怡 (317)
第一节	白细胞形态学与生理功能	(317)
第二节	白细胞流变特性与测定方法	(319)
第三节	白细胞流变特性测定临床意义	(325)
第十七章	人体微循环测定	翁维良 (335)
第一节	人体微循环的观察设备	(335)
第二节	人体手指、足趾甲皱微循环观察方法	(338)
第三节	人体球结膜微循环观察方法	(354)
第四节	人体舌尖微循环观察方法	(361)
第五节	人体微循环检测的应用	(367)
第十八章	循环系统血液流变学变化	翁维良 袁伯野 (371)
第一节	动脉硬化	(371)
第二节	冠心病心绞痛	(374)
第三节	心肌梗塞	(383)
第四节	周围动脉硬化	(390)
第五节	高脂血症	(394)
第六节	心力衰竭	(402)
第十九章	糖尿病血液流变学变化	翁维良 (406)

第一节 糖尿病血液流变性改变	(406)
第二节 改善糖尿病患者血液流变性方法	(414)
第二十章 脑血栓形成血液流变学变化	王 怡 (417)
第一节 脑血栓形成的诊断与血液流变性改变	(418)
第二节 改善脑血栓形成患者血液流变性的治疗措施	(424)
第二十一章 肿瘤病血液流变学变化	翁维良 (431)
第一节 肿瘤的血液流变性异常	(431)
第二节 肿瘤的微循环异常	(433)
第三节 改善肿瘤患者血液流变性措施	(434)
第二十二章 真性红细胞增多症血液流变学变化	翁维良 (437)
第一节 真性红细胞增多症患者血液流变学异常	(437)
第二节 真性红细胞增多症微循环异常	(438)
第三节 改善真性红细胞增多症患者血液流变性治疗方法	(439)
第二十三章 病毒性肝炎血液流变学变化	翁维良 王仰宗 (441)
第一节 病毒性肝炎血液流变学异常	(441)
第二节 病毒性肝炎血液流变学检测意义	(448)
第三节 改善病毒性肝炎患者血液流变性的治疗措施	(449)
第二十四章 肺源性心脏病血液流变学变化	翁维良 王仰宗 (451)
第一节 肺源性心脏病血液流变学异常	(451)
第二节 改善肺源性心脏病患者血液流变性的治疗措施	(453)
第二十五章 血液流变学在疾病诊断与预测中的意义	沈祖培 (458)
第一节 病例观察与结果分析	(459)
第二节 血液流变客观指标先兆因子与五大血症的 相关特异性筛选	(460)
第三节 血液流变客观指标先兆因子-五大血症 -血栓病相关特异性筛选	(462)
第四节 诊断与预测程序确立与应用	(463)
第五节 应用范围	(463)
第二十六章 改善血液流变性方法	翁维良 (466)
第一节 改善血液流变性非药物方法	(466)
第二节 改善血液流变性药物疗法	(474)

---

第二十七章 血液流变学实验室基本设备与常规 .....	刘剑刚 (486)
第一节 实验室的建立及室内设施 .....	(486)
第二节 实验室仪器设备及人员素质 .....	(487)
第三节 实验室常规设备的养护和管理 .....	(490)
第四节 实验报告的填写与分析 .....	(494)
第五节 常规实验档案的建立 .....	(497)
附录 .....	(499)
血液流变学方法标准化讨论会会议纪要 .....	(499)
附件一 关于血液粘度测定规范化的几点意见 (讨论稿) .....	(500)
附件二 红细胞变形性的测定 (讨论稿) .....	(503)
附件三 压积测定法 (讨论稿) .....	(505)
附件四 国产血液流变学测试仪器 .....	(505)
附件五 血液流变学参数正常参考值 ( $X \pm S$ ) .....	(508)
附件六 常用迴旋式血液粘度计性能比较 .....	(511)
附件七 0—100℃温度下水的粘度 .....	(512)

## 导 论

### 一、血液流变学的发展历史

1920年间,美国物理化学家 Bing ham 从事油漆、油墨等流动性的研究,提出了有关通用物质的变形和流动学科的重要性。在他的倡导下,美国于1929年成立了流变学学会。随着工业的发展,流变学得到迅速发展,日益引起各国科学界的重视。1948年在荷兰举行了首届国际流变学会议。A·L·Copley 教授在会上作了“生物学中的流变学问题”的报告,首次提出了“生物流变学”(Biorheology)一词。属于生物学与医学之间的边缘领域。以后许多国家纷纷成立流变学学会,比较著名的有德国流变学学会,英国流变学学会、荷兰尼德兰流变学学会、法国流变学全国委员会、瑞典流变学联合委员会及日本流变学学会等。1966年成立了国际生物流变学学会(International Society of Biorheology),并在冰岛(雷克亚未克)、德国(海德贝尔格)、法国(里昂)、以色列(雷霍法特)、美国(拉霍亚)、日本(东京)、德国(巴登——巴登)、加拿大(温哥华)、法国(南锡)、香港等地多次举办国际会议。1992年5月在中国举行了国际生物流变学理事会。生物流变学杂志亦于1962年出版发行。

生物流变学研究生物有关的变形与流动,不仅观察体内的流变现象,也研究构成生物体物质的流变特性。如原生质的流动、血流的流动性、红细胞变形性、血管变形性、眼球晶体的变形及淋巴液、关节液、脑脊液、玻璃体液、子宫颈粘液、支气管分泌物,肌肉、心脏、软组织的流变性、蛋白质、核酸的流变特性等等。在生物流变学中研究最多的是血液和血管的流变学。1951年Copley提出血液流变学(Hemorheology)一词,其定义为“从宏观、微观以至亚微观的水平研究血细胞及血浆成分与流动性质,并包括与血液直接接触的血管的流变性质”。

血液流变学是生物流变学的重要组成部分,对医学发展有重要意义和实际应用价值,发展十分迅速。1981年在东京召开的第四届生物流变学会议上,决定出版《临床血液流变学》杂志(Clinical Hemorheology)亦作为国际生物流变学会的会刊。血液流变学的学术会议也多次召开。我国生物流变学与血液流变学

起步较晚,七十年代开始在医学上尤其是中西医结合研究上予以应用,但随后发展很快,并形成了一支有医学、力学、物理学、化学等各方面人员组成的研究队伍。中国生物物理学会、中国生物医学工程学会、中国病理生理学会、中国力学学会等组织成立了血液流变学的学术组织,开展各项学术活动,出版了一批专著,血液流变学仪器也得到应用与推广,国产化程度不断提高。1991年以来出版了《血液流变学杂志》、《微循环杂志》、《微循环技术》杂志。促进了我国血液流变学的发展。

血液流变学发展从总体来看由宏观向微观发展。宏观血液流变学研究血液表观粘度、血浆粘度、血沉、血液及管壁应力分布等。微观血液流变学包括细胞水平上研究,红细胞聚集性、可变形性,红细胞与血小板表面电荷、白细胞流变性、血小板粘附、聚集性等,又称为细胞流变学。更进一步的分子水平研究,如血浆蛋白成分对血液粘度的影响,介质对细胞膜的影响,受体作用等称为分子血液流变学。由于血液流变学近十年来在临床应用上十分广泛,无论在诊断、治疗、预防中均有重大的发展,因此形成了血液流变学一个新分枝——临床血液流变学。临床血液流变学会议曾在英国、德国、日本召开。

## 二、血液流变学研究的意义

血液流变学是一门研究血液流动与变形的新型学科,其范围包括血液流量、流速、流态、血液凝固性,血液中有形成分及血管变形性与弹性、微循环、微血管血液流变性等。血液流变性的异常将会引起机体功能性或器质性障碍,因此血液流变学在临床上具有十分重要的意义,主要有:

1. 高血粘滞综合征 血液高粘滞综合征是临床医学中的一种新概念。可由一种或多种血液粘滞因素升高而造成的,如血浆粘度升高、全血粘度升高、红细胞刚性升高、红细胞聚集性升高、血小板粘附、聚集性升高,等。造成血液循环与微循环障碍,并可导致缺血缺氧。临床上见于真性红细胞增多症、肺源性心脏病、充血性心力衰竭、先天性心脏病、高山病与高原反应、烧伤、创伤、中风、糖尿病、冠心病心绞痛、急性心肌梗塞、血栓闭塞性脉管炎、高脂血症、多发性骨髓瘤、巨球蛋白血症、肿瘤、感染等。Dintenfass 认为高血压、冠心病、周围血管病等各种血管疾病的血液流变学机理是极其相似的,而特定临床历程或症候的表现可能是遗传因素加各种外部环境因素(应激等)的结果。

2. 低血粘滞综合征 低血粘滞综合征为血液粘滞性低于正常,由各个不同因素导致低血粘滞状态有很大的差异。形成低血粘状态的主要原因为细胞压积降低,如见于出血、贫血、尿毒症、肝硬化腹水、晚期肿瘤、急性白血病及妇女

妊娠期、月经期等。

3. 血液流变学可用于某些疾病的鉴别诊断 血液流变特性在临床上用于某些疾病的鉴别诊断方法之一,如红细胞变形能力降低用于鉴别急性心肌梗塞与重度心绞痛。红细胞压积、聚集性、粘度用于鉴别出血性休克、心源性休克与中毒性休克等。

4. 血液流变学用于估计并发症 糖尿病人体外血栓重量显著高于健康人,而有并发症糖尿病患者与无并发症组间差别十分显著。动态观察糖尿病人血栓重量变化对估测并发症有一定意义。在用肝素作为抗凝治疗或用尿激酶等溶栓治疗时,体外血栓形成试验有助于估计出血并发症的可能性。从而有助于及时调整用量。

5. 血液流变学作为治疗疗效的指标 真性红细胞增多症病人,红细胞比积与血液粘度为判断临床治疗效果的指标。高粘滞或低粘滞血症时血液流变学各项指标常为临床观察的重要指示指标。

6. 血液流变学方法用于临床治疗 等容量血液稀释疗法已在临床上广泛用于闭塞性脑血管病、冠心病心绞痛、视网膜中心静脉栓塞等多种疾病。其基本原理为将血液放出,分离红细胞,回输血浆与补充相应的液体,使红细胞压积下降,而血容量稳定,血液粘滞性大为降低,从而改善血液流通性,使微循环机能恢复。实验证明当红细胞比积由 0.49 降到 0.42 时,脑血流量能增加 50%。

7. 血液流变学用于疾病预测 健康人从小到大一生中,血液流变学参数变化应该是比较小的,在某些情况下,当尚无临床症状之时,可能出现某些血液流变学指标的异常。因此提出血液流变学方法可为某些疾病提供预报性资料,这方面工作已经取得一些进展。临床上观察到红细胞压积高者,发生脑梗塞的危险性增加。当红细胞压积 0.36—0.45 时,脑梗塞发生率为 18.3%;当红细胞压积 0.46~0.50 时,脑梗塞发生率为 43.6%。

血液流变学尚在临床上用于观察药物的作用、副作用、用于中西医结合研究,尤其是用于血瘀证诊断的重要指标。

### 三、我国血液流变学发展中存在的问题与对策

#### (一) 存在问题

我国血液流变学虽然起步较晚,但发展很快,尤其是被广大的临床医师所接受迅速普及与应用,取得了可喜的成绩。但也存在不少问题,主要有

1. 血液流变学测试方法没有标准化,影响结果的可比性。
2. 缺乏较可靠的各地区、各年龄组我国健康人血液流变学数值。

3. 虽然我国血液流变学仪器生产的数量很大,但多为普及型的仪器。高质量、符合要求的仪器仍很缺乏。

4. 血液流变学实验室虽然建立很多,但技术手段不够先进,项目少,与国际血液流变学实验室水平有一定差距。

5. 血液流变学临床检测多,基础研究少,实验研究少,尤其分子水平的血液流变学研究仅在起步阶段。

6. 有关血液流变学专著比较少,尚未形成一支血液流变学专业队伍,新的技术与方法未能及时推广。

7. 对血液流变学检测结果期望过高,不恰当地夸大血液流变性检测方法,不利于血液流变学的推广与提高。

8. 对血液流变学在疾病(如中风、冠心病、肿瘤等)预测中的作用与意义估计过高,将复杂的疾病预防难题过分简单化。

## (二) 对策

1. 将分散在生物物理学会、力学学会、生物医学工程学会、检验学会、中西医结合学会、病理生理学会等学术组织中的从事血液流变学工作的技术人员组织起来,成立统一的中国血液流变学学会,以适应血液流变学当前迅速发展的需要。

2. 联合各学会制定适合我国国情的血液流变学标准化检测方法。

3. 严格控制血液流变学仪器生产,发放生产许可证,制定质控标准以提高质量。并投入一定的资金与力量开发新产品,或引进高质量的血液流变学仪器生产线,在普及的基础上提高。

4. 各地建立一批具有较高水平的血液流变学中心实验室,从事血液流变学临床及实验研究及培训基地,建立国家级的血液流变学实验室作为我国血液流变学的研究中心。

5. 加强基础研究及有计划的临床研究,赶上国际先进水平,并结合我国特色,发挥我国中西医结合的优势。

# 第一章 血液流变学基本理论

## 第一节 流体的基本特性

### 一、流体的粘性

流体在正压作用下流动,当压力停止时流动速度逐渐减慢,最终会停止流动。在同样正压作用下甘油比水停止流动的时间短,这是因为流动时流体的内摩擦力阻碍流体的流动。内摩擦力即为流体的粘性,各种流体有不同的粘性。在流体流动中正应力的贡献就是压力,它在各方向上都相等,与所选面积的取向无关。当所选面积为相邻流层之间接触面时,其切应力阻碍相邻流体之间的相对运动。切应力表现流体的粘性又称粘滞性,而切应力只在液体流动时才会出现。度量粘性的物理量称为粘度。

在液体中一体积元,如其流速不变,则其所受的粘滞合力必须等于推动体积元运动的外力。为保持某一流速,粘度大的流体所需的切应力也大,对于一定粘度的液体,切应力愈大,各层之间相互滑动愈快,即速度梯度愈大。速度梯度可由任意两层液体之间的速度差异除以两层之间的距离而得出。速度梯度也称剪切率  $du/dz$ ,对于某些水、蜂蜜等简单流体来说,剪切应力  $\tau$  与剪切率之间有正比例关系,称为牛顿粘性定律 
$$\tau = \eta \frac{du}{dz}$$

由于速度梯度等于单位时间内的切变  $dy/dt$ ,即切变率,并用  $\dot{\gamma}$  表示,单位为  $S^{-1}$  (秒<sup>-1</sup>)。上述公式又可写成  $\tau = \eta \dot{\gamma}$  式中比例常数  $\eta$  为粘度,在国际单位制(SI)下,单位是毫帕·秒 (mPa·s)。在 20℃ 下水的粘度为 1 毫帕·秒。液体的粘性随温度升高而降低。当 37℃ 时水的粘度为 0.7 毫帕·秒。凡服从牛顿粘性定律的流体称为牛顿流体,其切应力与切变率的曲线(流动曲线)为一通过原点的直线(图 1-1),直线的斜率为该流体的粘度  $\eta$ ,为一恒量。而粘度随切应力和切变率而变化的流体,称为非牛顿流体,流动曲线不是直线(图 1-2)

非牛顿流体的  $\eta$  不再是常数,而随  $\dot{\gamma}$  的增大而变小的称剪切变稀流体(如假



## 第一节 流体的基本特性

塑性流体，象圆珠笔油墨、一定条件下的血液（图1—3）， $\eta$ 随 $\dot{\gamma}$ 的增大而增大的流体叫作剪切变稠流体（如膨胀流体，象麻酱）（图1—4）。

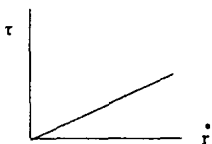


图1—1 牛顿流体流动曲线



图1—2 非牛顿流体流动曲线

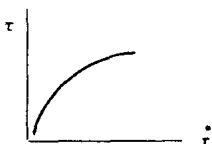


图1—3 非牛顿流体流动曲线(假塑性)



图1—4 非牛顿流体流动曲线(膨胀性)

非牛顿流体中有一种塑性流体，其特点是只有当切应力超过某一数值后才会发生流动，其流动曲线的特点是不通过原点。这种能引起流体发生流动的最低切应力称为屈服应力  $\tau_Y$ 。屈服应力的存在表明流体具有塑性，因此称这种流体为塑性流体。这种流体的流动称为塑性流动。血液在低切变率下表现塑性流体。

### 二、流体的粘弹性

弹性体的特点是其内部任何一点、任一时刻的应力，完全取决于当时、当地的应变，与应变的历史过程无关。也就是在受外力后变形，且有要恢复原状的反弹力；一旦外力消失后立即恢复原形状；伸长或压缩的程度与所加外力的大小有一定关系。而粘性与弹性不同在于只有在流体的各层相对运动时，才表现为粘性，而弹性是瞬时的响应；粘性体外力去除后不能回复原状；粘性体不能把能量储存起来作功，而把能量耗散变热。

固体有弹性，多数流体没有弹性。但还有另外一类物质，其中任一点任一时刻的应力状态，不仅取决于当时，当地的应变，而且与应变的历史过程有关，称为粘弹性物质。如蛋清是流体，但当搅动蛋清之后，它有回缩现象，即表现出弹性。唾液、痰、关节液、精液、宫颈粘液等含有大分子物质的生物流体都具有粘