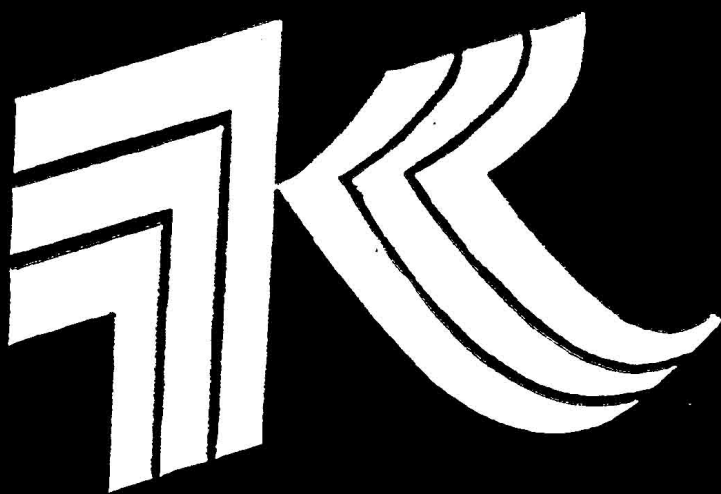




重庆出版社 吴云鹏 主编

胆道流变学

(川)新登字010号

责任编辑 张镇海
封面设计 王晓珊
技术设计 忠 凤

吴云鹏 主编
胆 道 流 变 学

重 庆 出 版 社 出 版、发 行 (重庆长江二路205号)
新华书店经销 重庆杨家坪进修印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 12 插页 8 字数 280 千
1993年12月第一版 1993年12月第一版第一次印刷
印数: 1—2,000

ISBN 7-5366-2392-5/R·120
科技新书目307-321 定价: 12.50元

主 编 者 简 介

吴云鹏，1936年3月26日生于河南省南阳市。1957年毕业于华中理工大学，1979年赴世界著名的生物工程中心——美国加利福尼亚大学圣迭戈分校，从事生物力学及生物流变学的研究，现任重庆大学教授、博士生导师、校长，华南理工大学兼职教授，四川运动技术学院客座教授，全国生物流变学委员会主任委员。

吴云鹏教授是我国生物力学及生物流变学创始人之一。他长年从事生物力学及生物流变学的研究和教育工作，已出版《生物流变学》、《体液流变特性》等专著(含合著)、译著共九部，他先后获得“胆道流变学研究”等国家自然科学奖一项、国家发明奖两项、国家专利和部、委、省、市科技成果奖以及发明金牌、银牌多项。由于他的成就，国家授予他省、市特等劳动模范，全国先进工作者，有“突出贡献国家级专家”称号等荣誉。英国剑桥国际名人中心、美国国际名人中心分别将他的科学贡献与事迹载入《国际名人录》及《国际杰出成就人物词典》，聘为美国北卡罗林纳州国际名人中心荣誉顾问，1992年伦敦应用科学研究院授予他荣誉博士。

胆道流变学

吴云鹏 主编

作 者

(按书中出现先后排列)

吴云鹏

(重庆大学生物工程中心)

蔡绍哲

(重庆大学生物工程中心)

杨瑞芳

(重庆大学生物工程中心)

王公瑞

(重庆大学生物工程中心)

迟彦邦

(人民解放军第三军医大学附一院)

方开先

(重庆医科大学附一院)

内 容 简 介

我国在胆道流变学方面的研究取得了独具特色的优异成果，曾获得中华人民共和国国家自然科学奖及国家发明奖。本书系我国从事该领域研究工作的专家教授编写而成。书中介绍了流变学、生物流变学理论基础，系统详尽阐述了人体胆道流变现象、流变规律及其在临床和其他实践中的应用。其中胆汁和胆管的流变特性及其本构关系、压力波在胆道系统中的传输、液体弹性波排除术后残余结石新方法、电水锤激波破碎胆结石方法以及胆汁粘度快速测定和临床应用等，都是国内外尚未发表的颇有价值的研究成果。其中涉及的流变特性测定方法和基础理论，不仅适用于胆道系统，并且对于其他体液、血液和软组织的流变学研究，都不无裨益。

本书可作为基础医学和临床医学工作人员参考书，亦可供其他生命科学如生物物理、生物医学工程、生物流变学与生物力学专业人员，以及大专院校有关专业师生的教学参考用书。

序 言

众所周知，生物流变学是多种学科所形成的边缘学科、涉及流体力学、流变学、生物力学、生理学、病理学、微循环及心血管系统医学等，但对于肝胆系统来说，其流变学规律和有关在医学上的应用，还几乎是一个空白，鲜为人知。而胆道流变学和我，堪称为“邂逅相遇”，有着一段戏剧性的插曲。

在15年前，那正是我国人民饱经“文革”动乱之苦的一段阴霾岁月。当时，我突患急性胆囊炎，住入中国人民解放军第三军医大学附属医院，这使我有机会得以认识黄志强、迟彦邦教授等一批卓越的肝胆医学专家，我受到启蒙，结合我的病情，开始对肝胆生理、病理进行了系统的钻研。我逐渐认识到，人体胆道确为一个十分巧妙的生理系统，具有分泌、排出、调节控制系统，藉以完成人体的消化、吸收等新陈代谢作用。与此同时，在人民解放军静谧的病房与图书馆内，同外界的“批林批孔”喧嚣得以隔离，使我有机会得以阅读生物力学和生物流变学等新兴生命学科杂志和文献。将繁复无穷的生命现象，用力学和流变学的观点和方法来分析，所得到的规律和结论是如此的清晰、明确。我深深地被它吸引了。随之，我如饥似渴地阅读这一学科的开创者冯元桢、阚小天等先生的著作。在此基础上，我

结合胆道生理病理，同第三军医大学军医杨可桢、蔡忠军主任医师等开始了液体弹性波排除残余结石的研究。这项被西方学者称为中华人民共和国在生物力学方面的“首次贡献”的研究工作，实质上也是胆道流变学研究的前奏。

翌年，迎来了祖国科学的春天，我满怀欣慰的心情走出了病房，回到校园民主湖畔的实验室内，开始了胆道流变学的研究。无独有偶，在此期间，王公瑞教授和我妻子杨瑞芳教授也毅然放弃了他们原所从事的专业而加入这一开拓性的研究行列。1979年，在大洋彼岸圣迭戈市我结识了冯元桢、阚小天两位生物力学和生物流变学巨擘，从他们那里，我得到不少发展生物力学与生物流变学的教益。其中，阚小天先生曾对我国生物流变学发展寄予很大希望，并拟来我国进行访问和交流，但令人遗憾和沉痛的是1990年他不幸与世长辞了。在此，我们谨以本书的问世向他表示深切的悼念。冯元桢先生，成为我最受尊敬的师长和挚友，他对我国生物力学的发展以及对胆道流变学的研究，始终给予诚挚的指导、帮助和鼓励。因此，当此书即将问世之际，我必须表示对他的深切谢意。

还应当指出，方开先教授、迟彦邦教授、陶祖莱副研究员、蔡绍哲教授、杨力副教授和我过去的学生诸建初博士，龙勉博士、危小燕博士等一批年富力强的学者参加了胆道流变学的研究，他们对胆道流变学的研究作出了重要贡献。此外，许明贵与祁左元参加第五章的编写工作，谨此向他们表示衷心的感谢。

吴云鹏于山城重庆

1992年

目 录

序言	(1)
----	-------

第一章 概论

§1-1 流变学与生物流变学	(1)
§1-2 生物流变学与医学及其他学科的关系	(5)
§1-3 胆道流变学及其研究意义	(8)

第二章 胆道流变学的理论基础

§2-1 应力	(22)
§2-2 应变和应变率	(29)
§2-3 本构方程和它的意义	(34)
§2-4 牛顿流体和绝对粘度	(34)
§2-5 非牛顿流体和表观粘度	(36)
§2-6 虎克弹性固体	(37)
§2-7 粘弹性体	(38)
§2-8 雷诺数和相似	(45)
§2-9 层流和湍流	(46)
§2-10 圆管内的层流	(47)
§2-11 本章小结	(52)

第三章 生物体液流变特性的测量

§3-1 毛细管粘度计及其测量方法	(56)
-------------------	------

§3-2	重力毛细管粘度计·····	(64)
§3-3	可变压力毛细管粘度计·····	(68)
§3-4	旋转式粘度计·····	(82)
§3-5	圆锥平板型粘度计·····	(91)
§3-6	体液的粘弹性测量·····	(95)
第四章	生物软组织流变特性的测量方法和装置	
§4-1	软组织单向拉伸的应力应变关系·····	(111)
§4-2	软组织两维加载数学模型·····	(120)
第五章	胆道的病理生理	
§5-1	胆汁的生成与排泄·····	(133)
§5-2	胆道梗阻后肝胆系统的改变·····	(151)
§5-3	胆石形成与胆汁流变特性·····	(172)
第六章	胆道解剖学及外科学基础	
§6-1	胆道解剖学概论·····	(178)
§6-2	胆道系统的组织学·····	(181)
§6-3	胆道神经系统·····	(182)
§6-4	胆道的影像学检查·····	(183)
§6-5	胆石成因研究·····	(190)
§6-6	胆道梗阻的临床问题·····	(202)
§6-7	中国传统医学对胆道疾病研究的贡献·····	(210)
第七章	胆液的流变特性	
§7-1	胆液的理化特性·····	(213)
§7-2	胆液的宏观流变特性·····	(215)
§7-3	胆液流变模型和本构方程·····	(221)
§7-4	结石、脓性物质对胆汁流变特性的影响·····	(226)
§7-5	胆囊胆汁的宏观流变性质与其主要生化成分 之间的相关性·····	(229)

§7-6	胆汁的电流变性质·····	(231)
第八章	胆道及胆囊的流变特性	
§8-1	胆管树的形态学定量研究·····	(237)
§8-2	胆道系统的最优化问题·····	(241)
§8-3	胆管系统的流变特性·····	(247)
§8-4	胆囊的流变特性·····	(254)
§8-5	胆囊的在体实验研究·····	(268)
第九章	胆道内的压力波传输	
§9-1	胆道内的压力波传输概念·····	(272)
§9-2	胆道系统形态学特征与流动模型的简化·····	(273)
§9-3	胆管系瞬态流动模型·····	(274)
§9-4	胆管传播实验研究及数学模型的简化与 推广·····	(288)
第十章	人体体外振动排石效应	
§10-1	引言·····	(302)
§10-2	体外振动排石试验装置·····	(304)
§10-3	结石的物理性质·····	(306)
§10-4	振动参数的选择·····	(306)
§10-5	试验中胆囊角度的选择·····	(307)
§10-6	排石效应·····	(308)
§10-7	结石在胆囊内的运动分析·····	(309)
§10-8	结石在胆囊管内的运动的分析·····	(314)
§10-9	结论·····	(315)
第十一章	胆道流变学的临床应用	
§11-1	液体弹性波排除术后肝内胆管残余结石·····	(321)
§11-2	液体电水锤激波破碎人体结石·····	(346)
§11-3	胆道手术后炎性流变学诊断·····	(357)

第十二章 胆道流变学展望

- §12-1 肝胆细胞与分子流变学(364)
- §12-2 肝胆系统软组织流变特性研究(367)
- §12-3 胆道系统的电流变特性研究(369)
- §12-4 胆道系统的控制、调节及反馈(370)
- §12-5 为肝胆系统疾病的诊断提供流变学理论及
方法(371)

第一章 概 论

§1-1 流变学与生物流变学

要了解生物流变学，首先必须了解什么是流变学。顾名思义，流变学就是研究物质变形和流动的科学。追溯过去，远在公元前 5 世纪，人们就流传着希腊哲学家Heraclitus的一句脍炙人口的名言：“一切在 流，一切在 变”。流变学(Rheology)一词即由此而来。

然而，流变学成为一门独立科学，则是 由美国 Bingham 教授创于1928年。当时，着重于油漆、橡胶、塑料、润滑剂及某些食品等的研究。因为这些物质都包含有流动和变形复杂的物质结构。这些物质所具有的运动现象，很难用经典的弹性力学和流体力学方法来分析，为此，不仅要研究这类物质的流动和变形，而且还要联系其物性和结构。由此可知，流变学是物理中的物性学和力学紧密联系的交叉科学。此外，它还同高分子化学及胶体化学有着密切关系。可以说，流变学是在橡胶工业、塑料工业、纤维工业、土木工程、化学工业、食品工业…

等广泛的工业背景下逐渐发展起来的。

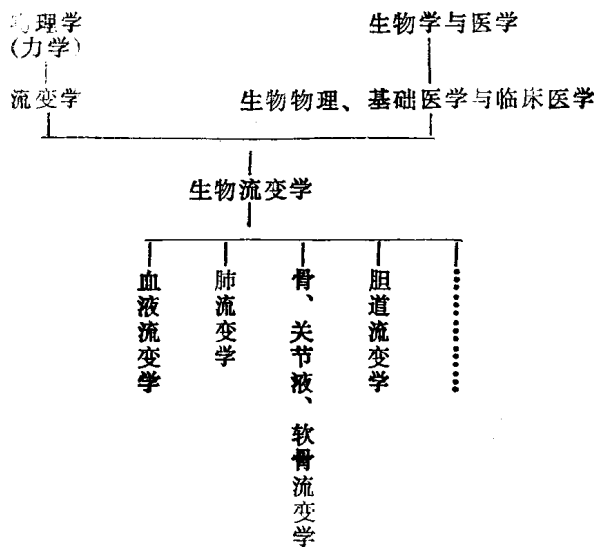
从流变学历史来看，流变学涉及的物质范围非常广泛。因此很早就有许多科学家注意这个学科。Boyle曾在1662年研究过鱼的呼吸和水中空气的关系，提出了热力学状态方程的Boyle定律；1676年Hook第一个创立流变学定律，即弹性体变形与应力成比例关系的Hook定律。1686年牛顿研究了理想流体的特性，建立了牛顿粘性定律。此后，不到200年，Maxwell于1867年提出了Maxwell粘弹性模型，认为所有的物质（包括气体在内）在剪切运动中，都兼有粘性和弹性性质，并首次计算出了空气的刚性模量。Young是一个医生，他创造了光的波动理论，同时建立了声带发音的弹性力学理论，提出弹性模量，并以他的名字命名为杨氏模量。

在实验方面，Poiseuille于1847年将血液通过毛细管流动进行实验，他的实验成功地取得牛顿流体压力和流量之间的关系。著名的Poiseuille定律是圆管稳定层流的理论基础，一直到现在仍在引用。1893年Barus在研究船舶的粘附现象中，观察到变形恢复的滞后现象，这是第一次直接记录的非牛顿特性。它表明剪切弹性是非牛顿流动的主要因素。

作为流变学与生物力学学科中的重要组成部分的生物流变学，就是研究生物体特别是人体内可以观察到的流变现象，同时亦研究构成生物体物质的宏观与微观流变性质问题，诸如血液的流动特性和规律、红细胞的变形、血小板的聚集、血管的力学特性、原生质的流变特性，以及胆汁、淋巴液、关节液、脑脊髓液、子宫颈管粘液、前眼房液、支气管分泌物、肌肉、内脏、膀胱、软骨、骨骼及其他软组织等流变学。在遗传工程方面，也有人从事蛋白质、核酸溶液等流变特性的研究。

如上所述，生物流变学也是横向切割各学科的交叉学科，

其相互关系大致可表示如下：



在了解什么是生物流变学的同时，还应该了解这一学科的历史发展。远在40年代，美国学者Copley教授就提出了生命现象亦寓于流变规律之中的独特见解，倡议用流变学的规律及方法，以人体为主要研究对象来进行研究，并起名为“生物流变学”。然而，当时在传统的力学与生物学、医学“分道扬镳”的科学偏见束缚下，是很难令人接受的。以后数年，这一见解未有进展。50年代以来，生物流变学特别是包括血液在内的体液流变特性的研究得到迅猛发展。50年代中期，在英国伦敦、牛津先后召开了血液流变学学术会议。60年代初，国际性杂志《生物流变学》应运问世。1964年，首届血液流变学国际学术会议于冰岛雷克雅未克召开。迄止60年代末，第二届血液流变学学术大会在联邦德国海德尔堡举行，从事此学科的研究人员骤增。70年代后期，又将血液流变学推广为生物流变学，并在

法国里昂召开了国际学术会议。直到1981年，在东京举行的第四届国际生物流变学大会，已成为世界规模的大会了。由于血液流变学同临床医学有着极为密切的关系，大会决定出版国际学术交流刊物《临床血液流变学》。

1978年在我国制定的力学发展规划中，开始注意生物流变学的研究，翌年，在制定我国生物医学工程发展规划时，已制定了血液流变学、消化和呼吸系统及软组织流变学。随之，第一部系统介绍生物流变学的中文书籍《生物流变学》(闻小天著、吴云鹏、陶祖莱译)问世，尔后生物流变学的研究工作及人材培养有了长足的发展。1980年中国生物物理学会及中国生物医学工程学会都设有生物力学及生物流变学专业委员会。虽有一系列有关此方面的书籍出版，但是，当时我国的生物流变学仅限于血液粘滞性测定等及临床血液流变学统计水平。在心脑血管病及肿瘤等严重威胁人民生命健康的重大疾病方面累积了大量临床数据。但无论从深度、广度方面都同国际的研究水平显出差距，从而也限制了我国的生物流变学特别是血液流变学在医学及其它领域内的广泛应用。在消化系统特别是肝胆系统方面还处于空白，在以细胞水平及大分子水平方面的微观流变学亦急需开展。

1988年国家自然科学基金委员会决定把生物流变学一些主要领域研究内容列为国家级大课题研究，其中体液流变学理论及应用研究在内容上以血液流变学和肝胆系统流变学为主攻方向。血液流变学与心血管疾病的关系是不言而喻的，血液流变学与肝胆系统的关系也极为密切。肝胆的代谢必需依靠正常的血液灌注，肝胆的功能又影响着血液的流变特性。胆汁的分泌是肝脏的一种重要功能，胆汁的流变学研究对于我国常见病——胆石病及胆道炎症的病因诊治及预防又至关重要。血液流

变学无论从其重要组成部分抑或国内外研究现状而言，着重与血液粘弹性、红白细胞流变特性、凝血以及微观血液流变学等。肝胆系统流变学则从定量形态学入手，系统地研究肝血流变学、胆汁动力学流变学、肝实质流变特性、胆道树流变特性、胆石形成学等，形成一个独具特色的生物流变学研究体系。

§1-2 生物流变学与医学 及其他学科的关系

众所周知，流变学是属于实验方法的学科，不限定其研究对象；而作为生物流变学来说，它与整个的生命科学有着重要的关系。首先，作为生物流变学特别是血液流变学的实验和在此基础上所提出的治疗方法，将会不断地被引入医学和外科学的实践中去。临床生物流变将在临床处理、诊断治疗和采取预防措施中起到愈来愈重要的作用。流变特性的了解和改善，将会有利于优生控制和延年益寿，同时也将给空间生物医学以巨大的影响，促进载人航天飞行的进展。

生物流变学也可以用于研究遗传学、细胞的变异、胚胎学，以及癌的生长等方面。譬如细胞核、染色体、细胞膜结构，甚至由蛋白质、脂肪、核酸自行结合的生物结构，其流变特性也是非常重要的。在胚胎发育中所固有的许多变形，都有待于流变学的关系将会越来越密切。

生物流变学还同信息论和控制论有着密切的关系。由于生物材料的宏观特性和微观特性之间的非单一关系，生物流变学与信息论和控制论的结合，可望给生物材料以更深刻的科学描

述。譬如，在广义上可以把生物材料的本构特性视为控制论中的一个联络通道过滤器，这种过滤器具有调节和控制机体的能力。

生物组织包括体液在内的流变特性与电现象的耦合效应，在活体组织的生理学中具有重要意义。多种生物材料都具有正、逆两种压电效应，这些压电特性与生物材料的弹性和电解质松弛特性有关。应用正、逆压电效应，可以控制某些组织的生长。譬如人体骨骼弯曲时，其凹部将出现负极化，相反的区域为正极化，若施以逆压电效应，骨内由此所产生的应力，将十分有助于畸形骨的矫形。此外，这种生物流变电特性又会改善骨骼的代谢，促进骨痂的形成。可以说生物流变特性与电学结合所形成的电生物流变学，方兴未艾，展现出诱人的前景。

将量子、分子分析方法应用于生物化学结构中，特别是在大分子系统的结构方面，所产生的量子生物化学与量子药理学具有重要的应用价值。而这些领域中的主要内容如大分子的键链、范德瓦耳斯力以及电荷转移等，都与生物流变学密切相关。

在生物流变学中，目前研究最多的是血液流变学，即研究血液及其成分的流动和变形问题和血管的流变特性等。正如Copley教授所说：“血液流变学是在宏观、微观、亚微观水平上，研究血液的细胞成分与血浆的变形和流动特性，以及与血液直接接触的血管结构的流变特性”。目前血液流变学研究的范围相当广泛。众所周知，可以将血液视作悬浮液系统，红细胞、白细胞和血小板等有形成分悬浮于血浆中，后者则是复杂的高分子化合物溶液，实质上是白蛋白、球蛋白、纤维蛋白原等溶于稀盐中的溶液，此外血浆还有激素、酶和代谢产物等物