

心血管血流动力学

四川教育出版社

生物医学工程丛书 I

R331.3
21
3
心血管血流动力学

陈君楷 著

BU12/24



B 728483

责任编辑：杨亚雄
封面设计：何一兵
版面设计：刘江

生物医学工程丛书 I

心血管血流动力学

陈君浩 著

四川教育出版社出版发行 (成都盐道街三号)
四川省新华书店经销 自贡新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张15.25 插页8 字数320千
1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷
印数：1—620册

ISBN7-5408-1313-X/G·1273 精装定价：8.50元



作者简介

陈君楷，男，生于1938年，1959年毕业于成都工学院土木工程系；现任成都科学技术大学工程力学系教授、工程力学研究所副所长、高新技术研究院生物工程研究所心血管血流动力学研究室主任、中国力学学会和中国生物医学工程学会生物力学专业委员会委员、四川省生物医学工程学会常务理事、四川省力学学会理事。

1979年以来，主要在生物医学工程和生物力学领域，从事心血管血流动力学、人工心脏瓣膜流体力学、血液循环系统模拟等方面的教学和科学研究工作。



图11-10 记录仪

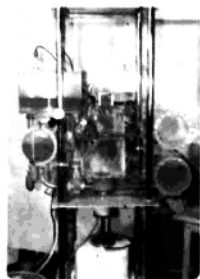


图11-11 兔耳的液体循环系统

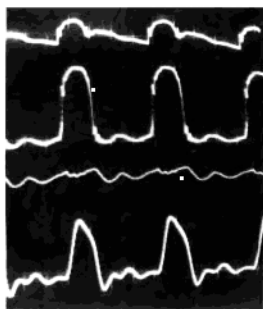


图11-12 兔耳液体循环系统
 1. 动脉血压、2. 心室压力、3. 心室压力、4. 兔耳血流曲线

图11-13 兔耳液体循环系统装置及特性曲线照片



图 1.11 实验室

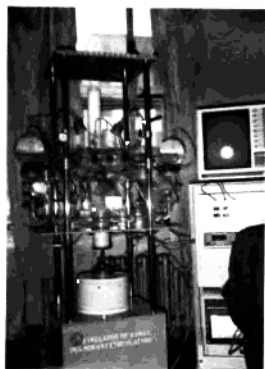


图 1.12 实验室控制电视系统

图 1.13 李军与中国医学科学院北京基础研究所联合研制的人体血液流速
环流测定器模型

内容提要

本书系统地阐述了心血管血流动力学的基本理论及若干重要应用。内容包括必要的预备知识、血液流变学、血管流变学、血流动力学基本方程、心脏力学、大血管流动、心血管系统物理模拟、微循环力学等。

本书亦注重基础理论的同时，还注意了与实际应用的联系；在表述上既有必要而严谨的数学推导和描述、论证，也有生理、病理意义和物理概念的阐述。书中还收入了大量图表、资料和数据。

本书适合于作大专院校力学、生物力学及生物医学工程专业研究生教材，亦可供理工科院校有关专业高年级学生、医科院校师生、从事心血管研究的临床医务工作者和有关科技人员参考。

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，每本专著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

前 言

心血管血流动力学是力学（包括流体和固体力学）同心血管生理学、医学的交叉、渗透中发展起来的一门综合性新兴边缘科学。近三十年来，这个领域的研究工作获得了迅速发展。在生物流体力学乃至在整个生物力学中，它是发展得最早和研究得最多的一个领域。这方面的研究，对循环生理学、病理学、心血管基础医学和临床医学以及生物医学工程学的发展，具有重大意义。

这个分支学科领域的主要内容，通常包括血液流变学、血管流变学、心脏力学、大血管（动脉和静脉）和微循环中的血流动力学，更广泛地说，还应当包括心血管系统的物质运输过程。本书用“心血管血流动力学”这个名称，似乎比单纯用“血流动力学”更为适当，因为顾名思义，它几乎较全面地概括了这一学科领域的主要研究内容，明白地表明了心脏、血液，特别是容易被忽视的血管流变学在这一领域的适当地位。

本书力求较系统地阐述心血管血流动力学的基本理论，并着重地介绍了某些重要应用。全书共分十一章：第一、二章介绍心血管血流动力学的主要内容、研究方法和特点、部份预备知识；第三章扼要介绍血液流变学，第四、五、六章较详细地着重叙述了血管的几何形态、组织结构、流变特性，包括线性、非线性、粘弹性，从一般理论到若干简化理论均作了扼要阐述；并着重介绍了同临床联系比较紧密的血管粥样硬化症的研究进展，或许临床医生对此会有兴趣；第七、八、九、十章是血流动力学基本方程、心脏力学、大血管血流，包括定常流、脉动流、某些特殊部位的局部流动、静脉可塌陷管流动、微循环流动等；鉴于近十年来，国内已有力学和医学方面的学者，对祖国传统医学中医脉诊的力学机理开展了很有意义的探索工作，本书以第九章的一节作了简要介绍；第十一章为心血管系统物理模拟理论与装置，这是心血管流动力学基本理论的一个重要应用领域，作者试图通过所在实验室和作者本人的研究工作来阐明一些重要概念和基本方法，同时亦简要介绍了国外某些典型的模拟循环装置及设计方法。

本书不打算求全。迄今国内已经出版了几种有关心血管血流动力学的专著和译著，各有特色。对于这些书籍中，阐述较为简略的部份，在必要时本书就作了较详细的叙述，例如血管流变学部分、心脏力学部份、心血管系统物理模拟部份等；反之，已作较详细介绍的部分，本书或用较小篇幅仅作扼要简述，或完全略掉；对于心脏瓣膜流体动力学，由于康振黄教授将有专著论述，故未列入本书之中；关于心血管系统传质问题，因已列入另外的著作，本书亦予略去。这样，使本书内容

自有侧重。

本书是根据作者在成都科技大学为研究生开设心血管血流动力学、生物流变学等课程的讲稿，并结合具体研究工作写成的，试图服务于两个目的：第一，主要作为生物力学、生物医学工程等专业的研究生60学时《心血管血流动力学》课程的基本教材；第二是作为医院校师生、临床医务工作者和在本领域工作的科技人员的参考书。由于各自熟悉的领域不同，要同时满足这两种要求是比较困难的。作者试图进行一种尝试，力求使本书既能适于熟悉数学和力学的理工科读者阅读，而不熟悉数学力学的读者可以撇开数学内容，也能了解基本内容和含义，起到参考的价值，因而在内容处理上，有下述几点考虑：第一、不回避运用数学力学的分析论证方法，即使有时要用到较复杂的数学工具；第二、着重加强问题的生理、病理和物理概念的阐述，在运用数学表述方法的地方，力求阐明问题的提出，解决问题的指导思想和目的性、基本假定的设立、数学推论结果的物理意义等。采用一种理论也力求简要说明其来龙去脉、应用条件和适用范围；第三、在语言表述上，尽可能做到说理清晰，层次分明，深入浅出；第四、用第二章介绍阅读本书的部份预备知识，其中一部份对生物医学工作者来说是简单常识，但对有的理工科读者却不大熟悉，另一部则刚好相反。这是促进建立“共同语言”的工作。当然，不可能对所有的预备知识都作介绍。

本书还引用了较多的图表、资料和数据，以便读者或研究者可以方便地进行查阅和选用。

对于本书的写作，作者首先要诚挚感谢康振黄教授，审阅

了初稿，对章节内容安排提出了宝贵意见；要特别感谢我系陈宗碧老师，是她的心勤劳动和精湛的制图技术，为本书绘制了绝大部分图表；特别感谢博士研究生樊瑜波同学，不仅为中医脉象机理探索一节提供了良好的素材，而且对整个书稿的文字和图表的核对、安排布置等作了大量工作，并提出了若干宝贵建议；还有博士研究生陈琛、雷明、杨晓鸿等同学，也给了我热情帮助，在此一并致谢。

由于作者水平所限，难免存在疏忽、不妥和谬误之处，非常诚挚地恳请读者给予批评指正，作者将十分感激。

陈若楠
于成都科技大学
1989.12.28

目 录

前 言	1
第一章 绪论	1
§1-1 什么是心血管血流动力学	1
§1-2 心血管血流动力学研究的意义和 作用	3
§1-3 心血管血流动力学研究的特点 ...	4
一、心血管血液流动的若干特殊性	4
二、心脏壁和血管壁材料的力学性质的 复杂性	5
三、实验研究的特殊地位	6
四、研究工作的跨学科综合性	6
§1-4 心血管血流动力学的主要研究方 法	7
§1-5 心血管血流动力学发展史略	8
参考文献	12
第二章 预备知识及基本概念	13
§2-1 张量概念	13
§2-2 表征物体受力和变形的若干物理 量	23

一、外力和内力	23
二、应力	24
三、一点的应力状态、应力张量	25
四、变形、位移梯度张量	28
五、应变与应变张量	30
六、应变率与应变率张量	32
§2-3 某些常见的流变学概念	34
一、本构关系与本构方程	34
二、固体、流体与粘弹体	35
三、虎克固体与牛顿流体	36
四、非牛顿流体及其分类	41
五、雷诺数、层流与湍流	47
六、悬浮液、密度、重度、比容（压 积）、pH值	47
§2-4 物理量的量纲、单位制和无量纲 化	48
参考文献	51
第三章 血液流变特性	53
§3-1 血液的组成及功能	54
一、血浆	54
二、血细胞	55
三、血液的功能	58
§3-2 血浆的流变特性	59
§3-3 红细胞的流变特性	62
一、红细胞的几何形状	62
二、红细胞膜的流变性质	63