

北京大学医学教材

血管医学精要

Vascular Medicine Primer

王宏宇 © 主编

Vascular Medicine
Primer



北京大学医学出版社

北京大学医学教材

血管医学精要

主 编 王宏宇
副主编 罗建方 陈 红 张学武 张瑞岩
编 者 (按姓氏汉语拼音排序)
宝 辉 付晓葆 郭秀英 李国华
李佳旻 刘 欢 刘金波 芦 娜
商广芸 史鸿燕 宋月洁 王 敏
向平超 薛伟珍 杨晓玲 尹李虎
于晓岚 张 利 张 敏 张国华
张雁钢 赵红薇

北京大学医学出版社

XUEGUAN YIXUE JINGYAO

图书在版编目 (CIP) 数据

血管医学精要/王宏宇主编. —北京: 北京大学
医学出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-5659-0909-2

I. ①血… II. ①王… III. ①血管疾病—诊疗—教材
IV. ①R543

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 163917 号

血管医学精要

主 编: 王宏宇

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京瑞达方舟印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 宋小妹 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 9.5 字数: 204 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-0909-2

定 价: 39.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

本书由

北京大学医学科学出版基金

资助出版

前言

《中国心血管病报告（2013年）》指出，中国心血管病患病率处于持续上升阶段，全国有心血管病患者约2.9亿。由于心血管病危险因素的流行，庞大的血管病患者群体造成沉重的国家医疗负担和家庭经济压力，已成为重大的公共卫生问题。高血压、冠心病、糖尿病等血管性疾病是累及全身重要脏器的系统性病症，其病理生理基础是供应脏器的血管发生弥漫性硬化、粥样硬化和局部阻塞，导致血管功能受损，因而血管病变早期评估和综合管理势在必行。

1997年，国外几位专家分别进行了关于动脉功能和动脉僵硬度的研究，原上海第二医科大学龚兰生教授和张维忠教授率领的团队在国内启动了针对血管功能的系列研究，并于1999年10月在首届国际高血压及相关疾病会议上报告了针对高血压患者动脉功能研究的成果，这是中国首次关于血管功能方面研究的报道，具有里程碑式的重要意义。2004年集合国内、外研究团队所进行的系列研究结果，我们首次提出“血管病变早期检测系统”的方法学概念，随后制订了国内乃至国际上第一个血管领域的指南——《中国血管病变早期检测技术应用指南》（2011年进行了更新）。同年原国家卫生部将血管病变早期检测技术批准为“十年百项计划”向全国推广，使中国成为国际上第一个由政府主导将血管病变早期检测技术在全国进行推广应用的 国家。同年还举办了国际上第一个血管领域的专业学术大会——中国国际血管医学大会，目前已成功举办十一届（2004—2014年），并成为该领域最有影响力的国际学术会议。2008年6月原卫生部部长陈竺题词“推动血管疾病防治工作，提高全民健康水平”。2012年中国首部《血管医学专业学科蓝皮书》发布。

在血管病早期检测技术推广过程中，联合技术应用医疗单位，首次进行血管功能方面的系列研究。在项目推广过程中，我们发现心内科、神经内科、外周血管科等传统学科分类已经不能综合评估患者的全身血管功能状态，传统的分科对于血管疾病的综合防治已显示其局限性。在北京大学医学部副主任方伟岗教授的大力支持下，我们于2010年在北京大学首钢医院成立了国内首家集血管病变早期检测、血管病变综合防治和系统康复、血管生物学研究为一体的血管医学中心——北京大学首钢医院血管医学中心。该血管医学中心的创立，为倡导以血管为中心的健康理念，提高血管性疾病综合评估、防治效果，开辟国内、外全新血管疾病防治新模式，血管医学这一新兴交叉医学专业学科的形成提供了临床医学实体支撑。

几千年来，医者仁心，把救死扶伤作为其执业的最高理想，而教育为医者成长之根本，高等医学教育更是培养杰出医学专家的摇篮。同样，一门新兴学科的发展也离不开教育，在北京大学医学部副主任王宪教授、北京大学医学部基础医学院郭琦副书记以及教育处续岩副处长等多位领导的大力支持下，我们于2011年率先在北京大学医

学部开设血管医学专业课程,标志着血管医学这一新兴学科的正式诞生。我们邀请来自北京大学医学部以及附属医院的相关专家参与课程的讲授,至今已经开设3个学年,为临床医学、基础医学、护理、口腔、公卫等专业的学生们进行了系统的血管医学理论课的讲解。2014年,旨在传播血管医学思想的“血管探秘”被正式批准设立为北京大学公共选修课程,供非医学专业学生选修。国内其他医学院校及其附属医院陆续创建了血管医学学科,并开设了血管医学专业课程。因此,编写一部面向血管医学医护人员和医学院校学生的教材迫在眉睫,遂组织北京大学医学部各附属医院授课教师及国内血管医学临床专业人员共同编撰此书,供大家参考。

本书共十一章,内容包括外周动脉疾病、肾动脉疾病、脑血管疾病、主动脉疾病、血管性勃起功能障碍、血管炎、急性肢体缺血、血管痉挛、静脉血栓栓塞、慢性静脉功能障碍及肺动脉高压等。本书适用于心血管、神经、内分泌、康复等专业的专科医护人员及全科医生、研究人员、医学院校本科生和研究生以及关注血管疾病的进修医护人员。

血管医学作为一门新兴学科,在教育的发展过程中,得到了北京大学医学部领导、北京大学医学部教育处各位老师的大力支持;在教材的编写中,得到了北京大学医学出版社的指导,各位编者付出了辛勤的努力,在此一并表示衷心感谢。

虽然力图短时间内写出高水平的教材,但由于血管医学为新兴学科,所有内容还处于探索阶段,内容尚有不完善之处,书中缺点、疏忽在所难免,还望广大读者不吝赐教,以便再版时进一步改进和提高。

北京大学医学部血管医学教研室 主任

北京大学医学部血管疾病社区防治中心 主任

北京大学首钢医院循证医学教研室 主任

北京大学首钢医院血管医学中心 主任

王宏宇

2014年8月

目 录

第一章 血管医学概论	1	损伤	73
第一节 血管疾病的危害及预防的 重要性	1	第一节 概述	73
第二节 血管医学在我国的起步和 发展	2	第二节 大动脉炎	73
第二章 动脉系统与脉搏波	6	第三节 巨细胞动脉炎	77
第一节 动脉系统	6	第四节 白塞病	79
第二节 脉搏波及其反射	8	第五节 川崎病	82
第三章 危险因素与血管健康	11	第六节 系统性红斑狼疮	84
第四章 血管评价方法	15	第七节 抗磷脂综合征	86
第一节 病史	15	第八章 血管杂症	89
第二节 血管体格检查	19	第一节 血管感染	89
第三节 血管实验室检查技术	22	第二节 移植血管感染	90
第四节 磁共振血管成像	26	第三节 下肢溃疡	93
第五节 CT 血管造影	30	第四节 血管损伤	97
第六节 外周血管造影	33	第五节 血管压迫综合征	102
第五章 常见动脉疾病	34	第六节 先天性血管畸形	106
第一节 冠状动脉疾病	34	第七节 外周血管异常和血管 肿瘤	110
第二节 脑血管疾病	37	第九章 血管疾病介入治疗技术	116
第三节 血管性痴呆	40	第十章 血管性疾病的康复管理 策略	120
第四节 皮质下动脉硬化性脑病	42	第一节 概述	120
第五节 肾动脉疾病	46	第二节 血管医学与护理人员行为 规范	121
第六节 代谢综合征	48	第三节 血管性疾病康复策略	122
第七节 外周动脉疾病	51	第四节 血管健康咨询和健康维护	130
第八节 血管性勃起功能障碍	55	第十一章 血管医学：实践转化医学、 全科医学及中西医结合治 疗的主阵地	134
第九节 主动脉夹层及动脉瘤	57	参考文献	137
第六章 常见静脉及肺血管疾病	65	中英文专业词汇索引	140
第一节 肺动脉高压	65		
第二节 肺血栓栓塞症	68		
第三节 常见慢性静脉疾病	70		
第七章 常见风湿性疾病引起的血管			

第一章 血管医学概论

血管疾病以高致死和致残率在过去的几十年间逐渐成为世界各国学术界关注的焦点。随着对疾病认知水平的提高, 目前已知人体动脉血管树的整体病情进展是造成各重要器官功能障碍, 甚至威胁生命的核心环节。因此, 早期检测血管功能和结构异常, 及时通过药物和非药物措施逆转早期血管病变、终身维护血管健康对预防心脑血管事件是极为有益的。

我国是世界上最早开展血管疾病整体防控策略的国家, 原国家卫生部从 2004 年起将血管病变早期检测技术列为“十年百项”计划之一, 并在全国推广。此项技术在全国受到广大医务人员和普通百姓的认可, 血管病变早期检测技术的普及在降低我国心脑血管疾病发病率、提高大众生活质量、延长寿命方面具有重要意义。伴随此项技术的推广, 作为新兴学术领域的血管医学逐渐发展成为一门新的专业学科。2010 年 4 月, 北京大学首钢医院在国内率先成立了血管医学中心, 学科涉及血管生物学研究、血管病变早期检测和预防、血管病变介入和外科手术治疗与血管疾病康复等领域。血管医学专业成为当前血管疾病防治的主阵地。

第一节 血管疾病的危害及预防的重要性

血管疾病具有很高的致死率和致残率, 是目前影响全世界人群死亡的首要因素。血管疾病可累及全身重要脏器, 与众多危险因素如高血压、高脂血症、糖尿病、高尿酸血症及同型半胱氨酸升高相关, 并导致进行性血管损伤, 最终引发血管事件, 包括急性心肌梗死、脑卒中、晚期肾病、外周动脉疾病等。有关数据显示, 我国每年死于心脑血管疾病的患者超过 300 万, 约占我国每年总死亡人数的 50%。虽然心脑血管疾病的诊治水平不断提高, 病死率不断降低, 但不容忽视的是, 我国所面临的疾病负担仍然在增加。目前我国大城市急性心肌梗死患者中, 壮年人群的比例在逐渐增高, 更为令人担忧的是, 20 世纪末期及以后出生的人群, 幼年起便接受高脂饮食、长期伏案学习和工作、缺乏适量运动等不良生活方式, 推测其心脑血管疾病发病年龄还会进一步提前, 我国可能即将迎来心脑血管疾病的发病高峰。目前, 心脑血管疾病的发病年龄逐渐提前, 急性心脑血管疾病导致的猝死和残疾不仅极大地增加了个人、家庭的负担, 对我国国民经济的顺利发展也造成巨大损失。受疾病打击后的幸存者, 相当一部分可能残留运动耐量降低和偏瘫等器官功能障碍, 极大地影响了生活质量。即使是没有明显躯体后遗症者, 对如何预防疾病再次发作也往往存在着认识上的误区, 表现在一部分人认为自己症状较轻, 对预防疾病的再次发生采取满不在乎的态度, 最终很有可能导致更加严重的心血管事件的发生。而另一部分人则对疾病抱有过度恐惧的心理, 从此长期卧床休息, 远离正常生活, 无法完整地回归社会。

上述疾病的发生不是心脏或大脑等器官本身发生病变,而是供应上述脏器的血管发生了弥漫性硬化、粥样硬化和局部阻塞所致。血管病变作为一种全身性疾病已引起人们的关注。从根本上降低血管疾病致死率和致残率,需要重视和治疗严重血管事件,如急性心肌梗死采取溶栓、介入及冠状动脉旁路移植术(搭桥手术)治疗,脑血管急症处理,外周动脉疾病的介入和手术治疗等,这些措施有利于挽救患者生命,但与其相比,血管健康维护和血管病变早期检测对于从根本上解决这些问题更为重要。

(王宏宇)

第二节 血管医学在我国的起步和发展

一、血管医学的起步和发展(1997—2003年)

1997年,当时世界上仅有几个专家刚刚开始关于动脉功能和动脉僵硬度的研究,而中国这方面的研究还是一片空白。原上海第二医科大学龚兰生和张维忠教授在我国率先启动针对血管功能的系列研究,1999年10月,首届国际高血压及相关疾病会议召开,会议主题是宣传中国在心血管相关领域的工作,推动高血压及相关疾病的预防和治疗。在此次会议上,笔者报告了针对高血压患者动脉功能研究的结果,这是中国首次关于血管功能方面研究的系统报道,具有里程碑式的意义。

2000年7月27日,《健康报》在头版刊登了题为《大动脉缓冲功能研究》的报道,文中称:“该研究是首次在国内进行的关于高血压患者大动脉缓冲功能的系统性临床研究,为开发针对改善大动脉结构和功能降低的药物提供了思路,成果水平填补国内空白,达到国际先进。”

2001年,笔者在香港心脏病学术年会上做了《关于动脉僵硬度临床应用》的学术报告。自此,我国关于动脉功能的系统研究逐步走向国际交流的舞台。

二、血管医学专业的发展(2004—2010年)

(一) 血管疾病相关研究

2004—2007年,笔者在北京大学人民医院开展了动脉早期僵硬度增加与心血管危险状况的相关性系列研究,结果显示,高血压患者随着年龄增大,大动脉僵硬度显著增加;大动脉僵硬度增加与高血压患者发生左心室肥厚和颈动脉粥样硬化密切相关。研究中还发现,作为反映大动脉僵硬度的指标——脉压,其升高幅度与冠状动脉粥样硬化性心脏病(冠心病)患者冠状动脉病变的严重程度正相关,超声回波跟踪技术对外周动脉的研究表明,高血压和冠心病患者外周动脉硬化明显升高。进一步的研究显示,血管紧张素转换酶抑制药、硝酸酯类药物对于逆转动脉血管病变有益。血管病变系统规范评价对于血管疾病的综合防治非常重要。2006年6月中国动脉僵硬度评价系列研究(Chinese Arterial Stiffness Evaluation Study, CASE)正式启动(表1-1),这一系列针对不同人群动脉功能的研究为我国制定不同地域血管疾病防治策略提供了充

分的临床证据。

表 1-1 中国动脉僵硬度评价系列研究

	研究年份	研究人群	结 果
CASE-1	2006 年	僧侣	素食时间超过年龄的 1/5 将对血管功能健康维护有益
CASE-2	2007 年	苗族	贵州省苗族人群在原生态生活环境中, 女性的血管功能优于男性, 影响动脉内皮功能的主要因素有年龄、低密度脂蛋白胆固醇和高密度脂蛋白胆固醇
CASE-3	2008 年	畲族	畲族自然人群双侧颈动脉内膜和中膜厚度随脉压变化存在差异, 与年龄、脉压、体重、低密度脂蛋白胆固醇、C 反应蛋白、血糖、三酰甘油 (甘油三酯) 和身高明显相关
CASE-4	2009 年	冠心病, 高脂血症	他汀类药物不仅能够有效降低血脂水平, 对于改善血管疾病患者的动脉僵硬度有极大益处

(二) 血管早期病变检测技术的推广

2004 年 6 月, “血管病变早期检测技术” 被原国家卫生部批准为面向全国推广的“十年百项” 计划之一。2004—2010 年, 血管病变早期检测技术在全国一些大、中型城市及县级医疗机构进行了推广, 并对相关专业医务人员进行技术培训, 联合开展临床检测工作及科研工作, 协助各地医疗机构建立血管病变早期检测部门。同时, 举行了多次全国性的学术会议和学习班。

2004—2010 年在各地卫生行政主管部门及医院的支持下, 血管病变早期检测技术已推广至全国 20 多个省、自治区及直辖市, 遍及北京、天津、河南、河北、山西、山东、陕西、内蒙古、上海、江苏、宁夏、云南、四川、贵州、黑龙江、辽宁、新疆、西藏、海南、甘肃和青海等地。血管病变早期检测技术的推广, 促进了血管医学这一新兴学科在我国的发展。

(三) 血管医学专业学术会议的举行和国际地位的确立

2004 年, 我国召开了首届血管病变和大动脉功能评价学术会议, 这是国际上首届针对血管领域的综合性学术会议, 标志着我国在此领域的领先地位。

2005 年, 笔者组织国内一些专家在全球率先制订了血管病变早期检测技术应用指南——《中国血管病变早期检测技术应用指南 (第一次报告)》。该指南是全世界第一个关于血管病变且由中国人制订的指南。

2006 年, 国际血管健康学会首届亚太地区会议在北京顺利召开, 国内外知名专家出席了此次会议。2007 年 1 月国际血管健康学会中国分会正式成立, 我国在血管疾病防治领域的工作受到国际学术界的重视和认可。2004—2010 年, 我国共成功举办了七届血管病变学术会议, 累计超过 5000 人参加该会议; 举办了五届国际血管健康学会亚太地区会议, 邀请国际血管界知名专家参会并报告了血管医学的研究进展, 为中国和

世界交流血管研究提供了平台。2009—2010年,我国血管病变早期防治的经验分别在美国和欧洲召开的国际学术会议(美国高血压年会和欧洲高血压年会)中进行了介绍。至此,我国在世界血管医学方面的领先地位成功确立。

(四) 出版血管医学专业相关书籍

从2003年至今,笔者与国内众多致力于血管医学事业的专家一起,陆续发表了关于血管功能的研究论文150余篇,翻译和出版了多部血管医学专业书籍(表1-2)。

表 1-2 血管医学专业相关书籍

书 名	出版时间
《大动脉功能与心血管疾病》	2003 年
《血管病变-心肌梗死-心力衰竭》	2004 年
《动脉僵硬度和脉搏波速度的临床应用(译著)》	2005 年
《血管病学》	2006 年
《血管医学(译著)》	2009 年
《新动脉硬化指标 CAVI 概述(译著)》	2011 年

(五) 血管健康事业惠及百姓

血管病变的预防不仅需要临床医务人员,更需要大众的共同参与。在原卫生部血管病变早期检测技术项目推广过程中发现大众对血管病变早期防治认识不足,为了提高大众对血管病变危险的认识,普及血管性疾病防治知识,有效控制血管事件发生的危险,笔者与中国社会工作协会康复医学工作委员会及北京大学医学部共同启动了血管疾病社区防治和康复计划——中国血管健康行系列活动,主要针对大众进行血管健康知识宣传和教育,介绍血管病变早期检测的意义和重要性,促进血管疾病早期防治工作的普及,便于筛查亚临床血管病变高危人群,使血管疾病早期防治切实全面实施,真正做到早期发现、早期预防、早期治疗,降低血管性疾病发病率、致死及致残率,减轻个人、家庭、社会负担,提高国民素质。同时,出版了“中国血管健康行科普系列丛书”(表1-3)。

表 1-3 中国血管健康行科普系列丛书

书 名	出版时间
《冠状动脉疾病防治》	2006 年
《话说血管疾病》	2010 年
《警惕潜在的杀手——血管早期病变检测》	2011 年
《静脉系统疾病的防治》	2012 年
《关注糖尿病及糖尿病血管病变》	2012 年
《脑血管病知识问答》	2012 年
《血管性疾病预防知识问答》	2012 年
《血管性疾病的康复》	2012 年

三、北京大学首钢医院血管医学中心成立（2010 年）

随着血管医学的发展，传统的学科分类方法已不能应对目前综合防治血管病的要求，以血管为中心的健康理念不仅有利于学科发展，而且有利于减少患者在不同科室间转诊的附加费用。基于此，全国乃至世界上第一个血管医学专业学科于 2010 年 4 月在北京大学首钢医院正式成立，这是首家针对血管疾病早期监测、血管健康终身管理、血管疾病内外科联合临床诊疗和康复为一体的综合性血管医学中心，其宗旨在于降低由高血压、高脂血症、高尿酸血症和糖尿病等多重危险因素引起的致死及致残性血管事件如猝死、心肌梗死、卒中、晚期肾病和周围动脉疾病导致的肢体缺血和坏死等疾病的发生。

血管医学科是集医疗、科研、教学、预防于一体的综合性科室，目前开展的工作包括血管生物学研究、血管医学科门诊、血管病变早期检测和血管医学科病房。主要诊治范围包括：血管早期结构和功能异常、血压血脂相关血管病、肾血管病、外周血管病、静脉疾病和血管炎症等。治疗措施包括饮食和运动疗法、传统药物、介入治疗和手术治疗。血管医学科的设立有利于疾病的早期检测和逆转血管病变，全面降低严重血管事件的发生。

（王宏宇）

第二章 动脉系统与脉搏波

脉管系统是封闭的管道系统，分布于身体各个部分，包括血管系统和淋巴系统。脉管系统的主要功能是物质运输，即将消化系统吸收的营养物质和肺吸收的氧运送到全身器官的组织和细胞，同时将组织和细胞的代谢产物及二氧化碳运送到肾、肺、皮肤，排出体外，以保证身体新陈代谢的不断进行。内分泌器官和分散在体内各处的内分泌细胞所分泌的激素以及生物活性物质亦由脉管系统输送，作用于相应的靶器官，以实现体液调节。另外，脉管系统对维持人体内环境理化特性的相对稳定和实现防卫功能等均有重要作用。

脉管系统尚有内分泌功能，心肌细胞、血管平滑肌和内皮细胞可产生和分泌心钠素、肾素、血管紧张素等多种生物活性物质参与机体功能的调节。

第一节 动脉系统

心血管系统是一个“密闭”的管道系统，它负责将心脏搏出的血液输送到全身各个组织、器官，以满足机体活动所需的各种营养物质，并且将代谢终产物（或废物）运送到相应的器官或组织，排出体外。心血管系统包括心、动脉、毛细血管及静脉。

心脏是推动血液流动的动力器官，动脉和静脉是输送血液的管道，毛细血管是血液与组织进行物质交换的场所，全身血管构成封闭式管道。人体内血管分布常具有对称性，并与功能相适应，大的血管走向多与身体长轴平行，并与神经一起被结缔组织膜包裹成血管神经束。

动脉系统有三项主要功能：①动脉作为管道，将充足的血液供应传送到机体组织；②动脉作为弹性贮器，缓冲心室间断性射血产生的波动；③动脉内皮合成和释放血管活性物质影响血管的张力和僵硬程度（stiffness）。这三项功能是相互关联的。

一、动脉的传输功能、缓冲功能和内皮调节功能

作为管道，动脉系统使血液从心脏供应到外周的器官和组织，维持正常机体代谢需要的血流供应。中央弹性大动脉又称为弹性贮器血管（windkessel vessels），是指主动脉、肺动脉主干及其发出的最大分支。这些血管的管壁坚韧，含丰富的弹性纤维，有明显的可扩张性和弹性。动脉作为弹性贮器的主要作用在于稳定由心室间断射血造成的压力波动，在收缩期贮存一部分心搏出量，在舒张期将其排出，从而保证外周器官和组织获得充足的血液灌注。

在 Windkessel 模型中，我们知道收缩期血压升高至峰值的时间依赖于左心室的功能和升主动脉的可扩张性（distensibility）。因此，动脉壁越僵硬，收缩期峰值血压就越高。另一方面，主动脉瓣关闭后，随着血液流向外周动脉，主动脉内压力逐渐下降，

压力下降的速率受血液向外周流出的速率（与外周阻力有关）和动脉黏弹性（viscoelasticity）影响。血管阻力恒定时，动脉僵硬度增加则舒张压下降增大。动脉壁黏弹性也是决定脉搏波传导速度（pulse wave velocity, PWV）和脉搏波反射时间（wave reflection time）的一个重要因素。动脉硬化可以使 PWV 加快，反射波提前返回。反射波叠加到前向波上可使脉压和收缩压进一步增大。其他机制如反射点距离和反射系数的改变也可使反射波返回提前，它们对收缩压峰值会产生较大的影响。

动脉血管内皮细胞通过合成和释放一些控制血管张力和结构的活性物质（如一氧化氮和内皮素等）在局部血流动力学调节中起重要作用。其中一氧化氮介导的内皮依赖性血管舒张功能尤为重要。

二、动脉几何特征和力学性质

动脉血管是复杂的三维结构。血管内皮为一单细胞层，仅能产生很小的牵张力，但是可通过合成、释放许多影响血管张力和结构的内皮活性物质来改变动脉血管的力学行为。动脉中层包括弹力纤维、胶原纤维和平滑肌，是血管张力产生的主要结构。动脉外膜含有大量的胶原纤维，同样也可以影响血管的力学特征。

在一定压力下，动脉几何特征（直径）和动脉壁力学性质（顺应性）之间的关系较为复杂。关键的问题有三点：①动脉壁非线性的弹性特征；②平滑肌细胞收缩时对动脉僵硬度和直径的特殊影响；③压力改变对动脉直径的直接影响。直径和顺应性的关系使得在不同生理条件或服用血管活性药物的情况下分析顺应性的变化变得复杂。直径和顺应性与许多因素有关，如血压改变、血管活性药物的直接作用或动脉壁生理活性物质的直接作用，后两者主要作用于平滑肌细胞。

正常条件下血压是维持恒定的，体外动脉顺应性随着动脉的扩张而减小。这是由于直径增加时血管壁张力也增加造成的，此时，血管壁张力负荷由弹力纤维转向由弹性较小的胶原纤维来承担。体内的情况更为复杂，因为扩张血管使直径增加或松弛平滑肌细胞使动脉壁张力减小都可使血容增大，在后一种情况下甚至血管几何形态都会发生改变。已有研究证实血管活性药物，包括钙通道阻滞药、硝酸酯类和血管紧张素转换酶抑制药，扩张中、小动脉时，都伴有顺应性的增加。这可以用动脉壁内平滑肌细胞、弹力纤维和胶原纤维的排列关系来解释。平滑肌与胶原纤维串联排列，与弹力纤维并联排列，所以，动脉平滑肌松弛时血管壁张力就由弹力纤维代替胶原纤维来承担。

血管活性药物对动脉系统的作用是其直接对动脉平滑肌的松弛和动脉扩张的协同结果。大动脉内血流速度的变化可通过血流介导的血管扩张机制引起动脉直径改变，这一机制不仅在动物实验，而且在高血压患者和正常血压者中都已得到了证实，其特点如下：①动脉树下游的动脉管径改变可以改变上游动脉的血流速度；②血流速度增加可使血管切应力（shear stress）增大，这样通过释放内皮舒张因子来使动脉直径增加。

第二节 脉搏波及其反射

一、脉搏波的产生

在收缩期左心室射血时,首先使靠近心脏的主动脉根部附近血管段内的血液压力上升;当收缩期终止、左心室停止射血时,这部分血管内的血液压力下降。显然,当血液压力上升时,由于动脉管壁是富有弹性的,因此,其管壁因受张力而向外扩张;当血液压力下降时,由于动脉管的弹性恢复,其管壁收缩。这就是说,心脏周期性的收缩和舒张将导致上述血管壁周期性地扩张和收缩。当然,主动脉根部附近这部分血管段压力的周期性上升和下降也将直接影响到下游与其相邻的另一血管段,使其压力也跟着周期性脉动,以及与其相伴随的下游部分血管段的管壁做径向周期性振荡,依次进行,这个血管段的脉动又将影响下游与其相邻的另一小段血管。因此,随着心脏的周期性射血,不仅有周期性脉动的血液流速及流量在动脉中向前传播,而且将导致血液压力时高时低的脉动以及动脉管壁时张时缩地振动,在整个动脉管系中向前传播。这种血液流速、流量及压力脉动或血管壁振动在动脉管系中的传播过程称为脉搏波在动脉中的传播。由此可见,心室的周期性射血将在主动脉中产生脉搏波(压力波和流量波等),而且这些脉搏波将传遍整个动脉管系。但是本书中所提到的脉搏波仅指压力波而言。当脉搏波传播时,脉搏波的波速、形状和振幅的大小将由血液的黏度、血管的力学特性(弹性和黏性特性)及血管的几何特性(几何构形和尺寸等)所决定。

动脉搏动可以沿着动脉管壁向外周血管传播,其传播的速度远较血流的速度为快。一般说来,动脉管壁的顺应性越大,脉搏波的传播速度就越慢。由于主动脉的顺应性最大,故脉搏波在主动脉的传播速度最慢。老年人动脉管壁的顺应性减小,脉搏波的传播速度可增大到约 10 m/s 。由于小动脉和微动脉对血流的阻力很大,故在微动脉以后脉搏波动大大减弱,到毛细血管,脉搏波已基本消失。

二、波反射

每个心动周期中,左心室收缩和舒张交替进行,产生的前向波,由中央动脉向外周动脉传播;前向波在传播过程中,遇到动脉结构或顺应性不匹配处产生反射,反射波由外周动脉向中央动脉传播。事实上,即使是从最远的动脉终端反射回来的反射波,其影响仍然必将在同一心动周期的脉搏波中出现,即叠加在同一周期的前向波上使其波形发生变化。我们所测量到的压力曲线就是前向波和反射波综合作用的结果。因为两种波产生位置不同,传播方向相反,所以在不同动脉节段间或同一动脉不同条件下动脉的压力波形也不相同,这就造成了中央动脉和外周动脉的脉压差异。

三、动脉僵硬度及其指标

(一) 整个动脉系统的僵硬度指标

根据相对简单的动脉循环模型,通过分析血压曲线可估计动脉顺应性。因为主动脉瓣在舒张期关闭,所以可以认为舒张期的波形是动脉系统对收缩压改变的一过性反应。在这种情况下,血压曲线通常可假定为是单指数形式,测定舒张期部分的面积可以更加精确地评估舒张期衰减。对于该部分的频率范围来说,波长远大于动脉树的长度,大动脉的作用相当于与单一阻力(R)串联的弹性腔(C),此时可用简单的 Windkessel 模型来评价顺应性。Windkessel 模型相当于电路的 RC 模型,RC 模型由一个电容(C)和一个电阻(R)串联组成。系统动脉顺应性经常可近似为舒张期衰减的时间常数与血管阻力的比值。

除了 Windkessel 模型,动脉 PWV 也被广泛用来评估动脉硬度。PWV 根据动脉树上不同的两个位置记录到的压力波“足部”进行测量,计算公式为:

$$PWV = \Delta L / \Delta t$$

式中, ΔL 为两处的距离; Δt 为时间间隔。

主动脉 PWV 的重复性约为 5%。根据 Moens-Korteweg 公式, PWV 与 Yong 模量有关:

$$PWV^2 = Eh / 2\rho R$$

式中, h 为动脉厚度; R 为内半径; ρ 为血液密度。

PWV 的变化范围通常为 5~20m/s。因此, h/R 比值一定时, PWV 越大, 动脉壁的僵硬度也越大。

(二) 动脉节段的顺应性和扩张性

节段性动脉僵硬度可在体内进行非侵入性测定。具体来说就是采用平面压力波法和超声波示踪技术来测量血压和动脉直径的脉动性改变。应该注意节段性动脉僵硬度仅限于被测定动脉节段的特定位置,它不同于由 Windkessel 模型得出的整个动脉树的硬度,也不同于 PWV 指标。而且顺应性多在一定的平均血压(mean blood pressure, MBP)下测定,所以多数情况下很难在相同跨壁压时比较正常血压和高血压者的顺应性。有时可以测定体内压力-直径关系,特别是在桡动脉处。体内研究也很难与采用动脉环的动物实验结果进行比较。后者可在相同跨壁压时比较正常血压和高血压动物,但干扰了脉压或脉动性血流或二者都被干扰。

(三) 动脉结构改变

动脉壁的力学性质和动脉僵硬度受一个或多个动脉结构的影响:内皮、外膜、内膜或中膜,但主要受平滑肌、弹力纤维和胶原纤维组成的内膜和中膜的影响。动脉树可以分成中央动脉和外周动脉两部分。前者指主动脉及其主要分支,后者指更远端的动脉。

主动脉及其主要分支横截面积和容积增加, PWV 增加, 扩张性降低。主动脉主要

由弹力纤维组成,因此,其血流动力学改变是高度压力依赖性的。压力反射波的增加主要在中央胸主动脉,使老年人和高血压患者脉压增加较大。这可受衰老的强烈影响,并可导致心室肥厚,流行病学研究表明其对心血管发病率和死亡率有显著影响。高血压外周动脉的横截面积、容积、顺应性和扩张性变化较小,特别是在桡动脉处。高血压患者中央动脉和外周动脉的直径差异可使随年龄的增大反射点位置更靠近心脏。外周动脉主要由平滑肌组成,对压力变化较不敏感,对血管张力的变化反应较快。

高血压动脉树的不均一性可能在很大程度上依赖于动脉壁结构的差异。中央动脉弹力纤维和胶原纤维多于平滑肌细胞,外周动脉则相反。因此,可扩张组织(平滑肌和弹力纤维)和不可扩张组织(胶原纤维)的不同比例将会影响动脉弹性的程度。

动脉粥样硬化的自然发展过程是可变的。有些患者可仅有轻微不适,有的则会残疾。虽然动脉粥样硬化可能是一个循序渐进的过程,但其自然发展过程在多数情况下能够通过合理控制危险因素、选择性用药以及在特定条件下进行介入性治疗而被顺利地更改。虽然不能治愈,但是合适的选择性干预措施对动脉粥样硬化的发展能够起到很好的减缓作用。因此,临床医生可以合理选择能够让患者受益的药物、血管内科及外科治疗。

(王宏宇 杨晓玲 王 敏)