



“十二五”国家重点图书

血管生物学

(第2版)

主 编 董尔丹 张幼怡

北京大学医学出版社

“十二五”国家重点图书
国家科学技术学术著作出版基金资助出版

血管生物学

(第2版)

主 编 董尔丹 张幼怡

副主编 朱 毅 汪南平

北京大学医学出版社

XUEGUAN SHENGWUXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

血管生物学/董尔丹, 张幼怡主编.—2版.—北京: 北京大学医学出版社, 2014.12

ISBN 978-7-5659-0978-8

I. ①血… II. ①董… III. ①血管—生物学—研究
IV. ①R322.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第259897号

血管生物学 (第2版)

主 编: 董尔丹 张幼怡

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.pumppress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京强华印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 张凌凌 陈 然 畅晓燕 冯智勇 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 46.75 字数: 1220千字

版 次: 2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-0978-8

定 价: 420.00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)

编者名单

(按姓名汉语拼音排序)

- | | | | |
|-----|--------------------------|-----|----------------|
| 艾 玎 | 天津医科大学 | 任 俊 | 复旦大学 |
| 陈 琛 | 华中科技大学 | 阮雄中 | 重庆医科大学 |
| 陈丰原 | 中南大学 | 沈 涛 | 北京医院 |
| 陈育庆 | 美国密西根大学医学院 | 施国平 | 美国哈佛大学医学院 |
| 初文峰 | 哈尔滨医科大学 | 宋 平 | 美国俄克拉荷马大学医学院 |
| 戴克胜 | 苏州大学 | 宋 峤 | 北京大学 |
| 董尔丹 | 国家自然科学基金委员会 | 唐朝枢 | 北京大学 |
| 杜 杰 | 首都医科大学 | 田小利 | 北京大学 |
| 杜军保 | 北京大学 | 汪道文 | 华中科技大学 |
| 杜晓军 | 澳大利亚 Baker IDI 心脏与糖尿病研究所 | 汪南平 | 北京大学 |
| 高平进 | 上海交通大学 | 王 虹 | 美国天普大学医学院 |
| 高远生 | 北京大学 | 王 擎 | 华中科技大学 |
| 韩启德 | 北京大学 | 王琮昕 | 美国俄克拉荷马大学医学院 |
| 胡清华 | 华中科技大学 | 王永煜 | 美国密西根大学医学院 |
| 黄 聿 | 香港中文大学 | 夏 勇 | 美国俄亥俄州立大学医学院 |
| 姜宗来 | 上海交通大学 | 肖 晗 | 北京大学 |
| 金红芳 | 北京大学 | 校 蕾 | 西安交通大学 |
| 孔 炜 | 北京大学 | 熊新宇 | 美国天普大学医学院 |
| 雷 寒 | 重庆医科大学 | 徐清波 | 英国伦敦大学国王学院 |
| 黎 健 | 北京医院 | 许顶立 | 南方医科大学 |
| 李 嘉 | 华中科技大学 | 杨晓峰 | 美国天普大学医学院 |
| 李 扬 | 北京大学 | 于宝琪 | 英国伦敦大学国王学院 |
| 李培峰 | 中国科学院动物研究所 | 余 鹰 | 中国科学院上海生命科学研究院 |
| 李欣源 | 美国天普大学医学院 | 张 健 | 中国科学院上海生命科学研究院 |
| 刘 燕 | 首都医科大学 | 张苏丽 | 首都医科大学 |
| 刘国庆 | 北京大学 | 张英梅 | 中国人民解放军第四军医大学 |
| 刘慧荣 | 首都医科大学 | 张幼怡 | 北京大学 |
| 刘利梅 | 北京大学 | 张志仁 | 哈尔滨医科大学 |
| 罗金才 | 北京大学 | 朱 毅 | 天津医科大学 |
| 齐颖新 | 上海交通大学 | 祝之明 | 中国人民解放军第三军医大学 |
| 齐永芬 | 北京大学 | 邹明辉 | 美国俄克拉荷马大学医学院 |

序

—

我曾长期从事心血管病理生理学和药理学方面的研究，深切感受到无论冠心病还是脑卒中，其实根本上都是血管疾病，共同的病理生理机制都是血管结构异常和功能自稳态的失衡。20年前国际上已经有了血管医学这一学科，但还没有一本综合血管生理学、病理学和药理学研究最新研究成果的参考书。所以我和中国医学科学院基础医学研究所的文允镒教授作为主编联合了一批从事血管研究的专家，在共同努力下，于1997年完成了《血管生物学》的撰写。该书出版以后，各方面的反应很好，还获得了国家图书奖。后来陆续听到一些研究工作者、临床医生以及研究生获益于该书的反馈，我心里有一种莫大的满足感。一眨眼17年过去了，血管方面的研究日新月异，书中不少内容已经显得陈旧了，迫切需要更新和修订。但是我与文允镒教授都已经不在科研第一线了，所以委托董尔丹教授和张幼怡教授出面组织再版。他们邀请了来自国内外的一批优秀专家参与撰写，这些作者都是当下活跃在血管生物学和医学研究领域第一线的中青年学者，他们学术思想活

跃，掌握最新进展，研究功底扎实。在他们的团结努力下，使得再版的这本书既保持了第1版严谨的写作风格，又展示了新一代中国学者的学术风貌，也为读者提供了血管研究领域的新知识、新观点和新进展。

《血管生物学》(第2版)保留了第1版的总体结构，只是将原第三篇血管药理学的内容融合到第一篇、第二篇的血管生理学与血管病理生理学部分，以保持篇章简洁而不重复，并把诊治靶点与病理机制有机整合，更便于读者阅读和理解。与此同时，专门增加了一篇来反映血管医学研究领域热点问题的最新研究进展与成就。本书的另一特点是各章节之间既保持关联，又相对独立。这样的安排有利于满足各层次读者的需求，不仅能帮助研究工作者了解最新研究成果和更新知识，而且也为初学者提供专业基础知识，开拓学术视野。从新版的内容和作者阵容，我能看到新主编们的精心组织和策划。

我衷心希望这本书能更好地为血管医学科研工作者以及对血管医学感兴趣的广大医学生、研究生和临床一线医生服务。



北京大学 教授
中国科学院 院士
2014年10月10日

序 二

人体的所有器官细胞都依靠血管系统运送血液来供给氧气和养料，排除代谢产物，维持内环境的自稳恒常而发挥正常功能。激素从内分泌器官到它的靶细胞必须经过血管系统。血管（特别是内皮细胞）可以制造或转变多种化学物质，来影响调控血管本身及其他细胞组织的功能。所以血管生物学对正常时的生理调控及疾病时的病变机转有重大意义。血管内皮细胞与血细胞及血管平滑肌细胞的交互作用对循环功能有重大影响，通过研究这些细胞交互作用可以得到很多重要的细胞间相互作用的知识。血管承受血压、血流的动力及化学物质的影响，经由信息传递调控基因表达、循环功能；血管生物学是物理与化学交叉调控生理功能的最佳例证。血管的正常结构功能是健康的一个重要条件；血管功能结构的变异可导致冠心病、脑卒中、肺动脉高压等疾病。由此可见血管生物学对生理学、病理生理学以及临床医学的重要性。

韩启德教授和文允镒教授在1997年主编《血管生物学》，为此重要学科的首创性经典书籍。对推动血管生物学的研究及加强血管疾病的诊治，有巨大的影响。使血管生物学研究得以有大幅的进展，促进了很多新颖理念和尖端技术的出现。十多年后，两位首版主编邀请现今血管生物学权威董尔丹教授和张幼怡教授组

织再版。两位新主编邀请国内外活跃在血管生物学和医学研究领域第一线的62位知名中青年专家学者，撰写了杰出的章节。

这本第2版的《血管生物学》保持了第1版的严谨风格，同时引进了现代的前沿学术，并且也保留了第1版的总体结构。第一篇、第二篇仍是血管生理学和血管病理生理学。但这两篇都有大幅的修改，增添最近的发展，介绍最新的观念和方法。非常可贵。

第2版的一个主要改变是把第三篇变为写血管医学研究领域热点问题的最新进展与成就。这篇内的十一章包括免疫、核受体、蛋白质泛素化、前列腺素，以及遗传学与血管病变之关系；血管细胞的表观遗传学研究调控与非编码RNA；血流动力学与血管功能调节；干细胞与血管修复及血管组织工程；血管疾病的动物模型。这些都是最尖端的课题，使这本书真正代表现今血管生物学的前沿，为所有在这领域内的学者、学生必读之书。

这本书是中文写的，对全球各地使用中文的血管生物学学者有极大意义。现在此重要领域尚无类似的英文书籍。希望不久的将来能看到这本书的英文版，得以裨益世界上所有的血管生物学家，促进全人类的健康福祉。

钱煦

美国加州大学圣地亚哥分校 教授
美国科学院 院士
美国工程院 院士
美国艺术及自然科学院 院士
中国科学院 院士（外籍）
2014年11月20日

第2版前言

随着生命科学和医学科学的发展及不同学科的相互渗透,关于血管的基础研究取得了突飞猛进的发展,逐渐形成了血管生物学这一学科分支。血管生物学是研究血管的正常结构、功能,以及其病理改变的机制与规律的科学。它的基本研究内容包括:①血管的结构与功能及其调节,以及实现这些功能与调节的分子与细胞生物学基础;②血管与血液成分之间的相互作用;③血管的病理生理学改变及其发病机制。以血管功能与结构改变为重要病理生理学基础的心脑血管疾病,如冠心病、高血压、脑卒中、肺动脉高压等多种疾病,对人类健康构成极大威胁,是危害人类健康的“头号杀手”。因此,血管功能的自稳态是机体生命活动的重要基础,在维持机体的正常生理功能中发挥重要作用。血管感知内环境变化并经由细胞间对话将这些信号加以整合,通过局部活性物质的产生使血管自身发生结构与功能的改变,包括细胞生长、死亡、迁移及细胞外基质的产生和降解。各种理化因素及内外环境的改变都可造成血管功能或结构改变与损伤,成为许多重要血管疾病的共同病理生理环节。

1997年,由韩启德教授和文允镒教授主编、国内多名专家学者撰写的我国首部《血管生物学》一经发行很快得到广大医学工作者和心血管研究人员的赞誉,对心血管基础和临床研究起到了很好的推动作用。十多年来,随着科学发展的日新月异,血管生物学研究取得了突飞猛进的发展。新概念、新观点、新方法不断涌现,基础与临床的联系和不同学科的交叉日益密切。为了推动我国血管领域的基础与转化研究,在前任主编的支持下,我们组织了包括中国、美国、英

国、澳大利亚活跃在血管研究前沿的62位知名专家和科研工作者撰写了这本《血管生物学》(第2版)。

《血管生物学》(第2版)传承了第1版的宗旨、风格和形式,尽可能系统与完整地向心血管领域的研究者及临床医师介绍血管生物学范畴内的基础知识与最新研究进展。在充分尊重第1版重要内容框架的基础上,进行了内容的更新和整合,将药理学的内容有机地融合在了第一篇“血管生理学”和第二篇“血管病理生理学”中,增加了血管生物学研究领域的热点内容。全书分为三大部分:第一篇为血管生理学。主要介绍血管的各个组成部分的形态、结构和重要的生理功能以及血管与血液成分相互作用的过程。第二篇为血管病理生理学。主要讲述血管新生、老化和钙化等的发生机制,炎症和应激与血管病变的关系,动脉粥样硬化、血管再狭窄、高血压、动脉瘤以及心、脑、肺、肾等脏器和糖尿病性血管病变的发病机制。第三篇为血管生物学研究热点。主要介绍新近血管生物学领域的研究热点,如免疫因素、核受体和蛋白质泛素化,表观遗传学因素和非编码RNA在血管病变中的作用机制;血流动力学变化对血管功能的影响;干细胞及组织工程在血管修复中的作用及其新型模式动物的应用等。

该书是血管研究工作者的一本重要参考书。各章节都由该领域的顶尖专家结合自己的科研工作撰写完成,具有精、新的特点。由于各章节内容之间有着密不可分的联系,因此不可避免地会出现一些重复,甚至由于研究的切入点不同、视角不同,对个别问题还会有不一致的看法。尽

管主编在组织与统稿时在这方面做了不少努力，但上述问题仍难避免。血管生物学的进展日新月异，作者的知识面与精力有限，本书不可能包罗血管生物学的所有内容，甚至可能遗漏某些重要内容。由于主编水平有限，时间仓促，书中可能存在一些纰漏与错误，敬请读者指正。

该书的出版被国家新闻出版广电总局列为“十二五”国家重点出版物出版规划项目，获得了“国家科学技术学术著作出版基金”的项目资助，也得到了北京大学医学出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

董尔丹 张幼怡

2014年10月10日

目 录

第一篇 血管生理学

第一章	血管概述.....	3
第二章	血管内皮.....	9
第三章	血管平滑肌.....	28
第四章	血管外膜.....	43
第五章	细胞外基质.....	57
第六章	血管舒缩功能.....	83
第七章	血管细胞内分泌功能.....	97
第八章	血管受体.....	114
第九章	血管细胞膜离子通道.....	145
第十章	血管细胞信号转导.....	163
第十一章	血管气体信号分子.....	181
第十二章	蛋白质修饰与血管功能.....	197
第十三章	凝血与血栓.....	213
第十四章	血管异质性.....	236

第二篇 血管病理生理学

第十五章	血管新生.....	247
第十六章	血管衰老.....	264
第十七章	血管钙化.....	280
第十八章	血管与炎症.....	300
第十九章	细胞应激与血管病变.....	326
第二十章	动脉粥样硬化.....	346
第二十一章	血管再狭窄.....	364
第二十二章	高血压.....	392
第二十三章	动脉瘤.....	414
第二十四章	心脏微循环与缺血 - 再灌注损伤.....	431

第二十五章	脑血管病变	449
第二十六章	肺动脉高压	476
第二十七章	肾血管病变	495
第二十八章	糖尿病血管病变	505

第三篇 血管生物学研究热点

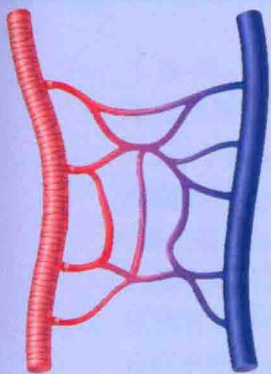
第二十九章	免疫与血管病变	531
第三十章	前列腺素与血管炎症	543
第三十一章	核受体与血管病变	559
第三十二章	蛋白质泛素化与血管病变	577
第三十三章	血管疾病的遗传学研究进展	591
第三十四章	血管细胞的表观遗传学调控	612
第三十五章	血管细胞与非编码 RNA	626
第三十六章	血流动力学与血管功能调节	643
第三十七章	干细胞与血管修复	657
第三十八章	血管组织工程	672
第三十九章	血管疾病的动物模型	687
缩略语表		706
索引		727

第一篇

血管生理学

血管概述

张幼怡 宋 晓



第一节 血管的发生及解剖结构	3
一、血管的发生	4
二、血管的解剖结构	5
第二节 血管的分类、结构特点及功能	5

一、动脉	5
二、静脉	6
三、毛细血管	7

血管 (blood vessel) 是指血液流过的一系列管道。血管几乎遍布全身, 人体仅角膜、毛发、指 (趾) 甲、牙齿及上皮等处没有血管分布。据估算, 血管总长在 10 万千米以上, 如果全部首尾相接, 大概可以绕地球 2.5 圈。它负责将心脏搏出的血液输送到全身的各个组织器官, 以提供机体活动所需的各种营养物质, 同时将代谢终产物或废物运回心脏, 通过肺、肾等器官排出体外。近年来一些研究发现, 血管除了具有传统的运输功能外, 还是一个内分泌器官, 可分泌多种生物活性分子, 参与调节血管和其他组织器官

的生理活动, 维持血液的流动性及血液细胞的功能, 维持机体内稳态。血管功能的自稳态是机体生命活动的重要基础, 在维持机体的正常生理功能中发挥重要作用。各种理化因素及内外环境的改变都可造成血管功能或结构的改变与损伤, 成为许多疾病共同的重要病理生理环节。我们所熟知的“高血压病”、“冠心病”和“脑卒中”等都是血管病变引起的, 只是承载的器官不同罢了。因此, 了解血管的结构特点, 对深入研究其生理功能和发生病变的机制, 有效防治心血管疾病具有重要的意义。

第一节 血管的发生及解剖结构

血管系统的形成是生物长期进化的结果。在无脊椎动物中, 绝大多数节肢动物、多数软体动物等具有开放式循环系统。在开放式循环系统中, 所有组织细胞都浸浴在血液之中, 没有毛细血管将血液和细胞外液分隔开。开放式循环系统的血压很低, 一般不超过 5~10mmHg, 血流速度很慢。从纽形动物 (Nemertea, 亦称吻腔动物) 开始出现了闭管式循环系统, 将血液与细胞外液

分隔开了。血管系统逐渐形成了微循环, 血流经微循环、静脉回心。由于心血管系统形成了完整的闭环管道, 而且血管壁弹性大, 能支持较高的血压, 因此血压较高, 血液重新分配的调节和血流的速度也快。绝大多数脊椎动物都是闭管式的血液循环, 鸟类和哺乳动物更是拥有相对独立的两套循环体系, 即体循环和肺循环^[1]。本节将主要介绍血管系统的形成以及血管的构造。

一、血管的发生

(一) 原始血管系统的发生

人胚胎第 15~16 天, 卵黄囊壁胚外中胚层内的间充质细胞增殖形成细胞团, 称为血岛 (blood island)。血岛中含有成血-血管细胞 (hemangioblast), 其中位于中央的细胞分化为原始血细胞 (primitive blood cell), 即造血干细胞。而周边的成血-血管细胞变扁, 分化为成血管细胞 (angioblast), 亦即最初的内皮细胞。由内皮细胞围成的管道即为原始血管。内皮管道不断以出芽的方式向外延伸, 与相邻的内皮管道相互连通。同时, 体蒂和绒毛膜的中胚层内也以同样的方式形成内皮管道, 并不断延伸、彼此连通, 逐渐形成一个丛状分布的胚外内皮管网。在胚胎第 18~20 天, 胚体内部的间充质细胞也形成血岛, 随后出现裂隙, 裂隙周边的细胞变扁, 围成内皮管, 它们同样以出芽的方式与邻近的内皮管融合连通, 形成胚体内的内皮管网。胚胎第 3 周末, 胚体内和胚体外的内皮管网经过体蒂相互连通, 在胚体内外的间充质中形成一个弥散的内皮管网, 造血干细胞进入胚体内, 胚胎的早期血液循环即告建立^[1-2]。此外, 在内皮管网形成的同时, 邻近的间充质细胞在血小板源生长因子 (platelet-derived growth factor, PDGF) 的作用下, 包绕在内皮管周围, 逐渐分化形成血管壁的肌肉和纤维层^[1]。

(二) 原始血管系统的建立

首先, 从生心区长出心管, 开始为左右一对, 胚胎发育至第 4 周时, 左右心管合并为一条。

1. 原始动脉系统 由心管发出一对背主动脉 (dorsal aorta), 以后从咽至尾端合并为一条, 沿途发出许多分支。从腹侧发出数对卵黄动脉 (vitelline artery) 和一对脐动脉 (umbilical artery), 卵黄动脉位于卵黄囊, 脐动脉经体蒂分布于绒毛膜。胚胎的头端有 6 对弓动脉 (aortic arch), 分别穿行于相应的鳃弓内, 连接背主动脉与心管头端膨大的动脉囊。

2. 原始静脉系统 包括一对前主静脉 (anterior cardinal vein), 收集上半身的血液; 一

对后主静脉 (posterior cardinal vein), 收集下半身的血液。两侧的前、后主静脉分别汇合形成左右总主静脉 (common cardinal vein), 分别开口于心管尾端静脉窦的左、右角。卵黄静脉 (vitelline vein) 和脐静脉 (umbilical vein) 各一对, 分别发源于卵黄囊和绒毛膜, 均回流入静脉窦。

这样, 原始动、静脉系统以及内皮管网形成了三套循环, 分别为胚体循环、卵黄循环和脐循环。卵黄循环仅存在一段时间, 脐循环在出生时即终止, 而胚体循环将存在终生^[2]。

(三) 主要动、静脉的演化

弓动脉均从动脉窦发出, 先后共发出 6 对, 分别走行于各对鳃弓内, 与同侧的背主动脉连通。6 对弓动脉不是同时存在, 常常是后 1 对出现时, 前 1 对已退化或发生演变。其中左、右第 3、4、6 弓动脉及其分支分别形成左、右颈总动脉、颈外动脉和颈内动脉、主动脉弓、左、右锁骨下动脉、头臂干以及左、右肺动脉等邻近心脏的大动脉。其余的弓动脉则退化消失。值得注意的是, 左第 6 弓动脉的远侧段保留, 连接于左肺动脉与主动脉之间, 即动脉导管 (ductus arteriosus)。胎儿出生后动脉导管闭锁成为动脉韧带, 出生后三个月达到解剖关闭。如果届时未能关闭, 即为动脉导管未闭。

肝形成后, 右卵黄静脉头段成为下腔静脉的终末部, 余下近肝段形成肝静脉。左卵黄静脉头段消失, 左右卵黄静脉的尾段分支则吻合, 发育形成门静脉。整个右脐静脉及左脐静脉在肝与静脉窦之间的一段退化消失, 而脐至肝的一段则一直保留至出生。左、右前主静脉之间有一吻合支形成, 它从左至右呈斜向走行, 左前主静脉的血液可经此吻合支流入右前主静脉。吻合支发育成为左头臂静脉, 右前主静脉的近侧段和右总主静脉发育成为上腔静脉^[2]。

同其他器官一样, 胚胎期血管的发生、发育必须遵循严格的时空顺序进行, 其调控非常精准。NOTCH 信号通路^[3-4]、血管内皮生长因子^[5]、Rac1^[6] 以及一些 miRNA 如 miRNA-126、miRNA-143、miRNA-145^[7] 等都在其中发挥了至关重要的作用。

二、血管的解剖结构

除了最小的毛细血管外,其他各种类型的血管都由三层被膜(tunic)构成^[2]。它们围成传输血液的管腔,即血管腔。

(一) 血管内膜

血管内膜(tunica intima, intima)是指最内侧的、与血液直接接触的血管膜。血管内膜包含由单层扁平上皮细胞组成的血管内皮。它们包绕着所有血管的管腔并与心内膜相连。这些扁平上皮细胞之间有序地连接紧密,构成具有取向性微米尺度沟槽耦合纳米突起的复合结构表层。从生物力学角度看,这种自然的多尺度表面有利于提升边界流,可良好锚定血浆层,减小了内皮表面的黏附力,也减少了血小板与内皮表面的接触机会,从而减小血液流经血管腔时的摩擦阻力^[8]。在直径超过1毫米的血管中,还存在由基质膜和疏松结缔组织构成的内皮下层,其作用是支撑血管内皮。

(二) 血管中膜

血管中膜(tunica media)由规则环绕的平滑肌细胞和弹性蛋白层构成,是动脉壁中最厚的一层。平滑肌细胞的活动受交感神经纤维以及一系列化学物质调控,根据机体需要调节血管的收缩(平滑肌收缩,管腔直径减小)或舒张(平滑肌舒张,管腔直径增大)。血管直径的微小改变会对血流和血压产生巨大的影响,因此血管中膜的活动在循环动力学中起关键作用。

(三) 血管外膜

血管外膜(tunica externa)位于血管壁的最外层,主要由疏松的胶原纤维编织而成,可以保护血管并将其固定于外周结构。神经纤维和淋巴管延伸进入血管外膜。在较大的血管中,外膜还具有细小的滋养血管系统(vasa vasorum,“血管的血管”),为血管壁较外层的部分提供营养,而血管的内侧或管腔部分直接从管腔的血液中汲取营养。

第二节 血管的分类、结构特点及功能

血管是运送血液的管道,按照构造、功能的不同,分为动脉(artery)、静脉(vein)和毛细血管(capillary)三种。动脉起自心脏,随着前行不断分支,口径渐渐变细,管壁也越来越薄,最后形成大量的毛细血管,分布到全身各组织和细胞间。然后毛细血管再汇合,逐级形成静脉,最后返回心脏。换一个角度来说,血液经由动脉输出心脏,在毛细血管处与组织进行物质交换,然后再由静脉输送回心脏。这样,动脉与静脉经由心脏连通,全身血管构成了封闭式的管道,血液就在这个封闭的管道中不断流动。人体内血管常呈对称性分布,大的血管走向多与身体长轴平行,且动、静脉相伴而行,并与神经纤维一起被结缔组织膜包裹成血管神经束。下面分别就各类血管的结构特点和功能进行阐述。

一、动脉

如前所述,动脉是运送血液离开心脏的血管,从心室发出后,反复分支,愈分愈细,最后移行于毛细血管。动脉管壁较厚,能承受较大的压力。根据解剖结构和功能的不同,动脉又分为弹性动脉(elastic artery)、肌性动脉(muscular artery)、小动脉(small artery)和微动脉(arteriole)四类(各类动脉的结构特点见表1-1)^[1-2]。

(一) 弹性动脉

弹性动脉是邻近心脏的大动脉,血管壁较厚,包括主动脉及其主要分支。其结构有如下特点:①内膜有较厚的内皮下层,内皮下层之外为

表1-1 各类动脉的特征

动脉类型	直径	内膜	中膜	外膜
大动脉（弹性动脉）	>1cm	内皮、结缔组织、平滑肌、多层弹性膜	平滑肌、弹性纤维	结缔组织、弹性纤维，比中膜薄
中动脉（肌性动脉）	1~10mm	内皮、结缔组织、平滑肌、明显内弹性膜	平滑肌、胶原纤维、少量弹性组织	结缔组织、部分弹性纤维，比中膜薄
小动脉	0.3~1mm	内皮、结缔组织、平滑肌、内弹性膜	平滑肌（8~10层细胞）、胶原纤维	结缔组织、部分弹性纤维，比中膜薄
微动脉	10~300μm	内皮、结缔组织、平滑肌	平滑肌（1~2层细胞）	薄，或有结缔组织覆盖

多层弹性膜组成的内弹性膜，并与中膜的弹性膜相连；②成人大动脉中膜有 40~70 层弹性膜，各层弹性膜由弹性纤维相连，弹性膜之间有环形平滑肌和少量胶原纤维和弹性纤维，中膜基质的主要成分为硫酸软骨素；③外膜较薄，由结缔组织构成，没有明显的外弹性膜。由于弹性动脉血管壁含有大量弹性蛋白，因而能承受并缓冲巨大的血压波动：当心脏射血时，它们随之扩张，发挥压力储存作用；当心脏舒张时，它们回弹迫使血液继续向前流动，而不会随心动周期突然流动或暂停。弹性动脉中虽然存在多量平滑肌，但它们并没有表现出明显的血管收缩效应，同时由于管腔大，血流受到的阻力较小，可将血液很快从心脏传导到下级动脉，因此也被称为传导动脉（conducting artery）。

（二）肌性动脉

除弹性动脉以外，大多数被命名的动脉都属于肌性动脉。肌性动脉负责将血液导入特定器官，因此又叫分布动脉（distributing artery），因为管径介于大动脉与小动脉之间，所以也称中动脉。肌性动脉内膜内皮下层较薄，内弹性膜明显；中膜较厚，由 10~40 层环形排列的平滑肌组成，肌间有一些弹性纤维和胶原纤维；外膜厚度与中膜相等，交界处有明显的外弹性膜。平滑肌纤维的舒缩可控制管径的大小，调节器官的血流量。

（三）小动脉

管径介于 1mm 至 0.3mm 之间的动脉称为小

动脉。小动脉包括粗细不等的几级分支，其管壁结构与肌性动脉相似，但各层均变薄，内弹性膜明显，中膜含数层平滑肌，外弹性膜不明显。平滑肌舒缩可使管径变小，增加血流阻力。

（四）微动脉

微动脉内径 0.3mm 至 10μm，是最小的动脉。管壁由内皮和 1~2 层平滑肌构成，外膜较薄。较小的微动脉与毛细血管床相连，结构也近似于后者。

由于小动脉和微动脉口径较小，且管壁又含有丰富的平滑肌，通过平滑肌的舒缩活动很容易使血管口径发生改变，从而改变血流的阻力。血液在血管系统中流动时所受到的总的阻力，大部分发生在小动脉，特别是微动脉，因此称它们为阻力血管。又因它们位于毛细血管之前，所以又叫毛细血管前阻力血管。正常血压的维持在一定程度上取决于外周血管即小动脉和微动脉对血流产生的阻力，即外周阻力。

二、静脉

与动脉相反，静脉是引导、输送血液返回心脏的管道。静脉的管壁较薄，弹性小，管腔大，血流速度较慢。安静时，静脉内容纳 60%~70% 的循环血量，故又叫容量血管。一些静脉管腔中有瓣膜，可以防止血液倒流。根据管腔的大小，可将静脉分为微静脉（venule）、小静脉、中静脉和大静脉（各类静脉的结构特点见表 1-2）^[1-2]。

表1-2 各类静脉的特征

静脉类型	直径	内膜	中膜	外膜
毛细血管 后微静脉	10 ~ 50 μ m	内皮、周细胞	无	无
微静脉	50 ~ 100 μ m	内皮、周细胞	平滑肌 (1 ~ 2层细胞)	结缔组织、部分弹性纤维, 比中膜厚
小静脉	0.1~1mm	内皮、结缔组织、平滑肌 (2 ~ 3层细胞)	平滑肌 (2 ~ 3层, 与内膜连续)	结缔组织、部分弹性纤维, 比中膜厚
中静脉	1~10mm	内皮、结缔组织、平滑肌、部分血管存在内弹性膜	平滑肌、胶原纤维	结缔组织、部分弹性纤维, 比中膜厚
大静脉	>1cm	内皮、结缔组织、平滑肌	平滑肌 (2 ~ 15层)、心肌 (邻近心脏血管)、胶原纤维	结缔组织、部分弹性纤维、纵向平滑肌, 明显比中膜厚

(一) 微静脉

微静脉直径 8 ~ 100 μ m, 由毛细血管聚合而成, 管腔不规则, 内皮外的平滑肌或有或无, 外膜薄。紧接毛细血管的微静脉称毛细血管后微静脉, 其管壁结构与毛细血管相似, 但管径略粗、内皮细胞间的间隙较大, 故通透性较大, 也有物质交换功能。

(二) 小静脉

管径一般在 100 μ m 以上, 内皮外渐有一层较完整的平滑肌。较大的小静脉的中膜有一至数层平滑肌, 外膜也逐渐变厚。

(三) 中静脉

除大静脉以外, 具有解剖学名称的都属于中静脉。中静脉管径 1 ~ 10mm, 内膜薄, 内弹性膜不明显。中膜比其伴行的中动脉薄得多, 环形平滑肌分布稀疏, 外膜一般比中膜厚, 没有外弹性膜, 由结缔组织组成。

(四) 大静脉

指管径大于 10mm 的静脉, 包括上腔静脉、下腔静脉、无名静脉和颈静脉等。管壁内膜较薄, 中膜很不发达, 为几层排列疏松的环形平滑肌, 有时甚至没有平滑肌。外膜则较厚, 结缔组织内常有较多的纵行平滑肌束。

静脉的功能是将身体各部的血液输送回心脏。静脉血回流的动力并不主要依靠管壁的收缩,

而是靠管道内的压力差。影响静脉压力差的因素有很多, 如心脏的收缩力、重力和体位、呼吸运动以及静脉周围的骨骼肌的收缩挤压作用等。

三、毛细血管

毛细血管管径平均为 6 ~ 9 μ m, 连于动、静脉之间, 互相连接成网状。其管壁主要由一层内皮细胞构成, 在内皮外面有一薄层结缔组织。毛细血管通透性大, 红细胞只能单行通过, 管内血流速度较慢, 这些特点有利于血液与组织之间充分进行物质交换。另外还常可见到一种扁而有突起的细胞贴在毛细血管的管壁外面, 称为周细胞。近来的研究报道, 周细胞参与调节微血管的通透性, 对维持血脑屏障尤其重要, 另外它还具有收缩功能、一定的吞噬功能和多向性干细胞的潜能等。根据内皮细胞和基膜等的结构特点, 毛细血管又分为连续毛细血管 (continuous capillary)、有孔毛细血管 (fenestrated capillary) 和血窦 (sinusoid) [1-2]。它们根据需要分布在不同的组织器官, 行使物质交换功能 (表 1-3)。

本章结语

本章就血管的结构、类型及其基本功能等做了简要的介绍。事实上, 血管不仅是运输血液的管道, 也是一种多功能的器官, 血管内稳态的相对平衡是维持机体正常生理功能的重要基础。血管内平衡失调往往并不只是累及某一器官, 而