



国家卫生健康委员会“十三五”规划教材
专科医师核心能力提升导引丛书

供超声医学专业临床型研究生及专科医师用

血管超声诊断学

主编 | 何文唐 杰

副主编 | 王健 邢英琦 李建初



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE





国家卫生健康委员会“十三五”规划教材

专科医师核心能力提升导引丛书

供超声医学专业临床型研究生及专科医师用

血管超声诊断学

主 编 何 文 唐 杰

副主编 王 健 邢英琦 李建初

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 健 山西医科大学第一医院

王建华 中国人民解放军总医院第七医学中心

冉海涛 重庆医科大学附属第二医院

邢英琦 吉林大学白求恩第一医院

任秀昀 中国人民解放军总医院第三医学中心

杜丽娟 首都医科大学附属北京天坛医院

李建初 北京协和医院

何 文 首都医科大学附属北京天坛医院

勇 强 首都医科大学附属北京安贞医院

唐 杰 中国人民解放军总医院

黄品同 浙江医科大学附属第一医院



人民卫生出版社

PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

血管超声诊断学 / 何文, 唐杰主编. —北京: 人民卫生出版社, 2018

ISBN 978-7-117-27500-2

I. ①血… II. ①何…②唐… III. ①心脏血管疾病—超声波诊断—研究生—教材 IV. ①R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 294372 号

人卫智网 www.ipmph.com 医学教育、学术、考试、健康,
购书智慧智能综合服务平台
人卫官网 www.pmph.com 人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

血管超声诊断学

主 编: 何 文 唐 杰

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 中农印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 12

字 数: 363 千字

版 次: 2019 年 3 月第 1 版 2019 年 6 月第 1 版第 2 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-27500-2

定 价: 108.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

主编简介



何文 主任医师,教授,博士生导师。首都医科大学超声医学系主任,首都医科大学附属北京天坛医院超声科主任,中国医师协会超声医师分会会长,中国医师协会住院医师规范化培训超声专业委员会主任委员,中华医学会北京超声专业委员会副主任委员,中华医学会超声医学分会委员,中国医学影像技术研究会副会长,中国医学影像技术研究会超声分会主任委员,《中国医学影像技术》杂志副主编,《中华超声影像学杂志》编委等。从事超声诊断和介入性超声三十余年,主要研究方向是介入性超声和血管超声,在血管超声、腹部超声检查和介入性超声领域经验丰富,开展的颅脑术中超声、血管超声造影和介入性超声处于领先水平。主持国家自然科学基金重点项目、面上项目3项,国家“十一五”科技攻关课题子课题1项,国家科技重大专项课题子课题1项、省部级科技攻关课题6项,获得省部级科技进步奖7项,发表学术论文100余篇,以第一作者或通讯作者发表SCI论文40余篇。培养博士后人才、博士、硕士研究生40名。主持制定了中国医师协会超声医师分会指南丛书;主编国家卫生健康委员会“十三五”研究生规划教材2部,主编著作5部,主译著作1部,副主编教材2部。



唐杰 主任医师、教授、博士生导师,中国人民解放军总医院第一医学中心超声诊断科名誉主任。现任中国人民解放军超声医学专业委员会主任委员、中国医师协会超声医师分会前任会长、中国医疗保健国际交流促进会超声医学分会前主任委员、中华医学会超声医学分会常委、中国医学影像技术研究会副会长、北京超声医学学会名誉理事长、《中华超声医学杂志》(电子版)总编等。

从事超声医学工作三十年,培养硕士和博士研究生40余名、博士后4名。在前列腺疾病及其介入性超声诊断、腹部实质性脏器创伤的超声诊断和微创治疗领域里进行了深入研究;在推动我国彩色多普勒超声应用于周围血管检查方面做出了积极贡献。以第一负责人承担课题19项,其中包括国家自然科学基金7项、军队“十一五”专项和科技攻关项目各1项。荣获军队科技进步一等奖、军队医疗成果二等奖各1项。发表论文300余篇,其中以第一或通讯作者发表SCI论文57篇。获国家发明专利2项、实用新型专利1项。主编专著和教材6部、中国医师协会超声医师分会指南4部。曾获国务院政府特殊津贴、中央保健工作先进个人称号和全军保健先进个人、中国医师奖、原总后勤部科技银星和优秀教师。

副主编简介



王健 教授、主任医师，博士生导师，留学美国，山西医科大学第一医院超声科副主任。第一、二届中国医师学会超声医师分会委员会全国委员。中国医师协会超声医师分会学组委员，中华医学会超声医学分会学组委员；山西省医学会超声专业委员会常委，山西省医师协会超声医师分会副会长等。任《中华超声影像学杂志》通讯编委，《中华医学超声杂志》(电子版)和《中华医学乳腺杂志》(电子版)编委。

从事超声教学工作 28 年，获首届全国微课教学大赛国家级优秀奖，山西省一等奖。主要研究方向为心脏、血管、浅表器官。获山西省科技进步二等奖 3 项，承担省部级课题 11 项，参与国家自然科学基金 2 项及美国国立卫生研究院基金 2 项；发表 SCI 论文 6 篇，中华级论文 30 余篇；出版著作 5 部，独立著作 1 部，发明国家级专利 1 项。



邢英琦 主任医师，博士生导师，吉林大学白求恩第一医院神经内科副主任，中国超声医学工程学会颅脑与颈部动脉超声专委会副主任委员，中国医师协会神经内科神经超声专委会副主任委员。

主编《颅脑与颈动脉超声诊断模板与图谱》，主译《无创性血管诊断学治疗实用指南》《神经超声指南》。发表血管超声相关论文 130 余篇，其中 SCI 论文 40 余篇。主持包括国家自然科学基金、教育部博士点基金课题等 50 余项。主持开发的“智慧型发泡试验软件”已获国家发明专利，在全国 300 多家医院应用。2014 年荣获国家卫生和计划生育委员会授予的“培训基地优秀专家”，2018 年获得中国医师协会“康缘杯·中国杰出神经内科青年医师奖”。



李建初 北京协和医院超声医学科主任、教授、博士研究生导师。现任中华医学会超声医学分会委员兼秘书长、中国医师协会超声医师分会浅表器官专委会主任委员、北京医学会超声医学分会候任主任委员兼秘书长、北京市超声医学质控中心主任等。任多家杂志编委。2001 年美国纽约大学医学院蒙萨拉医院访问学者。

发表专业论文 80 余篇。主编专著 4 部，参与撰写 10 余部。主持国家级和北京市基金课题 6 项，获省部级科学技术进步奖 5 项。

出版说明

为了进一步贯彻《国务院办公厅关于深化医教协同进一步推进医学教育改革与发展的意见》(国办发〔2017〕63号)的文件精神,推动新时期创新型人才培养,人民卫生出版社在全面分析其他专业研究生教材、系统调研超声医学专业研究生及专科医师核心需求的基础上,及时组织编写全国第一套超声医学专业研究生规划教材暨专科医师核心能力提升导引丛书。

全套教材共包括9种,全面覆盖了超声医学专业各学科领域。来自全国知名院校的200多位超声医学的专家以“解决读者临床中实际遇到的问题”为立足点,以“回顾、现状、展望”为线索,以培养和启发读者创新思维为编写原则,对超声医学在临床应用的历史变迁进行了点评,对当前诊疗中的困惑、局限与不足进行了剖析,对相应领域的研究热点及发展趋势进行深入探讨。

该套教材适用于超声医学专业临床型研究生及专科医师。

全国高等学校超声医学专业研究生规划教材 评审委员会名单

顾 问

张 运

主任委员

王新房 陈敏华 姜玉新

副主任委员

王金锐 何 文 谢明星 梁 萍

委 员 (以姓氏笔画为序)

田家玮 吕国荣 朱 强 朱家安 任芸芸 李 杰

邱 邈 周 翔 姚克纯 夏 焙 柴艳芬 唐 杰

黄国英 董晓秋

前 言

血管超声作为超声医学的一个亚专业,近年来越来越受到临床医师的重视,超声临床诊疗水平也有了显著进步,已成为超声学科发展方向之一,也是研究生及专科医师业务学习的主要内容之一,因此加强规范化血管超声检查尤为重要。

《血管超声诊断学》目标读者定位于医学影像(超声医学)专业的临床硕士和专科医师。本教材的编写目的是培养临床型研究生和专科医师的基础知识、临床技能和创新思维,培养其独立思考能力、创新思维能力、解决问题能力,注重实用性、规范性、启发性和创新性,也涉及目前存在的问题或局限性、将来的发展方向等。教材遵循“三基”“五性”“三特定”原则,结合其他影像学检查,充分阐述超声成像的局限性与影响诊断结果的各种临床因素,并对血管超声检查的临床应用进展与展望作针对性介绍,让读者对超声应用的优势与不足有正确认识。希望本教材能够为研究生及专科医师提供正确的血管超声工作方法,使他们能通过学习基本掌握常见疾病的超声诊断和鉴别诊断,不断了解血管超声新进展。

本书的编写得到了多方支持和帮助,各位参编作者对本书倾注了极大的心血,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,且血管超声发展相对较快,本书难免有不当之处,欢迎超声界专家和读者批评指正。

何文 唐杰

2019年1月于北京

全国高等学校超声医学专业研究生规划教材

目 录

1	超声医学基础	主 编 姚克纯 副主编 杨金耀 章新友 陈 武
2	浅表器官超声诊断学	主 编 朱 强 李 杰 副主编 夏 宇 徐辉雄 陈路增
3	心脏超声诊断学	主 编 谢明星 田家玮 副主编 任卫东 王 浩 袁建军 穆玉明
4	血管超声诊断学	主 编 何 文 唐 杰 副主编 王 健 邢英琦 李建初
5	腹部超声诊断学	主 编 王金锐 周 翔 副主编 孙洪军 郑荣琴 杨 斌 王学梅
6	肌骨超声诊断学	主 编 朱家安 邱 迺 副主编 郭瑞君 崔立刚
7	妇产科超声诊断学	主 编 任芸芸 董晓秋 副主编 戴 晴 罗 红 杨 敏
8	儿科超声诊断学	主 编 黄国英 夏 焙 副主编 姜忠强 马 宁 叶菁菁 陈亚青
9	急重症超声诊断学	主 编 吕国荣 柴艳芬 副主编 周苏晋 袁丽君

目 录

第一章 血管超声诊断基础 1	第二章 颅脑血管超声检查 25
第一节 血管组织学及其生理、病理学 1	第一节 解剖概要..... 25
一、正常血管组织学及生理学 1	第二节 经颅彩色多普勒超声..... 25
二、血管组织病理学 2	一、TCCD 检查技术..... 25
第二节 相关生物力学基础原理..... 4	二、TCCD 对颅内动脉疾病的诊断 27
一、血管超生物流体力学 4	第三节 经颅多普勒..... 32
二、血管超生物固体力学 6	一、检查方法 33
三、展望 8	二、TCD 常用试验的方法、意义和注意事项... 35
第三节 血管多普勒超声诊断基础..... 8	第四节 超声技术在颅脑血管疾病诊断 与鉴别诊断中的应用..... 36
一、多普勒超声原理 8	一、超声造影在颅脑血管疾病诊断与鉴别 诊断中的应用 36
二、频谱多普勒血流成像..... 9	二、三维超声在颅脑血管疾病诊断与鉴别 诊断中的应用 37
三、彩色多普勒成像 12	三、术中超声在颅脑血管疾病诊断与鉴别 诊断中的应用 37
四、血流能量图 13	第五节 颅脑血管超声的回顾与展望..... 38
五、不同血流状态分类及特点 13	一、TCCD 的研究热点、难点及展望..... 38
第四节 超声仪器探头的选择及设备调试... 15	二、TCD 的研究热点、难点及展望 40
一、探头选择 15	第三章 颈部血管超声检查 41
二、设备调试 15	第一节 超声检查技术..... 41
三、总结 18	一、颈部血管超声应用解剖与生理学概要 ... 41
第五节 超声诊断新技术..... 19	二、超声检查方法与技巧..... 41
一、超声造影 19	三、超声检查适应证 42
二、弹性成像 20	四、颈部血管超声正常声像图 42
三、三维超声技术 21	第二节 颈部动脉常见疾病诊断..... 45
四、血管回声跟踪技术 21	一、颈动脉粥样硬化性狭窄及闭塞 45
五、微血管成像技术(SMI) 21	二、颈动脉斑块稳定性评估 46
第六节 血管超声常见伪像..... 22	三、椎动脉狭窄及闭塞性疾病 48
一、混叠伪像 22	四、锁骨下动脉狭窄及闭塞 49
二、镜面伪像 22	五、主动脉弓病变 50
三、角度依赖伪像 23	六、多发性大动脉炎 52
四、衰减伪像 23	
五、闪烁伪像 23	
六、快闪伪像 23	
七、仪器调置不当伪像 23	
第七节 血管超声诊断的局限性..... 23	

七、颈动脉瘤	54	一、超声监测	120
八、颈动脉体瘤	55	二、超声表现	121
九、颈动脉夹层	57	三、检查中注意事项	123
十、颈动静脉瘘	59	第六节 回顾与展望	124
十一、放疗后血管损伤	61		
第三节 颈部静脉血栓性疾病	61	第五章 四肢血管超声检查	126
一、形成原因及临床表现	61	第一节 超声检查技术	126
二、超声表现	61	一、超声应用解剖与生理学概要	126
三、鉴别诊断	63	二、超声检查方法与技巧	130
四、临床价值	63	三、超声检查适应证	132
第四节 超声技术在颈部血管疾病诊断 及鉴别诊断中的应用	64	四、正常声像图	132
一、超声造影及超微血管成像在颈部血管 疾病诊断及鉴别诊断中的应用	64	第二节 四肢动脉常见疾病诊断	138
二、三维超声在颈部血管疾病诊断及鉴别 诊断中的应用	64	一、先天性变异	138
第五节 颈部血管病变手术及介入治疗 后超声监测	65	二、狭窄性和闭塞性疾病	138
第六节 回顾与展望	65	三、动脉瘤	139
		四、动脉夹层	140
		五、动脉栓塞	141
		六、动静脉瘘	142
		七、血栓闭塞性脉管炎	143
		八、胸廓出口综合征	144
		九、其他疾病	145
第四章 腹部与盆腔血管超声检查	67	第三节 四肢静脉常见疾病诊断	145
第一节 超声检查技术	67	一、静脉血栓性疾病	145
一、超声应用解剖与生理学概要	67	二、人工动静脉瘘	148
二、超声检查方法与技巧	68	三、下肢静脉血栓	153
三、超声检查适应证	69	四、下肢静脉瓣膜功能不全	155
四、正常声像图	69	五、K-T 综合征	158
第二节 常见腹部、盆腔动脉疾病诊断	72	第四节 四肢血管病变围手术期超声 监测及疗效评估	159
一、先天性变异	72	第五节 回顾与展望	160
二、动脉狭窄性和闭塞性疾病	73	一、血管三维超声成像	160
三、动脉瘤	83	二、血管超声弹性成像	161
四、动脉夹层	87	三、血管超声造影	161
五、腹部血管动静脉瘘	89	四、分子靶向超声造影	161
六、腹部器官移植术后血管并发症	91		
七、腹膜后纤维化	105	第六章 介入性超声在血管病中的应用	163
八、肿瘤侵犯血管	105	第一节 假性动脉瘤介入治疗	163
第三节 常见腹部、盆腔静脉疾病诊断	106	第二节 大隐静脉曲张硬化、消融治疗	164
一、门静脉高压	106	一、大隐静脉曲张硬化治疗	164
二、下腔静脉及其属支疾病	110	二、大隐静脉曲张消融治疗	165
三、盆腔静脉疾病	114	三、大隐静脉曲张射频微波治疗	165
第四节 超声技术在腹部血管疾病诊断 与鉴别诊断中的应用	118	四、彩色多普勒超声检查在大隐静脉曲张 硬化、消融治疗中的应用	166
第五节 腹部血管病变围手术期超声 监测及疗效评估	120		

第七章 展望 167	六、血流向量超声成像技术 169
一、超声造影对斑块的评价 167	七、三维能量多普勒技术..... 169
二、超微血管成像技术 167	八、微泡载分子靶向造影溶栓治疗 169
三、射频超声技术 167	九、血管内光声-超声融合成像 170
四、实时剪切波弹性成像技术 167	中英文名词对照索引 171
五、血管增强成像技术 168	

第一章 血管超声诊断基础

第一节 血管组织学及其生理、病理学

一、正常血管组织学及生理学

(一) 血管壁的一般结构

1. 动脉 动脉包括大动脉、中动脉、小动脉和微动脉,管壁从内向外均可分为内膜、中膜和外膜三层。随着管腔逐渐变细,管壁各层也发生厚度、结构和组织成分的变化,以中膜变化最明显。目前,血管超声诊断上主要以大动脉和中动脉为主。

(1) 大动脉:包括主动脉、肺动脉、无名动脉、颈总动脉、锁骨下动脉、椎动脉、髂总动脉等。大动脉管壁的中膜有多层弹性膜和大量弹性纤维,平滑肌纤维则较少,故又称弹性动脉。其管壁的结构如下。

1) 内膜:由内皮和内皮下层构成,内皮下层较厚,内皮下层之外为多层弹性膜组成的内弹性膜,由于内弹性膜与中膜的弹性膜相连,故内膜与中膜的分界不清楚。

2) 中膜:很厚,成人大动脉有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。外膜逐渐移行为周围的疏松结缔组织。外膜含营养血管,分布到外膜和中膜;内膜一般无血管分布,其营养由大动脉管腔内血液渗透供给。

(2) 中动脉:除了大动脉外,凡在解剖学中有名称的动脉多为中动脉,管径一般大于1mm。中动脉管壁的平滑肌纤维非常丰富,又名肌性动脉。

1) 内膜:内皮下层较薄,在与中膜交界处有1~2层内弹性膜。

2) 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。

3) 外膜:厚度与中膜相近,由疏松结缔组织构成,除含营养血管外,还含较多的神经纤维,它们

伸入中膜平滑肌,调节血管舒缩。较大中动脉的中膜和外膜交界处有明显的外弹性膜。

2. 静脉 静脉由小至大逐级汇合,管径渐增粗,管壁也渐增厚。中静脉及小静脉常与相应的动脉伴行。静脉的数量比动脉多,管径较粗,管腔较大,容量较大。与伴行的动脉相比,静脉管壁薄而柔软,弹性也小,切片标本中的静脉管壁常呈塌陷状,管腔变扁或呈不规则形。

静脉也根据管径的大小分为大静脉、中静脉、小静脉和微静脉。但静脉管壁结构的变异比动脉大,甚至一条静脉的各段也常有较大的差别。静脉管壁大致也可分内膜、中膜和外膜三层,三层膜常无明显的界限。静脉壁的平滑肌和弹性组织不及动脉丰富,结缔组织成分较多。

(1) 大静脉:上腔静脉、下腔静脉、无名静脉和颈静脉等都属于此类,管径在10mm以上,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。

(2) 中静脉:除大静脉以外,凡有解剖学名称的静脉都属中静脉。中静脉管径一般为2~9mm,内膜薄,中膜比其相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,有的中静脉外膜可有纵行平滑肌束。

(3) 静脉瓣:管径2mm以上的静脉常有瓣膜。瓣膜为两个半月形薄片,彼此相对,根部与内膜相连,其游离缘朝向血流方向。瓣膜由内膜凸入管腔折叠而成,中心为含弹性纤维的结缔组织,表面覆以内皮,其作用是防止血液逆流。

静脉的功能是将身体各部的血液导回心脏。静脉血回流的动力主要不是依靠管壁本身的收缩,而是靠管道内的压力差。影响静脉压力差的因素很多,如心脏的收缩力、重力和体位、呼吸运动以及静脉周围的肌组织收缩挤压作用等。

(二) 各类血管的功能特点

按照生理功能的不同可将血管分为以下几类:

1. 弹性贮器血管 指主动脉、肺动脉主干及其发出的最大分支。这些血管的管壁厚,壁内含有丰富的弹性纤维,有较大的顺应性和弹性。当心室射血时,大动脉血压升高,一方面推动大动脉内的血液向前流动,使一部分血液进入毛细血管和静脉;另一方面使动脉被动扩张,以便另一部分血液暂时储存,缓冲收缩压过高;当心室舒张时,被扩张的大动脉发生弹性回缩,将射血期贮存的这部分血液在舒张期继续推向四周血管,同时维持一定的舒张压。大动脉的这种功能称为弹性贮器作用,它可以使心脏的间断射血变为血管系统中连续的血流,并减小每个心动周期中动脉血压的波动幅度。

2. 分配血管 指中动脉,从弹性贮器血管以后到分支为小动脉前的动脉管道,其管壁主要由平滑肌组成,收缩性较强。其功能是将血液输送至各器官组织。

3. 阻力血管

(1) 毛细血管前阻力血管:小动脉(直径 $\leq 1\text{mm}$)和微动脉(直径 $20\sim 30\mu\text{m}$)的管径小,长度长,对血流阻力大,管壁富有平滑肌,后者的舒缩活动可使局部血管的口径和血流阻力发生明显的变化,从而影响所在器官、组织的血流量。小动脉和微动脉对血流的阻力约占总外周阻力的47%。

(2) 毛细血管前括约肌:在真毛细血管的起始部常有平滑肌环绕,它的收缩和舒张控制了其后真毛细血管的关闭和开放,同时也决定血液和组织液进行物质交换的面积。

(3) 微静脉:由于管径小,对血流也可产生一定的阻力。它们的舒缩可影响毛细血管前、后阻力的比值,从而改变毛细血管压和体液在血管内外的分配。

4. 交换血管 指真毛细血管,其管壁由单层内皮细胞和基膜组成,通透性高,且血流速度最慢,是血液和组织液之间进行物质交换的场所。

5. 容量血管 微静脉以后到大静脉的整个静脉系统。与同级动脉相比,其数量多、管径大、管壁薄且易扩张。在安静状态下,静脉系统容纳了整个循环血量的60%~70%,起了贮血库的作用。

6. 短路血管 指一些血管床中小动脉和小静脉之间的吻合支,它们可使小动脉内的血液不经过毛细血管而直接流入小静脉。多见于手指、足趾、耳廓等处的皮肤,与体温调节有关。

(三) 血流动力学基本概念及其生理意义

血液在心血管系统内流动的流体力学称为血流动力学,其研究的基本问题是血流量、血流阻力

和血压之间的相互关系。由于血液是含有血细胞和胶体物质等多种成分的液体,血管是有可扩张性和弹性的管道,因此血流动力学除了符合一般流体力学的规律外,还有其自身的特点。下面就几个重要的血流动力学基本概念及其生理意义简单介绍。

1. 层流和湍流 血液在血管内的流动方式可以分为层流和湍流两种。层流是一种规则运动,在层流的情况下,液体每个质点的流动方向一致,与管道长轴平行,但各质点的流速不同,在管道轴心处流速最快,压强最低,从轴心到管壁,流速依次减慢,越近管壁的轴层流速越慢,这种流动方式称为层流。层流状态下,血细胞受速度和压强的梯度的影响有向轴心移动的趋势,利于减少红细胞在流动中的损伤。

然而,当血流速度加速到一定程度之后,层流情况即被破坏,此时血液中各个质点的流动方向不再一致,出现漩涡,称为湍流。正常情况下,心室内存在湍流,一般认为这有利于血液的充分混合。

2. 血流量和血流速度 血流量指在单位时间内流经血管某一截面的血量,也称为容积速度。通常表示为 ml/min 或 L/min 。血流量与血管两端的压力差成正比,与血管对血流的阻力成反比。

血流速度指血液中一个质点在管内移动的线速度,通常以 cm/s 或 m/s 表示。当血液在血管内流动时,血流速度与血流量成正比,而与血管的横截面积成反比。

3. 血流阻力 血流阻力指血液在血管内流动时所遇到的阻力,其产生的原因是血液流动时发生摩擦。因此血液流动时的能量逐渐消耗,促使血液流动的压力逐渐降低。湍流时,血液在血管中的流动方向不一致,阻力更大,故消耗的能量更多。层流状态下,血流阻力可按式1-1-1计算得出:

$$R = 8\eta L / \pi r^4 \quad (\text{式 } 1-1-1)$$

R (血流阻力)与血管长度(L)和血液黏滞度(η)成正比,与血管半径(r)的4次方成反比。由于在同一血管床内, L 与 η 短时间内不可能发生明显变化,故影响血流阻力最主要因素为血管半径。

二、血管组织病理学

(一) 动脉粥样硬化

动脉粥样硬化是以血管内膜形成粥样或纤维斑块为特征的最常见的心血管系统疾病,主要累及大动脉和中动脉,使动脉管壁变硬,管腔狭窄,中膜弹性减弱,并可导致严重并发症,包括缺血性心脏病、心肌梗死、脑卒中和四肢坏疽等,多见于中老年人。

1. 病理变化 动脉粥样硬化的基本病变是动脉内膜形成粥样斑块,主要有3种成分:①细胞,包括平滑肌细胞、巨噬细胞和T淋巴细胞;②细胞外基质,包括胶原、弹性纤维和蛋白多糖;③细胞内和细胞外脂质。这3种成分的含量和分布随斑块的变化有所不同。典型病变的发生、发展经过4个阶段。

(1) 脂纹:动脉粥样硬化的早期病变,为点状或条纹状黄色不隆起或微隆起于内膜的病灶,常见于主动脉后壁及其分支开口处。脂纹最早可出现在儿童期,并非都发展为纤维斑块,是一种可逆性病变。

(2) 纤维斑块:由脂纹发展而来。内膜面散在不规则表面隆起斑块,颜色从浅黄或灰黄色变为瓷白色。

(3) 粥样斑块:亦称粥瘤,为动脉粥样硬化的典型病变。由纤维斑块深层细胞坏死发展而来。内膜面可见灰黄色斑块既向内膜表面隆起又向深部压迫中膜。

(4) 继发性改变:是指纤维斑块和粥样斑块的基础上继发的病变。

1) 斑块内出血:斑块内新生的血管破裂形成血肿,血肿使斑块进一步隆起,甚至完全闭塞管腔,导致急性供血中断。

2) 斑块破裂:斑块表面的纤维帽破裂,粥样物自裂口溢入血流,遗留粥样样溃疡。排入血流的坏死物质和脂质可形成胆固醇栓子,引起栓塞。

3) 血栓形成:斑块破裂形成溃疡后,由于胶原暴露,可促进血栓形成,引起动脉管腔阻塞,进而引起器官梗死。

4) 钙化:在纤维帽和粥样病灶内可见钙盐沉积,导致管壁变硬、变脆。

5) 动脉瘤形成:严重的粥样斑块底部的中膜平滑肌可发生不同程度的萎缩和弹性下降,在血管内压力的作用下,动脉壁局限性扩张,形成动脉瘤。动脉瘤破裂可致大出血。

6) 血管腔狭窄:弹力肌层动脉(中等动脉)可因粥样斑块而导致管腔狭窄,引起所供应区域的血量减少,导致相应器官发生缺血性病变。

2. 常见动脉的动脉粥样硬化

(1) 主动脉粥样硬化:病变多发生于主动脉后壁及其分支开口处。发生在腹主动脉的病变最严重,其次是胸主动脉和主动脉弓,再次是升主动脉。可以引起粥样性溃疡并发生附壁血栓,也可形成主动脉瘤。主动脉瘤主要见于腹主动脉,破裂

后,可导致致命性大出血。

(2) 冠状动脉粥样硬化:是冠状动脉病中最常见的疾病。冠状动脉粥样硬化常伴发冠状动脉痉挛,后者可使原有的管腔狭窄程度加剧,甚至导致供血的中断,引起心肌缺血及相应的心脏病变(如心绞痛、心肌梗死等),并可导致心源性猝死。

(3) 颈动脉及脑动脉粥样硬化:病变最常见于颈内动脉起始部、基底动脉、大脑中动脉和 Willis 环。纤维斑块和粥样斑块常导致管腔狭窄,并可因血栓形成等继发改变加重狭窄甚至闭塞。长期供血不足可导致脑萎缩;急速供血中断可致脑梗死(脑软化);小的动脉瘤破裂可引起致命性脑出血,动脉瘤多见于 Willis 环。

(4) 肾动脉粥样硬化:病变最常累及肾动脉开口处或其主干近侧端。常引起顽固性肾血管性高血压;亦可因斑块合并血栓形成导致肾组织梗死,梗死机化后肾收缩形成动脉粥样硬化性固缩肾。

(5) 四肢动脉粥样硬化:四肢动脉粥样硬化的病变以下肢为重。当较大动脉管腔明显狭窄时,可因供血不足导致间歇性跛行。当管腔完全闭塞而不能建立侧支循环时,可引起足趾部干性坏疽。

(6) 肠系膜动脉粥样硬化:肠系膜动脉因粥样斑块而狭窄甚至闭塞时,可引起肠梗死,患者有剧烈腹痛、腹胀、发热,还可有便血、麻痹性肠梗阻及休克等症状。

(二) 血栓

在活体心脏和血管内,血液发生凝固或血液中某些有形成分凝集形成固体质块的过程,称为血栓形成。所形成的固体质块称为血栓。

1. 血栓形成的条件 血栓形成是血液在流动状态下由于血小板的活化和凝血因子被激活致血液发生凝固。目前公认血栓形成的条件由魏尔啸(Virchow)提出的三个条件:血管内皮细胞的损伤、血流状态的改变、血液凝固性的增加,具体机制本节不加赘述。

2. 血栓类型及形态 血栓可发生于循环系统任何部位,动脉内血栓通常发生在内皮损伤或血流产生旋涡(如血管分叉处)的部位;静脉血栓主要发生于血流缓慢的部位。血栓按照其形成过程大概可分为以下几类。

(1) 白色血栓:发生于血流较快的部位(如动脉、心室)或血栓形成时血流较快的时期(如静脉混合性血栓的起始部,即延续性血栓的头部)。镜下,白色血栓主要由许多聚集呈珊瑚状的血小板小梁构成,其表面有许多中性粒细胞黏附,形成白细

胞边层,推测是由于纤维素崩解产物的趋化作用吸引而来。血小板小梁之间由于被激活的凝血因子的作用而形成网状的纤维素,其网眼内含有少量红细胞。肉眼观呈灰白色,表面粗糙有波纹,质硬,与血管壁紧连。

(2) 混合血栓: 静脉的延续性血栓的主要部分(体部),呈红色与白色条纹层层相间,即是混合性血栓。其形成过程是:以血小板小梁为主的血栓不断增长以致其下游血流形成漩涡,从而再生成一个以血小板为主的血栓,在两者之间的血液发生凝固,成为以红细胞为主的血栓。如是交替进行,则形成混合性血栓。在二尖瓣狭窄和心房纤颤时,在左心房可形成球形血栓;这种血栓和动脉瘤内的血栓均可见到灰白色和红褐色交替的层状结构,称为层状血栓,也是混合性血栓。

(3) 红色血栓: 发生在血流极度缓慢或停止之后,其形成过程与血管外凝血过程相同。因此,红色血栓见于混合血栓逐渐增大阻塞管腔,局部血流停止后,往往构成延续性血栓的尾部。镜下,在纤维素网眼内充满如正常血液分布的血细胞。肉眼观呈暗红色。新鲜的红色血栓湿润,有一定的弹性,陈旧的红色血栓由于水分被吸收,变得干燥、易碎,失去弹性,并易于脱落造成栓塞。

(4) 透明血栓: 这种血栓发生于微循环小血管内,只能在显微镜下见到,故又称微血栓,主要由纤维素构成,见于弥散性血管内凝血。

3. 血栓结局

(1) 软化、溶解和吸收: 小而新鲜的血栓可被快速完全溶解和吸收;大的血栓仅被部分溶解而软化,易受血流冲击形成碎片或脱落形成栓子。

(2) 机化与再通: 血栓形成后,从血管壁向血栓内长入内皮细胞和成纤维细胞,形成肉芽组织并逐渐取代血栓,这一过程为血栓机化。在血栓机化的过程中,由于水分被吸收,血栓干燥收缩或部分溶解而出现裂隙,周围新生的内皮细胞长入并被覆于裂隙表面形成新的血管,相互吻合沟通,使被阻塞的部分血管重建血流,这一过程称为再通。

(3) 钙化: 血栓形成后,既未被溶解吸收,又未被完全机化时,可发生钙盐沉积。静脉中的血栓钙化后称静脉石。

4. 血栓对机体的影响 血栓的形成能对破裂的血管起堵塞破裂口的作用,阻止出血,这是对机体有利的一面,如胃十二指肠慢性溃疡的底部和肺结核性空洞壁,其血管往往在病变侵蚀时已形成血栓,避免了大出血的可能性。然而,在多数情况

下,血栓造成的血管管腔阻塞和其他影响却对机体有不同程度的损害,这主要取决于血栓形成的部位、大小、类型和阻塞血管腔的程度以及有无侧支循环的建立。

第二节 相关生物力学基础原理

生物力学(biomechanics)是指采用力学和数学方法定量研究生物体力学问题的学科,将力学与生物学、医学结合应用到生物体的研究领域。生物力学的基础是能量守恒、动量定律、质量守恒三定律及描写物性的本构方程。依据研究对象的不同分为生物流体力学、生物固体力学和运动生物力学。血管力学特性主要取决于胶原纤维、弹性纤维和平滑肌的性质、含量及空间构型。超声影像学不仅能诊断各类血管疾病,也能用于测定血管壁应力、杨氏模量、血流速度、涡流、血管弹性力学参数、脉搏波传导速度、血管内皮功能等;它不仅用于临床评估疾病,还可以在医学实验室中测量实验动物及离体血管标本的力学数据。超声影像学作为获取血管力学参数的重要途径之一,以实时二维、三维超声为血管的几何学测量工具,以多普勒超声为血流测量手段,为建立血管的生物力学数学模型提供数据的学科,称为血管超声生物力学(vascular ultrasonic biomechanics)。

一、血管超声生物流体力学

血管超声生物流体力学是应用超声影像学研究血管系统的流体力学,用力学的理论和方法解释和分析生物体所呈现的各类生理现象,阐明血液流动的基本规律及某些血管疾病对血液流动的可能影响,以便为血管疾病的诊断和防治提供帮助。

(一) 连续性方程

质量守恒定律是自然科学的一个普遍规律,这一规律在流体动力学中的应用就是连续性方程。如果流管内有稳定流动的理想流体,任意取两个与管轴垂直的截面 S_1 和 S_2 ,设通过这两个截面的液流流速分别为 v_1 和 v_2 ,由于理想流体不可压缩,同一时间里流过这两截面的液体量即流量应相等,此为液流连续性原理,可用式1-2-1表示:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (\text{式 } 1-2-1)$$

它表示在相同时间里通过流管任意横截面的流量相等或液体的流速与流管的截面积成反比。根据这一原理,当血流流经不同直径的血管时,由于流量不变,血管截面积缩小必然使流速增大;相