

## 第 6 版原著主编简介



John S. Pellerito, MD, FACR, FSRU, FAIUM: 美国霍夫斯特拉大学医学院 (Hofstra North Shore-LIJ) 放射学副教授, 美国纽约曼哈塞特北岸大学医院 (North Shore University Hospital) 策略规划和技术部副主席, 北岸大学医院放射科的超声、CT 和 MRI 分部主任, 周围血管实验室主任, 人体影像学培训项目主任。同时也是许多专著篇章、网络讲座和 DVD 项目的作者。目前的研究领域主要是针对血管和肿瘤疾病诊断的新影像技术及其应用。曾多次在国内外讲学, 备受称赞, 并对多个医师继续教育 (CME) 项目做出贡献。Pellerito 博士是多家杂志的编委以及美国放射委员会 (ABR) 考官。他是协会间血管实验室认证委员会和美国超声医学学会的委员会成员, 也是美国放射学会会员 (FACR)、美国从事超声的放射医师协会会员 (FSRU) 和美国超声医学学会会员 (FAIUM)。他和妻子 Elizabeth 有三个孩子, 分别是 John, Alana 和 Daniel。

Joseph F. Polak, MD, MPH: 美国塔夫茨 (Tufts) 大学医学院放射学教授, 塔夫茨医学中心的超声阅片中心主任, 也是波士顿麻省莱缪尔夏塔克 (Lemuel Shattuck) 医院放射科主任。毕业于麦基 (McGill) 大学医学院, 在哈佛公共卫生学院获得公共卫生硕士学位 (MPH)。合著了 250 多篇同行评审文章和 80 多篇非同行评审文章和章节。他是放射学杂志 (*Radiology*)、神经影像学杂志 (*the Journal of Neuroimaging*)、血管超声杂志 (*the Journal of Vascular Ultrasound*) 及超声医学杂志 (*the Journal of Ultrasound in Medicine*) 的编委。协会间血管实验室认证委员会的前主席。研究领域包括介入放射、血管无创影像、建立探查和监测早期动脉粥样硬化的生物标志物。作为主要研究者, 参与了两项利用颈动脉内中膜厚度研究动脉粥样硬化进展的 RO-1 基金项目, 以及作为合作研究者, 参与了多项其他美国国立卫生研究院 (NIH) 基金项目。



## 第 6 版译者前言

2008 年, *Introduction to Vascular Ultrasonography* 第 5 版成功翻译出版, 推动了我国血管超声发展。时光飞逝, 本书第 6 版已于 2012 年在美国正式面世。我有幸拿到国内第一本第 6 版原著, 并在第一时间阅览了本书。第 6 版教程出现了不少变化。首先是本书的主编, 第 5 版时, 由本书的创始主编 Zwiebel 教授邀请 John S. Pellerito 教授共同主编完成。第 6 版时 Zwiebel 教授退休, 由 John S. Pellerito 教授和 Joseph F. Polak 教授共同主编。新主编带来新视野、新角度, 全书由 35 章增至 37 章, 有 14 章为全新章节, 其余章节均做了更新, 内容安排收放有序、兼容并蓄。这本最新版国际经典教材收纳了血管超声最新进展, 作者将各种理论技术和临床实践娓娓道来, 并采用将背景、思路和心得融合于一体的独特写作手法, 令人折服, 此书可谓血管超声百科全书, 是一本难得的好教材。

与 5 年前拿到第 5 版教程时的忐忑心情相比, 此刻心中更多的是责任感, 和尽快将这本高水准的经典血管教程呈现给国内同行的使命感。但是, 经历了第 5 版的翻译工作, 我也深知此次翻译工作的沉重与挑战。做到原汁原味反映本书原貌又符合汉语表达习惯, 同时准确解读新增加的理论、技术, 是我们始终如一的追求目标。

决定翻译此书时正值本人在解放军总医院海南分院超声科工作之际, 所以本书的译者多为分院超声科工作人员, 翻译英文原版著作对科室年轻医师来说是平生第一次。回顾这段翻译历程, 既有艰辛与汗水, 又有成就与喜悦, 年轻医师翻译后我们审校, 再让他们查误、互审, 翻译过程成为教学过程, 喜见年轻医师血管超声水平上了一个台阶, 也是翻译本书的一个意外收获。本书翻译工作邀请了澳大利亚童一砂教授共同主译, 唐杰教授审校, 诸位译者付出辛勤汗水, 海南分院超声科全体录入人员也在翻译过程中做了很多工作, 在此对他们的参与、支持和帮助表示衷心的感谢! 1 年多的辛勤付出, 迎来欢喜, 本书即将出版, 希望它能为我国血管超声发展发挥应有作用。

诚然, 本书的翻译必有不足之处, 尚望诸位读者批评指正。

解放军总医院第一附属医院 温朝阳

2014 年 5 月于北京

## 第 6 版原著前言

《血管超声经典教程》(第 6 版)对我们以往的版本进行了重要的更新。首先,我要欢迎新合作主编 Joseph F.Polak 加入到本版。我和 Jo 曾在许多项目和会议有着多年的合作,尤其是我们将要迎来 20 周年的 Current Practice of Vascular Ultrasound 项目。我们曾都出版过血管方面的书籍,我们决定进行此次合作,以期创作一部权威性血管超声教科书。我们非常愉快地发现这次合作产生的内容丰富的巨著超过了我们的预期。在业界权威专家的帮助下,我们增加了一些着重于血管超声发展的新章节,并且更新了以往的章节。我们相信,这本血管超声领域最畅销的教科书有了显著的提高。

作为介入放射科医师及血管专家,Polak 博士为本版带来了医学影像和血管医学方面的非凡经验。Jo Polak 是血管超声界的真正领导者之一。他曾发表过应用双功超声诊断颈动脉和静脉疾病的论著。在本版中他编写了 10 章内容。新主题包括腹主动脉的评估、血管疾病的筛查以及 CT 和 MRI 血管造影相关成像。

共有 29 位作者参与了本版编写。所有作者都对血管超声领域做出过重要贡献,我们非常自豪能够收录他们的材料。每位作者都通过补充章节内容和编写新章节而做出巨大贡献。本版中明显更新的章节包括超声造影剂在血管中的应用、超声在脑血管疾病中的应用,以及肝血管的超声评价。新增主题包括颈动脉介入治疗的评估、器官移植的评估以及血管实验室及其认证。

John S. Pellerito, MD  
FACR, FSRU, FAIUM

## 第 5 版译者前言

机遇与挑战：1 年前，人民军医出版社约笔者翻译本书，我犹豫了 2 周才最后决定接受邀请，因为两方面因素使我内心极为矛盾。首先，这是一本国际权威血管超声经典专著；在许多西方国家，它是血管超声医生和技师资质认证考试的指定教材，为许多专业人士所推崇，是目前最具影响力的血管超声专业教材之一；本书刚出版时我即有幸阅览此书，深深为本书精彩内容所吸引，数月内通读全书；本书内容全面翔实，广度、深度具兼。作者从历史到现状，从理论到实践，从检查手法到技术分析，从超声技术到临床需求，采用由浅入深的写作手法阐述深奥的理论和技術。细腻、流畅、浅显易懂，是一本优秀的血管超声专业教材；如果有机会把它翻译成中文，必将使更多国内同行受益，是一件令人欣慰的事情。但是，由于中西语言表达方式、血管超声历史和工作模式差异很大，而我希望翻译既要原汁原味，反映本书原貌，反映每一字句的真正内涵，又要符合汉语表达习惯，达到易读、易懂。所以要真正翻译好本书，实际是“再创作”过程，工作艰巨，面临挑战。

中西方血管超声背景差异：①在西方主要国家，血管超声多隶属血管实验室（Vascular Lab）。除彩色多普勒超声外，血管实验室尚有多种无创检查方法，如：动脉压测定（踝压、踝臂指数、节段性测压、趾压等）、应激试验（运动试验、反应性充血试验等）、多种容积描记（plethysmography）、经皮氧分压测定（transcutaneous oxygen tension,  $tcPo_2$ ）、激光多普勒血流测定（Laser Doppler flow measurement）、便携式多普勒超声（Doppler ultrasound）等等。在这些方法中，彩色多普勒超声最为常用。②双功超声（Duplex ultrasound）是将灰阶超声显像与脉冲多普勒超声探测功能相结合的系统。虽然目前的中高档超声仪均具备彩色多普勒功能，但美国仍沿用“Duplex ultrasound”一词。彩色多普勒成像技术应用于临床后，大大推进了血管超声进程，血管超声检查更容易、更快捷、更准确。本书翻译时将“双功超声”翻译成“超声”或“彩色多普勒超声”，这样符合我国的表达习惯，也更科学。③在美国等西方国家，超声检查主要由技师（sonographer）操作实施，医生（radiologist）主要负责指导、阅片出报告，对疑难病例医生可能再上机复查。

翻译与致谢：翻译得到解放军总医院超声科全体工作人员的大力支持，特别是唐杰教授的鼎力帮助，数十名本科医生、研究生加入了翻译工作，利用业余时间翻译此经典专著，奉献精神鼓舞着大家完成此艰苦工作，基本实现了我们最初对翻译质量的“奢想”。在此，对他们致以最崇高的敬意和感谢！



翻译过程中，得到解放军总医院血管外科、神经外科、神经内科、泌尿外科和介入科诸多教授的热情帮助，在此对他们表示真诚的感谢！

本书翻译过程中，本科进修医生陈玉洁、王金霞、李娜、王俊玲、王长春、胡亚南、周鑫和本科录人员朱敏、杨卫东做了大量文字和支持工作，在此对他们表示深深的感谢！

同时，家人的理解、关心和支持，是我们完成翻译工作的重要保证，在此也对他们致以衷心的感谢！

由于我们知识和时间有限，本书错误之处，敬请各位同仁批评指正！

解放军总医院 温朝阳

2007年12月30日于北京

## 第 5 版原著前言

本书第 5 版在组织结构上与第 4 版相似，但有几点重要不同。最重要的是增加了第二主编，首先是为了丰富本书内容，这可以从新版书覆盖范围看出；另外，本书第一主编 Dr. Zwiebel 近几年将退休，增加第二主编将保证此书能继续有新版本发行。

本版邀请了更多作者参与编写，这些作者在其从事的血管超声领域得到大家的认可，他们的参与，丰富了第 5 版内容。新版本增加了一些新章节，介绍了新技术及临床应用，如血液透析、腹主动脉支架、女性盆腔的超声评价，我们感到本书已经基本涵盖了彩色多普勒超声在全身主要血管中的应用。

新版本的另一变化是全彩色印刷。在前几个版本中，彩图统一放最后，与相关正文内容相距较远，影响了阅读效果。本版中彩图插在相关正文内容后面，更易理解、更具吸引力，希望它能增加本书的教育价值。全彩色印刷增加了成本，但我们尽我们所能保持其价格低廉，以使更多读者能接受。

尽管新版本进行了很大改动，但仍保持原有风格，因为读者对前几版反映很好；尽管本版加入了新章节，但仍然保留了基础理论部分。同前几版一样，我们在本版中加入了足够深度的内容来满足读者需求，以免大家再去翻阅一些深奥的基础理论资料。同时，在写作内容和手法上，我们尽量满足不同背景读者的需求。前几版书在有些方面都非常成功，我们希望新版本也能取得良好反应。

William J. Zwiebel, MD

John S. Pellerito, MD

# 目 录

## 第一篇 基础

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 外周血管和脑血管疾病血流动力学 .....     | 2  |
| 一、决定血流的生理因素及其特征 .....           | 2  |
| 二、动脉阻塞的效应 .....                 | 7  |
| 三、静脉血流动力学 .....                 | 10 |
| 四、结论 .....                      | 11 |
| 第 2 章 灰阶和超声多普勒的物理基础和设备原理 .....  | 12 |
| 一、声波在组织中的传播 .....               | 12 |
| 二、灰阶图像 .....                    | 16 |
| 三、探头特性 .....                    | 18 |
| 四、特殊处理技术 .....                  | 21 |
| 五、多普勒超声 .....                   | 24 |
| 六、彩色血流成像 .....                  | 29 |
| 七、普通二维超声之外的显像方法 .....           | 30 |
| 八、设备安全 .....                    | 33 |
| 第 3 章 多普勒频谱分析和血流超声成像的基本概念 ..... | 34 |
| 一、频谱分析 .....                    | 34 |
| 二、动脉狭窄的诊断 .....                 | 38 |
| 三、彩色血流成像 .....                  | 42 |
| 四、三维血管成像 .....                  | 48 |
| 五、B-flow 血流成像 .....             | 49 |
| 第 4 章 超声造影剂在血管中的应用 .....        | 50 |
| 一、引言 .....                      | 50 |
| 二、超声造影剂的类型 .....                | 50 |
| 三、超声造影剂的临床应用 .....              | 53 |
| 四、结论 .....                      | 57 |

## 第二篇 脑血管

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 5 章 超声在脑血管疾病中的应用 .....      | 60 |
| 一、颈动脉粥样硬化疾病：早期发现的临床意义 .....   | 61 |
| 二、超声测量颈动脉狭窄 .....             | 62 |
| 三、发现易损性颈动脉斑块：超声的作用 .....      | 65 |
| 四、颈动脉内膜切除术和颈动脉内支架置入术后评估 ..... | 67 |
| 五、颈动脉闭塞和夹层 .....              | 68 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 六、椎动脉狭窄或闭塞 .....                  | 69         |
| 七、正常颅内血流所见 .....                  | 69         |
| 八、颅内动脉粥样硬化疾病 .....                | 72         |
| 九、动脉闭塞与再通的监测 .....                | 76         |
| 十、侧支形式和血流方向 .....                 | 76         |
| 十一、发现适合介入治疗的急性脑卒中病变 .....         | 77         |
| 十二、采用超声监测溶栓治疗 .....               | 78         |
| 十三、超声增强溶栓术 .....                  | 79         |
| 十四、气态微泡和超声溶栓 .....                | 80         |
| 十五、TCD 在脑血管疾病的特殊应用 .....          | 81         |
| 十六、脑血管舒缩反应和屏气指数 .....             | 82         |
| 十七、反罗宾汉综合征 .....                  | 83         |
| <b>第 6 章 正常脑血管解剖及侧支通路 .....</b>   | <b>85</b>  |
| 一、血管解剖 .....                      | 85         |
| 二、脑部血流动力学 .....                   | 87         |
| 三、侧支循环 .....                      | 87         |
| 四、小结 .....                        | 89         |
| <b>第 7 章 颈动脉超声正常表现及检查技术 .....</b> | <b>90</b>  |
| 一、正常颈动脉壁超声表现 .....                | 90         |
| 二、正常血流特征 .....                    | 90         |
| 三、血管鉴别 .....                      | 93         |
| 四、检查方案 .....                      | 94         |
| 五、仪器设备 .....                      | 94         |
| 六、患者体位 .....                      | 94         |
| 七、探头位置 .....                      | 94         |
| 八、颈动脉和颈静脉 .....                   | 95         |
| 九、图像方位 .....                      | 95         |
| 十、记录 .....                        | 95         |
| 十一、检查顺序 .....                     | 96         |
| <b>第 8 章 颈动脉斑块超声评价 .....</b>      | <b>98</b>  |
| 一、早期斑块检测：内中膜增厚 .....              | 98         |
| 二、斑块特征分析方法 .....                  | 98         |
| 三、斑块特征：均质或不均质 .....               | 99         |
| 四、斑块的发病机制 .....                   | 101        |
| 五、新方法 .....                       | 102        |
| 六、超声造影和斑块特征 .....                 | 103        |
| 七、溃疡 .....                        | 103        |
| 八、结论 .....                        | 104        |
| <b>第 9 章 颈动脉狭窄超声评价 .....</b>      | <b>105</b> |
| 一、颈内动脉狭窄 .....                    | 105        |
| 二、颈总动脉 .....                      | 111        |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 三、颈外动脉 .....                           | 113        |
| 四、无名动脉 .....                           | 113        |
| 五、结论 .....                             | 115        |
| <b>第 10 章 颈动脉闭塞、罕见病变及疑难颈动脉病例 .....</b> | <b>116</b> |
| 一、颈动脉闭塞 .....                          | 116        |
| 二、颈动脉夹层 .....                          | 117        |
| 三、颈动脉假性动脉瘤 .....                       | 120        |
| 四、颈动静脉瘘 .....                          | 121        |
| 五、纤维肌发育不良 .....                        | 121        |
| 六、颈动脉体瘤 .....                          | 122        |
| 七、疑难颈动脉病例 .....                        | 123        |
| <b>第 11 章 椎动脉超声检查 .....</b>            | <b>130</b> |
| 一、检查技术 .....                           | 130        |
| 二、椎动脉血流动力学：定性分析 .....                  | 132        |
| 三、椎动脉血流动力学：定量分析 .....                  | 135        |
| 四、磁共振血管成像和 CT 血管造影 .....               | 135        |
| 五、治疗 .....                             | 136        |
| 六、结论 .....                             | 136        |
| <b>第 12 章 颅内动脉超声评价 .....</b>           | <b>137</b> |
| 一、检查方法 .....                           | 137        |
| 二、诊断参数 .....                           | 143        |
| 三、新进展 .....                            | 149        |
| 四、结论 .....                             | 152        |

### 第三篇 四肢动脉

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>第 13 章 四肢动脉解剖 .....</b>           | <b>154</b> |
| 一、上肢 .....                           | 154        |
| 二、下肢 .....                           | 155        |
| <b>第 14 章 非影像学生理试验评价下肢动脉疾病 .....</b> | <b>162</b> |
| 一、设备 .....                           | 162        |
| 二、生理学检查方法 .....                      | 166        |
| 三、诊断法则 .....                         | 171        |
| 四、临床应用 .....                         | 172        |
| 五、结论 .....                           | 173        |
| <b>第 15 章 上肢动脉阻塞性疾病的评价 .....</b>     | <b>174</b> |
| 一、交流与体检 .....                        | 174        |
| 二、选择正确检查方法 .....                     | 174        |
| 三、从基本问题开始 .....                      | 174        |
| 四、胸廓下口是否有问题 .....                    | 175        |
| 五、光学容积描记评价手指血流 .....                 | 177        |
| 六、何时应用彩色多普勒超声 .....                  | 178        |
| 七、椎动脉向锁骨下动脉盗血的检查 .....               | 187        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 八、结论：解决临床问题 .....                         | 188        |
| <b>第 16 章 血液透析通路建立前后的超声评价 .....</b>       | <b>190</b> |
| 一、透析通路的基本概念 .....                         | 190        |
| 二、描述术语 .....                              | 192        |
| 三、血液透析通路建立前血管标记 .....                     | 192        |
| 四、术前血管标记要点 .....                          | 194        |
| 五、AVF 成熟度评价 .....                         | 195        |
| 六、AVF 评价附加要点 .....                        | 196        |
| 七、移植血管评价 .....                            | 197        |
| 八、移植血管超声评价补充要点 .....                      | 199        |
| <b>第 17 章 下肢动脉超声评价 .....</b>              | <b>200</b> |
| 一、仪器设备 .....                              | 200        |
| 二、多普勒超声技巧 .....                           | 201        |
| 三、疾病分类 .....                              | 203        |
| 四、临床应用 .....                              | 205        |
| 五、结论 .....                                | 207        |
| <b>第 18 章 颈动脉和外周血管疾病治疗术中监护和术后随访 .....</b> | <b>208</b> |
| 一、术中超声监护 .....                            | 208        |
| 二、术后随访 .....                              | 213        |
| 三、结论 .....                                | 220        |
| <b>第 19 章 超声在动脉急症诊治中的应用 .....</b>         | <b>221</b> |
| 一、腹主动脉瘤破裂 .....                           | 221        |
| 二、颈动脉狭窄 .....                             | 223        |
| 三、颈动脉夹层 .....                             | 224        |
| 四、急性下肢缺血 .....                            | 225        |
| 五、股动脉假性动脉瘤 .....                          | 227        |
| 六、创伤性动静脉瘘 .....                           | 229        |
| 七、动脉穿透伤 .....                             | 230        |
| 八、结论 .....                                | 232        |

## 第四篇 四肢静脉

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| <b>第 20 章 超声在肢体静脉疾病处理中的应用及危险因素 .....</b> | <b>234</b> |
| 一、急性静脉血栓性疾病 .....                        | 234        |
| 二、静脉血栓性疾病的抗凝和溶栓治疗 .....                  | 234        |
| 三、各部位急性深静脉血栓 .....                       | 235        |
| 四、超声检查肢体静脉诊断肺栓塞 .....                    | 236        |
| 五、浅静脉血栓形成 .....                          | 236        |
| 六、腋 - 锁骨下静脉血栓 .....                      | 237        |
| 七、深静脉血栓的后遗症 .....                        | 237        |
| 八、静脉曲张 .....                             | 238        |
| 九、旁路移植术前静脉评价 .....                       | 239        |
| <b>第 21 章 肢体静脉解剖与超声检查技术 .....</b>        | <b>240</b> |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| 一、下肢解剖 .....                           | 240        |
| 二、静脉双功超声成像检查技术与步骤 .....                | 240        |
| 三、静脉解剖与检查步骤 .....                      | 248        |
| 四、上肢解剖 .....                           | 255        |
| 五、上肢静脉检查步骤 .....                       | 256        |
| <b>第 22 章 下肢静脉血栓的超声诊断 .....</b>        | <b>260</b> |
| 一、检查技术与解剖 .....                        | 261        |
| 二、正常声像图表现 .....                        | 264        |
| 三、静脉血栓超声表现 .....                       | 265        |
| 四、常见缺陷 .....                           | 268        |
| 五、急性深静脉血栓与慢性深静脉血栓 .....                | 271        |
| 六、附带发现与其他诊断 .....                      | 271        |
| 七、结论 .....                             | 274        |
| <b>第 23 章 四肢静脉超声检查面临的争议 .....</b>      | <b>275</b> |
| 一、多少才足够 .....                          | 275        |
| 二、静脉超声检查在单侧肢体症状患者中的价值 .....            | 275        |
| 三、双侧肢体症状：双侧超声检查的意义 .....               | 276        |
| 四、超声检查范围 .....                         | 276        |
| 五、小腿静脉血栓 .....                         | 277        |
| 六、加压超声检查导致肺动脉栓塞问题 .....                | 278        |
| 七、隐匿性恶性肿瘤所致深静脉血栓 .....                 | 278        |
| 八、超声评价肺动脉栓塞 .....                      | 279        |
| 九、容易造成误解的命名法 .....                     | 279        |
| 十、深静脉血栓危险因素 .....                      | 281        |
| 十一、结论 .....                            | 282        |
| <b>第 24 章 静脉功能不全的超声检查 .....</b>        | <b>283</b> |
| 一、静脉功能不全的病理生理 .....                    | 283        |
| 二、临床表现 .....                           | 283        |
| 三、静脉检查方法 .....                         | 284        |
| 四、节段性静脉瓣膜关闭不全 .....                    | 294        |
| 五、结论 .....                             | 296        |
| <b>第 25 章 四肢静脉超声检查中遇到的非血管性疾病 .....</b> | <b>298</b> |
| 一、软组织水肿 .....                          | 298        |
| 二、淋巴水肿 .....                           | 298        |
| 三、血肿 .....                             | 299        |
| 四、肌肉损伤 .....                           | 300        |
| 五、淋巴结 .....                            | 300        |
| 六、腘窝（Baker）囊肿 .....                    | 301        |
| 七、关节积液 .....                           | 301        |
| 八、感染 .....                             | 301        |
| 九、软组织肿瘤 .....                          | 302        |

## 第五篇 腹部与盆腔血管

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第 26 章 腹部血管解剖和正常多普勒特征 ..... | 306 |
| 一、腹主动脉 .....                | 306 |
| 二、腹腔动脉 .....                | 306 |
| 三、脾动脉 .....                 | 307 |
| 四、肝动脉 .....                 | 307 |
| 五、肠系膜上动脉和肠系膜下动脉 .....       | 308 |
| 六、门静脉系统 .....               | 309 |
| 七、肝静脉 .....                 | 310 |
| 八、下腔静脉 .....                | 311 |
| 九、肾动脉 .....                 | 311 |
| 十、肾静脉 .....                 | 312 |
| 第 27 章 腹主动脉超声评价 .....       | 314 |
| 一、解剖 .....                  | 314 |
| 二、正常直径 .....                | 314 |
| 三、正常多普勒流速剖面 .....           | 314 |
| 四、病理状态 .....                | 315 |
| 五、腹主动脉瘤 .....               | 315 |
| 六、超声检查 .....                | 318 |
| 七、动脉瘤的定义：大小的阈值 .....        | 319 |
| 八、动脉瘤生长速度 .....             | 320 |
| 九、髂总动脉瘤 .....               | 321 |
| 十、动脉瘤并发症 .....              | 321 |
| 十一、病理的多样性 .....             | 322 |
| 十二、术后评估 .....               | 322 |
| 十三、结论 .....                 | 325 |
| 第 28 章 主动脉瘤腔内修复术后超声评价 ..... | 326 |
| 一、血管内支架：回顾及概述 .....         | 326 |
| 二、彩色多普勒超声技术 .....           | 328 |
| 三、内漏的检查 .....               | 330 |
| 四、动脉瘤大小 .....               | 332 |
| 五、内支架变形及自体动脉并发症 .....       | 334 |
| 六、个人评价 .....                | 334 |
| 七、囊内压测量 .....               | 335 |
| 八、结论 .....                  | 335 |
| 第 29 章 内脏（肠系膜）动脉的超声评价 ..... | 336 |
| 一、肠缺血解剖、生理和病史 .....         | 336 |
| 二、检查技术 .....                | 338 |
| 三、检查方案 .....                | 340 |
| 四、诊断标准 .....                | 341 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 五、多普勒超声对肠系膜血管重建后的监测（内支架成形术和旁路移植评估） ..... | 342        |
| 六、成功检查的关键 .....                          | 342        |
| 七、陷阱 .....                               | 344        |
| 八、结论 .....                               | 346        |
| <b>第 30 章 肝血管的超声评价 .....</b>             | <b>347</b> |
| 一、检查技术和正常血流动力学 .....                     | 347        |
| 二、门静脉高压 .....                            | 349        |
| 三、门静脉血栓形成 .....                          | 354        |
| 四、门静脉积气 .....                            | 357        |
| 五、肝静脉闭塞 .....                            | 357        |
| 六、经颈静脉肝内门体静脉分流 .....                     | 360        |
| <b>第 31 章 自体肾血管的超声评价 .....</b>           | <b>363</b> |
| 一、解剖 .....                               | 363        |
| 二、检查概述 .....                             | 363        |
| 三、技术 .....                               | 364        |
| 四、检查方案 .....                             | 364        |
| 五、血管病变 .....                             | 366        |
| <b>第 32 章 子宫与卵巢的超声评价 .....</b>           | <b>378</b> |
| 一、技术要点 .....                             | 378        |
| 二、正常解剖和血流动力学 .....                       | 378        |
| 三、目前应用 .....                             | 381        |
| 四、结论 .....                               | 391        |
| <b>第 33 章 男性生殖系统多普勒超声评价 .....</b>        | <b>392</b> |
| 一、阴囊 .....                               | 392        |
| 二、勃起功能障碍 .....                           | 399        |
| <b>第 34 章 器官移植的评估 .....</b>              | <b>406</b> |
| 一、肾移植 .....                              | 406        |
| 二、肝移植 .....                              | 420        |
| <b>第 35 章 血管疾病的筛查 .....</b>              | <b>431</b> |
| 一、筛查的定义与类型 .....                         | 431        |
| 二、无症状颈动脉狭窄筛查 .....                       | 432        |
| 三、腹主动脉瘤的筛查 .....                         | 434        |
| 四、心血管疾病的筛查：风险和亚临床心血管疾病 .....             | 436        |
| <b>第 36 章 相关影像 .....</b>                 | <b>440</b> |
| 一、概况 .....                               | 440        |
| 二、动脉造影 .....                             | 440        |
| 三、数字成像 .....                             | 441        |
| 四、CT 血管造影 .....                          | 442        |
| 五、磁共振血管造影 .....                          | 444        |
| 六、概述和相关研究 .....                          | 446        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 七、总结 .....            | 452 |
| 第 37 章 认证和血管实验室 ..... | 453 |
| 一、历史和组织机构 .....       | 453 |
| 二、ICAVL 的认证模式 .....   | 453 |
| 三、IAC 的合并 .....       | 453 |
| 四、ICAVL 标准 .....      | 454 |
| 五、支付政策 .....          | 455 |
| 六、联合健康保险 .....        | 455 |
| 七、目前 ICAVL 统计 .....   | 455 |
| 八、认证的益处 .....         | 455 |

# 第一篇

# 1

# 基 础

# 外周血管和脑血管疾病血流动力学

循环系统在结构和功能上都非常复杂。许多因素如心脏功能、血管壁弹性（顺应性）、血管平滑肌的张力，以及分支血管的分布、管径及相互连接方式等都可以影响血流。某些因素可用合理简单的术语进行描述和量化，而某些因素由于难以量化和了解不够深入而不能描述。

鉴于此，本章介绍血液循环动力学的基本原理、影响血流的因素、阻塞性疾病的血流动力学表现。这将有助于理解血液循环的正常生理和血管阻塞后的异常变化。

## 一、决定血流的生理因素及其特征

### （一）能量和压力

在循环系统内，任何两点之间血流存在的前提是两点之间能量的差异。通常，压力差异反映能量的差异，循环系统通常由高压力、高能量的动脉系统和低压、低能量的静脉系统组成。两系统之间由树状血管分支（小动脉）和微循环阻力血管（微动脉、毛细血管和微静脉）连接起来（图1-1）。

血液流动时，由于血流各层面之间、各质点之间的摩擦，使能量不断地从血液中丢失。因此从动脉到静脉末端，压力和能量逐渐下降。血流的连续流动所

需的能量由心脏的搏动来维持，心脏将血液从动脉系统泵入静脉系统，以维持血液流动所需的动脉压和能量差。

动脉内的高能量水平与动脉血容量有关。心脏和血管通过调节动脉血液容积和压力来维持其正常功能，这是通过保持流入和流出动脉系统的血容量的平衡来实现的。进入动脉系统的血量等于心排血量，流出动脉的血量取决于动脉压力和微循环血管舒缩形成的外周阻力。

通常，身体各组织的血流量由特定时间的组织需要来调节，这一调节由供血器官微动脉血管收缩水平来实现。维持动脉正常的容量和压力有利于调节到达身体各部位的血流量和调整心排血量（等于所有血管床血液的总量）。

### （二）血流的能量形式及其在流动中的损耗

本节讨论循环系统中能量存在的形式和流动过程中影响能量损耗的重要因素，包括摩擦力、阻力、层流和湍流的影响；讨论泊肃叶定律以及反映血流、压力及阻力之间基本关系的泊肃叶公式，并讨论不同连接方式（并联和串联）对血流阻力的影响。

#### 1. 能量形式

（1）势能和动能：血流的主要能量形式是心脏搏动所产生的使血管扩张的压力（势能的一种形式）。然而，一部分血流能量形式是动能，即由血流速度而产生的做功的能力。通常，与压力能量相比，动能所占比例很小。在正常休息状态下，它只等于几毫米汞柱或更小。血液的动能与其密度（在正常情况下是恒定的）成正比，与速度的平方成正比。根据原理，当血流通过相对笔直的动脉时，动能（血流）和势能（血压）之间的平衡关系保持稳定。伯努利方程表示了这种关系（图1-2）。当动脉管径增大时，血流速度降低，动能则转化为势能（压力）。相反，当动脉管径变细时，势能转化为动能。所以，在一定范围内，当血流增加（如运动）时，循环系统内的动能增加。而血管轻度狭窄处管径变细，血流速度增加。在较短动脉节段内，由血液高度不同所致重力

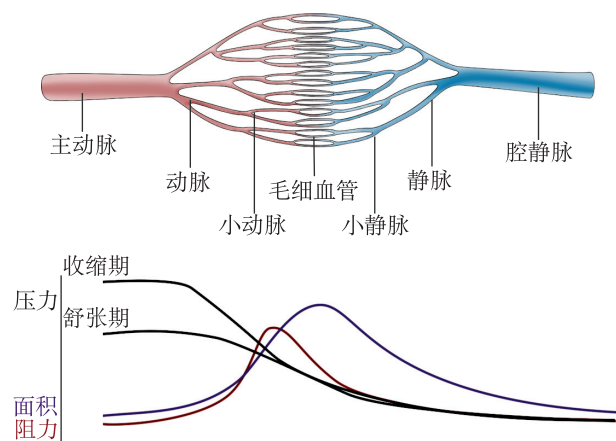


图1-1 循环系统中不同水平的血管压力、有效阻力和总的血管横截面积

效应（势能），常常忽略不计。

（2）身体各部分的能量差异：身体各部位血液的能量存在差异。例如，身体下垂部位（小腿）的血管压力高于上部。这种流体静水压增加血管跨壁压并使血管扩张。然而，在身体下垂部位的重力势能（与自由落体物体重力有关的势能）减少量与流体静水压增加的量相等。因此，在身体不同平面的血管树，通常不会存在驱动压的变化，除非血流受到干扰，比如静脉瓣的关闭。在某些情况下，身体不同平面的能量与压力变化有重要意义，例如体位变化时，以及行走时肌肉活动对静脉血的回推作用。

2. 能量损耗

（1）层流状态：在大多数血管中，血流的运动是同心分层的，因此被称为层流。每个无限小的层以不同的速度流动。理论上，紧靠血管壁的最外层血流速度为零，这是由血流与血管内壁之间的黏附力造成的。次外层的血流具有一定的速度，但其与最外层间由液体黏稠性产生的摩擦力导致其速度延缓。依次，第二层又延缓了流速稍快的下一层的流速。管腔中心的流速最快，血流的平均流速是最高流速的一半。由于速度变化率在靠近管壁处最大，而在血管中央变化小，血流速度剖面呈抛物线形，这种典型的血流称为层流（图 1-3）。

血液流动过程中由于摩擦力而发生能量丢失，摩擦力的大小和能量丢失的程度主要取决于血管的直径。在小血管尤其是微循环，即使是管腔中央的层面也与管壁很近，速度被很大程度地延缓，导致很大的血流阻力。相反，在大血管，中央轴远离管壁，摩擦引起的能量丢失很小。另外，如果层流被扰乱，摩擦力和能量的丢失将会增加，后面将进一步阐述。

泊肃叶定律和方程：在圆柱状的管道模型中，流流的平均线性速度直接与管道两端的能量差和半径的平方成正比，而与管道的长度和液体的黏度成反比。但是，在循环系统中，流量比速度更受关注。流量和半径的 4 次方成正比，因为它等于平均线性速度和截面积的乘积。这些重要的认识对于理解泊肃叶定律很有益处，泊肃叶方程式表达为：

$$Q = \frac{\pi (P_1 - P_2) r^4}{8L\eta} \tag{1-1}$$

Q 是流量；P<sub>1</sub> 和 P<sub>2</sub> 分别是管道近端和远端的压力；r 和 L 分别是管道的半径和长度；η 是液体的黏度。

由于流量与半径的 4 次方成正比，所以很小的半径改变也会引起很大的流量变化。例如，半径减少 10%，管道模型中的流量减少 35%；半径减少 50%，管道模

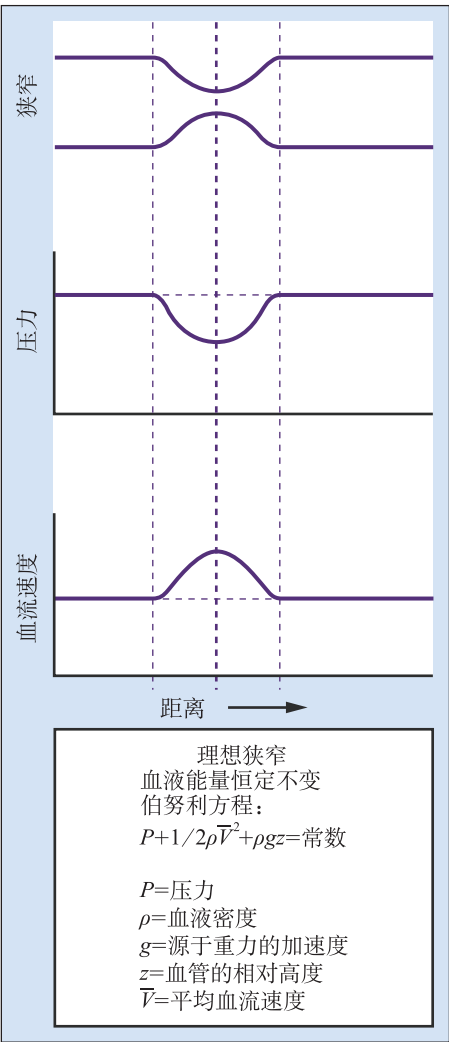


图 1-2 在理想的狭窄处势能与动能之间的相互转换关系  
伯努利方程提示，随着血流速度增加，血液势能（压力）下降。这仅是示意图，并未显示它们之间的量化关系，也未考虑黏滞性和惯性

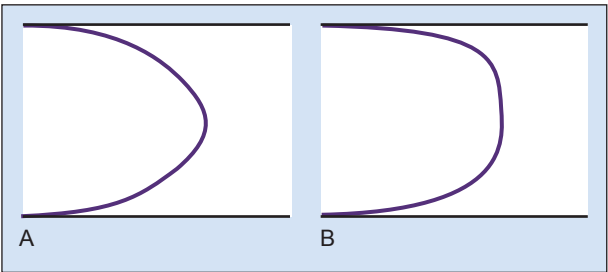


图 1-3 正常动脉管腔的流速剖面  
A. 层流的抛物线形剖面；B. 中心流速相对均匀，扁平形剖面，常见于动脉分支近端（起始段）或湍流

型中的流量减少 95%。因为在循环系统中血管的长度和血液黏度几乎不变，所以血流量改变主要由血管半径变化和压力能量水平变化决定。

因此，泊肃叶方程式可以改写为如下形式：

$$\frac{8L\eta}{\pi r^4} = \frac{P_1 - P_2}{Q} \quad (1-2)$$

$$R = \frac{8L\eta}{\pi r^4} \quad (1-3)$$

$$R = \frac{P_1 - P_2}{Q} \quad (1-4)$$

阻力 ( $R$ ) 取决于血液黏度和管径。尽管在复杂系统中不能测量这些参数, 但压力差 ( $P_1 - P_2$ ) 和血流量 ( $Q$ ) 能够测量, 从而能够计算阻力。因为阻力等于压力差除以流量 (每单位流量的压力差), 阻力可被认为是推动一个单位血流所需的压力差, 也可被认为是推动血流通过血管的难度指数。

血管的连接形式和能量损耗: 泊肃叶定律仅适用于内径不变的刚性管道中呈恒定层流状态的简单流体 (例如水)。在血液循环中, 不可能满足这些条件。血管的不同连接方式的综合效应影响阻力, 类似于电阻。如果血管串联, 总的阻力等于各个血管阻力之和; 如果血管并联, 总的阻力的倒数等于各个血管阻力倒数之和。因此, 任何一根血管对整个血管床总阻力的作用或这根血管管径的变化对总阻力的影响, 取决于它是否与其他血管相连、连接的方式 (串联或并联) 及其他血管的相对管径。

血流黏度同样与泊肃叶定律适用的条件不符, 因为血黏度不是恒定的, 它受血细胞比容、温度、管径和流速的影响。

(2) 非层流状态: 在正常和病理情况下, 循环系统中存在程度不同的非层流状态。一些因素可致血流紊乱, 如心动周期中收缩期血流加速、舒张期血流减速所致的血流速度变化, 以及由于血管管径微小变化所致血流线的变化等。在血管弯曲处 (图 1-4)、分叉处、发出不同角度分支血管处和血管狭窄处, 血流剖面会改变, 这时层流血流的速度剖面就会改变并持续一段距离。例如, 在动脉弯曲和分叉后血流速度剖面会成不对称性, 狭窄病变处及狭窄即后段的血流速度剖面会成扁平性 (活塞血流) (图 1-3B)。

在某些情况下, 层流血流可以转变成一种混合的不同血流状态: 动脉内同时存在前向和后向血流的状态, 这层血流速度为零的区域被称为边缘层状分离, 以颈总动脉分叉处为典型代表 (图 1-5), 也存在于狭窄性病变之后。

在颈动脉分叉处, 颈总动脉远端的血流倾向于向颈内动脉分流, 然后在颈内动脉近段形成边缘层状分离区域见图 1-5。

即使在均匀的管道中, 层流也可能被扰乱甚至变

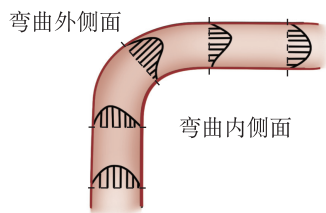


图 1-4 在动脉弯曲段的红细胞速度分布变化

当红细胞进入弯曲动脉后, 速度变得不对称, 血液流经一段血管后恢复层流状态, 恢复快慢取决于血流速度和动脉管径

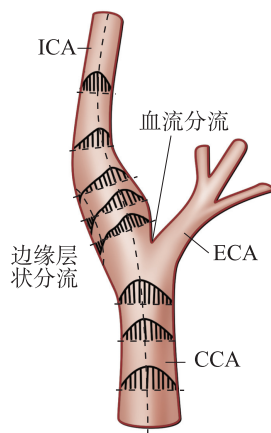


图 1-5 正常颈总动脉典型血流

颈总动脉 (CCA) 远端的层流至颈内动脉 (ICA) 血流的演变。当红细胞进入颈动脉窦, 边缘层状分离 (有效血流速度为零) 形成。一边血流反向, 而另一边血流保持前向。在较远端的颈内动脉内, 血流恢复层流状态。为了处理简单化, 颈外动脉 (ECA) 对血流的影响忽略不计

为湍流。一些影响血流紊乱形成的因素, 可以用雷诺值 ( $Re$ ) 来表示:

$$Re = \frac{vp2r}{\eta} \quad (1-5)$$

$v$  是速度,  $\rho$  是液体密度,  $r$  是管道半径,  $\eta$  是液体的黏度。因为血液的密度 ( $\rho$ ) 和黏度 ( $\eta$ ) 相对恒定, 分别为  $1.04 \sim 1.05 \text{g/cm}^3$  和  $(3 \sim 5) \times 10^{-3} \text{pa} \cdot \text{S}$ 。所以, 湍流的发生主要取决于管径和流速。在管道模型中, 如果雷诺系数小于 2000 可呈层流状态, 2000 ~ 4000 为中间界区, 超过 4000 则层流消失, 出现湍流。然而, 在循环系统中, 即使该指数较低, 由于身体运动、血流的搏动性、管径的变化、粗糙的血管内皮表面和其他因素, 容易发生不同程度的湍流。例如透析用动静脉瘘即为典型代表。在高流速的大血管内容易产生湍流, 临床检查可以发现血管杂音和震颤。正常人静息状态时, 升主动脉收缩加速期有时能听到杂音。在高

心排血量和高流量状态下,即使在远端动脉(如股动脉)也能听到杂音。超声血流检测仪可评估层流速度剖面层的改变,从而用于诊断。例如,在有严重狭窄的动脉中,狭窄后即段明显的湍流就具有诊断意义。典型表现为在频率为100 ~ 300Hz时伴有软组织震颤。

高速、高动能的喷射状血流突然进入正常的或增宽的管径内(因为狭窄后扩张),就会发生湍流,其速度和能量均低于狭窄段。在湍流状态,血管两点间压力能量的丢失大于用泊肃叶方程和伯努利方程计算的数值见图1-2,且抛物线形速度剖面变得扁平见图1-3B。

### (三) 动脉系统中搏动性压力和血流变化

每次心跳都将一定量的血液泵入动脉系统,导致压力波沿动脉干传导。其传导速度、振幅(强度)和压力波形在传导过程中发生改变。脉搏波传导速度受血管壁特性的影响显著,波形受反射波的影响。血流速度、循环中某些部位的血流方向随每次心跳而变化。

如果要正确理解无创性检查的结果,如动脉压和流速,以及压力和流速曲线,就需要了解影响压力和流速的各种因素。这一部分将讨论这些作用于循环系统不同部位的影响因素。

**1. 心脏活动所致的压力变化** 如前所述,心脏泵活动维持循环中动脉系统的末端保持一定的血量,使动静脉之间存在高压差以维持血液的流动。因为心脏周期性的泵活动、压力和血流具备搏动性。在心室快速射血期,动脉端血流量增加,压力升高达到最高峰。在收缩后期,心脏射血量减少,流出外周阻力血管的血流量超过心脏的射血量,压力开始下降,并持续于整个舒张期,此时血流由动脉持续流入微循环。心脏所做功的一部分推动血流前行,而大部分引起动脉扩张以贮存血量和能量(图1-6),在舒张期维持对组织的持续性血流灌注。

**2. 动脉压力波** 血流量和能量随心动周期呈搏动性改变,因此整个动脉系统都可检测到压力波的变化。动脉压力波的振幅和波形取决于多种因素的复杂相互作用,包括每搏量、心室射血时间、外周阻力和动脉壁弹性。

总之,任何一个因素的提高,均会引起波幅的增高(例如,搏动压力,即收缩-舒张压力差)及常伴有收缩压增加。例如,随年龄增长,源自动脉系统分支处反射压的波幅增加,造成动脉管壁硬度增加引起收缩压和脉压升高。

动脉压力波从心脏沿动脉干传播,其传播速度或称脉搏波速度,与动脉管壁硬度(组成管壁物质的弹

性模量)、壁厚与管径之比值成正比。哺乳动物循环系统动脉壁的硬度从主动脉到外周动脉逐渐升高。因此,压力波向外周移动过程中,其传播速度逐渐增加,血管硬度逐渐增加也引起反射波增加(后面讨论),在年轻人具有降低中心动脉压作用,而具有保护性效果。随着年龄增加,当动脉僵硬增大到一定程度时,反射波的反射较早,使主动脉的脉搏和收缩压增高,而具有有害作用。因此,心脏射血和做功的阻力,在年轻人降低,而在老年人增加。

**3. 循环系统的压力改变** 图1-1显示系统循环从大动脉流经阻力血管到静脉的压力变化。由于大动脉和分支动脉的摩擦力很小,压力势能损失也小,因而对血流的阻力较小,在主动脉和肢体较小动脉(例如,桡动脉或足背动脉)之间,平均压力仅稍有下降,舒张压变化也不大。但是,当波向远处传播时,压力波振幅和收缩压实际是增加的(收缩期增幅),这是由于外周血管管壁硬度增加和反射波的存在。反射波在血管直径、硬度发生改变及血管分支时出现,并叠加到前向的原始波形中。至少在肢体部位,反射波由于外周阻力的增加而大大增强。在实验动物模型和人体中直接测量小动脉压力,以及间接测量人手指收缩压,显示小动脉(如人体指趾动脉)搏动幅度和收缩压均降低。然而,在微动脉和毛细血管压力和血流的搏动性也很明显,至少在外周血管扩张状态下是这样,可用各种方法检测到,如容

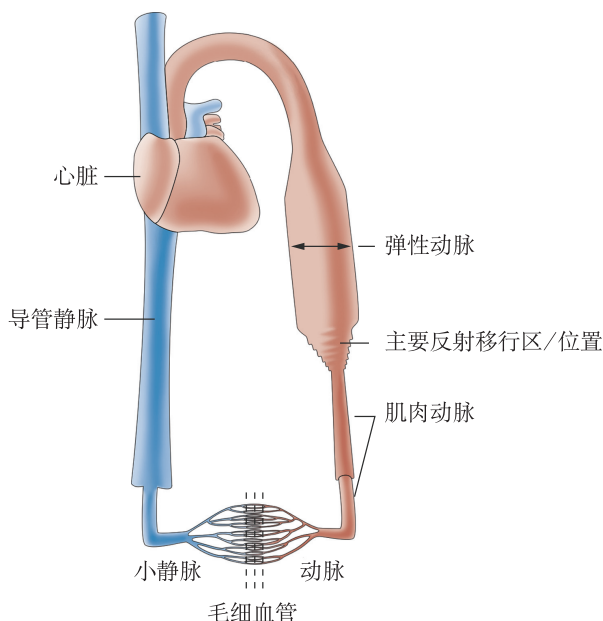


图1-6 循环系统简单示意图显示循环系统主要因素

波反射可以发生于大的弹性动脉,也可发生于肌肉动脉。有效反射位置随年龄改变而改变,随年龄增大逐渐向“心”方向移动

描记仪。外周血管收缩对微循环搏动性的影响与对肢体近端中、小动脉的影响相反。在末梢小动脉、微动脉和毛细血管,血管收缩使搏动性降低,血管舒张使搏动性增加。而在肢体中、小动脉,血管收缩时反射波增强使搏动性增加,血管舒张时搏动性减弱。图1-7显示,通过升降温度诱发血管舒缩,在股动脉和足背动脉直接记录的动脉压力波。

温度升高使血管舒张时,足背动脉的波幅几乎完全消失。某些改变外周阻力的因素,如反应性充血和运动,也可引起远端压力波相似的变化。运动可减少做功肌肉的血管阻力并降低运动肢体动脉的反射波。但是,由于运动过程中身体其他部分的血管收缩(心血管反射性地调节血压和循环),反射波增强并导致振幅的增加。例如,在行走时,桡动脉的搏动压会超过主动脉的1倍。周围脉搏压与中心动脉压的不同,系由反射波造成,这就可以解释年轻人、老年人以及动脉粥样硬化患者之间一些生理指标的差异了。

上述知识对于正确理解外周动脉闭塞时血压测量非常重要。例如,肱动脉收缩压与主动脉和股动脉收缩压相关性很好,判断踝动脉压是否正常时,可以以肱动脉为参照标准(计算踝肱指数)来判断。在正常人体,踝动脉收缩压通常高于肱动脉收缩压,因此,即使发现踝动脉收缩压稍低于肱动脉收缩压,也提示踝动脉的近心端可能有狭窄。然而,人类指、趾动脉收缩压通常低于腕部和踝部的近心端动脉收缩压。当应用指(趾)动脉收缩压判断远端动脉有无闭塞时,应考虑上述情况。此时,应考虑近心端动脉与指(趾)动脉收缩压存在差异,例如,诊断阻塞性动脉疾病,趾肱指数的诊断标准为0.75,而踝肱指数的诊断标准为0.9。

**4. 搏动性血流模式** 压力的搏动性变化与血流收缩期加速和舒张期减速是一致的。尽管储存在动脉壁的能量能维持正向的动静脉压力梯度并在舒张期保持微循环持续的正向血流,但在人体动脉系统的某些部分,仍会出现正向血流的短暂中断,甚至舒张期倒流。

研究动脉树上两点间搏动压力变化有助于阐明血流中断的原因。图1-7显示股动脉和足背动脉的压力波动。两条动脉间的压力梯度在心动周期的不同时间有波动变化(图1-8),不仅因为原始压力波形状和振幅不同,更重要的是压力波较晚到达足背动脉。收缩期早期,波峰刚到达股动脉时与足背动脉间的压力梯度最大,此后压力梯度下降,当波峰到达足背时,股动脉压力下降并出现负向压力梯度。这样的负梯度,与压力波到达动脉系统不同位置的时间差异有关,通常

在人的动脉系统中可以观察到,并导致血流倒流。然而,尽管出现负压力梯度,如果正向血流很大,血流方向也不会发生折返。

也可以这样理解舒张期折返血流的存在原因:设想一条有一定舒张压的大动脉,与几支不同阻力的分支动脉相连。在舒张期,如果有一条分支动脉阻力较低,主干动脉血液流向该分支,如果分支动脉外周阻力较大,则主干血管远段舒张期出现反向血流。在肢体温度降低时(外周阻力增加)可出现上述短暂血流反向现象见图1-8;当肢体受热时,远端皮肤循环的外周阻力降低到较低水平,折返血流减少或消失。舒张期折返血流通常发生在外周阻力较高的血管床中。低阻血管床或外周血管扩张阻力降低时,例如,皮肤加热、肌肉运动或反应性充血,就不会出现折返血流。这些规律在评价供应不同区域的血流时很重要,包括脑循环。例如,由于颅外血管阻力较高,颈外动脉可以出现折返血液,而由于脑血管阻力低,所以颈内动脉不会发生折返血流。

可从另外一角度来解释这些变化,可以将压力和血流速度波分解为前向和后向成分。血压和血流波形

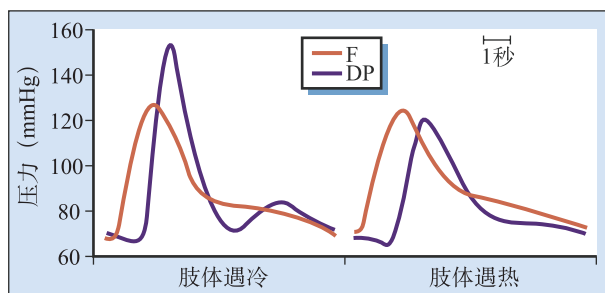


图1-7 受冷和受冷时股动脉(F)和足背动脉(DP)的压力波

足背动脉压力波的搏动性在血管收缩(受冷)时增强,血管舒张时(受热)明显减弱(From Carter SA: Effect of age, cardiovascular disease, and vasomotor changes on transmission of arterial pressure waves through the lower extremities, Angiology 29: 601-616, 1978.)

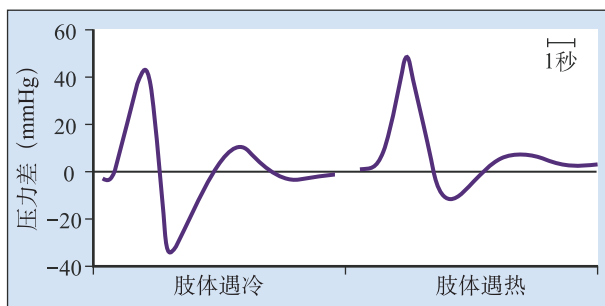


图1-8 从图1-7波形得出的股动脉和足背动脉间的压力差曲线,显示血管扩张(受热)对反流成分的影响

可以视为由心脏收缩所致的前向压力波及其远心端阻力（阻抗）造成的反射构成。虽然在总的压力波中，反射压力波处于次要地位（图 1-9），但是反射血压波的作用相反（图 1-10）。这种前向性和后向性压力波的复合，可以反向血流。当温度高时，反向波降低，前向波维持舒张期前向血流。当温度降低时，反射波的意义更明显，反射血流增加。低阻血管床不产生明显的后向波。

二、动脉阻塞的效应

动脉阻塞会导致阻塞远心端的压力和流速的下降，但是，损害部位近心端，尤其是阻塞远心端的许多因素可以影响压力和流速。当试图用无创方法进行检查时，必须熟悉这些因素，因为它们影响所观察的阻塞近心端和远心端压力和速度的波形。本部分讨论严重狭窄的概念，以及压力、速度和动脉阻塞性疾病的血流表现。

（一）动脉狭窄

血流经过狭窄的动脉或静脉时遵循物质守恒定律：进多少，出多少。所以，动脉的横截面积和平均血流速度的乘积是恒定的（图 1-11）。在分析没有分支的动脉系统中，为了简单化，我们暂不考虑在狭窄处流速度或动能的丢失。

如前面阐述，血流的能量包括血液的势能（重力和血压）和动能，正如伯努利方程所阐述见图 1-2。在

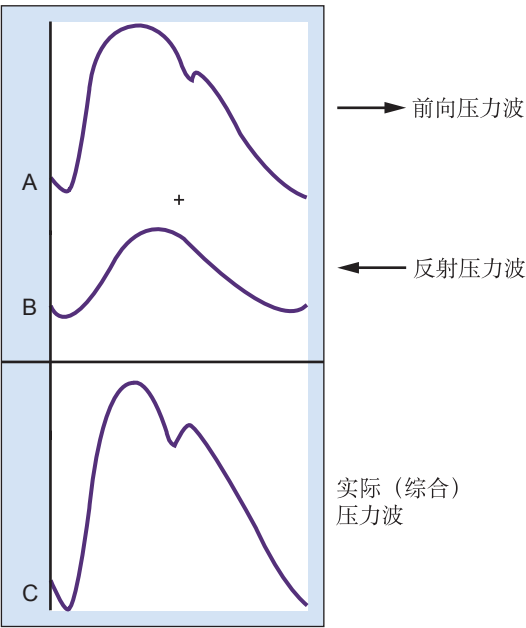


图 1-9 反射压力波对动脉压力波形的影响

前向压力波（A）与反射压力波（B）叠加，形成最终的  
压力波（C），最终波形的形态取决于动脉的具体位置以及其  
至主要反射点的效应距离

理想状态下，忽略摩擦力（黏滞力）或加速度/减速度（惯性力）所造成的能量损失，根据能量守恒定律，势能（血压）与动能（血流速度的平方）之间能量是相互转换的。

然而，实际情况并非理想状态，根据泊肃叶方程，摩擦力（血流黏滞性所致）可导致柱状体血管内血流能量的逐渐损失。这种情况在严重狭窄处更明显。另外，由于湍流所致的血流不稳定，可造成狭窄远处能量的额外丢失（图 1-12）。

（二）严重狭窄

动脉粥样硬化斑块可导致动脉管腔狭窄及狭窄远

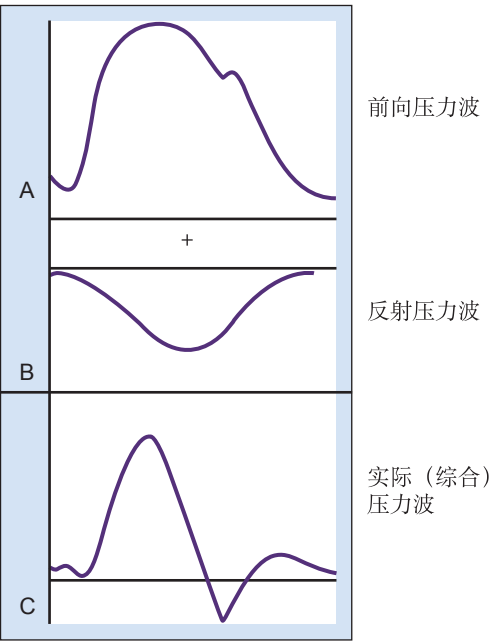


图 1-10 反射压力波对动脉压力波形的影响

当叠加于前向压力波（A）形成最终的压力波（C）时，  
反射压力波（B）呈反向。最终波形的形态取决于动脉的具体  
位置以及其至主要反射点的效应距离

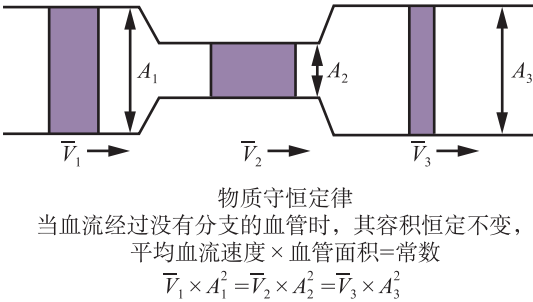


图 1-11 在笔直动脉管腔内的物质守恒定律原理

血流量是恒定的。基于上述原理，假定推动血液的压力  
不变，一个非常严重的狭窄会降低通过狭窄处的血流量，进  
而降低通过整个血管的血流量。本示意图并没有显示在严重  
狭窄常伴有的侧支血管

心端压力和血流速的下降,但管腔狭窄必须达到一定程度才会引起血流动力学改变,这是因为与串联的阻力血管相比,动脉的阻力相对较小。

对人和动物的研究表明,主动脉横截面积狭窄超过90% (大概相当于直径狭窄率70%) 才会引起远心端压力和血流速的改变,而在稍小的血管,如髂动脉、颈动脉、肾动脉和股动脉则在70%~90% (直径狭窄率45%~69%)。

狭窄程度的测量有直径法和面积法,区分这两者很重要。例如,直径法50%的狭窄相当于面积法75%的狭窄,直径法66%的狭窄相当于面积法90%的狭窄。

狭窄是否影响血流动力学以及影响到什么程度取决于以下多种因素,包括:①狭窄部分的长度和残余

管径;②内膜的粗糙程度;③狭窄的不规则度及其形状(亦即,是突然狭窄,还是逐渐狭窄);④狭窄部分残余面积与正常管腔面积的比率;⑤流速比;⑥动静脉压力梯度;⑦狭窄远端的外周阻力。

严重狭窄(即导致流速和压力减小的狭窄)的概念在文献中已有大量报道。这个概念已经被接受,因为在狭窄初期,血流动力学改变很小或无改变,但狭窄程度较重时,压力和流速变化较为明显。严重狭窄的概念有实用意义,因为人类动脉的轻度狭窄通常不会引起显著的血流动力学改变和临床症状。然而,应该明确的是,严重狭窄的概念是许多复杂因素相互作用的简化。尤其是外周阻力的变化,例如运动时阻力下降,可能明显改变已有狭窄引起的病理效应。这使我们注意应该在生理状态下评估狭窄部位的血流动力学和临床症状,否则会得出错误的结论。

在评价狭窄病变的血流动力学影响时,还应注意到处或更多的狭窄比等长的单一狭窄对远心端压力和流速的影响更显著。这是因为狭窄入口处及出口处射流、湍流和涡流等血流紊乱导致大量的能量丢失。因此,多节段狭窄的能量丢失远远超过由单一狭窄部位的摩擦阻力引起的能量丢失,正如在泊肃叶公式中所示。

### (三) 压力改变

采用动物实验研究了不同程度血管狭窄,研究表明只有严重狭窄时,狭窄远端舒张压才会下降;对于较轻狭窄,收缩压下降是一个较敏感的指标,它说明远端平均压力和压力波振幅均下降(图1-13)。同时,在动脉狭窄或阻塞的远端,可以探测到波形变钝、峰时后延以及1/2峰值水平波形变宽。

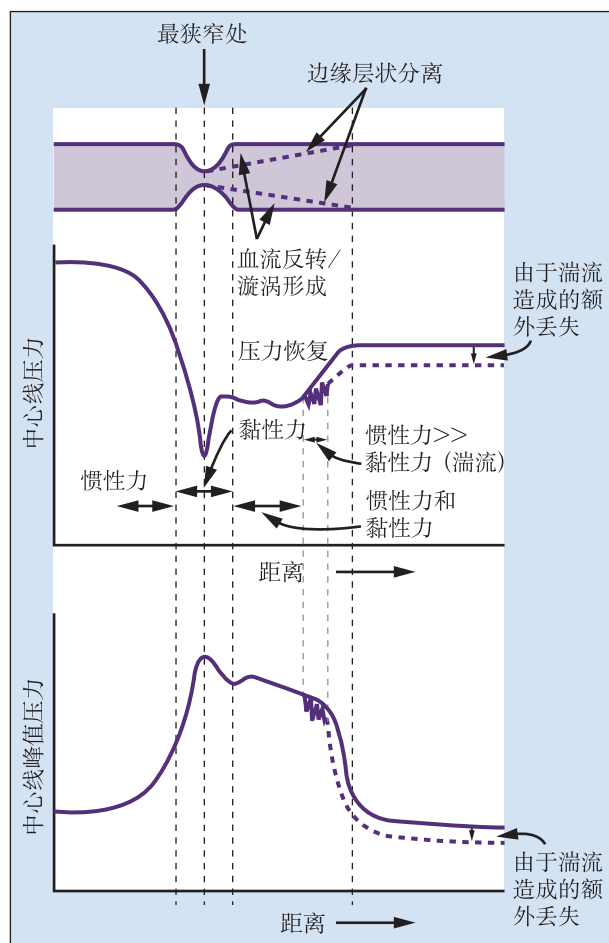


图1-12 动脉狭窄产生射流

在内部压力推动下,血流由粗大管腔流入细小管腔,再流入粗大管腔。在狭窄管段血液黏滞性产生阻力。狭窄即后段是所有这些力量相互作用的区域。射流束逐渐增宽而边缘分离区域逐渐变窄,当边缘分离区域之间的增速流流的面积足够大时,会出现不稳定,产生湍流。血流紊乱会持续一小段距离,因为随着血流向前流动,血液黏滞性也有降低血流速度的作用。由于狭窄处血液黏滞性的作用,湍流引起的能量损失不能恢复

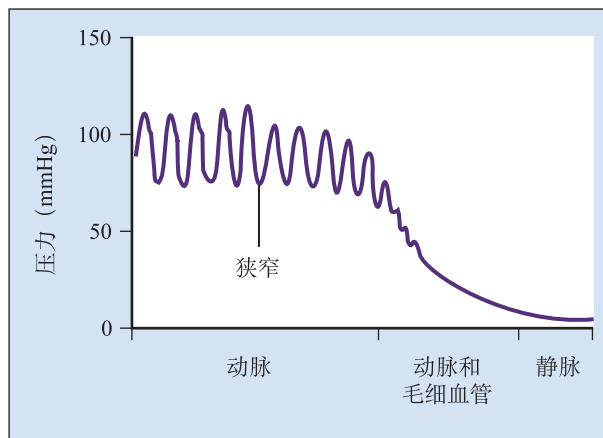


图1-13 狭窄远端压力波振幅、收缩压及平均压降低。轻度狭窄时,这些变化仅在运动或充血引起血流量增加时才明显 [From Carter SA: Peripheral artery disease: pressure measurements ease evaluation; Consultant 19 (9): 102-115, 1979.]

这些搏动波的异常特征与收缩压的测量结果有很好的相关性，而且多种无创的容积描记器可以描记这些异常变化（图1-14）。然而，对于轻度狭窄，当患者在静息状态时，狭窄远端压力和搏动没有或仅有轻微改变。如果通过运动或充血反应使狭窄处血流量增加。通过狭窄处的血流量增加时，由于血流速度相关的摩擦力（黏性力）的原因，能量丢失增加，造成病变远端的可测压力降低。

#### （四）血流改变

静息状态下，即使存在严重的动脉主干狭窄甚至完全阻塞，由于侧支循环的建立和外周阻力代偿性的减少，肢体的血流灌注量也可能维持在正常水平。在这种情况下，如前所述，测量收缩压比测量血流量能更好地评价阻塞或狭窄的存在及严重程度。只有当急性闭塞、侧支循环来不及建立，或在慢性动脉阻塞的病例中阻塞广泛且包括多节段狭窄部位时，静息血流量才会下降。尽管单一狭窄在静息状态下不足以引起症状或改变血流状态，但在运动需血量增加时，会显著地影响血液供应。在这些病例中，阻塞处的阻力（狭窄、侧支阻力或两者都有）和外周阻力均会阻碍血流量的正常增加，因而出现间歇性跛行的症状。

动脉阻塞会导致血液向邻近区域或血管床异常分布，这取决于相应的阻力和这些区域血管的解剖分布。例如：阻塞血管导致远端压力下降，运动时阻塞血管

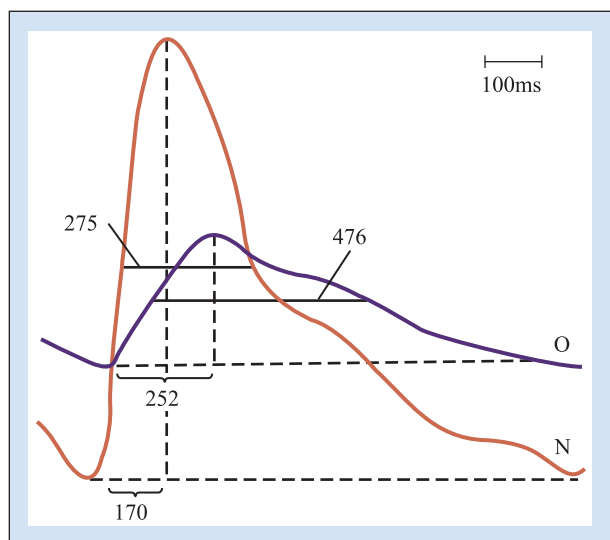
远端的肢体骨骼肌需血量增加，肌肉则从皮肤“盗血”，使足部皮肤的血供减少，患者感到足部麻木，这是跛行患者常见的症状。当下肢存在大范围的大血管阻塞且合并远端小分支阻塞时，使用血管舒张性药物或交感神经切断术可以将流向缺血区域的血流引向能扩张而阻力降低的组织。锁骨下动脉狭窄可引起椎动脉血流方向逆转而出现脑部症状（锁骨下动脉盗血综合征）；同样，颈内动脉狭窄会引起眼动脉血流方向的逆转，使面部眼动脉交通支开放。

#### （五）速度改变

在正常的动脉血管，血流速度在收缩早期迅速达到峰值，在舒张期下降，此时会出现折返血流。搏动速度波形与图1-8显示的压力差曲线相似。可以通过计算各种反映搏动性和阻力的指数来定性分析速度波形特征。也可以根据多普勒血流检测仪的动脉血流的声音来评价波形的特征。在正常外周动脉，可听到两声或三声，第二声代表舒张期折返血流（双相），第三声代表再次向前的血流（三相）。声音是两声还是三声没有实际的临床意义，可能与许多因素的相互作用有关，这些因素包括基础心率和压力波、血流波形。如前所述，后面2种因素依赖于外周血管收缩程度和动脉的弹性。

在狭窄的远端，速度波形变钝，与图1-14所示的压力波形相似。而且，动脉狭窄远端的血流折返消失。搏动指数下降，多普勒的可听信号只有单一声音（单相）而不是通常听到的两声或三声。狭窄远端折返血流消失可能由几个因素相互作用引起，包括：①在心动周期维持相对高水平的向前血流（因为通过狭窄处的压力衰减）；②狭窄部位阻止了血流折返；③相对的局部缺血引起的外周阻力减小；④狭窄引起压力波变钝，平均流速降低，造成压力搏动降低，但是相对于对舒张期血流反向发挥作用的反射来讲，这些处于次要位置，后者可以解释单相波仅存在于收缩期（高阻）而不是全心动周期（低阻）。

评价动脉阻塞处和阻塞远端血流速度对评价阻塞的意义十分有价值。多普勒波谱分析可以准确探测和定量分析狭窄引起的血流异常，在第2章、第3章进一步详细介绍频谱分析，但是，回顾一下正常和异常血流频谱所揭示的生理学意义是十分必要的。如前所述，一些因素，如血管分支，可以使血管流速波形由尖锐变得平钝见图1-3B。所以，在收缩期正常动脉中心的流速较高而相对一致，动脉血流速度多普勒频谱分析可以显示这些特征，表现为峰值流速波形较窄。而狭窄导致显著血流紊乱，如异常高速血流、射流、血细胞向不同方向以不同速度不规则运动及涡流形成见图



**图1-14** 正常肢体（N）和近端动脉阻塞肢体（O）的足背动脉搏动波。阻塞肢体波形的达峰时间延长（252ms）、波峰增宽（1/2峰值水平波形变宽，为476ms）[From Carter SA: Investigation and treatment of arterial occlusive disease of the extremities, Clin Med 79 (5): 13-24, 1972 (part I); Clin Med 79 [6]: 15-22, 1972 (part II).]

1-12。这种不同于血管轴向的微粒运动方向变化改变了多普勒频移,也使频谱的带宽加大。动脉狭窄的这些效应显示为收缩期流速波形增宽或分散(频带增宽)或者频窗充填,将在第3章详细讨论。

### 三、静脉血流动力学

如图1-1所示,当人体仰卧位时,血液流过微动脉和毛细血管后,压力明显降低。因为中静脉和大静脉管径较粗,对血流的阻力很小,所以血液容易从小静脉回流入压力接近于大气压的右心房。尽管动脉压力和血流搏动极少能影响静脉系统,但心脏活动及呼吸引起的胸膜腔内压变化会使静脉血流存在时相变化。了解这些变化有助于用无创的实验研究方法正确评价外周静脉。

本章最后一节讨论心脏循环和肺循环对静脉系统各部分的压力和流量影响,以及不同体位时下肢静脉的变化、静脉瓣功能正常及不全的病理生理变化,以及静脉阻塞的效应。

#### (一) 心动周期中静脉血流和压力变化

图1-15显示像腔静脉这样的大静脉在心脏周期中压力和流量变化。有时,压力和流量的振动会传递给更多的周围血管。中心静脉压波形有三个明显的正向压力波(a, c, v),它们反映心房压力的相应变化。a波由心房收缩和舒张引起;c波的上升支,相当于心室的等容收缩期,房室瓣关闭并突向心房使心房压上升。随后的下降支,相当于心室收缩过程中推动房室瓣环向心尖移动导致心房的容量增加,心房压下降。v波的

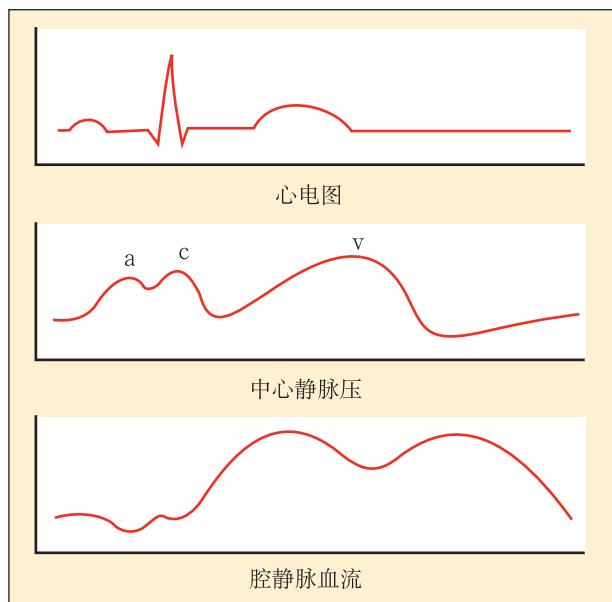


图1-15 中心静脉压和流量随心动周期变化

a: a波; c: c波; v: v波

上升支相当于心室收缩末期,房室瓣关闭,外周静脉血液回流入心房,心房压力被动升高。v波的下降支由舒张早期房室瓣开放,血液迅速离开心房进入心室所致的压力降低引起。

静脉压力波与血流的变化有关。在每个心动周期中,有两个时相静脉血流增加。第一个发生在心室收缩期,心肌收缩使房室瓣向心尖移动,使心房的容积增加,心房的压力降低,促使心外静脉血回流入心房。第二个增加静脉血流的时相发生在房室瓣开放时,血液由心房冲入心室。在心房收缩期间、心房收缩之后及心室收缩晚期,由于心房压增高,静脉回心血量下降。因为右心房与腔静脉连接处没有静脉瓣,在心房收缩时,会出现从心房到腔静脉的折返血流。

与心动周期有关的中央静脉的压力和流量变化在肢体的外周静脉表现不明显。这可能与一些因素造成的衰减有关,如静脉的易扩张性(顺应性)、腹内压以及胸廓上口处的机械压迫。因为右心收缩更容易传递到上肢的大静脉,所以上肢静脉,与心动周期有关的静脉速度搏动性变化比下肢更明显。

在异常情况下,如充血性心力衰竭或三尖瓣关闭不全时,静脉压升高,使心动周期对外周静脉压和血流的影响传递到上下肢。这种情况偶尔也见于正常人,或许是因为血流量增加而使静脉系统扩张所致。

#### (二) 呼吸对静脉血流的影响

呼吸对静脉压和静脉血流有明显的影响。吸气时,胸膜腔内压降低,胸部静脉流量增加、压力下降。呼气时则相反。腹部静脉对呼吸的反应则与胸部相反,吸气时由于膈肌下降使静脉压升高,呼气时膈肌上升使静脉压下降。吸气时,腹压增加,从而降低了下肢外周静脉与腹部之间的压力梯度,静脉回心血量降低。呼气时,腹压降低,下肢外周静脉与腹部之间的压力梯度增加,外周血管的回心血量相应增加。

在上肢静脉,呼吸引起的血流变化与下肢相反。吸气时胸膜腔内压降低,上肢静脉与右房压力梯度增加,导致流量增加。呼气时胸膜腔内压增高、右房压相应升高,流量减少。上肢血流量随呼吸变化的特性,可能受体位的影响。当双臂上举吸气时,静脉血流在吸气末趋于停止,呼气时恢复,这可能是由于辅助呼吸肌收缩时锁骨下静脉在第一肋水平受压的缘故。

肢体静脉血流的时相变化通常与呼吸有关;可以用多种仪器进行测量,包括多种形式的容积描记器和多普勒血流检测仪。可以通过控制呼吸来增加其对静脉速度的影响,例如Valsalva动作,可以增加胸膜腔内压和腹压,从而使外周静脉血流减少、消失甚至反流。