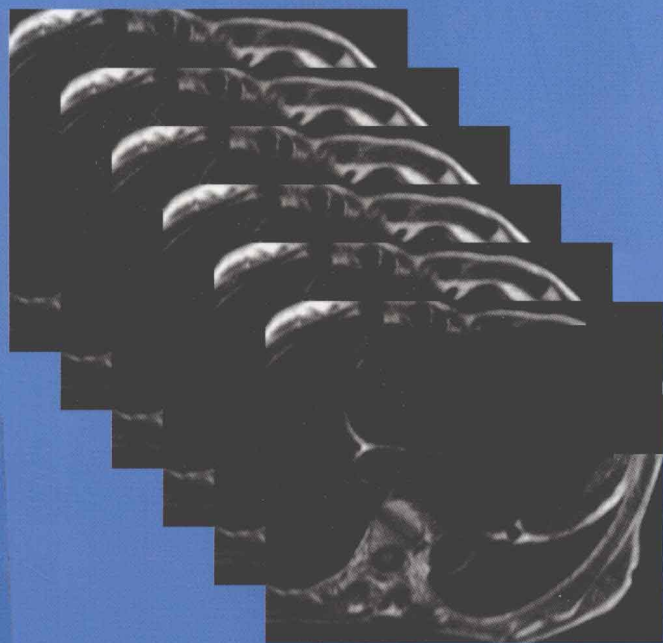


# 心血管病 磁共振诊断学

美杯頔 

Cardiovascular  
Magnetic Resonance Imaging



主 编 / 赵世华



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS



1000  
1000

# Cardiovascular Management Research and Imaging



1000  
1000

# 心血管病磁共振诊断学

Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging

主 编 赵世华

副主编 蒋世良 陆敏杰

编著者 (以姓氏笔画为序)

马 宁	韦云青	尹 刚	吕建华
闫朝武	刘 琼	祁晓鸥	李世国
张 岩	张卫军	俞飞成	翁得河
凌 坚	黄连军	曹 程	程怀兵



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

---

**图书在版编目(CIP)数据**

心血管病磁共振诊断学/赵世华主编. —北京:人民军医出版社,2011.5  
ISBN 978-7-5091-4695-8

I. ①心… II. ①赵… III. ①心脏血管疾病—磁共振—诊断学 IV. ①R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 044370 号

---

策划编辑:高爱英 文字编辑:刘新瑞 责任审读:伦踪启  
出版人:石虹

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店  
通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300-8172

网址:[www.pmmp.com.cn](http://www.pmmp.com.cn)

---

印刷:北京天宇星印刷厂 装订:恒兴印装有限公司

开本:889mm×1194mm 1/16

印张:17·彩页 3 面 字数:480 千字

版、印次:2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001~2800

定价:98.00 元

---

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换



## 主编简介

赵世华，男，1962年生，安徽池州人，医学博士，阜外心血管病医院教授、主任医师、博士生导师，主要从事心血管病影像学诊断和结构性心脏病介入治疗，在心血管病磁共振诊断研究领域造诣颇深。

中国医师协会放射学分会常委，中华医学会心血管病分会影像学组副组长。中华医学会放射学分会心胸学组委员，中国医师协会心血管内科医师分会先心病工作委员会常委。《中华心血管病杂志》和《中华放射学杂志》等十余种核心期刊编委，《中国医学影像技术》杂志常委，《中国介入影像与治疗学》副主编，《国际循环》影像组执行主编。《JMRI》《Heart》《The Annals of Thoracic surgery》等国外期刊审稿人。

国外留学四年，通英、德、法三门外语，已发表论文200余篇，其中SCI 20余篇。先后获得国家自然科学基金三次，高校博士点科研基金两次，首都医学发展科研基金联合攻关项目一次，国家十一五和十二五科技支撑计划各一项。

经导管小剂量溶栓治疗动脉阻塞性疾患获阜外医院医疗成就奖和国家教委科研基金。研制的心腔内右心旁路覆膜支架获国家实用新型专利证书。主动脉夹层介入治疗临床应用研究获教育部科技进步二等奖。心血管病介入性放射学技术及应用研究集体荣获卫生部科技进步一等奖及国家二等奖。

# 内容提要

## SUMMARY

本书由中国医学科学院阜外心血管病医院从事磁共振研究的专家及工作于一线的医师精心编撰。全书共 18 章,40 余万字,附图 600 余幅。第 1~3 章详细介绍了心脏磁共振相关的基本理论、成像机制及常用扫描序列,这部分内容特邀西门子医疗集团专家协助完成,文字描述力求准确简洁、通俗易懂。第 4~5 章讲述了心脏磁共振对比剂使用原则及心脏磁共振检查注意事项,系统总结了作者多年来的实践经验和体会。第 6~17 章是各论部分,逐一介绍了 MRI 在各类心血管病中的诊断价值、优势及不足,每一章节均按照病理学基础、临床特点、MRI 征象和鉴别诊断这一主线展开讲述,但侧重点又有所不同,力求个体化,部分章节增添了比较影像学的内容。第 18 章简要介绍了磁共振在心血管分子影像学研究中的应用,总结归纳了磁共振在心血管分子影像学领域的实验研究进展,旨在实时反映该领域的学术前沿和研究动态。本书内容翔实,图文并茂,针对性强,可作为放射科、心脏内外科及相关影像专业医疗和技术人员的参考书,亦可用于研究生和进修生的辅导教材。

# 序 一

## FOREWORD

近年来,心血管影像学发展迅速,临床应用渐趋广泛,对推动、提高心血管疾病的诊治水平发挥着越来越重要的作用。

MRI 无电离辐射,具有优良的软组织对比分辨率,新近空间和时间分辨率也有提高,结合大视野、任意平面成像的特点,能够在心脏形态、功能、心肌活性等成像中发挥“一站式(one-stop-shop)”检查作用。但 MRI 对心脏结构,如瓣膜活动的实时动态观察、心肌灌注代谢成像、高空间分辨率的冠脉成像等尚有不足之处。因此,应遵循“三轴(超声、MRI、CT)、两翼(X 线平片+造影和核医学)、一中心(病人)”的程序,结合效/价比、设备/应用普遍性等,重视各种影像技术综合诊断和优选应用。

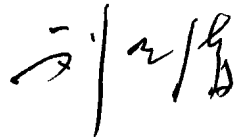
迄今,国内关于 MRI 诊断学的专著已见多部,但心血管疾病 MRI 诊断专著仍较少。值此时刻,赵世华教授主编并组织阜外心血管病医院放射科的中青年专家和专业人员,以本院多年的临床经验为基础,参考国内外文献编写了这部专著。本书共分 18 章,40 多万字,附图 600 余幅,第 1 章至第 5 章为 MRI 的基础理论和技巧,第 6 章至第 17 章为各类心血管疾病的 MRI 诊断的临床应用,第 18 章为磁共振在心血管分子影像学研究中的应用。

本书内容丰富、翔实,符合我国目前心血管 MRI 应用的实际情况,具有颇高的学术水平和临床应用价值,可供医学影像学、心脏内外科医师和技术人员参考阅读,也可作为研究生和进修生的辅导教材。

希望本书的出版对推动我国心血管病影像学进而医学影像学的发展起到积极作用。

中国工程院 院士  
中国医学科学院  
阜外心血管病医院

教授



2010 年 7 月

# 序二

## FOREWORD

诊断是治疗的基础,把握影像学诊断新技术有助于全面、准确地判断疾病的发生发展阶段,从而指导临床进行更加有针对性的治疗。MRI具有良好的时间、空间和软组织分辨率,结合其大视野、无电离辐射、任意平面成像的特点,能够在心脏形态、功能、心肌活性及分子成像中发挥真正的“一站式”(one-stop-shop)检查作用。目前国内关于MRI诊断学的专著已见多部,但基于心血管疾病MRI诊断的著作并不多见,从事该领域工作或学习的临床医师常常为苦于找不到理想的参考用书而遗憾。中国医学科学院阜外心血管病医院赵世华教授长期致力于心血管影像学诊断和介入治疗,在心脏磁共振领域造诣颇深,其所主编的本书堪称解惑之作。

阜外心血管病医院是一家享誉国内外的著名心血管病专科医院,本书图片资料基本都取材于该院,病种全面、内容翔实,令人难以释手。本书全部内容皆由作者根据自己在阜外医院丰富的临床经验以及多年来所总结的心得,历尽心血凝练而成,字字珠玑,堪称近年来心血管病诊断方面的佳作。

这是一本在该领域具有国内领先水平的参考书,不仅可供放射科等相关影像学专业医疗和技术人员参考,对临床一线的心血管内外科医师诊断水平的提高也具有重要指导意义。我相信此书的出版将对我国心血管病影像学检查的规范化应用以及临床医师的影像学培训起到良好的推动作用。

北京大学人民医院 教授  
中华医学会心血管病学分会主任委员

胡大一

2010年8月



# 前言

## PREFACE

近年来心血管磁共振成像技术发展迅速,临床应用日益广泛,在发达国家,心脏磁共振已成为心血管疾病的常规检查方法。目前我国心血管病磁共振诊断水平参差不齐,尚缺乏统一的操作规范和诊断标准。阜外心血管病医院自 1.5T 磁共振投入临床使用以来,与国际心血管磁共振同步发展,积累了大量的临床资料 and 实践经验。最近,随着国家心血管病中心落户阜外医院,心脏磁共振的学科发展面临着前所未有的机遇和挑战。为此,我们分析总结了大量临床病例,并参考诸多国内外相关文献,历经三载编著此书,旨在推广、普及 MRI 在心血管疾病诊断中的合理应用。

本书力图全面介绍 MRI 在心血管领域中的应用现状及未来的发展方向,内容涵盖 MRI 的基本成像原理、相关的序列和应用方法,以及常见心血管病的 MRI 诊断等。每一章节的撰写均遵循“密切结合临床,客观阐述 MRI 的优势和不足”这一原则,深入浅出,尽量将生涩的磁共振理论讲述得通俗易懂,以利于不同医学专业领域的读者均能从中获益。全书绝大多数图片资料均取自阜外心血管病医院的典型临床病例,部分病例已经获得病理证实,图片的设置力求给读者提供全面和丰富的信息。

本书在编写过程中,承蒙阜外医院同仁的大力协助,各位编者在编写过程中倾注了大量心血。刘玉清教授和胡大一教授对本书进行了精心评审,并对其构架提出了建设性的意见和建议。西门子医疗集团安靖工程师和 Jerecic Renate 在本书构思及成稿过程中给予了很多帮助和指导。病理科赵红教授为本书提供了珍贵的病理图片。在此谨向上述前辈及同仁表示最衷心的感谢。由于作者水平有限,加之 MRI 技术不断更新,书中纰漏之处在所难免,恳请读者批评、指正。

掩卷搁笔,眼前不禁浮现出父亲慈祥的面容,心中涤荡起无限感恩与怀念,同时,我亦感悟于沉重的责任与无尽的挑战。谨盼此书能成为编者与广大同行交流的平台,尽其责、飨读者。

国家心血管病中心  
阜外心血管病医院

教授、博士生导师



2010年8月20日

# 目录

## CONTENTS

<b>第 1 章 磁共振基础理论</b> ..... (1)	
1.1 自旋的概念 ..... (1)	
1.2 磁化强度矢量与外磁场 ..... (2)	
1.3 进动与拉莫方程 ..... (2)	
1.4 射频场与磁共振 ..... (3)	
1.5 $T_1, T_2, T_2^*$ 与对比度机制 ..... (4)	
1.6 自旋回波与梯度回波 ..... (6)	
1.7 层面选择与空间编码 ..... (8)	
1.8 基本序列..... (10)	
1.9 K 空间 ..... (11)	
1.10 欠采集 K 空间的快速成像技术 ... (12)	
<b>第 2 章 磁共振硬件及软件</b> ..... (15)	
2.1 硬件..... (15)	
2.1.1 磁体系统..... (15)	
2.1.2 梯度系统..... (16)	
2.1.3 射频系统..... (17)	
2.1.4 控制系统..... (18)	
2.2 软件..... (18)	
2.2.1 序列直接相关软件..... (18)	
2.2.2 序列无关软件..... (18)	
<b>第 3 章 常见扫描序列</b> ..... (19)	
3.1 基本序列..... (19)	
3.1.1 自旋回波(SE)家族 ..... (19)	
3.1.2 梯度回波家族..... (20)	
3.2 准备脉冲..... (22)	
3.2.1 反转恢复..... (23)	
3.2.2 饱和恢复脉冲..... (25)	
3.2.3 心肌标记..... (25)	
3.2.4 $T_2$ 准备 RF 脉冲..... (25)	
3.2.5 脂肪饱和..... (26)	
3.3 运动干扰的控制..... (26)	
3.3.1 ECG 门控 ..... (26)	
3.3.2 回波共享..... (28)	
3.3.3 脉搏门控..... (29)	
3.3.4 实时扫描法..... (29)	
3.3.5 呼吸调控..... (30)	
3.4 扫描技术的综合应用..... (31)	
3.4.1 形态学检查..... (31)	
3.4.2 功能评估..... (32)	
3.4.3 磁共振血流测量..... (33)	
3.4.4 心肌灌注..... (33)	
3.4.5 心肌活性..... (35)	
3.4.6 冠状动脉成像..... (36)	
3.5 磁共振图像质量控制..... (37)	
3.5.1 伪影..... (37)	
3.5.2 空间分辨力和信噪比..... (38)	
3.5.3 对比噪声比..... (39)	
3.5.4 心外膜下脂肪..... (39)	
<b>第 4 章 磁共振对比剂</b> ..... (41)	
4.1 概述..... (41)	
4.2 对比剂的分类及原理..... (41)	
4.2.1 $T_1$ 对比剂 ..... (42)	
4.2.2 $T_2$ 对比剂 ..... (43)	
4.3 对比剂的安全性..... (44)	
4.4 对比剂的应用..... (44)	
4.4.1 对比剂的应用剂量..... (44)	
4.4.2 对比剂的给药方式..... (44)	
4.4.3 对比剂的临床应用..... (45)	
4.5 局限性与展望..... (46)	
<b>第 5 章 心血管 MRI 检查策略</b> ..... (48)	
5.1 概述..... (48)	
5.2 磁共振检查前准备及安全性评估 ... (48)	
5.2.1 操作人员准备..... (48)	
5.2.2 患者准备..... (49)	

5.2.3 安全性评估·····	(49)	6.6.2 附壁血栓·····	(94)
5.3 心脏磁共振检查流程·····	(50)	6.7 鉴别诊断·····	(95)
5.3.1 磁共振检查相关仪器和设备·····	(50)	6.7.1 扩张型心肌病·····	(95)
5.3.2 常规扫描方案·····	(50)	6.7.2 肥厚型心肌病·····	(95)
5.3.3 常见心脏疾患的扫描要点·····	(61)	6.7.3 心肌淀粉样变性·····	(95)
5.4 血管磁共振检查流程·····	(62)	6.7.4 心肌炎·····	(95)
5.4.1 主动脉检查流程·····	(62)	6.7.5 应激性心肌病·····	(95)
5.4.2 常见血管疾病磁共振扫描要点·····	(62)	6.8 比较影像学·····	(95)
5.5 非对比剂增强磁共振血管成像·····	(64)	6.8.1 X线胸片·····	(95)
5.5.1 磁共振血管成像的基本原理·····	(65)	6.8.2 超声心动图·····	(95)
5.5.2 TOF 成像技术·····	(65)	6.8.3 核素心肌灌注扫描·····	(96)
5.5.3 相位对比 MRA·····	(66)	6.8.4 冠状动脉无创性成像·····	(96)
5.5.4 ECG 门控 3D 部分傅立叶快速自旋回波序列·····	(66)	<b>第 7 章 心肌病</b> ·····	(101)
5.5.5 非动脉标记的真实稳态进动成像·····	(68)	7.1 概述·····	(101)
5.5.6 动脉自旋标记(ASL)MRA·····	(68)	7.2 常见的检查序列及其应用·····	(102)
5.5.7 不同部位血管成像应用小结·····	(69)	7.3 肥厚型心肌病·····	(104)
5.5.8 展望·····	(70)	7.3.1 定义、分型和发病率·····	(104)
<b>第 6 章 缺血性心脏病</b> ·····	(73)	7.3.2 组织学·····	(105)
6.1 概述·····	(73)	7.3.3 临床特征·····	(105)
6.2 基本知识·····	(74)	7.3.4 病理生理·····	(105)
6.2.1 左室室壁节段划分·····	(74)	7.3.5 室间隔肥厚型心肌病 MRI 征象·····	(106)
6.2.2 心肌的生理学功能·····	(75)	7.3.6 HCM 的特殊亚型·····	(110)
6.2.3 心肌缺血的病理生理学·····	(76)	7.3.7 鉴别诊断·····	(115)
6.2.4 心肌活力和瘢痕组织·····	(78)	7.4 扩张型心肌病·····	(115)
6.3 冠心病 MRI 成像技术及其应用·····	(80)	7.4.1 基本知识·····	(115)
6.3.1 心肌灌注成像·····	(80)	7.4.2 常见的扫描序列和应用价值·····	(115)
6.3.2 对比剂延迟强化·····	(81)	7.4.3 诊断与鉴别诊断·····	(117)
6.3.3 药物负荷试验·····	(82)	7.5 限制型心肌病·····	(118)
6.3.4 冠状动脉磁共振成像·····	(83)	7.5.1 基本知识·····	(118)
6.3.5 磁共振频谱分析(MRS)·····	(84)	7.5.2 常见的扫描序列和价值·····	(118)
6.4 心肌缺血的 MRI 表现·····	(85)	7.5.3 MRI 征象·····	(118)
6.4.1 心肌灌注异常·····	(85)	7.5.4 鉴别诊断·····	(119)
6.4.2 室壁节段性运动异常·····	(86)	7.6 致心律失常性右心室型心肌病·····	(119)
6.4.3 其他·····	(87)	7.6.1 基本知识:定义、分期和临床诊断标准·····	(119)
6.5 心肌梗死的 MRI 表现·····	(87)	7.6.2 组织病理学及影像学基础·····	(119)
6.5.1 急性心肌梗死·····	(87)	7.6.3 MRI 影像学特征·····	(121)
6.5.2 陈旧性心肌梗死·····	(90)	7.6.4 综合影像学评价·····	(124)
6.6 心肌梗死并发症·····	(92)	7.7 左心室心肌致密化不全·····	(124)
6.6.1 室壁瘤·····	(92)	7.7.1 概述·····	(124)

7.7.2 MRI 主要征象和诊断标准	(125)	9.3 高血压的分期及其临床表现	(156)
7.7.3 鉴别诊断	(125)	9.4 磁共振检查方法及成像序列回顾	(157)
7.8 应激性心肌病	(127)	9.5 高血压性心脏病 MRI 征象	(157)
7.8.1 概述	(127)	9.6 继发性高血压的磁共振诊断	(159)
7.8.2 发病机制	(127)	9.6.1 正常肾上腺	(159)
7.8.3 影像学特征	(127)	9.6.2 肾上腺皮质腺瘤	(159)
7.8.4 诊断与鉴别诊断	(127)	9.6.3 嗜铬细胞瘤	(160)
7.9 心肌炎	(131)	9.6.4 肾动脉狭窄性病变	(160)
7.10 继发性心肌病	(133)	9.7 鉴别诊断	(161)
7.10.1 心肌淀粉样变性	(133)	9.8 比较影像学	(161)
7.10.2 心内膜心肌病变	(136)	9.8.1 X 线胸片	(161)
<b>第 8 章 心脏瓣膜病</b>	(141)	9.8.2 超声心动图	(162)
8.1 概述	(141)	9.8.3 CT	(162)
8.2 二尖瓣狭窄	(142)	<b>第 10 章 肺动脉高压与肺动脉血栓栓塞</b>	(163)
8.2.1 病因与病理	(142)	10.1 肺动脉高压	(163)
8.2.2 病理生理	(142)	10.1.1 概述	(163)
8.2.3 扫描序列及 MRI 征象	(142)	10.1.2 MRI 征象	(163)
8.3 二尖瓣关闭不全	(145)	10.2 肺动脉血栓栓塞	(166)
8.3.1 病因与病理	(145)	10.2.1 基本知识	(166)
8.3.2 病理生理	(145)	10.2.2 病理和病理生理	(166)
8.3.3 MRI 征象	(145)	10.2.3 成像序列及扫描程序	(166)
8.4 主动脉瓣狭窄	(146)	10.2.4 肺栓塞 MRI 征象	(166)
8.4.1 病因与病理	(146)	10.2.5 鉴别诊断	(170)
8.4.2 扫描序列及其征象	(146)	10.2.6 比较影像学	(171)
8.5 主动脉瓣关闭不全	(148)	<b>第 11 章 心脏肿瘤</b>	(173)
8.5.1 病因与病理	(148)	11.1 概述	(173)
8.5.2 病理生理	(148)	11.2 良性心肌心包肿瘤	(174)
8.5.3 扫描序列及其征象	(148)	11.2.1 黏液瘤	(174)
8.6 三尖瓣狭窄和关闭不全	(149)	11.2.2 横纹肌瘤	(175)
8.6.1 病因与病理	(149)	11.2.3 纤维瘤	(175)
8.6.2 MRI 扫描序列及其征象	(149)	11.2.4 脂肪瘤	(177)
8.7 肺动脉瓣狭窄和关闭不全	(151)	11.2.5 淋巴管瘤	(180)
8.7.1 病因和病理	(151)	11.2.6 血管瘤	(180)
8.7.2 MRI 扫描序列及其征象	(151)	11.2.7 副神经节瘤	(181)
8.8 联合瓣膜病	(151)	11.2.8 乳头状纤维弹力瘤	(181)
8.9 MRI 在瓣膜替换术后的随访价值	(151)	11.2.9 神经纤维瘤	(181)
<b>第 9 章 高血压和高血压性心脏病</b>	(155)	11.2.10 平滑肌瘤	(182)
9.1 概述	(155)	11.2.11 畸胎瘤	(182)
9.2 高血压诊断标准,分类及病理生理改变	(155)	11.3 心脏恶性肿瘤	(184)
		11.3.1 肉瘤	(184)

11.3.2 淋巴瘤	(186)	13.5.3 右心室双出口	(212)
11.3.3 间皮瘤	(186)	13.5.4 大动脉错位	(212)
11.3.4 转移瘤	(186)	13.5.5 共同动脉干	(213)
11.4 良恶性判断和组织学推断	(186)	13.5.6 肺动脉闭锁	(214)
<b>第12章 心包疾患</b>	(189)	13.5.7 三尖瓣闭锁	(214)
12.1 概述	(189)	13.6 大血管畸形	(215)
12.2 正常心包	(189)	13.6.1 动脉导管未闭	(215)
12.3 心包囊肿	(190)	13.6.2 主动脉缩窄	(216)
12.4 心包缺如	(191)	13.6.3 肺静脉异位连接	(216)
12.5 心包积液	(191)	13.7 成年人先天性心脏病临床应用 价值及推荐意见	(218)
12.6 心包炎	(195)	13.7.1 CMR 诊断 ACHD 的优势	(218)
12.6.1 病因、病理和分类	(195)	13.7.2 CMR 诊断 ACHD 的不足	(218)
12.6.2 病理生理及血流动力学变化	(196)	13.7.3 CMR 应用于 ACHD 的推荐 意见	(218)
12.6.3 常见的 MRI 成像序列及其 特征	(196)	13.7.4 CMR 应用于 ACHD 的一般 建议	(219)
12.6.4 缩窄性心包炎的 MRI 征象	(196)	13.7.5 CMR 在某些 ACHD 及其手 术中的应用	(219)
12.6.5 缩窄性心包炎的鉴别诊断	(198)	<b>第14章 急性主动脉综合征</b>	(222)
12.7 比较影像学	(200)	14.1 概述	(222)
12.7.1 X线胸片	(200)	14.2 常见扫描序列及其特点	(222)
12.7.2 超声心动图	(200)	14.2.1 黑血序列	(222)
12.7.3 CT	(200)	14.2.2 亮血序列	(223)
12.7.4 MRI	(200)	14.2.3 3D CE-MRA	(223)
<b>第13章 先天性心脏病</b>	(202)	14.2.4 Time resolved 3D CE-MRA 或 4D CE-MRA	(223)
13.1 概述	(202)	14.3 常见扫描步骤和方法	(224)
13.2 扫描序列和体位	(203)	14.4 主动脉夹层	(224)
13.3 心脏节段分析法	(203)	14.4.1 定义	(224)
13.3.1 心脏位置	(203)	14.4.2 主动脉夹层的分型	(224)
13.3.2 内脏-心房位	(203)	14.4.3 主动脉夹层的征象	(225)
13.3.3 房-室连接关系	(203)	14.5 主动脉壁间血肿	(227)
13.3.4 心室-大动脉连接关系	(204)	14.5.1 定义	(227)
13.3.5 大动脉空间位置关系	(204)	14.5.2 主动脉壁间血肿的征象	(227)
13.4 单发畸形	(204)	14.6 主动脉穿透性溃疡	(228)
13.4.1 房间隔缺损	(205)	14.6.1 定义	(228)
13.4.2 室间隔缺损	(206)	14.6.2 主动脉穿透性溃疡的征象	(228)
13.4.3 三尖瓣下移畸形	(206)	14.7 比较影像学	(229)
13.4.4 肺动脉瓣狭窄	(207)	<b>第15章 主动脉瘤</b>	(231)
13.5 心脏复杂或复合畸形	(209)		
13.5.1 法洛四联症	(209)		
13.5.2 单心室	(209)		

15.1 概述·····	(231)	16.8 比较影像学·····	(242)
15.2 真性动脉瘤·····	(231)	<b>第 17 章 大动脉炎</b> ·····	(244)
15.2.1 病因·····	(231)	17.1 概述·····	(244)
15.2.2 分型·····	(231)	17.2 病理·····	(244)
15.2.3 病理和生理改变·····	(231)	17.3 临床表现·····	(244)
15.2.4 临床表现·····	(232)	17.4 大动脉炎 MRI 征象·····	(245)
15.2.5 MRI 检查步骤和方法·····	(232)	17.4.1 头臂动脉型·····	(245)
15.2.6 MRI 征象·····	(232)	17.4.2 腹主-肾动脉型·····	(245)
15.3 假性动脉瘤·····	(233)	17.4.3 混合型·····	(247)
15.3.1 基本知识·····	(233)	17.4.4 肺动脉型·····	(247)
15.3.2 MRI 征象·····	(233)	17.5 鉴别诊断·····	(247)
15.4 马方综合征·····	(233)	17.6 比较影像学·····	(248)
15.4.1 基本知识·····	(233)	<b>第 18 章 磁共振在心血管分子影像学研究</b>	
15.4.2 病因和病理·····	(233)	<b>中的应用</b> ·····	(250)
15.4.3 临床表现·····	(233)	18.1 概述·····	(250)
15.4.4 MRI 征象·····	(234)	18.2 分子影像学成像基础·····	(250)
15.5 比较影像学·····	(235)	18.2.1 靶细胞或靶分子·····	(251)
<b>第 16 章 主动脉及外周动脉粥样硬化性</b>		18.2.2 分子探针·····	(251)
<b>病变</b> ·····	(237)	18.2.3 MR 分子影像学研究中常采	
16.1 概述·····	(237)	用的报告基因·····	(251)
16.2 病因和发病机制·····	(237)	18.2.4 磁共振信号放大系统·····	(252)
16.3 病理学·····	(238)	18.3 磁共振在心血管分子影像学研究	
16.4 临床表现·····	(238)	<b>中的应用</b> ·····	(252)
16.5 MRA 扫描方法及其特点·····	(238)	18.3.1 评价动脉粥样硬化斑块稳定	
16.6 MRA 征象·····	(239)	性及斑块特征·····	(252)
16.6.1 头臂动脉·····	(239)	18.3.2 血栓形成过程成像·····	(252)
16.6.2 腹主动脉和肾动脉·····	(239)	18.3.3 MR 对干细胞移植治疗心肌	
16.6.3 髂动脉和下肢动脉·····	(241)	梗死的疗效评价·····	(253)
16.7 鉴别诊断·····	(242)	18.4 展望·····	(254)

- |                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| 1.1 自旋的概念                    | 1.6 自旋回波与梯度回波        |
| 1.2 磁化强度矢量与外磁场               | 1.7 层面选择与空间编码        |
| 1.3 进动与拉莫方程                  | 1.8 基本序列             |
| 1.4 射频场与磁共振                  | 1.9 K 空间             |
| 1.5 $T_1, T_2, T_2^*$ 与对比度机制 | 1.10 欠采集 K 空间的快速成像技术 |

核磁共振(nuclear magnetic resonance, NMR)是一门研究原子核在静磁场中与电磁波相互作用的科学。原子核的运动规律可以利用量子力学进行清晰地描述。本章介绍的磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是核磁共振技术在医学领域的重要应用。医学影像学研究对象的尺度相对于原子核来说处于宏观世界,用经典的牛顿物理学就可以很好地解释。为使问题简单化,本章将尽量用经典模型解释核磁共振现象。此外,磁共振波谱学(magnetic resonance spectroscopy)是医用磁共振的另一个重要分支。由于其原理涉及许多微观量子力学知识,在这里仅提及其相关的简单概念。

临床磁共振成像设备对射频激发功率进行了严格的限制,将人体对射频辐射的吸收控制在可以忽略的范围内,因此,磁共振成像是一种对人体无创的成像技术,适用于各个年龄阶段的人群。此外,磁共振成像灵活的对比度机制使之能够方便地探测组织的多重特性。

## 1.1 自旋的概念

MRI 主要研究氢原子(质子)与外磁场的相互作用规律。基本粒子(如质子、电子和中子)具有自旋的内在属性,自旋可以简单地理解为粒子绕某一转轴进行高速自转运动。运动的电场产生磁场,因此,带电粒子同时具有磁矩。中子虽然不带电,但中子内部也由电荷构成,由于其内部电荷的分布不均匀,中子的磁矩不为零。可以将磁矩形象地理解为一个具有极性的小磁针。原子量不为 1 的原子核由多个质子和中子组成,为使其结构达到最稳定的状态,两个自旋方向相反的质子或中子通常配成一对,使其总自旋和总磁矩为零。因此,质子和中子均为偶数的原子核磁矩为零。质子或中子个数为奇数的原子核具有磁矩和自旋,称为磁性原子核,部分常用的原子核及其自旋量子数,见表 1-1。

表 1-1 常用的原子核及其自旋量子数

原子核	自旋量子数	旋磁比/ $[10^5 \text{ Gy}/(\text{T} \cdot \text{s})]$	1.0T 场中的频率/MHz	相对磁化率
$^1\text{H}$	1/2	26.751 9	42.576	1.00
$^{13}\text{C}$	1/2	6.728 3	10.705	$2.24 \times 10^{-2}$
$^{19}\text{F}$	1/2	25.181	40.054	0.845
$^{31}\text{P}$	1/2	10.841	17.235	$8.32 \times 10^{-2}$

由表 1-1 可以看出,  $^1\text{H}$  的相对磁化率最高, 同时也是人体含量最多的原子核, 广泛存在于人体各种组织中, 因而成为最早应用到磁共振成像中的原子之一。如无特殊说明, 本书的磁共振图像均为  $^1\text{H}$  的磁共振图像。理论上人体中所有的磁性原子核均可应用于磁共振成像, 随着磁共振理论及技术的发展,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{39}\text{K}$  等其他原子核已逐渐应用于磁共振波谱的研究中。

## 1.2 磁化强度矢量与外磁场

物质的磁性大致可以分为 3 类, 即顺磁性、抗磁性和铁磁性。铁磁性物质在外加磁场中可被磁化而具有永久磁性。其他两类物质在无外加磁场情况下, 大量原子核磁矩的取向随机分布, 磁矩的磁场相互抵消, 因此对外不显示磁性。对于大量氢原子核, 如果从某时刻开始施加外磁场  $B_0$ , 原子核的磁矩将分裂为与主磁场平行和反向平行两部分, 起初平行与反向平行的原子核数目相等, 因此, 对外仍然不显示磁性。此后, 随着时间的推

移, 越来越多的原子核的磁矩取向与外磁场保持一致, 经过一段时间后达到平衡状态, 单位体积内原子核的磁矩产生了与外磁场平行的净磁化强度。定义为公式 1-1:

$$M = \chi H \quad (1-1)$$

式中:  $M$  为单位体积物体产生的磁化矢量,  $H$  为外加磁场,  $\chi$  为物质的磁化率(其中  $\chi > 0$  的物质显示顺磁性, 人体中脱氧血红蛋白为顺磁性物质;  $\chi < 0$  的物质显示抗磁性, 人体中大部分组织显示抗磁性)。

到达平衡态时, 一个体素内究竟有多少质子可以用来成像呢? 下面来看一个具体的例子。在  $1\text{mm}^3$  水内部, 含有大约  $6.7 \times 10^{19}$  个氢原子。在  $1.0\text{T}$  的外磁场中, 当平行与反向平行的自旋相互抵消之后, 约有百万分之六的氢原子核, 即 400 万亿个氢原子, 将产生平行于外磁场取向的净磁化强度(图 1-1), 与氢原子核的磁矩相比,  $1\text{mm}^3$  体素的氢原子产生的磁化矢量属于宏观的量, 它的磁矩与取向不再是量子化的, 而是具有连续的大小和方向。

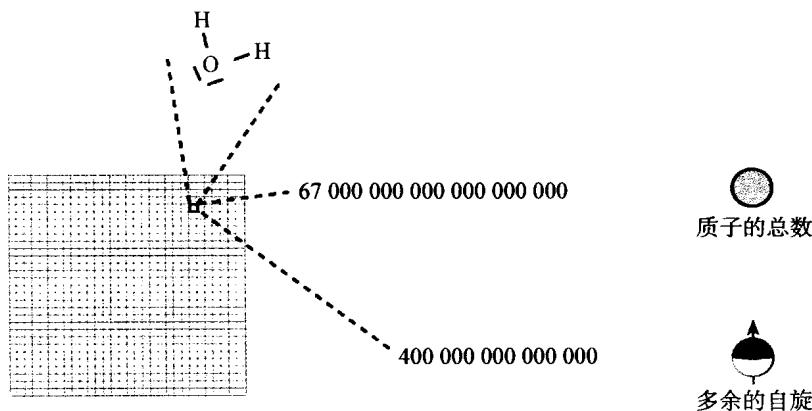


图 1-1 氢原子核的自旋

$1\text{mm}^3$  水内部含有大约  $6.7 \times 10^{19}$  个氢原子, 在  $1.0\text{T}$  的外磁场中, 存在着与外磁场方向平行同向或反向的自旋, 相互抵消后, 约有百万分之六的氢原子核, 即 400 万亿个氢原子产生净磁化强度

到达平衡态时, 磁化矢量  $M_0$  的大小与外磁场的强度成正比。场强越强, 相同体素内参与磁共振有效成像的氢原子核越多, 磁共振信号越高, 这是高场磁共振信噪比高的主要原因。磁场强度用特斯拉(T)为单位, 一般把  $< 0.5\text{T}$  称为低场,  $0.5 \sim 1.0\text{T}$  称为中场,  $1.0 \sim 2.0\text{T}$  称为高场,  $>$

$2.0\text{T}$  称为超高场。

## 1.3 进动与拉莫方程

如果外磁场  $B$  与磁化强度矢量的方向有一个夹角, 磁化强度矢量将像陀螺一样围绕外磁场



进动,见图 1-2。

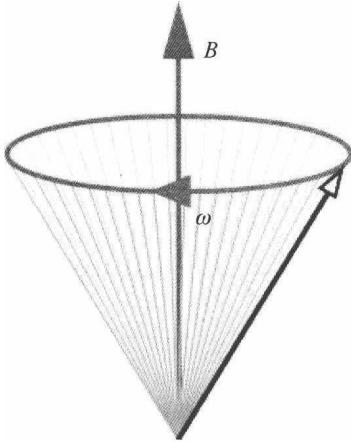


图 1-2 外磁场中原子核的拉莫进动  
外磁场中,原子核由于自旋产生的磁化强度矢量像陀螺一样围绕外磁场进动

进动的频率可以通过拉莫方程计算,见式 1-2:

$$\omega_0 = \gamma B_0 \quad (1-2)$$

式中: $\omega_0$  为进动的频率(拉莫频率), $\gamma$  为旋磁比, $B_0$  为外磁场。

旋磁比对于特定的原子核来说是个常数,定义为在 1.0T 磁场中该物质原子核进动的拉莫频率。氢核是人体磁共振成像的主要物质,其旋磁比为 42.58MHz/T。如果成像的体素足够小,可以认为在该体素内所有自旋的拉莫频率相同,这种体素又称为等色核。在磁共振成像中经常提到的“自旋”的概念即是指等色核产生的磁化强度矢量。本书在讨论磁共振成像的有关问题时,并不特意区分自旋和等色核的磁化强度矢量这两个概念。

进动过程中磁化强度矢量的横向分量在  $x-y$  平面内绕原点做圆周运动。 $M_{xy}$  与水平轴的夹角  $\theta$  称为该磁化强度矢量的相位(图 1-3)。磁共振成像即是利用大量自旋在不同位置、不同时刻相位的差别成像的。

## 1.4 射频场与磁共振

前面提到,磁化矢量会绕外磁场的轴线进动,

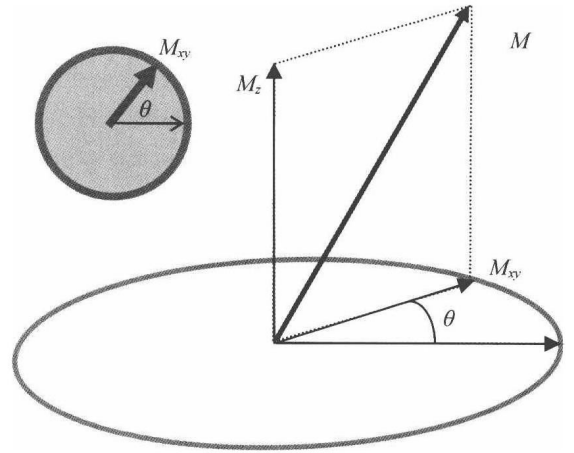


图 1-3 磁化强度矢量的横向分量

进动过程中磁化强度矢量在  $x-y$  平面内的横向分量( $M_{xy}$  绕原点做圆周运动。 $M_{xy}$  与水平轴的夹角  $\theta$  又被称为该磁化强度矢量的相位)

一般定义  $z$  轴为主磁场方向。如果外界射频电磁场的方向与  $z$  轴垂直,并且以拉莫频率振荡,此时自旋系统会发生一种特殊的进动,即共振。磁共振现象与音叉和声波的共振现象类似。当音叉振动的本征频率与空气中传播的声波频率相同时,音叉会自动地发出声响,这种现象称为共振(图 1-4)。与此类似,当磁化强度矢量的拉莫频率与外界射频电磁场的频率相同时,外界电磁场的能量将被自旋系统吸收,从而使磁化强度矢量离开平衡态,并被翻转到某一角度(图 1-5)。

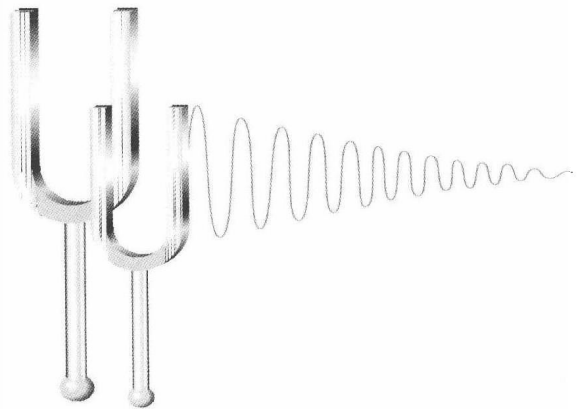


图 1-4 音叉和声波的共振现象

小号音叉振动的本征频率与空气中传播的机械波频率相同,发生共振并发出声音