

CARDIOVASCULAR MRI & MRA

心血管 MRI 和 MRA

(美) CHARLES B. HIGGINS

ALBERT DE ROOS 主编

程敬亮 张兆琪 张 勇 主译

祁 吉 李坤成 审校

R540.14
8122

CARDIOVASCULAR MRI & MRA

心血管 MRI 和 MRA

(美) CHARLES B. HIGGINS

ALBERT DE ROOS 主编

程敬亮 张兆琪 张 勇 主译

祁 吉 李坤成 审校

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

内容简介

本书由来自不同国家的 50 余位国际知名医学影像学专家共同编著。作者在系统阐述磁共振成像 (MRI) 和磁共振血管造影 (MRA) 基本理论、基本技术的基础上, 重点介绍了 MRI 和 MRA 在各种先天性心脏病、后天性心脏病和血管疾病中的应用, 书中第三部分尤为详尽地讲述了 MRI 和 MRA 在缺血性心脏病中的广泛应用。全书有 400 余幅图片, 既有直观的成像原理示意图, 又有大量典型病例的 MRI 和 MRA 图像。

Chinese translation published by arrangement with

Lippincott Williams & Wilkins Inc. U.S.A.

版权所有, 翻印必究

著作权合同登记号: 图字 16-2004-5

图书在版编目 (CIP) 数据

心血管 MRI 和 MRA = Cardiovascular MRI And MRA / (美) 希金斯 (Higgins C.B.), 罗斯 (De Roos A.) 主编; 程敬亮等主译. — 郑州: 河南科学技术出版社, 2008.1
ISBN 978-7-5349-3581-7

I. 心… II. ①希…②罗…③程… III. ①心脏血管疾病—磁共振成像—诊断学②心脏血管疾病—磁共振血管造影—诊断学
IV. R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192547 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371)65737028

网址: www.hnstp.cn

责任编辑: 李娜娜 赵影影

责任校对: 崔春娟 周立新 张景琴

封面设计: 张 伟

版式设计: 常红岩

印 刷: 河南第一新华印刷厂

经 销: 全国新华书店

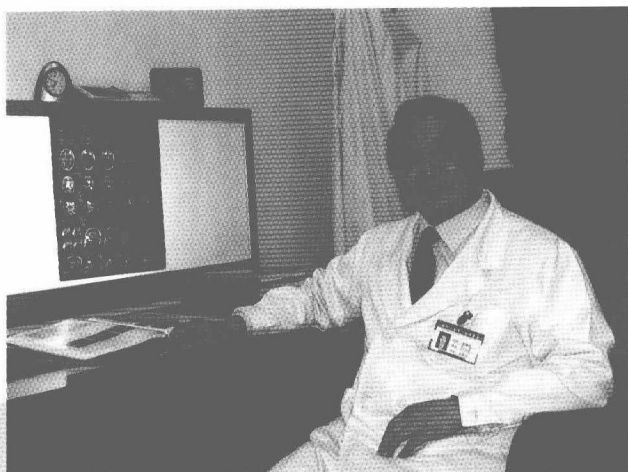
幅面尺寸: 210mm × 297mm 印张: 32.25 字数: 954 千字

版 次: 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 180.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系。

主译简介



程敬亮

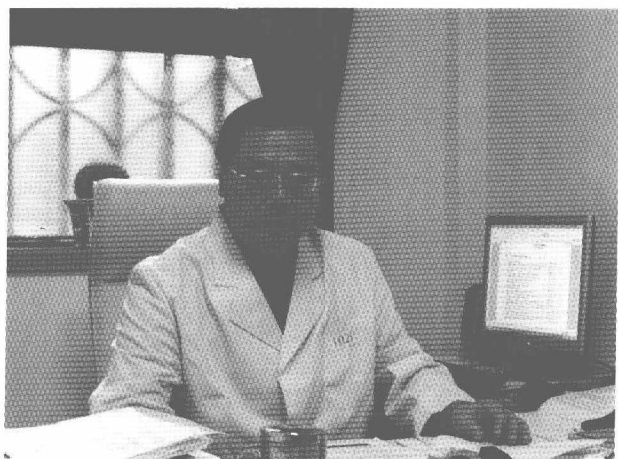
程敬亮，男，1964年8月出生，河南省太康县人。现为郑州大学（原河南医科大学）第一附属医院放射科教授、主任医师、医学影像专业博士生导师。先后被评为河南省优秀专家、河南省跨世纪学术学科带头人和河南省优秀中青年骨干教师。

1985年7月河南医科大学医疗系本科毕业，先后在河南医科大学第二附属医院放射科和郑州大学第一附属医院放射科从事放射诊断的医疗、教学和科研工作。并于2007年在美国南加州大学医学院研修MRI诊断1年。已完成河南省科技攻关和河南省自然科学基金项目8项，并分别获得河南省科技进步二等奖和三等奖，尚完成了河南省医学创新人才工程1项、河南省教育厅科研项目4项。共获科研资助基金200余万元。目前的主要研究课题《缺血性脑血管病的影像学诊断和相关治疗研究》，已同时得到河南省杰出青年科学基金、河南省重点科技攻关项目、河南省医学创新人才工程项目基金、河南省杰出人才计划和河南省高校优秀人才支持计划的资助和支持。已发表科研论文120余篇。主编和参编医

学影像学专著10部，主译4部，主审1部。已获国家实用新型发明专利4项。已培养硕士和博士研究生26名。

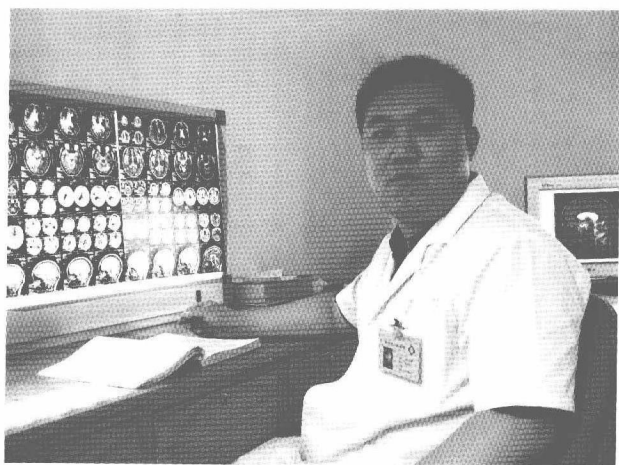
工作中注重全面发展，但更擅长于中枢神经系统、五官疾病和胸部疾病的影像学诊断。对眼外伤、眼异物、脑血管病和脊髓纵裂畸形的影像学诊断进行了深入细致的研究，填补了国内外多项研究空白，《眼外伤性病变的影像学诊断比较研究》、《脊髓纵裂的分型、影像学诊断和治疗研究》和《脑囊虫的磁共振成像诊断研究》分别获得1998年、1999年和2006年度河南省科技进步二等奖。多次受邀参加RSNA、ECR、ESMRMB和JRC等国际放射学术会议。

主要学术兼职有：河南省放射学会主任委员，河南省介入治疗专业委员会名誉主任委员，中华放射学会全国委员，中国医学影像技术研究会常务理事，河南省影像技术学会副主任委员，河南省医师协会放射学分会副会长，是《中华放射学杂志》等十多种影像学杂志编委或常务编委。



张兆琪

张兆琪，男，主任医师，教授，博士生导师，1970年毕业于协和医科大学。先后在天津医科大学总医院放射科、天津医科大学第二医院放射科、首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科任职。现为首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科主任，北京放射学会委员，中华医学会放射学分会心胸组委员，多种专业期刊编委和特约审稿人。自1984至1985年作为访问学者在美国Cleveland Clinic学习磁共振成像技术以来，长期从事磁共振成像的相关研究，是我国早期从事磁共振影像诊断学的专家之一。在心脏、大血管、骨关节疾病的磁共振诊断以及脑功能磁共振成像方面造诣颇深。近些年来，在国内外各种学术期刊上发表论文40余篇，主编或参编专著10余部，培养或联合培养博士后、博士生、硕士生10余人，承担在研课题3项（国家级1项、省部级2项）。已完成课题“肺动脉血栓栓塞的基础与临床研究”获2002年度北京市科技进步三等奖。



张 勇

张勇，男，1977年出生，河南省焦作市人，主治医师，2004年毕业于郑州大学医学院，获影像专业硕士学位，现为郑州大学医学院医学影像学专业博士研究生，从事影像诊断的医疗、教学和科研工作，具有丰富的磁共振诊断经验。擅长中枢神经系统和心血管疾病的影像学诊断。参与编著医学影像学专著4部，发表科研论文30余篇，获河南省科技进步二等奖1项，获国家实用新型发明专利2项。

译者名单

主 译 程敬亮 张兆琪 张 勇

副主译 崔晓琳 王梅云 任翠萍

参译人员 (以姓氏笔画为序)

于 薇 马晓海 王 珏 王永梅 王梅云 石士奎
白 洁 吕 飏 乔晨辉 刘予东 刘克成 刘依凝
毕 涛 杜 彦 杜 靖 邱春光 陈 尔 陈学军
张 岚 张 勇 张 焱 张兆琪 张会霞 杨 涛
杨运俊 苗翠莲 范占明 赵艺蕾 贺 毅 秦石成
晋 晖 高雪梅 郭 曦 姜 涛 黄小勇 崔晓琳
董 莉 程敬亮 温兆赢 戴沁怡

审 校 祁 吉 李坤成

中文版序

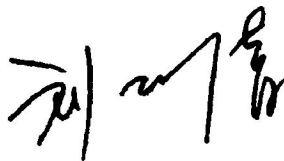
自 20 世纪 80 年代初 MRI 应用于临床不久,即用于心脏大血管的检查。早期,因条件的限制,主要用于大体形态的检查。其后由于 MRI 硬件、软件的不断改进和更新,包括脉冲序列和成像技术以及相应临床应用研究的显著进展,20 世纪 90 年代初中期, MRI 已与超声心动图、CT、X 线数字成像和放射性核素显像并列,成为现代心血管影像学的重要组成部分。MRI 具有大视野、多体位直接成像、无射线、高对比,以及高组织分辨力的优势。随着近年来时间和空间分辨力的不断提高, MRI 对心血管疾病的医疗、科研和教学工作必将发挥越来越重要的作用。

值此时期,由郑州大学第一附属医院程敬亮教授和首都医科大学附属安贞医院张兆琪教授等翻译的《心血管 MRI 和 MRA》一书即将出版,值得祝贺。这一专著由国外知名的医学影像学专家、对心血管 MR 诊断造诣颇深的 Charles B. Higgins 和 Albert de Roos 主编。该书内容丰富,在讲述基本原理的基础上概括了主要获得性和先天性心脏病及血管疾病的 MRI 和 MRA 的诊断分析,图文并茂。中文版译文流畅,是一本有用而难得的心血管 MR 成像的参考书。祝愿并相信,该书中文版的出版不仅有赖广大读者,并将对推动我国心血管 MRI 与 MRA,进而促进心血管影像学的发展,发挥积极作用。

中国工程院院士

中国协和医科大学附属

阜外医院放射科教授



2007 年 10 月

中文版前言

20世纪40年代X线心血管造影始用于临床，一经问世，即极大地推动了心血管疾病诊断与手术治疗的发展，并成为心血管疾病临床诊断的金标准。近20多年来陆续有多种影像诊断新技术诞生并应用于临床，尤其是磁共振成像（MRI）技术的迅速发展。目前，MRI已可无创地从形态学、血流学及心功能等方面对心血管疾病进行全面的评估和诊断。

心血管MRI应用于临床在国外始于20世纪80年代初期，我国起步较晚。目前国内有关MRI诊断的著作已有很多，但重点而系统阐述心血管MRI诊断的著作则甚少。有鉴于此，我们十分高兴地接受了河南科学技术出版社的委托，翻译《心血管MRI和MRA》一书。

本书包括基本原理、后天性心脏病、缺血性心脏病、先天性心脏病和血管疾病5个部分，共29章，约100万字，图400余幅。全书详细介绍了当前MRI的新技术和各种心血管疾病的MRI诊断知识。本书的出版将有力提高影像科医生对MRI诊疗心血管疾病的认识，是影像科医生和心血管内、外科等相关临床科室医生不可多得的一本参考书。

在本书的翻译过程中，承蒙郑州大学第一附属医院和首都医科大学附属安贞医院放射科多位同仁的大力支持和协助，谨此表示衷心的感谢。特别感谢天津医科大学附属第一中心医院祁吉教授和首都医科大学附属宣武医院的李坤成教授在百忙中审校本书中译本。衷心感谢中国工程院院士、北京阜外医院刘玉清教授为本书中文版作序。

在翻译过程中，我们力求做到准确并忠于原著，但由于水平有限，错误之处在所难免，恳切希望同道斧正。

程敬亮 张兆琪 张 勇

2007年7月

原 著 序

经过20多年的发展,磁共振成像(MRI)已是一种比较成熟、几乎能用于人体各个部位的成像技术,然而心血管MRI技术却不十分完善,并少为人们所熟知。首例人体心脏MRI检查大约是在1982年,但20年后,诊断医师对MRI在心血管疾病中的应用仍然缺乏足够的了解和认识。最近5年来,随着MRI梯度系统的改进和新脉冲序列的应用,MRI技术得到了飞跃发展,可以从形态学和生理学对心血管系统做出全面评估及精确量化。

我们撰写本书的目的在于提高医务工作者对MRI和MRA在心血管疾病诊断价值方面的认识水平。鉴于心血管MRI技术的发展日新月异,我们编写本书,从起草到初稿完成不到1年时间。

本书共分为5部分。第1部分系统介绍了有关心血管MRI的技术和基础知识;第2、第3和第4部分分别介绍了MRI在各种心血管疾病中的应用价值,其中第3部分共9章更为详尽地介绍了MRI在缺血性心脏病中的广泛应用;第5部分阐述了MRA对血管性病变的评价意义。

本书作者为来自不同国家的从事心血管疾病研究的医学工作者、心脏病专家和影像学专家,他们为心血管MRI和MRA的发展和临床应用付出了长期的辛勤劳动和不懈努力。

Charles B. Higgins, MD

Albert de Roos, MD

作者名单

- Haydar Akbari, MD** Research Fellow, Department of Radiology, University of California San Francisco, San Francisco, California
- Charles M. Anderson, MD, PhD** Associate Professor, Department of Radiology, University of California San Francisco, Chief of MRI, Department of Radiology, San Francisco VA Medical Center, San Francisco, California
- Philip A. Araoz, MD** Clinical Instructor, Department of Radiology, University of California San Francisco, San Francisco, California
- Frank M. Baer, MD, PhD** Associate Professor, Klinik III für Innere Medizin, Universität zu Köln, Köln, Germany
- W.L.F. Bedaux, MD** Research Fellow, Department of Cardiology, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, The Netherlands
- René M. Botnar, PhD** Visiting Scientist, Cardiovascular Division, Harvard Medical School, Senior Scientist, Cardiovascular Division, Beth Israel Deaconess Medical Center, Boston, Massachusetts
- Lawrence M. Buxt, MD** Professor of Clinical Radiology, Department of Radiology, Albert Einstein College of Medicine, Chief of Cardiovascular Imaging, Department of Radiology, Beth Israel Medical Center, New York, New York
- Arno Bücker, MD** Associate Professor, Department of Diagnostic Radiology, University Clinic Aachen, Aachen, Germany
- Shalini G. Chabra, MD** Research Fellow, Department of Radiology, Weill Medical College of Cornell University, Resident, Department of Internal Medicine, Metropolitan Hospital, New York, New York
- Graham R. Cherryman, FRCR** Professor, Department of Radiology, University of Leicester, Honorary Consultant and Clinical Director, Department of Radiology, University Hospitals of Leicester, Leicester, United Kingdom
- Kelly M. Choi, MD** Cardiology Fellow, Department of Medicine/Cardiology, Duke University, Cardiology Fellow, Duke Cardiovascular Magnetic Resonance Center, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina
- Jozo Crnac, MD** Abteilung für Kardiologie, Sankt Katharinen Hospital Frechen, Frechen, Germany
- Jörg F. Debatin, MD, MBA** Professor and Chairman, Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Essen, Essen, Germany
- Albert de Roos, MD** Professor and Vice Chairman, Department of Radiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Martijn S. Dirksen, MD PhD** Research Student, Department of Radiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Qian Dong, MD** Researcher, Department of Radiology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan
- Joost Doornbos, PhD** Scientist, Department of Radiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Rossella Fattori, MD** Assistant Professor and Chief, Cardiovascular Unit, Department of Radiology, S. Orsola University Hospital, Bologna, Italy
- Zahi A. Fayad, PhD** Associate Professor, Departments of Radiology and Medicine (Cardiology), Mount Sinai School of Medicine, Director, Cardiovascular Imaging Research, The Zena and Michael A. Weiner Cardiovascular Institute, Mount Sinai Medical Center, New York, New York
- Mathias Goyen, MD** Assistant Professor, Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Essen, Essen, Germany
- Willem A. Helbing, MD, PhD** Professor and Head, Division of Pediatric Cardiology, Department of Pediatrics, Erasmus MC-Sophia Children's Hospital, Rotterdam, The Netherlands
- Charles B. Higgins, MD** Professor, Department of Radiology, University of California San Francisco, San Francisco, California
- Robert M. Judd, PhD** Associate Professor, Department of

- Medicine, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina
- J. Wouter Jukema, MD, PhD, FESC, FACC** Associate Professor of Cardiology, Head, Interventional Cardiology, Department of Cardiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Philip J. Kilner, MD, PhD** Consultant, Cardiovascular Magnetic Resonance Unit, Royal Brompton Hospital, London, United Kingdom
- Raymond J. Kim, MD** Associate Professor, Department of Medicine (Cardiology), Duke University; Clinical Director, Duke Cardiovascular Magnetic Resonance Center, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina
- Kraig V. Kissinger, BS, RT (R) (MR)** Senior Cardiac MR Technologist, Cardiac MR Center, Beth Israel Deaconess Medical Center, Boston, Massachusetts
- Gabriele A. Krombach, MD** Department of Radiology, University of Technology (RWTH-Aachen), Aachen, Germany
- Hildo J. Lamb, PhD** Senior Scientist, Department of Radiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Warren J. Manning, MD** Associate Professor of Medicine and Radiology, Harvard Medical School; Section Chief, Non-invasive Cardiac Imaging, Cardiovascular Division, Beth Israel Deaconess Medical Center, Boston, Massachusetts
- Eike Nagel, MD** Director of Cardiovascular Magnetic Resonance, Department of Cardiology, German Heart Institute, Berlin, Germany
- Johannes C. Post, MD, PhD** Resident, Department of Cardiology, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, The Netherlands
- Martin R. Prince, MD, PhD** Professor of Radiology, Department of Radiology, Weill Medical College of Cornell University; Chief of MRI, Department of Radiology, New York Presbyterian Hospital, New York, New York
- Frank Rademakers, MD** Professor, Department of Cardiology, Catholic University Leuven; Department of Cardiology/Non-invasive Imaging, University Hospital Gasthuisberg, Leuven, Belgium
- Gautham P. Reddy, MD, MPH** Assistant Professor of Radiology, Associate Director of Residency Program, Department of Radiology, University of California San Francisco, San Francisco, California
- Johan H. C. Reiber, PhD** Professor of Medical Imaging, Department of Radiology, Division of Image Processing, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Arno A. W. Roest, PhD** Research Fellow, Department of Pediatric Cardiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Anna Rozenshtein, MD** Assistant Professor of Clinical Radiology, Department of Radiology, College of Physicians and Surgeons of Columbia University; Attending Radiologist, Department of Radiology, St. Luke's-Roosevelt Hospital Center, New York, New York
- Stefan G. Ruehm, MD** Associate Professor, Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Essen, Essen, Germany
- Maythem Saeed, DVM, PhD** Professor, Department of Radiology, University of California San Francisco, San Francisco, California
- Hajime Sakuma, MD** Associate Professor, Department of Radiology, Mie University Hospital, Tsu, Mie, Japan
- David Saloner, PhD** Professor, Department of Radiology, University of California San Francisco; Director, Vascular Imaging Research Center, San Francisco VA Medical Center, San Francisco, California
- Matthias Schmidt, MD** Oberarzt, Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, Universität zu Köln, Köln, Germany
- Penelope R. Sensky, MRCP** Specialist Registrar, Department of Cardiology, Glenfield Hospital, Leicester, United Kingdom
- Lars Søndergaard** Department of Cardiology, Rigshospitalet, Copenhagen, Denmark
- Freddy Ståhlberg** Professor, Department of Radiation Physics, The Jubileum Institute, Lund University Hospital, Lund, Sweden
- Matthias Stuber, PhD** Visiting Scientist, Cardiovascular Division/Cardiac MRI, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts
- Carsten Thomsen** Department of Radiology, Rigshospitalet, Copenhagen, Denmark
- Rob J. van der Geest, MSc** Assistant Professor, Department of Radiology, Division of Image Processing, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Ernst E. van der Wall, MD** Department of Cardiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Albert C. van Rossum, MD, PhD** Professor and Head of Outpatient Clinic, Department of Cardiology, Vrije Universiteit Medical Center, Amsterdam, The Netherlands
- Martin N. Wasser, MD** Radiologist, Department of Radiology, Leiden University Medical Center, Leiden, The Netherlands
- Norbert Watzinger, MD** Assistant Professor, Department of Medicine, University of Graz, Graz, Austria

目 录

第一部分 基本原理

第 1 章	心血管 MRI 技术的临床应用·····	3
第 2 章	MRA 技术·····	19
第 3 章	心脏生理学：成像考虑·····	37
第 4 章	血流量测量·····	51
第 5 章	心脏 MRI 定量分析·····	70
第 6 章	对比剂·····	82

第二部分 获得性心脏病

第 7 章	心肌和心包疾病·····	105
第 8 章	右室发育不良和右室流出道室性心动过速·····	124
第 9 章	心脏肿瘤·····	138
第 10 章	心脏瓣膜病·····	158

第三部分 缺血性心脏病

第 11 章 缺血性心脏病的心肌灌注·····177

第 12 章 缺血性心脏病左室功能的评价·····196

第 13 章 缺血性心脏病节段性左室功能的评价·····206

第 14 章 对比增强评价心肌活性·····216

第 15 章 缺血性心肌损伤的组织特点·····246

第 16 章 冠状动脉 MRA 技术和应用·····261

第 17 章 与冠状动脉 MRA 有关的临床应用·····283

第 18 章 冠状动脉血流量测量·····296

第 19 章 冠状动脉搭桥术后的 MRI 检查·····307

第四部分 先天性心脏病

第 20 章 先天性心脏病：形态和功能·····319

第 21 章 先天性心脏病术后功能评价·····350

第 22 章 成人先天性心脏病·····365

第五部分 血管疾病

第 23 章 胸主动脉 MRI 和 MRA·····383

第 24 章 腹主动脉、肾动脉和肠系膜动脉 MRA·····405

第 25 章 外周动脉 MRA·····429

第 26 章 颈动脉 MRA·····447

第 27 章 动脉粥样硬化斑块成像·····466

第 28 章 全身三维 MRA·····481

第 29 章 血管内介入 MRI·····487

第一部分

1

基 本 原 理

第 1 章 心血管 MRI 技术的临床应用

HILDO J. LAMB
JOOST DOORNBOS

线圈.....	3	灌注.....	9
心脏运动补偿.....	4	延迟强化.....	9
呼吸运动补偿.....	5	血流.....	9
定位.....	6	冠状动脉MRA.....	12
扫描计划.....	7	血管壁成像.....	15
解剖.....	8	心血管MRI图像的后处理.....	15
功能.....	8	附: k-空间计算.....	15

心血管 MRI 技术的持续快速进展，迄今已经达到令人振奋的临床实用阶段。随着 MRI 扫描硬件、软件和图像后处理技术的发展，主要的技术限制已被克服。本章将从临床应用的角度讨论心血管 MRI 的基本成像技术和高级成像技术，并对一位虚拟患者的检查展开讨论，重点介绍用于心脏疾病功能评估的 MRI 技术。灌注成像、延迟强化、冠状动脉 MRA 和血管壁成像等 MRI 技术将在其他章节中详细讨论，在本章中仅简要介绍。

线圈

心脏检查可以使用标准体线圈进行，但其图像质量不尽如人意，最主要的问题是其平面空间分辨力有限，仅约为 3mm。较高的空间分辨力对于准确评价诸如心肌梗死所致的室壁运动异常至关重要。过去，用于评价整体和局部心肌室壁运动可靠的 MRI 均是通过体线圈获得的。使用表面线圈（如直径大约 14cm 的单环线圈），可显著提高图像质量和空间分辨力。最佳可替代线圈是组合式心脏专用阵列线圈，目前绝大

多数 MRI 扫描仪制造商均可提供这种线圈（图 1.1），其最主要的优点是可以进一步提高图像质量和空间分辨力，以获得更大的视野（FOV）；另一个优点是阵列线圈可以使用多线圈并行成像技术，如采集敏感编码成像（SENSE）技术^[1]。每个线圈都有不同的灵敏度，应用这一特性可以降低 k-空间数据密度从而减

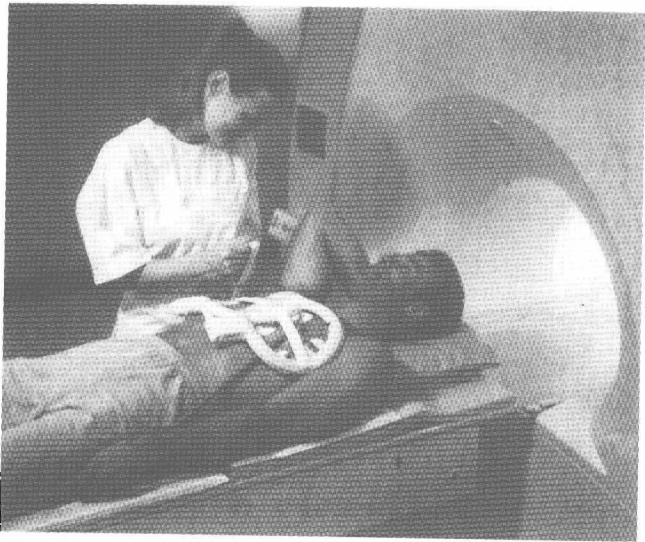


图 1.1 心脏专用阵列线圈和矢量心电图仪。(Philips Medical System, Best, The Netherlands.)

少采集时间。使用SENSE技术,可以使现阶段的成像速度提高2倍;在实验环境下,甚至可以提高4倍。总之,由于SENSE技术减少了扫描时间,使得心血管MRI的临床接受程度大大提高,从而使MRI可与超声或CT相媲美。

心脏运动补偿

心脏运动补偿是通过使图像采集与心电图(ECG)信号同步进行来实现。MRI的形成是基于数据获取时k-空间的填充(见本章末附录)。由于很多文献对k-空间已有详尽的报道^[2~6],在此不做详细讨论。使用ECG触发的目的是在心动周期内分步填充k-空间(图1.2~图1.6)。例如,为了生成一个心脏断层的电影显示,大约需要20个心动时相来获得足够的时间分辨率。通常,每个心动时相图像需要小于40ms的时间分辨率,才能够选择心脏收缩末期时相来计算心室收缩末期容积或射血分数等血流动力学参数。每个层面的20幅心脏图像不可能在一次心跳中获得,因此,人们使用ECG触发来促成部分k-空间填充和心动周期同步。假设第一幅心动时相图像需要128行k-空间数据,但每次心跳只能获取12行图像数据,因而为了完成图像k-空间填充就需要11次心跳。对于心率60次/min的患者,就需要屏气大约11s,当然,20个心动时相是一次扫描获取的,

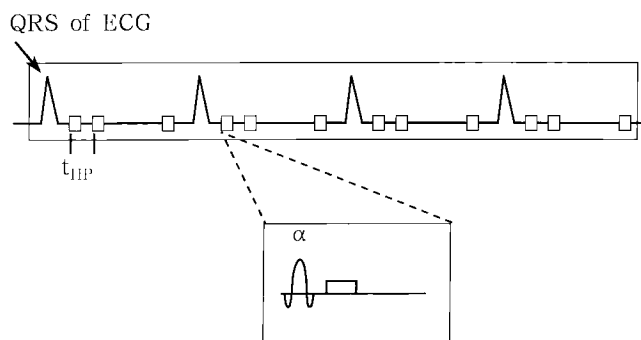


图1.2 MRI梯度回波或快速梯度回波(FGE)序列与心动周期时间关系的基本原理示意图。每一射频(rf)激发脉冲(α)之后,采集一行k-空间(放大部分)。图中共显示4次心脏搏动,结果在一幅图像中采集了4个k-空间行。如果一幅图像需要采集120个k-空间行,这个过程就必须重复30次,共120个心动周期。心率为60次/min时,可在2min内的连续呼吸状态下完成采集。白色方框表示心动时相图像片断; t_{HIP} :心动时相的时间(时间分辨率);QRS of ECG:心电图QRS综合波。

所以在11s内就可以得到一个心脏层面的电影显示。

目前有两种ECG触发方法。第一种是前瞻性触发,指在ECG的QRS复合波之后立即开始图像采集,并大约在80%的心动周期之后停止采集,因此,20个心动时相就被分布到80%的心动周期上,余下20%的心动周期并不参与成像,此技术适用于心脏收缩功能成像。如果要利用心动周期的后面时段来评估舒张

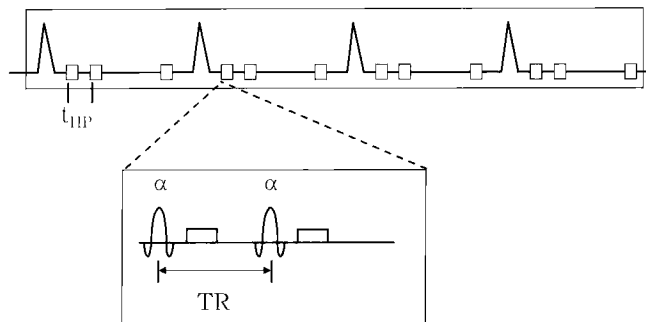


图1.3 MRI快速梯度回波(FGE)序列与心动周期时间关系的基本原理示意图。每一射频(rf)激发脉冲(α)之后,采集1行k-空间,该例中重复了2次(加速因子为2),这样每个心动周期每个心脏时相共采集2个k-空间行(放大部分)。图中共显示4次心脏搏动,结果在一幅图像中采集了8个k-空间行。如果要采集120个k-空间行的图像,这个过程就必须重复15次,共60个心动周期。心率为60次/min时,可在60s的连续呼吸状态下完成采集。白色方框表示心动时相图像片断; t_{HIP} :心动时相的时间(时间分辨率);TR:射频脉冲激发之间的重复时间。

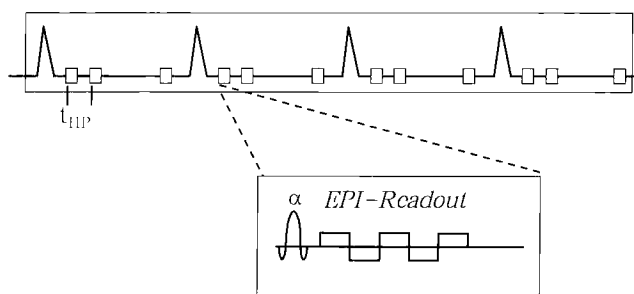


图1.4 MRI平面回波成像(EPI)序列与心动周期时间关系的基本原理示意图。每一射频(rf)激发脉冲(α)之后,采集5行k-空间(EPI因子为5),这样每个心动周期每个心脏相位图像片断共采集5个k-空间行(放大部分)。图中共显示4次心脏搏动,结果在一幅图像中采集了20个k-空间行。如果要采集120个k-空间行的图像,这个过程就必须重复6次,共24个心动周期。心率为60次/min时,可在24s的连续呼吸状态下完成采集。白色方框表示心动时相图像片断; t_{HIP} 表示心动时相的时间(时间分辨率)。EPI-Readout: EPI读出方向。