

◎ 美国 Lippincott Williams & Wilkins 公司授权翻译出版



MRI

of the Musculoskeletal System (第四版)

肌肉骨骼系统 磁共振成像

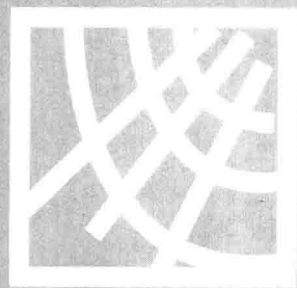


原著 [美] Thomas H. Berquist
主译 程敬亮 祁吉 史大鹏

郑州大学出版社

◎ 美国 Lippincott Williams & Wilkins 公司授权翻译出版

R445.2
B625
2004
C1



MRI
of the Musculoskeletal System (第四版)

肌肉骨骼系统 磁共振成像

★ 原著 [美] Thomas H. Berquist
主译 程敬亮 祁吉 史大鹏

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

肌肉骨骼系统磁共振成像 / (美)伯奎斯特(Berquist T.H) 著;
程敬亮, 祁吉, 史大鹏译. — 郑州: 郑州大学出版社, 2004.5
书名原文: MRI of the Musculoskeletal System (Fourth Edition)
ISBN 7-81048-574-1

I. 肌… II. ①伯…②程…③祁…④史…
III. 肌肉骨骼系统 - 核磁共振 - 成像 IV. R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 000469 号

图字 16-2002-048

中文版权为郑州大学出版社所有

郑州大学出版社出版发行

(郑州市大学路 40 号

邮政编码: 450052)

全国新华书店经销

发行部电话: 0371-6966070

河南第二新华印刷厂印制

开本: 889 mm × 1 194 mm

1/16

印张: 69.5

字数: 1846 千字

彩页: 2

版次: 2004 年 5 月第 1 版

印次: 2004 年 5 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-81048-574-1/R · 515

定价: 190.00 元

本书如有印装质量问题, 由承印厂负责调换

程敬亮简介



程敬亮 男，1964年8月13日出生，河南省太康县人。现为郑州大学第一附属医院放射科教授、主任医师、医学影像专业硕士研究生导师。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，1991年获硕士学位，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。已完成河南省科技攻关和河南省自然科学基金项目7项，并分别获得河南省科技进步二等奖和三等奖，还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。目前的主要研究课题《MRI和SCT新技术对超急性期脑梗死诊断及再灌注损伤的实验及临床应用研究》，同时得到2004年度河南省杰出青年科学基金、河南省重点科技攻关项目和河南省医学创新人才工程项目基金的资助和支持。发表科研论文61篇，其中多篇发表在医学核心期刊上。主编和参编医学影像学专著8部，主译3部，主审1部。获国家实用新型发明专利4项。

工作中注重全面发展，但更擅长于中枢神经系统、五官疾病和呼吸系统疾病的影像学诊断。对眼外伤、眼异物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》和《脊髓纵裂的分型、影像学诊断和治疗研究》分别获得1998年和1999年度河南省科技进步二等奖。多次应邀参加RSNA、ECR、ESMRMB和JRC等国际放射学术会议。

主要学术兼职有：1. 河南省放射学会主任委员；2. 中国医学影像技术研究会常务理事；3. 河南省影像技术学会副主任委员；4. 河南省医师协会放射学分会副会长；5. 郑州大学临床医学学位委员会委员；6. 郑州大学第一附属医院学术委员会委员；7. 河南省医师协会理事；8. 郑州市医学会理事和郑州市放射学会副主任委员；9. 《中华放射学杂志》编委；10. 《临床放射学杂志》编委；11. 《中国医学影像学杂志》编委；12. 《中国肿瘤影像与微创治疗杂志》编委；13. 《影像诊断与介入治疗杂志》编委；14. 《郑州大学学报(医学版)》编委。

祁吉简介



祁吉 男，1945年8月出生，天津人。1982年毕业于天津医学院医学影像诊断专业，获硕士学位，1988年获博士学位。曾任天津医学院附属医院放射科住院医师、主治医师、副主任医师。现任天津市影像医学研究所所长、天津医科大学附属第一医院副院长、影像医学部部长、放射科主任，主任医师、教授。中华医学会放射学分会副主任委员、《中华放射学杂志》副总编、中华放射学会磁共振学组组长、北美放射学会(RSNA)会员、卫生部影像装备专家组专家、国家医疗事故鉴定专家、《国外医学·临床放射学分册》主编等；博士研究生导师。

主要成就：自1990年起指导硕士研究生16名，博士研究生14名。专业特长神经影像学。已承担课题29项，其中国家“九五”攻关课题3项，国家自然科学基金课题1项，天津市自然科学基金课题1项，天津市科委“九五”攻关课题1项，天津市卫生局课题18项。获中华医学科技奖(首届，2001年)1项，天津市科委科技进步二等奖1项，天津市科技进步三等奖2项，天津市优秀成果奖1项，天津市科技成果推广工作优秀奖1项，天津市卫生局局级科技成果一等奖1项，天津市卫生局局级科技进步二等奖3项，天津市卫生局局级科技进步三等奖2项，天津市卫生局科技著作一等奖1项，天津市卫生局科技成果推广二等奖1项。著作33部，其中主编4部、主译4部、副主编10部、编者12部、教材3部、译著400万字，论文90篇。享受国务院政府津贴。被录入英国剑桥传记中心、美国传记研究院。

史大鹏简介



史大鹏 男，1956年出生，汉族。1986年在江西医学院获硕士学位。现为河南省人民医院放射科主任、主任医师，兼任中华医学会影像技术分会委员、中国影像技术研究会理事、河南省放射学会第一副主任委员、河南省影像技术学会第一副主任委员，河南省跨世纪学科学术技术带头人，河南省优秀专家，郑州大学硕士研究生导师，河南省卫生系列高级职称评委会评委，河南省骨科学会、放射学会联合会诊组领衔专家，《中国医学影像学杂志》、《实用放射学杂志》等杂志编委。对骨关节、头颈部影像诊断有系统研究，为国内早期从事磁共振诊断及研究的工作人员。获河南省科技进步二等奖3项，河南省科技进步三等奖1项。在《中华放射学杂志》等各级各类杂志发表论文40余篇。主编学术著作2部，主译学术著作2部。

内容提要

《肌肉骨骼系统磁共振成像》(第四版)由美国麦约医院 Thomas H. Berquist 教授编著,郑州大学第一附属医院程敬亮教授等主译。本书是一部世界医学影像界所公认的有关肌肉骨骼系统磁共振成像的权威性专著。

本书共分 16 章,约 180 余万字,图约 2 900 幅。该书详尽介绍了 MRI 的基本原理、MRI 脉冲序列、MRI 伪影,以及肌肉骨骼系统病人的检查体位、线圈选择和脉冲序列选择的基本原则。囊括了几乎所有的肌肉骨骼和关节疾病 MRI 诊断知识,并将最新的 MRI 技术和进展如 MRI 波谱等融入肌肉骨骼系统疾病的诊断中,凸显其科学性、先进性和实用性等特点。该书内容丰富,层次分明,图片清晰,文字流畅,便于读者阅读,可作为影像科和骨科医师的重要参考书。

我愿将此书献给我的病人和无私支持我的家人，
这里我要特别提到的是我的妻子Kay和三个儿子
Aric、Mattbew和Andrew。

Thomas H. Berquist

原著致谢

在本书的编写过程中,得到了相关临床科室多位医学界同仁和放射科肌肉骨骼学组的Jonathan Bowles博士以及MRI室技师们的大力帮助,在此表示感谢。我还要特别感谢为使MRI新脉冲序列和新线圈引进和使用的麦约医院的Lonnie Foster、Susan Ashley、Janet Davis、Lynn Hill、Lisa Broddle、Kathy Pastor、Stacy Nelson、Troy Frideres、Davian Strozier、Pam Hughson、Robin Harville、Kelly Young、Michelle Jacobsen和Tony Schroeder。特别感谢为此书撰稿和对书稿进行后期处理的Pamela Chirico、Dale Kersey和Linda Downie,以及对书中图片进行加工处理的John Hagan和Jeff Davis。

最后,我还要感谢为本书编辑出版做出大量工作的Lippincott Williams & Wilkins出版社的Beth Barry、Michelle LaPlante和Elaine Verriest。

Thomas H. Berquist

原著参编人员

Laura W. Bancroft, M.D. Assistant Professor, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Medical School, 226 Second Street SW, Rochester, Minnesota 55905; and Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

Thomas H. Berquist, M.D., F. A. C. R. Professor, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Medical School, 200 First Street SW, Rochester, Minnesota 55905; and Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

Jonathan R. Bowles, M.D. Fellow in Musculoskeletal Imaging Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224; and Musculoskeletal Fellow, Department of Diagnostic Radiology, St. Luke's Hospital, 4201 Belfort Road, Jacksonville, Florida 32216

Richard L. Ehman, M.D. Professor, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Medical School; and Chair, Division of Research, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 200 First Street SW, Rochester Minnesota 55905

Joel P. Felmler, Ph. D. Associate Professor of Radiation Physics, Mayo Medical School; and Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 200 First Street SW. Rochester, Minnesota 55905

Michael D. Heaney, M.D. Instructor, Department of Diagnostic Radiology. Mayo Medical School; and Senior Associate Consultant, Mayo Clinic, 200 First Street SW. Rochester, Minnesota 55905

Clyde A. Helms, M.D. Professor of Radiology and Surgery and Chief, Musculoskeletal Division, Department of Radiology, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27710

Mark J. Kransdorf, M.D. Senior Associate Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

Gary M. Miller, M.D. Consultant and Assistant Professor, Department of Radiology, Mayo Foundation, 200 First Street SW, Rochester, Minnesota 55905

Richard L. Morin, Ph.D. Professor of Radiologic physics, Department of Radiology, Mayo Medical School, 200 First Street SW, Rochester, Minnesota 55905; and Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

William A. Murphy, Jr., M.D. Professor of Radiology, John S. Dunn Distinguished Chair, Division of Diagnostic Imaging, The University of Texas, M.D. Anderson Cancer Center, 1515 Holcombe Boulevard, Houston, Texas 77030

Robert A. Pooley, Ph.D. Instructor of Radiologic Physics, Mayo Medical School, 200 First Street SW, Rochester, Minnesota 55905; and Senior Associate Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

James B. Vogler III, M.D. Clinical Associate Professor, Department of Radiology, University of Florida, Gainesville, Florida 32610; and Co-Director, North Florida Regional Medical Center Outpatient Imaging Center, 1010 NW 64th Terrace, Gainesville, Florida 32605

Robert J. Witte, M.D. Assistant Professor of Radiology, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Medical School, 200 First Street SW, Rochester, Minnesota 55905; and Consultant, Department of Diagnostic Radiology, Mayo Clinic, 4500 San Pablo Road, Jacksonville, Florida 32224

主 译 程敬亮 祁吉 史大鹏

副主译 任翠萍 杨运俊 张勇

黎海亮 韩东明 张焱

参译人员 (以姓氏笔画为序)

文泽军 邓军 史大鹏 任翠萍

吕涵清 孙晓劼 祁吉 杨运俊

张勇 张敏 张焱 陆普选

赵艺蕾 皇甫幼田 徐俊玲 高雪梅

程敬亮 谢瑞刚 韩东明 雷新玮

管生 黎海亮

审 校 李树新 张雪哲

原著前言

第三版《肌肉骨骼系统磁共振成像》成书于1996年。在过去的4年中，磁共振成像的硬件和软件迅速发展，用于肌肉骨骼系统磁共振成像的新线圈、脉冲序列和专用检查技术层出不穷，大大拓宽了磁共振成像在肌肉骨骼系统中的应用范围，特别是钆对比剂MR增强扫描和磁共振波谱在肌肉骨骼系统疾病诊断中更为人们所重视。MRI新技术的出现及其在肌肉骨骼系统诊断中的广泛应用，促使我们对第三版《肌肉骨骼系统磁共振成像》进行修订和再版。

第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像》为读者提供了全新的磁共振成像技术及其在肌肉骨骼系统中的应用等内容。第一章深入浅出地介绍了磁共振成像的基本原理。第二章阐述了磁共振成像常用的脉冲序列。为更好地理解以后各章节中使用的特殊MRI技术，第三章介绍了诸如病人体位、线圈选择和脉冲序列选择的基本原则。金属植入物磁共振成像检查的安全性和有效性等新内容也包括在第三章中。

为了增加对磁共振成像解剖知识的理解，第四章至第十一章详细介绍了并较第三版拓展了多平面成像的解剖内容，这些新增加的内容提高了以往在磁共振成像上不能清晰显示的较小结构(如血管和神经)。第四版中扩展了儿科磁共振成像检查的内容。由于成人和儿童髋关节疾病的明显差异，因此，对髋关节疾病进行了更详尽的阐述。第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像》的每一章节都融入了磁共振成像的新技术及其应用内容。

尽管对每一章中涉及的肿瘤、感染、关节病和其他非外伤性疾病均做了详尽阐述，但我们还是将肌肉骨骼系统肿瘤(第十二章)、感染(第十三章)和骨髓疾病(第十四章)单列成章，以便更全面系统地了解和掌握相关知识。MRI新技术在第十五章中进行了特别阐述。第十六章讨论了磁共振波谱的应用，遗憾的是这种技术尚未得到普及和广泛应用。

磁共振成像技术不断的进展将大大促进这一成像技术在肌肉骨骼系统疾病诊断中的应用。第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像》一书提供了更详尽的MRI解剖、MRI技术及其在肌肉骨骼系统疾病中的应用内容。本书的出版将为内科医生、住院医师、医学生和从事MRI的专业人员提供一本重要的专业参考书。

Thomas H. Berquist

序

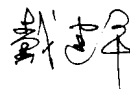
肌肉骨骼系统疾病的多样性和复杂性,常给早期诊断和正确诊断带来一定困难。常规X射线检查、CT、核医学和超声检查等以其各自成像的优点和特点在肌肉骨骼系统疾病的诊断中发挥着重要作用。MRI以其独特的成像方式和优点奠定了在肌肉骨骼系统疾病诊断中的应用基础,对某些疾病的诊断不可或缺。MRI较其他影像学检查技术能更好地显示肌腱、韧带、软骨和关节盘等结构,对骨髓病变的检出独具优势,MRI能更好地显示肌肉骨骼系统病变的内部信息、病变范围及其与邻近组织结构间的关系,对病变定性和治疗方案的制定有重要的指导作用。近几年来,MRI新技术的应用使MRI如虎添翼,大大拓展了其在肌肉骨骼系统疾病诊断中的应用范围。

翻阅近十几年来我国出版的上百本MRI诊断专著,发现有关肌肉骨骼系统MRI专著却寥寥无几。由美国麦约医院放射科主任Thomas H. Berquist教授编写和美国Lippincott Williams & Wilkins出版社出版,由郑州大学第一附属医院程敬亮教授等同志翻译的第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像(MRI of the Musculoskeletal System)》将弥补我国肌肉骨骼系统MRI专著匮乏的缺憾。该书在美国已经过4次修订和再版,2001年再版的第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像》将MRI的最新技术和进展融入肌肉骨骼系统疾病的诊断中,丰富了儿科肌肉骨骼系统MRI和髋关节MRI诊断的内容,使读者耳目一新。本书深入浅出地阐述了MRI的基本原理、MRI脉冲序列、肌肉骨骼系统MRI检查时病人体位的选择、线圈选择和脉冲序列选择原则以及MRI伪影等问题,并规范了MRI的相关术语。该书全面系统地介绍了肌肉骨骼系统常见病、多发病以及少见病的MRI表现和诊断,是一本为世界医学影像界同仁所公认和推崇的有关肌肉骨骼系统MRI的权威性专著,是影像科和骨科医生不可多得的重要参考书。

该书融入了原著作者和译者的辛勤和汗水,其内容丰富全面,文字流畅通顺,层次分明,图片清晰、典型。该译著的出版发行将有助于肌肉骨骼系统MRI知识的普及和提高,有助于推动我国医学影像学事业的进步和发展,故欣然为此书作序。

中华医学会放射学分会主任委员

北京天坛医院院长



2003年10月16日

译者前言

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是继CT之后医学影像学检查技术的又一里程碑。MRI具有极高的软组织分辨力,能够多参数和多方位成像,并且无辐射损害,目前已成为肌肉骨骼系统的最佳影像学检查技术之一。MRI可很好地显示X射线平片和CT难于显示的肌腱、韧带、软骨和关节盘等解剖结构,且可对多种肌肉骨骼系统疾病做出定性诊断。MR扩散加权成像、灌注加权成像、MR血管成像、MR波谱和MR增强扫描以及MR关节造影等技术的出现和应用,也拓展了MRI在肌肉骨骼系统中的应用范围,提高了诊断的准确性。但由于医学工作者对MRI在肌肉骨骼系统疾病诊断中的优势缺乏了解,再加上MRI检查费用较为昂贵,因此,限制了MRI在肌肉骨骼系统疾病诊断中的应用。国内急需一本详细全面介绍肌肉骨骼系统MRI的专著。

有感于此,我们选择了由美国麦约医院放射科主任Thomas H. Berquist教授主编、Lippincott Williams & Wilkins出版社出版的第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像(MRI of the Musculoskeletal System)》进行翻译,这样能够使读者更快地看到肌肉骨骼系统磁共振成像的专著。该书已连续4次修订和再版,说明了这本专著的权威性和可读性,是一本为世界医学影像界公认的有关肌肉骨骼系统磁共振成像的重要参考书。

2001年出版的第四版《肌肉骨骼系统磁共振成像》共分16章,约180余万字,图约2900幅。该书详尽介绍了MRI的基本原理、MRI脉冲序列、MRI伪影,以及肌肉骨骼系统病人的检查体位、线圈选择和脉冲序列选择的基本原则,囊括了几乎所有的肌肉骨骼和关节疾病的MRI诊断知识,并将最新的MRI技术和进展如MR波谱等融入肌肉骨骼系统疾病的诊断中,该译著的出版和发行将有助于影像科和骨科医师全面了解、熟悉和掌握肌肉骨骼系统MRI诊断的知识,提高MRI诊断水平。

在此书的翻译过程中,承蒙各位参译人员的通力协作和帮助,在本书最后的校改过程中,我的两位研究生杨运俊和张勇做了大量工作,谨此表示衷心的感谢。天津医科大学附属第一中心医院的祁吉教授、郑州大学第一附属医院的李树新教授和北京中日友好医院的张雪哲教授、河南省人民医院的史大鹏教授直接参与了本书的校译工作,我对他们的辛勤劳动表示最诚挚的感谢。衷心感谢中华医学会放射学分会主任委员、北京天坛医院院长戴建平教授在百忙中为本书作序。

在本书的翻译过程中,我们力求做到准确无误,并忠于原著,但由于水平所限,译著中不当之处,恳切希望同道予以斧正。

程敬亮

2004年4月10日

目 录

第一章 磁共振成像的基本原理和术语.....	1
第二章 MRI 图像的解释.....	32
第三章 肌肉骨骼系统 MRI 常用检查技术.....	61
第四章 颞下颌关节.....	97
第五章 脊柱.....	112
第六章 骨盆、髋部和大腿.....	204
第七章 膝关节.....	300
第八章 足、踝关节和小腿.....	442
第九章 肩关节和上臂.....	594
第十章 肘关节和前臂.....	704
第十一章 手和腕关节.....	793
第十二章 肌肉骨骼系统肿瘤.....	864
第十三章 肌肉骨骼系统感染.....	977
第十四章 弥漫性骨髓病变.....	1001
第十五章 肌肉骨骼系统的其他疾病.....	1050
第十六章 磁共振波谱的临床应用回顾.....	1090

磁共振成像的基本原理和术语

ROBERT A. POOLEY
JOEL P. FELMLEE
RICHARD L. MORIN

本章内容旨在使那些刚开始学习磁共振成像的医师熟悉核磁共振(NMR)现象和磁共振成像(MRI)的基本概念与原理,因此,本章主要是针对初学者的教学之用。除了NMR基本概念与原理外,与临床相关的成像技术也给初学MRI的医师进行了阐述。对于初学者来说,要想熟悉MRI的相关物理原理需要相当一段时间。目前,对MRI的基本物理特性的探讨有各种途径。其技术细节和深入讨论可以在有关MRI的教材与文章中找到^[3, 12, 13, 29, 31]。附录中的术语是从美国放射学院MR专用语词汇表^[2]中选出的,供大家参考。

表1-1中列出了MRI发展历史的时间表。NMR的原理最初是在20世纪40年代后期由斯坦福大学的Bloch教授和哈佛大学的Purcell教授阐明的。由于这项研究,他们在1952年共同获得了诺贝尔物理学奖。NMR的重要性在于其能够明确样品的分子结构。在20世纪70年代,利用NMR的原理,产生

了与CT相似的横断面图像。1981年,这项实验研究开始应用于临床。

MRI所提供的丰富诊断信息引起了人们对MRI的浓厚兴趣及其在临床上的迅速应用。尽管MRI的影像模式与CT类似,但基本原理却截然不同。事实上,此两种影像的形成是由原子中完全不同的部分所决定的。MRI是由原子核提供成像的信号,这与传统的X射线摄影由电子决定影像密度不同。而且,不仅是原子核,其结构与生化环境同样可影响MR信号。

目前,快速成像技术不断涌现,已成为重要的临床检查手段。平面回波成像(EPI)和基于快速自旋回波和梯度回波的采集方式允许在亚秒至屏气范围内(15s)采集图像。这些技术具有进行快速采集和高分辨成像的潜力,从而可以“消除”许多生理运动伪影。利用这些快速采集技术进行功能和流动信息的成像是临床研究的热点。

本章将用类比方法阐明MRI的物理原理,即从传统角度而不是“量子理论”的角度讨论MRI物理原理。虽然两种方式均可对NMR现象进行确切解释,但在数学构型和对所蕴含物理原理的认识方面并不相同。

核磁共振现象

当某种原子核(有奇数质子、奇数中子或两者均为奇数的原子核)置于强磁场时,其将沿磁场方

表 1-1 MRI 发展史

1946	NMR 现象发现和技术说明— Bloch 和 Purcell
1951	一维空间定位— Gabillard
1952	Bloch 和 Purcell 获得诺贝尔奖
1959	NMR 的血流检测— Singer
1971	离体肿瘤的 NMR 检查— Damadian
1972	在体肿瘤的 NMR 检查— Weisman
1972	NMR 成像— Damadian
1973	NMR 共轭成像— Lauterbur
1975	商业开发
1981	磁共振原型机的临床试验

向排序,并开始以一定的速度或频率(Larmor 频率)旋转。如果以该频率发射射频脉冲,原子核将吸收射频(RF)脉冲能量并被“激励”。射频终止后,原子核将释放电磁波而发生弛豫,弛豫过程中释放的RF能量是NMR信号的来源。一个系统吸收某种特定方式能量的能力称为“共振”。这种情况类似于小孩荡秋千,如果小孩荡到最高点,那么最大的能量传给了秋千。如果试图把小孩推到中间点,那么就导致能量传递降低,这种情况就是“失共振”。所以,这个例子中的共振条件就是在适当的时间以秋千摆动的精确频率推秋千。

原子核在磁场中的进动在概念上类似于陀螺在重力场中的进动,如图1-1所示。当有外力作用于

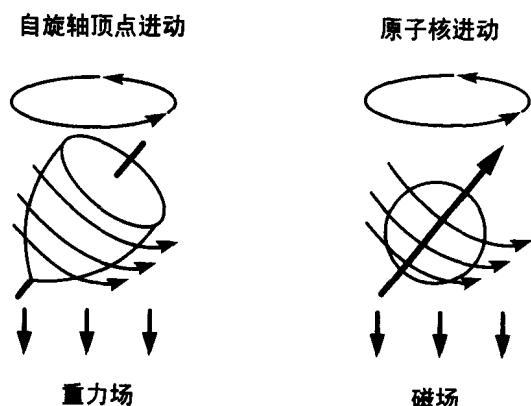


图1-1 进动示意图(经同意,摘自Fullerton GD. Basic concepts of nuclear magnetic resonance imaging. Magn Reson Imaging 1982;1:39~55)。

旋转物体时,就有这种旋转发生。奇数质子、奇数中子或两者均为奇数的原子核具有这种“旋转”特性,只不过此时是与磁场发生相互作用,此即原子核在磁场中的进动。进动频率或称Larmor频率取决于原子核自身的特性和磁场强度,后者用特斯拉(T)或高斯(G)来表示,1T=10000G。Larmor频率的数学定义公式为:

$$\omega = \gamma B_0 \quad (1-1)$$

式中 ω 是Larmor频率, B_0 是静磁场强度, γ 是旋磁

比(旋磁比为一常数,每个原子核都有一个特定的旋磁比常数)。不同原子核与不同场强下的Larmor频率见表1-2和表1-3。质子在1.5T磁场中的Larmor频率为64MHz,这与第三频道电视信号的转播频率相同。

总之,NMR基本过程已在图1-2中阐明,共包括三步:①把样品置于磁场中,以导致原子核进动;②以Larmor频率发射RF脉冲;③“记录”返回的NMR信号。需要指出的是发射的RF频率和回收的MR信号频率取决于兴趣区的原子核与磁场强度 B_0 。

表1-2 氢质子的Larmor(共振)频率

场强 (Tesla)	共振频率 (MHz)
0.15	6.4
0.35	14.9
0.50	21.3
1.00	42.6
1.50	63.9
2.00	85.2
4.00	170.3

表1-3 场强1.0T时的Larmor(共振)频率

原子核	Larmor 频率 (MHz)
^1H	42.6
^{13}C	11.0
^{14}N	3.0
^{31}P	17.1

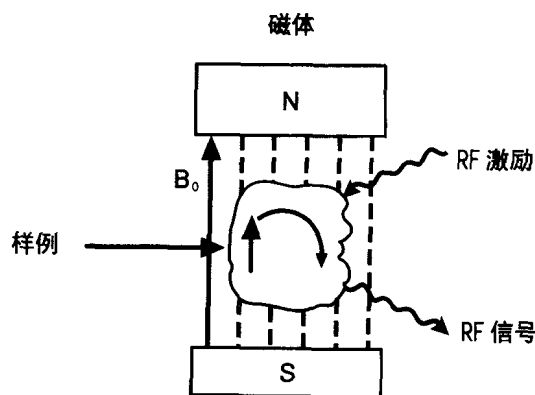


图1-2 NMR基本过程示意图(经同意,摘自Fullerton GD. Basic concepts of nuclear magnetic resonance imaging. Magn Reson Imaging 1982;1:39~55)。图中可见经RF激励使磁化矢量旋转90°。