

 Springer

髋关节磁共振成像

HIP MAGNETIC RESONANCE IMAGING



原 著 Young-Jo Kim [美]
Tallal Charles Mamisch [美]
主 译 翁习生



人民軍醫出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

髋关节磁共振成像

KuanGuanJie CiGongZhen ChengXiang

原 著 Young-Jo Kim [美]

Tallal Charles Mamisch [美]

主 译 翁习生

主译助理 高 鹏 常 晓

译 者 (以姓氏笔画为序)

王 炜	王 海	王 储	冯 宾
边焱焱	庄乾宇	李玉龙	李 晔
李 涛	杨 波	肖 克	陈 峰
范 或	周 熹	钱 军	梁锦前
彭慧明	董玉雷	鲁 昕	蔡思逸
翟吉良			



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

髋关节磁共振成像/(美)金英福(Kim,Y.), (美)玛米什(Mamisch,T.C.) 原著; 翁习生译. — 北京: 人民军医出版社, 2015.10

ISBN 978-7-5091-8533-9

I. ①髋… II. ①金…②玛…③翁… III. ①髋关节—核磁共振成像 IV. ①R684

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第225314号

Translation from English language edition:

Hip Magnetic Resonance Imaging

By Young-Jo Kim and Tallal Charles Mamisch

Copyright © 2014 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

著作权合同登记号: 图字 军-2014-141号

策划编辑: 李欢 黄建松 朱晓康 文字编辑: 杨静 袁朝阳 责任审读: 赵晶辉

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)51927300-8127

网址: www.pmmp.com.cn

印刷: 北京印刷一厂

装订: 胜宏达印装有限公司

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 11 字数: 230千字

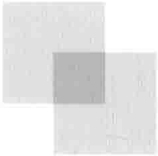
版、印次: 2015年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-2000

定价: 85.00元

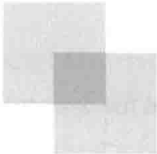
版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换



内容提要

本书首先介绍了MRI的基本理论和钆增强的软骨MRI延迟成像技术，紧接着描述了正常和异常的髋关节解剖，随后重点探讨了MRI技术在检测各种髋关节疾病中的应用，包括盂唇病变、骨坏死、关节外病变和软骨损伤等。书中还用专门的篇幅叙述了生化成像标记物在髋关节疾病治疗中的应用，这使得内容更加丰满、全面。本书由放射科和骨科专家共同撰写而成，配有大量的MRI图谱，对相关领域的临床医师和运动医学的执业医师或者初级保健医师来说，是一本不可多得的重要参考书。



编者名单

Sebastian Apprich, MD

Department of Radiology, Centre for
High-Field MR, Medical University of
Vienna, Vienna, Austria

Oliver Bieri, PhD

Division of Radiological Physics,
Department of Radiology, University of Basel
Hospital, Basel, Switzerland

Bernd Bittersohl, MD

Department of Orthopedics, Heinrich-
Heine University, Medical School,
Düsseldorf, Germany

Sarah D. Bixby, MD

Department of Radiology, Boston Children's
Hospital, Boston, MA, USA

Deborah Burstein, PhD

Department of Radiology, Beth Israel
Deaconess Medical Center, Boston, MA, USA

Luis Perez Carro, MD

Servicio de Cirugía Ortopédica y
Traumatología, Hospital Clínica Mompía/
Hospital Universitario Marqués de
Valdecilla, Santander, Spain

Nancy A. Chauvin, MD

Department of Pediatric Radiology, The

Children's Hospital of Philadelphia, Perelman
School of Medicine at the University of
Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA

Kathleen L. Davenport, MD

Hospital for Special Surgery, New
York, NY, USA

Victor de Diego, MD

Servicio Cirugía Ortopédica y
Traumatología, Centro Médico Lealtad
Hospital Universitario Marqués de Valdecilla,
Santander, Spain

Stephan Domayer, MD, PhD

Department of Orthopaedics, Medical
University of Vienna, Vienna, Austria

Natalia Fernandez Escajadillo, RN

Servicio Cirugía Ortopédica y Traumatología,
Centro Médico Lealtad y Hospital Universitario
Marqués de Valdecilla, Santander, Spain

Pau Golano, MD

Human Anatomy Unit Department
of Pathology and Experimental
Therapeutics, University of
Barcelona, Barcelona, Spain Department of
Orthopaedic Surgery, University of Pittsburgh,
Pittsburgh, PA, USA

Friedrich F. Hennig, MD

Department of Trauma Surgery, University
Hospital of Erlangen, Erlangen, Germany

Andreas Hingsammer, MD

Department of Orthopedic Surgery, Boston
Children's Hospital, Boston, MA, USA

Diego Jaramillo, MD, MPH

Department of Pediatric Radiology, The
Children's Hospital of Philadelphia, Perelman
School of Medicine at the University of
Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA

Young-Jo Kim, MD, PhD

Department of Orthopedic Surgery, Boston
Children's Hospital, Boston, MA, USA

Bryan T. Kelly, MD

Orthopedic Surgeon, Hospital for Special
Surgery, New York, NY, USA
Orthopedic Surgery, Weill Cornell Medical
College, Center for Hip Preservation, New
York, NY, USA

Michael Leunig, MD

Department of Orthopaedics, Schulthess
Clinic, Zurich, Switzerland

T. Charles Mamisch, MD

Department of Radiology, Brigham &
Women's Hospital, Boston, MA, USA

Andreas Mauerer, MD

Department of Trauma Surgery, University
Hospital of Erlangen, Erlangen, Germany

Peter J. Moley, MD

Department of Psychiatry, Hospital for Special
Surgery, New York, NY, USA
Clinical Rehabilitation Medicine, Weill
Cornell Medical College, Center for Hip
Preservation, New York, NY, USA

Jeffrey J. Nepple, MD

Department of Orthopaedic Surgery,
Washington University School of Medicine, St.
Louis, MO, USA

Luis Cerezal Pesquera, MD

Servicio Radiología, Diagnóstico Médico
Cantabria, Santander, Spain

Kawan S. Rakhra, MD, FRCPC

Department of Medical Imaging, The
Ottawa Hospital, General Campus,
Ottawa, ON, Canada

Nadja Mamisch-Saupe, MD

Department of Radiology/Center for
Musculoskeletal Surgery, Hirslanden
Clinic, Zurich, Switzerland

Courtney E. Scher, DO

Musculoskeletal Radiology, Henry Ford
Hospital, Detroit, MI, USA

Benjamin Schmitt, MD

Department of Radiology, Centre for
High-Field MR, Medical University of
Vienna, Vienna, Austria

Carl Siversson, PhD

Computational Radiology Laboratory,
Children's Hospital Boston, Harvard Medical
School, Boston, MA, USA
Department of Medical Radiation Physics,
Lund University, Malmö, Sweden

Siegfried Trattig, MD

Department of Radiology, Medical University
of Vienna, Vienna, Austria

Lisa M. Tibor, MD

Center for Hip Preservation, Hospital for
Special Surgery, New York, NY, USA

Miguel Ruperez Vallejo, MD

Servicio Cirugía Ortopédica y Traumatología,
Centro Médico Lealtad y Hospital Universitario
Marqués de Valdecilla, Santander, Spain

Goetz H. Welsch, MD

Department of Trauma Surgery, University
Hospital of Erlangen, Erlangen, Germany
Department of Radiology, MR Center, Medical
University of Vienna, Vienna, Austria

Ira Zaltz, MD

Musculoskeletal Radiology, Henry Ford
Hospital, Detroit, MI, USA

Christoph Zilkens, MD

Department of Orthopedics, Heinrich-Heine
University, Medical School, Düsseldorf,
Germany

译者序言

影像学诊断知识对于一名骨科医师来说再重要不过，我们通过X线、CT、MRI等手段来对骨科疾病进行诊断、病情评估、手术指征评估、决定治疗方法等。MRI作为目前先进的影像学诊断工具之一，具有很多独特的优势，比如对人体没有电离辐射，对软组织结构显像优于CT，不需要重建就可获得多方位图像等。

髋关节是人体下肢承重大的关节，在关节外科中是多种疾病好发的部位之一。髋关节及其周围软组织的解剖相对来说比较复杂，具有其特殊性，这对于髋关节疾病的诊断提出严峻的挑战，仅靠传统的X线常常不能满足骨科医师对疾病诊断的需求。而且随着医学的迅速发展，我们对疾病的认识也逐渐趋于成熟，对很多种疾病的研究已经达到分子甚至基因水平，其中包括股骨头坏死、骨关节炎等大家熟知的骨科常见病。所以要想成为一名优秀的骨科医师，必须要熟悉各种辅助检查，让它们成为我们诊断疾病的“利器”。

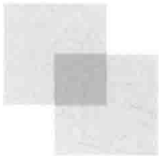
医学发展史不仅仅是疾病治疗方法的探索和进展，相当一部分是疾病诊断手段的不断提高，两者相辅相成、密不可分。Young-Jo Kim教授和他的助手们发明的髋关节软骨的磁共振延迟增强软骨成像技术（以下简称dGEMRIC）可以对软骨中葡萄糖胺聚糖的浓度进行测定，显示软骨的形态和反映生理状态，可用于诊断早期软骨退变。中国是骨关节炎的好发区，目前行膝关节、髋关节置换术的患者也逐年增多，但是我国不同于其他国家的一种现象就是：很多老年人直到骨关节炎晚期症状较重时，甚至出现了关节畸形才会考虑行手术治疗。一方面原因是我国尚有一部分地区医疗水平偏低，受医疗条件或者患者家庭情况限制。另一方面，大部分人没有早期预防骨关节炎的意识和相应的诊疗手段。而dGEMRIC可以发现早期软骨退变，为患者的下一步治疗提供指导。非手术治疗得当还可以延缓手术时间，甚至终身不需要手术治疗。

为了让更多的年轻骨科医师了解dGEMRIC，我们组织我科部分医生翻译了Young-Jo Kim教授主编的这本 *Hip Magnetic Resonance Imaging*，本书汇集了MRI的基本原理、髋关节解剖的基础知识，以及dGEMRIC对髋关节疾病的诊疗优势等。

希望这本译著能够对我国骨科医生的临床工作有一定的帮助。

北京协和医院骨科

2014年11月



原著序言

20年后，让你觉得更失望的不是你做过的事情，而是你没有做过的事情。摆脱帆脚索，离开舒适的港湾去航行，抓住信风的帆，去探索，去梦想，去发现——马克·吐温。

当我在14年前开始这项研究的时候，还不知道我将发现什么。生物化学显像技术是实验室里的新事物，而髋关节的保留也一度被视为不可能的。然而事情的发展出乎意料。一路走来，有很多的良师益友在背后支持我，我很高兴能拥有可以信赖一生的友情。在这里只能挂一漏万了。

在髋关节软骨动态和延迟钆增强MRI (dGEMRIC) 技术最初实现期间，我得到了Deborah Burstein、Martha Gray、Diego Jaramillo、Michael Burstein的资金支持，所以我欠了他们很多的人情。基于Deb和Martha的基础研究，dGEMRIC技术在逻辑上是可行的，事实证明也是如此！当时所有事情的发展都很糟，所以这是我所知道的唯一一个好消息。

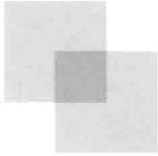
原始工作和文章发表以后，我就开始探索 T_1 成像的更快方法。当Charles Mamisch和Christoph Zilkens从天而降时，我的问题得到了答案。我现在依然记得这两个德国骨科医师来到我的办公室，并说他们想要跟我们一起研究dGEMRIC技术，我居然没有问他们问题。在西门子公司的Tim Hughes的帮助下，我们把dGEMRIC变成了一个实用的临床工具。

在所有从事髋关节保留手术领域的人当中，首先非常感谢Reinkold Ganz，正是他的观察和测定才使得所有这些都成为可能。此外，还要感谢Michael Leunig和Klaus Siebenrock的友情相助。当年他们正在伯尔尼共用一个办公室，我恰希望寻找一份长时间的友谊和合作，同样年轻的我们就在那时相遇了。从那时开始到现在再到将来，髋关节保留手术将一直是研究的热门。

最后我要感谢我的妈妈和其他家人。我妈妈完美地诠释了什么是无条件的爱，她是我坚持不懈的动力源泉。我要感谢我的妻子Lois的无条件支持和牺牲。如果没有她把我生活中的其他事情做好，这项工作是不可能完成的。最后，我要感谢我与Charles Mamisch的友谊与合作。他对于科学的天才般热情及打破文化和国家限制将事情完成的能力很令人震惊。

Young-Jo Kim M.D., Ph.D.

(李玉龙 译)



原著前言

在过去的10年里，我们见证了保留髋关节手术的前所未有的发展和人们对它的热情。如今，美国每年会行大约60 000例髋关节置换术，而且以每年约15%的速度增长。考虑到髋关节疾病在人群中的高流行率，可预见未来这种增长很有可能持续下去。巧合的是，在我们对髋关节病理学和治疗方法的理解飞速发展的时候，髋关节MRI也在迅速发展。髋关节的形态学和生物化学显像明显受益于强磁场磁体、改良的线圈设计和序列。

髋关节疾病的临床和影像学在许多方面是互补的和必要的，这是为了促进两者在各自领域更好地发展。由于缺乏临床关联性，软骨的生物化学显像在实验室里已经很长时间没人研究了。虽然它是评估骨关节炎保守治疗效果的理想技术，但到目前为止还没有相关试剂。在临床方面，骨关节炎保守治疗的药物具有巨大的潜力，然而由于缺乏被管理机构认可的疾病早期标记物，关于药物的研究很难有进展。这是一种典型的两难困境。

现在随着髋关节保留手术的进展，我们有可能会对骨关节炎的发展有更进一步的了解，同时也会对最新MRI技术在骨关节炎的最新理论和治疗中扮演的角色有更深入的理解。现在髋关节保留手术的技术正在逐渐成熟，早期的临床结果显示这些技术在改善症状方面有良好的功效。在骨关节炎保守治疗药物的发展方面，为了短时间内反映药物的效果，需要更先进的显像技术。所幸的是，显像技术发展已经使这种评估成为可能。

本书是髋关节疾病相关的临床和影像知识的最新总结，希望本书会对您有所帮助，更希望它能促进到此领域将来的发展。

(李玉龙 译)

目 录

第1章 MRI的基本物理原理和伪影	1	二、生化软骨成像临床应用的前提条件	30
一、核自旋	1	三、采用形态和生化MRI的软骨病变	
二、线圈和射频脉冲	2	的术前诊断	31
三、 T_1 、 T_2 及质子密度	3	四、葡糖氨基葡聚糖含量显像的临床	
四、磁场梯度	4	应用	31
五、梯度回波和自旋回波	5	五、胶原含量显像的临床应用及展望	
六、图像采集	7		34
七、图像对比	8	第5章 正常髌关节解剖	37
八、普通图像伪影	9	一、髌关节	37
九、普通成像技术	11	二、髌关节镜	37
十、量化的 T_1	12	三、髌关节关节内解剖及髌关节镜检	37
第2章 平扫生化成像	15	四、髌关节系统性关节镜检	43
一、简介	15	五、总结	49
二、 T_2 成像	16	第6章 异常骨性解剖	50
三、 T_2^* 成像	18	一、简介	50
四、化学交换饱和转移	19	二、股骨近端解剖	50
五、软骨弥散成像	20	三、髌臼解剖	51
第3章 软骨钆造影剂延迟增强MRI	24	四、髌关节畸形和骨关节炎在一般人	
一、dGEMRIC的生理学基础	24	群中的关联	54
二、注意事项和不足	24	五、股髌撞击综合征和髌关节病在	
三、验证试验	26	运动员中的患病率	57
四、使用时机	27	六、遗传影响	58
五、总结	28	七、总结	58
第4章 关节软骨生化成像的临床应用	29	第7章 异常关节解剖	59
一、简介	29	一、简介	59

二、诊断影像	59	十、磁共振关节造影	101
三、孟唇	59	十一、弥散加权成像	102
四、关节软骨	63	十二、结论	103
第8章 发育性髋关节疾病	66	第11章 髌臼唇疾病	105
一、简介	66	一、简介	105
二、髋关节发育不良	66	二、技术	105
三、股骨头骨骺滑脱	69	三、优势和误区	110
四、雷-卡-佩氏病/儿童股骨头缺血性坏死	76	四、总结	114
五、结论	80	第12章 骨坏死	115
第9章 髋关节关节外病变及运动损伤	81	一、骨坏死的MRI检测技术	115
一、简介	81	二、骨坏死的MR影像学特征	116
二、骨软骨改变——应力性骨折	81	第13章 关节外病变	131
三、静态部分	82	一、简介	131
四、前群肌肉病变	84	二、髂腰肌腱单元：髂腰肌腱炎	133
五、外侧肌群病变	84	三、髋关节滑囊	134
六、后组肌群病变——腘绳肌肌腱病变	86	四、转子滑囊和滑囊炎	134
七、内侧肌群病变和运动疝	86	五、髂腰或髂耻滑囊和滑囊炎	135
八、神经病变——周围神经损伤	87	六、创伤后损害：Morel Lavallee损害	136
九、小结	88	七、脂肪硬化黏液纤维瘤	137
第10章 髋关节诊断影像总论	89	第14章 软骨损伤	139
一、简介	89	一、髋关节软骨损伤的MR成像现状	139
二、场强	89	二、采用下肢牵引诊断软骨损伤	140
三、线圈	90	三、3.0T磁场MR显像	140
四、序列	92	四、股髌撞击综合征中软骨损伤的评估	141
五、骨和骨髓序列	92	第15章 结构评价	145
六、液体敏感的序列	96	一、概述	145
七、软骨序列	96	二、结构评估	145
八、各向同性序列	99		
九、定量成像序列	101		

三、总结	148	七、dGEMRIC成像在其他进展性髋关节畸形中的应用	158
第16章 dGEMRIC技术在髋关节疾病中的应用	150	八、总结	159
一、概述	150	第17章 T1 ρ 像在髋关节MRI扫描中的应用	160
二、临床研究中造影剂的使用及成像的时机选择	150	一、简介	160
三、快T1成像	152	二、MRI的作用	160
四、1.5T vs 3.0T	153	三、T1 ρ MRI软骨成像	160
五、髋关节发育不良中dGEMRIC成像的应用	154	四、T1 ρ 成像技术	161
六、dGEMRIC成像在股髋撞击综合征中的应用	156	五、同其他软骨成像技术的比较	161
		六、髋关节软骨成像面临的问题	162
		七、小结	162

MRI的基本物理原理和伪影

Carl Siversson

磁共振成像（MRI）是一项成熟的成像技术，现在多数大医院都有配备。因为磁共振成像对体内原子核周围的化学成分很敏感，所以不同组织之间的图像对比度非常好。由于其高对比度、无有害性电离辐射的特点，MRI经常用于检查身体大多数部位的大范围的病理学改变。

一个典型的MRI扫描仪包括一个大型超导电磁铁，患者躺在其中。多数MRI静态磁场强度为1.5T或3T（特斯拉），当然，研究者一直在努力增加磁场强度，以产生更高的图像质量。

当患者置于强磁场中时，机体组织被暂时磁化。通过对组织施加一系列的无线电频率的脉冲梯度磁场，使组织中的原子核开始发出自己的无线电频率信号。这些信号由MRI扫描器检测并形成图像。由于人体内富含氢成分丰富，如水和脂肪，因此氢原子核的信号是临床磁共振成像使用最广泛的。

本章将概述磁共振现象。用1个章节阐述完整的MRI理论背景是很困难的，但本章的目的并非如此。本章意在让非影像专业读者获得一个直观的、有趣的相关概念介绍。更深的磁共振物理学理论教程，读者可参考该课题的专业教材。

一、核自旋

质子和中子都有一个内在的、称为自旋的特性。一个原子核的质子和中子的数量决定其是否有一个总体的核自旋。临床MRI的主要关注点是氢原子核，它整体具有自旋性，因为它只包含一个质子。

严格地说，单个的核自旋应该从量子物理的角度进行阐述。也就是说，有一些基于经典物理学的自旋模型是无法完全解释的，但它仍然是有价值的，能够提供一个直观的了解。在这样一个模型中，自旋属性可以被描述为每个核绕自身轴线旋转（图1-1）。由于核本身带正电荷，旋转的电荷相当于一个旋转的电流，产生一个小的磁场。因此，每个核有其内在的磁矢量，沿其旋转轴指向。

没有外部的影响，一个正常组织样本的核内禀磁向量指向完全随机的方向。因此，从宏观上看，这些向量净场强为零。

当把原子核放在外部磁场—— B_0 中时，每个核内禀磁矢量将沿该磁场方向排列。然而，这种排列不会使磁向量严格平行于 B_0 磁场。相反，原子核将开始绕 B_0 磁场的轴线旋转，使内在的磁场矢量呈一定角度围绕这一

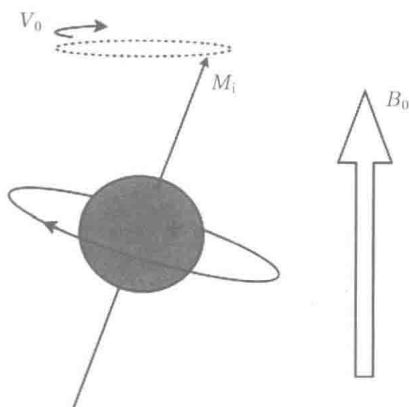


图1-1 氢核绕自身轴线旋转，产生一种内在的矢量磁场 M_i ，这反过来又使核以拉莫尔旋动频率 v_0 绕外部磁场 B_0 的方向旋动

方向。这个循环的旋转频率称为拉莫尔频率， v_0 （图1-1）， γ 是一个核特定常数称为旋磁比，随外部 B_0 磁场强度而变化（氢核 $\gamma = 42.6\text{MHz/T}$ ）。

$$v_0 = \gamma \cdot B_0 (1.1)$$

任何组织样本，即使体积非常小，也含有数以百万计的氢原子核。出于这个原因，把大量的原子核的数目作为一个单位是具有指导意义的，称为单色（图1-2）。一个单色的每个核的固有磁场向量都是围绕着 B_0 磁场，但角度位置是随机的。把单色的所有固有向量合在一起产生一个大的磁化矢量 M ，和 B_0 磁场指向同一个方向。

二、线圈和射频脉冲

为了与旋进的原子核相互作用，射频脉冲（RF）得到应用。这种脉冲通过线圈产生和接收，线圈必须被放置在成像组织的周边。线圈有各种类型可供选择，形状通常尽可能和目的组织类似。例如，脑成像常使用圆筒形线圈，有效地包围整个头部，而髋关节成像使用平面可折叠线圈，可以直接绑到身体表面，更可行易用。

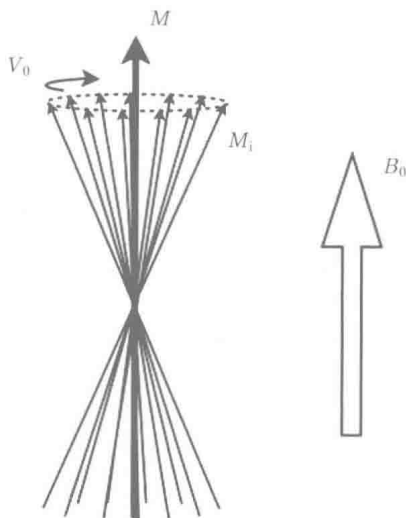


图1-2 每一个内在的 M 矢量角度是随机的
在单色内所有 M_i 的向量之和组成一个新的向量—— M ，指向和外部 B_0 场相同的方向

为了使线圈产生射频脉冲，电流以拉莫尔频率振荡通过。电流振荡产生的磁场可产生单独的分量。特别关注的是垂直于 B_0 磁场的分量，它可以被认为是一个附加的弱磁场（称为 B_1 磁场），围绕 B_0 磁场方向旋转（图1-3）。

从核的角度来看，现在在它们周围有两个并行磁域。因为一个是强大的恒定磁场（ B_0 ），另一个是弱的旋转磁场（ B_1 ），结果是总磁化矢量 M 将以较慢的速度旋转远离 B_0 方向。这个螺旋将随射频脉冲而持续。射频脉冲的特征是产生的角度在磁化矢量 M 和 B_0 方向之间。这种反转角度主要是由持续时间（通常为 $0.5 \sim 5\text{ms}$ ）和脉冲振幅所决定。

当 M 矢量点远离 B_0 的方向，它将不再保持时间和空间的不变性。相反，它会沿 B_0 方向旋转。由此，原子核本身产生振荡磁场，它将引起接收线圈导体产生信号。此时自旋核被激活，相关的射频脉冲通常被称为一个激活脉冲。紧随的激活信号称为自由感应衰减（FID）。然而，临床MRI更常用其他类型的

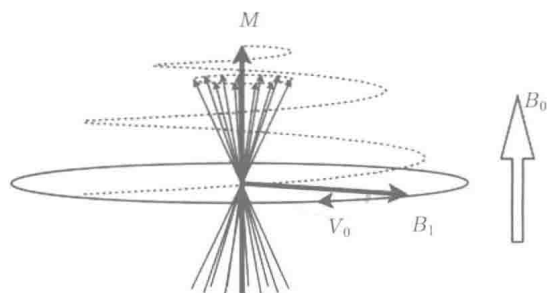


图1-3 射频脉冲可以被认为是一个绕 B_0 方向旋转的磁场—— B_1 场。原子核将绕 B_0 和 B_1 磁场旋动，导致 M 矢量螺旋式远离 B_0 方向

三、 T_1 、 T_2 及质子密度

描述一组氢原子核自旋的行为需要三个主要的参数： T_1 、 T_2 、质子密度（PD）。大多数的MR图像的对比来源于不同组织类型之间这些参数的变化。

质子密度是最直观的参数，因为每单位体积氢原子核的数量与原子核所产生的信号的振幅成正比。然而，临床MRI对这个参数通常不是最关注的，因为它并没有提供太多组织化学信息。

T_1 参数是衡量纵向（平行于 B_0 ）磁化恢复的速度的（图1-4）。当磁化矢量 M 被一个射频脉冲扰动，经历一定的时间，最终恢复到平衡状态（即当单色充分弛豫）。这种随时间的恢复是指数级的，用 T_1 参数来表示，定义

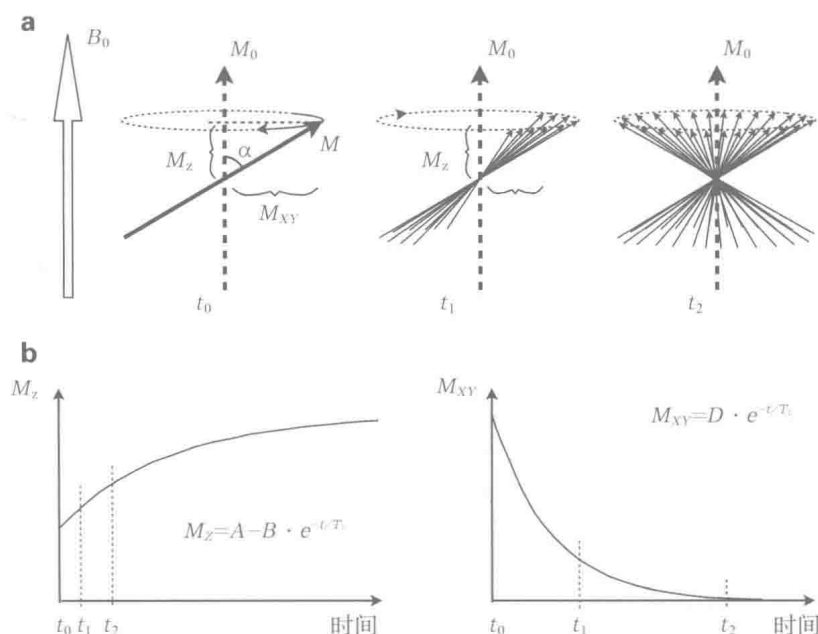


图1-4 (a) 射频脉冲后即刻(t_0)，磁化矢量 M 被扰动，与最初的 M_0 方向产生一个反转角 α 。 M_z 是剩余的纵向磁化分量，最终会恢复回 M_0 。此时，横向磁化分量 M_{xy} 是时变的，外部拾取线圈感应到一次信号。不久后(t_1)，组成 M 矢量的单个旋核部分移相，导致一个较小的时变分量 M_{xy} 和较小幅度的信号。又过了一会(t_2)，旋转的核完全移相，时间可变量消失。此时，外部感应线圈没有信号。退相时间为 T_2 参数。(b) 纵向磁化(左)指数级恢复速度取决于 T_1 。横向磁化(右)指数级衰减的速率取决于 T_2 。横向磁化衰减速率比纵向磁化恢复速率要快得多。时间点 t_0 、 t_1 和 t_2 表示(a)图中的状态

为原子核恢复被射频脉冲扰动丢失的63%的纵向磁化所花费的时间。

T_2 参数是衡量横向磁场衰减的时间（垂直于 B_0 ）（图1-4）。可以通过一个单色的RF脉冲后立即成图，此时 M 向量有一个大的旋转的横向分量，从而使一个外部的拾波线圈产生电流。过了一会儿，弥补单色的内在矢量将移相并指向稍微不同的方向，从而降低了 M 矢量的旋转分量。之后的内在向量完全移相，剩下的没有旋转分量，这种随时间呈指数下降的特点用 T_2 参数来表达，可以被认为是射频脉冲后横向磁场降至37%所需的时间。

任何单个的原子核周围有数以百万计其他核。因为所有的原子核都具有某种类型的运动（布朗运动、翻滚运动等），所有这些附近的核内禀磁向量将合并成一个稍微波动的磁场，叠加在静态 B_0 场上。

波动磁场垂直于 B_0 场的分量，将作为一个额外的向量，围绕原子核旋转。尽管这个向量是不足以导致实际旋转（像 B_0 和 B_1 一样），但足以影响核的纵向弛豫行为。因此，这是一个确定 T_1 值的主要影响。

波动磁场的其他平行于 B_0 场的分量，将标量到 B_0 磁场强度，使不同原子核的拉莫尔频率略有变化。这种效应是 T_2 弛豫的一个主要原因，因为单色内核的拉莫尔频率的变化使其复合磁矢量移相。

可以理解，无论是 T_1 还是 T_2 弛豫时间，都是由样本的脉动磁域的变化特点所决定的。因此，没有简单的规则规定某个特定组织的 T_1 和 T_2 值是多少。在一般情况下， T_1 和 T_2 值依赖于氢核和周围其他核的连接及核运动。例如，在非常低的黏性流体如脑脊液（CSF）， T_1 值很长是氢运动的结果（2000~3000ms），而在脂肪组织是很短的（100ms），因为这种组织中原子核的运动更受限制。

在一个理想的测量设备中，如上所述，接收线圈接收的信号将严格按照横向 T_2 磁化衰减，然而，在实践中 B_0 场局部常常有不均匀性，导致核与核之间产生拉莫尔频率上附加的变化，使核去相比 T_2 值预测的快。这些局部的不均匀性是宏观的结果，如设计一个绝对均匀的磁铁的技术困难性、不同组织类型之间磁敏感性差异。相比于控制 T_2 衰减机制，这些局部的不均匀性在某种意义上是静态的，它们在一个特定的位置上不会随时间变化。因此，这种局部的不均匀性引起的退相可以通过反复使用的聚焦RF脉冲来逆转，这将在本章的后面描述。 T_2 衰减和局部的不均匀性引起的衰减的组合，通常被称为 T_2^* 衰减。

四、磁场梯度

为了形成图像，有必要区分来自不同主体部分的核信号之间的差异，这种区分由梯度线圈实现。

梯度线圈产生的磁场沿操作轴线而强度不同（图1-5）。当一个梯度开关打开后，其磁场叠加到静态 B_0 磁场。总磁场强度将在被检查物的一端稍高，在另一端稍低。因此，不

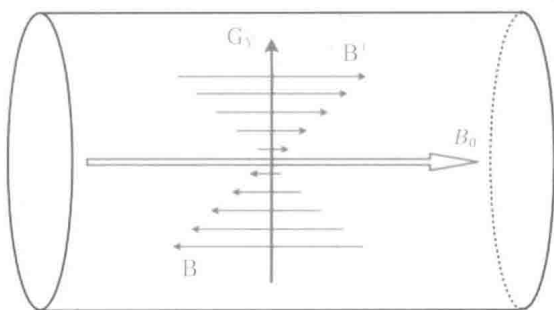


图1-5 本图中，Y-梯度（ G_y ）在MRI扫描仪内部表达，它与x和z-梯度的原则是相似的

当梯度打开时，它的磁场（ B^+ 到 B^- ）将附加到静态 B_0 场，使总磁场在某些部位升高某些部位降低。因此，原子核的拉莫尔频率将取决于它们所处的位置。梯度的强度可以通过MRI扫描仪任意调整