

李坤成 主编

心血管磁共振成像诊断学

人民卫生出版社



R445.2
282

445.201.02

心血管磁共振成像 诊断学

李坤成 主编

孙泽民 李坤成

赵世华 D·REVEL 编著



A0286580

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

心血管磁共振成像诊断学/李坤成主编. —北京: 人民
卫生出版社, 1997

ISBN 7-117-02643-X

I. 心… II. 李… III. 心脏血管疾病-核磁共振-成像
IV. R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 05279 号

ISBN 7-117-02643-X



心血管磁共振成像诊断学

李坤成 主编

人民卫生出版社出版发行
(100050 北京市崇文区天坛西里 10 号)

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店经销

787×1092 16 开本 17 $\frac{1}{4}$ 印张 388 千字

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
印数: 00 001—4 000

ISBN 7-117-02643-X/R · 2644 定价: 35.50 元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前言

磁共振成像 (MRI) 是一种医学影像学新技术, 具有无创伤, 无射线辐射危害, 高软组织对比分辨率, 可行任意方向切层及三维成像等优点, 问世十余年来, 随其技术不断发展和完善, MRI 显示心脏大血管解剖、生理和病理改变日趋精细, 对心脏大血管病的诊断效果好, 已经发挥越来越大的作用, 并具有广阔的临床应用前景。国外应用 MRI 诊断心脏血管病已成常规。国内已运行的 MRI 设备到 1995 年底已达 300 余台, 应用 MRI 诊断心脏大血管疾病已获得越来越多的学者共识。

作者自 1988 年以来, 一直从事心脏大血管病的 MRI 诊断研究和临床应用工作, 积累了一定的经验。为进一步推动此领域事业的发展, 作者结合国内外最新发展, 编写了这本专著, 并邀请从事局部解剖研究工作多年的河北省唐山市工人医院 MRI 室孙泽民主任撰写第三章: 心脏断面标本与 MRI 切层解剖。正在法国里昂心血管病医院放射科研修的中国医学科学院阜外心血管病医院放射科赵世华副主任医师及他的导师 D·Revel 教授与本人共同撰写第四章: MRI 造影剂及其在心脏大血管病的应用。希望本书对医学影像学科、心血管内、外科医师和从事上述领域工作的研究生了解和掌握有关知识有所帮助, 也能对医学生和非专科医师有参考价值。本书所涉及病例的诊断均经多种影像学检查验证, 临床资料完整可靠, 尤其先天性心脏病、肿瘤、心包病变、大血管病和心脏瓣膜病等经手术病理证实。

作者将本书奉献给读者的同时, 也不忘授业恩师: 著名医学影像学家、中国工程院院士、中国医学科学院阜外心血管病医院放射科刘玉清教授, 衷心感谢多年来他对作者的严格要求和悉心教导, 本书所涉及的许多工作是在他的指导下进行的, 凝聚着他的大量心血。因此, 本书是学生献给老师的最好的礼物, 以回报老师多年的培养。

由于作者的水平有限, 错误及不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

本书得以完成, 应感谢首都医科大学宣武医院的领导对作者的支持和鼓励, 感谢放射科同志们, 尤其是王永刚、冯国江、汪宁、尹建国、王慧霞、顾金祥、以及刘洁、纪卫东、任红等同志在图片洗印、资料整理等方面给予的大量帮助。同时对德国先灵公司对本书出版的支持表示谢意。最后, 对所有关心支持我研究和工作的中铁建总医院放射科, 特别是樊长姝、庞志显主任, 中国医学科学院心血管病医院放射科、以及其他科室的同志们, 表示衷心的感谢!

李坤成

1997 年 4 月

目 录

概 论

第1章 磁共振成像基本原理和成像技术介绍	3
第1节 核磁共振和磁共振成像基本原理	3
第2节 成像技术介绍	6
一、磁共振成像的立体定位	6
二、磁共振成像的脉冲序列	7
(一) 自旋回波脉冲序列	7
(二) 自旋回波心电图门控技术	9
(三) 快速成像技术	10
(四) 磁共振血管造影	14
第3节 磁共振成像设备构造简介	16
一、磁体系统	16
(一) 主磁体	16
(二) 梯度场	17
(三) 匀场系统	17
二、射频发射和接收系统	17
三、图像重建及显示系统	18
四、检查床及图像记录存储系统	18
五、软件系统	18
第2章 心脏大血管 MRI 扫描技术	19
第1节 心电图门控的实施要点	19
一、自旋回波法心电图门控的实施	19
二、影响自旋回波法心电图门控磁共振成像图像质量的因素	20
三、快速成像心电图门控的实施	20
第2节 心脏大血管磁共振成像技术临床应用问题	21
一、成像技术选择的依据	21
二、心脏大血管磁共振成像扫描的层面选择	22
(一) 常用主要层面系统及其优缺点	22
(二) 主要心脏大血管疾病磁共振成像切层方位的选择	22
第3章 心脏断面标本与磁共振成像切层的解剖	24
一、体轴横断面切层	26
二、体轴矢状断面切层	31
三、体轴冠状断面切层	35

四、平行房室沟平面垂直室间隔心室短轴断面切层	39
五、左前斜垂直室间隔心室短轴断面切层	42
六、垂直室间隔流出道部左室长轴断面切层	47
〔附 1〕 室间隔的解剖分部与分段	51
七、右前斜平行室间隔心室长轴断面切层	51
八、平行心脏膈面垂直室间隔流入道部心室长轴断面切层	54
〔附 2〕 心脏的五腔心切面	58
〔附 3〕 心脏大血管断面标本与磁共振成像的解剖	59
第 4 章 磁共振造影剂及其在心脏大血管病中的应用	62
第 1 节 磁共振造影剂	62
第 2 节 造影剂在心脏大血管病中的应用	66
第 5 章 心脏大血管的磁共振成像测量	74
第 1 节 心脏大血管的磁共振成像解剖测量	74
第 2 节 磁共振成像评价心功能	78
第 6 章 冠状动脉粥样硬化性心脏病的磁共振成像诊断	83
第 1 节 心肌梗塞	83
第 2 节 缺血性心肌病	90
第 3 节 冠心病心绞痛	91
第 7 章 原发性心肌病的磁共振成像诊断	94
第 1 节 扩张型心肌病	94
第 2 节 肥厚型心肌病	97
第 3 节 限制型心肌病	102
第 4 节 原发限制型心肌病	104
第 5 节 致心律失常性右室心肌病	106
第 8 章 继发性心肌病的磁共振成像诊断	109
第 1 节 高血压病所致心肌肥厚	109
第 2 节 左心排血受阻性疾病所致的左心室壁心肌肥厚	110
第 3 节 心肌炎后心肌损害	111
〔附〕 心肌炎的 MRI 诊断	112
第 9 章 心包疾病的磁共振成像诊断	113
第 1 节 心包炎	113
〔附〕 渗出-缩窄性心包炎	117
第 2 节 心包缺损	118
第 3 节 心包囊肿	120

第 10 章 心脏及心包肿瘤的磁共振成像诊断	122
第 1 节 心内膜肿瘤	122
第 2 节 心壁内肿瘤	125
第 3 节 心包内肿瘤	128
第 4 节 心脏继发肿瘤	130
第 5 节 MRI 诊断心脏及心包肿瘤的评价	130
第 11 章 先天性心脏病的磁共振成像诊断	132
第 1 节 大静脉系统畸形	132
一、腔静脉系统畸形	132
二、肺静脉畸形引流	133
第 2 节 心房畸形	135
一、房间隔缺损	135
二、单心房	137
三、三房心	137
四、心房憩室	138
第 3 节 房室瓣畸形	139
一、先天性二尖瓣畸形	139
二、先天性三尖瓣畸形	139
(一) 先天性三尖瓣狭窄	139
(二) 先天性三尖瓣关闭不全	139
(三) 三尖瓣下移畸形	140
(四) 三尖瓣闭锁	140
第 4 节 心室畸形	143
一、室间隔缺损	143
二、单心室	146
三、心室憩室	148
第 5 节 肺动脉系畸形	151
一、肺动脉闭锁	151
二、肺动脉瓣狭窄	152
三、肺动脉狭窄	154
四、一侧肺动脉缺如	155
五、肺动脉瘤	155
〔附〕 特发性肺动脉扩张	156
第 6 节 主动脉系畸形	157
一、主动脉狭窄	157
〔附〕 先天性主动脉瓣关闭不全	158
二、先天性主动脉窦瘤	158
三、主动脉缩窄	160
四、主动脉弓离断	162
〔附〕 主动脉弓闭锁	164

五、主动脉褶曲畸形	164
六、主动脉环	164
第7节 大动脉系畸形	167
一、动脉导管未闭	167
二、主肺动脉间隔缺损	169
三、共同动脉干	169
第8节 全心综合畸形	171
一、法乐氏四联症	171
二、心内膜垫缺损	175
三、大动脉转位	178
(一) 单纯完全型大动脉转位	178
(二) 功能校正型大动脉转位	181
(三) 右室双出口	183
〔附〕 左室双出口	186
四、心脏位置异常	186
第9节 先天性冠状动脉畸形	187
一、先天性冠状动脉瘘	187
二、先天性冠状动脉起自肺动脉	188
第12章 大血管疾病的磁共振成像诊断	190
第1节 马凡氏综合征心血管病变	190
第2节 主动脉瘤	193
一、主动脉瘤分类	193
二、主动脉瘤的临床表现	194
三、主动脉瘤的磁共振成像所见	194
(一) 真性主动脉瘤	194
(二) 假性主动脉瘤	201
四、动脉瘤的磁共振成像诊断评价	202
第3节 主动脉夹层	203
第4节 大血管狭窄和阻塞性病变	210
一、上下腔静脉狭窄或阻塞	210
二、大动脉炎	212
第13章 后天性心脏瓣膜病的磁共振成像诊断	217
第1节 二尖瓣损害	217
一、二尖瓣狭窄	217
二、二尖瓣关闭不全	220
三、二尖瓣狭窄合并关闭不全	221
第2节 主动脉瓣损害	221
一、主动脉瓣狭窄	221
二、主动脉瓣关闭不全	222

三、主动脉瓣狭窄合并关闭不全	223
第3节 联合瓣膜病	223
第14章 肺源性心脏病的磁共振成像诊断	226
第1节 急性肺源性心脏病	226
第2节 慢性肺源性心脏病	230
〔附〕 原发性肺动脉高压	234
第15章 心脏磁共振活体定域波谱分析	236
第16章 磁共振心脏大血管检查的进展和展望	244
第1节 心脏大血管磁共振成像技术的进展	244
第2节 磁共振成像估价心肌灌注的研究进展	245
第3节 冠状动脉血流成像的研究进展	246
第4节 应用磁共振成像测量血流速度和血流量的进展	250
附录 缩略词索引	259

Contents

Forward	
Chapter 1. Fundamental Principle and Imaging Technique of Magnetic Resonance Imaging	3
Section 1. Fundamental Principle of Nuclear Magnetic Resonance and Magnetic Resonance Imaging ...	3
Section 2. Introduction of Imaging Technique	6
Section 3. Brief Introduction of Scanner	16
Chapter 2. The Scanning Technique of Heart and Great Vessels.	19
Section 1. ECG-Gated Manipulation	19
Section 2. Points for Attention	21
Chapter 3. Comparison between Sectional Specimen of the Heart and Tomographic Anatomy of Magnetic Resonance Imaging	24
Chapter 4. The Application of Contrast Medium of Magnetic Resonance Imaging in Cardiovascular Diseases	62
Section 1. Contrast Medium of Magnetic Resonance Imaging	62
Section 2. The Application of Contrast Medium	66
Chapter 5. The Measurement of Magnetic Resonance Imaging in Heart and Great vessel	74
Section 1. Anatomy Measurement	74
Section 2. Heart Functional Evaluation	78
Chapter 6. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Coronary Atherosclerotic Heart Diseases	83
Section 1. Myocardial Infarction	83
Section 2. Ischemic Cardiomyopathy	90
Section 3. Angina Pectoris	91
Chapter 7. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Primary Cardiomyopathy	94
Section 1. Dilated Cardiomyopathy	94
Section 2. Hypertrophic Cardiomyopathy	97

Section 3. Restrictive Cardiomyopathy (Endomyocardial Fibrosis)	102
Section 4. Primary Restrictive Cardiomyopathy	104
Section 5. Arrhythmogenic Right ventricular Cardiomyopathy	106
Chapter 8. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Secondary Cardiomyopathy	109
Section 1. Hypertension	109
Section 2. Obstructive Disease of Left Ventricular Outflow	110
Section 3. Postmyocarditis Cardiomyopathy	111
Chapter 9. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Pericardial Disease	113
Section 1. Pericarditis	113
Section 2. Pericardial Defect	118
Section 3. Pericardial Cyst	120
Chapter 10. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Tumors of the Heart and Pericardium	122
Section 1. Endocardial Tumors	122
Section 2. Intramural Tumors	125
Section 3. Pericardial Tumors	128
Section 4. Cardiac Secondary Tumors	130
Section 5. Heart and Great Vessel of MRI Diagnosis	130
Chapter 11. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Congenital Heart Disease	132
Section 1. The Malformation of Great Vein System	132
Section 2. Atrial Malformation	135
Section 3. Malformation of Atrio-Ventricular Valve	139
Section 4. Ventricular Malformation	143
Section 5. Pulmonary Arterial Malformation	151
Section 6. Aortic Artery Malformation	157
Section 7. The Malformation of Great Arterial System	167
Section 8. Complex Malformation	171
Section 9. Coronary Artery Malformation	187
Chapter 12. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Great Vessel	190
Section 1. Marfan's Syndrome	190
Section 2. Aortic Aneurysm	193
Section 3. Aortic Dissection	203
Section 4. Stenosis and Obstruction of Great Vessels	210

Chapter 13. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Acquired Valvular Disease	217
Section 1. Mitral Valvular Damage	217
Section 2. Aortic Valavular Damage	221
Section 3. Combined Valvular Damage	223
 Chapter 14. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Cor Pulmonale	 226
Section 1. Acute Cor Pulmonale	226
Section 2. Chronic Cor Pulmonale	230
 Chapter 15. In vivo Magnetic Resonance Spectrum Study of Heart	 236
 Chapter 16. Cardiovascular Examination of Magnetic Resonance Imaging at Present and Future Directions	 244
Section 1. The Advance of Cardiovascular Techniques of Magnetic Resonance Imaging	244
Section 2. The Research Advance of Magnetic Resonance Imaging in Myocardial Perfusion	245
Section 3. The Advance of Magnetic Resonance Angiography in Coronary Arteries	246
Section 4. Blood Flow and Velocity Measurement by Magnetic Resonance Imaging at Presnet	250
 Index	 259

概 论

核磁共振 (nuclear magnetic resonance; NMR) 是一种物理现象, 系美国哈佛大学的 E · M · Purcell 和斯坦福大学的 F · Bloch 于 1946 年同期分别发现的, 他们为此荣获了 1952 年度诺贝尔物理奖。此后, 根据此原理研制的 NMR 谱仪一直在物理、化学、生物和医学等方面作为研究物质分子结构的一种重要分析工具得到广泛应用。1971 年美国医生 R · Damadian 利用 NMR 原理测定生物组织的纵向弛豫时间 (T_1) 和横向弛豫时间 (T_2), 并发现肿瘤组织的 T_1 和 T_2 值均比正常组织长, 从而提出将 NMR 用于医学诊断的可能性。1973 年美国人 P · C · Lauterbur 发表了 NMR 体层成像的文章, 开创了磁共振成像 (magnetic resonance imaging; MRI) 的先河。Damadian 等努力工作, 于 1977 年试制成功 MRI 扫描机, 到 1980 年推出世界上首台商用机。这一成果引起医学界的广泛重视。以后世界各大医疗器械公司集中资金, 组织大批科学家投入研究开发 MRI 技术设备, 1982 年以后, MRI 机迅速应用于临床。

目前, 美国、日本等发达国家 MRI 设备已达普及水平, 中小医院, 有的私人诊所已装备 MRI 扫描机, 大学附属医院或高级研究所多拥有数台设备, 分别用于科研和临床工作。由于 MRI 技术的不断改进, MRI 扫描机的升级换代速度随之加快, 其功能日趋完美, 应用范围不断扩大。可以说 MRI 在当今医学影像学领域中是发展最快、潜力最大、最具竞争力的手段。

从总体上讲, MRI 具有以下优点:

1. 在已有的众多医学影像学方法中, 其软组织对比度最高, 例如: 它可以清楚地分辨肌肉、肌腱、筋膜、脂肪等软组织, 准确区分脑灰质、白质。

2. MRI 具有任意方向直接切层的能力, 而不必变动被检查者的体位, 结合不同方向的切层, 可全面显示被检查器官或组织的结构, 无观察死角。近年开发应用的容积扫描, 可行各种平面、曲面或不规则切面的实时重建, 很方便地进行解剖结构或病变的立体追踪。尽管螺旋 CT 也能进行容积扫描, 但其属有射线技术, 而其他影像学方法目前尚望尘莫及。

3. MRI 属无创性技术, 并且无射线辐射, 避免了进行影像学检查时如 X 线或放射性核素扫描显像等射线辐射对人体的损害。

4. MRI 成像参数多, 包含信息量大, 如自旋回波 (spin echo; SE) 技术至少可获取三种性质不同的图像: T_1 加权像 (T_1 weighted imaging; T_1 WI)、 T_2 加权像 (T_2 weighted imaging; T_2 WI) 和质子密度加权像 (proton density weighted imaging; PDWI)。更何况目前已知 MRI 成像参数已达十余种, 再加上百种以上的脉冲序列 (pulse sequences; PS) 组合, 许多特殊成像技术的应用, 如水或脂肪抑制、扩散或灌注成像等, 成像潜力十分巨大, 为临床应用提供了广阔的研究领域。这是其他任何一种医学影像学技术所不及的。

5. MRI 具有较高的空间分辨率, 尽管一般 MRI 的空间分辨率不及 X 线平片、X 线心血管造影, 但优于超声心动图和放射性核素显像, 接近 DSA 和 CT 的水平。随近年开发应用的相控阵线圈及超快速成像技术取得突破性进展, 已有报告提供 1024×1024 矩阵、小视野高分辨率的 MRI 图像, 在显示前列腺癌的形态结构时, 可与 40 倍光学显微镜下病理切片所见相媲美。可以预言 MRI 的空间分辨率将进一步提高。

当然，MRI 也有一些缺点，主要是设备和检查费用比较昂贵，由于投入 MRI 技术研究开发的资金巨大，MRI 技术尚在不断发展，没有稳定，所以 MRI 设备价格居高不下，在一定程度上限制了它的普及和应用，尤其像我国这样的发展中国家更是如此。与其他影像学方法相比，除 X 线心血管造影、电子枪 CT 和 PET 外，其它影像学检查的费用均比 MRI 低。

其次，早、中期 MRI 设备扫描时间较长，为其主要缺点，例如，进行一次头部扫描需 30 分钟左右，心脏扫描则需 1 小时、甚至更长时间。近年随快速，尤其是超快速成像技术的完善，此问题已基本解决。新型 MRI 扫描机配有超快速扫描，如回波平面成像 (echo planar imaging; EPI)，其扫描速度最快可达 20ms 一幅图像，可行心脏实时动态扫描。但国内已运行的 MRI 设备，绝大多数属早中期产品，扫描速度还远不如 CT。

第三，国内 MRI 设备尚未普及，而普通 X 线、超声心动图、CT、X 线心血管造影等已广为应用，故单就普及率而言，MRI 还不如上述影像学方法重要。

第四，除超低磁场 (0.02~0.04T) 和新开发的开放式 (open style)、低场强 ($\leq 0.2T$) MRI 扫描机外，一般 MRI 机房内不能使用监护和抢救设备，加之 MRI 对病人体动敏感，易产生伪影，故不适于对急诊和危重病人进行检查。

第五，个别人进入 MRI 扫描室可产生幽闭恐惧症 (claustrophobia)，自诉有一种难以名状的恐惧感，常导致检查失败。

第六，MRI 对钙化不敏感，钙化灶内不含质子，不产生 MRI 信号，小钙化灶由于容积效应常被模糊掉而不能显示，大的钙化灶表现为无信号区，亦缺乏特征性。钙化在发现病变和定性诊断上有帮助，对钙化不敏感不利于诊断和鉴别诊断。

第1章

磁共振成像基本原理和成像技术介绍

第1节 核磁共振和磁共振成像基本原理

某些质子数与中子数之和为奇数的原子核如： ^1H （ 1 氢）、 ^{31}P （ 31 磷）、 ^{23}Na （ 23 钠）、 ^{13}C （ 13 碳）和 ^{19}F （ 19 氟）等，不仅具有一定的质量，带一定量的正电荷，还具有两个彼此相关的特征性参数，即自旋（spin）和磁矩（magnetic moment）。自旋（S）与磁矩（U）呈正比关系，见公式 1-1：

$$U = \gamma \times S \quad 1-1$$

γ ：比例常数（又称旋磁比）

不同原子核的 γ 值各异，换言之，每一种原子核都有自己固定的 γ 值。

在上述原子核中氢核（ ^1H ）即质子，结构最简单，但磁性较强（即磁矩较大），是构成水、脂肪和碳水化合物等有机物质的基本成份，人体内含量高，在各器官、组织中分布广，明显优于其他原子核，故目前临床主要利用 ^1H 质子进行MRI成像。我们可以将 ^1H 质子看作具有固定质量、带正电荷、不停绕自身轴旋转的小磁针（图 1-1）。人体内存在大量质子，在自然状态下，其磁矩所指方向各不相同，杂乱无章地分布，其磁矩互相抵消，故宏观上人体不显磁性（图 1-2）。

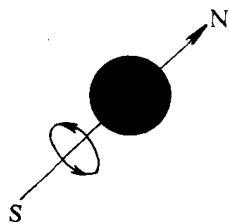


图 1-1 质子似一个不停旋转的小磁针

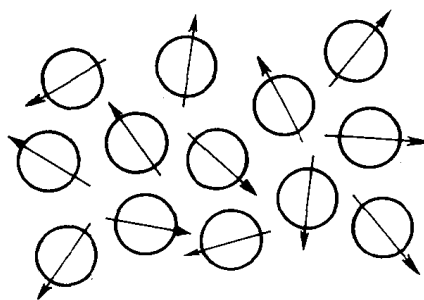


图 1-2 自然状态下质子磁矩杂乱无章地分布

当将人体置于一个外加的强磁场中时，原来杂乱无章排列的质子磁矩受外加磁场的影响，不停自旋的磁矩指向发生偏转，偏转不是倒向外磁场方向，平行或反平行于外磁场方向排列，而是呈陀螺样运动。除绕自身轴自旋外，还围绕外磁场的磁矩转动，这种运动方式称进动（precession）（见图 1-3），又称拉莫（Lamor）旋进，质子绕外磁场磁矩进动的角频率（ ω_0 ）称拉莫频率，其大小与外磁场强度（ B_0 ）成正比，见公式 1-2：

$$\omega_0 = \gamma \times B_0 \quad 1-2$$

γ ：旋磁比； B_0 ：外磁场强度，单位：特斯拉（Tesla；T）。

当质子进动时，各个质子磁矩的方向与外磁场磁矩方向的夹角各不相同，一些质子的夹角小于 90° ，质子与外磁场的磁矩方向大致相同，处于低位能状态，数量多些；而夹角大于 90° 的质子磁矩方向与外磁场相反，处于高位能状态，数量少些；夹角等于 90° 的质子磁矩指向水

平方向，在宏观纵向上无磁矩。将全部质子磁矩叠加起来，由于顺外磁场的质子比逆外磁场方向的质子多，故产生一个沿外磁场磁矩方向的宏观磁矩。换言之，由于人体置于外磁场内，质子磁矩受外磁场磁矩的影响，而呈有序化排列，使人体产生了磁性（见图 1-4）。

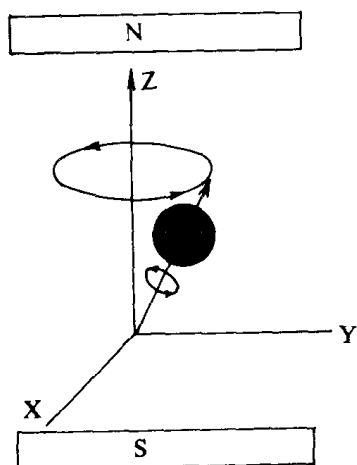


图 1-3 质子的进动

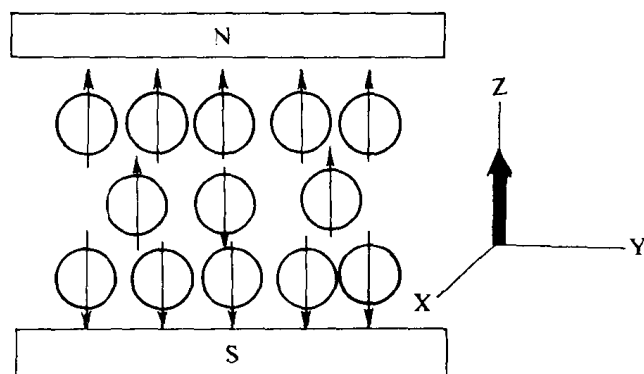


图 1-4 质子在外加磁场中磁矩叠加产生宏观磁性

此时，在与外磁场磁矩垂直的方向上加入射频脉冲即高频无线电波，当其频率与质子进动频率一致时，即发生核磁共振（nuclear magnetic resonance; NMR）现象：质子吸收射频脉冲的能量，磁矩发生偏转，整个自旋系统偏离平衡状态（见图 1-5）。当射频脉冲去除后，自旋系统自发地恢复到平衡状态，并将所吸收的能量仍以射频脉冲的方式释放。此射频脉冲即为 NMR 信号，用线圈接收此信号，经一系列计算机处理后，就得到了 MRI 图像（见图 1-6）。

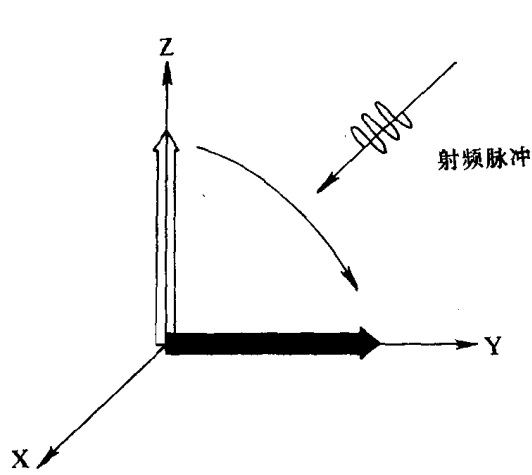


图 1-5 射频脉冲与质子发生核磁共振
宏观磁矩偏转由 Z 轴倒入 X-Y 平面

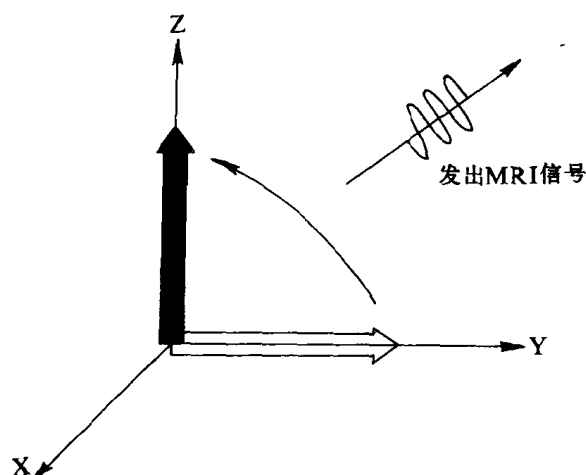


图 1-6 自旋系统恢复到稳态的过程中
发射所吸收的能量——MRI 信号

能使宏观磁矩偏转 90° 的射频脉冲称 90° 脉冲，使之偏转 180° 的脉冲称 180° 脉冲。实际应用时，射频脉冲常以组合方式发放，组合脉冲又称脉冲序列。

宏观磁矩在射频脉冲的作用下吸收能量发生偏转，整个自旋系统偏离平衡状态，去除射频脉冲后，自旋系统自发地恢复到平衡状态的过程叫弛豫（relax）。为了便于分析，以 90° 脉冲为例说明弛豫过程。引入坐标系（见图 1-7），X、Y 和 Z 轴代表空间三维方向，彼此互相垂直。质子自旋系统置入外强磁场中时，Z 轴方向为宏观磁矩的指向，其磁矩最大，而 Y 轴方

向磁矩为零。当加入 90° 射频脉冲后, 宏观磁矩由 Z 轴倒入 Y 轴, 致 Y 轴上磁矩最大, 而 Z 轴上为零 (见图 1-8)。射频脉冲去除后, 弛豫过程由两种成份组成:

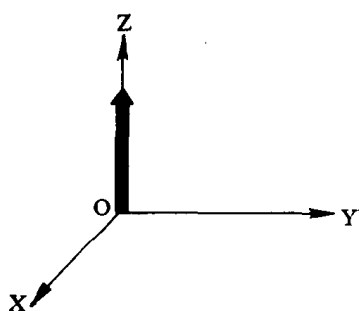


图 1-7 示人体置于外磁场中在 Z 轴方向产生宏观磁矩, X-Y 平面上的磁矩为 0

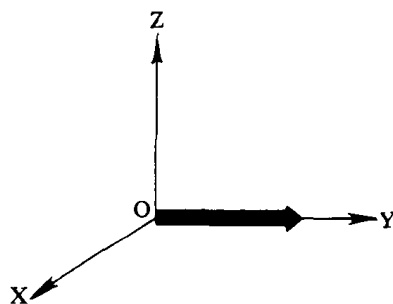


图 1-8 示在射频脉冲的影响下, 宏观磁矩偏转 90° , 由 Z 轴倒入 Y 轴, Z 轴磁矩为 0

1. 纵向弛豫 (longitudinal relaxation): 纵向弛豫指宏观磁矩纵向 (Z 轴方向) 由零回复到最大的过程。此过程质子释放 NMR 所吸收的能量, 即自旋系统与周围外界环境发生能量交换, 反映了质子与周围环境之间的关系, 又称自旋晶格弛豫 (spin-lattice relaxation), 见图 1-9。此弛豫曲线为指数递增曲线, 当 Z 轴宏观磁矩从零恢复至最大值的 63% 时, 称纵向弛豫时间, 用 T_1 标示, 通常人体组织的 T_1 值为数百毫秒。

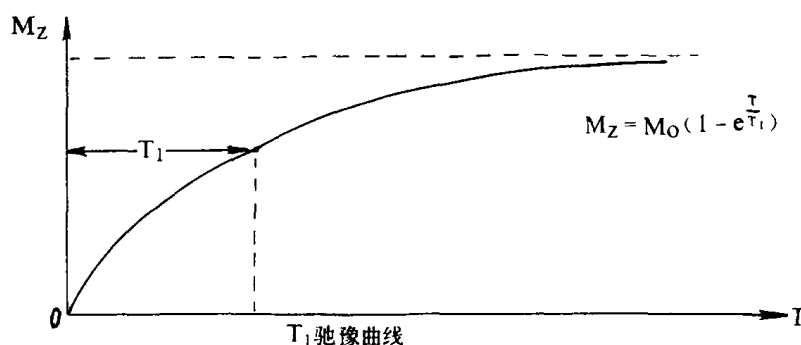


图 1-9 T_1 弛豫曲线
Z 轴磁矩恢复至最大值的 63% 时所需时间称 T_1

2. 横向弛豫 (transverse relaxation): 横向弛豫指宏观磁矩在水平方向上 (Y 轴方向) 由最大趋于零的过程, 表示各质子磁矩进动的相位由有序恢复至杂乱无章的状态。此过程不发生质子与外界环境之间的能量交换, 反映质子与质子之间的相互关系, 即质子本身的情况, 故横向弛豫又称自旋-自旋弛豫 (spin-spin relaxation), 此弛豫呈指数递减曲线, Y 轴磁矩由初始最大值衰减 63% 所需时间称 T_2 弛豫时间 (见图 1-10)。通常人体组织的 T_2 值较短, 远小于 T_1 值, 为数十毫秒。

NMR 质子数量与 MRI 信号强度成正比, 某器官或组织含质子数量多, 则发出的 MRI 信号强度就强; 反之, 则弱。由于人体各器官及不同组织的质子含量有一定差别, 所发出的 MRI 信号强度即强弱不等, 构成了 MRI 图像的基础对比度。但人体各组织、器官的 T_1 和 T_2 长短的差别远大于质子含量的差异, 尤其病变与正常组织之间更是如此, 故临床应用 MRI 时常突出 T_1 和 T_2 的差别, 获取 T_1 WI 和 T_2 WI, 以形成更大的对比度, 有利于显示病变。应该指出: 在外磁场确定不变的情况下, 具体组织的 T_1 和 T_2 均为常数。两种弛豫过程均呈指数形式, 一开始递增或递减的速度较快, 然后越来越慢。