

Catherine Westbrook Carolyn Kaut Roth John Talbot

WILEY

实用磁共振 成像技术

第 4 版

MRI IN PRACTICE

Fourth Edition

编 著

[英] 凯瑟琳·韦斯特布鲁克

[美] 卡罗琳·考特·罗斯

[英] 约翰·塔尔伯特

主 译

赵 斌 王翠艳

天津出版传媒集团

◆ 天津科技翻译出版有限公司



MRI in Practice

Fourth Edition

实用磁共振成像技术

(第4版)

[英]凯瑟琳·韦斯特布鲁克

编 著 [美]卡罗琳·考特·罗斯

[英]约翰·塔尔伯特

主 译 赵 斌 王翠艳

天津出版传媒集团

◆ 天津科技翻译出版有限公司

图书在版编目(CIP)数据

实用磁共振成像技术/(英)凯瑟琳·韦斯特布鲁克
(Catherine Westbrook),(美)卡罗琳·考特·罗斯
(Carolyn Kaut Roth),(英)约翰·塔尔伯特
(John Talbot)编著;赵斌,王翠艳主译. —天津:天津科技
翻译出版有限公司,2018.6

书名原文:MRI in Practice

ISBN 978 - 7 - 5433 - 3810 - 4

I. ①实… II. ①凯… ②卡… ③约… ④赵… ⑤王… III.
①核磁共振成像 IV. ①R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 044280 号

Title: MRI in Practice by Catherine Westbrook, Carolyn Kaut
Roth, John Talbot

ISBN:9781444337433

Copyright © 2011 by Blackwell Publishing Ltd.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English lan-
guage edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility
for the accuracy of the translation rests solely with Tianjin Science &
Technology Translation & Publishing Co., Ltd. and is not the responsi-
bility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be repro-
duced in any form without the written permission of the original copy-
rights holder, John Wiley & Sons Limited.

中文简体字版权属天津科技翻译出版有限公司。

授权单位:John Wiley & Sons Limited.

出 版:天津科技翻译出版有限公司

出 版 人:刘 庆

地 址:天津市南开区白堤路 244 号

邮政编码:300192

电 话:(022)87894896

传 真:(022)87895650

网 址:www. tsttpc. com

印 刷:高教社(天津)印务有限公司

发 行:全国新华书店

版本记录:787×1092 16 开本 24 印张 460 千字

2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷

定价:180.00 元

(如发现印装问题,可与出版社调换)

主译简介



赵斌,医学博士,主任医师,山东大学教授,博士生导师,山东省医学影像学研究所前任所长兼山东省立医院副院长。山东省有突出贡献中青年专家,“泰山学者”特聘专家,美国 UCLA 和哈佛大学访问学者,哈佛大学放射学副研究员。山东省十佳医师、全国优秀科技工作者、全国“五一”劳动奖章获得者。

中华医学会放射学分会委员,北美放射学会会员,国际磁共振学会会员,山东省科协常委,山东省医学影像学研究会会长,山东省放射医师协会主任委员,山东省医学会放射学会副主任委员,中华医学会放射学分会磁共振学组组长,中国解剖学会断层影像解剖学分会副主任委员。

《医学影像学杂志》主编,《中华放射学杂志》等 11 家杂志编委。全国卫生技术资格考试委员会、卫生部人才中心卫生人才评价领域专家。

承担及参与省部级及国家级课题 30 余项,其中获山东省科技进步奖二等奖 3 项、三等奖 6 项,行业奖励 5 项;发表文章 170 余篇,其中 SCI 收录 20 余篇;主编或副主编论著 25 部,主译 3 部。



王翠艳,医学博士,主任医师,山东大学硕士生导师。美国得克萨斯大学 MD 安德森癌症中心访问学者。荣获“山东省十佳青年医师”。中华医学会放射学分会磁共振专业委员会心胸学组委员,中国研究型医院学会放射学分会青年委员,山东省医学会放射学分会乳腺学组副组长、青年委员会委员,山东省医学影像学研究会神经放射专业委员会委员兼秘书。主持省级课题 2 项,参与国家及省级课题 10 余项,获山东省医学科技进步奖三等奖 1 项。发表论文 20 余篇,其中 SCI 收录 6 篇。参编著作 5 部,参译著作 4 部,其中主译、副主译各 1 部。

译者名单

主 译 赵 斌 王翠艳

副主译 彭洪娟 任福欣 冯鑫至

译 者 (按照姓氏汉语拼音排序)

白 雪	山东大学齐鲁医院
陈 欣	山东省医学影像学研究所
冯鑫至	山东省医学影像学研究所
郭小琴	山东大学齐鲁医院
郝 雯	山东省医学影像学研究所
贾海鹏	山东大学齐鲁医院
李玉超	山东省立医院
刘 波	山东大学齐鲁医院
卢忠飞	山东省烟台市毓璜顶医院
毛 宁	山东省烟台市毓璜顶医院
彭洪娟	山东省医学影像学研究所
任福欣	山东省医学影像学研究所
沈业隆	山东省医学影像学研究所
史宏璐	山东省医学影像学研究所
王 宝	山东省医学影像学研究所
王 倩	首都医科大学在读博士
王翠艳	山东省医学影像学研究所
王光彬	山东省医学影像学研究所
王海鹏	山东省立医院
王海燕	山东省医学影像学研究所
王姗姗	山东省医学影像学研究所
王铁铮	山东省医学影像学研究所
吴 超	天津医科大学总医院
杨 欢	山东省立医院
杨 双	山东省千佛山医院
姚 彬	南昌大学附属第二医院
赵 斌	山东省医学影像学研究所

中文版前言

随着各项科学技术的发展,磁共振成像技术也是日新月异,不断推出新的扫描序列和技术,突破了很多影像检查的原有瓶颈,在现代医学影像学的发展中处于领先地位,也成为所有影像医学生和影像医师必须掌握的技术,甚至很多临床医师也想要了解这一技术。学习磁共振技术离不开成像原理,而磁共振成像原理既抽象、深奥,又错综复杂,是块“硬骨头”。很多专业书籍泛泛地讲述原理和技术,既枯燥乏味,又难以理解和记忆,经常出现“啃不动嚼不烂”的情况,或者看着书懂了,合上书就忘掉的情况。不经过三五遍的反复学习,很难把这块“硬骨头”拿下。

而初读 *MRI in Practice* 这本书,我们就被深深地吸引住了。书中浅显易懂的文字、恰当易记的类比、精美清晰的图示,加上在线视频,将复杂深奥、难以理解记忆的磁共振成像原理及技术清晰明了地展现出来,为业界少有的一本好书。该书内容全面、讲解通俗易懂,是作者用真材实料、慢火巧功煲出的一锅既营养丰富又味道鲜美、易于吸收的“骨头汤”。对于初学磁共振技术的影像医学生、影像医师以及想了解磁共振成像技术的其他医师,都是一本难得的可以事半功倍的参考书!于是迫不及待要把这本精品之作推荐给大家,愿更多同行像我们一样喜爱它,并从中获益。

非常感谢参与翻译的各位同事,为了如实反映原著的精髓,大家都全力以赴,字斟句酌,花费了大量的时间和精力,但美中总有不足,难免会有一些瑕疵,敬请大家批评指正!



序 言

凯瑟琳·韦斯特布鲁克、约翰·塔尔伯特和卡罗琳·考特·罗斯从事 MRI 技术教学工作已经 20 多年了。其中两人曾为 MRI 技师协会授课,且两人在世界各地讲授自己的 MRI 技术课程。他们都被认为是 MRI 领域内极为出色的教授。对于 MRI 技师来说,《实用磁共振成像技术》起初看起来像是一本通俗地讲解成像原理的书,但是这种初始感觉与真相是有出入的。这是一本有关 MRI 技术的优秀的教科书,已是第 4 版,该书不仅对 MRI 技师很有帮助,而且对放射科医师以及试图专门从事 MRI 工作的主治医师也是极有帮助的。同时,这本书也为那些研究生和非放射学专业医师进行 MRI 研究提供了良好的理论框架。

本书的魅力在于它对 MRI 技术初学者做了简单的引导,之后又阐述了足够多的细节以满足高级技师和专门从事 MRI 的放射科医师的要求,并指导住院医师。举个例子,书中为 MRI 技术初学者给出了 T1 和 T2 加权序列的 TR 和 TE 的范围,然后迅速进入到梯度回波、传统的自旋回波、快速自旋回波的脉冲图解的讨论中。书中在快速自旋回波的讨论中,通过抽屉的类比很自然地引入到 K 空间的讨论,避免它有时干扰傅里叶变换的起源。关于 K 空间的讨论对于理解并行成像、半激励成像(局部相位傅里叶)、分数回波(局部频率傅里叶)以及平面回波成像及其应用(如灌注加权、扩散加权和扩散张量)是非常有必要的。同时,理解运动伪影抑制技术,如快速填充 K 空间的螺旋桨或刀锋技术而不是通常的直角坐标和整流线性方式也是非常有必要的。

另一个例子就是书中对接收带宽的解释,这是影响信噪比的一个主要决定因素。书中首先给出了典型的数值,然后继续讨论奈奎斯特定理和奈奎斯特频率,以及带宽对于化学位移伪影、视野和回波采样时间的影响。

本书配有高清图片和动态视频链接来进一步帮助理解复杂的 MRI 原理。尽管我从事 MRI 技术的教学和工作已经 30 多年了,我依然觉得作者在书中有大量的举例比我之前所用的要好太多,而且现在我已经打算开始引用了。总之,这是一本优秀的、易懂的、对读者有益的 MRI 技术类书籍。我衷心推荐这本书给大家!

加利福尼亚大学放射系主任,教授
William G. Bradley

第4版前言

《实用磁共振成像技术》已经成为该领域中的畅销书之一。该书首次于1993年出版,具有开创性的是,它是由MRI技师而不是放射科医师或物理学家编写的,并且试图为临床方面提供最基本的有关MRI技术的知识。这些MRI医师对复杂的数学公式并不感兴趣,他们只想知道它必要的工作原理以及如何调整参数以获得最佳的图像。当《实用磁共振成像技术》首次问世时,可以说因为太简单而招致了一些批评。然而,它很快成为畅销书,并且很多读者向我反映都把这本书视为救星。有些人说读完《实用磁共振成像技术》之后,很多当年的困惑突然就理解了,有种茅塞顿开的感觉。

多年来,《实用磁共振成像技术》不断成长壮大。尽管有其他书籍不断面世,这本书的销量反而增加了。它已经被翻译成多种语言并在全世界拥有数以千万计的读者。同时《实用磁共振成像技术》的课程也有18个年头了。约翰·塔尔伯特和我以这本书为基础进行课程教授。我们每年在14个国家进行20次授课,并遇见了成千上万的MRI医师,他们中的很多人已经加入了我们的《实用磁共振成像技术》队伍中。

上一版《实用磁共振成像技术》反响不错,这一版则更进了一步。根据读者的反馈,对第3章和第5章进行了恰当的修改,更加清晰地讲解了采样、数据采集和新序列等内容。我们完善了一些图表,并对词汇进行了更新,而本版最大的变化是它的在线资源,其提供了一些《实用磁共振成像技术》课程中的动态视频,并配有文字说明,使本书更加生动。在线资源同时也提供了一些问答题,以帮助读者检验所学习的内容。我希望本书在线资源方面将来有更长远的发展,这样可以有助于MRI医师随时学习。

我衷心希望全世界的《实用磁共振成像技术》读者能继续从中获益。感谢你们始终如一的支持与厚爱。

凯瑟琳·韦斯特布鲁克

致 谢

非常感谢约翰·塔尔伯特为本版图书提供精彩的图表和视频等在线资源！

非常感谢我的家人，Toni、Adam、Ben 和 Maddie，以及我在美国的母亲和姐姐！感谢他们一直以来对我的关爱和支持！

目 录

第 1 章 基本原理	1	第 3 章 编码和图像形成	49
引言	1	编码	49
原子的结构	1	引言	49
原子的运动	2	梯度	49
MR 活性原子	2	层面选择	51
氢原子核	4	频率编码	54
磁矩排列	4	相位编码	57
进动	6	采样	60
拉莫尔方程	7	数据采集和图像形成	65
共振	8	引言	65
MR 信号	11	K 空间描述	66
自由感应衰减信号	11	K 空间填充	67
弛豫	12	傅里叶变换	71
T1 恢复	12	K 空间的重要因素	74
T2 衰减	13	K 空间横向移动和梯度	80
脉冲时间参数	14	填充 K 空间的选项	82
第 2 章 图像加权和对比度	16	采集的类型	83
引言	16	第 4 章 参数和权衡	87
图像对比度	16	引言	87
对比机制	17	信噪比	87
不同组织的弛豫	17	对比噪声比	99
T1 对比度	20	空间分辨率	107
T2 对比度	21	扫描时间	113
质子密度对比度	22	权衡	115
加权	22	决策	115
T2* 衰减	25	容积成像	118
脉冲序列简介	27		

第 5 章 脉冲序列	120	第 7 章 伪影及其补偿	196
引言	120	引言	196
自旋回波脉冲序列	121	相位错位	196
传统的自旋回波	121	混叠现象或卷褶	204
快速自旋回波	122	化学位移伪影	209
反转恢复	131	反相位伪影(化学配准不良)	214
快速反转恢复	133	截断伪影	216
短时反转恢复	134	磁敏感性伪影	216
液体衰减反转恢复	137	交叉激励和层间干扰	219
反转恢复预备序列	140	拉链伪影	222
梯度回波脉冲序列	141	遮蔽伪影	222
传统的梯度回波	141	波纹状伪影	223
稳态和回波的形成	143	魔角效应	224
相干梯度回波	147	第 8 章 心血管成像	227
非相干梯度回波(毁损)	149	引言	227
稳态自由进动	152	常规 MRI 血管成像技术	228
平衡梯度回波	158	磁共振血管造影术	234
快速梯度回波	158	心脏 MRI	251
单次激发成像技术	161	心电门控	252
并行成像技术	167	周围门控	258
第 6 章 流动现象	172	伪门控	260
引言	172	多时相心脏成像	260
流动的机制	172	电影成像	261
流动现象	174	磁化空间调制	264
时间飞跃现象	174	第 9 章 仪器和设备	266
进入现象	177	引言	266
体素内去相位	179	磁性	267
流动现象补偿	182	永磁体	270
引言	182	电磁体	272
偶数回波复相位	182	超导电磁体	274
梯度磁矩相位重聚(梯度磁矩归零) ...	183	散射场	276
空间预饱和	183		

匀场线圈	278
梯度线圈	279
射频	285
患者运输系统	291
MR 计算机系统及用户界面	292
第 10 章 MRI 安全性	295
引言	295
政府指南	296
安全术语	297
硬件以及磁场方面的问题	298
射频场	299
梯度磁场	301
主磁场	303
投射物	307
选址考虑	307
MR 设施区	309
安全教育	310
保护大众人群远离外围磁场	311
植入物和假体	312
MR 设备和显示器	316
心脏起搏器	317
患者条件	317
安全规定	319
安全提示	319
参考文献	320

第 11 章 MRI 对比剂	321
引言	321
对比剂的作用机制	321
分子进动	323
偶极子-偶极子间相互作用	323
磁敏感性	323
弛豫率	326
钆的安全性	327
其他对比剂	330
钆对比剂的应用现状	332
结论	339
第 12 章 功能成像技术	342
引言	342
扩散加权成像	342
灌注成像	347
磁敏感加权成像	349
功能成像	349
介入性 MRI	350
MR 波谱成像	351
全身成像	354
MR 显微成像	354
相关术语	357
索引	369

第 1 章 基本原理

引言	1	共振	8
原子的结构	1	MR 信号	11
原子的运动	2	自由感应衰减信号	11
MR 活性原子	2	弛豫	12
氢原子核	4	T1 恢复	12
磁矩排列	4	T2 衰减	13
进动	6	脉冲时间参数	14
拉莫尔方程	7		

引言

磁共振成像(MRI)基本原理是深入理解这门学科的基础。在学习其他更加复杂的知识之前,这些知识一定要掌握。MRI 原理可以用两种方式解释:经典原理和量子物理学原理。这两个原理贯穿全书,所以我们尽量将这两个原理进行整合。本章将讨论原子的特性及其与磁场的相互作用、激励和弛豫。

原子的结构

所有物体都是由原子构成的,包括人体。原子非常小,500 000 个原子聚集在一起还不如人的一根头发粗。两个及以上原子构成分子。人体内含量最多的原子是氢原子,最常见于水分子和脂肪分子中。水分子由两个氢原子和一个氧原子构成(H_2O);脂肪分子由碳原子、氢原子和氧原子构成,不同类型的脂肪分子中三者的比例不同。

原子由中心的原子核和沿轨道运动的电子构成(图 1.1)。原子核非常小,只有整个原子体积的千万亿分之一,但却集中了整个原子的质量。原子核又分为质子和中子。原子的特性用两种方式来表示。原子序数等于原子核中质子的总数,代表着原子的化学特性。质量数是原子中质子数与中子数的总和。通常原子核中质子数与中子数相等,所以质量数为偶数。而在一些原子中,中

子数略多或略少于质子数。质子数相同而中子数不同的原子称为同位素。在 MRI 中,质量数为奇数(即质子数与中子数不同)的原子核有重要的意义(见后文)。

电子围绕原子核做旋转运动。通常认为这一运动类似于行星围绕太阳运动。实际上,电子存在于原子核周围的电子云中,电子云的最外层是原子的边界。某一时刻电子的能量不同,其在电子云中的位置也不同。因此,电子在电子云中的位置难以预测。物理学家将这一原理称为 Heisenberg 不确定原理。而电子的数目通常与原子核中的质子数是一致的。

质子带正电,中子不带电,电子带负电。所以,当带负电的电子与带正电的质子数量相同时,原子就处于电稳定状态。当外部能量激励电子脱离原子时,这种平衡将会被打破。电子数少于质子数,原子处于不稳定状态,这种原子称为离子。

原子的运动

原子的运动包括 3 种类型(图 1.1):

- 电子自旋
- 电子绕原子核旋转
- 原子核自旋

MRI 依据生物组织内特定核团的自旋运动进行成像。这种旋转来源于原子核内质子和中子的自旋。同时亚原子粒子以相反的方向、相同的速率自旋。在质量数为偶数的原子中,即质子数等于中子数,一半的质量数以一种方式自旋,另一半以另一种方式自旋。原子核本身并不自旋。而在质量数为奇数的原子中,即中子数略多或略少于质子数,旋转方向并不完全相同或相反,因此,原子核本身自旋或有角动量。这称为 MR 活性原子。

MR 活性原子

MR 活性原子绕自身轴不断旋转,并产生一个磁场。这是由于 MR 活性原子自旋或有角动量,并且含有带正电的质子,从而带有电荷。电磁感应定律(由迈克尔·法拉第于 1833 年提出)的产生包含 3 个基本因素:运动、磁场、电荷。如存在其中两个因素,则会感应生成第 3 个因素。MR 活性原子带有净电荷且自旋,就会产生一个磁场,这一磁场将和外磁场的方向一致。

重要的 MR 活性原子及其质量数如下:

氢原子	1
碳原子	13
氮原子	15
氧原子	17
氟原子	19
钠原子	23
磷原子	31

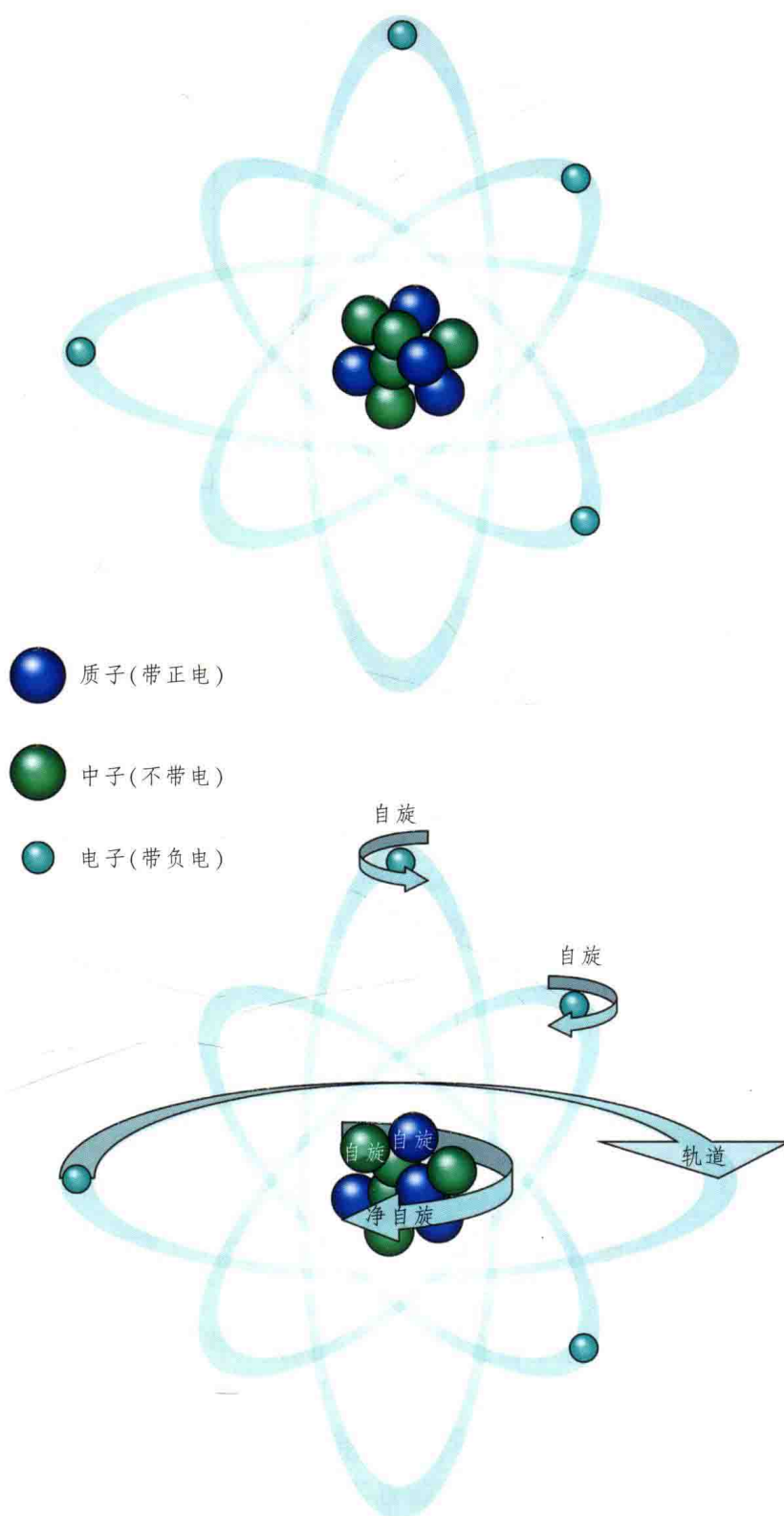


图 1.1 原子。

虽然中子不带电,但亚原子结构并不是平衡地分布于中子表面。一旦质量数增加,这种不平衡将使中子所在的原子具有 MR 活性。核磁矩的总和决定磁场方向,用磁场矢量来表示。每个原子核的磁矩不同,其对磁共振的敏感性也不同。

氢原子核

氢原子核的同位素叫作氕,是临床 MRI 常用的 MR 活性原子。它只包含一个质子(原子核数和质量数都是 1)。人体内氢含量最多,其只含有一个质子,使其具有相当强的磁性。这些特性使人体内大量的磁化作用得以利用。在本书中,所有的氢原子核、原子核或氢原子都是指这种氢的同位素。

氢原子核是一个磁体

电磁感应定律指出带电粒子运动可产生磁场。氢原子核包括一个带正电荷的自旋的质子。因此氢原子周围形成感应磁场,相当于一个小磁体。每个氢原子核形成的磁场都有一个南极和一个北极,并且南极和北极的磁场强度相同。原子核的南北轴用磁矩来表示, MRI 基本原理中传统理论就是这样解释的。每个原子核磁矩都用矢量来表示,即有大小和方向的量(用箭头来表示)。矢量的方向代表磁场的方向,矢量的长度代表磁矩的大小(图 1.2)。

磁矩排列

没有外加磁场时,氢原子核磁矩自由排列。而当有较强的静态外加磁场时(图 1.3 中白色箭头及 B_0 所示),氢原子核的磁矩按磁场方向排列。大部分氢原子核磁矩与磁场方向平行(即方向相同),少数氢原子核磁矩与磁场方向反平行(即方向相反),如图 1.3 所示。

量子理论(由马克斯·普朗克于 1900 年首次提出)描述了离散能量的数量关系,即量子的电磁辐射。将量子理论应用于 MRI,氢原子核有两个不连续的能量级,即低能级和高能级(图 1.4)。低能级原子核磁矩方向与外磁场平行(图 1.4 中白箭头所示),称为自旋向上原子核(图 1.4 中蓝色所

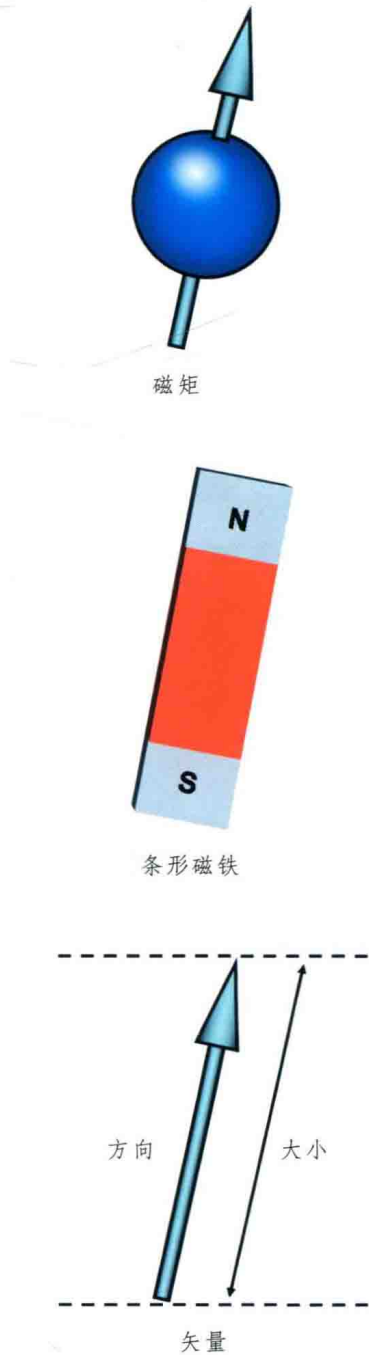


图 1.2 氢原子核磁矩。

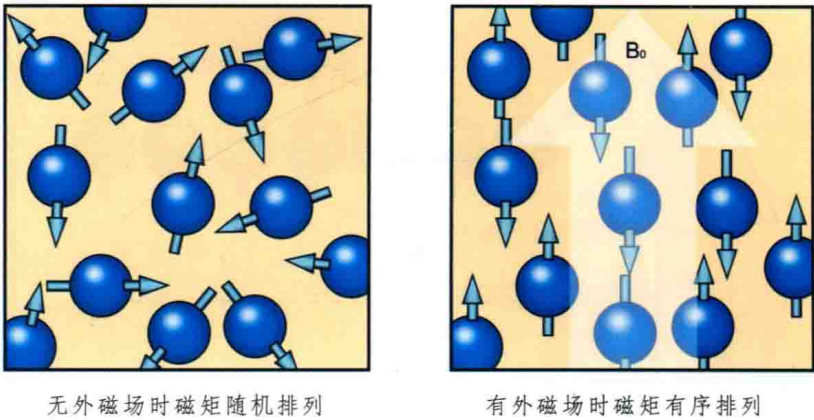


图 1.3 磁矩排列——经典理论。

示)。高能级原子核磁矩方向与外磁场方向反平行,称为自旋向下原子核(图 1.4 中红色所示)。

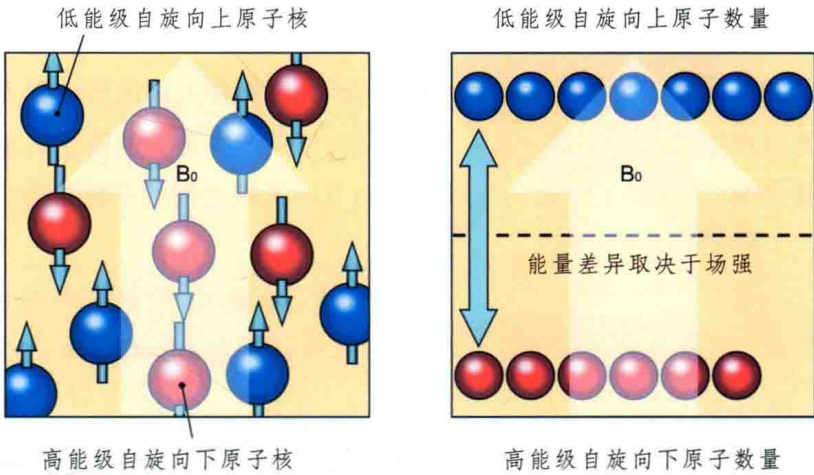


图 1.4 磁场方向——量子理论。

知识点:磁矩

它是指氢原子核在外磁场 B_0 作用下的磁矩,并不是氢原子核本身的磁矩。此外,这些氢原子只能以以下两种方向之一进行排列:与 B_0 平行或反平行。这是由于它们代表了氢原子仅有的两种能量状态。氢原子核本身并不能改变方向,仅围绕其轴线自旋。

外磁场的强度及氢原子核的热能级决定了氢原子核平行或反平行排列。处于低热能级原子核没有足够的能量对抗外磁场能量呈反平行排列。而处于高热能级原子核有足够的能量对抗外磁场,随着磁场场强增强,越来越少的原子核有足够的能量。原子核的热能主要是由患者的体温决定的。在临床应用中热能变化不大,因此并不重要,这叫作热平衡。这种情况下,外磁场的强度决定了自旋向上和自旋向下原子核的数量比。

在热平衡状态下,处于高能级原子核要比处于低能级原子核少,因此,平行于磁场方向的磁矩可以抵消小数量的反平行的磁矩。更多平行方向的磁矩将产生一个净磁矩(图 1.5)。其他的 MR 活性原子也在磁场中发生偏转,各自产生小的磁化矢量。