

MRI Sequence
Design and Clinical Application

临床磁共振成像序列 设计与应用

第二版



主编 韩鸿宾

北京大学医学出版社

MRI Sequence
Design and Clinical Application
临床磁共振成像序列设计与应用
(第二版)

主 编 韩鸿宾

副主编 谢利德 崔德华 吴景龙

编委 (以姓氏拼音为序)

高东红	高文清	郭顺林
喀蔚波	李 辉	李 选
李新平	刘爱莲	许 锋
王晓庆	张海龙	张树瞰
赵 磊	曾津津	

编委会秘书 程达、卢嘉宾

制 图 张若城

北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

临床磁共振成像序列设计与应用 / 韩鸿宾主编. — 2 版.
北京: 北京大学医学出版社, 2007.10
书名原文: Cardiovascular Care Made Incredibly Easy
ISBN 978-7-81116-342-1

I. 临... II. ①韩... III. 磁共振成像 - 研究 IV. R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140284 号

临床磁共振成像序列设计与应用

主 编: 韩鸿宾

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumppress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京佳信达艺术印刷有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 暴海燕 责任校对: 杜悦 责任印制: 郭桂兰

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 21.5 字数: 520 千字

版 次: 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷 印数: 1-3000 册

书 号: ISBN 978-7-81116-342-1

定 价: 150.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

编者（以姓氏拼音为序）

- | | |
|-----------------|------------------|
| 陈博思(北京大学第三医院) | 程 华(北京市儿童医院) |
| 崔德华 (北京大学医学部) | 窦 郁(兰州大学第一医院) |
| 高东红(北京大学医学部) | 高文清(北京大学深圳医院) |
| 郭顺林(兰州大学第一医院) | 韩昊君(沈阳农业大学) |
| 韩鸿宾 (北京大学第三医院) | 和清源(北京大学第三医院) |
| 喀蔚波(北京大学医学部) | 李 辉(北京大学医学部) |
| 李新平(北京大学医学部) | 李 选(北京大学第三医院) |
| 刘爱莲(大连医科大学第一医院) | 刘洪东(鞍山市中心医院) |
| 刘 珣(北京市儿童医院) | 卢艳玉(福建医科大学漳州市医院) |
| 庞超楠(北京大学第三医院) | 皮金才(大冶人民医院) |
| 史斌斌(北京大学第三医院) | 王 俭(新疆大学医学部) |
| 田 金(北京大学第三医院) | 王晓庆 (北京理工大学) |
| 吴景龙(日本香川大学工学部) | 辛仲宏(兰州大学第一医院) |
| 谢利德(河北石家庄医学院) | 徐晓娟(北京大学第三医院) |
| 许方婧伟(北京大学第三医院) | 许 锋(北京大学第三医院) |
| 岳云龙(北京市世纪坛医院) | 张 芳(北京市海淀区医院) |
| 张海龙(香港科技大学) | 张若城(鞍山市中心医院) |
| 张树墩(鞍山市中心医院) | 赵 磊(哈佛大学医学院) |
| 赵 强(北京大学第三医院) | 曾津津(北京市儿童医院) |

主编简介

韩鸿宾

研究员、主任医师、博士生导师

1971年生人，祖籍辽宁

科研志向：脑血管病



- ✧ 1988~1993年于大连医学院（现大连医科大学）完成本科阶段临床医疗专业的学习。
- ✧ 1993~1996年本科毕业后被保送为大连医科大学附属二院影像医学专业硕士研究生，师从刘兴第教授，从事脑缺血超早期诊断与动脉溶栓治疗的研究。
- ✧ 1995年入选由戴建平教授主持负责的中华医学会放射学会跨世纪人才培养“种子计划”。在该基金的支持下，于1995年赴北京学习介入治疗技术，并明确了脑缺血超早期定量诊断的研究方向。
- ✧ 1996~1999年在北京医科大学（现北京大学医学部）继续攻读博士学位，师从谢敬霞教授。期间继续应用功能性MRI对脑缺血的超早期诊断进行研究，在1997年中华放射学年会上，在国内率先报道了DWI在缺血卒中超早期诊断中的应用。
- ✧ 1999年毕业留校后，由于研究的需要，于2000年赴美国北卡，经过培训获得磁共振成像序列设计资格证书，回国后主编专著《临床磁共振成像序列设计与应用》，将所学与全国同道分享。
- ✧ 2000~2007年间，分别获得了二项国家自然科学基金、三项北京大学“985”学科建设项目。在这些科研课题的支持下，取得了多项成果：2003年获得北京市首届青年创新创效成果一等奖，后又获得包括教育部提名国家科技进步二等奖在内的四项国家省部级科研成果，获得技术发明专利一项。
- ✧ 2004年为了解决血脑屏障通透性定量研究的数学模型难题，赴德国慕尼黑LMU进行高级访问、学术交流，期间获得DAAD奖学金。2005年回国后继续血脑屏障损伤的分子影像学与相关机制研究。
- ✧ 2005年当选中华放射学会神经专业组委员。
- ✧ 2006年入选教育部新世纪优秀人才计划。

第二版前言

2003年诺贝尔生理学或医学奖颁发给了美国纽约州立大学的劳特伯(Paul C. Lauterbur)和英国诺丁汉(Nottinham)大学的曼斯菲尔德(Peter Mansfield),以表彰他们30年前在MRI空间定位方面等做出的贡献,也说明了MRI在科学研究与社会进步中起到的关键作用。早在磁共振成像技术诞生之前,NMR就已经在生物领域得到了广泛应用。而成像技术的实现,不仅使原有的应用得到了空间定位上的进步,也使得MRI在医学,在人类健康上发挥着日益重要的作用。

从MRI诞生开始,经历了基本成像技术发展、大体解剖形态影像学、功能影像学、分子影像学时代的发展过程。MRI序列设计作为磁共振成像技术的最直接载体,伴随着其在医学领域的不断深入发展,从最初的SE序列,到20世纪80年代中期的GRE,90年代的EPI。MR序列设计无论是针对形态成像、功能成像,还是分子成像都是最基本的技术支撑平台。同时,对于临床医师、技术员与科研人员而言,序列设计也是学习和掌握MR成像原理与实战技术的最有效方法和途径。

本书第一版在2003年底出版。自2004年以来,我多次接到读者关于本书内容的来信、来电,这种交流让我感受到他们在MRI成像序列设计方面的学习热情与更深入了解MRI技术原理的愿望,也感受到了他们在序列设计理论与实践应用方面的快速进步。读者的热情与进步是本书再版的主要动力。

诚言,各个厂商在出厂前都会由序列设计师调整出各个机型的最佳技术参数,以说明书和技术手册的形式附带于MRI机赠送给我们用户。我在与MRI研发基地的合作研究时,明白了序列设计物理师们在出厂序列设计时对医学背景知识的盲区,没有相关的指导材料是他们工作中面临的最大障碍。对于临床医师与技术员记住和列出这些推荐序列与参数不是我们学习序列设计的出发点,总结各个机型的最佳参数与技术指标对临床实战来说也是舍本求末,事倍功半的无意义劳动。掌握序列设计基本原理与原则才是真正将MRI机在疾病诊断中的作用发挥到极至的有效途径。实现对病人的个性化序列设计方案,实现对临床与基础科研课题设计的个性化方案,知其然,并知其所以然,才是我们学习MRI序列设计的落脚点。因此,本版更注重序列设计知识体系的整体性,也更加兼顾工科与医科两方面学员的背景知识。当然由于读者群还是以医院的用户为主,因此,我们还是向临床与生物学背景相对倾斜,而对工科方面只是给予序列设计相关生物学基本知识的介绍,比如各脏器组织的MRI相关特性如 T_1 、 T_2 值、化学位移等。在MRI领域,搭建工科与医科的桥梁是我们再版时要努力尝试的任务之一。

鉴于全书以磁共振序列设计为主线,去掉了与序列无直接关系的部分内容,如原有的对比剂章节,增加了序列设计临床应用的实例及各系统疾病诊断的章节。本书第一章仍然是以序列设计定义开篇,对序列设计示意图解析方法进行介绍。第二章以SE序列设计的技术特点开始,对序列设计的基本概念进行复习与实践,并对SE序列图像对比度的设计进行介绍,同时介绍应用预脉冲序列组合丰富图像对比度的方法。接下来,以SE序列为基础,介绍K空间的概念与特性,为进一步介绍GRE、FSE、EPI等快速成像序列与技术原理奠定基础。在掌握了所有基本的序列后,分别在第三章与第四章,对MRA、功能成像进行介绍,MRA

与功能成像是序列设计的高级应用,因此,这二章也是对各类序列设计方法与原则的复习与实践。在第五章中,介绍了各类伪影的产生机制,补充了部分高场特有伪影的介绍,如介电伪影等。在第六章中,分别对神经系统、骨关节运动系统、腹部、心脏、儿科疾病诊断的MRI常用技术与序列进行举例介绍,以增加序列设计临床实践的实用性。第七章是对MRI硬件的介绍,鉴于MRI日新月异的发展,增加了硬件进展的部分。在第八章中,我们对MRI历史进行了回顾,并结合我们实验室应用MRI进行科研的经历,对MRI科学研究的基本原则进行了介绍。NMR由于其对化学结构的可探测性,从其诞生开始注定与生物研究领域结下不解之缘,在科学研究部分,也增加了关于NMR在植物学中的应用,旨在说明序列设计应用的广阔领域与前景,并以此与前述临床序列设计并重,说明MRI技术在当代科学研究中的重要作用。

MRI发展历史是非常值得中国的管理与科研团队进行学习和总结的。对我国而言,目前欧、美各大公司在MRI产业、科学研究领域形成的垄断“托拉斯”格局,不仅仅是产业阵营的丢失,也对我国基础科研领域原创成果的产生造成了极其深远而不良的影响。在下一个成像新方法与技术产业体系的诞生与发展过程中如何不再处于这种不利的被动局面是需要学者与管理者共同思考、共同面对并解决的问题。

可喜的是,国内已有部分企业和科研单位在努力改变这种现状,他们已经在低场MRI生产方面有了突破性的进展。抛开这种努力的市场结果不说,其在改变我国MRI基础与应用研究领域的尴尬现状方面具有非常重要的潜在意义。在此,也祝愿他们能够顺利发展。

由于MRI序列设计的学习比较抽象,序列的标志符号较多、各个公司序列名称庞杂,再版对序列的标志符号进行了全书统一,并将各大公司的序列名称在相应章节的附件中列表总结。全书采用彩图设计,以便于工科背景(序列设计工程师)、生物或者医科背景的学生都能够容易理解与学习。

本书再版是在教育部新世纪优秀人才计划、北京大学医学部“985”二期学科建设项目的支持下完成的,并被指定为国家级继续教育培训教材。冯义谦教授作为MRI发展参与者为本书MRI发展历史部分进行指导,北大医学部高东红老师为本书的数学公式进行了校对,李辉老师为本书物理概念进行了审校把关,郭顺林教授、李选教授、曾津津教授、刘爱莲教授、高文清博士、张芳博士、研究生岳云龙等对序列设计在临床各个系统中的应用进行了系统总结,我院医学工程处的工程师、实验室的高级访问学者以及研究生都为本书的再版付出了辛勤的劳动,张若城医师为本书提供了整体风格与图画的设计,对他们们的热情与帮助表示由衷的感谢。

尽管我们的编写团队进行了多次编委会交流与交叉审稿,但由于MRI序列设计相关学科跨度大、学科门类多,还是难免会有错误与纰漏存在,敬请各位专家与同道批评指正。

学海无涯,让我们共同学习、共同进步!



2007年6月 北京

第一版 刘玉清院士 序

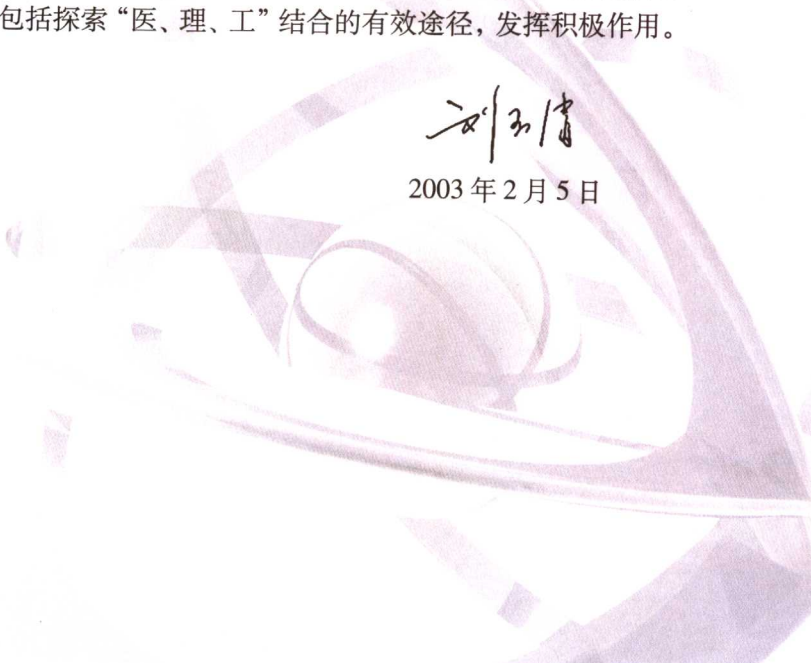
自20世纪80年代初磁共振成像应用于临床以来,由于其无射线、高对比分辨率等优势,备受重视。尤其近年来硬、软件的提升和改进,使MR成像时间和空间分辨率进一步提高,并形成了由形态学向功能、代谢成像发展趋势。从诊断效果和效率整体分析,磁共振成像现已成了众多医学影像技术中的极为重要的组成部分,临床应用日趋普及。21世纪新一代分子影像学的研究、开发,磁共振成像也占有重要地位。

我国自20世纪80年代中期引进磁共振设备以来,由于专业人员的努力,磁共振成像临床应用和物理、工程技术方面的研究均取得重要和相当的进展,但迄今尚缺少原创性成果。众所周知,磁共振成像含频谱分析,包括医学、物理学、数学、电子学、计算机技术等多学科的交叉领域。因此,医学和物理学、工程技术专家密切合作,协同研究,方能促进这一交叉领域的深入发展。由于历史的原因,某些体制和机制问题,至今磁共振成像以至整个医学影像学领域尚未找到适合我国国情的“医、理、工”结合,开展协同研究的途径。

以磁共振成像的临床应用及研究为例,从事这方面工作的影像(放射)学医师和技师,因缺少相应的培训,大多理工学功底不够深厚,一般只是按照设备厂家提供的脉冲序列开展工作。另一方面理工学专家对磁共振成像临床应用研究也知之不多,或缺少深入了解的条件和环境。这一现实情况,也是阻碍我国磁共振成像临床应用研究沿着正确方向发展的重要因素。

由韩鸿宾博士主编并组织多位医学、物理学和工程技术专家共同编著的《临床磁共振成像序列设计与应用》一书,以磁共振成像序列设计为主线,进一步讲解磁共振成像的物理概念、成像原理以及临床应用的关键技术等,且配以多数临床实例。这一新的颇具创意的著作,对临床和影像学医技人员深入学习、掌握磁共振成像的理工基础知识,同时对理工专业人员进一步了解磁共振成像临床应用的现状及进展,均会大有帮助。

因此,我愿意向广大读者推荐这一新著,祝愿并相信它的出版对推动我国磁共振成像进而医学影像学不断取得新的进展,包括探索“医、理、工”结合的有效途径,发挥积极作用。



刘玉清

2003年2月5日

第一版 冯义濂教授 序

医学核磁共振成像是一个典型的跨学科领域，它横跨物理学、射频与数学、电子学、计算机、图像处理技术而应用于医学：跨度之大、应用领域之广、介入各个领域之深，都是迄今极为罕见的。因之，在这个领域发展的前20年当中，只有由临床医学专家和磁共振物理学家密切配合才能做出出色的工作。近年来，国外开始出现先读物理学后读医学（如芝加哥大学医学院的学科带头人Dr. Levin）或者先读临床医学后补充磁共振物理学的双料博士。他们在这个领域内发挥了重要的作用，是这个领域里真正的专家。

自1996年起北京医科大学（现北大医学部）与北京大学实行联合办学，试行在交叉学科领域内培养跨学科的临床医学博士。由临床医学专家与磁共振物理学家携手共同培养该领域的专家。我有幸自始至终参加了这一个很有意义的工作。这项工作获得了令人吃惊的良好效果：我们联合培养出一小批确有真才实学的核磁共振成像临床医学专家。本书作者韩鸿宾博士即是其中的佼佼者。他通过自身的刻苦努力，于2000年获得了在国外只有物理师才能问鼎的MR序列设计资格。之后，经过3年多的辛勤努力，韩鸿宾博士带领其实验室中的数学、物理学、计算机等多学科的科研人员共同完成了《临床磁共振成像序列设计与应用》这本专著。

临床医学核磁共振成像专家必备的基本能力就是学会脉冲序列设计。而正确掌握脉冲序列设计方法，则必须深刻而正确理解MR成像的基本物理概念。由韩鸿宾博士主编的《临床磁共振成像序列设计与应用》一书正是从这个角度出发，以序列脉冲设计为主线，对临床医学磁共振成像的工作原理以及与临床密切相关的关键技术结合临床实践经验进行阐述，书中结合了韩鸿宾博士在MR成像临床与科研以及相关教学领域的宝贵实践经验。应当说这是对临床医学核磁共振原理进行讲解的一种崭新尝试，国内迄今尚未见类似的参考书。

国内在临床医学核磁共振成像方面做交叉学科研究工作的人才目前不多，这本书可以在临床医生和物理学家之间起到积极的桥梁作用，是MR临床医生、技术员以及利用MR技术进行科学研究的科研人员必备之参考书。

长江后浪催前浪，当前青年一代人才辈出。希望韩鸿宾博士在不久的将来能够不断地把自己的临床实践与研究成果形成新著，发表出来供大家参考。

冯义濂

2002年12月8日于北京大学

目 录

第一章 MRI 序列设计的基本概念与 MR 成像基本原理	1
第一节 序列设计的基本概念	1
一、序列设计的基本概念	1
二、序列设计示意图解析与分类	4
三、序列设计的临床应用价值	8
四、序列设计优化与选择	10
第二节 均匀磁场环境与 MR 成像的物理对象	12
一、明确成像测量物理对象的重要性	12
二、磁场与电磁现象	12
三、磁场与氢原子核运动方式	14
四、MRI 测量的物理对象 M_0	16
五、高低磁场强度环境与 M_0	17
六、 M_0 的测量	18
第三节 射频脉冲与磁共振现象	19
一、射频	19
二、射频的产生	20
三、射频与 M_0 的测量	21
四、射频翻转角与旋转坐标系	22
五、射频脉冲种类	24
六、 M_0 的基本性质：纵向与横向弛豫、化学位移	25
第四节 外加梯度场在磁共振成像中的作用	35
一、MR 成像梯度方向定义与性能评价	35
二、层面选择梯度场	36
三、读出梯度与傅立叶变换	40
四、相位编码梯度与 M_0 的空间定位	42
五、序列设计中梯度的其它作用	45
第二章 临床常用序列的序列设计	47
第一节 自旋回波序列	47
一、自旋回波序列设计	47
二、自旋回波图像对比度的序列设计	53
三、自旋回波 MR 信号的定量	55
四、自旋回波图像特点	56
五、多层采集	58
第二节 预脉冲获得图像对比度的序列设计	59
一、磁化转移	59
二、水激发	60

三、反转恢复序列	61
四、脂肪抑制	63
第三节 K 空间与图像重建方法	64
一、K 空间概念	64
二、K 空间的基本性质	67
三、K 空间的频率分布特点与图像显示	68
四、K 空间概念的实际应用	69
第四节 梯度回波的形成机制与图像对比度的序列设计	72
一、梯度回波的形成机制与技术难点	72
二、扰相梯度回波	74
三、横向磁化矢量重聚相位梯度回波	82
第五节 RARE 与快速自旋回波	91
一、快速自旋回波序列设计	91
二、快速自旋回波序列硬件技术特点	92
三、快速自旋回波序列对比度与图像特点	95
四、快速自旋回波变型序列	98
第六节 平面回波成像的序列设计	100
一、平面回波成像技术的序列设计	100
二、EPI 临床应用	105
三、EPI 安全性	105
第三章 血管及流动相关成像	107
第一节 MRA 成像基础	107
一、心动周期	107
二、血管内血流速度的特点	108
三、血流状态的表示方法	108
四、血流磁共振成像的相关物理特性	110
第二节 临床常用 MRA 序列设计及应用	111
一、TOF-MRA 序列设计	111
二、TOF-MRA 的图像显示与伪影	118
第三节 PC 法 MRA 与流速测量的序列设计	123
一、PC-MRA 的序列设计	123
二、PC-MRA 的常见伪影与数据分析错误	128
三、相位对比法血管成像的优势和限制	129
第四节 应用 RARE 序列的血管成像	130
一、黑血技术	130
二、新血亮血序列	133
第五节 CE-MRA 序列设计及临床应用	135

一、CE-MRA 原理与序列设计	135
二、CE-MRA 特点与临床应用	138
第四章 MRI 功能代谢性成像	141
第一节 扩散成像与定量分析	141
一、扩散的基本概念	141
二、扩散成像的序列设计	145
三、扩散张量定量分析	148
第二节 MR 波谱分析与成像	150
一、化学位移概述	150
二、MRS 与化学位移成像序列设计	152
三、MRS 定量分析方法	155
第三节 MR 灌注成像及交换率信息的提取	156
一、微循环灌注与物质交换基本概念	156
二、灌注与交换率的 MR 测量相关基础知识	158
三、MR 灌注成像序列选择原则	166
四、灌注成像获取灌注及微观交换率参数信息的数学基础	167
第四节 脑功能成像	171
一、MR 脑神经功能活动的生理学基础	171
二、MR 血氧水平依赖法脑功能成像的技术基础	172
三、血氧水平依赖法脑功能成像的实验设计与数据处理	172
四、脑功能成像的实际应用	173
五、脑功能应用实例介绍	178
六、限度与展望	180
第五节 分子探针成像	181
一、MR 分子探针成像的条件	181
二、常用的 MR 分子探针	181
三、MR 分子成像的应用与展望	181
第五章 磁共振成像伪影及其序列设计矫正	185
第一节 磁场相关伪影及其序列设计矫正	186
一、磁场相关伪影的表现与产生机制	186
二、磁场相关伪影矫正的序列选择原则	189
三、利用硬件有源匀场与无源匀场	190
第二节 射频相关伪影	190
一、外来射频干扰	190
二、内源性剩余 RF 干扰	191
三、空间射频强度分布不均匀性伪影	191

四、介电共振伪影与矫正 192

第三节 梯度场相关伪影 193

第四节 数据接收和处理相关伪影 195

一、环形伪影 195

二、数据剪裁伪影 196

三、数据中的意外噪声污染 196

四、数据丢失伪影 197

五、卷折伪影 197

第五节 与人体相关的伪影 198

一、化学位移伪影 198

二、运动相关伪影 199

三、MRA 相关伪影与矫正技术 203

第六章 磁共振序列设计的临床应用 205

第一节 临床磁共振成像序列的功能组成 205

一、MRI 序列的功能组成 205

二、MRI 信号采集方法 205

三、MR 对比度形成的序列结构基础 206

第二节 神经系统 MRI 成像与疾病诊断 206

一、中枢神经系统磁共振成像相关解剖、生理与物理特性 206

二、神经系统的疾病分类与 MRI 诊断 208

第三节 腹部 MRI 成像方法与疾病诊断 215

一、腹部磁共振成像相关解剖、生理与物理特性概述 215

二、腹部常用序列和特殊技术 218

三、腹部脏器疾病诊断常用序列和正常 MR 表现 225

四、腹部疾病分类与 MRI 诊断 228

第四节 心血管系统 MRI 常用序列和疾病诊断 235

一、心脏磁共振成像相关解剖与生理 235

二、心脏 MRI 相关特点 236

三、心脏疾病的 MRI 诊断 240

第五节 骨关节系统 MR 成像和疾病诊断 242

一、骨关节系统磁共振成像相关解剖、生理与物理特性概述 242

二、骨关节 MRI 成像技术基础 243

三、骨关节 MRI 扫描常用序列与特点 244

四、骨关节疾病的 MR 诊断 246

第六节 磁共振介入技术的序列设计与临床应用 250

一、磁共振介入技术基本概念 250

二、磁共振介入技术系统组成 250

三、磁共振介入常用序列及临床应用	251
四、常用序列参数	255
第七章 磁共振成像设备	257
第一节 概 述	257
一、磁共振成像的背景知识	257
二、磁共振成像设备的结构以及各结构的作用	258
第二节 磁体系统	259
一、永久磁体	260
二、常导磁体	260
三、超导磁体	263
四、场强的选择	265
五、磁体技术的新进展	266
第三节 射频系统	268
一、发射线圈	268
二、发射通道	271
三、接收线圈	274
四、接收通道	276
五、射频技术的新进展	280
第四节 梯度磁场系统	284
一、梯度场的产生	284
二、梯度场线圈	286
三、梯度场的参数	287
四、梯度技术的新进展	288
第五节 计算机系统	289
一、梯度磁场的控制	290
二、射频脉冲的控制	290
三、图像重建	291
四、图像的显示	292
第八章 MRI 发展历史与科学研究	295
第一节 磁共振成像的发展历程	295
一、从原子结构到磁共振现象与理论基础的确立	295
二、磁共振波谱和信号测量技术的发展	296
三、磁共振成像技术的诞生与发展	297
第二节 应用 MRI 进行科学研究	300
一、MRI 成像的基本知识点	300
二、应用 MR 序列设计进行科学研究的基本原则和思路	301

附 录 305

附录一 磁共振技术在植物领域中的应用 305

附录二 磁共振成像常用词汇 310

附录三 名词索引 315

参考书籍与文献 319

第一章 MRI 序列设计的基本概念与 MR 成像基本原理

作为临床医学的眼睛，影像医学的任务就是更快更丰富地获得人体内部不同水平、不同层次的信息，以利于疾病诊断与治疗计划的制定。磁共振成像使临床医学的诊治水平又一次得到飞速发展，其具有的无创性、超快速性、清晰的解剖结构、反映组织代谢功能性的特点，是以往任何影像手段所无法比拟的。今天，作为临床影像医学工作者，我们对疾病的认识已远远不能停留在对疾病的大体病理解剖学改变的水平上，对疾病的功能代谢、分子水平、甚至基因水平的生物行为的掌握是充分利用今天拥有的先进设备诊断与研究疾病的前提。同时，我们还必须认识到，对磁共振成像物理学基本原理的了解程度直接决定了我们在这一领域的发展水平与发展潜力。本书从临床实用的角度出发，以磁共振成像的物理基础与疾病的生物学行为为基础，以序列设计为主线，阐明磁共振成像基本原理及其临床实际运用方法，以期临床医生能够最大限度地充分利用 MRI 设备，有利于疾病诊断与相关研究、保障人类的健康。

第一节 序列设计的基本概念

一、序列设计的基本概念

（一）磁共振成像序列设计是磁共振成像硬件组件的工作时间表

序列设计就如同是钢琴的琴谱，按照琴谱设定的时间顺序来按动不同音调的琴键，就会得到不同曲调的音乐。而通过计算机的控制，使磁共振成像机的硬件组成按照一定的时间顺序进行工作，就会得到不同品质的图像，比如，不同速度或不同对比度的图像（图1-1-1）。

从上图中可以看出，磁共振成像的硬件组件主要包括：主磁体、射频发射线圈、三个垂直方向的磁场梯度线圈、接收线圈。

（二）主磁体根据其产生磁场的原理分为多种类型，如永久磁体、常导磁体和超导磁体

主磁体是 MR 成像的基础，人体与组织样品在外在磁场的作用下发生磁化，产生 MRI 系统测量的物理对象：磁化强度矢量 M_0 （图 1-1-2），详细介绍见本章第二节。

（三）射频（radio frequency, RF）

射频是具有一定频率与波长的电磁波。在实际临床诊断 MRI 机中，其频率的范围一般是在 8.52 ~ 127.73 MHz（相当于 0.2 ~ 3T 的 MRI）。在实验用机中，最高可达到 298 MHz（7T），甚至 383.18 MHz（9T）。射频线圈是产生射频的物质基础，其作用于组织磁化后产生的 M_0 ，使 M_0 成为可以被测量的形式。射频产生的方法、对 M_0 的作用机制与规律见本章第三节（图 1-1-3）。

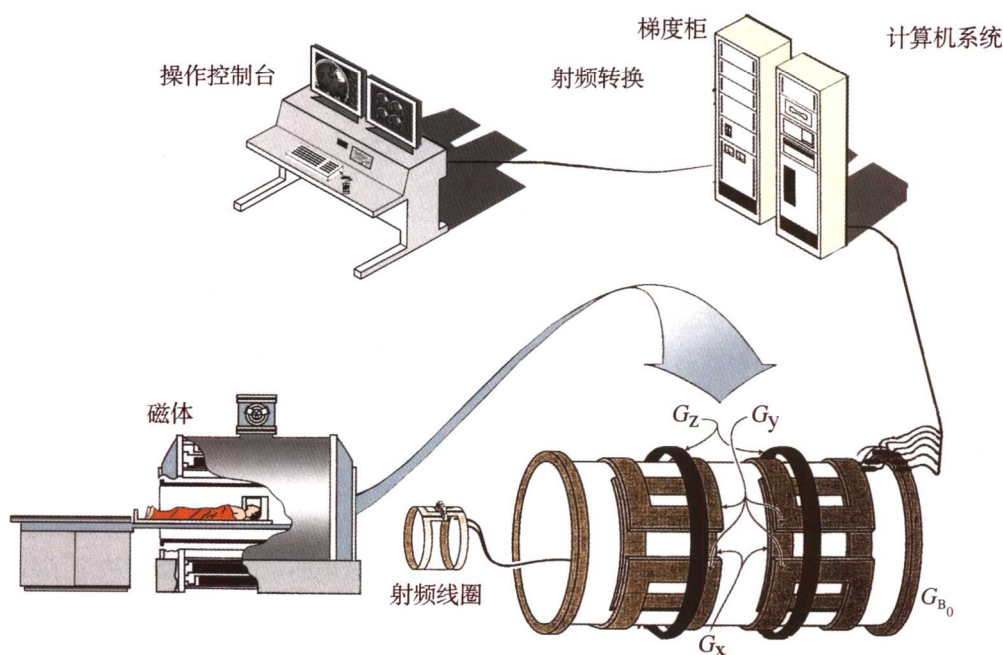


图 1-1-1 磁共振成像硬件工作流程图：右上的机柜为 CPU，即计算机控制中心。 G_x 、 G_y 、 G_z 分别代表读出、相位编码和层面选择方向的梯度线圈， G_{B_0} 为形成主磁场的线圈。在磁共振成像的过程中，将成像对象置入磁体后，在磁共振诊断人员选定成像的序列（硬件工作顺序）后，在 CPU 控制下，磁共振组成硬件（各组线圈）按照一定的时间顺序分别启动并以不同的持续时间工作，最终就会得到不同对比度、不同速度的 MR 图像



图1-1-2 左图为永磁型磁体，中图为常导型磁体，右图为超导型磁体。超导型磁体的通电线圈位于液氮所形成的超低温环境中，一般可以产生较高强度的磁场环境 ($>1.0T$)。目前，中国医院普遍使用的为永磁型与超导型 MRI 机

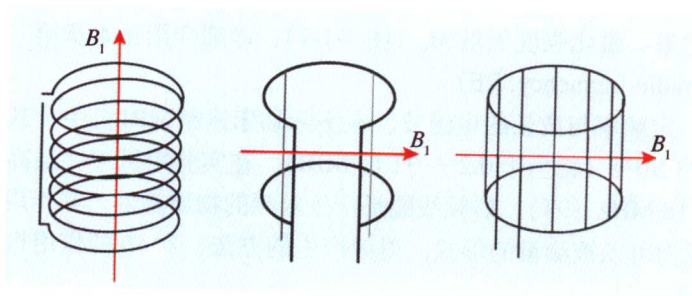


图 1-1-3 螺线管、鞍形、鸟笼形射频线圈