



主编：胡军武
冯定义
邹明丽

MRI YINGYONG JISHU

MRI YINGYONG JISHU

MRI 应用技术

湖北科学技术出版社

MRI

应用技术

湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

MRI 应用技术/胡军武等主编. —武汉:湖北科学技术出版社,2003.5

ISBN 7-5352-2976-X

I. M… II. 胡… III. 磁共振成像—基本知识 IV. R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 022818 号

MRI 应用技术

©胡军武 冯定义 邹明丽 主编

责任编辑:李荷君

封面设计:喻 杨

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:86782508

地 址:武汉市武昌黄鹄路 75 号

邮编:430077

印 刷:华中理工大学印刷厂

邮编:430074

督 印:刘春尧

787mm × 1092mm 16 开 17.5 印张

4 插页 420 千字

2003 年 5 月第 1 版

2003 年 5 月第 1 次印刷

印数:0 001 - 2 000

ISBN 7-5352-2976-X/R·675

定价:55.00 元

本书如有印装质量问题可找承印厂更换

前 言

MRI 技术受计算机软硬件发展的影响,呈现出日新月异的发展形势,其发展速度和应用前景令世人瞩目。随着高场强磁共振仪的临床应用,无论是图像质量,扫描时间,还是成像序列都发生了质的变化。掌握这些新技术对提高图像质量和诊断水平是很有必要的。

编者回顾并查阅了过去及现在 MRI 的技术资料,结合近十年的实践经验,编写了这本《MRI 应用技术》。本书共有十二章。第一章简介了 MRI 的发展动态。第二章详细介绍了 MRI 的术语及临床应用。第三章介绍了磁共振场地准备的有关知识。第四章介绍了线圈的种类及使用注意事项。第五章介绍了磁共振造影剂的分类及作用机制。第六章介绍了 MRI 伪影的产生及抑制方法。第七章介绍了成像序列的组织特征及应用。第八章系统地介绍了不同疾病的成像方法。第九章介绍了磁共振的特殊成像技术及应用,其中包括一些新的成像技术。第十章以一种全新的视角介绍了 MRI 的源影像处理。第十一章介绍了 MRI 质量控制的方法。第十二章介绍了介入性磁共振的相关知识。

本书在编写和出版过程中,得到了华中科技大学同济医学院附属同济医院放射学教研室漆剑频教授、王仁发教授、胡道予教授、夏黎明教授以及磁共振室的全体工作人员的大力支持。我国影像学界享有盛誉,在磁共振方面有很深造诣的王承缘教授欣然为本书作序。在此仅向他们表示深深的谢意。对其他曾关心、支持和帮助本书编写出版的老师、朋友及同道们一并致以衷心地感谢。

由于我们了解新知识的视野及理解程度有限,加之 MRI 技术的飞速发展,本书难免存在不足之处。敬请大家批评指正。

胡军武

2003 年春于武汉

序

自 20 世纪 70 年代以来,医学影像学迅猛发展,80 年代出现的磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 在临床诊断和研究方面的进步尤其显著。MRI 设备在国内已普及到县和乡镇医院,有关 MRI 应用研究的文章大量涌现,其诊断方面的专著出版也不断增多。

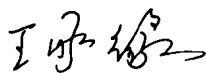
磁共振成像能提供较其他影像诊断方法更多的信息资料,诊断价值很高,但成像技术也较复杂。近几年来,随着 MRI 硬件和软件的发展,其成像技术也更加丰富,日新月异,尤其是高场强 MRI 在分子生物学和功能研究方面的探索令人耳目一新,拓宽了医学研究的新领域。MRI 在心脏及血管成像方面的进步也给广大病人提供了无创或微创的诊断新技术。

应该强调的是, MRI 在诊断和研究方面的成功,得益于成像技术的正确应用和精益求精的不断探索。换句话说, MRI 成像技术直接影响到诊断质量和研究结果。

MRI 成像技术的复杂性在于其多方位,多序列和多参数的特点。具体地说,每个参数的正确选择,不同线圈的正确使用以及各种软件的恰当配合等都直接关系到图像质量和诊断的正确性。

同济医院有 2 台 1.5 Tesla 超导磁共振设备,有近十年的临床应用经验,众多研究生在教授们指导下投身于 MRI 新技术的应用和开发研究,积累了不少心得体会。本书作者们从实际工作出发,总结自己的经验体会,撰写了《MRI 应用技术》一书,贡献给广大同道,值得赞许和支持,相信能受到欢迎。

本书的内容侧重于技术,重点是应用,非常切合临床实际需要,共 12 章,48 万字和 248 幅图片。内容包括各部位不同疾病的常规和特殊成像技术,其中有中英文技术术语,各种线圈的使用,图像质量的控制,造影剂的原理和应用,以及场地要求和一些新开展的项目,并参考了大量国内外资料,力求适应 MRI 目前发展状况的需要。



二〇〇三年春于武汉

参 编 人 员

主 编 胡军武 冯定义 邹明丽

副主编 刘汉桥 樊 赋 黄勇勋

主 审 漆剑频 王仁发 胡道予 夏黎明

编 委 (以姓氏笔画为序)

邓 弈^① 王明普^② 叶 慧 冯定义 史瑞华

冉小军^③ 刘汉桥^④ 刘沛武^⑤ 李国雄^⑥ 李晓白

李勇刚 张 可 邹明丽 陈 辉 林 晖^⑦

郑黄华^⑧ 郑国勤^③ 胡军武 胡丽丽^⑧ 贾 清

黄勇勋^⑨ 楼海燕 樊 赋^⑩

① 武汉铁路局杨园医院

② 湖北省中山医院

③ 湖北省荆州市第一人民医院

④ 北京大学深圳医院

⑤ 湖北省荆州市中心医院

⑥ 广州军区武汉总医院

⑦ GE 公司医疗部武汉办事处

⑧ 中国科学院电工研究所

⑨ 湖北省赤壁市人民医院

⑩ 湖北省黄冈市第一人民医院

目 录

第一章 绪论	1
第二章 磁共振成像术语及实际意义	4
第一节 优化图像信噪比、分辨率及对比度的术语	4
一、信噪比	4
二、分辨率	4
三、对比度	4
四、对比噪声比	4
五、平方象素	4
六、象素和体素	5
七、自旋密度	5
八、磁化传递	5
九、零填充技术	6
十、平面内插值	7
十一、层面插值	7
十二、CLASSIC	8
十三、动态扩展	8
十四、图像密度矫正	9
十五、分数回波	9
十六、半傅立叶	9
十七、可变接收带宽	9
十八、表面线圈	10
十九、匀场线圈和匀场	11
二十、相控阵线圈	11
二十一、对比剂	11
二十二、层厚	11
二十三、层间距	12
二十四、一致性、相干性	12
二十五、饱满因素和品质因素	13
二十六、K-空间	13
第二节 减少图像伪影的术语	14
一、串话干扰	14
二、伪影	14

三、相位频率交换	14
四、流动补偿	14
五、呼吸补偿	16
六、心电补偿	16
七、门控	16
八、呼吸门控	17
九、外周门控和心电门控	19
十、射频剪裁	22
十一、无相位包裹	22
十二、相位矫正	24
十三、导航回波技术	24
十四、空间预饱和	24
第三节 决定扫描时间的术语	24
一、相位偏置多层采集技术	24
二、重复时间	25
三、回波时间	26
四、反转时间	27
五、纵向磁化和横向磁化	28
六、弛豫率	28
七、弛豫时间	28
八、纵向弛豫时间	28
九、横向弛豫时间	29
十、翻转角	29
十一、回波链	30
十二、双回波	31
十三、回波数	31
十四、观察视野	31
十五、相位视野	32
十六、采集矩阵和显示矩阵	33
十七、重建矩阵	33
十八、采集时间	33
十九、相位和频率	33
二十、频率编码和相位编码	33
二十一、激励次数	34
第四节 其他术语	34
一、连续	34
二、磁化率	35
三、驱动稳态法准备	35
四、多相位	35
五、自动触发	35

六、流动分析	36
七、中心频率	36
八、回到中心层面	36
九、滤过	37
十、磁场随时间的变化率	37
第五节 后处理术语	37
一、窗位	37
二、窗宽	37
三、最大强度投影及部分容积 MIP 重建	38
四、多平面投影重建	38
五、表面重建	38
六、可测容积	38
七、测量	38
八、最小强度投影	39
九、多幅图像感兴趣区	39
第三章 磁共振场地要求	40
第一节 房间尺寸及分布	40
一、磁体间	40
二、磁体间出入口	40
三、传导板开口	40
四、设备临时通道	40
五、观察窗	41
六、操作间	41
七、设备间	42
第二节 环境要求	42
一、磁体间的周围环境	42
二、磁体间内环境	45
第三节 系统电源要求	45
一、电压	45
二、最小动作电流	45
三、变压器容量	46
四、电缆	46
五、地线	46
六、空调	47
七、电缆槽	47
八、照明	48
第四节 射频屏蔽及其他要求	48
一、射频屏蔽要求	48
二、湿度要求及散热量	48
三、磁体间承重要求	48

四、通风要求	48
五、上下水要求	48
六、其他要求	49
第四章 线圈的种类及使用注意事项	51
第一节 设备线圈	51
一、超导线圈	51
二、匀场线圈	51
三、梯度线圈	51
第二节 射频线圈	52
一、系统线圈	52
二、表面线圈	53
三、相控阵线圈联	56
第五章 磁共振造影剂	59
第一节 磁共振造影剂分类	59
一、顺磁性造影剂	59
二、超顺磁性造影剂	60
第二节 磁共振造影剂的作用机制及应用	60
一、磁共振造影剂的作用机制	60
二、磁共振造影剂的临床应用	62
第六章 MRI 伪影的产生及抑制方法	66
第一节 MRI 伪影的产生	66
第二节 MRI 伪影的分类	67
第三节 MRI 伪影的抑制方法	67
一、运动伪影	67
二、磁敏感性伪影	68
三、化学位移伪影	70
四、设备相关伪影	71
五、资料相关伪影	75
第七章 成像序列及其组织特征	80
第一节 常用成像序列	80
一、自旋回波序列	80
二、梯度回波序列	81
三、反转恢复回波序列	82
四、平面回波序列	84
第二节 正常组织及各种不同病理组织的 MR 信号特点	84
一、正常组织的 MR 信号特点	85
二、病理组织的信号特征	86
第八章 不同疾病的成像方法	89
第一节 颅脑及颈部疾病	89
一、颅脑疾病 MRI 检查方法	89

二、脑垂体疾病	101
三、内耳膜迷路	103
四、颜面部及颈部疾病的 MRI 的检查方法	104
第二节 脊柱及脊髓疾病 MRI 检查方法	115
一、颈椎疾病	115
二、胸椎疾病	118
三、腰骶椎及尾椎疾病	121
第三节 胸部疾病	123
一、纵隔疾病	123
二、肺部疾病	126
三、心脏疾病	129
四、胸部大血管疾病	134
五、乳腺疾病	139
第四节 腹部、腹膜后及盆腔疾病	141
一、肝脏、胆系和脾脏疾病	142
二、胰腺疾病	145
三、胃及肠道疾病	147
四、肾上腺、肾脏、输尿管及腹膜后疾病	148
五、腹部血管疾病	150
六、盆腔疾病	154
第五节 四肢及其关节疾病	157
一、肩关节及肱骨疾病 MRI	157
二、肘关节和前臂	160
三、腕关节和手	161
四、髋关节疾病 MRI	162
五、下肢疾病	165
六、肢体血管成像	170
第九章 磁共振特殊成像技术及运用	173
第一节 磁共振血管成像	173
一、常规 MRA	173
二、对比增强磁共振血管造影	175
三、磁共振血管成像的临床应用	179
第二节 MR 弥散成像和灌注成像	180
一、MR 弥散成像	180
二、弥散张量成像	182
三、MR 灌注成像	183
第三节 磁共振波谱分析	187
一、磁共振波谱分析的基本原理	187
二、磁共振波谱采集的方法	188
三、磁共振波谱成像的定量方法	189

四、常规代谢产物的 MRS 共振峰及其临床意义	190
五、磁共振波谱成像的临床应用	191
第四节 磁共振脑功能成像	194
一、基本原理	195
二、成像序列	195
三、基础及临床研究	195
四、磁共振脑功能成像的局限性	197
第十章 MR 源影像的重建	198
第一节 三维成像	198
一、三维成像的成像原理	198
二、三维影像重建方法	199
第二节 仿真内镜成像	202
一、仿真内镜的基本原理与技术	203
二、仿真内镜成像的重建技术	205
第十一章 图像的质量控制	207
第一节 影响图像质量的因素	207
一、质量控制参数	207
二、补充参数	209
三、试验物质和物体	210
四、机器的安装调度与保养	212
第二节 图像的质量控制	214
一、影响信噪比的因素	214
二、影响空间分辨率的因素	216
三、影响对比度的因素	216
四、MRI 系统的主要物理部件对图像质量的影响	217
第三节 各种检查参数的相互影响	220
第四节 各种检查条件的选择方法	221
第十二章 介入性磁共振成像	222
第一节 介入性磁共振成像的概况	222
第二节 设备和器械	223
一、磁体系统	223
二、MR 相容性仪器和器械	224
第三节 成像序列与参数	227
一、用于 MR 导向活检的快速成像技术	227
二、MRI 温度敏感序列	228
三、其他成像技术	229
第四节 MRI 介入方法及应用	230
一、MR 导向穿刺活检	230
二、MR 导向间质治疗	231
三、术中 MRI 成像	233

四、介入性磁共振血管造影	233
附录一 GE 0.5 Signa Contour 操作常规	234
附录二 GE 1.0 Signa Horizon LX 操作常规	242
附录三 GE 1.5T Signa Horizon CV/i 操作常规	253

第一章 绪 论

德国物理学家伦琴于 1895 年 11 月 8 日发现 X 线至今已有 100 多年,伦琴当时可能没有料到他不经意间的发现竟全然改变了整个医学的面貌,那张伦琴夫人戴着戒指的手部 X 线照片,毫无疑问是医学发展史上一张里程碑式的照片,现代医学从此在真正意义上诞生了。其后的 100 多年,是建立在伦琴射线基础上的影像医学蓬勃发展的 100 年。这期间,放射设备迅速发展,放射条件日臻完善,放射技术日新月异,放射防护认识和水平日益提高,特别是 CT 问世以后,影像医学步入了数字化时代,人们以计算机为基础,将图像信息数字化,尽可能的对其实施图像信息后处理,这使医学影像技术发生了巨大的变化。

数字影像技术内容广泛,技术迥然,原理各异,包括 CR、DR、DDR、CT、MRI、DSA 等,其中 MRI 是数字成像技术领域的一朵奇葩,它是对传统放射学的一次颠覆,引发了放射学界的一次革命。MR 现象最早于 1946 年由 Stanford University 的 Bloch 和 Harvard University 的 Purcell 各自独立发现。Lauterbur 于 1973 年成功得到了第一幅 MR 图像。至今,它已经 20 多岁了,成长为一个朝气蓬勃的年轻人,而且正在给医疗领域乃至我们的日常生活带来越来越大的变化。

MRI 利用人体组织和器官所含氢质子密度的不同,经外磁场磁化,产生的磁矢量和磁矩的大小不同,用射频脉冲激发后磁矢量发生偏转,发射的相应电磁波在接收线圈内产生感应电压,这个随时间波动的电压,即 MR 信号输入给计算机系统而成像。它不仅可提供解剖形态信息,还可提供新陈代谢、生理功能等信息,且无辐射,已越来越广泛的应用于临床各系统的检查治疗中。在宏观上它实现了实时成像技术,并产生了 MR 透视,在微观上,突破了以往影像学仅用于显示大体解剖与大体病理学改变的技术范畴,向显微细胞学、分子水平以至基因水平的成像技术方面发展。随着 MRI 技术的不断改进,它的功能日趋完善,应用范围不断拓宽,无疑是当今医学影像学领域发展最快、最具潜力的一种成像技术。

MRI 和其他所有成像技术一样,其优点和缺点同时十分突出。它的优点主要体现在:①高对比度;②分子生物学和组织学诊断的提高;③心脏、大血管形态和功能诊断的提高;④无骨伪影;⑤任意方位断层;⑥无损伤之安全检查;⑦空间分辨率的提高。其缺点主要体现在:①定性诊断困难;②成像速度慢;③运动伪影;④钙化灶无法区分;⑤禁忌证较多。如何充分发挥其优势,尽量避免劣势,乃至将劣势在某些方面进行转化,是 MR 工作者们孜孜以求的课题,并且取得了一定进展。如 1977 年 Mansfield 首先提出的 EPI 序列是目前临床实用 MR 成像领域最快的成像方法,单次激发只需 2s,单层的成像时间只需 40ms,成像的速度明显大于患者的不自主运动,对于不配合与儿童病人的诊断非常有帮助。

在 MR 设备方面,有一些新的发展动向。第一个动向是,科学技术的发展充实与完善了设备的硬件与软件功能。特别是计算机技术和材料工程等技术等;第二个动向是,高档设备(高场)的技术指标主要用于临床研究与功能的开发,代表了生产厂商的技术实力。低档设备(中低场)则在努力充实与不断提高硬件的性能,并且迅速把高、中档设备较成熟的功能与软件移植过来,从而显著改善了低档设备的性能指标,拓宽了低档设备的适用范围。另外,MR 设备的梯度场强是大家共同关心的重要参数,它决定了 MR 的最大切换率、最短 TR、TE、最小矩阵以及成像速度。实践证明,梯度场强度的增加也带来了一些弊端,如何在增加梯度场强度的同时降低噪声,这是 MR 设备方面的又一改进动向。在这些原则的指导下,中场超导开放式 MR 的梯度场强度分别可达到 15MT/M/ms 和 20MT/M/ms,同时,它还具有较高的切换率,较好的场均匀性,较小的体积与较轻的重量,并兼备有高、低场 MR 的一些特点,如成像速度快、扫描层面薄、空间分辨率高以及很好的脂肪抑制、较小的视野和较高的弥散 B 值。在临床上,MR 专用机也备受青睐。目前,头颅专用机、心脏专用机以及骨关节专用机已用于临床。

在临床应用和软件开发上,MRA 的主要改进有实时或近乎实时的血管成像,有用三维对比增强肺动脉成像显示更远端、更小分支的肺血管,有注射对比剂的分期动态成像,有多层块重叠伴伪影抑制技术,长距离分段采集的拼接技术以及 4DMRA 等。在中枢神经系统弥散成像,灌注成像与脑功能 MR 成像方面,其中弥散成像可在超早期发现脑缺血,并可以反映脑缺血的确切范围,它在脑神经保护药物的作用机理、药效比较、囊实性病变中的诊断与鉴别诊断、活体温度监测、神经纤维发育与疾病、脑脓肿诊断与鉴别诊断等方面具有巨大的潜力;动态对比增强 MR 血流灌注成像可以在有效的数据处理基础上定量的提供脑组织微循环血液动力学的信息。它使得无创的、高分辨的评价脑组织的活力和功能,如对于脑梗死后缺血边缘带的研究成为了可能,大大地提高了一些疾病诊断的敏感性和特异性,如对脑肿瘤尤其是恶性脑肿瘤的研究将有可能提供判断肿瘤的实际大小和范围的指标,为有效的手术或放射治疗打下基础等;功能 MR 成像的最新进展包括高场的趋势、高空间分辨率的研究、事件相关功能 MR 的研究、功能 MR 成像的早期信号衰减的研究、功能 MR 成像的生理噪音修正等。心脏的弥散与灌注也开始应用于临床,多方面评价各种心脏缺血综合征,包括冠状动脉的解剖和血流量,局部和整体心功能以及心肌灌注和心肌代谢。而用于快速成像的梯度系统正在不断发展完善,以用于多层面心脏实时成像。血管内 MR 造影剂的研制成功将会改进心脏灌注定量评价的准确性,从而取代当前使用的血管外造影剂。弥散成像和灌注成像在肝脏的研究和应用近年来也已引起人们的关注。肝脏 MRI 其他进展包括动脉性门脉造影肝脏 MR 成像、门静脉 MRA、肝脏 MR 功能成像。骨关节方面,在 MR 基础上结合关节造影而形成的 MR 关节造影技术能够更加准确的评价肩关节和膝关节的各种病变,在肩关节和膝关节疾病诊断中广泛应用。另外,MRI 对于内耳及面神经局部解剖结构的显示应用 3D-FLASH 序列平扫加增强能够达到相当细致的水平,对内耳及面神经疾病的影像诊断是一个飞跃。MRS 也有较大的发展,最主要的标志是显示技术的改进和显示信息范畴的拓宽,如从单元元向多体元质子波谱采集,并最终完成全覆盖式螺旋波谱图技术;如多核波谱及波谱成像等。进一步开发的还有小部位的 3DMRS,这种技术的应用可以鉴别肿瘤与炎症以及肿瘤复发识别。最近有报道在肌肉组织可以得到氢质子的波谱。

MR 介入是近年发展起来的一项新兴技术。MR 介入最热门的技术是将分子生物学、MR、介入技术有机结合,把 Gd-DTPA 与目的基因—载体混合,采用球囊侧孔导管将其注入到局部血管内,再用 MR 成像加热导丝增加细胞的传热率,进行基因治疗。不仅如此,MR 监测影像的

手段,还可以对基因药物的传输做出准确的导向,追踪观察血管壁基因药物的分布。

随着科学技术的迅猛发展,医学影像领域的面貌日新月异,各种用最新科研成果武装起来的新设备,新技术层出不穷,MRI 由于具有多方位、多参数、多序列、无辐射等骄人优点,虽然从原理之提出至第一台成像仪投入临床使用经历了将近 40 年,可以说是姗姗来迟,但它后来居上,显示出了巨大的优越性和不可比拟性。它必将用全人类智慧的结晶带给我们更多惊喜,更多福音。让我们拭目以待吧!

第二章 磁共振成像术语及实际意义

第一节 优化图像信噪比,分辨率及对比度的术语

一、信噪比(signal to noise ratio; SNR)

SNR 是用于描述实际信号中有用信号和混杂随机噪声的相对分布。一个常用于改善 SNR 的方法是对多次测量到的信号加以平均,随机过程将互相抵消。

二、分辨率(resolution)

指区分相邻组织结构的能力。这是图像质量的主要度量。分辨率的标准与检查方法有密切关系,可用条形或细节对比的模型检测分辨率的优良程度。

三、对比度(contrast)

对比度可以定义为两相邻区域中信号强度的相对差别。通过改变脉冲序列,扫描参数或注射造影剂来改变对比度。

四、对比噪声比(contrast - to - noise; CNR)

两种组织的信号差异与相应背景噪声标准差的比值。

五、平方像素(Square pixel)

(一)定义

当相位编码矩阵设置于频率编码的矩阵(256×192),平方像素可减少相位方向上的数据采集,显示野为不对称(长方形),从而保证像素为正方形(fov/频率编码的矩阵),提高了空间分辨率。通过减小编码的矩阵,可相对缩短扫描时间(图 2-1)。