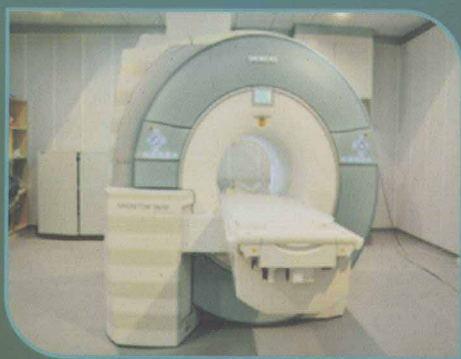




CIGONGZHEN JIANCHA DE
ANQUANXING YU
WEIXIAN FANGFAN

磁共振检查的 安全性与危险防范

主编 程敬亮 张 勇



 郑州大学出版社



GEONGZHEN JIYUHA DE
ANQUANKING YU
WEIXIAN FANGFAN

磁共振检查

安全性与危险防范

主编 程敬周 等



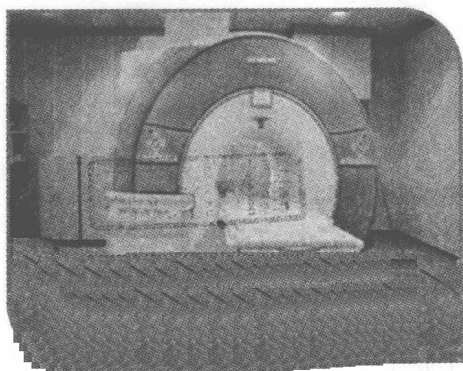
中国医药出版社



CIGONGZHEN JIANCHA DE
ANQUANXING YU
WEIXIAN FANGFAN

磁共振检查的 安全性与危险防范

主编 程敬亮 张 勇



郑州大学出版社

郑 州

图书在版编目(CIP)数据

磁共振检查的安全性 with 危险防范/程敬亮,张勇主编.
—郑州:郑州大学出版社,2011.9
ISBN 978-7-5645-0568-4

I. ①磁… II. ①程…②张… III. ①核磁共振检查-安全防护 IV. ①R445.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 175918 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:6.375

字数:172 千字

版次:2011 年 9 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2011 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0568-4 定价:26.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

主编简介



程敬亮,男,郑州大学第一附属医院磁共振科教授、主任医师,医学影像专业博士研究生导师;河南省优秀专家;河南省跨世纪学术学科带头人;河南省优秀中青年骨干教师;河南省文明教师;郑州大学医学部学位委员;郑州大学第一附属医院学位委员。河南省卫生科技领军人才,河南省创新型科技团队带头人,全国优秀科技工作者。

工作中注重全面发展,但更擅长中枢神经系统、五官疾病和呼吸系统疾病的影像学诊断。已发表科研论文 200 余篇,主编和参编影像学专著 23 部。获国家实用新型发明专利 4 项,获省部级科研成果奖 8 项。目前承担多项省部级和国家级科研课题,并得到国家自然科学基金、河南省杰出青年基金、河南省杰出人才基金和河南省高校优秀人才支持计划的资助。

主要学术兼职:河南省医学会放射学分会主任委员,河南省医学会介入治疗专业委员会名誉主任委员,中华医学会放射学分会全国委员、全国磁共振学组副组长等。



张勇,男,1977 年出生,河南省焦作市人,主治医师,2010 年毕业于郑州大学医学院,获影像医学博士学位。从事影像诊断的医疗、教学和科研工作,具有丰富的磁共振诊断经验。迄今已发表科研论文 70 余篇,主编和参编影像学专著 4 部,获国家实用新型发明专利 4 项,获河南省科技进步二等奖 4 项。

担任《中华放射学杂志》审稿专家、《放射学实践》审稿专家、《磁共振成像》杂志青年编委及《中国神经再生研究(英文版)》审稿专家。



编写委员会

主 编 程敬亮 张 勇

副主编 石士奎 杨 涛 孙梦恬 杨运俊

编 委 (以拼音字母为序)

白 洁 郑州大学第一附属医院

程敬亮 郑州大学第一附属医院

崔晓琳 郑州大学第一附属医院

邓 军 江西医学院第二附属医院

韩东明 新乡医学院第一附属医院

晋 辉 郑州大学第五附属医院

李晓飞 焦作市人民医院

刘依凝 河南省肿瘤医院

刘予东 河南省肿瘤医院

史大鹏 河南省人民医院

石士奎 蚌埠医学院第一附属医院

孙梦恬 郑州大学第一附属医院

王梅云 河南省人民医院

杨 涛 湖北医药学院附属太和医院

杨运俊 温州医学院第一附属医院

袁丽芳 湖北医药学院附属太和医院

张 勇 郑州大学第一附属医院

张会霞 郑州大学第一附属医院

审 稿 李树新



内容提要

本书是介绍磁共振检查的安全性及危险防范的图书。首先介绍了 MRI 电磁场的生物学效应及磁共振检查通则,随后对磁共振检查环境的安全性及磁共振对比剂的安全性进行了详尽地回顾,最后探讨了临床上常见的多种医源性植入物和医用设备的磁共振成像安全性,基本上涵盖了患者进行磁共振检查过程中可能遇到的所有安全性问题。本书不仅可作为临床医生及影像科医师指导患者快速、安全地进行磁共振检查的指导性手册,尚可作为科普性读物供患者使用。

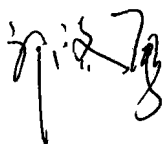


磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是继 CT 之后医学影像学检查技术的又一里程碑。由于 MRI 具有极高的软组织分辨力,能够多参数和多方位成像,并且无电离辐射,已成为人体各系统疾病的重要检查技术之一。随着磁共振(magnetic resonance, MR)检查的普及和 MRI 设备场强越来越高,接受 MR 检查患者的安全性及 MRI 环境中工作人员的安全问题日渐受到重视。MRI 安全性泛指进行 MR 检查时,对患者或其他个体可能发生的危险和可能会影响诊断信息的一系列问题。由于 MRI 存在磁场和射频,它们可以干扰一些仪器的正常工作状态;反之,某些金属物品又可干扰磁场的均匀性和射频的稳定性。因此,传统的观点认为体内金属植入物是 MR 检查的禁忌证,近年来,有关金属物 MRI 的安全性研究结果表明:体内金属植入物不再是 MR 检查的绝对禁忌证,但由于外加磁场的存在,对体内有金属植入物及金属异物的受检者(如心脏起搏器和除颤器、冠脉支架、人工心脏瓣膜等植入物)仍存在一定的风险。

迄今,有关 MRI 扫描技术、疾病诊断的论文和专著时有所见,但国内尚无一本完整、系统阐述 MR 检查安全性的专著问世,由郑州大学第一附属医院磁共振科程敬亮教授、张勇主编的《磁共振成像的安全性及危险防范》专著的出版,填补了国内这一领域的缺憾。必将推动这一研究领域的发展,具有极其广阔的实用前景。本书可作为磁共振检查前安全性检查的指导性手

册供临床医师、影像科医师、患者及患者家属参考使用。本书内容丰富、文字通顺流畅、装订精美。相信本书将成为读者的良师益友,并对我国磁共振成像安全性的重视和磁共振成像专业的发展起到很好地推动作用。故欣然为本书作序。

**中华医学会放射学分会主任委员
中国医科大学附属盛京医院院长**



2011 年 6 月



自 20 世纪 70 年代第一台磁共振成像 (MRI) 设备诞生以来,经过 30 多年的发展,磁共振成像已是一种成熟、可用于人体全身各个部位检查和疾病诊断的成像技术。目前国内县级以上医院装备磁共振检查设备,随着我国经济的发展,现在装机场强多在 1.5 T 以上,甚至很多医院已有 3.0 T 磁共振扫描仪,但由于磁共振扫描仪的强磁场特性,其不可避免地会对进入磁场内的患者及工作人员造成不同程度的影响。如何防范磁共振强磁场对人体造成的伤害,最大限度地发挥其成像优势,已成为磁共振成像工作者需要了解和迫切解决的问题。为此,笔者组织、撰写了本书,旨在为临床需要接受 MR 检查的患者以及 MRI 工作人员提供些许参考。

本书共分为 MRI 电磁场的生物学效应、磁共振检查通则、磁共振检查环境的安全性、磁共振对比剂的安全性、医用植入物和装置 MRI 的安全性五章。全书详细介绍了磁共振系统环境安全性及多种植入物及设备在磁共振环境中的安全性问题,并对磁共振对比剂应用的风险及安全性进行了讨论。本书的出版和发行将有力提高临床及影像科医生对磁共振检查风险及安全性的认识,是影像科医生和相关临床科室医生不可多得的重要参考书。

本书编写过程中,查阅了大量国内外文献,且结合自己多年的工作经验,尽可能将受检者体内存在的、可能与 MR 检查安全性相关的各种金属植入物囊括其中,但难免挂一漏万。

在本书的编写过程中,承蒙各位编者的通力协作和帮助,谨此表示衷心的感谢,对他们的辛勤劳动表示最诚挚的感谢。特别感谢郑州大学第一附属医院磁共振科李树新教授在百忙中参与此书的校改工作。衷心感谢中国医科大学附属盛京医院院长、中华医学会放射学分会主任委员郭启勇教授为本书作序。对本书的出版,河南华顿医疗设备有限公司的李少卿先生给予了极大支持,在此一并感谢。

由于时间仓促和水平所限,书中不当之处在所难免,恳切希望同道们予以斧正。

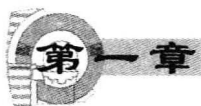
程敬亮 张勇

2011 年 5 月



第一章 MRI 电磁场的生物学效应	/1
第一节 静磁场的生物学效应	/1
第二节 梯度磁场的生物学效应	/3
第三节 射频磁场的生物学效应	/4
参考文献	/7
第二章 磁共振检查通则	/9
第一节 MR 检查的基本原则	/9
第二节 金属异物的筛查	/11
第三节 防止 MR 检查过程中的过度产热和灼伤	/15
第四节 手术后患者进行 MR 检查的基本原则	/18
第五节 孕妇及孕期磁共振工作人员的安全性	/19
第六节 植入物和装置在 3.0 T MR 检查时的 安全须知	/21
参考文献	/28
第三章 磁共振检查环境的安全性	/30
第一节 MR 检查患者须知	/30
第二节 接受 MR 检查或进入 MRI 环境的人员筛查	/37
第三节 有助于防止误入磁共振环境的标志	/41
第四节 MRI 环境中患者的监护	/44
第五节 磁共振噪声	/54
第六节 MR 检查中幽闭恐惧症的表现及处理	/60

第七节	预防投射效应事件	/67
第八节	四肢骨关节专用 MR 检查的安全性	/69
	参考文献	/73
第四章	磁共振对比剂的安全性	/75
第一节	MR 对比剂及其不良反应	/75
第二节	含钆磁共振对比剂与肾源性系统性纤维化	/84
第三节	MR 对比剂对哺乳的影响	/93
第四节	MR 对比剂对孕妇的影响	/94
第五节	MR 对比剂注射系统的安全性	/95
	参考文献	/96
第五章	医用植入物和装置 MRI 的安全性	/98
第一节	概 述	/98
第二节	外科植入物、材料和器械的安全性	/100
第三节	手术器械的安全性	/104
第四节	介入器械或植入物的安全性	/112
第五节	植入式灌注泵的安全性	/119
第六节	电刺激器的安全性	/129
第七节	不同部位医用植入物和设备的	/153
	参考文献	/188
	缩略词表	/190



MRI 电磁场的生物学效应

自 20 世纪 70 年代末期磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 技术引入临床诊断领域以来, MRI 技术获得了突飞猛进的发展, 其已在世界范围内得到广泛应用。在不断发展中, MRI 系统逐渐采用了更强的静磁场、更高的射频磁场和更快的梯度切换磁场。30 多年来, MRI 磁场的生物学效应有无临床意义, 即 MRI 是否安全的问题一直受到人们关注, 虽然关于 MRI 生物学效应的研究从来都没有停止过, 但目前还不能得出 MRI 对人体存在潜在危害的结论。

MRI 的本质是一种能级间跃迁的量子效应。在进行 MR 检查时, 受检者要受到静磁场 (B_0)、梯度磁场和射频场 (B_1) 的辐射。在静磁场 B_0 作用下, 原子核的自旋角动量排列成同一个方向, 即 B_0 方向, 然后在 B_0 的垂直方向上加一个射频 (radio frequency, RF) 电磁场, 就是我们所说的 B_1 场进行激励, 激励的同时有 3 个方向的梯度磁场进行选层、相位编码和频率编码以获得空间位置信息。

第一节 静磁场的生物学效应

目前应用的大多数 MRI 系统的磁场强度为 0.2~3.0 特斯拉 (Tesla)。随着超导磁体技术的日益成熟, MRI 的静磁场场强有不断提高的趋势。但静磁场对生物体的影响至今尚未完全阐明, 且有关 2.0 T 以上的超高场对人体影响的研究和文献报道

更少。为此,美国食品与药品管理局(FDA)和英国国家放射防护局(NRPB)分别将成像的最高场强限制在2.5~3.0 T以内。FDA还明确规定,因场强超过规定限值而造成的一切后果由MRI制造商承担。

MRI静磁场对生物组织的影响包括:对细胞生长、复制和细胞形态的影响;对DNA结构和基因表达的影响;对神经活动、脑认知和行为活动的影响,对血脑屏障渗透性的影响;对心律以及心血管系统血流动力学的影响;对免疫系统的影响等。大多数研究认为,静磁场的这些生物学效应并不能对人体产生明确危害。尽管有少数文献报道静磁场可能会对离体细胞或器官造成潜在的危害,但其生物学效应均未得到证实。另有个别文献报道的MRI磁场系统对人体造成伤害,都是由于疏忽而误将铁磁性物质(如动脉瘤夹)带入MRI系统所致。

MRI静磁场的生物学效应包括:①温度效应(temperature effect),其为MRI技术出现后最早受到关注的生物学效应之一。②磁流体动力学效应(magnetohydrodynamic effect),是指由磁场中的血流以及其他流动液体产生的生物效应。在静磁场中,磁流体动力学效应能使红细胞的沉积速度加快、心电图发生改变,并有可能感应出生物电位。③中枢神经系统效应。由于神经信息的传递是一种电活动,因此完全有理由认为磁场有可能对神经电荷载体或传导过程产生影响。

对于长期暴露于MRI静磁场的工作人员来说,静磁场对人体组织的作用理论上可导致组织病理学改变。但对这些改变机制的定量研究表明,其仍在可接受的正常范围内。目前,尚无文献报道长期暴露于强静磁场下的安全性问题。随着MRI介入技术在临床上的广泛应用,亟须对这一课题进行研究。此外,目前尚无证据表明静磁场对人体作用的累积效应,因而对长期暴露于静磁场的人群,如MRI工作人员和需多次重复检查的患者,这一研究的意义也有利于确立静磁场的安全性标准。

第二节 梯度磁场的生物学效应

MRI 梯度磁场是指沿直角坐标系某坐标方向呈线性变化的磁场,因而梯度磁场每单位长度上的磁场强度呈线性变化。衡量梯度系统最重要的指标是梯度强度和梯度切换率,前者表示磁场随空间的变化,后者反映磁场随时间的变化率。为了得到任意层面上的空间信息,MRI 系统由互相垂直的 3 个梯度线圈在 x 、 y 、 z 三个坐标方向上产生梯度磁场,它们分别被称为 G_x 梯度、 G_y 梯度和 G_z 梯度。

众所周知,2.0 T 以下的静磁场不会对人体产生明显的生物效应,但梯度磁场的情况就大不相同。梯度磁场是一种时变场,根据法拉第电磁感应定律,变化的磁场将在导体中感应出电流,人体组织作为导体,当穿过它的磁通量发生变化时同样会产生电流。梯度磁场的这种感应电流是其生物学效应的主要来源。随时间变化的梯度磁场可在受试者体内诱导产生电场而兴奋神经或肌肉。外周神经兴奋是梯度磁场安全的上限指标。在足够强度下,可以产生外周神经兴奋(如刺痛或叩击感),甚至引起心脏兴奋或心室颤动。

梯度磁场仅在扫描时产生,感应电流是梯度磁场高速切换的产物,其大小与梯度磁场的切换率、最大磁通强度(梯度磁场强度)、平均磁通强度、谐波频率、波形参数、脉冲极性、体内电流分布、组织细胞膜的电特性和敏感性(导电性)等诸多因素有关。梯度磁场与生物组织之间的作用机制包括以下多种因素:梯度磁场的谐波频率、梯度磁场强度的最大磁通强度和平均磁通强度、梯度磁场的波形参数和脉冲极性、组织细胞膜的电磁特性及其敏感性。Bourland 等报道,在 MR 检查过程中,变化的梯度磁场将在导体中感应出电流,人体组织作为导体,当穿过它的磁通量发生变化时同样会产生电流,从而刺激人体神经肌肉组织。梯度磁场的这种感应电流是其生物学效应的主要来源。梯

度磁场变化引起的法拉第感应电流在人体内部构成回路,越是靠近机体外周的组织电流越大,而越接近身体中心的组织电流越小。电流通路还因组织类型的不同而异,例如脂肪和骨组织等低电导的组织可以改变感应电流的方向。

目前,MRI 系统产生的时变梯度磁场可引发外周神经刺激已经被证实,其可表现为针刺样酥麻感或其他不适。但 MRI 时变梯度磁场引发的心脏刺激是一个更值得密切关注的问题,这是由于:第一,只要有一个心肌细胞受刺激,就能将兴奋传递给其他未兴奋心肌细胞;第二,感应涡流完全有可能引发心室颤动,从而导致患者死亡。目前的仿真研究表明,常用梯度磁场和几千赫兹切换频率条件下的感应电流不足以引发人体心室颤动;但高切换率的梯度磁场会引发外周神经刺激,并有可能引发心室颤动。

梯度感应电流在神经系统的主要表现是视觉磁致光幻视(phosphene),又名光幻视或磁幻视,是指在梯度磁场的作用下受试者眼前出现闪光感或色环的现象。这种现象目前被认为是被检者视网膜感光细胞受到电刺激后形成的视觉紊乱,是梯度磁场最敏感的生理反应之一。光幻视与梯度磁场切换率和静磁场强度均有关系,且在梯度磁场停止后自动消失。进行常规 1.5 T 以下 MR 检查时梯度磁场的切换率在 20 T/s 以下,产生的电流密度不足以出现上述幻视觉。但当双眼暴露于 4.0 T 的静磁场中时,梯度磁场的变化则很容易使正常人产生光幻视。

第三节 射频磁场的生物学效应

MR 检查时由射频线圈产生射频磁场,激励受检层面的成像质子。射频磁场在受检区域高度均匀,在受检区域外急速衰减至零,因而被检部位可能经受更强的射频辐射。人体是具有一定生物电阻的导体,当人体受到电磁波照射时就有将其能量转换为热能的能力。实践表明,MRI 扫描时射频磁场的功率将