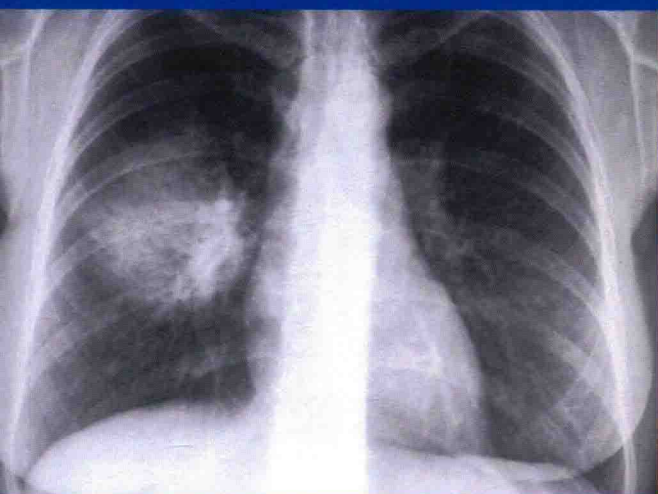
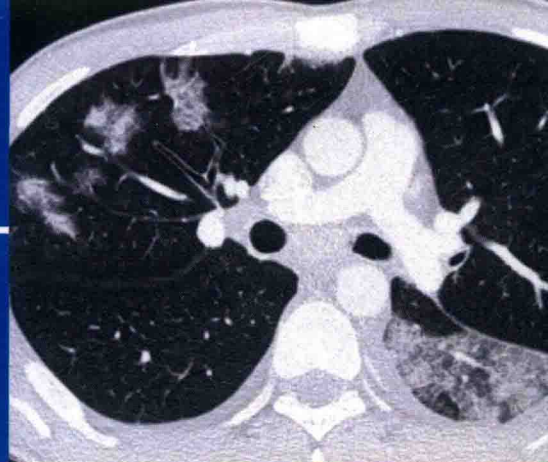


SHIYONG
CHANGJIANLINCHUANGJIBINGYINGXIANGXUE
YAN JIU



实 用 常见临床疾病影像学 研 究

仲 捷 等 主 编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

SHIYONG
CHANGJIANLINCHUANGJIBINGYINGXIANGXUE
YAN JIU

实 用
常见临床疾病影像学
研 究

仲 捷 等 主 编

图书在版编目 (CIP) 数据

实用常见临床疾病影像学研究 / 仲捷等主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2017.11
ISBN 978-7-5189-3604-5

I . ①实… II . ①仲… III . ①影象诊断 IV . ① R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 281135 号

实用常见临床疾病影像学研究

策划编辑: 韩雅丽 责任编辑: 韩雅丽 责任校对: 赵 瑗 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官方网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京虎彩文化传播有限公司
版 次 2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷
开 本 889×1194 1/16
字 数 1012千
印 张 31.75
书 号 ISBN 978-7-5189-3604-5
定 价 128.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

主 编

仲 捷 刘 敏 黄卫兵 张宗斌

于 倩

副主编（按姓氏笔画排序）

石 静 米 楠 许建生 孙 钢

张邦俊 曹江欣

编 委（按姓氏笔画排序）

于 倩（河北省沧州市中心医院）

王志中（山东省曹县人民医院）

王鲁光（山东省聊城市东昌府人民医院）

石 静（河北省石家庄市第二医院）

仲 捷（山东省青岛市城阳区人民医院）

刘 敏（山东省曹县县立医院）

米 楠（承德医学院附属医院）

许建生（河北省张家口市第一医院）

孙 钢（山东省枣庄市中医医院〈北京中医药大学第四临床医学院〉）

张邦俊（湖北省孝昌县第一人民医院）

张宗斌（三峡大学第二人民医院〈宜昌市第二人民医院〉）

卓丽华（四川省绵阳市第三人民医院）

赵埴飏（山东省兖矿集团公司总医院）

黄卫兵（湖北省武汉市汉口医院）

曹江欣（河北省石家庄市第二医院）

舒小钢（湖北省赤壁市蒲纺医院）



仲 捷

男，青岛市城阳区人民医院介入科主任，主治医师。毕业于泰山医学院医学影像系，大学学历，医学学士。兼任青岛市医学会介入诊疗专业分会委员，青岛市医师协会综合介入专业委员会常务委员，青岛市中西医结合专业委员会外周血管专业委员会委员，青岛市抗癌协会肝癌专业委员会委员。从事影像诊断及介入治疗十余年，擅长腹部及神经系统的影像诊断；现能够熟练开展神经血管、外周血管、肿瘤及非血管的介入治疗及诊断。尤其擅长脑动脉瘤栓塞术、胆道支架置入术、各种动脉出血性疾病的急症治疗、外周血管的腔内成型术等。在省级以上核心期刊发表论文四篇；市级及以上科研两项；主编参编著作三部；获国家实用新型专利四项；青岛市奥帆赛突出贡献个人奖。



刘 敏

女，2012年毕业于泰山医学院、医学影像学专业，现任曹县县立医院放射科副主任、主管技师，从事临床放射技术二十年，曾在菏泽市立医院放射室、青岛市立医院放射科进修学习，近年来参加国家及省级大型学术会议十余次，发表学术论文四篇，主篇、参编著作三部，获得国家专利三项。



黄卫兵

男，1970年11月生，临床医学本科，主治医师，现任武汉市汉口医院放射科主任，武汉市医师协会放射科医师分会常务委员，武汉市医学影像质量控制中心质控专家。具有丰富的临床经验，擅长放射影像诊断及放射介入技术。在专业期刊发表研究论著三篇。倡导“人尽其才，物有所用”的管理理念；努力实践“在工作中快乐，在快乐中工作”的人生价值观。



张宗斌

男，核医学科副主任、副主任医师、中共党员、湖北省核学会核医学分会委员。三峡大学医学院医学影像专业本科毕业。多次赴北京、上海、武汉等地的大型医院进修学习，多次参加全国及省市级专业学术交流会，参加完成一项省级科研成果项目，发表论文数十篇，参编出版医学专著三部。



于 倩

女，汉族，1982年5月。医学硕士，主治医师。毕业于河北医科大学，现就职于河北省沧州市中心医院超声科，擅长心脏、胎儿心脏、胎儿、腹部及血管病变的超声检查及诊断。参加工作以来先后于北京安贞医院、北京妇产医院、北京儿童医院进修学习，并发表多篇论文及科研两项。

P 前言

Preface

医学影像学是现代医学的重要分支。自 20 世纪后期到现在,随着 CT、磁共振、PET-CT、新型超声、分子影像等众多新技术、新方法的出现,医学影像学获得了迅猛发展,并在临床诊疗活动中起着举足轻重的作用。目前,医学影像学不仅能够提供适时、三维、动态的大体影像解剖学信息,而且能够反映疾病分子水平的功能和代谢状态;不仅能够辅助诊断,计划治疗,随访疗效,而且放射介入治疗、核医学治疗、超声介入等本身也日益成为重要的微创性治疗手段。因此,让广大医务工作者更好地了解现代医学影像学,合理利用好各种影像诊疗手段,更好地为患者服务,是医学教育中不可忽视的重要任务。为此我们编写了《实用常见临床疾病影像学研究》。

本书包含 MRI 成像基础、CT 成像基础、超声诊断的物理基础、PET 显像技术、介入放射学等基础内容,又阐述了妇产科疾病超声诊断、五官及颈部疾病 CT 诊断、乳腺疾病 CT 诊断、乳腺疾病 MR 诊断、颅脑疾病 CT 诊断、颅脑疾病 MR 诊断、消化系统疾病 CT 诊断等临床常见病的影像表现,以简练的语言概括了疾病的主要特征,让读者能在有限的时间内掌握影像的精粹。

由于编写时间仓促,经验有限,本书中可能存在某些粗疏或偏颇之处。在此我们恳请广大读者及同仁对本书内容提出批评指正,以便我们作出改进。

《实用常见临床疾病影像学研究》编委会

2017 年 9 月

第一章 概 述.....	(1)
第一节 影像医学发展史.....	(1)
第二节 临床中影像医学的作用.....	(2)
第三节 正确运用影像诊断方法.....	(2)
第二章 MRI 成像基础	(4)
第一节 MRI 的基本原理	(4)
第二节 MRI 的基本设备	(14)
第三节 MRI 的适应证与禁忌证	(20)
第四节 MRI 中的流体成像	(23)
第五节 磁共振对比剂 Gd-DTPA	(31)
第三章 CT 成像基础	(38)
第一节 CT 成像原理	(38)
第二节 CT 检查的适应证与禁忌证	(44)
第三节 CT 检查的技术参数	(45)
第四节 CT 检查前准备与检查步骤	(48)
第五节 CT 的检查方法	(50)
第六节 螺旋 CT 的特殊应用	(60)
第七节 CT 图像的特点及影响图像质量的因素	(68)
第八节 CT 图像的后处理	(71)
第四章 超声诊断的物理基础	(77)
第一节 超声波的基本概念	(77)
第二节 超声波的物理性能	(78)
第五章 PET 显像技术	(82)
第一节 PET 显像的基本原理	(82)
第二节 PET 心肌灌注显像	(82)
第三节 PET 心肌代谢显像	(84)
第四节 心脏神经受体显像	(86)
第五节 脑血流显像	(87)
第六节 脑代谢显像	(88)
第七节 脑神经受体显像	(92)

第八节 ^{18}F -FDG PET 肿瘤糖代谢显像	(94)
第六章 介入放射学	(100)
第一节 介入放射学发展简史	(100)
第二节 介入放射学的分类	(101)
第三节 介入放射学所需器材	(103)
第四节 介入放射学使用药物	(104)
第五节 栓塞材料	(107)
第六节 对比剂	(109)
第七节 介入放射科常见的临床症状和体征	(110)
第八节 经皮穿刺活检	(119)
第九节 置管治疗	(129)
第十节 放射性粒子组织间近距离治疗肿瘤	(133)
第十一节 肿瘤氩氦刀治疗	(142)
第十二节 介入放射术后监测与治疗	(153)
第七章 CT、MR 检查常用技术	(160)
第一节 CT 检查技术	(160)
第二节 MR 检查技术	(182)
第八章 妇产科疾病超声诊断	(207)
第一节 子宫疾病	(207)
第二节 盆腔炎性肿块	(212)
第三节 卵巢肿瘤	(212)
第四节 输卵管疾病	(217)
第五节 异常妊娠	(218)
第六节 胎儿畸形	(225)
第九章 五官及颈部疾病 CT 诊断	(230)
第一节 正常五官及颈部 CT 表现	(230)
第二节 基本病变 CT 表现	(232)
第三节 常见疾病 CT 诊断	(234)
第十章 乳腺疾病 CT 诊断	(261)
第一节 乳腺 CT 检查概述	(261)
第二节 正常乳腺的胚胎发育和组织学表现	(262)
第三节 正常乳腺的 CT 表现	(265)
第四节 乳腺常见病的 CT 诊断	(266)
第十一章 乳腺疾病 MR 诊断	(270)
第一节 正常乳腺 MR 解剖和病变分析方法	(270)
第二节 乳腺大导管乳头状瘤 MR 诊断	(273)
第三节 乳腺脓肿 MR 诊断	(274)

第四节 乳腺增生性疾病 MR 诊断 (276)
 第五节 乳腺纤维腺瘤 MR 诊断 (280)
 第六节 乳腺脂肪坏死 MR 诊断 (282)
 第七节 乳腺错构瘤 MR 诊断 (284)
 第八节 乳腺脂肪瘤 MR 诊断 (285)
 第九节 乳腺积乳囊肿 MR 诊断 (286)
 第十节 乳腺癌 MR 诊断 (287)
 第十二章 颅脑疾病 CT 诊断 (291)
 第一节 正常头颅 CT 表现 (291)
 第二节 基本病变 CT 表现 (292)
 第三节 脑血管病变 CT 诊断 (292)
 第四节 颅内感染 CT 诊断 (295)
 第五节 颅内肿瘤 CT 诊断 (298)
 第六节 颅脑外伤 CT 诊断 (308)
 第七节 脱髓鞘疾病 CT 诊断 (311)
 第八节 先天性畸形 CT 诊断 (312)
 第九节 新生儿脑病 CT 诊断 (313)
 第十节 其他脑病 CT 诊断 (314)
 第十三章 颅脑疾病 MR 诊断 (317)
 第一节 颅脑正常组织结构 MR 解剖 (317)
 第二节 脑血管疾病 MR 诊断 (318)
 第三节 颅脑外伤 MR 诊断 (324)
 第四节 颅脑肿瘤 MR 诊断 (327)
 第五节 先天性疾病 MR 诊断 (339)
 第六节 肝性脑病 MR 诊断 (347)
 第七节 囊肿及脑脊液循环异常 MR 诊断 (355)
 第八节 脑白质病 MR 诊断 (358)
 第九节 感染与肉芽肿性病变 MR 诊断 (363)
 第十节 伴有深部灰质受累的实性疾患 MR 诊断 (369)
 第十四章 消化系统疾病 CT 诊断 (374)
 第一节 正常消化系统及实质脏器 CT 表现 (374)
 第二节 基本病变 CT 表现 (376)
 第三节 食管常见疾病 CT 诊断 (376)
 第四节 胃十二指肠常见疾病 CT 诊断 (378)
 第五节 肝脏常见疾病 CT 诊断 (380)
 第六节 胆囊常见疾病 CT 诊断 (391)
 第七节 胰腺常见疾病 CT 诊断 (393)

第八节	脾脏常见疾病 CT 诊断	(397)
第十五章	后腹膜间隙疾病 CT 诊断	(400)
第一节	后腹膜间隙正常 CT 表现	(400)
第二节	基本病变 CT 表现	(401)
第三节	常见疾病 CT 诊断	(401)
第四节	腹腔肿瘤与腹膜后肿瘤的 CT 鉴别诊断	(404)
第十六章	泌尿生殖系统疾病 CT 诊断	(405)
第一节	正常泌尿生殖系统 CT 表现	(405)
第二节	基本病变 CT 表现	(406)
第三节	肾脏常见疾病	(407)
第四节	膀胱常见疾病	(415)
第五节	输尿管常见疾病	(417)
第六节	子宫常见疾病	(419)
第七节	前列腺常见疾病	(422)
第八节	泌尿系统先天畸形	(423)
第九节	卵巢常见疾病	(425)
第十七章	肝脏疾病 MR 诊断	(428)
第一节	正常 MR 解剖	(428)
第二节	肝脏弥漫性病变 MR 诊断	(431)
第三节	肝脏肿块 MR 诊断	(436)
第十八章	骨骼肌肉系统疾病 MR 诊断	(446)
第一节	正常 MR 解剖	(446)
第二节	软组织与骨关节外伤 MR 诊断	(455)
第三节	骨关节感染性疾病 MR 诊断	(462)
第十九章	急腹症 CT 诊断	(466)
第一节	急腹症 MDCT 检查方法	(466)
第二节	急腹症相关解剖	(467)
第三节	急腹症常见疾病 CT 诊断	(468)
第二十章	呼吸系统疾病的影像学诊断	(479)
第一节	肺结核	(479)
第二节	肺部炎症	(485)
第三节	肺肿瘤	(490)
第四节	胸部外伤	(495)
第五节	尘 肺	(496)
参考文献		(498)

第一章 概 述

第一节 影像医学发展史

医学影像学是利用疾病影像表现的特点在临床医学上进行诊断的一门临床科学。医学影像学技术包括X线、计算机断层成像(CT)、超声成像、磁共振成像(MRI)和核素显像等。在近代高速发展的电子计算机技术推动下,医学影像学从简单地显示组织、器官的大体形态图像发展到显示解剖断面图像、三维立体图像、实时动态图像等,且不仅能显示解剖图像,还可反映代谢功能状态,使形态影像和功能影像更为有机地融合在一起。介入放射学则更进一步把医学影像学推进到了“影像和病理结合”、“诊断和治疗结合”的新阶段。医学影像学中不同的影像技术各具特点,互相补充、印证,具有精确、方便、快速、信息量大等特点,在临床诊断与治疗中发挥着巨大的作用。

从1895年德国物理学家伦琴发现X线至今已有110余年的历史,X线透视和摄片为人类的健康做出了巨大的贡献。而今天影像医学作为一门崭新的学科,近30年来以技术的快速发展和作用的日益扩大而受到普遍的重视。在我国县级以上城市的大医院中,影像学科已成为医院的重要科室,在医院的医疗业务、设备投资、科研产出等方面具有举足轻重的地位。临床医学影像学的研究范围包括X线诊断、CT诊断、MRI诊断、DSA诊断、超声切面成像、核素成像及介入放射学等,担负着诊断和治疗两方面的重任,已成为名副其实的临床综合学科。

影像医学的发展历程可以归纳为以下六个方面。第一,从单纯利用X线成像向无X线辐射的MRI和超声的多元化发展;第二,从平面投影发展到分层立体显示,如CT、MRI及超声切面成像均为断层图像,可以克服影像重叠的缺点;第三,从单纯形态学显示向形态、功能和代谢等综合诊断发展;第四,从胶片影像向计算机图像综合处理发展,以数字化存储传输和显像器显示代替胶片的载体功能;第五,从单纯诊断向诊断和治疗共存的综合学科发展,介入治疗正日益受到重视;第六,从大体诊断向分子水平诊断、治疗方向发展,即从宏观诊断向微观诊断和治疗方向发展,如组织器官功能成像和分子影像介入治疗等。影像医学的快速发展,既为本学科专业人员提供了良好的发展机遇,同时也提出了更高的要求。目前,影像学已逐渐分化形成神经影像学、胸部影像学、腹部影像学等二级分支学科,有利于影像科医师在充分掌握影像医学各种手段和方法后从事更加深入的医疗专业服务和科研发展。我国医学影像学发展虽起步较晚,但近20年的改革开放正赶上影像医学大发展时期,国家从提高人民健康水平的大局出发,加大了从国外引进的先进仪器设备的投入。我国现已拥有数十万台CT机、数万台MRI机和数以百万计的超声设备,影像医学专业人员队伍不断扩大、水平不断提高,影像医学正进入一个大发展的新阶段。

影像医学的发展有其技术进步的基础和临床医疗的需求两方面的因素。首先,电子计算机技术的快速发展,使影像资料数字化,缩短了获取高质量图像的时间,并大大提高了影像的后处理能力,如图像的存储、传输、重建等。当前很多医院已实现了影像资料的计算机综合联网(PACS)。其次,特殊材料和技术的发展使CT、MRI和DSA等高精尖设备能大批量生产以供临床使用。但归根到底是临床对影像诊断需求的提高起了主导作用。影像诊断各种方法均具有无创伤的特点,且图像直观清楚,适应证广泛,使临床绝大多数患者均可通过影像诊断的方法做出定性、定位、定期和定量的细致评价,从而指导具体治疗方案

的确定。因此,影像诊断方法的合理应用,可以大大提高综合医疗水平,从而指导临床制定正确的治疗方案。

(刘 敏)

第二节 临床中影像医学的作用

目前,影像医学在临床上的地位不断提高,原因有二:一是就诊患者数量的上升。如车辆的增多导致交通事故逐渐增加,建筑施工中的外伤也有增多的趋势,滥用抗生素导致感染难以控制,而生活水平提高后的急性心、脑血管疾病的发病率也在逐步上升,因此,导致各级医院的门诊人数比例不断上升。二是就诊患者经快速有效处理后常可取得较好的疗效,为挽救生命、恢复劳动力和提高生活质量发挥重要的作用。因此,目前许多综合性大医院都对影像诊断极其重视。面对生命垂危的患者,所有诊断抢救措施都要体现快速准确的精神,而影像诊断方法具有快捷有效的特点,因此,在临床疾病的诊断中具有重要的作用。

损伤是最常见的临床病症之一,X线摄片诊断骨关节损伤已有 110 余年的历史,目前仍是一种不可缺少的重要手段。CT 检查对复杂部位的骨折或不完全性骨折的诊断具有决定性的作用,而骨关节的软骨或半月板损伤、韧带或肌腱撕裂及软组织挫伤或血肿等应用 MRI 技术可获得良好的效果。内脏的损伤可根据脏器不同选择适当的影像学方法,以显示病变的解剖位置、形态、范围和程度。

感染性疾病在临床中占有较大的比例,大多数患者根据临床表现、体征及常规化验检查即可明确诊断。影像学检查一般不能否定临床诊断,在诊断明确后就应开始积极治疗,避免因等待检查而耽误治疗最佳时机。但是,影像学检查在明确病变程度、范围及与其他病变的鉴别诊断中具有重要作用,有些特殊感染在影像学上具有特征性的表现,甚至可做出病原诊断。目前,超声、CT 及 MRI 的广泛应用,使感染性疾病的诊断从定性走向更精确的定位和定量诊断。

随着我国人口老龄化及生活水平提高,心、脑血管性病发病率逐渐上升,常突然发生,且死亡率较高,早期诊断、及时治疗常可挽救生命。在影像学方法中,CT、MRI 及血管造影的诊断价值较高,常常是确诊的方法,不但可以定性,而且可以定量和定位诊断。目前逐渐普及的介入治疗具有高效、快捷的优点,正逐渐受到临床的高度重视。

其他类疾病如肿瘤、先天性疾病,随着各种诊断水平及影像技术的提高,发现率也逐渐上升。影像学诊断目的是明确病变位置、大小、形态、范围及与周围组织的关系,有无钙化、液化、囊变,病变性质,以及病变的鉴别诊断。手术后复查可以观察病变是否复发。超声、CT 及 MRI 的广泛应用,使肿瘤及先天性疾病的诊断更准确,为手术或保守治疗提供了诊断依据。

(刘 敏)

第三节 正确运用影像诊断方法

影像医学是医学领域中发展最迅速的学科之一,检查方法众多,各种检查方法本身也在不断改进和发展,且各种检查方法都有自身的特点,对每种具体疾病的诊断敏感性、特异性各不相同。如何正确选择影像诊断技术,既做到尽可能早期诊断而不耽误患者的宝贵时间,又要考虑尽量降低人力、物力的消耗,减轻患者的损伤和痛苦。因此,需要临床各科医生和影像科医生详细了解影像医学各种方法并有效配合协商,才能制定出疾病的最佳治疗方案。具体应注意以下几个方面:

(1)充分考虑就诊患者的病情,以抢救患者为第一需要。所有检查必须在生命体征稳定后才能进行,还要避免等待检查或过分强调检查质量而耽误宝贵的抢救时间。如患者为小儿或颅脑外伤后烦躁不合作

者,则不宜作 MRI 等复杂检查。某些检查可导致急症患者病情加重,如空腔脏器急性炎症或出血时应避免造影检查或穿刺操作,颅底或脊柱骨折时应避免多体位摄片。

(2)选择对某一疾病具有很高诊断敏感性和特异性的方法。如颅脑外伤患者可先做 CT,需要时再拍平片;胆囊炎、胆石症患者宜首选超声检查,或者选择螺旋 CT 检查,因为螺旋 CT 快捷准确,不受呼吸运动影响,图像连续性好,对胆囊小结石的显示率高;急性心肌梗死时做冠状动脉血管造影,既可快速有效诊断,同时又可进行必要的介入治疗。所以临床医生必须熟悉各种影像检查的特点,少走弯路就是给患者多一点治愈的机会。

(3)合理评估各种检查结果的实际价值。每一种检查方法都有其诊断疾病的特殊之处,也就是对某些疾病的特异性和敏感性特别高,而对另一些疾病的诊断价值有限,甚至没有帮助。临床医生要对某一患者的各种检查结果要进行合理的评价和分析。如 CT 是较高级和精密的诊断方法,对肝癌或其他占位的诊断价值很高;但对肝炎患者来说,其检查结果正常并不代表肝脏一切正常。

(4)各种检查方法的合理应用尚需考虑其损伤性、简便实用性和快速有效性。一般应选择节省时间、方便、经济、无射线及无痛苦或损伤的检查方法,以最快捷、最经济、最简单的方法解决问题。

因此,影像医学的发展虽为就诊患者提供了早期、及时、准确诊断的可能性,但同时也向影像科及临床各科医生提出了合理应用的要求。知识更新迫在眉睫,只有充分掌握影像医学知识才能发挥其最大效益,也是每一位医生肩负的职业责任。

(刘 敏)

第二章 MRI 成像基础

第一节 MRI 的基本原理

生物体组织能被电磁波谱中的短波成分(如 X 线)穿透,但能阻挡中波成分如紫外线、红外线及微波。令人惊异的是,人体组织允许磁共振产生的长波成分如无线电波穿过,这是磁共振能用于临床的基本条件之一。

磁共振(MR)实际上是指核磁共振(NMR)。由于害怕“核”字引起某些人的误解与疑惧,目前通称为磁共振(MR)。核子自旋运动是自然界的普遍现象,也是核磁共振的基础。1946 年美国科学家 Bloch 与 PurCELL 几乎同时独立地完成了核磁共振试验,这一科研成果获得了 1952 年诺贝尔物理学奖。自从揭示了“化学位移”现象以来,磁共振学迅速发展起来。1967 年 Jasper Jackson 在活的动物身上首次获得 MR 信号,1972 年 Lautebru 利用水模成功地获得了氢质子二维的 MR 图像,从八十年代开始 MR 进入了医学临床应用阶段。

根据 19 世纪的 Gauss 学说,电与磁是一回事,可统称为电磁。电荷沿一导线运动或质子沿轴自旋即可产生磁场,而导线切割磁力线又可产生电流。自然界任何原子核的内部均含有质子与中子,统称核子,都带正电荷。核子像地球一样具有自旋性,并由此产生自旋磁场。具有偶数核子的许多原子核其自旋磁场相互抵消,不能产生核磁共振现象。只有那些具有奇数核子的原子核在自旋中才能产生磁矩或磁场,如 ^1H (氢)、 ^{13}C (碳)、 ^{19}F (氟)、 ^{31}P (磷)等。因此,可被选用为核磁共振成像术中的靶子,而氢原子更是其中的佼佼者。氢原子是人体内数量最多的物质,原子核中只含 1 个质子而不含中子,最不稳定,最易受外加磁场的影响而发生核磁共振现象,所以现阶段临床应用的磁共振成像主要涉及氢质子。氢质子带 1 个正电荷,又能自旋,其周围自然形成一个小磁场,整个氢原子核实际上是一个自旋的小磁体。“核”的意思是指核磁共振成像主要涉及原子核(尤其是氢原子核),与核周围的电子层关系不大。“磁”有两个含义:①磁共振过程发生在一个巨大外磁体的孔腔内,它能产生一个恒定不变的强大的静磁场(B_0);②在静磁场上按时叠加另外一个小的射频磁场以进行核激励并诱发核磁共振(B_1);还要叠加一个小的梯度磁场以进行空间描记并控制成像。“共振”是借助宏观世界常见的自然现象来解释微观世界的物理学原理。例如一个静止的音叉在另一个振动音叉的不断作用下即可能引起同步振动,先决条件是两个音叉固有的振动频率相同。核子间能量的吸收与释放亦可引起共振,处于低能级的氢质子吸收的能量恰好等于能级差即跃迁到高能级水平,释放的能量恰好等于能级差又可跌落回低能级水平,核子这种升降波动是在一个磁场中进行的,故称之为“核—磁共振”。

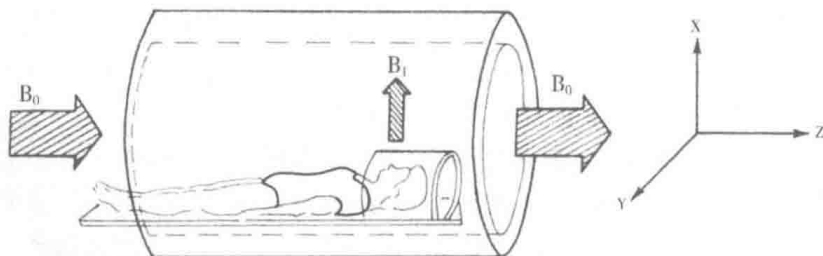


图 2-1 磁共振示意图

从人体进入强大的外磁场(B_0)，到获得清晰的 MR 图像，人体组织与受检部位内的每一个氢质子都经历了一系列复杂的变化。①氢质子群体的平时状态：在无外磁场 B_0 的作用下，平常人体内的氢质子杂乱无章地排列着，磁矩方向不一，相互抵消；②在外加磁场中的氢质子状态：人体进入强大均匀的外加磁场 B_0 中，体内所有自旋的混乱的氢质子，其磁矩将重新定向，按量子力学规律纷纷从杂乱无章状态变成顺着外磁场磁力线的方向排列，其中多数与 B_0 磁力线同向（处于低能级），少数与 B_0 磁力线逆向（处于高能级），最后达到动态平衡；③通过表面线圈从与 B_0 磁力线垂直的方向上施加射频磁场(RF 脉冲)，受检部位的氢质子从中吸收了能量并向 XY 平面上偏转；④射频磁场(RF 脉冲)中断后氢质子放出它们吸收的能量并回到 Z 轴的自旋方向上；⑤释出的电磁能转化为 MR 信号；⑥在梯度磁场(由梯度线圈发出)辅助下 MR 信号形成 MR 图像。

一、氢质子群体的平时状态

某些原子核(如氢原子核)可以看成是一个具有自旋能力的小星球，因为它带有电荷，自旋进动必然产生磁矩， $\vec{U}$ 代表着该原子核周围小磁场的大小与方向。由这种磁偶极产生的小磁场颇似一个旋转着的小磁棒(图 2-2)。平时人体内的氢原子核处于无规律的进动状态，无数的氢原子核杂乱无章地进动着，漫无方向地排列着，其磁矩与角动量相互抵消，整个人体不显磁性(图 2-3,A)。

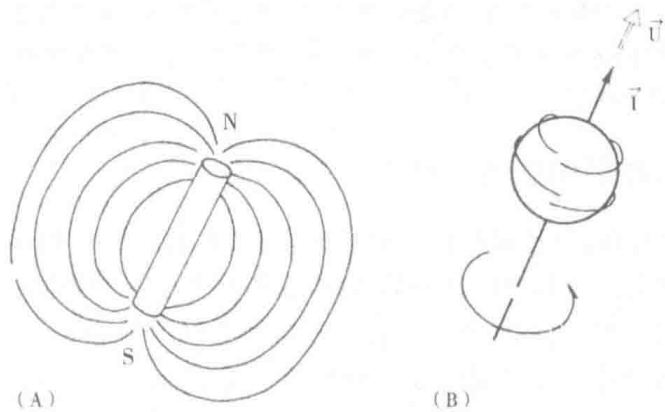


图 2-2 磁偶极产生的小磁场示意图

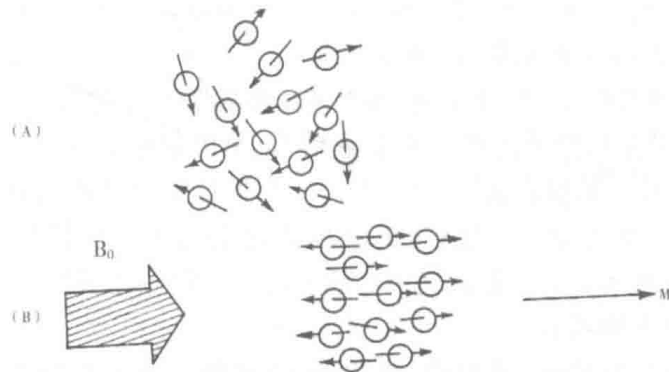


图 2-3 原子活动示意图

二、在外加静磁场中的氢质子状态

人体进入强大均匀的磁体空腔内，在外加静磁场 B_0 的作用下，原来杂乱无章的氢原子核一齐按外磁场方向排列并继续进动，整个人体组织处于轻度磁化状态(图 2-3,B)。由于氢质子的自旋量子数 $I=1/2$ ，只有两种基本的排列方向，一是顺向排列(向上自旋)，二是逆向排列(向下自旋)，前者与静磁场磁力线方向相同，相应的磁化量子数 $m=+1/2$ ，处于低能级状态；后者与静磁场磁力线方向相反，相应的量子数 $m=-1/2$ ，处于高能级状态。在静磁场中氢质子自旋矢量的方位角 $\theta=\arccos m \sqrt{I(I+1)}$ 。

在静磁场中自旋(磁动量)矢量有一个转矩或电偶,它们环绕静磁场的纵轴进动,其速率可用 Larmor 公式算出:

$$f = \omega / 2\pi = \gamma B_0 / 2\pi$$

其中 f 为共振频率(Hz), ω 为每秒的角频率(弧度), γ 为旋磁比, B_0 为静磁场。对每一种原子核来说 γ 是一个常数。

一大群原子核在静磁场中进动,每一个原子核的磁矩其位相是杂乱无章的。也就是说,它们在进动的圆环中其磁化矢量的顶端处于不同的位置,但联合起来可形成一个总的磁矩 $\vec{M}$ 。这个净磁矩 $\vec{M}$ 是接收线圈产生 MR 信号的根据。

对 MR 成像作用最大的核子是质子,尤其是氢质子。因为它在人体内数量最大,其重量小而磁动量大,在水溶液中氢原子核的数量级为 $10^{23}/\text{cm}^3$,其中半数以上与静磁场 B_0 的磁力线方向相同,处于低能级状态。每个氢原子核磁矩的总矢量(Σ)可用以下公式计算:

$$\vec{M} = \Sigma P_i \mu_i$$

公式中 $\vec{M}$ 为净磁矩, μ_i 为氢原子核的磁矩, P_i 为氢原子核的数量。由于能量差极小,因此在两个能级状态中自旋 $= 1/2$ 的氢原子核数目基本相等。例如在 1.5T 的静磁场中处于同向低能级状态的氢原子核比处于逆向高能级状态者仅多 1×10^{-5} 。

在低能级与高能级状态之间根据静磁场场强大小与当时的温度,势必要达到动态平衡,称为“热平衡”状态。此时从低能级转入高能级的氢原子数恰好等于从高能级转入低能级的氢原子数,最后的磁化状态 M 。称为“平衡”状态或“静息”状态。

三、施加射频(RF)脉冲后的氢质子状态

MR 信号的产生分两个步骤,一是磁共振的激励过程,二是磁共振的弛豫过程。如前文所述,氢质子是一群处于一定能量级与方向上不断自旋进动的微粒,它们类似于一般磁体,具有磁性、角动量与旋转性。在 MR 扫描机的孔腔内,人体内所有的氢质子小磁体都将顺着强大静磁场 B_0 的方向排列,其中较多的氢质子其磁矩方向与静磁场 B_0 相同(处于低能级),较少的氢质子其磁矩方向与静磁场 B_0 相反(处于高能级)。人体内大量氢质子的小磁极相加,形成一个微弱的小磁场,其总磁化矢量 M (图 2-3)仅为静磁场 B_0 的几百万分之一,但方向相同。在常温的“热平衡”状态下顺静磁场 B_0 排列的氢质子数毕竟比逆向排列者多 10^6 倍,因此人体磁化矢量 M 与静磁场 B_0 方向一致。

通过射频(RF)线圈中的电流对 MR 孔腔中的人体组织施加一个垂直方向的交变磁场 B_1 ,诱发氢质子产生核磁共振,这就是磁共振的激励过程。交变磁场 B_1 是由射频线圈发出的,所以 B_1 又称为射频磁场。 B_1 交变地发出与中断,按磁共振所需要的频率工作,所以又称为射频脉冲。射频磁场 B_1 与静磁场 B_0 有两点不同:① B_1 十分微弱,为 B_0 的万分之一,例如 B_0 的场强为 1.0T,而 B_1 仅为 0.0001T 即足以诱发核磁共振;② 静磁场 B_0 不仅强大,而且恒定,其磁力线方向与 MR 扫描机的孔腔平行。 B_1 磁场迅速交变,其磁力线方向总是与静磁场方向垂直。

B_1 磁场的交变振动频率具有严格的选择性,必须准确地选择 B_1 磁场的频率,使之相当于 Larmor 共振频率,才能诱发受检组织内氢质子的磁共振现象。Rabi 发现,在静磁场 B_0 的垂直方向上施加一个交变磁场 B_1 ,只有在 Larmor 频率时,交变磁场的能量才会突然大量地被吸收,这种现象称为共振吸收现象。按照量子力学理论,氢质子在磁场中只能采取两种能级状态:高能级与低能级(图 2-4)。通过原子间的热运动相互碰撞,能量相互传递,氢质子可在 2 个能级间跃迁;通过吸收电磁场的光子氢质子也能从低能级跃迁到高能级,因为光子只能整个地被吸收,所以在一定的场强下能级差也是一定的,射频磁场 B_1 发射的电磁能(射频能量)必须恰好等于能级差才会被处于低能级状态的氢质子吸收,并借助于这个射频能量跃迁到高能级状态。在一定的场强条件下射频磁场的交变频率必须符合 Larmor 频率,它所发出的射频电磁能才恰好等于能级差。

所谓核磁共振就是指氢质子在两种能级上相互转换,当按照 Larmor 频率施加射频能量时,迫使氢质子的磁矩从 $m = +1/2$ 低能级跃迁到 $m = -1/2$ 高能级状态。二者的能级差 $E_{1/2} - E_{-1/2} = \hbar \gamma B_0$, $\hbar \gamma B_0$

($=h/2\pi$)是一个常数。

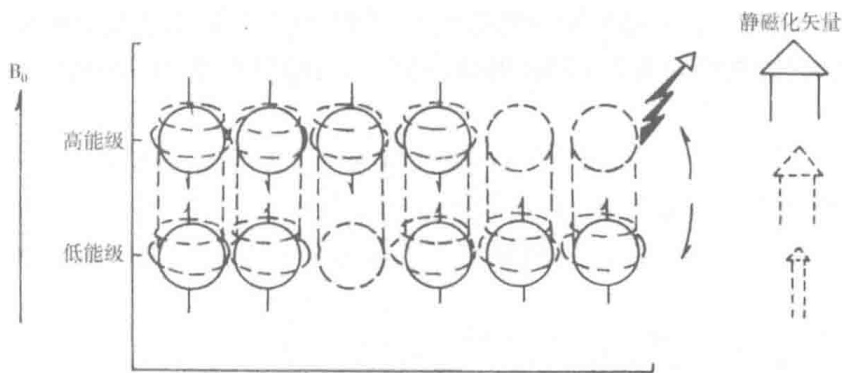


图 2-4 高能级与低能级示意图

磁共振的能量吸收只能在垂直于静磁场 B_0 的横向上查出来。因为横向上的磁化矢量 M_{xy} 具有时间依赖性,按照法拉第感应定律, M_{xy} 在进动过程中切割静磁场 B_0 的磁力线,可在接收线圈上感应出相应的电压。与此相反,在热运动平衡状态下的纵向磁化矢量是静止的,它不切割磁力线,因而不产生感应电流。当施加射频(RF)磁场 B_1 时,随着氢质子自旋进动的同步旋转,即会产生横向磁化矢量(图 2-5)。射频磁场 B_1 垂直于静磁场 B_0 ,其作用是旋转磁化矢量 M 偏离静息状态, M 在纵向上逐渐缩短,在横向上逐渐延长。如果射频磁场 B_1 施加的时间足够长,净磁化矢量 M 可俯垂 90° ,在横向上垂直于静磁场 B_0 而不断转动。旋转角度 θ 称为 RF 偏转角, $\theta=\gamma B_1 T_2$ 该公式中 B_1 是射频磁场的大小, T 是施加的时间。由此可见,RF 偏转角度可通过 B_1 磁场的强弱与施加时间加以控制。

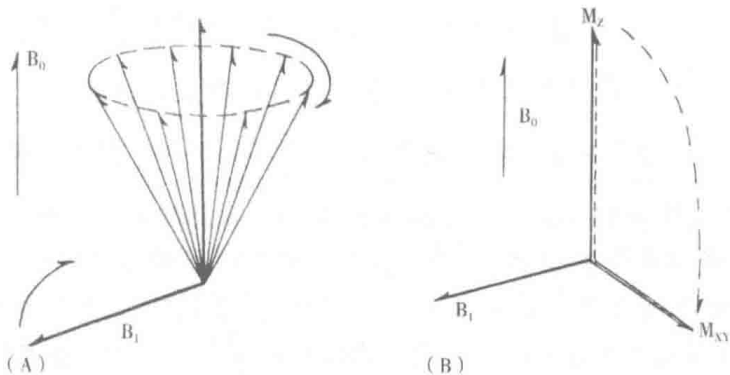


图 2-5 磁化矢量示意图

从图 2-5(B)可以看出,在射频磁场 B_1 的作用下,磁化矢量 M 开始转动,随着时间的延长 M 在横向上逐渐增大,从原来的 Z 轴上向 XY 平面贴近(图 2-6)。

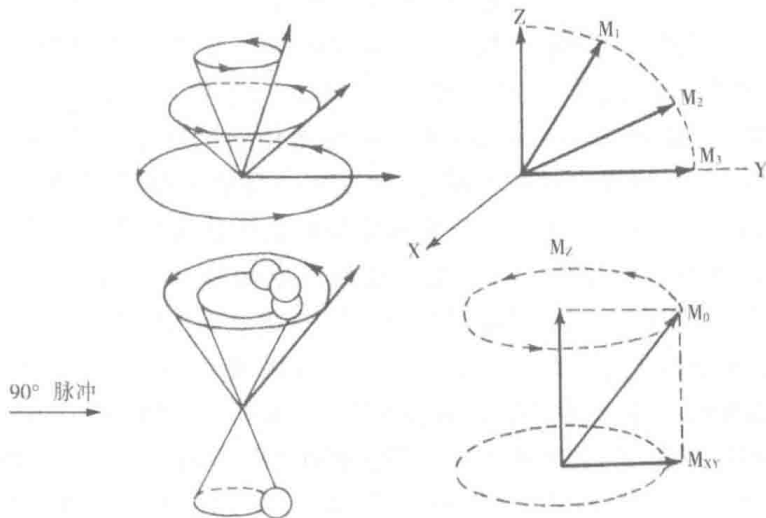


图 2-6 磁场形成示意图