

磁共振诊断学

隋邦森 吴恩惠 陈雁冰 主编



人民卫生出版社

磁共振诊断学

隋邦森 吴恩惠 陈雁冰 主编

编 者

隋邦森 吴恩惠 陈雁冰

曹丹庆 廉宗澄

绘图摄影

石茂生 蒋贵钧



A0097786

人 民 卫 生 出 版 社

(京)新登字 081 号

内 容 提 要

这是一部系统论述全身疾患磁共振(MR)诊断著作。第一章介绍磁共振物理学原理、脉冲序列、设备及成像技术。第二至第十二章论述头颅、五官、脊髓等以中枢神经系统为主的疾患。第十三至二十二章阐述胸、腹、盆腔、四肢关节等各部位疾患。继CT、DSA广泛用于临床之后,MR以其高度的分辨力在全身各系统疾患的诊断方面有了突破,使现代医学进入了磁共振时代。本书理论与图像相得益彰,汇集线条图200余幅,MR照片1800余帧,某些疾病以CT与DSA图像相辅相成,全书近100万字,可供临床各科医师参考使用。

磁 共 振 诊 断 学

隋邦森 吴恩惠 陈雁冰 主编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版
(北京市崇文区天坛西里10号)

人 民 卫 生 出 版 社 胶 印 厂 印 刷
新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 52 $\frac{1}{2}$ 印张 4插页 1218千字

1994年1月第1版 1994年1月第1版第1次印刷

印数:00 001—4 100

ISBN 7-117-01925-5/R·1926 定价:48.00元

·〔科技新书目 301—200〕

前 言

磁共振成像于 1981 年用于临床。由于不受呼吸、心搏及胃肠运动的影响,当时最先用于神经系统的检查。随着扫描技术与计算机技术的发展。美国学者 Marguits 率先将 MR 用于全身各系统的检查。在不足 10 年的时间内,各国学者逐渐积累了丰富的经验,从而将现代医学引进了磁共振时代。

在神经系统与五官科检查方面,MR 不仅可与 CT 比翼齐飞,而且还在脑血管病、脑干与后颅窝病变、变性疾患、尤其是脊髓疾患方面比 CT 更胜一筹。MR 血管造影技术、MR 心脏电影成像技术的发展,近年来有取代创伤性血管造影之势。除中枢神经系统之外,MR 对全身各系统病变的诊断价值日益引人注目。男性盆腔病变如恶性肿瘤的分期诊断,女性盆腔病变如月经周期的病理变化,只有 MR 才能显示清楚。骨骼、肌肉、关节、纵隔、大血管、脂肪、淋巴结、肝脏、脾脏、腹膜后脏器的病变,尤其是肿瘤的病理改变,MR 不但能清晰显示,而且往往是唯一能显影的检查手段。急性心肌梗塞区、心梗后的室壁瘤、肥厚性心肌病、先天性心脏病损等在 MR 上均能一览无余。特别值得一提的是,MR 对大血管病变及关节内部病变的显示,是过去任何检查手段无法比拟的。

MR 的空间分辨力极高。梯度回波与小角度快速成像、波谱分析、电影造影等新技术层出不穷。X 线片、DSA、CT 等影像仅取决于组织的 X 线吸收系数这一个参数,因而限制了分辨力的提高与敏感性。而决定 MR 信号强度的因素至少有 7 个参数,正常与异常组织中只要有 1 个参数发生变化,就可在 MR 信号上得到反映。因此,MR 的临床应用潜力甚大。如果说 80 年代的 MR 崭露头角尚不成熟的话,那么 90 年代的 MR 必将在医学各个领域内大放异彩。

80 年代后半期 MR 扫描机开始在我国应用,其中有永磁型、常导型及超导型。京津地区运转的 6 台 MR 扫描机其场强为 0.3、0.35、0.6、1.0T 不等,各家积累的经验只有相互印证,相互补充,才能更好地为发展我国的医学事业服务。

本书 MR 图片均出自超导型高场强扫描仪(1.0T)。作者在编写过程中参考了 Elster AD、Michael Brant-Zawadzki、Valk J 与 Stark DD 等的有关著作,并得到国内影像学与临床学科老前辈的热情关怀与帮助,在此特表谢意。由于才疏学浅,经验不足,书中难免挂一漏万之处,敬请同道们不吝赐教。

隋邦森

一九九二年夏于北京

目 录

第一章 磁共振诊断学总论	(1)
第一节 磁共振原理	(1)
第二节 磁共振成像特征	(16)
第三节 磁弛豫现象	(27)
第四节 磁共振设备	(38)
第五节 脉冲序列与参数	(45)
第六节 磁共振中的流体成像	(54)
第七节 磁共振成像中的伪影	(62)
第八节 磁共振增强剂及其临床应用	(69)
第九节 磁共振扫描的适应证与禁忌证	(81)
第十节 磁共振波谱学	(85)
第十一节 磁共振血管造影	(104)
第十二节 化学位移成像	(118)
第二章 颅脑磁共振成像概述	(124)
第一节 天幕上结构磁共振解剖与定位诊断	(124)
第二节 后颅窝结构磁共振解剖与定位诊断	(149)
第三节 正常脑发育的磁共振成像	(163)
第四节 脑内铁质沉积与常见病变	(164)
第三章 颅脑肿瘤	(172)
第一节 脑瘤磁共振成像的一般规律	(174)
第二节 顺磁性对比剂对脑瘤的诊断价值	(180)
第三节 低度星形细胞瘤	(186)
第四节 高度星形细胞瘤	(190)
第五节 纤维细胞性星形细胞瘤	(196)
第六节 脑干星形细胞瘤	(197)
第七节 少枝胶质细胞瘤	(199)
第八节 胶质瘤病	(202)
第九节 髓母细胞瘤	(204)
第十节 血管网织细胞瘤	(205)
第十一节 淋巴瘤与转移瘤	(207)
第十二节 松果体区肿瘤	(215)
第十三节 上皮样囊肿(胆脂瘤)	(221)
第十四节 皮样囊肿	(223)
第十五节 畸胎瘤	(224)

第十六节	胶样囊肿·····	(226)
第十七节	脑膜瘤·····	(229)
第十八节	垂体腺瘤·····	(234)
第十九节	垂体微腺瘤·····	(239)
第二十节	颅咽管瘤·····	(241)
第二十一节	丘脑下部错构瘤·····	(245)
第二十二节	听神经瘤·····	(247)
第二十三节	三叉神经瘤·····	(252)
第二十四节	视神经胶质瘤·····	(254)
第二十五节	颈静脉球瘤·····	(255)
第二十六节	脊索瘤与骨软骨瘤·····	(258)
第二十七节	骨髓瘤·····	(260)
第二十八节	脑瘤出血·····	(262)
第四章	脑血管疾病·····	(266)
第一节	动脉硬化性脑梗塞·····	(268)
第二节	脑栓塞·····	(279)
第三节	腔隙性脑梗塞·····	(282)
第四节	分水岭脑梗塞·····	(285)
第五节	脑血管性痴呆·····	(287)
第六节	高血压性脑出血·····	(294)
第七节	出血性腔隙综合征·····	(304)
第八节	双重性中风·····	(307)
第九节	脑叶出血·····	(312)
第十节	脑血管淀粉样变性·····	(314)
第十一节	蛛网膜下腔出血·····	(316)
第十二节	颅内动脉瘤·····	(321)
第十三节	动静脉畸形·····	(329)
第十四节	隐性脑血管畸形·····	(334)
第十五节	静脉血管瘤·····	(336)
第十六节	海绵状血管瘤·····	(337)
第十七节	Sturge-Weber 氏病·····	(340)
第十八节	Galen 氏静脉性动脉瘤·····	(341)
第十九节	烟雾病·····	(343)
第二十节	非特异性动脉内膜炎·····	(345)
第二十一节	脑静脉窦血栓形成·····	(347)
第二十二节	动脉纤维肌肉发育不良·····	(349)
第五章	颅脑外伤·····	(350)
第一节	脑挫裂伤·····	(351)
第二节	外伤性脑内与脑室血肿·····	(355)

第三节	硬膜外血肿	(358)
第四节	硬膜下血肿	(361)
第五节	少见的血肿与继发脑损伤	(367)
第六节	外伤性硬膜下积液	(368)
第七节	外伤性脑梗塞	(369)
第八节	脑外伤后遗症	(371)
第六章	颅内感染与炎症	(373)
第一节	颅内感染概述	(373)
第二节	颅内细菌感染	(374)
第三节	颅内结核感染	(382)
第四节	结节病	(387)
第五节	颅内病毒感染	(389)
第六节	散发性脑炎	(392)
第七节	颅内寄生虫病	(394)
第八节	颅内真菌感染	(404)
第九节	感染性血管炎	(406)
第十节	艾滋病	(408)
第七章	脑部退行性病变	(410)
第一节	脑萎缩性疾病	(410)
第二节	肝豆状核变性	(429)
第三节	大舞蹈病	(433)
第四节	巴金森氏病	(435)
第五节	亚急性坏死性脑脊髓病(Leigh 氏病)	(439)
第六节	苍白球黑质色素变性(Hallervorden-Spatz 氏病)	(441)
第七节	多系统萎缩	(441)
第八节	多发性硬化	(443)
第九节	视神经脊髓炎	(448)
第十节	弥漫性硬化	(448)
第十一节	急性播散性脑脊髓炎	(450)
第十二节	同心圆性硬化(Balo 氏病)	(452)
第十三节	肾上腺脑白质营养不良	(454)
第十四节	异染性脑白质营养不良	(456)
第十五节	桥脑中央髓鞘溶解症(CPM)	(459)
第十六节	儿童脑白质病	(461)
第十七节	儿童脑室周围白质软化症	(463)
第八章	脑室系统病变	(466)
第一节	脑脊液通路与正常变异	(466)
第二节	含脑脊液的囊性病变	(470)
第三节	脑积水	(472)

第四节	脑室肿瘤	(478)
第九章	脊椎与脊髓	(483)
第一节	脊椎与椎管结构磁共振解剖	(484)
第二节	颅底颈椎交界区畸形	(487)
第三节	脊髓空洞积水症	(490)
第四节	原发性脊髓肿瘤	(494)
第五节	原发性椎骨肿瘤	(511)
第六节	转移性肿瘤	(513)
第七节	脊椎与脊髓感染性疾病	(516)
第八节	脊髓蛛网膜炎	(521)
第九节	脊椎与脊髓外伤	(522)
第十节	颈椎病	(530)
第十一节	颈椎间盘突出	(536)
第十二节	胸椎间盘突出	(538)
第十三节	腰椎间盘退变	(539)
第十四节	椎管狭窄综合征	(543)
第十五节	脊椎松弛与滑脱	(544)
第十六节	椎管闭合不全	(545)
第十七节	椎管囊肿与脊膜膨出	(546)
第十八节	脊髓血管畸形	(547)
第十九节	脊髓内肿瘤出血	(550)
第十章	儿科中枢神经系统	(552)
第一节	中枢神经系统的发育	(552)
第二节	颅脑畸形的分类	(555)
第三节	胼胝体发育不全	(556)
第四节	导水管狭窄	(558)
第五节	Dandy-Walker 氏综合征	(559)
第六节	小脑后蛛网膜囊肿	(560)
第七节	大脑与小脑发育不良	(562)
第八节	Chiari 氏畸形	(566)
第九节	憩室形成性疾病	(569)
第十节	脑灰质异位症	(572)
第十一节	神经纤维瘤病	(573)
第十二节	结节性硬化	(575)
第十三节	蛛网膜囊肿	(577)
第十四节	脑与脊膜膨出	(578)
第十五节	脂肪脊髓脊膜膨出	(580)
第十六节	终丝纤维脂肪瘤	(580)
第十七节	脊髓纵裂与皮肤窦道	(581)

第十一章	眶部疾病	(582)
第一节	MR 成像技术与正常解剖	(582)
第二节	眼球疾病	(584)
第三节	眶内特发性炎性假瘤	(587)
第四节	眶内蜂窝织炎与脓肿	(587)
第五节	甲状腺眼病	(588)
第六节	眶内肿瘤	(589)
第七节	眶内血管病变	(595)
第八节	眶内异物与外伤	(597)
第九节	眶壁病变	(598)
第十节	粘液囊肿	(598)
第十二章	颈部口咽与鼻咽部	(600)
第一节	MR 成像技术与正常解剖	(600)
第二节	舌与口咽部病变	(605)
第三节	鼻咽部病变	(609)
第四节	鼻窦炎症	(612)
第五节	鼻窦与鼻窝肿瘤	(613)
第六节	涎腺病变	(615)
第七节	喉部与喉下部肿物	(615)
第八节	甲状腺病变	(619)
第九节	甲状旁腺病变	(622)
第十三章	纵隔与肺部	(624)
第一节	MR 扫描技术	(624)
第二节	纵隔内甲状腺肿瘤	(625)
第三节	异位甲状旁腺瘤	(626)
第四节	胸腺肿瘤	(627)
第五节	纵隔囊性病变	(629)
第六节	生殖细胞瘤	(630)
第七节	纵隔淋巴瘤	(632)
第八节	纵隔淋巴结转移	(634)
第九节	神经源性肿瘤	(635)
第十节	食管癌	(637)
第十一节	食管裂孔疝	(638)
第十二节	支气管肺癌	(639)
第十三节	肺内转移癌	(645)
第十四节	肺上沟癌	(646)
第十五节	支气管扩张与肺大泡	(646)
第十六节	肺炎	(648)
第十七节	肺结核	(649)

第十八节	间皮瘤·····	(650)
第十九节	胸膜与胸壁病变·····	(651)
第十四章	心脏与大血管·····	(653)
第一节	MR 成像技术与正常解剖·····	(653)
第二节	主动脉动脉瘤·····	(655)
第三节	主动脉夹层动脉瘤·····	(657)
第四节	主动脉缩窄·····	(659)
第五节	肺动脉高压·····	(660)
第六节	房间隔缺损·····	(661)
第七节	室间隔缺损·····	(662)
第八节	复合性先天性心脏病·····	(663)
第九节	马凡氏综合征·····	(664)
第十节	急性心肌梗塞·····	(665)
第十一节	心肌梗塞后遗症·····	(666)
第十二节	心肌病·····	(668)
第十三节	心包病变·····	(669)
第十四节	心脏内肿瘤·····	(671)
第十五节	风湿性瓣膜病·····	(673)
第十五章	肝胆系统·····	(675)
第一节	MR 成像技术与正常解剖·····	(675)
第二节	肝癌·····	(683)
第三节	肝转移癌·····	(688)
第四节	肝淋巴瘤·····	(690)
第五节	肝海绵状血管瘤·····	(691)
第六节	肝囊肿·····	(695)
第七节	肝脓肿·····	(696)
第八节	肝内局灶性结节增生·····	(698)
第九节	肝腺瘤·····	(699)
第十节	脂肪肝与肝脂肪瘤·····	(700)
第十一节	肝炎·····	(701)
第十二节	肝硬化·····	(702)
第十三节	肝血色素沉着症·····	(704)
第十四节	肝血管病变·····	(704)
第十五节	胆管扩张症·····	(705)
第十六节	胆石症·····	(707)
第十七节	胆囊炎·····	(708)
第十八节	胆囊癌·····	(709)
第十九节	肝包虫病·····	(710)
第二十节	肝脏移植·····	(712)

第十六章 胰脾与消化道	(713)
第一节 MR 扫描技术与正常解剖	(713)
第二节 胰腺癌	(714)
第三节 胰岛细胞瘤	(716)
第四节 胰腺炎	(717)
第五节 胰腺假囊肿	(719)
第六节 壶腹癌	(720)
第七节 脾脏转移癌	(721)
第八节 脾脏淋巴瘤	(721)
第九节 脾脏铁质沉积	(722)
第十节 脾脏良性瘤	(723)
第十一节 食管病变	(723)
第十二节 胃脏病变	(724)
第十三节 十二指肠与小肠	(725)
第十四节 结肠癌与直肠癌	(727)
第十七章 腹膜后器官	(730)
第一节 腹膜后淋巴结肿大	(730)
第二节 腹膜后纤维化	(733)
第三节 腹主动脉粥样硬化	(734)
第四节 腹主动脉动脉瘤	(735)
第五节 腹主动脉夹层动脉瘤	(735)
第六节 下腔静脉先天异常	(736)
第七节 下腔静脉血栓形成	(737)
第八节 原发性腹膜后肿瘤	(738)
第九节 腰大肌脓肿	(739)
第十节 腰大肌肿瘤	(740)
第十一节 腹壁病变	(740)
第十二节 腹腔病变	(741)
第十八章 肾与肾上腺	(744)
第一节 MR 扫描技术与正常解剖	(744)
第二节 肾囊性病变	(746)
第三节 肾细胞癌	(750)
第四节 移行细胞癌	(752)
第五节 淋巴瘤与白血病	(753)
第六节 肾脏良性肿瘤	(754)
第七节 肾胚胎细胞瘤(Wilms 氏瘤)	(756)
第八节 难判断的肾肿物	(757)
第九节 炎性肾肿物	(758)
第十节 钙化的肾肿瘤	(759)

第十一节	肾盂肾炎与肾小球肾炎·····	(759)
第十二节	肾结核·····	(760)
第十三节	肾盂积水·····	(760)
第十四节	肾包膜下血肿·····	(762)
第十五节	肾上腺皮质内分泌综合征·····	(762)
第十六节	肾上腺腺瘤·····	(763)
第十七节	肾上腺癌·····	(765)
第十八节	肾上腺嗜铬细胞瘤·····	(766)
第十九节	肾上腺转移癌·····	(767)
第二十节	无功能性肾上腺肿瘤·····	(768)
第二十一节	肾上腺皮质增生症·····	(769)
第十九章	女性盆腔·····	(770)
第一节	正常女性盆腔解剖·····	(770)
第二节	宫颈癌·····	(771)
第三节	子宫内膜癌·····	(773)
第四节	子宫平滑肌瘤·····	(775)
第五节	卵巢癌·····	(776)
第六节	卵巢畸胎瘤·····	(778)
第七节	卵巢错构瘤与皮样囊肿·····	(779)
第八节	卵巢囊肿·····	(780)
第二十章	男性盆腔·····	(782)
第一节	前列腺癌·····	(783)
第二节	前列腺增生·····	(785)
第三节	前列腺炎·····	(786)
第四节	膀胱癌·····	(787)
第五节	盆腔血肿与脓肿·····	(789)
第六节	睾丸与阴囊病变·····	(790)
第二十一章	肌肉骨骼系统·····	(793)
第一节	膝关节病变·····	(794)
第二节	髋关节病变·····	(805)
第三节	骨与软组织 MR 诊断 ·····	(808)
第四节	骨肿瘤·····	(810)
第五节	良性软组织肿瘤·····	(816)
第六节	软组织恶性肿瘤·····	(817)
第七节	血管性肿物·····	(819)
第二十二章	儿科体部磁共振检查·····	(821)
第一节	扫描技术与脉冲序列·····	(821)
第二节	胃肠道疾患·····	(821)
第三节	腹膜后脏器·····	(822)

第四节 盆腔病变..... (824)

第五节 骨髓病变..... (826)

第一章 磁共振诊断学总论

本世纪 70 年代 CT 的问世是医学影像学的一场革命,它使医学界学会了从横向上分辨正常结构与异常组织。80 年代以来磁共振(Magnetic Resonance,MR)的出现更是医学影像学的一个飞跃,它使医学界从三维空间上多层面多方位地观察人体的变异与病变。MR 在波谱学、生化分析及血管造影等方面日新月异的发展,使医学影像学向立体、动态、纵深方向不断开拓,不仅为医学的发展做出了新的贡献,也对人类的思维方式与哲学观念发生了影响。

第一节 磁共振原理

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(Nuclear Magnetic Resonance,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 Lauterbur 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。核子象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到原子核(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),如图 1-1 所示;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”。

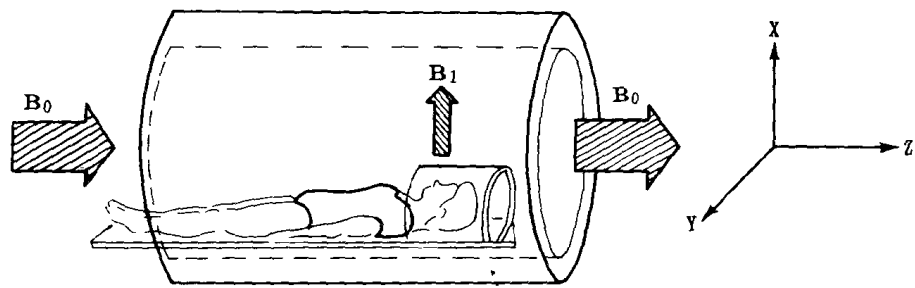


图 1-1 静磁场 B_0 与射频磁场 B_1 。在超导型 MR 扫描机中 B_0 与人体(Z 轴)平行,射频线圈产生的 RF 磁场 B_1 在 XY 平面上旋转

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。

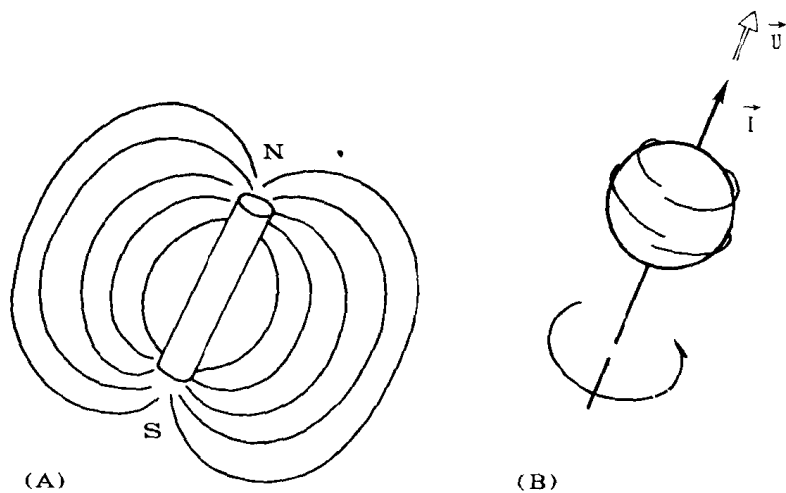


图 1-2 氢原子核自旋并产生磁矩
(A)氢原子核象一个小磁棒;(B)氢原子核自旋产生角动量 $\vec{I}$ 与磁矩 $\vec{\mu}$ 。

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 $\vec{\mu}$ (magnetic moment), $\vec{\mu}$ 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 1-2)。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 1-3, A)。

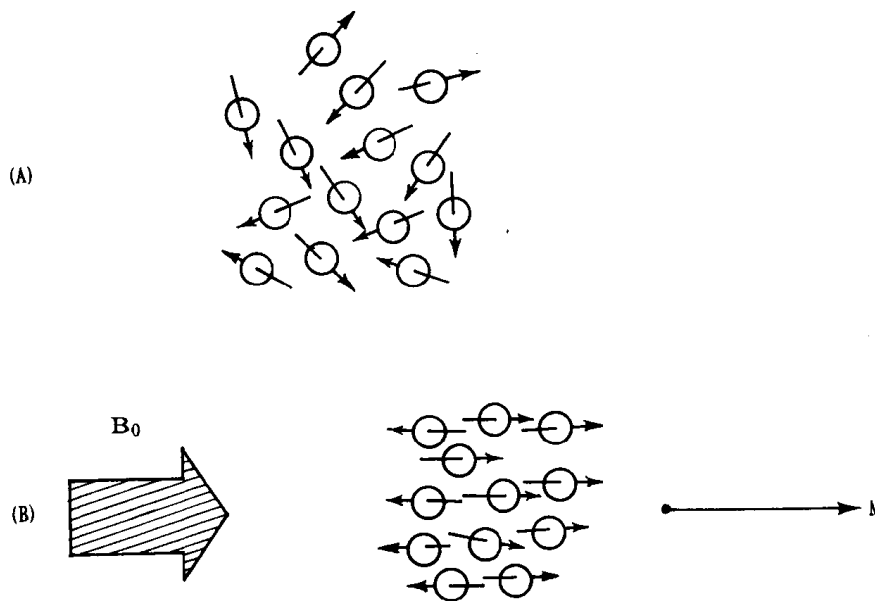


图 1-3 进入磁体前后人体氢原子核的进动状态
(A)无外加静磁场时的氢原子核; (B)在外加静磁场 B_0 作用下

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 1-3, B)。由于氢质子的自旋量子数 $I = \frac{1}{2}$,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 $m = +\frac{1}{2}$,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 $m = -\frac{1}{2}$,处于高能级状态。在静磁场中氢质子自旋矢量的方位角 $\theta = \arccos \frac{m}{\sqrt{I(I+1)}}$ 。

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(图 1-4),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(图 1-5),但联合起来可形成一个总的磁矩 $\vec{M}$ (图 1-5)。这个净磁矩 $\vec{M}$ 是接收线圈产生 MR 信号的根据。

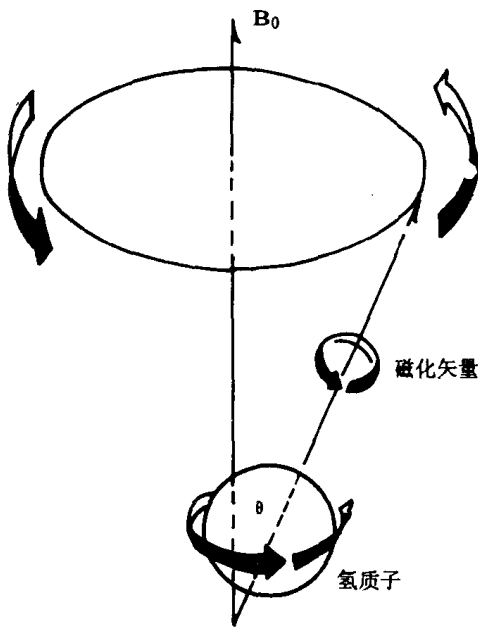


图 1-4 氢原子的进动并磁化的过程

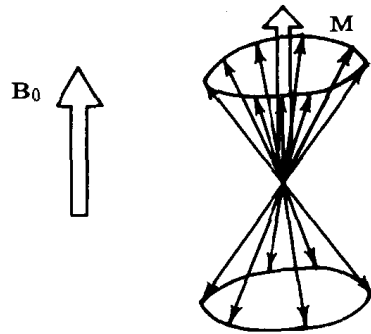


图 1-5 在 B_0 中氢原子核的小磁矩联合形成 M (总磁矩), 并与之同向。横向磁矩因相位不一致而相互抵消

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 $= \frac{1}{2}$ 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_0 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 1-3) 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。