文章编号:1000-5404(2008)16-1493-03

专家述评

MRI成像技术的进展及临床应用

邹利光 (第三军医大学新桥医院放射科,重庆 400037)

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是基于核磁共振现象的成像技术,20世纪70年代被引入到医学领域并用于人体成像。30多年的时间里,MRI得到迅速发展,硬件设备和成像技术不断更新。主磁场、梯度系统、射频系统功能的改进,多通道、多采集单元、并行采集等技术的应用,使MRI设备整体水平明显提升,成像速度明显加快。近几年,超高场MRI在脑功能成像、频谱成像、白质纤维束成像、心脏检查、冠心病诊断、腹部等脏器的检查得到了广泛应用[1]。

1 磁共振血管成像

磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)是一种无创性血管成像技术,利用血管内血液流动或经外周血管注入磁共振对比剂显示血管结构,还可提供血流方向、流速、流量等信息,已经成为常规检查技术。MRA技术主要有时间飞跃法(time of flight, TOF)、相位对比法(phase contrast, PC)和对比增强MRA(CE-MRA)。TOF法是临床上应用最广泛的MRA方法,该技术基于血流的流入增强效应,常用形式有2D TOF MRA和3D TOF MRA。2D TOF MRA采用较短的重复时间(repetition time, TR)和较大的反转角,背景组织信号抑制较好,有利于静脉慢血流的显示,多用于颈部动脉和下肢血管的检查。3D TOF MRA空间分辨率更高,流动失相位相对较轻,受湍流的影响相对较小,多用于脑部动脉的检查[2]。PC MRA是利用流动所致的宏观横向磁化矢量的相位变化来抑制背景、突出血流信号的一种方法,包括2D PC MRA、3D PC MRA和电影(cine) MRA。与TOF MRA比较,PC MRA在临床应用相对较少,主要用于静脉性病变的检查和心脏及大血管血流分析。CE-MRA是经外周静脉团注对比剂Gd-DTPA后,利用对比剂使血液的T_1值明显缩短,然后利用超快速且权重很重的T_1WI序列(3D fast TOF SPGE,反转角 >45°)进行成像。CE-MRA对于血管腔的显示比其他MRA技术更可靠,出现血管狭窄的假象明显减少,血管狭窄程度的反映比较真实,一次注射对比剂可完成动脉和静脉的显示。

2 磁共振灌注成像

灌注成像(perfusion imaging,PI)通常是用来评价血流的微循环即毛细血管床内血流的分布特征,已成为脑血管疾病和肿瘤等疾病的重要诊断手段[3,4],尤其是对脑梗死早期,区分可恢复的和不可逆梗死的脑组织有重要价值。临床上PI有两种主要的方法,即对比剂首过法和动脉自旋标记法(arterial spin labeling, ASL)。对比剂首过法是借助静脉快速团注具有磁敏感效应的MRI对比剂,位于血管内的对比剂产生强大的、微观上的磁敏感梯度,引起周围组织局部磁场的短暂变化,这种局部磁场的变化可以通过MRI图像上信号强度的变化测得。反映组织血流灌注的各种生理参数是通过测量对比剂浓度所致的信号改变间接获得,所得的各种参数是一个相对值,即血容量(blood volume, BV)、血流量(blood flow, BF)和平均通过时间(mean transit time, MTT)等。ASL是利用血管内自由流动的血液作为内源性的示踪剂来评价组织的特异性灌注,此方法不使用外源性对比剂,可重复性高且组织对比度较好。ASL首先用于正常和缺血脑组织血流灌注研究,可以清晰的显示灌注缺损或低灌注区,所获得的正常状态下局部脑血流量与其他技术获得的血流量一致性很好,但在缺血引起脑血流量明显降低时,ASL所测得的血流量较其他方法测得的结果低。

3 扩散加权成像及扩散张量成像

扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是目前在活体上进行水分子扩散测量与成像的唯一方

基金项目:国家自然科学基金(30770609);重庆市自然科学基金(2006BB5104)
Supported by the National Natural Science Foundation of China (30770609) and the Natural Science Foundation of Chongqing (2006BB5104)

作者简介:邹利光,男,四川省江油市人,硕士,主任医师,教授,主要从事心血管疾病和MRI方面的研究。电话:(023)68774676,E-mail: zoulg@mail.tmmu.com.cn

收稿日期:2008-01-09;修回日期:2008-04-06

法,它主要依赖于水分子的弥散运动成像。DWI 首先用于中枢神经系统缺血性脑梗死的早期诊断,鉴别急性和亚急性脑梗死,评价脑梗死的发展进程[5]。在脑梗死30 min 后便可利用 DWI 发现扩散受限,表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)降低,至 8 ~ 32 h 达最低,持续 3 ~ 5 d。急性期 DWI 上呈现高信号,ADC 图像上呈低信号。亚急性期(1 ~ 2 周)随着细胞外水分子的增加及胶质增生,ADC 值逐渐升高,约 2 周 DWI 上呈等、高信号,ADC 上呈现高信号。除脑缺血外,DWI 在中枢神经系统也用于脑肿瘤、感染、脱髓鞘病变、外伤等疾病的诊断。腹部应用主要集中在肝脏,用于肝脏占位性病变的诊断和鉴别诊断、肝纤维化和肝硬化的评价等[6]。在其他部位如乳腺、胃肠道、前列腺等的临床应用也正在开展。

扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是一种用于描述水分子扩散方向特征的 MRI 成像技术,在 DWI 的基础上施加 6 ~ 55 个非线性方向的梯度场获得扩散张量图像。在人体生理条件下,水分子的自由运动受细胞本身特征及其结构的影响,如组织的粘滞度、温度、分子的大小以及细胞膜、细胞器等生理屏障,使其在三维空间各个方向上弥散运动的快慢不同,以致一个方向上弥散比另一个方向受更多的限制,具有很强的方向依赖性,称为各向异性,其运动轨迹近似一个椭球体。弥散各向异性在脑白质纤维束表现最明显,水分子的弥散运动在与神经纤维走行一致的方向受到的限制最小、运动最快,而在与神经纤维垂直的方向上受到的限制最大、运动最慢。DTI 主要用于动态显示并检测脑白质的生理演变过程及脑缺血性病变、颅内肿瘤、癫痫、外伤等脑白质神经纤维束的变化,三维显示大脑半球白质纤维束的走行和分布等。

4 脑功能成像

脑功能成像一般指基于血氧合水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)效应的脑功能磁共振成像(functional MRI, fMRI)技术。血液中的脱氧血红蛋白具有顺磁性,可以缩短组织的 T_2 或 T_2^* 值,其增多将导致相应组织在 T_2WI 或 T_2^* WI 上信号强度降低;氧合血红蛋白则具有轻度反磁性,可延长组织的 T_2 或 T_2^* 值,其增多将导致相应组织在 T_2WI 上信号强度增高。当大脑某区域被激活时,该区域脑组织的耗氧量增多,脱氧血红蛋白随之增多,但相应区域脑组织的血流灌注量也同时增多,带来更多的氧合血红蛋白,最后的结果是氧合血红蛋白与脱氧血红蛋白的比例增高,因此导致 T_2WI 或 T_2^* WI 上相应区域脑组织信号强度增高。目前,BOLD 已从对感觉和运动等低级脑功能的研究发展到对高级思维和心理活动等高级脑功能的研究,主要包括视觉、躯体运动、躯体感觉(触觉、痛觉)、听觉、语言、认知及情绪、针刺穴位等[7-9]。BOLD 临床上用于脑肿瘤、癫痫、脑血管畸形等手术前脑功能定位,也用于神经精神病学的研究。

5 磁共振波谱

磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)是目前唯一能活体观察组织代谢及生化变化的技术,利用不同化学环境下的原子核共振频率的微小差异来区分不同的化学位移,从而鉴别不同的化学物质及其含量。MRS 是由不同共振频率原子核产生的多个共振峰组成,每一波谱可反映原子核的化学位移、波峰高度或面积、波峰半高全宽、pH 值、温度等。准确的空间定位技术是 MRS 成功的关键。在体 MRI 的空间定位技术一般分为单体素和多体素两种技术。单体素空间定位技术的基本原理是应用 3 个互相垂直的层面选择脉冲,而采集的仅为与 3 个层面均相交的体素内的回波信号。常用的单体素空间定位采集技术有活体影像选择波谱(ISIS)、激励回波采集模式(STEAM)和点分辨波谱(PRESS)序列。多体素采集技术即化学位移成像(chemical shift imaging, CSI)或磁共振波谱成像(MRSI),可分为 2D 和 3D 多体素采集。其优点是一次采集覆盖范围较大,在选定的空间分布中,可以得到多个体素的代谢物谱线。由于代谢物质的种类丰富,磁共振波谱技术的应用非常广泛[4,10],如 ^{1}H 谱、^{31}P 谱等。^{1}H-MRS 是敏感性最高的检测方法,它可检测与脂肪代谢、氨基酸代谢以及神经递质有关的化合物,如肌酸(Cr)、胆碱(Cho)、肌醇(mI)、乳酸(Lac)和 N-乙酰天门冬氨酸(NAA)等。^{31}P-MRS 用于研究组织能量代谢和生化改变,检测参与细胞能量代谢与生物膜有关的磷脂代谢产物,如磷酸单酯(PME)、磷酸二酯(PDE)、磷酸肌酸(PCr)、无机磷(Pi)等。

6 MRI 分子影像学

分子影像学是用影像学的方法在细胞/分子水平对活体生物过程进行描述与测量的新兴交叉学科。MRI 广泛应用于分子影像学研究,包括清楚地显示解剖结构、药物作用或其他功能活动组织血流改变、代谢

产物浓度定量检测、组织 pH 分布图、血容量和血管渗透性的研究、药物动力学研究、基因表达、特异性分子探针显像、肿瘤血管生成显像等[11,12]。MRI 靶向对比剂的研究较多,可分为三大类:转铁蛋白受体(transferrin receptor, TFR)显像、顺磁性金属卟啉合成物和标记单克隆抗体对比剂。TFR 的主要功能是实现铁自细胞外向细胞内的转运,另外还与细胞的生长和增殖有关。目前应用的 TFR 探针主要有转铁蛋白-单晶氧化铁超微粒(TF-MION)和抗 TFR 抗体-单晶氧化铁超微粒(antiTFRb-MION)两种。顺磁性金属卟啉合成物可缩短质子弛豫时间,具有稳定性和肿瘤定向的特性,能快速地从血液中清出并累积于肝、肾和肿瘤组织中。有学者研制了 Mn-卟啉配合物的肿瘤靶向性对比剂以及水溶性金属卟啉肿瘤靶向对比剂,并研究了对比剂的体外弛豫率和在肿瘤细胞中的富集过程。标记单克隆抗体(monoclone antibody, McAb)类 MRI 靶向对比剂可特异性地导向肿瘤等抗原结构,使肿瘤局部信号发生改变,产生特异性增强,从而达到诊断目的。

综上所述,MRI 是多参数成像,其成像原理和信号表现复杂多样,成像技术也更新发展快。MR 血管成像可无创显示血管结构并提供血流动力学参数,灌注成像反映疾病早期和病变血液灌注,扩散加权成像和扩散张量成像从分子水平探讨细胞内外水分子运动的改变,血氧水平依赖成像、磁共振波谱分析等 MRI 功能成像技术从细胞、分子水平,乃至基因水平反映靶器官的物质代谢和功能活动状况。MRI 技术的发展代表着医学影像诊断设备和技术的发展。

关键词:磁共振成像;灌注成像;功能 MRI;分子影像学
中图法分类号:R445.2　　**文献标识码**:A

参考文献:

[1] 冯晓源. MRI 技术发展十年回顾[J]. 上海生物医学工程, 2006, 27(2): 119 - 123.
[2] Wu E X, Hui E S, Cheung J S. TOF-MRA using multi-oblique-stack acquisition (MOSA)[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 26(2): 432 - 436.
[3] Whitmore R G, Krejza J, Kapoor G S, *et al*. Prediction of oligodendroglial tumor subtype and grade using perfusion weighted magnetic resonance imaging[J]. J Neurosurg, 2007, 107(3): 600 - 609.
[4] 刘梅丽,崔世民,韩　彤,等. 弥漫性星形细胞肿瘤的活体^{1}H MR 波谱及灌注和扩散成像分级[J]. 中华放射学杂志,2007,41(2): 153 - 157.
[5] Thurnher M M, Bammer R. Diffusion-weighted MR imaging (DWI) in spinal cord ischemia[J]. Neuroradiology, 2006, 48(11): 795 - 801.
[6] Taouli B, Tolia A J, Losada M, *et al*. Diffusion-weighted MRI for quantification of liver fibrosis: preliminary experience[J]. AJR Am J Roentgenol, 2007, 189(4): 799 - 806.
[7] Waber D P, De-Moor C, Forbes P W, *et al*. The NIH MRI study of normal brain development: performance of a population based sample of healthy children aged 6 to 18 years on a neuropsychological battery[J]. J Int Neuropsychol Soc, 2007, 13(5): 729 - 746.
[8] 吴　南,王　健,谢　兵,等. 10 例中国正常汉族人不同的汉语听觉任务时 fMRI 中 Wernicke 区激活的特点[J]. 第三军医大学学报, 2007, 29(10): 985 - 987.
[9] 王俊鹏,卢光明,张志强,等. 时间聚类分析功能 MRI 对癫痫病灶定位的初步研究[J]. 中华放射学杂志,2008,42(2): 162 - 166.
[10] Krsek P, Hajek M, Dezortova M, *et al*. (1)H MR spectroscopic imaging in patients with MRI-negative extratemporal epilepsy: correlation with ictal onset zone and histopathology[J]. Eur Radiol, 2007, 17(8): 2126 - 2135.
[11] Jaffer F A, Weissleder R. Molecular imaging in the clinical arena[J]. JAMA, 2005, 293(7): 855 - 862.
[12] Barrett T, Brechbiel M, Bernardo M, *et al*. MRI of tumor angiogenesis[J]. J Magn Reson Imaging, 2007, 26(2): 235 - 249.

(编辑　龙　亮)

《军医大学学报》(英文版)欢迎投稿

Journal of Medical Colleges of PLA 是由 3 所军医大学和南方医科大学共同主办的、国内外公开发行的综合性医学学术类英文期刊,是中国英文版科技论文统计源期刊,并被纳入中文科技期刊数据库、中国期刊网、万方数据库、重庆维普数据库。从 2007 年开始,本刊电子版由全球著名的科技出版集团爱思唯尔(Elsevier)负责海外发行,全文已进入 ScienceDirect 全文数据库,期刊网址 http://www.elsevier.com/locate/jmcpla。国内统一刊号:CN31 - 1002/R,国际标准刊号:ISSN 1000 - 1948。双月刊。设有论著、技术与方法、个案报道、交流等栏目。若无彩图,无需缴纳版面费;亦不收取审稿费;无稿酬。投稿要求:中(或大摘要)、英文稿各 1 份,照片提供 3 份。电子投稿 E-mail:gangela@mail.tmmu.com.cn。照片需以附件形式单独提供 JPG 或 TIF 格式。电子投稿请注明英文版。

联系地址:重庆市沙坪坝区高滩岩第三军医大学学报编辑部(400038)　　**电话**:(023)68752782