

磁敏感加权成像在脑外疾病的应用现状

李若坤 综述 曾蒙苏, 强金伟 审校

【中图分类号】R445.2 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2012)07-0807-03

磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)是一种新兴的MRI技术,目前主要应用于脑部病变,在脑血管病、脑外伤、退行性疾病及肿瘤性病变的诊断中显示出重要价值^[1-4]。近年来,SWI的应用领域逐步向脑外拓展并显示出极大的应用潜力。笔者就SWI在脑外疾病中的应用现状作一综述,现报道如下。

SWI的基本原理

SWI采用高分辨、长回波时间、三维梯度回波序列进行扫描,在选层、相位和读出三个梯度方向上均有流动补偿。SWI以 T_2^* 为基础,同时兼顾相位信息,形成了全新的图像对比。相位信息反映了质子弛豫过程中相位位移的改变,与组织中磁敏感物质含量有关,在常规MRI中则被忽略^[5]。

SWI数据处理主要包括以下过程:①首先对原始相位图像施加一个中心矩阵为 64×64 的低通滤波器,然后用原始图像除以低通滤波后的K空间数据,得到校正后相位图(corrected phase image)。②将校正相位图中不同组织的相位值进行标准化处理建立相位蒙片,然后采用相位掩盖技术来加强顺磁性物质的对比。目前各家公司所用的SWI技术采用不同的坐标系,所得到的相位变化及采用的相位掩盖技术也有所差异。如Siemens公司采用左手坐标系,顺磁性物质为正相位,抗磁性物质为负相位,通过正向相位掩盖,将负相位映射为1,将0到PI映射为1到0;而GE公司采用右手坐标系,顺磁性物质为负相位,抗磁性物质为正相位,通过负相位掩盖将正向位映射为1,将0到PI映射为1到0。③最后将相位掩盖对应的相位值与相应像素的幅度值多次相乘,使顺磁性物质的信号大幅度抑制。SWI还可以通过最小信号强度投影(MinIP)使分散在各层面的信号连续化,有利于显示扭曲结构及静脉血管的连续性^[5-7]。

SWI成像的物质基础

1. 血液产物

血液中铁主要以 Fe^{2+} 形式存在于血红蛋白,氧合血红蛋白无不成对电子,呈抗磁性,而脱氧血红蛋白有4个不成对电子,呈顺磁性。脱氧血红蛋白可进一步被氧化成为高铁血红蛋白,后者稳定性差,最终由巨噬细胞吞噬降解转变为含铁血黄素沉积。上述血液产物均具有磁敏感性,以含铁血黄素最为显著^[8]。

2. 非血红素铁和钙

非血红素铁是组织中另一种高磁敏感性物质,常以铁蛋白

的形式存在,表现为高顺磁性^[9]。钙化无不成对电子,常表现为抗磁性,引起正向相位位移,但其磁敏感效应比铁弱^[10]。

3. 静脉结构

血红蛋白的氧和与脱氧转换是血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)成像的基础^[10]。顺磁性的去氧静脉血引起的磁场不均匀产生两种效应:① T_2^* 弛豫时间的缩短;②静脉血与周围组织的相位差异。第一种效应是指含脱氧血红蛋白的红细胞与血浆之间的容积磁化率差别,可使动静脉的 T_2^* 时间差增大,这样应用适当的TE脉冲就可以将动静脉区分开来。第二种效应为静脉内容积磁化率引起血管内质子的频移,使静脉血与周围组织之间产生相位差,选择适当的TE时间可以使体素内静脉与周围组织的信号差达到最大,从而清晰显示小静脉^[12-13]。但SWI的信号受诸多因素的影响,如红细胞体积、去氧血红蛋白浓度、红细胞完整性、血块结构(纤维蛋白和血清含量)、分子扩散、PH值、温度、场强、局部磁场不均匀性、体素大小、是否存在对比剂、血流量及血管走向等,在临床应用中受到一定的限制^[14]。

SWI的脑外应用

1. 脊髓

Ishizaka等^[15]在1.5T MR机上利用3D-FLASH序列行脊髓静脉SWI检查,前正中静脉、后正中静脉、右侧前脊髓神经根静脉、左侧前脊髓神经根静脉、右侧后脊髓神经根静脉和左侧后脊髓神经根静脉显示率分别为100%、65%、45%、15%、10%和30%,其显示程度评分分别为0.98、0.24、0.20、0.08、0.08和0.14。该研究小组随后将SWI技术用于脊髓动静脉畸形术后疗效的评估。他们的结果显示,术前正中静脉的显示评分低于术后和对照组,其氧饱和度(0.91 ± 0.02)高于术后(0.82 ± 0.06)和对照组(0.81 ± 0.05),而术后正中静脉的显示评分及氧饱和度与对照组间差异无统计学意义^[16]。SWI不仅可以清楚显示静脉解剖结构,还可以提供氧饱和度的生理信息,有望成为动静脉畸形无创性疗效评价的理想工具。

脊髓损伤在影像学上分为水肿、挫伤和出血三种类型,脊髓水肿的患者预后明显好于出血患者。最近的一项研究探讨了3D FLASH SWI在急性脊髓损伤中的价值,并与常规序列(T_1 WI、 T_2 WI)和 T_2^* WI比较,23例研究对象中,有6例常规序列诊断为脊髓出血,SWI和 T_2^* 均能显示脊髓内出血灶;在另5例常规序列诊断为脊髓挫伤的患者中,SWI和 T_2^* 显示了脊髓内出血灶;尽管SWI和 T_2^* 均能显示出出血灶,但SWI所显示的出血/正常脊髓组织信号比(0.46 ± 0.14)要低于 T_2^* (0.58 ± 0.19),即在SWI序列上出血灶信号更低、更易于检出^[17]。

2. 四肢

Yang等^[18]将SWI技术用于18例有症状的外周动脉病变

作者单位:200032 上海,复旦大学附属中山医院放射诊断科(李若坤、曾蒙苏);复旦大学附属金山医院放射科(李若坤、强金伟)

作者简介:李若坤(1981-),男,山东济宁人,博士研究生,主要从事磁共振新技术应用研究。

通讯作者:曾蒙苏, E-mail: zengmengsu@zs-hospital. sh. cn

患者下肢动脉成像。在这项研究中,SWI显示了8例患者的19处钙化灶,与CT有极好的一致性,而且SWI相位图所显示的钙化面积与CT高度相关[分别为 $(0.37 \pm 0.17) \text{cm}^2$ 和 $(0.38 \pm 0.18) \text{cm}^2$, Pearson 相关系数 = 0.92]。李树金等^[19]发现SWI可以准确显示四肢软组织血管瘤的引流静脉、鉴别瘤体内钙化和出血,较常规序列能够提供更多信息。曲海源等^[20]制备了精氨酸-甘氨酸-天冬氨酸(RGD)靶向性超顺磁性长循环脂质体靶向探针,对兔皮下VX2肿瘤运用不同的磁共振成像序列(T_1 WI、 T_2 WI、 T_2^* 、FLAIR和SWI)进行扫描,所用SWI技术为3D扰相梯度回波序列。体内MRI成像显示靶向组肿瘤周边及血管周边可见信号减低,离体标本普鲁士蓝染色观察显示靶向组铁颗粒位于肿瘤血管周边、部分位于肿瘤血管内皮,非靶向组铁颗粒主要位于肿瘤间质、弥漫分布。SWI可以更精确的显示探针在肿瘤内的特异性浓聚情况,有望应用于分子影像学领域,在基因、细胞水平对肿瘤进行早期的特异性诊断。

3. 头颈部

结石是慢性涎腺炎较为特异的征象,但传统的X线平片不能显示软组织,有时与静脉石、钙化的淋巴结相混淆,且存在电离辐射的危险。MRI具有极好的软组织对比,传统的MRI涎腺造影可以直观显示导管的狭窄及扩张、间接显示导管内结石。最近Fatemi-Ardekani等^[21]在3.0T GE机型上应用SWI技术直观显示了颌下腺导管内结石,在他们的报道中,SWI共发现5枚钙化性结石,与CT显示的解剖位置完全一致,而且较CT图像具有更高的组织对比度。但SWI对病灶的显示存在一定的放大效应,其直径大小和面积均高于CT。

4. 腹部

早期报道的腹部磁敏感成像研究并非严格意义上的SWI,实际上是一种 T_2^* 技术。Lee等^[22]的研究显示利用磁敏感MR成像可以敏感地检测出肝癌动物模型中含铁氧化物的栓塞微球在肝内的分布情况。另一项临床研究将磁敏感成像用于评估糖尿病高风险人群中肝脏、脾脏铁蛋白含量及静脉放血术后含量的改变,其研究显示SWI与血清铁浓度呈负相关性,血色病患者体内高浓度的铁会破坏胰岛细胞导致糖尿病,静脉放血术能降低血清铁至正常水平,SWI可以敏感地反映出血清学改变,是一种有效评估肝、脾内铁蛋白浓度的方式^[23]。虽然上述研究并非真正的SWI技术,但提示利用物质磁敏感特性在腹部成像是可行的。

因盆腔结构受运动影响相对较小,Takeuchi等^[24]在自由呼吸状态下将2D快速扰相梯度回波序列SWI应用于卵巢囊性病变的鉴别,扫描时间为4min34s。他们的研究包括42个子宫内异位灶与18个非子宫内异位灶(包括单纯性囊肿、浆液性囊腺瘤、粘液性囊腺瘤、囊腺纤维瘤、退变型纤维瘤),其中10个病灶同时进行了1.5T和3.0T MRI检查。由于含铁血黄素沿囊壁沉积,在SWI序列上有39个(92.9%)病灶可见沿囊壁分布的斑点状或曲线状低信号影,2个(4.8%)病灶呈完全低信号,而且3.0T较1.5T图像信噪比更高,在非子宫内异位灶中均未见此征象。常规序列诊断子宫内异位症的符合率为76.2%,SWI则高达97.6%。但作者指出,肠气所致的磁敏感伪影会影响病灶检出,尤其在3.0T上更为明显。

Mie等^[25]选用了可以耐受屏气60s的7例志愿者用于肾脏SWI成像。肾静脉血管内去氧血红蛋白含量较脑内静脉低,

因此静脉与周围组织的磁敏感差异不如脑内明显,图像后处理尚需优化。他们等采用了一种新的相位掩盖技术,使对比噪声比增加1.33,能够显示部分小静脉、区分肾脏皮髓质结构,而标准相位掩盖法则难以显示。但该研究中SWI的表现未经组织病理学证实。

总体而言,SWI在腹部的应用仍有许多技术问题尚需解决。最大的挑战是呼吸和胃肠道蠕动伪影的影响,因此扫描时间必须尽可能缩短,而更高场强MR设备的引进、平面回波成像序列及多回波技术的应用将会使其成为可能。另外,在磁化率差异特别大的区域(如空气-肠祥界面)存在有明显的磁敏感伪影,通过增加相位掩盖次数或优化相位掩盖方法(如指数、S形、不对称三角形法)可能会一定程度的减低这种影响^[25]。

展望

理论上,只要组织间存在磁化率差异,就可以通过SWI显示出其组织对比。尽管SWI的脑外应用前景令人鼓舞,但真正走向临床(尤其是在腹部)仍存在巨大的挑战。相信随着硬件设施的发展、后处理技术的优化,SWI的扫描时间将进一步缩短、图像质量将进一步改善,从而能够为临床提供更多样、更准确、更丰富的诊断信息。

参考文献:

- [1] Thomas B, Somasundaram S, Thamburaj, et al. Clinical applications of susceptibility-weighted imaging of the brain—a pictorial review[J]. *Neuroradiol*, 2008, 50(2): 105-116.
- [2] Haacke EM, Mittal S, Wu Z, et al. Susceptibility weighted imaging: technical aspects and clinical applications (part 1) [J]. *AJNR*, 2009, 30(1): 19-30.
- [3] Haacke EM, Mittal S, Wu Z, et al. Susceptibility weighted imaging: technical aspects and clinical applications (part 2) [J]. *AJNR*, 2009, 30(2): 232-252.
- [4] Zhu WZ, Zhong WD, Wang W, et al. Quantitative MR phase-corrected imaging to investigate increased brain iron deposition of patients with Alzheimer disease[J]. *Radiology*, 2009, 253(2): 497-504.
- [5] Rauscher A, Sedlacik J, Barth M, et al. Magnetic susceptibility-weighted MR phase imaging of the human brain[J]. *AJNR*, 2005, 26(4): 736-742.
- [6] Deistung A, Rauscher A, Sedlacik J, et al. Susceptibility weighted imaging at ultra high magnetic field strengths: theoretical considerations and experimental results[J]. *Magn Reson Med*, 2008, 60(5): 1155-1168.
- [7] Haacke EM, Xu YB, Cheng YC, et al. Susceptibility weighted imaging (SWI)[J]. *MRM*, 2004, 52(3): 612-618.
- [8] Goos JD, van der Flier WM, Knol DL, et al. Clinical relevance of improved microbleed detection by susceptibility weighted magnetic resonance imaging[J]. *Stroke*, 2011, 42(7): 1894-1900.
- [9] Haacke EM, Cheng YNC, House W, et al. Imaging iron stores in the brain using magnetic resonance imaging[J]. *Magn Reson Imaging*, 2005, 23(1): 1-25.
- [10] Schweser F, Deistung A, Lehr BW, et al. Differentiation between diamagnetic and paramagnetic cerebral lesions based on magnetic susceptibility mapping[J]. *Med Phys*, 2010, 37(10): 5165-5178.
- [11] Reichenbach JR, Jonetz-Mentzel L, Fitzek C, et al. High-resolu-

- tion blood oxygen-level dependent MR venography (HRBV): a new technique[J]. *Neuroradiol*, 2001, 43(5): 364-369.
- [12] Chavhan GB, Babyn PS, Thomas B, et al. Principles, techniques and applications of T_2^* -based MR imaging and its special applications[J]. *RadioGraphics*, 2009, 29(5): 1433-1449.
- [13] Casciaro S, Bianco R, Franchini R, et al. A new automatic phase mask filter for high-resolution brain venography at 3T: theoretical background and experimental validation[J]. *Magn Reson Imaging*, 2010, 28(4): 511-519.
- [14] Schilling AM, Blankenburg FB, Bernarding J, et al. Intracerebral PH affects the T_2 relaxation time of brain tissue[J]. *Neuroradiol*, 2002, 44(12): 968-972.
- [15] Ishizaka K, Kudo K, Fujima N, et al. Detection of normal spinal veins by using susceptibility-weighted imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2010, 31(1): 32-38.
- [16] Fujima N, Kudo K, Terae S, et al. Spinal arteriovenous malformation: evaluation of change in venous oxygenation with susceptibility-weighted MR imaging after treatment[J]. *Radiology*, 2010, 254(3): 891-899.
- [17] Wang M, Dai Y, Han Y, et al. Seseptibility weighted imaging in detecting hemorrhage in acute cervical spinal cord injury[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2011, 29(3): 365-373.
- [18] Yang Q, Liu J, Samuel RS, et al. Imaging the vessel wall in major peripheral arteries using susceptibility-weighted imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2009, 30(2): 357-365.
- [19] 李树金, 张辉, 刘起旺, 等. 磁敏感加权成像对四肢软组织海绵状血管瘤临床应用初探[J]. *医学影像学杂志*, 2011, 21(2): 248-251.
- [20] 曲海源, 邓意辉, 徐克, 等. 兔 VX2 肿瘤血管生成靶向成像磁共振扫描技术研究[J]. *中国医科大学学报*, 2009, 38(3): 163-166.
- [21] Fatemi-Ardekani A, Boylan C, Noseworthy MD. Magnetic resonance imaging sialolithography: direct visualization of calculi in the submandibular gland using susceptibility-weighted imaging (SWI) at 3T[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2011, 35(1): 46-49.
- [22] Lee KH, Liapi E, Vossen JA, et al. Distribution of iron oxide-containing Embosphere particles after transcatheter arterial embolization in an animal model of liver cancer: evaluation with MR imaging and implication for therapy[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2008, 19(10): 1490-1496.
- [23] Machann J, Haap M, Liebig G, et al. Susceptibility-weighted MRI for assessment of ferritin content in liver and spleen in people at high risk for type 2 diabetes and detection of changes after phlebotomy[J]. *Proc Int Soc Mag Reson Med*, 2007, 15(1): 219-225.
- [24] Takeuchi M, Matsuzaki K, Nishitani H. Susceptibility weighted MRI of endometrioma: preliminary results[J]. *AJR*, 2008, 191(5): 1366-1370.
- [25] Mie MB, Nissen JC, Zollner FG, et al. Susceptibility weighted MR imaging (SWI) of the kidney at 3T-initial results[J]. *Z Med Phys*, 2010, 20(2): 143-150.

(收稿日期: 2011-08-03 修回日期: 2012-03-31)

第一届分子影像学齐鲁国际论坛暨第三届山东省分子影像学学术大会征文通知(第一轮通知)

由滨州医学院和磁共振成像杂志社合作主办的第一届分子影像学齐鲁国际论坛暨第三届山东省分子影像学学术大会,定于2012年9月21-24日在烟台召开,届时将有众多的国际、国内著名专家到会作专题报告,并进行多种形式的学术交流。现在开始征文,欢迎广大医学影像工作者及相关学科研究人员踊跃投稿及参会。

一、征文内容

以分子影像学相关研究内容为主:各种分子影像学成像新技术;分子探针制备;分子影像学实验和临床初步应用;药物靶向治疗和随访;分子影像学管理和质量控制及其他影像医学、分子生物学等方面的论著、讲座、述评、综述、短篇报道、病例讨论。

二、征文要求

1. 应征论文未在其他正式刊物上发表,具有科学性、先进性、实用性、重点突出;文字表述准确。
2. 格式:提供中英文摘要(目的、方法、结果、结论)和全文;鼓励英文投稿;
3. 截稿日期:2012年8月1日。
4. 部分优秀论文将由《磁共振成像》杂志(卫生部主管的国家级期刊,已被美国《化学文摘》等数据库收录)发表。

三、投稿方式

1. 本次会议采用 E-mail 投稿
E-mail: molecularimage@bzmc.edu.cn
会议网址: <http://www.bzmc.edu.cn>

2. 注意事项

投稿请注明姓名、作者单位、详细通信地址、邮政编码、手机号码及 E-mail,方便彼此之间联系。(需要大会发言请注明)四、大会正式通知请见第二轮通知

(滨州医学院 磁共振成像杂志社)