

乳腺组织 MR 扩散加权成像中 GRAPPA 技术的应用

唐建华, 严福华, 周梅玲, 叶芳, 徐鹏举, 沈继章, 陈财忠, 李轲晨, 张澍杰, 陈锦, 曾蒙苏

【摘要】 目的:评价在乳腺磁共振扩散加权成像(DWI)中应用全自动校准部分并行采集(GRAPPA)技术对改善图像质量及乳腺组织表现扩散系数(ADC)值测量的影响。方法:分别对28例女性乳腺MR受检者进行平面回波(EPI)序列的常规DWI和GRAPPA-DWI检查。常规DWI检查时扩散梯度因子(b)值取800 s/mm²,GRAPPA-DWI检查时b值分别取800、1000 s/mm²。比较不同参数条件下的图像质量分级、信噪比(SNR)及乳腺组织ADC值,并进行统计学分析。结果:在相同b值(b=800 s/mm²)条件下,GRAPPA-DWI组图像质量明显优于常规DWI组,乳腺组织的SNR高于常规DWI组,两组差异均有显著性意义(P<0.01),乳腺的平均ADC值略低于常规DWI组,但两组差异无显著性意义(P>0.05)。在GRAPPA-DWI组中,b值为800 s/mm²组图像质量略优于b值为1000 s/mm²组,但二者差异无显著性意义(P>0.05),而b值为800 s/mm²组乳腺组织的SNR高于b值为1000 s/mm²组,两组差异有显著性意义(P<0.01),b值为800 s/mm²时乳腺组织的ADC值略高于b值为1000 s/mm²时,差异有显著性意义(P<0.05)。结论:GRAPPA技术的应用有助于改善乳腺DWI的图像质量,提高信噪比,并且不会影响乳腺组织ADC值的测量。

【关键词】 磁共振成像,扩散;并行采集技术;乳腺

【中图分类号】 R445.2; R655.8 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)02-0164-05

Diffusion-weighted MRI of the Breast with GRAPPA: Initial Experience TANG Jian-hua, YAN Fu-hua, ZHOU Mei-ling, et al. Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate prospectively the improvement of the image quality with the use of generalized auto-calibrating partially parallel acquisitions (GRAPPA) in diffusion-weighted imaging (DWI) of the breast and its effect on apparent diffusion coefficient (ADC) measurements. **Methods:** Twenty-eight women underwent echo-planar (EPI)-DWI of the breast with conventional phase encoding and with GRAPPA, respectively. The b value of 800s/mm² was used in conventional DWI group, while two b values of 800 and 1000s/mm² were used in GRAPPA-DWI groups. Image quality, signal-to-noise ratio (SNR) and ADC values of breast were compared with different series at the same b value of 800s/mm² and with different b values of 800 and 1000s/mm² in GRAPPA DWI groups. Matched-pairs Wilcoxon signed rank test was used for statistical analysis. **Results:** Higher image quality score and SNR value of the breast were obtained in GRAPPA-DWI group than those in conventional DWI group with the same b value of 800s/mm² and the differences were statistically significant (P<0.01). The mean ADC of breast in GRAPPA-DWI group was lower than that in conventional DWI group with the same b value of 800s/mm², but there was no significant difference between the two sequences for breast ADC measurement (P>0.05). In GRAPPA-DWI groups, the image quality score at b value of 800s/mm² was slightly higher than that at b value of 1000s/mm² and there was no significant difference between them (P>0.05). The SNR value and the mean ADC of breast at b value of 800s/mm² were higher than those at b value of 1000s/mm² in GRAPPA-DWI groups and the differences were statistically significant (P<0.05). **Conclusion:** GRAPPA is useful in improving image quality and SNR of EPI-DWI of breast without compromising ADC measurements.

【Key words】 Magnetic resonance imaging, diffusion weighted; Parallel acquisition technique; Mammary glands, human

磁共振扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)对运动非常敏感,故最初主要用于容易固定的头部研究,可早期发现中枢神经系统疾病^[1]。回波平面成像(echo-planar imaging, EPI)技术的采用使MR信号采集速度大大加快,扫描时间明显缩短,从而使DWI用于其他部位的检查成为可能。已有的有关乳腺DWI的研究表明其对乳腺良恶性病变的鉴别有

一定价值^[2,3]。但是EPI序列仍然受到相对长的TE时间的限制,容易产生磁敏感伪影和化学位移伪影等,因而图像质量差,信噪比(SNR)低,分辨力不高。近年来出现的并行采集技术可使扫描时间显著减少,有效抑制了伪影的产生,提高了图像质量^[4,5]。全自动校准部分并行采集(generalized autocalibrating partially parallel acquisitions, GRAPPA)技术就是其中之一。本研究探讨GRAPPA技术对乳腺DWI的成像质量和ADC值测量的影响,以优化乳腺DWI的成像技术,为其在临床的进一步应用打下基础。

作者单位:200032 上海,复旦大学附属中山医院放射科

作者简介:唐建华(1969-),女,上海人,硕士,主治医师,主要从事肿瘤的影像学诊断工作。

通讯作者:严福华, E-mail: yanfuhua@yahoo.com

材料与方法

1. 研究对象

2005年3~9月共28例行乳腺MR检查的女性受检者作为本次研究对象,年龄34~75岁,平均48岁。

2. MR 成像方法

MR检查采用Siemens 1.5T超导扫描仪(Magnetom avanto, Siemens Medical Germany),扫描时常规用双侧乳腺阵列线圈,取俯卧位。所有受检者均在b值为 800 s/mm^2 条件下行常规DWI及GRAPPA-DWI检查,再在b值为 1000 s/mm^2 条件下行GRAPPA-DWI检查,不同序列扫描参数:DWI₈₀₀ TR 2900 ms, TE 81 ms; GRAPPA-DWI₈₀₀ TR 2200 ms, TE 69 ms, GRAPPA-DWI₁₀₀₀ TR 2200 ms, TE 71 ms。矩阵 128×128 ,视野 $280\text{ mm}\times 280\text{ mm}$,层厚4 mm,间距1.2 mm。

所有检查采用EPI序列行横轴面扫描,加用脂肪抑制技术以减少化学位移伪影,应用GRAPPA技术时,加速因子为2,各序列的层面、层厚、层间距、视野(FOV)均复制以保持一致。DWI成像后由软件系统自动生成相应的ADC图。

3. MRI 图像分析

所有图像分析均在工作站上进行(Siemens syngo 软件),由两位从事乳腺影像学的放射科医生共同进行

观察和分析。

图像质量评价:根据有无磁敏感图像扭曲、重建伪影、解剖细节的勾画(有无模糊影),将图像分为I~V级:I级为极差,图像不能用于诊断;II级为差,有较多的伪影影响了诊断但不是所有解剖结构;III级为中,较少的磁敏感伪影或模糊影或重建伪影,但图像对所有的解剖区域诊断是可信的;IV级为良,少量的磁敏感伪影或重建伪影,无模糊影;V级为优,图像没有伪影。

测量计算各序列中乳腺腺体组织的信噪比(SNR):测量感兴趣区(ROI)信号值时,选择乳头层面,不少于3个扫描层面,注意尽量避开伪影,选取富含腺体组织部分,每个层面上在两侧乳腺随机取3个ROI,计算平均值;噪声信号测量时ROI置于正中前方无伪影处(各序列复制以保持位置一致)。用公式 $SNR = SI_{\text{乳腺组织}} / SD_{\text{noise}}$ 计算,SI乳腺组织代表乳腺ROI的信号强度,SDnoise代表背景噪声的信号强度的标准差。

测量各序列上乳腺组织的ADC值,利用工作站软件计算出ADC图,并直接在线测量ADC值(在测量ADC值时各序列下相应的ROI从DWI图复制以保持一致)。

4. 统计分析

对于相同b值(800 s/mm^2)条件下,DWI和GRAPPA-DWI两个序列之间的图像质量、SNR、乳腺腺体组织ADC值的比较以及GRAPPA-DWI序列在

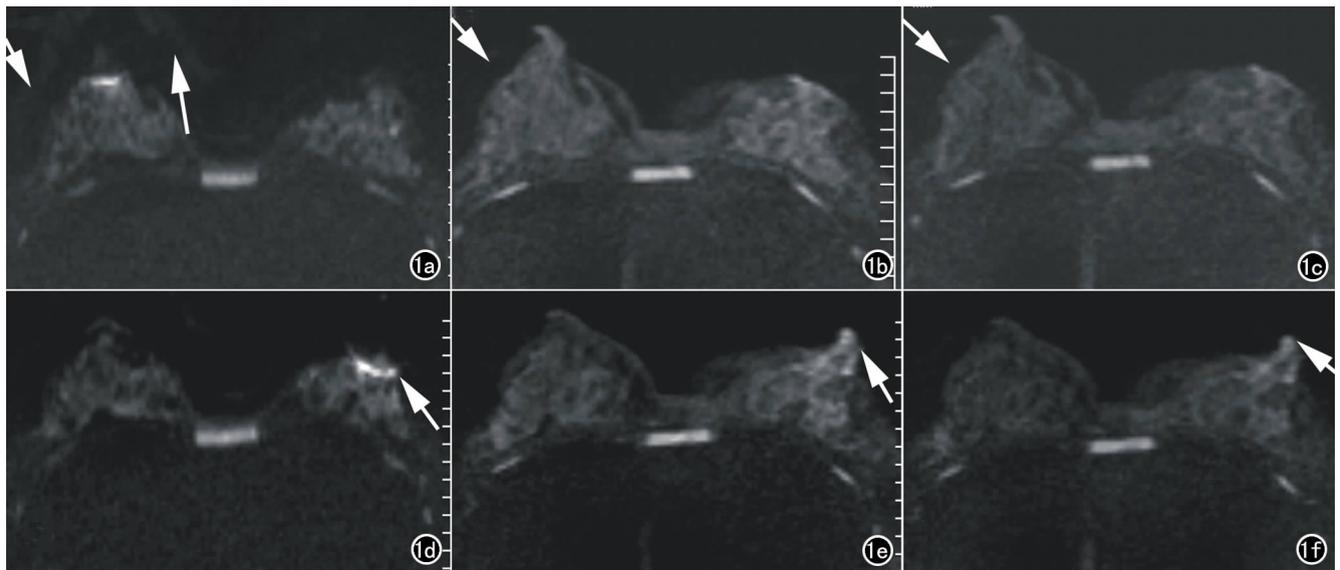


图1 a) 右乳乳头层面常规DWI图(b值为 800 s/mm^2),乳腺轮廓模糊(箭),图像质量差,磁敏感伪影及模糊伪影较多(长箭),评级为II级; b) 相同层面GRAPPA-DWI图(b值为 800 s/mm^2),乳腺轮廓清(箭),图像质量好,评级为IV级; c) b值为 1000 s/mm^2 的GRAPPA-DWI图,图像质量接近b; d) 左乳头变形(箭),乳腺组织信噪比为40.3; e) 与d同一层面的GRAPPA-DWI图(b值为 800 s/mm^2),左乳头轮廓清(箭),图像质量改善,SNR为64.7; f) b值为 1000 s/mm^2 时的GRAPPA-DWI图,图像质量接近e,SNR为56.4。3个序列中以b值为 800 s/mm^2 时的GRAPPA-DWI图乳腺组织信噪比最高。可见常规DWI图磁敏感伪影及模糊伪影较多,图像质量较差,图像评级为II级;GRAPPA-DWI图伪影少,图像质量好,图像评级均为4级;GRAPPA-DWI序列的图像较常规DWI序列更清晰,对解剖结构显示较清楚。

2种不同b值(800、1000 s/mm²)条件下的图像质量、SNR、乳腺腺体组织ADC值的比较均采用非参数配对Wilcoxon's符号秩和检验方法检验。 $P < 0.05$ 差异有显著性意义, $P < 0.01$ 时差异有极显著性意义。统计软件为State 7.0软件。

结果

1. 图像质量的比较(图1、2)

28例乳腺受检者,各序列主观图像评级结果见表1。

表1 各序列图像质量评级结果 (s/mm²)

分级	DWI 800	GRAPPA-DWI	
		800	1000
1	11	0	0
2	11	1	1
3	6	14	15
4	0	12	12
5	0	1	0

b为800 s/mm²时,常规DWI组的图像质量平均评级为1.82,GRAPPA-DWI组的平均评级为3.46,GRAPPA-DWI组图像质量明显优于常规DWI组,二者差异有显著性意义(Z值为-4.724, $P = 0.000 < 0.01$);GRAPPA-DWI组中,b值为800 s/mm²组图像质量(平均评级为3.46)略优于b值为1000 s/mm²组(平均评级为3.39),二者差异无显著性意义(Z值为1.000, $P = 0.3173 > 0.05$)。

2. 乳腺组织SNR的比较(图1)

在相同b值($b = 800$ s/mm²)条件下,GRAPPA-DWI组乳腺组织SNR明显高于常规DWI组,两者比较差异有显著的性意义(Z值为-4.623, $P < 0.01$);GRAPPA-DWI组中,b值为800 s/mm²组乳腺组织SNR高于b值为1000 s/mm²组,两者差异亦有显著性意义(Z值为4.053, $P < 0.01$),如表2和图3所示。

表2 不同序列条件下乳腺组织SNR的比较

b值 (s/mm ²)	SNR		Z值	P
	DWI	GRAPPA-DWI		
800	45.07±4.57	71.05±5.22	-4.623	0.000*
1000		60.81±5.03		
Z值			4.053	
P				0.001*

注:*有统计学意义, $P < 0.05$;粗体为 $P < 0.01$ 。

3. 乳腺组织ADC值的比较

在b值相同($b = 800$ s/mm²)时,GRAPPA-DWI组乳腺的平均ADC值略低于常规DWI组,但两组差异无显著性意义(Z值1.389, $P > 0.05$);GRAPPA-DWI组中,b值为1000 s/mm²组乳腺组织的ADC值低于b值为800 s/mm²组,两者差异有显著性意义(Z值为2.368, $P = 0.0179$),如表3和图4所示。

表3 不同序列条件下乳腺ADC值的比较

b值 (s/mm ²)	ADC		Z值	P
	DWI	GRAPPA-DWI		
800	1.988±0.087	1.943±0.094	1.389	0.1648
1000		1.887±0.089		
Z值			2.368	
P				0.0179*

注:*有统计学意义($P < 0.05$)。

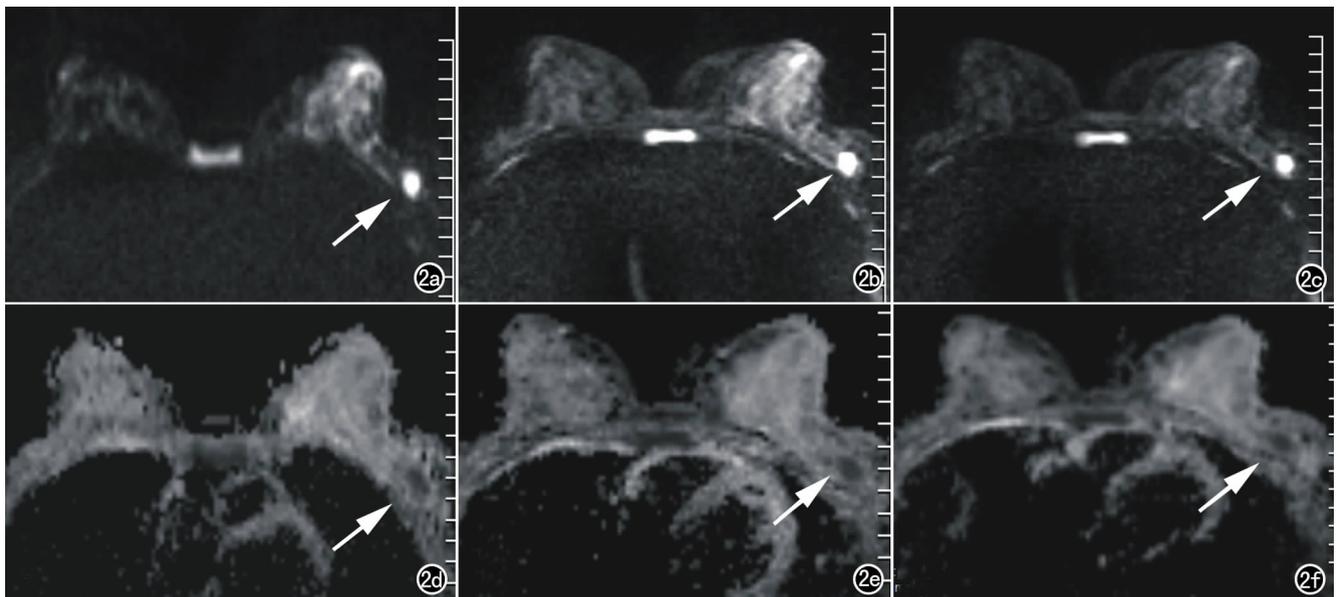


图2 左乳导管浸润癌病例。a) 常规DWI图(b值为800s/mm²),图像模糊伪影明显,病灶为高信号,周边模糊(箭); b) 相同层面GRAPPA-DWI图(b值为800s/mm²),图像质量改善,病灶轮廓清晰(箭); c) b值1000s/mm²时的GRAPPA-DWI图,病灶轮廓尚清(箭); d) 与a对应的ADC图,病灶轮廓不清(箭); e) 与b对应的ADC图,病灶呈显著低值,轮廓锐利(箭); f) 与c对应的ADC图,病灶轮廓清(箭)。

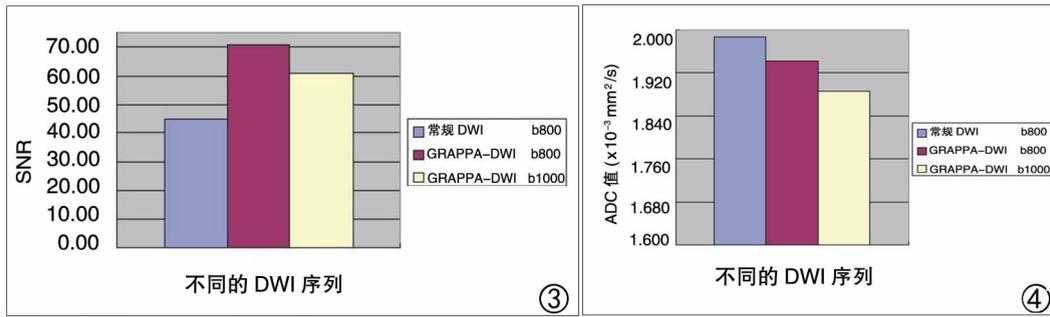


图3 不同序列乳腺组织 SNR 的直方图。 图4 不同序列乳腺组织平均 ADC 值的直方图。

讨论

改善图像质量和提高扫描速度始终是 MRI 追求的目标。近年来出现的磁共振并行采集技术 (integrated parallel acquisition techniques, iPAT) 利用多通道接收线圈同时采集信号, 明显缩短了采集时间, 加快了成像速度, 从而提高了成像的时间分辨率; 而在相同的采集时间里, 应用 iPAT 可以提高成像的空间分辨率^[6,7]。敏感度编码 (sensitivity-encoding, SENSE) 和空间谐波并行采集 (simultaneous acquisition of spatial harmonics, SMASH) 技术是其中主要的代表, 二者重建算法不同: SENSE 是基于图像域进行重建而 SMASH 是基于 K 空间域进行重建^[7-9]。GRAPPA^[8-10] 是 SMASH 技术的扩展, 它采用全通道频域拟合的方案, 成功抑制了图像的伪影, 图像质量明显提高。对于自旋密度均匀性较差的区域, GRAPPA 比 SENSE 具有一定的优势。此外, GRAPPA 技术具有不受小 FOV 造成的混迭伪影影响的优点。

EPI 技术尤其是基于自旋回波类型的单次激发 EPI (single-shot echo-planar imaging, ssEPI), 是目前临床上最常用的扩散成像方法。然而, ssEPI-DWI 由于明显的几何变形和空间分辨力低而导致图像质量受损。并行采集技术不仅能成倍提高扫描速度, 还可以在扫描时间不变的情况下, 提高成像的空间分辨率, 减少回波成像相关的磁敏感伪影和模糊伪影, 从而获得较高质量的扩散图像。

1. GRAPPA 技术对 DWI 图像的影响

本组研究结果表明, 在其他参数保持不变的情况下, GRAPPA-DWI 组的图像质量和 SNR 都明显优于常规 DWI 组, 两组差异有显著性意义。尽管理论上并行采集技术本身会降低 SNR, 其 SNR 降低与并行成像时采用的加速因子的平方根的倒数相关^[6,8], 当加速因子为 2 时, 组织的 SNR 损失约 30%^[11], 但是本研究中采用 GRAPPA 技术并未影响乳腺组织 DWI 成像的质量, 这与 GRAPPA 技术采用的多通道线圈及特殊 K 空间域重建方法相关。GRAPPA 采用全通道

频域拟合的方案, 避免了以往基于 K 空间重建算法的相位错误、SNR 的下降以及由于拟合问题的欠优化造成的图像质量下降等问题, 同时不受小 FOV 造成的混迭伪影的影响^[8]。本组研究中 GRAPPA-DWI 序列采用的 TR

和 TE 时间较常规 DWI 序列缩短了 700 ms 及 10~12 ms, 在相同的采集时间内, 可以有效提高成像的空间分辨率, 改善图像质量; 同时, 使用较短的 TE 时间, 可以更接近乳腺组织本身的 T₂ 弛豫时间, 有利于乳腺 DWI 的成像。此外, EPI 借助读出线圈的梯度磁场的快速变换产生梯度回波, 容易产生磁化敏感伪影, GRAPPA 技术通过减少相位编码步骤数和缩短填充 K 空间的时间, 从而减轻了与 EPI 相关的模糊伪影以及磁化敏感伪影; 同时, 用短的 TR、TE 时间, 可进一步减少磁化敏感伪影^[11,12]。由此, 联合 GRAPPA 技术的乳腺 DWI 可以明显改善图像质量和提高 SNR。

2. b 值对 DWI 图像的影响

b 值是 DWI 中一个非常重要的技术参数。顾雅佳^[13] 认为乳腺检查中合适的 b 值选择应主要从以下几个方面考虑: 能对病灶作出诊断和鉴别诊断; 图像有好的信噪比; 比较真实地反映组织的实际扩散系数。由于在生物组织中, 微观运动受水分子扩散和毛细血管微循环灌注的双重影响^[3], ADC 值常高于预测值, 尤其在小 b 值中明显, 因为小 b 值序列受灌注效应的影响较大, 因此不宜选择过小的 b 值; 但随着 b 值的增加, 组织的信噪比、病灶的信噪比及对比噪声比呈逐渐降低改变, 因为 b 值的增加主要是通过延长梯度脉冲的持续时间和间隔时间来完成的, 这样使回波时间增加, 信号衰减明显, 图像质量下降, 所以, 虽然大 b 值更能真实反映组织的扩散情况, 但过大的 b 值影响病灶的对比噪声比和图像质量, 组织 ADC 的测量就会受到影响, 因此亦不宜选择过大的 b 值。为了兼顾 DWI 的成像质量和扩散强度, 需要选择合适的 b 值, 既可以较真实地反映组织的扩散特性, 又能获得满意的图像质量和 SNR。目前文献报道中乳腺 DWI 使用的 b 值并不统一^[2,3,5,13], 多见选择 500~1000 s/mm² 之间, 以 1000 s/mm² 最为常见。鉴于文献提供的经验, 本组研究选取了 800 s/mm² 及 1000 s/mm² 两个 b 值, 在 GRAPPA-DWI 组中做了对比研究。结果表明 b 值为 800 s/mm² 组的组织 SNR 略高于 b 值为 1000 s/mm²

组,两组差异有显著性意义,但两组的主观图像质量评价均较高,差异无显著性意义,均能满足检查要求。

3. GRAPPA 和 b 值对 ADC 值测量的影响

本组研究中在 b 值相同(800 s/mm²)的条件下, GRAPPA-DWI 组中乳腺组织的 ADC 值略低于常规 DWI 组,但两组差异无显著性意义($P>0.05$);而在同样应用 GRAPPA 技术的条件下, b 值取 800 s/mm² 组乳腺组织的 ADC 值略高于 b 值为 1000 s/mm² 组,两组之间差异有显著性意义($P<0.05$)。这说明在相同 b 值条件下,利用 GRAPPA 技术的 DWI 对乳腺组织 ADC 值的测量没有影响。本研究结果还表明在其他条件均不变的情况下, b 值升高,乳腺组织的 ADC 值下降,与文献报道相符^[14],主要是由于随着 b 值增加,组织灌注效应对 ADC 值所起的作用逐渐减少;此外, T₂ 穿透效应也是影响 ADC 值的原因之一,组织的 T₂ 值可以影响 DWI,随着 b 值升高, T₂ 穿透效应的影响逐渐减少。因此,在保证图像质量的前提下,为了获得最准确反映组织扩散特性的 ADC 值,应选用较大的 b 值。本组研究中, b 值取 800、1000 s/mm² 时, GRAPPA-DWI 的主观图像质量评价均较佳,但 b 值取 800 s/mm² 时 SNR 略高,因此,考虑到图像质量和真实反映组织扩散情况两者之间的关系,两种 b 值均适用于乳腺组织 DWI 检查。

综上所述,采用并行采集技术(GRAPPA)的乳腺 EPI-DWI 序列成像时间短,可以明显改善图像质量和提高 SNR,对乳腺组织 ADC 值的测量没有显著影响。 b 值采用 800、1000 s/mm² 时,能获得较佳图像,并能较准确地反映乳腺组织的扩散情况,是对乳腺 DWI 成像的最合适序列。

参考文献:

[1] Mukherjee P, Bahn M, McKinstry RC, et al. Differences between Gray Matter and White Matter Water Diffusion in Stroke: Diffusion-tensor MR Imaging in 12 Patients[J]. Radiology, 2000, 215

- (1):211-220.
- [2] Guo Y, Cai YQ, Cai ZL, et al. Differentiation of Clinically Benign and Malignant Breast Lesions Using Diffusion-weighted Imaging [J]. J Magn Reson Imaging, 2002, 16(2): 172-178.
- [3] Sinha S, Lucas-Quesada FA, Sinha U, et al. In Vivo Diffusion-weighted MRI of the Breast: Potential for Lesion Characterization[J]. J Magn Reson Imaging, 2002, 15(6): 693-704.
- [4] Blaimer M, Breuer F, Mueller M, et al. SMASH, SENSE, PILS, GRAPPA: how to Choose the Optimal Method[J]. Top Magn Reson Imaging, 2004, 15(4): 223-236.
- [5] Friedman PD, Swaminathan SV, Smith R. SENSE Imaging of the Breast[J]. AJR, 2005, 184(2): 448-451.
- [6] Pruessmann KP, Weiger M, Scheidegger MB, et al. SENSE: Sensitivity Encoding for Fast MRI[J]. Magn Reson Med, 1999, 42(5): 952-962.
- [7] Kurihara Y, Yokushiji YK, Tani I, et al. Coil Sensitivity Encoding in MR Imaging: Advantages and Disadvantages in Clinical Practice[J]. Am J Roentgenol, 2002, 178(5): 1087-1091.
- [8] 陈武凡. 平行磁共振成像的回顾、现状与发展前景[J]. 中国生物医学工程学报, 2005, 24(6): 649-652.
- [9] 于日俊, 张国华, 侯金文. 磁共振并行采集技术的临床应用[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2007, 5(5): 366-368.
- [10] 杨姗, 曾蒙苏, 张志勇, 等. 单次屏气及自由呼吸 TSENSE 技术对心功能测量及图像质量的评价[J]. 放射学实践, 2007, 22(7): 714-717.
- [11] Bammer R, Schoenberg SO. Current Concepts and Advances in Clinical Parallel Magnetic Resonance Imaging[J]. Top Magn Reson Imaging, 2004, 15(3): 129-158.
- [12] Willinek WA, Giesecke J, von Falkenhausen M, et al. Sensitivity Encoding for Fast MR Imaging of the Brain in Patients with Stroke[J]. Radiology, 2003, 228(3): 669-675.
- [13] 顾雅佳, 邱龙华. 磁共振弥散在乳腺病变诊断中的作用[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2007, 13(5): 356-361.
- [14] Ichikawa T, Haradome H, Hachiya J, et al. Diffusion-weighted MR Imaging with a Single-shot Echoplanar Sequence: Detection and Characterization of Focal Hepatic Lesions[J]. Am J Roentgenol, 1998, 170(2): 397-402.

(收稿日期: 2009-06-26 修回日期: 2009-08-02)