

直肠癌 MUSE-DWI 与常规 DWI 成像对比研究

刘琴, 周智鹏

【摘要】 目的:对比分析基于复合灵敏度编码的高分辨率磁共振扩散成像(MUSE-DWI)与常规扩散加权成像(DWI)在直肠癌的成像质量。**方法:**回顾性纳入分析桂林医学院附属医院 2021 年 11 月—2022 年 6 月经病理确诊为直肠癌的 48 例患者资料,采用 3.0T 磁共振进行常规序列扫描,以及进行 MUSE-DWI 和单次激发自旋回波平面成像(SS-EPI)图像对比研究。由 2 名放射科医师分别对 2 组 DWI 图像进行主观和客观评价。主观评价:采用 5 分法对病变可见性、病灶变形、轮廓清晰度、伪影水平以及图像噪声进行评分。客观评价:对信噪比(SNR)、对比度(CR)、表观扩散系数(ADC)以及病灶最大横纵径测量计算。主观评分一致性采取 Kappa 检验,以及采取配对 t 检验、Wilcoxon 秩和检验比较图像质量客观评分之间的差异。**结果:**MUSE-DWI 在病变可见性、几何变形、轮廓清晰度、磁敏感伪影以及图像整体质量的评分均高于 SS-EPI DWI,差异具有统计学意义($P < 0.001$)。客观评价得出 MUSE-DWI 的 SNR、CNR 均优于常规 DWI($P < 0.001$),2 组 DWI 间的 ADC 值差异无统计学意义($P = 0.55$),并且直肠病变的最大纵径差异有统计学意义($P < 0.05$),最大横径差异无统计学意义($P = 0.61$)。**结论:**MUSE-DWI 明显的改善了直肠癌图像质量,较 SS-EPI DWI 成像提高了图像分辨率,减少了病灶的几何变形,从而实现了直肠 DWI 的高分辨率成像。

【关键词】 直肠肿瘤;磁共振成像;复合灵敏度编码;对比研究

【中图分类号】 R735.37;R445.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)10-1291-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.10.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A comparative study on using MUSE-DWI and conventional DWI imaging of rectal cancer LIU Qin, ZHOU Zhi-peng. Department of Radiology, Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guangxi 541000, China

【Abstract】 Objective: To compare the imaging quality of high-resolution magnetic resonance diffusion imaging based on multiplexed sensitivity encoding (MUSE-DWI) and conventional diffusion weighted imaging (DWI) in rectal cancer. **Methods:** The data of 48 patients diagnosed as rectal cancer by pathological biopsy in Affiliated Hospital of Guilin Medical University from November 2021 to June 2022 were retrospectively analyzed. The routine sequence scanning was performed by 3.0 Tesla magnetic resonance, and MUSE-DWI and single-shot spin echo planar imaging (SS-EPI DWI) were compared. The two groups of DWI images were subjectively and objectively evaluated by two radiologists. Subjective evaluation: lesion visibility, lesion deformation, contour sharpness, artifact level and image noise were scored using a 5-point scale. Objective evaluation: signal-to-noise ratio (SNR), contrast ratio (CR), apparent diffusion coefficient (ADC) maximum transverse and longitudinal diameters of lesions were calculated. Kappa test was applied to verify the consistency of subjective scores, and paired t -test and Wilcoxon rank sum test were used to compare the differences between objective scores for image quality. **Results:** MUSE-DWI had higher scores than that of SS-EPI DWI in lesion visibility, geometric deformation, contour sharpness, sensitivity artifact and overall image quality ($P < 0.001$). Objective evaluation showed that the SNR and CNR of MUSE-DWI were superior to conventional DWI ($P < 0.001$), and the difference in ADC value between the two groups was not statistically significant ($P = 0.55$). Moreover, the maximum longitudinal diameter of rectal lesions was statistically significant ($P < 0.05$), while the maximum transverse diameter was not statistically significant ($P = 0.61$). **Con-**

作者单位: 541000 广西, 桂林医学院附属医院放射科

作者简介: 刘琴(1998—), 女, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事医学影像技术研究。

通讯作者: 周智鹏, E-mail: bigbird_zhou@hotmail.com

clusion: MUSE-DWI may significantly improve the image quality of rectal cancer, enhances the image resolution and reduces the geometric deformation of lesions compared with SS-EPI DWI imaging, so as to realize the high-resolution imaging of rectal DWI.

【Key words】 Rectal neoplasms; Magnetic resonance imaging; Multiplexed sensitivity encoding; Comparative study

结直肠癌作为世界上发病率和死亡率前三的恶性肿瘤之一,严重危害了公众卫生健康安全。据美国癌症协会最新公布的《2021 年度癌症统计报告》,分析得出约 1/3 的结直肠癌病变发生于直肠^[1]并且呈现出逐渐年轻化的趋势^[2]。磁共振作为辅助检查技术之一,具有重要的临床价值,因此美国国立综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)推荐将 MRI 作为直肠癌术前常规检查。弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)作为功能 MRI 的重要组成部分,不仅能够反映组织细胞密度和微结构循环变化^[3],而且在直肠癌的疾病检出、预后评估、临床治疗指导等方面都起到了重要作用^[4]。DWI 除了反映直肠癌的形态学特征外,还可以通过计算得出定量参数图 ADC,不仅能够对肿瘤进行术前分期,并且实现残存肿瘤组织检测、新辅助治疗疗效评估以及术后复发诊断等^[5]。目前, DWI 已经成为直肠癌生物表征检测的常用手段,具有简单无创和敏感性高等临床使用价值。

目前, 单次激发自旋回波平面成像(single-shot spin echo planar imaging, SS-EPI)已成为直肠 DWI 的常用扫描序列^[6], 然而受到几何失真和磁敏感伪影的干扰, 常规 DWI 的空间分辨率、成像质量以及诊断价值都受到限制。为了减少图像变形失真, Li 等^[7]通过采用并行采集技术来减少数据采集, 实现对 K 空间欠采样去除混叠伪影提高成像速度, 但是相应的降低了图像信噪比, 并且依旧存在相位错配^[8]干扰, 因此为了解决上述问题, Chen 等^[9]提出了一种新的 DWI 采集后处理技术, 通过结合传统 DWI 成像和复合灵敏度编码(multiple sensitivity encoding, MUSE)来校正回波平面成像的运动相位变化, 能够最大限度的降低图像变形、减少磁敏感伪影, 提高成像质量。不同于传统的弥散成像, 基于复合灵敏度编码的高分辨率磁共振扩散成像(the high resolution magnetic resonance diffusion imaging with multiplexed sensitivity encoding, MUSE-DWI)通过相位方向多次激发平面回波成像采集, 从而能够直接矫正线性与非线性的相位变化^[10]。目前, 已有报道 MUSE-DWI 在乳腺、肝脏、头颈神经^[11]等多个器官的成像优越性。因此, 本文针对 SS-EPI DWI 和 MUSE-DWI 进行图像对比分析, 探讨 MUSE-DWI 在盆腔直肠内的应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析桂林医学院附属医院 2021 年 11 月—2022 年 6 月经病理确诊为直肠癌患者资料, 其中术前活检 20 例, 术后病理 28 例。纳入标准: ①直肠 MRI 检查观察到占位性病变; ②具有完整临床及影像资料; ③经过病理活检明确直肠病变性质。排除标准①检查前接受手术、放化疗等相关治疗者; ②存在检查禁忌证者; ③弥散加权图像上难以显示病灶或存在严重运动伪影影响图像分析者。最终纳入 48 例患者资料, 包括男 34 例, 女 14 例, 年龄 33~88 岁(平均年龄 71 岁)本研究获桂林医学院附属医院伦理委员会批准。

2. 仪器和方法

所有患者均采用通用电气(General Electric, GE) 3.0T MR 扫描, 使用腹部通用相控阵线圈联合脊柱线圈; 检查前嘱咐患者检查前排空肠道内容物, 提前 30 min 注射盐酸消旋山莨菪碱, 扫描采用头先进仰卧位。所有患者均采集常规直肠冠矢轴 T_1 WI、 T_2 WI, 垂直病灶肠管长轴行局部常规 DWI 与 MUSE-DWI 成像, 并且为减少对实验结果产生干扰。本研究保持 2 组 DWI 扫描层面与扫描参数一致, 其中 SS-EPI DWI 与 MUSE-DWI 的扫描参数①常规 DWI b 值: 0、1000 s/mm²^[11], TR 5800 ms, TE 76.1~322 ms, 矩阵 2.3×1.4 , 视野 300 mm $\times$ 300 mm, 层厚 4 mm; ② MUSE-DWI b 值 0、1000 s/mm², TR 2944 ms, TE 76.5~154 ms, 矩阵 2.3×1.4 , 视野 300 mm $\times$ 300 mm, 层厚 4 mm, 平扫后经静脉以 2 mL/s 流率注射钆喷酸葡胺进行增强扫描。

3. 图像处理与分析

影像资料均以医学数字图像与通信标准(digital imaging and communications in medicine, DICOM)格式导入 GE 后处理工作站(AW4.7), 由 2 名具有 1 年以上工作经验的放射科医师分别进行独立处理分析, 其中包括主观评价和客观评价。

主观评价: 由 2 名放射科医师分别对两组 DWI 图像(SS-EPI DWI 组和 MUSE-DWI 组)独立分析, 使用 5 分法分别对 2 组 b 值为 1000 s/mm² 的直肠 DWI 图像的病变可见性、病灶变形、轮廓清晰度、伪影水平以及图像噪声进行主观评价(表 1)。

表 1 主观评价评分细则

得分	病变可见度	病灶变形程度	轮廓清晰度	磁敏感伪影	图像质量
1	无法观察	直肠严重变形,无法诊断	轮廓无法辨认	伪影严重,无法诊断	图像无法诊断
2	显示模糊	直肠明显变形	轮廓辨认困难,边缘模糊	中度伪影,影响诊断	图像质量较差
3	部分可见	直肠变形	轮廓显示较差,边缘尚清	中度伪影,不影响诊断	图像质量一般
4	清晰可见	直肠稍变形	轮廓显示一般,边缘清楚	轻度伪影,不影响诊断	图像质量较好
5	非常清晰	无肉眼可见变形	轮廓显示良好,边缘锐利	无伪影,图像清晰	图像质量优良

客观评价:为了控制实验变量,所有客观主观评价数据由一位放射科医师独立对两组 DWI 的图像进行测量分析,在图像上选取病灶最大层面沿肿块边缘手动绘制感兴趣区(region of interest, ROI),最大限度地包括病变的实体部分,避开伪影区域,测量得出直肠病灶平均信号值(SI_{lesion}),并且在同一层面选取臀大肌绘制圆形 ROI 得到背景臀大肌信号值($SI_{\text{background}}$)和标准差($SD_{\text{background}}$),所有数据均重复测量 3 次后得出平均值。最后通过公式计算出图像的信噪比(the signal-to-noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR), $SNR = SI_{\text{病变}} / SD_{\text{背景}}$, $CNR = SI_{\text{病变}} - SI_{\text{背景}} / SD_{\text{背景}}$ 。

病灶直径测量:本研究选取 T_2 WI 层面对比显示病灶,在 GE 后处理工作站上同时测量对应层面 SS-EPI DWI 和 MUSE-DWI 的病灶直径,其中垂直人体矢状面测量的病灶最大直径定义为最大横径,平行人体矢状面测量的病灶最大直径定义为最大纵径。ADC 值测量:选取病灶显示最好层面绘制圆形 ROI,同时复制 ROI 至 SS-EPI DWI 和 MUSE-DWI 的同一

区域,重复测量后选取平均值。

4. 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析,以 Kappa- κ 检验两位观察者图像主观评分间的一致性(Kappa/ICC ≤ 0.4 为一致性差, $0.4 < \text{Kappa/ICC} \leq 0.6$ 为一致性一般, $0.6 < \text{Kappa/ICC} \leq 0.8$ 为一致性较好, Kappa/ICC > 0.8 为一致性极好),采用 Wilcoxon 秩和检验比较图像质量客观评分之间的差异, $P < 0.05$ 被认为有显著性差异。客观评价数据采用 Shapiro-Wilk 检验进行正态性检验,其中 SNR、CNR 值符合正态分布,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,并采用配对 t 检验进行数据分析;病灶最大横径、最大纵径以及病灶 ADC 值不符合正态分布,使用 M(Q1, Q3)表示,并使用 Wilcoxon 秩和检验进行对比分析, $P < 0.05$ 被认为有显著性差异。

结 果

1. 主观评价(表 2)

两位放射科医师对 48 位直肠癌患者图像进行主

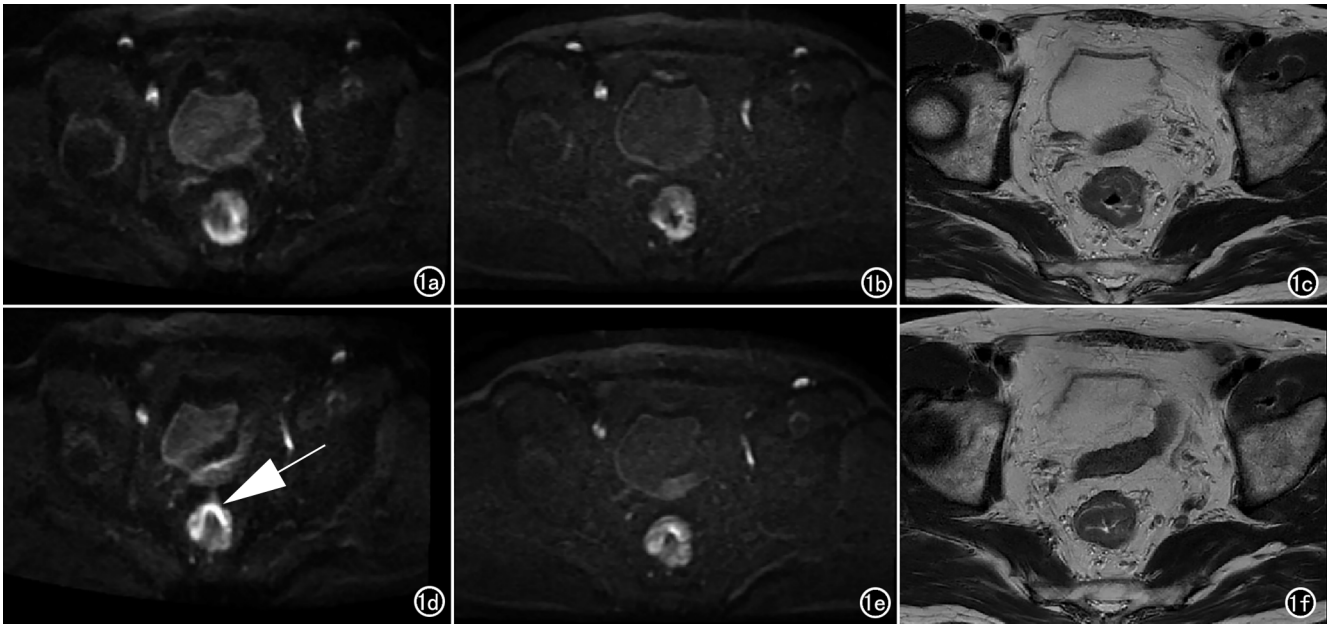


图 1 患者,男,49 岁,经手术确诊为直肠癌。图示分别是 b 值为 1000 s/mm² 的直肠横断面单次激发自旋回波扩散加权(SS-EPI DWI)图像、基于复合灵敏度编码的高分辨率磁共振扩散(MUSE-DWI)图像以及 T_2 WI 图像。a) 图中病灶显示模糊,边缘辨识困难; b) 病灶形态良好,几何变形轻微,与 T_2 WI 图像重合度良好; c) 对应层面的 T_2 WI 图像; d) 图中直肠病灶受到肠道残留气体影响,病灶变形严重并见条状磁敏感伪影叠加(箭); e) 病灶边缘磁敏感伪影明显减少,呈现出更好的图像整体质量; f) 对应层面的 T_2 WI 图像。

观评价的一致性较好(KAPPA:0.64~0.87, $P<0.05$)。MUSE-DWI 在病变可见性、病灶变形、轮廓清晰度、伪影水平以及图像噪声 5 个方面表现均优于 SS-EPI DWI(图 1),且差异具有统计学意义($P<0.001$)。

表 2 MUSE-DWI 与 SS-EPI DWI 的主观评价

参数	MUSE-DWI	SS-EPI DWI	Z	P
病变可见性	4.3±0.81	3.50±0.97	-6.00 ^b	<0.001
几何变形	4.23±0.78	3.33±0.97	-6.27 ^b	<0.001
轮廓清晰度	4.31±0.78	3.29±0.82	-6.34 ^b	<0.001
磁敏感伪影	4.30±0.65	3.80±0.97	-4.54 ^b	<0.001
图像质量	4.40±0.74	3.56±0.87	-6.02 ^b	<0.001

2. 客观评价

对比分析 SS-EPI DWI 和 MUSE-DWI 两组图像的 SNR、CNR,结果显示 MUSE-DWI 的 SNR、CNR 均优于常规 DWI(图 2), $P<0.001$ 差异有统计学意义,并且直肠病变的最大纵径差异有统计学意义($P<0.001$),最大横径差异无统计学意义($P=0.61$)。此外对比 MUSE-DWI 和 SS-EPI 图像所测量的 ADC 值,SS-EPI 所测得的直肠癌平均 ADC 为 0.94(0.81,1.01) s/mm²,MUSE-DWI 所测得的平均 ADC 为 0.92(0.83,1.01) s/mm²,统计分析 MUSE-DWI 与 SS EPI-DWI 所测量的 ADC 值无统计学差异($P=0.55$)。总体而言,MUSE-DWI 图像在直肠癌弥散成像的图像质量评价中均优于常规 DWI(表 3)。

表 3 MUSE-DWI 与 SS-EPI DWI 的客观评价结果

参数	MUSE-DWI	SS-EPI DWI	统计量	P
SNR	45.54±15.13	35.52±14.49	-4.67	<0.001
CNR	37.46±14.57	29.32±14.09	-4.21	<0.001
ADC(s/mm ²)	0.92(0.83,1.01)	0.94(0.81,1.01)	-0.60 ^b	0.55
横径(mm)	29.3(22.13,37.15)	29.8(22.70,36.83)	-0.51 ^b	0.61
纵径(mm)	28.20(22.60,35.53)	30.65(24.58,38.50)	-5.22 ^b	<0.05

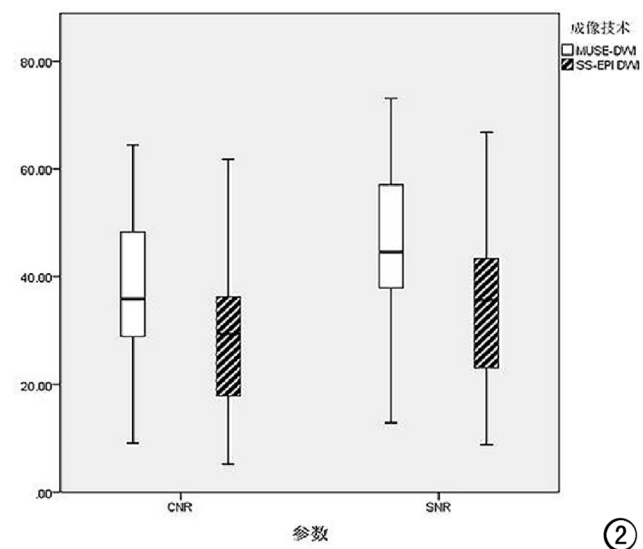


图 2 MUSE-DWI 和常规 DWI 的 SNR、CNR 值箱图。MUSE-DWI 图像的 SNR 和 CNR 均高于常规 DWI 图像。

讨 论

DWI 作为直肠磁共振检查的关键序列之一,能够反映组织细胞的弥散情况,为临床诊断治疗提供有效指导^[11]。值得注意的是 SS-EPI DWI 对磁场均匀性要求严格,容易受到肠道蠕动和肠内气体的干扰,导致严重的运动和磁敏感伪影。常规采用导航技术对伪影进行图像矫正,虽然能够部分消除运动模糊伪影,但缺乏对非线性运动的处理能力,因此直肠癌患者在进行 DWI 成像时会受到空间分辨率、图像噪声以及磁敏感等伪影的干扰,限制影像对局部占位以及病变整体的观察诊断,并且这些磁敏感伪影还会干扰临床对于残留病灶的判断。Chen 等^[9]通过结合扩散加权成像和复合灵敏度编码(来校正运动导致相位误差伪影,MUSE-DWI 作为一种后处理算法,区别于其他成像技术^[13]能够在不改变序列和的设备的基础上,实现低形变、高通量以及高空间分辨率的 DWI 成像。

1. 直肠变形矫正

MUSE-DWI 采取多次激发回波平面成像,基于相位方向对 K 空间进行分段采集,结合线圈灵敏度曲线去除图像的混叠伪影,通过不断提高回波采集效率减少有效回波间距,从而减少相位误差和图像变形。由于肠道蠕动以及气体干扰,直肠 DWI 较其他实质性器官的图像变形更加严重,导致局部结构严重失真影响病灶周围情况评估。本文研究结论表明直肠横断位成像中 MUSE-DWI 较常规 SS-EPI DWI 图像具有突出的变形矫正能力,并且我们发现在病灶边缘处,由于不同物质的磁化率差异,MUSE-DWI 的变形矫正能力更加突出。Chang 等^[14]通过对比两者在克罗恩病的诊断价值中发现,MUSE-DWI 不仅能够产生信噪比增益,减少几何变形,并且还能够提高肠道活动性炎症的诊断敏感度和准确度,其研究结论丰富了 MUSE-DWI 的临床价值,对于我们进一步探索 MUSE 技术在其他领域的应用提供了可能性。此外我们还对直肠占位进行横纵径测量,研究结果显示两种 DWI 所测量的最大横径无统计学差异以及最大纵径差异具有统计学意义($P<0.001$),分析具体原因可能与 MUSE-DWI 的成像原理相关,MUSE 后处理技术主要是基于相位方向的多激发分段式采集,通过将相位信息和线圈灵敏度编码结合,从而达到对 DWI 图像的变形矫正实现高分辨率磁共振扩散成像。

2. 高分辨率 DWI 成像

直肠癌作为世界上死亡率最高的恶性肿瘤之一,准确的术前分期^[15]有利于制定合适的临床治理方案,作为多参数 MR 评估的重要组成参数,DWI 能够提供有关直肠癌浸润深度和局部淋巴结数目等诊断信息,

但是由于常规 SS-EPI DWI 的几何变形和 T_2^* 模糊的干扰^[16],其诊断准确性受到限制影响。此外,当存在脉管侵犯、炎症渗出以及局部纤维增生时,高分辨率磁共振扩散成像显示出多令人满意的成像优势^[17],能够提供许多重要的诊断细节。我们通过比较 MUSE-DWI 与 SS-EPI DWI 在直肠癌成像中的图像质量,充分证明了 MUSE-DWI 在直肠成像的优势作用,研究发现 MUSE-DWI 能够显著改善病灶表征观察,并且通过优化图像分辨率弥补传统 DWI 缺少的解剖细节,还提高了小病灶的检出率^[18]。据本文两位医师对直肠病灶显示性的主观评分,基于 MUSE-DWI 的图像更有利于病灶观察以及细微结构评估。BAXTER 等^[18]在乳腺癌成像评估中发现 MUSE-DWI 较常规 DWI 有更好的脂肪抑制水平,能够提高对微小病灶的检出率,同时 Daimiel 等^[19]也在研究结论中提出 MUSE-DWI 能够减少图像的模糊和变形,实现对乳腺的高分辨率 DWI 成像,与本文的研究结论一致。以上这些实验结论充分证明了 MUSE 技术较传统 DWI 有更好的矩阵反演条件、图像质量以及空间分辨率,不仅常规应用于头颈神经、乳腺^[19]成像中,还能够实现直肠 MUSE-DWI 的优势成像。

由于肠道残留气体干扰以及 SS-EPI DWI 有效回波间距较长造成相位错累,容易受到磁敏感伪影干扰,当这种不真实的高信号伪影叠加在肿瘤组织处时,影响图像质量和诊断准确性,而且随着分辨率和 B 值的增加,图像磁敏感伪影和相位错累愈发严重,因此常规 SS-EPI DWI 难以实现直肠癌的高分辨率成像。MUSE-DWI 通过获得线圈低分辨率相位信息,实现对 DWI 图像的变形矫正,并且减少了回波采集时间和有效回波间距,提高了图像分辨率。本文通过对比 2 组 DWI 图像的伪影水平,MUSE-DWI 可以减少磁场不均匀性伪影。DWI 作为肿瘤侵袭性预测的成像标志物^[20],因此清晰显示肿块轮廓达到对肿瘤边界的精确定位具有十分重要的临床意义,MUSE-DWI 基于相位方向对图像进行伪影矫正,较 SS-EPI DWI 减少了图像变形能够更加清晰地显示解剖细节,能够更加准确地评估直肠癌的治疗疗效,如 Chang 等就利用 MUSE-DWI 的成像优势实现了脑组织的精确模拟定位,与本研究两位放射科医师对直肠解剖细节的结论一致,均认为 MUSE-DWI 较 SS-EPI DWI 能够改善病灶解剖结构细节和病灶周围结构关系显示。

3. 图像综合质量评价

DWI 成像不仅能够提供直肠癌形态学特征,并且还能够通过测量 ADC 值对直肠肿物良恶性进行鉴别诊断。本研究测得 MUSE-DWI 和 SS-EPI DWI 两组病灶的 ADC 平均值分别为 $0.92(0.83, 1.01)$ s/mm²

和 $0.94(0.81, 1.01)$ s/mm²,差异无统计学意义。表明 MUSE-DWI 只改善图像质量并不改变病灶 ADC 值,验证了 MUSE-DWI 在直肠成像中的可重复性,与 MUSE-DWI 在头颈、肝脏和前列腺等方面的研究结论一致^[21],但与 Kim 等^[22]报道的结论不同,分析原因认为可能与肝细胞摄取对比剂浓度有关,MUSE-DWI 受到对比剂干扰减低其 ADC 值,导致两组 DWI 测得的 ADC 值产生差异。SNR 作为客观评价参数,能够反映不同成像技术图像质量的优劣。本研究中对于 MUSE-DWI 的 SNR 和 CNR 评分为 45.54 ± 15.13 、 37.46 ± 14.57 ,均优于 SS-EPI DWI 图像,分析原因可能与 MUSE-DWI 提高回波采集效率,减少了采集时间有关^[23]。同时我们通过对图像质量进行综合评分发现,MUSE-DWI 的整体评分优于 SS-EPI DWI,与本文 SNR、CNR 客观评分结果相一致,因此 MUSE-DWI 较传统 DWI 不仅能够改善病灶表现特征显示,还提高了盆腔 DWI 的整体图像质量。

MUSE-DWI 能够最大限度的降低图像变形、提高成像质量,实现直肠 DWI 的高分辨率成像。但本研究也存在一定的局限性,本文是对直肠癌 MUSE-DWI 与常规 DWI 的成像对比分析,主要集中在直肠癌 MUSE-DWI 的成像质量分析,未纳入具体的诊断指标,因此后续实验将继续搜集扩展病例,期待基于 MUSE-DWI 优势成像的结论上,能够进一步探讨 MUSE-DWI 在直肠内的鉴别诊断价值。

综上所述,MUSE-DWI 较常规 SS-EPI DWI 成像能够减少图像变形和磁敏感伪影,实现高分辨率磁共振扩散成像,对于提高 DWI 图像质量及直肠癌表征显示具有重要临床意义。

参考文献:

- [1] Nougaret S, Reinhold C, Mikhael HW, et al. The use of MR imaging in treatment planning for patients with rectal carcinoma: have you checked the "DISTANCE"? [J]. *Radiology*, 2013, 268(2): 330-344. DOI: 10.1148/radiol.13121361.
- [2] Siegel RL, Miller KD, Goding Sauer A, et al. Colorectal cancer statistics, 2020 [J]. *CA Cancer J Clin*, 2020, 70(3): 145-164. DOI: 10.3322/caac.21601.
- [3] Xu L, Zhang Z, Qin Q, et al. Assessment of T and N staging with MRIT in lower and middle rectal cancer and impact on clinical strategy [J]. *J Int Med Res*, 2020, 48(6): 1-9. DOI: 10.1177/0300060520928685.
- [4] Beets-Tan RG, Lambregts DMJ, Maas M, et al. Correction to: magnetic resonance imaging for clinical management of rectal cancer: updated recommendations from the 2016 European Society of Gastrointestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) consensus meeting [J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(6): 2711. DOI: 10.1007/s00330-017-5204-2.
- [5] 黄伟康,冯洁萍,严兆贤,等. DWI 和 DKI 预测局部进展期直肠癌新辅助放化疗反应 [J]. *放射学实践*, 2022, 37(4): 485-492. DOI:

- 10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.04.013.
- [6] Xie S, Masokano IB, Liu WS, et al. Comparing the clinical utility of single-shot echo-planar imaging and readout-segmented echo-planar imaging in diffusion-weighted imaging of the liver at 3 tesla [J]. *Eur J Radiol*, 2021, 135: e109472. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109472.
- [7] Hatabu H, Madore B. Dark-Field Chest radiography in the detection of emphysema [J]. *Radiology*, 2022, 303(1): 128-129. DOI: 10.1148/radiol.212910.
- [8] Yamashita K, Yoshiura T, Hiwatashi A, et al. Detection of middle ear cholesteatoma by diffusion-weighted MR imaging: multishot echo-planar imaging compared with single-shot echo-planar imaging [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2011, 32(10): 1915-1918. DOI: 10.3174/ajnr.A2651.
- [9] Chen NK, Guidon A, Chang HC, et al. A robust multi-shot scan strategy for high-resolution diffusion weighted MRI enabled by multiplexed sensitivity-encoding (MUSE) [J]. *Neuroimage*, 2013, 72: e41-e47. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.01.038.
- [10] Chen XY, Zhang Y, Cao Y, et al. A feasible study on using multiplexed sensitivity-encoding to reduce geometric distortion in diffusion-weighted echo planar imaging [J]. *Magn Reson Imaging*, 2018, 54: e153-e159. DOI: 10.1016/j.mri.2018.08.022.
- [11] Xia Y, Wang L, Wu Z, et al. Comparison of computed and acquired DWI in the assessment of rectal cancer: image quality and preoperative staging [J]. *Front Oncology*, 2022, 12: e788731. DOI: 10.3389/FONC.2022.788731.
- [12] Xiao Y, Li J, Zhong J, et al. Diagnostic performance of diffusion-weighted imaging for colorectal cancer detection: an updated systematic review and meta-analysis [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: e656095. DOI: 10.3389/fonc.2022.656095.
- [13] Sheng Y, Hong R, Sha Y, et al. Performance of TGSE BLADE DWI compared with RESOLVE DWI in the diagnosis of cholesteatoma [J]. *BMC Med Imaging*, 2020, 20(1): 40. DOI: 10.1186/s12880-020-00438-7.
- [14] Chang HC, Chen GT, Chung HW, et al. Multi-shot diffusion-weighted MRI with multiplexed sensitivity encoding (MUSE) in the assessment of active inflammation in Crohn's disease [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 55(1): 126-137. DOI: 10.1002/JMRI.27801.
- [15] Iafrate F, Ciccirelli F, Masci GM, et al. Predictive role of diffusion-weighted MRI in the assessment of response to total neoadjuvant therapy in locally advanced rectal cancer [J]. *Eur Radiol*, 2022, 33(2): 854-862. DOI: 10.1007/s00330-022-09086-7.
- [16] Kawamura M, Tamada D, Funayama S, et al. Accelerated acquisition of high-resolution diffusion-weighted imaging of the brain with a multi-shot echo-planar sequence: deep-learning-based denoising [J]. *Magn Reson Med Sci*, 2021, 20(1): 99-105. DOI: 10.2463/mrms.tn.2019-0081.
- [17] Ao W, Zhang X, Yao X, et al. Preoperative prediction of extramural venous invasion in rectal cancer by dynamic contrast-enhanced and diffusion weighted MRI: a preliminary study [J]. *BMC Med Imaging*, 2022, 22(1): 78. DOI: 10.1186/s12880-022-00810-9.
- [18] Baxter GC, Patterson AJ, Woitek R, et al. Improving the image quality of DWI in breast cancer: comparison of multi-shot DWI using multiplexed sensitivity encoding to conventional single-shot echo-planar imaging DWI [J]. *Br J Radiol*, 2021, 94(1119): 20200427. DOI: 10.1259/bjr.20200427.
- [19] Daimiel Naranjo I, Lo Gullo R, Morris EA, et al. High-spatial-resolution multishot multiplexed sensitivity-encoding diffusion-weighted imaging for improved quality of breast images and differentiation of breast lesions: a feasibility study [J]. *Radiol Imaging Cancer*, 2020, 2(3): e190076. DOI: 10.1148/rycan.2020190076.
- [20] 谢玉海, 钱银锋, 刘星, 等. 3.0T MR 扩散加权成像及动态增强诊断直肠癌神经管侵犯的价值 [J]. *放射学实践*, 2021, 36(5): 637-641. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.05.013.
- [21] Konar AS, Fung M, Paudyal R, et al. Diffusion-weighted echo planar imaging using multiplexed sensitivity encoding and reverse polarity gradient in head and neck cancer: an initial study [J]. *Tomography*, 2020, 6(2): 231-240. DOI: 10.18383/j.tom.2020.00014.
- [22] Kim YY, Kim MJ, Ghos SM, et al. Comparison of multiplexed sensitivity encoding and single-shot echo-planar imaging for diffusion-weighted imaging of the liver [J]. *Eur J Radiol*, 2020, 132: e109292. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109292.
- [23] Hu Y, Ikeda DM, Pittman SM, et al. Multishot diffusion-weighted MRI of the breast with multiplexed sensitivity encoding (MUSE) and shot locally low-rank (shot-LLR) reconstructions [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 53(3): 807-817. DOI: 10.1002/JMRI.27383.

(收稿日期: 2022-09-05 修回日期: 2022-11-09)