

• 头颈部影像学 •

iShim-EPI 和 SS-EPI 在甲状腺结节扩散加权成像的应用比较

杨祺, 贾永军, 杨创勃, 贺太平, 王少彧, 金晨望

【摘要】 目的:探讨单层动态匀场技术在 3.0T MR 仪甲状腺结节扩散加权成像中提高图像质量的可行性。**方法:**24 例超声已明确诊断为甲状腺结节的患者共 32 个结节, 对其进行单层动态匀场技术(iShim-EPI)和常规单次激发平面回波成像(SS-EPI)两种不同扩散加权成像(DWI)扫描。以横轴面 T₂WI 抑脂图像为参考, 两位放射科医师采用 5 分法对两种 DWI 序列图像的正常解剖结构显示能力、伪影及图像整体质量进行主观评分。评价 2 名医师主观评分的一致性使用 Kappa 检验, 比较两种不同弥散序列对图像的正常解剖结构显示能力、伪影及图像整体质量的差异使用 Wilcoxon 检验。另由同一放射医师通过绘制感兴趣区(ROI)对甲状腺结节进行定量参数的测量, 计算甲状腺结节图像的信噪比(SNR), 对比噪声比(CNR)及甲状腺结节前后(AP)、左右(RL)径几何变形率(GDR), 测量甲状腺结节表观扩散系数(ADC)值, 使用配对样本 *t* 检验比较两种不同扩散序列甲状腺结节定量参数的差异。**结果:**在 iShim-EPI 和 SS-EPI 两种不同扩散序列中对甲状腺结节的正常解剖结构显示能力、伪影及图像整体质量两名医师的一致性均较好(Kappa 值均>0.70)。医师二对 SS-EPI 和 iShim-EPI 序列图像显示甲状腺结节正常解剖评分分别为 2.62、4.71, 伪影评分分别为 3.09、1.09, 图像整体质量评分分别为 2.21、4.53, 各项评分两两之间差异均有统计学意义(*P* 均<0.05)。两种序列图像定量参数比较, iShim-EPI 序列甲状腺结节图像的 SNR、CNR 分别为 45.89、24.36, SS-EPI 序列甲状腺结节图像的 SNR、CNR 分别为 11.01、5.38, 两种序列间 SNR、CNR 差异均有统计学意义(*P*<0.05)。iShim-EPI 序列的甲状腺结节图像前后和左右方向 GDR 分别为 8.02、4.02, SS-EPI 序列的甲状腺结节图像前后和左右方向 GDR 分别为 39.42、27.66, iShim-EPI 序列甲状腺前后、左右变形率较 SS-EPI 显著降低(*P*<0.001)。iShim-EPI 序列和 iShim-EPI 序列的甲状腺结节 ADC 值分别为 $1.15 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $1.11 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 差异无统计学意义(*P*>0.05)。**结论:**iShim-EPI 可以明显提高甲状腺结节的 DWI 图像质量。

【关键词】 甲状腺结节; 扩散加权成像; 图像质量; 单层动态匀场

【中图分类号】 R445.2; R736.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)07-0744-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.07.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Comparison of iShim-EPI and SS-EPI in diffusion weighted imaging in thyroid nodules YANG Qi, JIA Yong-jun, YANG Chuang-bo, et al. Department of Medical Imaging, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of integrated shimming echo-planar-imaging (iShim-EPI) in improving diffusion weighted image (DWI) quality in thyroid nodules on 3.0T magnetic resonance scanner. **Methods:** A total of 32 thyroid nodules in twenty-four patients diagnosed by ultrasound were enrolled in this study. All patients underwent MRI examination included T₂WI fat-suppression, T₁WI, iShim-EPI and conventional single-shot echo-planar-imaging (SS-EPI) DWI. The quantitative DWI parameters of the thyroid nodules were evaluated by the same radiologist. The SNR, CNR, geometric distortion ratio (GDR) of anteroposterior, left and right diameters (GDRAP, GDRRL) were calculated. In addition, two radiologists assessed the normal anatomical structure, artifact, and image quality using a 5-point method in different DWI. Paired sample *t*-test was used to compare the differences in the quantitative DWI parameters of the thyroid nodules between different DWI. Wilcoxon test and Kappa test were used to evaluate the distortion of the anatomical structures, arti-

作者单位: 710061 西安, 西安交通大学第一附属医院医学影像科(杨祺、金晨望); 712000 咸阳, 陕西中医药大学附属医院医学影像科(杨祺、贾永军、杨创勃、贺太平); 710061 西安, 西门子(中国)有限公司磁共振产品事业部(王少彧)
作者简介: 杨祺(1990—), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事 MR、CT 新技术临床应用与研究。
通讯作者: 金晨望, E-mail: jcw76@163.com

fact, image quality, and subjective consistency. **Results:** There was good reader agreement in imaging quality scores (Kappa values >0.70). The scores were 2.62 and 4.71 for normal anatomical structure, 3.09 and 1.09 for artifacts, and 2.21 and 4.53 for image quality scored in SS-EPI and iShim-EPI DWI, respectively. The SNR and CNR of thyroid nodules were 45.89 and 24.36 in the iShim-EPI DWIs, and 11.01 and 5.38 in the SS-EPI DWI. The GDRAP and GDRRL of the thyroid nodules was 8.02 and 4.02 in the iShim-EPI DWI and, and 39.42 and 27.66 in the SS-EPI DWI, respectively. There were significant differences in above mentioned index between iShim-EPI and SS-EPI DWI ($P < 0.05$). ADC value of thyroid nodules in iShim-EPI DWI ($1.15 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) was similar with that in SS-EPI DWI ($1.11 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) and P value is more than 0.05. **Conclusion:** iShim-EPI can significantly improve the quality of thyroid nodules DWI images.

【Key words】 Thyroid nodule; Diffusion weighted imaging; Image quality; Integrated shimming

DWI 是目前临床上唯一一种可以非侵入性观察人体内水分子扩散运动的 MR 成像方法, 现已广泛用于人体各部位成像, 其对于病变特征显示及鉴别病变良、恶性均具有较大价值。研究结果显示, DWI 有助于鉴别甲状腺病变的性质^[1]。临床上, DWI 经常采用的是单次激发平面回波成像 (single-shot echo-planar imaging, SS-EPI) 序列, 其优点是成像速度快, 对比度良好, 但其图像空间分辨率低、磁敏感伪影和图像几何变形较重^[2], 在颈部这种不规则解剖部位图像几何变形尤为严重。既往有研究报道, 在磁共振图像采集时, 通过实时动态优化每层图像采集时的磁场均匀性可以明显减少图像伪影^[3], 提高磁共振 DWI 的图像质量。单层动态匀场 (integrated shimming, iShim) 技术可以在磁共振成像过程中实现逐层实时动态匀场, 使每层图像采集时皆可达到最优场强, 从而减少因场强不均所引起的图像质量的下降, 从而提高 DWI 图像质量。最近研究表明该技术可明显提升乳腺 3.0T 磁共振 DWI 的图像质量^[4], 本文旨在探讨 iShim-EPI 和 SS-EPI 序列对颈部甲状腺结节 DWI 图像质量的影响。

材料与方法

1. 一般资料

前瞻性对 2018 年 2 月—10 月 24 例超声诊断为甲状腺结节患者进行磁共振扫描, 共 32 个病灶, 病灶大小 $1.50 \sim 4.70 \text{ cm}$, 平均 $(2.36 \pm 0.72) \text{ cm}$, 位于左叶 18 个, 右叶 12 个, 峡部 2 个。其中男 16 例, 女 8 例, 均无磁共振检查禁忌症。本研究经本院伦理委员会批准, 所有受试者均签署知情同意书。

2. 仪器与方法

采用 Siemens Magnetom Skyra 3.0T MR 扫描仪, 20 通道头颈联合线圈。受检者采取仰卧位。扫描序列为横轴面 T_2 WI 脂肪抑制序列: TR 2070 ms, TE 65 ms, 激励次数 2 次, 层厚 3 mm。冠状面 T_2 WI 脂肪抑制序列: TR 4000 ms, TE 82 ms, 激励次数 2 次, 层

厚 3 mm。横轴面 iShim-EPI 序列: TR 7400 ms, TE 66 ms, 层厚 3 mm, 层间距为 0, FOV 为 $250 \text{ mm} \times 162 \text{ mm}$, b 值取 $0, 800 \text{ s/mm}^2$, 对应激励次数为 3、24, 矩阵大小为 136×136 , 匀场方式为逐层动态匀场。横轴面 SS-EPI 序列: TR 7580 ms, TE 62 ms, 层厚 3 mm, 层间距 0.6 mm, FOV $250 \text{ mm} \times 165 \text{ mm}$, b 值取 $0, 800 \text{ s/mm}^2$, 对应激励次数为 2、4, 矩阵大小为 136×136 , 匀场方式为标准匀场。

3. 图像分析

主观评分: 由两名有多年 MRI 诊断经验的放射科医师在图像后处理工作站上分别对 24 例患者两种扩散序列上甲状腺结节及正常组织的解剖结构辨识和几何变形程度进行评价, 以横轴面 T_2 WI 脂肪抑制序列为参考。采用 5 分法进行评分^[5]。评分标准: 1 分, 几乎无轮廓, 无法识别解剖结构, 无法评估几何变形; 2 分, 轮廓不清晰, 尚可辨识别解剖结构, 严重变形; 3 分, 轮廓大概可见, 且与邻近组织可区分, 但一半及以上的轮廓与邻近组织混合, 中度变形; 4 分, 轮廓清楚, 但轮廓的一小部分与邻近组织混合, 轻度变形; 5 分, 轮廓非常清楚, 与邻近组织对比好, 几乎无变形。

定量评估: 24 例患者共 32 例甲状腺结节数据在 Siemens MMWP 后处理工作站上由同一放射科医师进行测量, 放置 ROI 参考横轴面 T_2 WI 抑脂序列, 记录甲状腺结节、正常甲状腺及背景组织信号强度和标准差, 避开坏死囊变及出血, 测量 3 次取平均值。计算图像信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR)、对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR)。SNR = SI_{ROI} / SD_{noise} , CNR = $| SI_{ROI} - SI_{testis} | / SD_{noise}$, 其中 SI_{ROI} 是 $b = 800 \text{ s/mm}^2$ 时 DWI 图像甲状腺结节实性区域的信号强度, SD_{noise} 为 DWI 图像背景组织 (正常肌肉) 的信号强度标准差, SI_{testis} 是 DWI 图像正常甲状腺的信号强度。以解剖参考图 (T_2 WI 抑脂) 为标准, 测量两组 DWI 图像甲状腺结节前后 (AP) 和左右 (RL) 方向的几何变形率 (geometric distortion ration, GDR)^[6], 选取

甲状腺结节最佳显示层面的 T_2WI 图像对应层面的 DWI 图像,测量两幅图像中甲状腺结节的 AP 径及 RL 径,并计算 $GDRAP = (\text{length } T_2AP - \text{length } DWIAP) / \text{length } T_2AP \times 100\%$ ($\text{length } T_2AP$ 是 T_2WI 图像中甲状腺结节的 AP 径, $\text{length } DWIAP$ 是 DWI 图像中甲状腺结节的 AP 径); $GDRRL = (\text{length } T_2RL - \text{length } DWIRL) / \text{length } T_2RL \times 100\%$ ($\text{length } T_2RL$ 是 T_2WI 图像中甲状腺结节的 RL 径, $\text{length } DWIRL$ 是 DWI 图像中甲状腺结节的 RL 径),并在 ADC 图像上测量甲状腺结节 ADC 值。

4. 统计方法

采用 SPSS 19.0 统计学软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 Kappa 检验评估两位医师得分的一致性,并且使用配对 Wilcoxon 秩和检验和配对样本 t 检验比较两个序列的主观得分和定量评价指数的差异。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 主观评分

两名医师的评分具有良好的一致性 ($Kappa > 0.7$,表 1)。iShim-EPI 对图像正常解剖结构的显示能力 ($P < 0.05$)、减少伪影的能力 ($P < 0.05$)、图像综合质量 ($P < 0.05$) 均优于 SS-EPI (表 2,图 1、2)。

表 1 对两种不同扩散序列图像主观评估的 Kappa 值结果

扫描序列	Kappa 值		
	正常解剖显示能力	伪影	图像整体质量
SS-EPI	0.74	0.78	0.74
iShim-EPI	0.85	0.72	0.88

表 2 2 种不同序列行甲状腺结节 DWI 检查的图像质量主观评分

图像质量	SS-EPI	iShim-EPI	Z 值	P 值
医师一				
正常解剖显示能力	2.56 ± 0.56	4.66 ± 0.55	-4.99	<0.001
伪影	3.03 ± 0.59	1.16 ± 0.37	-5.15	<0.001
图像整体质量	2.19 ± 0.47	4.47 ± 0.51	-5.09	<0.001
医师二				
正常解剖显示能力	2.62 ± 0.79	4.71 ± 0.46	-4.76	<0.001
伪影	3.09 ± 0.70	1.09 ± 0.30	-5.10	<0.001
图像整体质量	2.21 ± 0.42	4.53 ± 0.51	-5.16	<0.001

2. 定量评价指标

两种序列图像比较, iShim-EPI 甲状腺结节的 SNR 和 CNR 均优于 SS-EPI,差异有统计学意义 ($P < 0.001$,表 3)。iShim-EPI 的甲状腺结节前后和左右方向 GDR 较 SS-EPI 显著降低,差异有统计学差异 ($P < 0.001$,表 3,图 1、2)。两组图像甲状腺结节的 ADC 值无统计学差异 ($P > 0.05$)。

讨 论

甲状腺结节是甲状腺疾病的常见表现形式^[7]。女

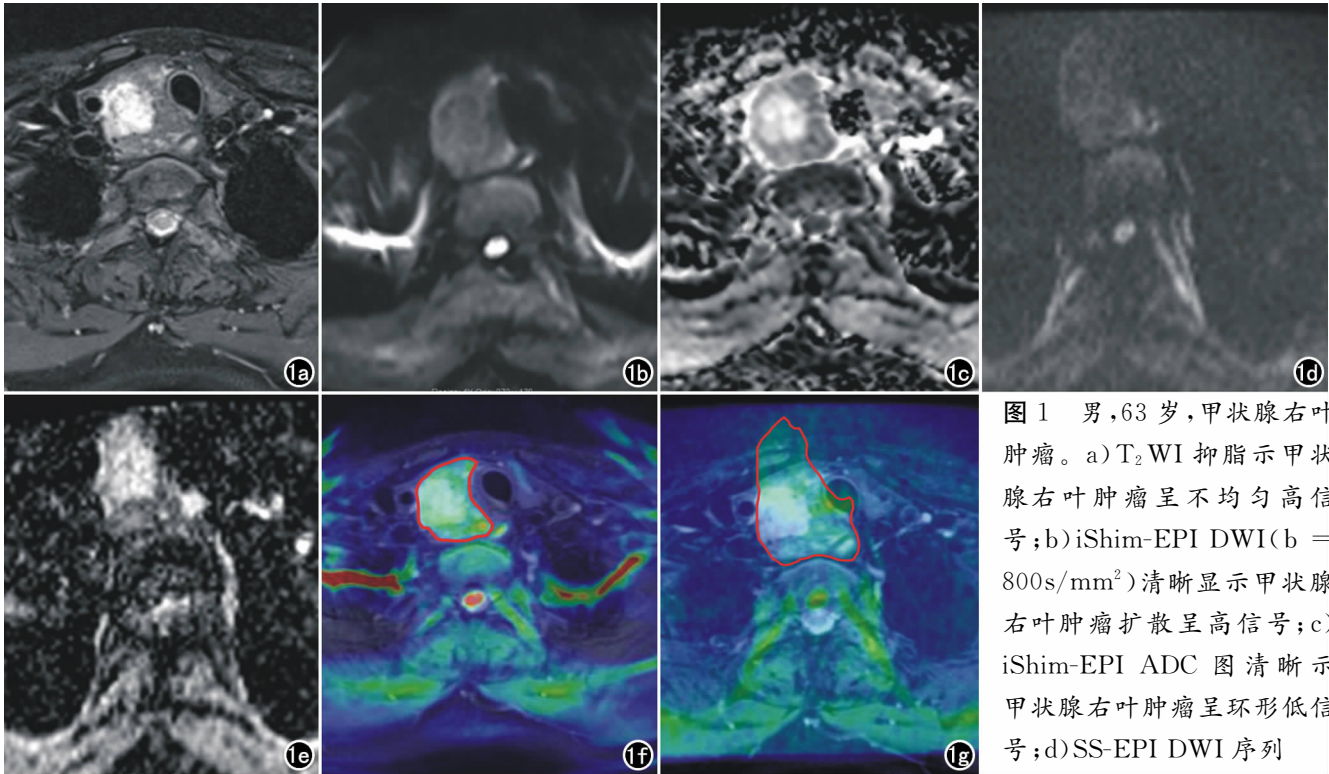


图 1 男,63 岁,甲状腺右叶肿瘤。a) T_2WI 抑脂示甲状腺右叶肿瘤呈不均匀高信号;b) iShim-EPI DWI ($b = 800s/mm^2$) 清晰显示甲状腺右叶肿瘤扩散呈高信号;c) iShim-EPI ADC 图清晰示甲状腺右叶肿瘤呈环形低信号;d) SS-EPI DWI 序列

($b = 800s/mm^2$) 示甲状腺右叶肿瘤显示效果差,病灶变形严重;e) SS-EPI ADC 图示甲状腺右叶肿瘤显示效果差,变形严重;f) T_2WI 抑脂横轴面与 iShim-EPI DWI 伪彩融合图(红线区域示扩散 b 值 $= 800s/mm^2$ 时甲状腺肿瘤扩散解剖轮廓),融合效果良好;g) T_2WI 抑脂横轴面与 SS-EPI DWI 伪彩融合图(红线区域示弥散 b 值 $= 800s/mm^2$ 时甲状腺肿瘤扩散解剖轮廓),融合效果差。

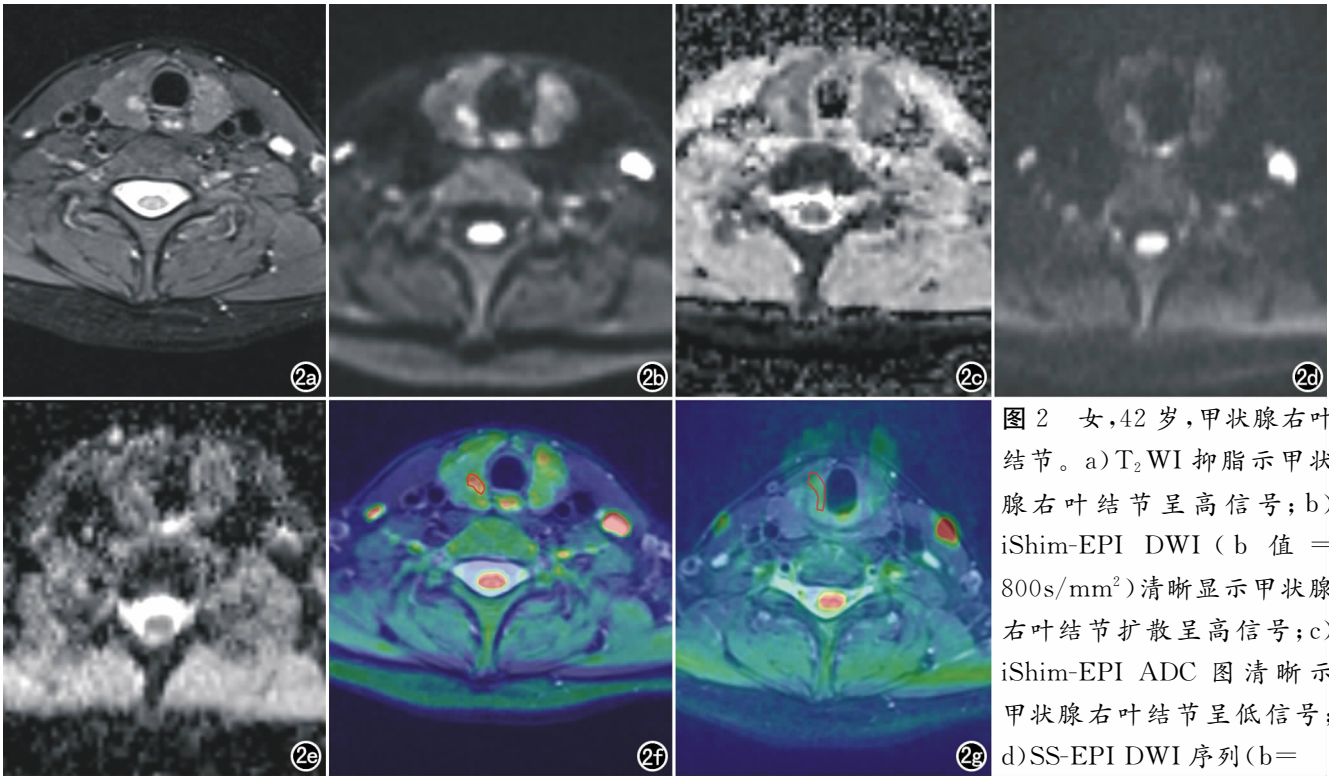


图 2 女,42 岁,甲状腺右叶结节。a)T₂WI 抑脂示甲状腺右叶结节呈高信号;b) iShim-EPI DWI (b 值 = 800s/mm²)清晰显示甲状腺右叶结节扩散呈高信号;c) iShim-EPI ADC 图清晰示甲状腺右叶结节呈低信号;d)SS-EPI DWI 序列(b=

800s/mm²)示甲状腺右叶结节显示效果较差,病灶变形严重;e)SS-EPI ADC 图示甲状腺右叶结节显示不清,变形严重;f)T₂WI 抑脂横轴面与 iShim-EPI DWI 伪彩融合图(红线区域示弥散 b 值=800s/mm² 时甲状腺结节扩散解剖轮廓),融合效果良好;g)T₂WI 抑脂横轴面与 SS-EPI DWI 伪彩融合图(红线区域示弥散 b 值=800s/mm² 时甲状腺结节扩散解剖轮廓),融合效果差。

表 3 采用 2 种不同序列行甲状腺结节 DWI 的图像质量客观评价指标

参数	SS-EPI	iShim-EPI	t 值	P 值
GDRAP	39.42±9.01	8.02±2.14	20.75	<0.001
GDRRL	27.66±5.73	4.02±1.10	24.02	<0.001
SNR	11.01±2.18	45.89±18.90	-10.80	<0.001
CNR	5.38±1.19	24.36±14.91	-7.33	<0.001
ADC 值(×10 ⁻³ mm ² /s)	1.15±0.47	1.11±0.52	-0.40	>0.05

性的患病率最高。我国一般人群甲状腺结节的总发病率为 5%~50%,其中 5%~10%具有恶性肿瘤的可能性^[8]。甲状腺结节的性质是决定临床治疗方式的重要因素。绝大部分良性甲状腺结节不需要手术处理,只需定期随诊即可,但恶性甲状腺结节、结节过大有明显压迫症状是手术的适应证。目前甲状腺病变有效的检测手段是细针穿刺活检,但仍有 15%~20% 无法诊断,且可能诱发出血等并发症^[9]。细针穿刺活检甲状腺结节诱发甲状腺癌的概率约为 9.2%~13%^[9]。目前甲状腺结节基础性的影像检测手段是超声检查,但单独只应用超声检查对甲状腺良恶性病变进行鉴别诊断目前还无可靠标准^[10]。CT 较容易发现甲状腺癌内微小钙化,亦可对肿瘤相邻结构侵犯显示清楚,但定性诊断仍存在很大困难。核素检查也较难区分甲状腺结节的良恶性,且有辐射损伤^[11]。

MRI 由于其无创性和更好的图像对比度而成为评估甲状腺疾病的有用工具。常规 MRI(包括 T₁WI、

T₂WI 和增强 T₁WI)已被用于评估疾病的程度;然而,使用这些常规图像准确预测甲状腺结节的性质仍然很困难^[12-13]。有各种研究报道,DWI 得到的表观扩散系数(ADC)值可用于区分良性和恶性甲状腺结节^[1,14-15]。但是目前,甲状腺 DWI 的最佳 b 值尚无统一的标准,Wu 等^[16]的研究结果显示,b 值为 300 s/mm² 时的 ADC 值可以鉴别甲状腺结节的良恶性,Shi 等^[17]报道 b 值为 500 s/mm² 时的 ADC 值可以鉴别甲状腺结节的良恶性,Schueller-Weidekamm 等^[18]的研究结果显示,当 b 值取 800 s/mm² 时恶性结节的 ADC 值明显高于良性结节。上述研究结果之间存在显著差异,这可能与每项研究中使用不同 MR 设备,扫描序列参数和测量方法有关。但更加优化的最高 b 值 DWI 的应用可进一步减少因灌注效应等所造成的 ADC 值差异^[19],故本文选取高 b 值 800 s/mm² 作为甲状腺结节扩散研究。

在本研究中,iShim-EPI 和 SS-EPI 用于甲状腺结节 DWI,并对结果进行了比较。研究结果显示,当 DWI 的 b 值为 800 s/mm² 时,iShim-EPI 序列在病灶解剖结构显示能力、伪影、图像整体质量显示均高于 SS-EPI。常规 SS-EPI 甲状腺 DWI 图像解剖变形严重。甲状腺解剖变形是常规 SS-EPI 图像所面临的主

要难题,这与其在颈肩部特殊解剖导致的局部磁场明显不均匀有关。目前评估甲状腺病变的常规扩散成像多为 SS-EPI,然而,在颈部区域中执行常规 DWI 是非常具有挑战性的,由于人体颈肩部解剖特殊,在高 B0 场强的磁场中,局部场不均匀性不能通过常规 3D 匀场完全补偿,因此局部场强的不均匀性可能导致图像信号丢失和图像失真,造成甲状腺结节扩散图像的变形和 SNR、CNR 减低。本研究采用的 iShim-EPI 技术使用逐层特定的动态匀场方案,而不是整个 3D 容积匀场,可以显著改善每个层面的磁场均匀性,确保每层图像在成像信号采集时都采用相应层面最优的中心频率和最优线性匀场方案,进而保证了甲状腺结节扩散图像有更高的 SNR、CNR,同时明显减少甲状腺结节的变形率。这也是比较符合本文研究的结论,iShim-EPI 对比 SS-EPI 甲状腺结节图像有更好的 SNR 和 CNR 以及更低的变形率。亦有研究表明 iShim-EPI 技术可明显提升乳腺 3.0T MR 扩散加权成像的图像质量^[4]。iShim-EPI 技术能够明显提高 3.0T MR 仪全身类 PET(WBDWI)图像质量,尤其以颈段为著^[20]。这些研究与本文研究结论基本符合。此外,在两种不同甲状腺扩散序列甲状腺结节的 ADC 值比较中,笔者也发现常规 SS-EPI 和 iShim-EPI 两者的差异并没有统计学意义($P>0.05$)。测量 ADC 值是鉴别良恶性甲状腺结节最常用和最有效的手段之一^[1,14-15]。甲状腺恶性结节的 ADC 值往往较良性结节组织的 ADC 值低。因此通过测量组织内 ADC 值可以有效鉴别甲状腺结节的良恶性。与 SS-EPI 技术相比,iShim-EPI 在不显著改变甲状腺结节图像 ADC 值的情况下,可使图像磁敏感伪影明显减少,变形程度缩小,图像有更高的 SNR、CNR,明显提升了医师的诊断信心。

本研究的不足之处是纳入样本量较少,未能对甲状腺结节的病理做进一步研究,将在今后的工作中继续研究。总之,iShim 序列作为一种新的 DWI 方式,在甲状腺结节的扩散成像中,较常规扩散序列明显提高了图像质量,使得 iShim 序列的临床应用更加成熟、广泛。

参考文献:

- [1] Erdem G, Erdem T, Muammer H, et al. Diffusion-weighted images differentiate benign from malignant thyroid nodules[J]. Magn Reson Imaging, 2010, 31(1): 94-100.
- [2] Byeon J, Kim JY, Cho AH. Readout-segmented echo-planar imaging in diffusion-weighted MR imaging of acute infarction of the brainstem and posterior fossa: comparison of single-shot echo-planar diffusion-weighted sequences[J]. Clin Imaging, 2015, 39(5): 765-769.
- [3] Morrell G, Spielman D. Dynamic shimming for multi-slice magnet-

- ic resonance imaging[J]. Magn Reson Med, 1997, 38(3): 477-483.
- [4] Lee SK, Tan ET, Govanar A, et al. Dynamic slice-dependent shim and center frequency update in 3T breast diffusion weighted imaging[J]. Magn Reson Med, 2014, 71(5): 1813-1818.
- [5] Koyasu S, Iima M, Umeoka S, et al. The clinical utility of reduced-distortion readout-segmented echo-planar imaging in the head and neck region: initial experience[J]. Eur Radiol, 2014, 24(12): 3088-3096.
- [6] 刘俊, 许晓泉, 吴飞云. RS-EPI 与 SS-EPI 序列在眼眶弥散加权成像中的对照研究[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(6): 872-875.
- [7] Erdem G, Erdem T, Muammer H, et al. Diffusion-weighted images differentiate benign from malignant thyroid nodules[J]. Magn Reson Imaging, 2010, 31: 94-100.
- [8] 于峰, 苏新良, 吴凯南. 甲状腺结节良恶性诊断的现状 & 进展[J]. 中华内分泌外科杂志, 2010, 4(2): 127-129.
- [9] Solbiati L, Osti V, Cova L, et al. Ultrasound of thyroid, parathyroid glands and neck lymph nodes[J]. Eur Radiol, 2001, 11(12): 2411-2424.
- [10] Frates MC, Benson CB, Charboneau JW, et al. Management of thyroid nodules detected at US: society of radiologists in ultrasound consensus conference statement[J]. Radiology, 2006, 22(4): 231-238.
- [11] Schueller-Weidekamm C, Kaserer K, Schueller G, et al. Can quantitative diffusion-weighted MR imaging differentiate benign and malignant cold thyroid nodules? Initial results in 25 patients[J]. AJNR, 2009, 30(2): 417-422.
- [12] Miyakoshi A, Dalley RW, Anzai Y. Magnetic resonance imaging of thyroid cancer[J]. Top Magn Reson Imaging, 2007, 18: 293-302.
- [13] Nakahara H, Noguchi S, Murakami N, et al. Gadolinium-enhanced MR imaging of thyroid and parathyroid masses[J]. Radiology, 1997, 202(3): 765-772.
- [14] Noda Y, Kanematsu M, Goshima S, et al. MRI of the thyroid for differential diagnosis of benign thyroid nodules and papillary carcinomas[J]. AJR, 2015, 204(3): W332-W335.
- [15] Ilica AT, Artas H, Ayan A, et al. Initial experience of 3 tesla apparent diffusion coefficient values in differentiating benign and malignant thyroid nodules[J]. Magn Reson Imaging, 2013, 37(5): 1077-1082.
- [16] Wu Y, Yue X, Shen W, et al. Diagnostic value of diffusion-weighted MR imaging in thyroid disease: application in differentiating benign from malignant disease[J]. BMC Med Imaging, 2013, 13: 23.
- [17] Shi HF, Feng Q, Qiang JW, et al. Utility of diffusionweighted imaging in differentiating malignant from benign thyroid nodules with magnetic resonance imaging and pathologic correlation[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(4): 505-510.
- [18] Schueller-Weidekamm C, Kaserer K, Schueller G, et al. Can quantitative diffusion-weighted MR imaging differentiate benign and malignant cold thyroid nodules? Initial results in 25 patients[J]. AJNR, 2009, 30(2): 417-422.
- [19] 郝永红, 潘初, 陈唯唯, 等. 小视野 DWI 技术在甲状腺结节诊断中的应用评价[J]. 放射学实践, 2016, 31(8): 704-708.
- [20] 张海波. 全身磁共振成像及计算机体层成像评估多发性骨髓瘤的初步研究[D]. 北京: 北京协和医院, 2015: 1-66.