论著·头颈部

多重灵敏度编码弥散加 权成像在鼻咽癌中的参 数优化*

胡玉芳^{1,*} 黄梓杰² 刘 凯¹ 唐艳云¹ 刘光俊¹

1.桂林医学院附属医院放射科 2.桂林市人民医院放射科 (广西 桂林 541001)

【摘要】目的 探讨多重灵敏度编码扩散加权成像 (MUSE-DWI)在鼻咽癌中的参数优化。方法前瞻性纳 入行鼻咽部MRI检查的鼻咽癌患者50例,同时行平 扫、增强及MUSE-DWI扫描,调整MUSE-DWI序列参 数,分为2组进行图像质量评价:相位方向不同的分 段采样数(NS)组(分别为2和3),以及相同体素下NS 为3时相位方向不同的编码步数组(分别为228、192 及168)。由2名影像诊断医师对各组DWI显示的病灶 清晰度、图像伪影、图像变形进行主观评价。定量 测量各组DWI图像信噪比SNR、对比噪声比CNR进行 客观评价。结果 NS为3的MUSE-DWI病灶清晰度、图 像伪影、抗变形能力、SNR、CNR的主、客观评分均 优于NS为2者,差异有统计学意义(P<0.05); NS为3 时相位方向编码步数为192的图像清晰度主观评分略 高于228的评分,步数为168的图像清晰度主观评分 略高于192的评分,各组SNR、CNR 差异无统计学意 义(P>0.05)。结论 综合考虑扫描时间和图像质量, NS分段为3、相同体素下相位方向编码步数越小的 MUSE-DWI序列显示鼻咽癌更优。

【关键词】鼻咽癌;多重灵敏度编码;

弥散磁共振成像;序列优化

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】广西壮族自治区卫生健康委员会 自筹经费科研课题(Z20190755) DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.012

Optimization of Parameters for Multiple Sensitivity Encoding Diffusion-weighted Imaging in Nasopharyngeal Cancer*

HU Yu-fang^{1,*}, HUANG Zi-jie², LIU Kai¹, TANG Yan-yun¹, LIU Guang-jun¹.

1.Department of Radiology, Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guilin 541001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

2.Department of Radiology, Guilin People's Hospital, Guilin 541001, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To investigate the optimization of parameters for multiple sensitivity encoding diffusionweighted imaging (MUSE-DWI) in nasopharyngeal carcinoma. *Methods* A total of 50 patients with nasopharyngeal carcinoma who underwent nasopharyngeal MRI examination were prospectively enrolled and underwent plain scan, enhancement, and MUSE-DWI scan. The parameters of the MUSE-DWI sequence were adjusted and divided into two groups for image quality evaluation: the number of shots (NS) group with different phase encoding directions (2 and 3), and the sampling step size group (228, 192, and 168) when NS was 3 under the same voxel. Two imaging diagnostic physicians subjectively evaluated the lesion clarity, image artifacts, and image deformation displayed by DWI in each group. Quantitative measurements were made to objectively evaluate the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of DWI images in each group. Results The subjective and objective scores of lesion clarity, image artifacts, resistance to deformation, SNR, and CNR of MUSE-DWI with NS of 3 were superior to those with NS of 2, with statistically significant differences (P<0.05). When NS was 3, the subjective score of image clarity with a step size of 192 in the phase encoding direction was slightly higher than that of 228, and the subjective score of image clarity with a step size of 168 was slightly higher than that of 192. There was no statistically significant difference in SNR and CNR among the groups (P>0.05). Conclusion Considering both scanning time and image quality, the MUSE-DWI sequence with NS segmentation of 3 and a smaller step size in the phase encoding direction under the same voxel size is better for displaying nasopharyngeal carcinoma.

Keywords: Nasopharyngeal Cancer; Multiple Sensitivity Encoding; Diffusion Magnetic Resonance Imaging; Sequence Optimization

鼻咽癌是我国南方地区头颈部常见恶性肿瘤之一,早诊早治对其预后影响极大。扩 散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是唯一在活体上能够探测水分子扩散行 为的成像技术,在肿瘤的定性、分期、分级以及疗效评价中意义重大^[1-4]。传统弥散方 法单次激发平面回波DWI(single-shot echo-planar imaging, SS-EPI)因其成像速度快 而广泛应用于全身各部位,但其存在形变、磁敏感伪影及分辨率低等问题,限制了其在 肿瘤中的进一步应用,在颅底、鼻咽部等磁化率相差较大的部位尤为明显^[5-6]。相比SS-EPI,多重灵敏度编码DWI(multiple sensitivity encoding DWI, MUSE-DWI)通过在相位 方向上进行分段采样,缩短回波链长度、减少T₂*模糊效应,以减少图像伪影及图像失 真,并且提高了图像分辨率,显著改善图像质量^[7],已有报道MUSE-DWI在头颈神经、 乳腺、肝脏、直肠、克罗恩病等多个器官疾病中成像的优越性^[8-15]。本研究通过对比观 察鼻咽部MUSE-DWI序列在相位方向不同的分段采样数及相同体素下NS为3时相位方向 不同的编码步数下的图像质量,为鼻咽部MUSE-DWI序列优化提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 前瞻性收集2021年9月至2024年2月于桂林医学院附属医院接受鼻咽部 MRI检查的鼻咽癌患者。

纳入标准:未曾接受治疗的鼻咽癌确诊患者;同时完成鼻咽部常规平扫及增强 扫描、MUSE-DWI各序列。排除标准:磁共振检查禁忌者;病灶太小在DWI图像上 难以显示者;运动伪影严重影响观察者。最终入组50例,男31例、女19例,年龄 27~79岁、平均(50±9.7)岁。本研究经桂林医学院附属医院伦理委员会批准(批准号: 2021YJSLL-77),所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用GE Signa Architect 3.0T MR超导扫描仪及19通道头颈联合线圈。 嘱患者扫描过程中轻缓呼吸,避免吞咽运动。平扫序列: T₁WI、T₂WI, MUSE-DWI; 增 强T1WI序列等。横断面各序列同层扫描,层厚4mm ,层间隔1mm ,层数20。MUSE-DWI扫描参数: 重复时间(repetition time,TR)auto,回波时间(echo time,TE)69.4ms, 前后相位编码方向,加速因子1,b值0、600s/mm²。在此基础上调整各MUSE-DWI序 列扫描参数,在相位方向编码步数为228时NS分别为2和3;在NS为3时相位方向编码步 数分别为228、192及168;为保证MUSE-DWI各组空间分辨率的一致性,相位方向上的 FOV做同步调整,使各组MUSE DWI采集体素≈1×1×4mm³。所得图像依次纳入相位 方向不同NS数组以及不同的编码步数组,具体参数调整及扫描时间见表1~表2。

1.3 图像评价影像资料均在GE AW4.7后处理工作站分析,包括 主观评价及客观评价。

1.3.1 主观评价 由2名工作10年以上放射科医师以横断面增强T₁WI 为参考,分别观察b值为600s/mm² 的各组MUSE-DWI图像,对图像清晰度、磁敏感伪影、图像失真变形程度进行5级评分。其中, 图像变形评分:测量各MUSE DWI序列病灶显示最大层面其左右径及前后径,计算其与同层面增强轴位T₁WI所示病灶左右径及前后

1.3.2 客观评价 评价指标包括信噪比(signal to noise ratio, SNR)、 对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。所有测量均由1名具有 10年工作经验的影像科主管技师重复测量3次,结果取均值。于b 值为600s/mm²的MUSE-DWI图像上选取显示病变实性成分最好的 层面,于无明显伪影及图像变形区域勾画大小为10~20mm²ROI,

将该R0I复制到MUSE-DWI各序列图像相同位置,测量病灶平均 信号强度(signal intensity, SI)、病灶周围非瘤组织SI及标准差 (standard deviation, SD)。在头颈影像外背景空气中选取面积为 10mm²的R0I,将该R0I复制到MUSE-DWI各序列图像相同位置,

测量背景空气的SD,计算信噪比和对比噪声比。SNR_{病灶}=SI_{病灶}/SD 空气,SNR_{组织}=SI_{组织}/SD_{空气},CNR=SNR_{病灶}-SNR_{组织}。

1.4 统计学方法 采用SPSS 26.0统计分析软件。采用均值土标

准差表示符合正态分布的资料,以中位数(上下四分位数)表示不符合正态分布的资料。2名阅片医师的一致性采用组内相关系数(intra-class correlation coeficient, ICC)检验。ICC评分<0.2表示一致性程度较差;0.2~0.4为一致性程度一般;0.4~0.6为一致性程度中等;0.6~0.8为一致性程度较强;0.8至1.0则表示一致性程度很强。先采用配对t检验或Wilcoxon秩和检验对比不同NS数的主观及客观评价。后采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)及LSD法(Least—Significant Difference)比较NS数、不同步级数的MUSE-DWI序列的客观评价,采用Friedman检验及Nemenyi后续检验来比较主观评价。

2 结 果

2.1 图像的主观评价 2名医师对MUSE-DWI各序列鼻咽癌病灶显示的主观评价结果一致性均较好(P均<0.05,表4)。相位方向编码步数为228时不同NS的MUSE-DWI主观评价结果(表5)显示,NS分段为2和3的图像间病灶SNR、CNR及主观评分差异有统计学意义(P<0.05),NS为3的MUSE-DWI序列SNR、CNR均高于NS为2的图像,病灶清晰度、图像伪影、抗变形能力的主观评分均优于NS为2的MUSE-DWI(图1A-1B);NS为3时相位方向不同编码步数的MUSE-DWI主观评价结果(表6)显示,NS为3时相位方向编码步数为192的图像病灶主观评分略高于228的评分,编码步数为168的图像病灶主观评分略高于192的评分(图1B-1D),各组SNR、CNR 差异无统计学意义(P>0.05)。

表1 相位方向不同的分段采样数	组
-----------------	---

Number of shots	Field-of-view(mm ²)	Matrix size	Acquisition Time	Acceleration factor
2	230×230	228×228	2min53s	1
3	230×230	228×228	2min42s	1

表2 相位方向不同的编码步数组

Number of shots	Field-of-view(mm ²)	Matrix size	Acquisition Time	Acceleration factor
3	230×230	228×228	2min42s	1
3	230×195	228×192	3min13s	1
3	230×161	228×168	2min59s	1

表3 图像主观评分标准

评分	图像清晰度	磁敏感伪影	图像变形(病灶左右径、前后径差值绝对值)
5分	正常组织结构和病变可明确分辨和显示,其间对比明显	无伪影	≤1mm
4分	正常组织结构和病变可较好地分辨和显示	轻微伪影,可较好分辨和显示正常组织结构和病	亏变 >1mm且≤3mm
3分	病灶及周围组织尚可辩别但病变显示模糊	存在少许伪影,可以分辨正常组织结构和病灶	>3mm且≪6 mm
2分	图像较模糊,可大致分辨部分正常组织结构和病灶	伪影较多,可大致分辨部分正常组织结构和病灶	± >6mm且≤9mm
1分	图像非常模糊,无法辨认病灶及周围组织结构	伪影严重,无法发现病灶	>9mm

表4 两名医生对4组DWI的主观评价一致性分析

类别	类别 MUSE-DWI(NS=2,228×228)		MUSE-DWI(NS=3,228×228)		MUSE-DWI(NS=3,228×192)		MUSE-DWI(NS=3,228×168)	
	ICC值	P值	ICC值	P值	ICC值	P值	ICC值	P值
清晰度	0.82	<0.01	0.61	<0.01	0.90	< 0.01	0.93	< 0.01
伪影	0.61	0.01	0.60	0.01	0.68	< 0.01	0.70	0.02
变形	0.74	<0.01	0.68	< 0.01	0.65	< 0.01	0.65	<0.01

表5 相位方向编码步数为228时不同NS的MUSE-DWI主观评价结果比较(分,n=50)

图像		图像清晰度	图像伪影	图像变形	
医生A	MUSE-DWI(NS=2,228×228)	3(3,4)	3(3,4)	3(3,4)	
	MUSE-DWI(NS=3,228×228)	4(4,5)	4(4,4)	4(4,4)	
	Z值	-3.46	-2.92	-2.71	
	P值	< 0.001	< 0.001	< 0.001	
医生B	MUSE-DWI(NS=2,228×228)	4(3,4)	3(3,4)	3(3,4)	
	MUSE-DWI(NS=3,228×228)	4(4,5)	4(4,4)	4(4,4)	
	Z值	-3.61	-2.60	-2.88	
	P值	<0.001	<0.001	<0.001	

表6 NS为3时相位方向不同编码步数的MUSE-DWI主观评价结果比较(分,n=50)

指标	MUSE-DWI(228×228)	MUSE-DWI(228×192)	MUSE-DWI(228×168)	x ² 值	P值ª	P值 ^b (A.VS.B)	P值 ^b (A.VS.C)	P值 ^b (B.VS.C)
清晰度	4(4,5)	5(4,5)	5(5,5)	26.58	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
伪影	4(4,4)	4(4,4)	4(4,4)	1.20	0.98	_	_	_
变形	4(4,4)	4(4,4)	4(4,4)	0.87	0.84	_	_	_

注: a: Friedman检验; b:Nemenyi后续检验; A、B、C分别代表MUSE-DWI(228×228)、MUSE-DWI(228×192)、MUSE-DWI(228×168)。

2.2 图像的客观参数 先用配对样本t检验比较,相位方向编码步 素方差分析NS=3、相位方向不同编码步数的MUSE-DWI序列(表 数为228时NS=2和NS=3时的MUSE-DWI客观评价(表7)。经统计 8),组间差异不显著(P>0.05)。 学分析,NS=3的SNR和CNR均高于NS=2的MUSE-DWI。用单因

表7 相位方向编码步数为228时不同NS的MUSE-DWI客观评价结果比较(n=50)

序列	SNR _{病灶}	CNR
MUSE-DWI(NS=2,228×228)	19.47±2.70	12.65±2.65
MUSE-DWI(NS=3,228×228)	25.54±2.58	17.27±2.82
t值	-7.48	-7.73
P值	<0.01	<0.01

表8 NS为3时相位方向不同编码步数的MUSE-DWI客观评价结果比较(n=50)

序列	SNR _{病灶}	CNR
MUSE-DWI(NS=3,228×228)	25.54±2.58	17.27±2.82
MUSE-DWI(NS=3,228×192)	22.34±3.17	14.85±3.36
MUSE-DWI(NS=3,228×168)	21.34±9.10	15.52 ± 2.99
F值	2.84	1.85
P值	0.73	0.82



图1A-图1B 患者男, 33岁, 鼻咽癌, 鼻咽部轴位。图1A: MUSE-DWI(NS=2,228×228), 图1B: MUSE-DWI(NS=3,228×228), 图1C: MUSE-DWI (NS=3, 228×192)。



图1D: MUSE-DWI (NS=3,228×168), 图像清晰度评分分别为2分、3分、4分、5分; 伪影评分分 别为2分、3分、4分、4分; 变形评分分别为2分、3分、4分、4分。图1E: 轴位增强T1WI (箭示 病灶)。

3 讨 论

传统弥散方法SS-EPI DWI以EPI方式采集,形成迂回的K空间 填充轨迹,由于T₂*弛豫信号衰减导致图像模糊,并且随着分辨率 的提高,回波间隙变长,T₂*衰减严重,因此,很难进行高分辨成 像^[5-6];此外,EPI序列没有重聚脉冲的作用,不能消除各种原因 所致的相位信息错误,从而出现图像扭曲变形,尤其在颅底等磁 化率变化大的组织/空气边界。

EPI图像模糊与畸变的尺度与沿相位方向的k空间采集速度相 关^[5]。本研究通过同步减小相位方向视野和相位方向编码步数, 在采集体素不变时,回波链变短,从而减少失真和T₂*模糊,但同 时会缩小有效的观察范围。本研究中,NS为3时相位方向编码步 数为192的图像清晰度的主观评分略高于228的评分,步数为168 的图像清晰度主观评分略高于192的评分,而各组间图像伪影、 变形主观评分差异较少,考虑为相位方向编码步数的变化对图像 清晰度影响较大,而伪影及形变由于采用的是5分法评价,相差 较小时无法在统计学中表现出来。

与SS-EPI DWI相比,分段多次激发EPI技术包括相位分段及 读出分段DWI已被证实可以更好的实现高分辨扩散成像、较少的 模糊和形变^[7,16-18]。MUSE-DWI是一种多次激发、沿相位方向分段 读取数据的弥散成像技术,可降低回波链长度、减少相位累积错 误,从而提高图像分辨率、减少T₂*模糊效应、磁敏感伪影和图像 变形,提高病变和组织之间的对比和诊断可信度^[7,19-20]。MUSE-DWI利用多通道线圈接收带有卷褶信息的原始数据,利用并行成 像技术将每次激发采集到的图像进行重建,再利用迭代求逆的算 法消除每次激发之间的相位不一致,最后将校正后的不同激发之 间的图像融合,得到最终图像^[7]。Baxter GC研究表明^[10],对于 MUSE DWI,无论使用2次或3次分段激发,图像的变形及模糊都 有所改善,3次激发的图像质量、主客观评价均优于2次,与本研 究结果一致。

MUSE-DWI序列较常规SS-EPI DWI呈现出更高的SNR、 CNR、更高的空间分辨率及更精确的ADC^[21],图像伪影少,抗 变形能力好,但成像时间较长,扫描效率低^[9]。综合考虑扫描时 间和图像质量,在不影响观察区显示野时,推荐使用NS为3、相 同体素下相位方向编码步数越少的MUSE-DWI序列显示鼻咽癌更 优。本研究样本量有限,有待收集更多病例进一步观察。

参考文献

- [1] 邹金梅,张建,王鹏,等.高分辨率扩散加权成像鉴别T1期鼻咽癌与淋巴组织增生的价值[J].实用放射学杂志,2021,37(2):199-202.
- [2]刘礼鸿,刘祥治,陈仲良,等.鼻咽癌临床分期确定中采用磁共振弥散加权成像的效 果分析[J].影像研究与医学应用,2021,5(24):101-103.
- [3]黄立敏,雷竹,曹雪,等.磁共振扩散成像在鼻咽癌靶区勾画临床应用价值[J].中华 肿瘤防治杂志,2018,25(18):1318-1322.

- [4] 芮银芳, 彭小保, 周楠, 等. 扩散加权成像预测鼻咽癌局部复发的价值[J]. 中国CT和 MRI杂志, 2023, 21 (10): 49-52.
- [5]Wu W, Miller KL. Image formation in diffusion MRI:a review of recent technical developments [J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 46 (3): 646-662.
- [6] 韩鸿宾,谢敬霞. MR平面回波快速成像技术与常规MRI的比较研究[J]. 中国医学影像 技术, 2000, 16 (5): 414.
- [7] Chen X, Zhang Y, Cao Y, et al. A feasible study on using multiplexed sensitivity-encoding to reduce geometric distortion in diffusionweighted echo planar imaging [J]. Magn Reson Imaging, 2018, 54: 153-159.
- [8] Johansson J, Lagerstrand K, Ivarsson L, et al. Brain diffusion MRI with multiplexed sensitivity encoding for reduced distortion in a pediatric patient population[J]. Magn Reson Imaging, 2022, 87: 97-103.
- [9]黄梓杰,胡玉芳,覃宝仪,等.多重灵敏度编码扩散加权成像在提高鼻咽癌图像质量的应用研究[J].实用放射学杂志,2023,39(7):1179-1182.
- [10] 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.
- [11]Kim YY, Kim MJ, Gho 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: 109292.
- [12] 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 Oncol, 2022, 12: 788731.
- [13] Chang HC, Chen G, 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, 2022, 55 (1): 126-137.
- [14] 刘琴,周智鹏. 直肠癌MUSE-DWI与常规DWI成像对比研究[J]. 放射学实践, 2023, 38 (10): 1291-1296.
- [15]于阳,赵澄,李琼阁,等. MUSE技术在改善脑胶质瘤扩散张量成像质量中的价值研究
 [J].磁共振成像,2022,13(10):164-168.
- [16] Zhao M, Liu Z, Sha Y, et al. Readout-segmented echo-planar imaging in the evaluation of sinonasal lesions: a comprehensive comparison of image quality in single-shot echo-planar imaging [J]. Magn Reson Imaging, 2016, 34 (2): 166-172.
- [17] 许春苗,袁军辉,陈学军,等.比较3.0TMRI读出方向上的分段扩散成像技术 与平面回波扩散加权成像技术对鼻咽癌的诊断价值[J].中华放射学杂志, 2016,50(8):586-589.
- [18] 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.
- [19] 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: 41-47.
- [20] 夏琬君, 贾艺璇, 赵敏, 等. MUSE DWI和常规DWI在乳腺良恶性病变中的研究 [J]. 中国 CT和MRI杂志, 2024, 22 (4): 80-81.
- [21]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.

(收稿日期: 2024-05-31) (校对编辑:赵望淇)