doi:10.11659/jjssx.12E024125

·临床研究·

MRI膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列在婴幼儿腹部增强成像中的应用研究

郭 迪[1],李钱程[1],李成龙[1],李世宪[2],卢力亚[1],王书娟[1],刘畅畅[1],代秀红[1] (1.徐州市儿童医院放射科,江苏 徐州 221000;2.徐州市儿童医院普外科,江苏 徐州 221000)

[摘 要] **目的** 探讨MRI膈肌导航技术结合三维肝脏快速容积采集(3D LAVA-FLEX)序列在婴幼儿腹部增强成像中的应用价值。**方法** 回顾性分析2021年1月至2023年12月我院84例行腹部增强MRI检查的婴幼儿影像学资料。84例婴幼儿均先接受常规动态增强3D LAVA-FLEX序列扫描,所得延迟期图像纳入动态增强组;随后实施膈肌导航技术联合3D LAVA-FLEX序列检查,所得图像纳入膈肌导航组。对2组图像进行主观评分,测量并比较2组图像信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)、伪影量化(AQ)。**结果** 膈肌导航组图像呼吸运动伪影、肝实质强化的清晰度、肝血管强化的清晰度、脾实质强化的清晰度、整体的图像质量评分均高于动态增强组图像,差异具有统计学意义($P<0.05$)。2组图像SNR、AQ比较,差异有统计学意义($P<0.000\ 1$);而2组图像CNR比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列成像可提高婴幼儿腹部MRI增强成像的图像质量,为临床诊疗提供参考。

[关键词] 膈肌导航技术;婴幼儿;腹部动态增强;磁共振成像
[中图分类号] R445.2 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-12-23

Application of MRI diaphragmatic navigation technology combined with 3D LAVA-FLEX sequence in abdominal enhanced imaging of infants and young children

GUO Di[1], LI Qian-cheng[1], LI Cheng-long[1], LI Shi-xian[2], LU Li-ya[1], WANG Shu-juan[1], LIU Chang-chang[1], DAI Xiu-hong[1] (1. Department of Radiology, Xuzhou Children's Hospital, Xuzhou Jiangsu 221000, China; 2. Department of General Surgery, Xuzhou Children's Hospital, Xuzhou Jiangsu 221000, China)

Abstract: Objective To explore the application value of MRI diaphragmatic navigation technology combined with three dimensional liver acquisition with volume acceleration-flexible (3D LAVA-FLEX) sequence in abdominal enhanced imaging of infants and young children. **Methods** A retrospective analysis was conducted on imaging data of 84 infants and young children who underwent abdominal enhanced MRI examination in our hospital between January 2021 and December 2023. All 84 infants and young children initially underwent conventional dynamic contrast-enhanced 3D LAVA-FLEX sequence scanning; the delayed phase images obtained were included in the dynamic enhancement group. Subsequently, diaphragmatic navigation combined with 3D LAVA-FLEX sequence examination was implemented, and the obtained images were included in the diaphragm navigation group. Subjective scoring was performed for images in

[基金项目] 江苏省徐州市卫生健康委医学科技创新项目(XWKYHT 20230018)
[通信作者] 李钱程,E-mail:xzlqcv@163.com

[10] 杜小强,吴俊雄,郭丽娜,等.超声引导腰方肌阻滞与腹横肌平面阻滞在全腹式子宫切除术后的镇痛效果比较[J].青岛大学学报(医学版),2024,60(3):417-421.doi:10.11712/jms.2096-5532.2024.60.100.
[11] 周瑞芬,朱曼华,王玲志.罗哌卡因复合曲马多腰方肌阻滞对老年前列腺癌手术的应用效果[J].中国临床药学杂志,2024,33(3):199-204.doi:10.19577/j.1007-4406.2024.03.006.
[12] 蔡 敏,尹 泓,易明亮,等.超声引导下经弓状韧带上或前路腰方肌阻滞在腹腔镜全子宫切除术中的比较[J].临床麻醉学杂志,2022,38(3):229-233.doi:10.12089/jca.2022.03.001.
[13] 杨 越,朱 琦.腰方肌阻滞联合喉罩全麻在老年腹腔镜胆囊切除术中的麻醉效果[J].中国老年学杂志,2025,45(1):53-57.doi:10.3969/j.issn.1005-9202.2025.01.015.
[14] 曾昭平,龙 翔,谢晓燕,等.氢吗啡酮联合腰方肌阻滞在老年腹腔镜结肠癌根治术患者术后镇痛中的应用效果观察[J].山东医药,2023,63(22):46-49.doi:10.3969/j.issn.1002-266X.2023.22.011.
[15] 陈 军,张南南,张 帆,等.布比卡因脂质体腹横肌平面阻滞在腹腔镜妇科手术镇痛中的应用效果观察[J].山东医药,2024,64(29):34-38.doi:10.3969/j.issn.1002-266X.2024.29.008.
[16] 仲明杰,刘 勇,陈 悦,等.竖脊肌平面阻滞对胸腔镜下老年肺癌根治术后谵妄及认知功能的影响[J].局解手术学杂志,2024,33(8):718-721.doi:10.11659/jjssx.09E023007.
[17] 朱曼华,应骐潞,王玲志,等.氟比洛芬联合腰方肌阻滞对老年患者全身麻醉肾切除术后神经认知功能及炎症反应的影响[J].中国新药与临床杂志,2024,43(6):450-454.doi:10.14109/j.cnki.xyylc.2024.06.11.

(编辑:魏 源)

both groups, while the signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR), and artifact quantification (AQ) were measured and compared between the two groups. **Results** The respiratory motion artifacts, the clarity of liver parenchyma enhancement, the clarity of liver vascular enhancement, the clarity of spleen parenchyma enhancement and the overall image quality score in the diaphragm navigation group were higher than those in the dynamic enhancement group, and the differences were statistically significant (P<0.05). There were statistically significant differences in SNR and AQ between the two groups of images (P<0.000 1), while there was no statistically significant difference in CNR between the two groups of images (P>0.05). **Conclusion** Diaphragmatic navigation technology combined with 3D LAVA-FLEX sequence imaging can improve the image quality of abdominal MRI enhanced imaging in infants and young children, and provide a reference for clinical diagnosis and treatment.

Keywords: diaphragmatic navigation technology; infants and young children; abdominal dynamic enhancement; magnetic resonance imaging

MRI具有多参数、无辐射、软组织对比度高的优点,在腹部成像中具有显著应用价值[1-2]。三维肝脏快速容积采集(three dimensional liver acquisition with volume acceleration-flexible,3D LAVA-FLEX)序列一次扫描可获得四种对比度图像,即水相图、脂相图、同相位图、反相位图[3]。3D LAVA-FLEX序列已被广泛应用于腹部MRI动态增强成像,但对呼吸运动伪影敏感[4]。研究证实,结合膈肌导航技术可有效抑制平静呼吸的运动干扰,获得诊断所需图像质量。然而,婴幼儿呼吸幅度大、配合能力差、脏器移动大,常导致显著运动伪影。目前,该技术在婴幼儿腹部MRI成像中的应用尚缺乏系统性研究和临床报道。本研究通过分析MRI膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列在婴幼儿腹部增强检查中的成像特征,旨在提升婴幼儿MRI腹部增强的图像质量,为临床诊疗提供可靠依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析2021年1月至2023年12月在徐州市儿童医院行腹部增强MRI检查的84例患儿的检查图像,其中男47例,女37例,年龄0.25~3.00岁,中位年龄2.40岁。纳入标准:镇静后的腹部增强图像。排除标准:存在严重伪影的图像。本研究经徐州市儿童医院伦理委员会审核并批准(批准号:2024-06-06-k06)。

1.2 分组方法

本研究中84例患儿均接受了常规动态增强3D LAVA-FLEX序列扫描及膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列扫描。根据扫描方案差异,将采用常规动态增强3D LAVA-FLEX序列采集的延迟期图像纳入动态增强组,而采用膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列采集的图像纳入膈肌导航组。每组均包含84例患儿的影像学资料。

1.3 检查方法

采用GE Discover 750 3.0T磁共振仪,婴幼儿专用8通道体部线圈,患儿取仰卧位,足先进,双手上举不要交叉,常规放置呼吸门控装置,使用腹带包裹软海绵固定患儿腹部,无磁监护仪监测患儿心率及血氧饱和度,患儿检查前4 h禁食、禁水。

镇静方案:检查前15~20 min按0.5~0.7 mL/kg剂量给予10%水合氯醛口服镇静,待镇静效果满意后实施MRI检查。采用高压注射器经静脉以1.5 mL/s流速推注对比剂钆喷酸葡胺0.2 mL/kg。

动态增强组扫描参数:重复时间(TR)4 ms,回波时间(TE)1.7/2.3/1.2 ms,视野(FOV)280 mm×252 mm,矩阵256×224,层厚4 mm,层间距-2 mm,带宽166.7 kHz,翻转角15°,激励次数(NEX)为1。行动脉期、静脉期及延迟期三期扫描,每期扫描时间10~18 s。

膈肌导航组扫描参数:完成常规动态增强3D LAVA-FLEX序列扫描后,维持相同扫描范围,即刻应用膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列进行扫描。扫描参数同前,扫描时间30~60 s。膈肌导航跟踪器长度设为100 mm,厚度设为20 mm。在冠状位定位像上将膈肌导航跟踪器的中心置于右侧膈面最顶部,使其一半覆盖肝脏区域,一半覆盖右肺区域,采集效率30%~40%。

1.4 图像主观评价

由2名高年资磁共振医师各自盲法阅片并评价图像。图像质量主观评分包括图像呼吸运动伪影、肝实质强化的清晰度、肝血管强化的清晰度、脾实质强化的清晰度、整体图像质量[5]。评分标准:1分,图像呼吸运动伪影严重,肝实质、肝血管、脾等结构无法分辨解剖细节,无法满足诊断;2分,图像呼吸运动伪影较大,肝实质、肝血管、脾等结构边界模糊,细节显示不清,无法满足诊断;3分,图像呼吸运动伪影小,肝实质、肝血管、脾等结构边界略模糊,细节可辨认,可满足诊断需求;4分,图像呼吸运动伪影轻微,肝实质、肝血管、脾等结构边界清晰,细节显示良好,满足诊断需求;5分,图像几乎没有呼吸伪影,肝实质、肝血管、脾等结

构边界锐利,解剖细节显示完美,完全满足诊断需求。2名医师的图像评分结果取平均值,总分1~5分,3分及以上为满足诊断需求。

1.5 图像客观评价

在图像的肝及脾实质区设置感兴趣区域(region of interest, ROI),尽量避开血管,ROI面积约为25 mm^2,分别测量ROI信号强度(signal intensity, SI)和噪声强度标准差(standard deviation, SD)。计算肝实质信噪比(signal to noise ratio, SNR)及肝脾对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。公式:$SNR_{肝}=SI_{肝}/SD_{肝}$;$CNR_{肝-脾}=|(SI_{肝}-SI_{脾})|/[(SD_{肝}+SD_{脾})/2]$[4]。伪影量化(artifact quantification, AQ)采用基于小波变换的伪影检测算法自动识别伪影区域,并计算伪影区域在整体图像中的面积占比。

1.6 统计学分析

采用SPSS 26.0统计学软件进行分析。2组序列图像评分比较采用t检验。2组序列图像SNR、CNR及AQ比较采用配对t检验,$P<0.05$为差异有统计学意义。采用*Kappa*检验分析主观评分一致性。

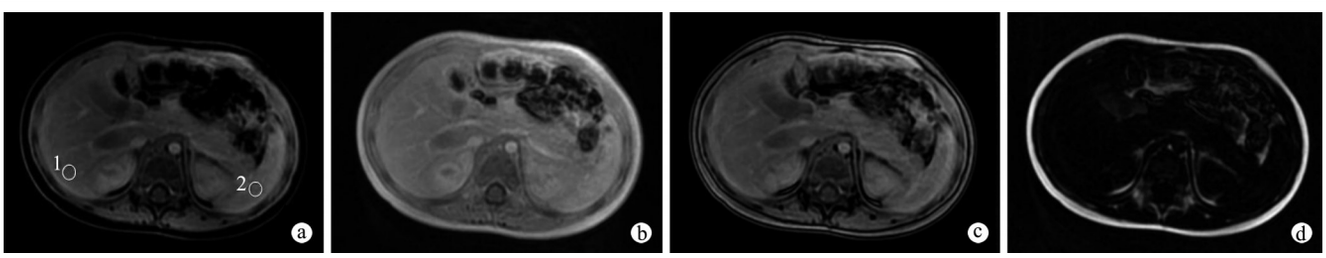
2 结果

2.1 图像主观评价

膈肌导航组图像呼吸运动伪影、肝实质强化的清晰度、肝血管强化的清晰度、脾实质强化的清晰度、整体图像质量评分均高于动态增强组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。2名医师主观评分具有较好的一致性,见表1。膈肌导航组与动态增强组图像见图1、2。

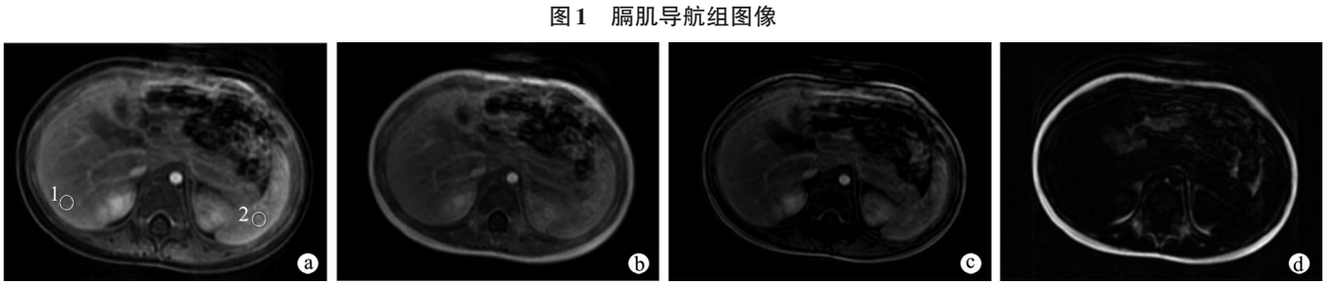
表1 2组图像的主观评分比较(分)

组别	图像呼吸运动伪影	肝实质强化的清晰度	肝血管强化的清晰度	脾实质强化的清晰度	整体图像质量
膈肌导航组	4.52±0.45	4.46±0.41	4.60±0.42	4.54±0.46	4.63±0.45
动态增强组	3.60±0.57	3.96±0.67	4.06±0.66	4.13±0.52	4.31±0.44
t	9.325 7	4.029 3	3.290 5	3.045 4	2.127 8
P	<0.000 1	0.000 5	0.003 2	0.005 7	0.044 3
Kappa	0.772 6	0.608 1	0.643 9	0.709 1	0.808 3



a:水相图像(兴趣区设置见圈1、2);b:同相位图像;c:反相位图像;d:脂相图像

图1 膈肌导航组图像



a:水相图像(兴趣区设置见圈1、2);b:同相位图像;c:反相位图像;d:脂相图像

图2 动态增强组图像

2.2 图像客观评价

2组图像的SNR、AQ值比较,差异均有统计学意义($P<0.000\ 1$);2组图像CNR比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表2。

表2 2组图像的SNR、CNR、AQ比较

组别	SNR	CNR	AQ(%)
膈肌导航组	32.82±9.57	4.07±2.23	3.10±1.23
动态增强组	21.76±6.63	3.07±1.99	7.80±2.34
t	6.446 1	1.962 4	3.046 0
P	<0.000 1	0.061 9	<0.000 1

3 讨论

3D LAVA-FLEX是一种基于三维内插容积激发的T1加权高分辨率序列,单次扫描即可同步获取四种相位图像,其在时间分辨率、空间分辨率及脂肪抑制效能方面具有显著优势[6]。常广泛用作腹部MRI动态增强(dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)扫描序列。于瑞磊等[7]研究表明,成年患者经腹带固定后,指导其维持平静状态下的浅慢均匀呼吸,结合基于压缩感知(compressed sensing,

CS)技术的肝脏DCE-MRI序列,可有效实现自由呼吸状态下的肝脏扫描。该方法所获图像质量较优,可精确反映肝内病灶的血流灌注特征。然而,婴幼儿群体因缺乏自主配合能力,难以完成屏气训练,常导致影像质量受损。此外,婴幼儿特有的腹式呼吸模式、腹腔器官活动度较大以及组织对比度较低等因素,亦是导致成像质量不佳的关键因素。

本研究结果显示,膈肌导航组图像的SNR明显高于动态增强组,AQ低于动态增强组。该客观结果与主观评价认为膈肌导航组图像总体质量评分高于动态增强组的结论较一致。据此,分析认为:①施加膈肌导航技术能够有效捕捉婴幼儿呼吸周期中相对稳定的呼吸时相进行数据采集,克服了婴幼儿呼吸不规则性及幅度大等因素对婴幼儿腹部增强图像质量的影响,从而提高了图像整体质量。毕正宏等[8]研究也表明,膈肌导航技术可实时追踪膈肌运动轨迹,仅在预设呼吸幅度阈值内(通常为呼气末相对平静期)触发扫描,避免采集呼吸运动幅度最大的吸气相及深呼气相,从而显著减少运动伪影。②3D LAVA-FLEX序列是基于Dixon两点法技术,利用脂肪和水质子间的化学位移差异,通过采集同相位与反相位图像分离水脂信号。该技术结合独特的区域增长和相位校正算法,能有效克服磁场不均匀性,提高图像整体质量[9-10]。③膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列可更好地补偿呼吸运动引起的相位误差,进一步减少伪影产生。此外,本研究结果显示,2组图像的CNR差异无统计学意义。分析原因可能为CNR不仅取决于SNR,亦受组织对比度影响。然而,CNR的计算涉及肝和脾信号强度的差异,2组图像在肝实质与脾的对比度上可能较为接近,进而导致CNR差异不显著。

相较于既往针对成人的研究[11-13],本研究凸显了膈肌导航技术在无法配合呼吸指令的婴幼儿群体中的独特优势。成人研究依赖的主动呼吸训练模式在婴幼儿群体中完全失效,而膈肌导航的被动追踪特性恰可弥补此缺陷。尽管膈肌导航组扫描时间(30~60 s)较常规动态增强组(每期10~18 s)延长,但其单次扫描同步获取高质量多参数图像的能力显著提升了检查效率,可避免因运动伪影导致的重复扫描,整体上未增加患儿镇静风险及检查耗时。

本研究局限性:①样本量相对有限,且未对不同年龄段婴幼儿(如婴儿期与幼儿期)的呼吸模式差异及技术适用性进行亚组分析。②膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列在动态增强序列扫描完成后才开始扫描,因此所测量兴趣区内的信号强度可能受到对比剂代谢浓度变化的影响,进而可能影响图像的SNR及CNR。③膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列存在时间分辨率不足的问题,有待于后期优化此技术参数,以提高扫描效率。

综上所述,膈肌导航技术结合3D LAVA-FLEX序列可显著提升婴幼儿腹部增强图像质量,有效抑制图像呼吸运动伪影,在肝实质强化特征分析、血管结构显示及脂肪抑制评估等方面具有重要临床参考价值。

[参考文献]

[1] Bello RD, Lapaeva M, Saint-Esteven ALG, et al. Patient-specific quality assurance strategies for synthetic computed tomography in magnetic resonance-only radiotherapy of the abdomen[J]. Phys Imaging Radiat Oncol, 2023, 27: 100464. doi: 10.1016/j.phro.2023.100464.

[2] 陈晓恺,翟钰瑄,毛 涛,等. 直肠高分辨MRI评估直肠癌术前T、N分期的价值分析[J]. 影像技术,2025,37(2):3-7.

[3] Samji K, Alrashed A, Shabana WM, et al. Comparison of high-resolution T1W 3D GRE (LAVA) with 2-point Dixon fat/water separation (FLEX) to T1W fast spin echo (FSE) in prostate cancer (PCa)[J]. Clin Imaging, 2016, 40(3): 407-413. doi: 10.1016/j.clinimag.2015.11.023.

[4] 方子榕,陈秋雁,叶 灵,等. 压缩感知联合并行采集技术的屏气3D LAVA FLEX序列在肝脏磁共振快速成像中的应用[J]. 磁共振成像,2024,15(2):155-161. doi:10.12015/issn.1674-8034.2024.02.023

[5] Yedururi S, Kang HC, Wei W, et al. Free-breathing radial volumetric interpolated breath-hold examination vs breath-hold cartesian volumetric interpolated breath-hold examination magnetic resonance imaging of the liver at 1.5T[J]. World J Radiol, 2016, 8(7): 707-715. doi: 10.4329/wjr.v8.i7.707.

[6] Liu TF, Wang YH, Xu ZY, et al. Application study of 3D LAVA-Flex on lumbar intervertebral disc degeneration[J]. Eur J Med Res, 2021, 26(1): 43. doi: 10.1186/s40001-021-00512-y.

[7] 于瑞磊,刘希胜. 压缩感知技术在肝脏动态对比增强MRI中的应用研究[J]. 医疗卫生装备,2020,41(12):72-75. doi:10.19745/j.1003-8868.2020279.

[8] 毕正宏,梁馨月,陈财忠,等. 三种自由呼吸门控技术在肝脏MRI中的临床应用对比[J]. 放射学实践,2023,38(2):216-221. doi:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.02.018.

[9] 方 昕,韦 超,李信响,等. 磁共振成像三种增强序列对骨和软组织病变增强效果的比较研究[J]. 中国医学装备,2023,20(2):24-29. doi:10.3969/J.ISSN.1672-8270.2023.02.005.

[10] 余景火,储 蕾,丁雪怡,等. GRASP自由呼吸动态对比增强MRI与常规BH-VIBE序列在肺癌图像质量中的对比研究[J]. 实用放射学杂志,2024,40(1):123-126. doi:10.3969/j.issn.1002-1671.2024.01.029.

[11] 王雪莹,顾 霞,许 冰,等. 优化膈肌定位准确性提高磁共振无对比剂冠脉成像图像质量的应用效果[J]. 中国医疗设备,2022,37(4):86-89. doi:10.3969/j.issn.1674-1633.2022.04.022.

[12] 袁 颖,任 浩,钟朝辉,等. LAVA-Flex序列结合膈肌导航技术在肝脏T1WI中的应用[J]. 中国临床医学影像杂志,2023,34(2):123-126. doi:10.12117/jccmi.2023.02.011.

[13] 李 成,周林江,陈晓荣,等. 相位导航和膈肌导航在老年患者三维MR胰胆管成像薄层扫描中的应用研究[J]. 实用放射学杂志,2024,40(1):119-122. doi:10.3969/j.issn.1002-1671.2024.01.028.

(编辑:贺绍梅)