

论 著

3D Vane序列结合膈肌导航技术在肝脏T1WI中应用的可行性探讨*

穆 晶 袁 颖*

首都医科大学附属北京友谊医院放射科
(北京 100050)

【摘要】目的 对比分析常规肝脏T1WI快速成像屏气检查3D mDixon序列与应用膈肌导航技术在自由呼吸下采集的3D Vane序列的图像质量, 探讨膈肌导航技术结合3D Vane序列自由呼吸下扫描肝脏T1WI检查中的可行性。方法 选取2023年3月至10月期间的70名肝脏MR扫描患者, 根据患者屏气情况分成A组(≥ 18 s)、B组(< 18 s), 两组均采用常规3D mDixon序列进行屏气扫描与膈肌导航技术结合3D Vane序列自由呼吸扫描。由2名具有多年诊断经验的医师采用双盲法对图像的肝脏边缘锐利度、肝脏血管清晰度、脂肪抑制效果及图像伪影四个方面对图像质量进行主观评分, 并在肝门水平面选取肝脏右叶、竖脊肌及背景区域划定感兴趣区(ROI), 测量两组图像肝脏及竖脊肌的信号强度(signal, SI)及图像背景噪声值(standard deviation, SD), 并且计算图像的信噪比(signal to noise, SNR)及对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。使用配对样本t检验和Wilcoxon检验对两组肝脏图像信噪比、对比噪声比及两组图像主观评分进行统计学分析。结果 实验A组的3D Vane序列与3D mDixon序列的SNR、CNR及主观评分差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。实验B组3D Vane序列的SNR为 35.84 ± 9.10 , 高于3D mDixon序列, 差异有统计学意义($P<0.05$)。实验B组3D Vane序列图像主观评分均高于3D mDixon序列, 差异有统计学意义($P<0.05$)。结论 膈肌导航技术结合3D Vane序列可用于腹部T1WI中扫描。对于屏气欠佳或无法屏气配合的患者可在自由呼吸下扫描, 获得满足诊断要求的影像。

【关键词】膈肌导航技术; 3D VANE;
自由呼吸; 肝脏T1WI

【中图分类号】R333.4

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金项目(52227814);
国家自然科学基金面上项目
(批准号82371904)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.037

Feasibility Study of 3D Vane Sequence Combined with Diaphragm Navigation Technolo in Liver T1WI*

MU Jing, YUAN Ying*

Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100050, China

ABSTRACT

Objective To compare and analyze the image quality of 3D mDixon sequence and 3D Vane sequence collected by diaphragm navigation technique under free breathing in routine liver T1WI rapid imaging breath-hold examination, and to explore the feasibility of diaphragm navigation technique combined with 3D Vane sequence in scanning liver T1WI under free breathing. **Methods** A total of 70 patients with liver MR scan from March to October 2023 were selected and divided into group A (≥ 18 s) and group B (< 18 s) according to the patient's breath holding condition. Both groups used conventional 3D mDixon sequence for breath holding scan and diaphragm navigation technology combined with 3D Vane sequence free breathing scan. Two doctors with many years of diagnostic experience used a double-blind method to subjectively score the image quality in four aspects: liver edge sharpness, liver vascular clarity, fat suppression effect and image artifacts. The right lobe of the liver, erector spinae and background area were selected at the level of hepatic hilum to delineate the region of interest (ROI). The signal intensity and standard deviation of the liver and erector spinae of the two groups were measured, and the signal to noise (SNR) and contrast to noise ratio (CNR) of the image were calculated. Paired sample t test and Wilcoxon test were used to analyze the signal-to-noise ratio, contrast-to-noise ratio and subjective scores of the two groups of liver images. **Results** There was no significant difference in SNR, CNR and subjective score between 3D Vane sequence and 3D mDixon sequence in experimental group A (all $P>0.05$). The SNR of the 3D Vane sequence in the experimental group B was 35.84 ± 9.10 , which was higher than that of the 3D mDixon sequence, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). The subjective score of the 3D Vane sequence image in the experimental group B was higher than that of the 3D mDixon sequence, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** The diaphragmatic navigation technique combined with 3D Vane sequence can be used for scanning in abdominal T1WI. For patients with poor breath-holding or inability to hold their breath and cooperate, scanning can be performed under free breathing, and images that meet diagnostic requirements can be obtained.

Keywords: Diaphragmatic Navigation Technique; 3D VANE; Free Breathing; Liver T1WI

MRI成像技术采用多序列多参数成像, 具有高软组织分辨率, 无电离辐射的优势。呼吸运动是腹部MRI图像质量的重要影响因素之一, 有效地控制呼吸运动可以显著地提高腹部MRI图像质量^[1]。基于梯度回波的3D-mDIXON序列可以在一次屏气20秒以内完成肝脏扫描并获得四种对比度图像, 即脂相、水相、同相位、反相位^[2], 其优点是扫描时间短, 但同时其对呼吸运动较为敏感, 易产生运动伪影。3D Vane序列即3D-Vane-XD-mDixon(stack-of-stars acquisition with fat suppression using modified Dixon)序列, 该序列的数据采集在层面内采用放射状的填充方式, 而在层面间则采用的是 Cartesian(逐行径线)k空间填充方式, 每次采集k空间中过原点的一条线(称为一个spoke), 并采用伪黄金角方式(pseudo golden angle)填充, 所采集的spoke在k空间中实际分布类似于均匀分布, 因此可将运动伪影被分散至整个k空间, 并且符合奈奎斯特采样定理, 从而减少运动伪影^[3-4], 但在临床上, 对于呼吸不规则或呼吸幅度较大患者采集图像质量效果不佳。本研究应用膈肌导航技术结合3D VANE序列在自由呼吸下采集肝脏T1WI图像, 探讨膈肌导航技术结合3D VANE序列在肝脏MR检查中的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 前瞻性选取2023年3月到10月期间来我院进行上腹部平扫检查的70例患者作为研究对象, 其中男性患者43例, 女性患者27例, 年龄16~83岁, 平均 53.3 ± 24.7 岁。

纳入标准: 无MRI检查禁忌证, 按照最大屏气时间分为A组(屏气 ≥ 18 s)和B组(屏气 < 18 s), 其中A组40人, B组30人。本研究经我院伦理委员会通过, 所有患者均签署知情同意书。

1.2 设备与方法 采用Philips Ingenia DNA 3.0 T超导MRI扫描仪, 32通道体部表面相控阵线圈。患者检查前空腹至少6小时, 体位取足先进、仰卧位, 双臂置于头两侧, 避免双手交叉, 不能上举臂者, 将手臂置于身体两侧。两组均进行常规3D mDixon序列憋气扫描和结合膈肌导航技术的3D Vane序列的自由呼吸扫描, 保证两次扫描范围一致。扫描序列及参数如下: 3D mDixon序列: TR为3.6ms, TE为1.31ms/2.3ms, 翻转角 10° , FOV为 $38\text{cm} \times 38\text{cm}$, 扫描矩阵 212×212 , 扫描层厚4mm, 层间距-2mm, 扫描层数98层, 激励次数1次, 扫描时间18s。3D Vane序列: TR为4.7ms,

【第一作者】穆 晶, 女, 初级技师, 主要研究方向: 医学影像技术。E-mail: 756474993@qq.com

【通讯作者】袁 颖, 男, 主管技师, 主要研究方向: 医学影像技术。E-mail: 715337108@qq.com

TE为1.37ms/2.7ms，翻转角10°，扫描矩阵212x212，FOV为38×38cm，扫描层厚4mm，层间距-2mm，扫描层数为98，激励次数为1，采集覆盖百分比(radial percentage)设置为240%，该序列的理论扫描时间138s，实际扫描时间与患者呼吸节律相关。导航条中心置于冠状定位片的右侧膈顶。采集窗为±5mm，如图1所示。

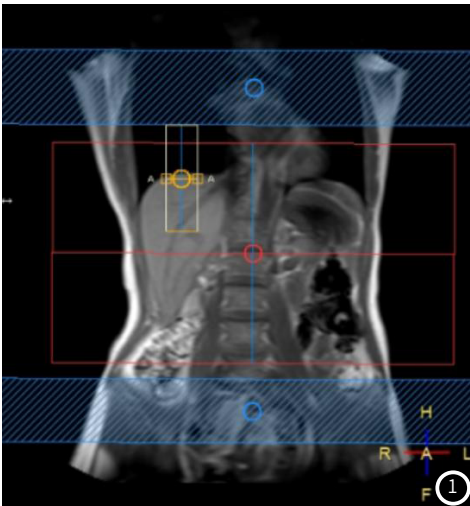


图1 自由呼吸序列导航条放置位置示意图。

1.3 图像处理及分析

1.3.1 图像主观分析 除去图像上显示的序列参数，由2名具有腹部MRI影像诊断经验的医师采用双盲法对图像肝脏血管的清晰度、肝脏边缘锐利度、脂肪抑制效果和图像伪影进行五分制主观评分，评分标准如下：1分，图像质量差，伪影重，肝脏结构及血管显示不清，图像不能用于诊断；2分，图像质量较差，伪影较重，部分肝脏结构及血管可以显示，病变模糊可见，严重影响图像诊断；3分，图像质量中等，伪影一般，部分肝脏结构及血管显示模糊，病变显示清晰，图像尚可诊断；4分，图像质量好，伪影较轻，肝脏结构及血管显示较清，图像诊断比较清晰；5分，图像质量好，无伪影，肝脏结构及血管显示清晰，对图像诊断没有影响。

1.3.2 图像客观分析 将图像传至飞利浦工作站(Philips Interspace Portal; Philips Healthcare)，分别选取两组图像中的压脂像，在肝门水平层面选取肝脏右叶、右侧竖脊肌、及同层面背景处分别放置感兴趣区(region of interest, ROI)，ROI应放置于信号均匀处，应尽量避免血管和肝管及病变，面积约为100-150mm²。测量两组图像的肝脏右叶及竖脊肌的信号值(signal, SI)以及背景噪声的信号标准差(standard deviation, SD)，相同患者两组图像的ROI取相同位置。图像信噪比SNR和对比噪声比CNR计算公式如下：

$$SNR=SI_{\text{肝脏}}/SD_{\text{肝脏}}$$
$$CNR_{\text{肝脏/竖脊肌}}=|(SI_{\text{肝脏}}-SI_{\text{竖脊肌}})|/SD_{\text{背景}}$$

1.4 统计学方法

采用SPSS 24.0进行数据统计学分析。应用Kappa一致性检验对主观评分进行分析，Kappa值<0.4代表一致性较差，0.41~0.6一致性中等，0.61~0.8一致性良好，>0.8一致性极好。对SNR、CNR及主观评分进行S-W正态性检验，若数据服从正态分布(P>0.05)，应用配对样本t检验分析其是否具有统计学差异，若数据不服从正态分布，应用wilcoxon配对秩和检验，评估其是否具有统计学差异，P<0.05有统计学意义。

2 结果

2.1 图像客观评价 两组实验对象的不同序列SNR、CNR及扫描时间见表1、表2。由于数据服从正态分布，故采用配对样本t检验。结果显示实验A组3D Vane序列及3D mDixon序列的SNR和CNR差异均无统计学意义(P>0.05)。实验B组3D Vane序列的SNR为35.84±9.10，高于3D mDixon序列，差异有统计学意义(P<0.05)。实验B组的3D mDixon与3D Vane序列的CNR分为33.96±22.10和38.49±27.11，差异无统计学意义(P>0.05)。

2.2 图像主观评价 2名医师对于图像主观评分的一致性较好(k1=0.630, k2=0.677; P<0.01)。实验A组3D Vane序列图像主观评分与3D mDixon序列无统计学差异(P>0.05)，实验B组3D Vane序列图像主观评分均高于3D mDixon序列，差异有统计学意义(P<0.05)，见表3。实验B组中患者屏气不佳，应用3D mDixon序列屏气扫描均产生明显呼吸运动伪影，应用3D Vane序列自由呼吸下扫描，获取图像满足临床诊断，见图2。

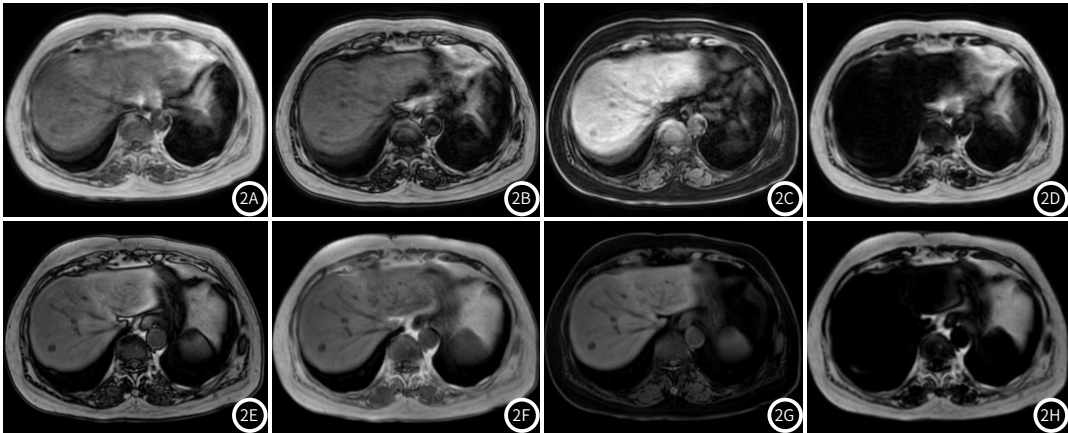


图2A-图2H 患者女，78岁，腹痛就诊，屏气时间<18s。
图2A-图2D 3D mDixon序列屏气扫描得到的水像、脂像、同相位、反相位四种对比图像，呼吸运动伪影较重。
图2E-图2H 3D Vane序列自由呼吸扫描得到的水像、脂像、同相位、反相位四种对比图像，可见肝脏S8段一类圆形异常信号，T1WI呈低信号。

表1 实验A组SNR、CNR及扫描时间(40例)

序列	SNR	CNR	扫描时间
3D mDixon	39.12±10.08	38.87±21.84	18s
3D Vane	39.21±11.65	41.62±23.98	120±48s
t	-0.049	-0.747	/
P	>0.05	>0.05	/

表2 实验B组SNR、CNR及扫描时间(30例)

序列	SNR	CNR	扫描时间
3DmDixon	27.09±8.93	33.96±22.10	18s
3D Vane	35.84±9.10	38.49±27.11	120±48s
t/z	-4.247	-1.112	
P	0.000	>0.05	

表3 图像质量的主观评分M(P25, P75)

序列	A组		B组	
	医生甲	医生乙	医生甲	医生乙
3D mDixon	5(4, 5)	5(5, 5)	3(2, 3)	2(2, 2)
3D Vane	5(4, 5)	5(5, 5)	5(5, 5)	5(5, 5)
Kappa	0.630		0.677	
P(kappa)	0.000		0.000	
P(Wilcoxon)	0.705	0.593	<0.0001	0.000
Z	-0.378	-0.535	-5.314	-5.596

3 讨 论

MRI在腹部疾病诊断中具有显著优势，其多参数多序列成像能从多方面去解析病变的性质，其中T1WI图像可以清晰显示于肝脏各分叶、肝管、血管等解剖结构，对出血、病变脂质成分及钙化鉴别诊断具有重要意义^[5]。临床上常使用梯度回波序列在患者屏气的方式下采集T1WI图像。mDixon XD FFE/TFE序列(简称mDixon序列)是双回波的3D扰相梯度回波序列，其使用自由两点法(两个回波)来获得水与脂肪的相位差异信息，从而进行水脂信号的分离，一次扫描可以得到4组对比图像(脂相、水相、同相位、反相位)^[6]，该序列缺点是对呼吸运动较为敏感，对于屏气不佳的患者，易产生呼吸运动伪影，影响诊断。相关研究指出^[7]7%患者无法耐受15s屏气，临床上常使用门控技术减少呼吸运动伪影。膈肌导航技术是通过采集回波信号来监测脏器界面的运动轨迹而达到纠正和消除运动伪影或图像变形的目的^[8]，该技术可用于腹部成像^[9]、冠状动脉成像^[10]和磁共振胰胆管成像^[11]，但对于呼吸不规则的患者，呼吸运动伪影的抑制效果较差，影响诊断结果。

3D Vane序列采用Radial的Stack-of-Stars(SoS)K空间采集技术，即在层面间采用的是Cartesian填充方式，在层面内采用的是Radial的填充方式，与传统笛卡尔逐行采样相比较，3D Vane序列对呼吸运动不敏感，可在自由呼吸状态下采集图像，并结合DIXON技术，一次扫描可以得到4组对比图像(脂相、水相、同相位、反相位)，该技术已广泛应用于临床^[12-13]，但在临床腹部MR检查中，对于呼吸不规则或幅度较大患者采集图像质量效果不佳。本研究应用膈肌导航技术结合3D VANE序列在自由呼吸下采集肝脏T1WI图像，探讨膈肌导航技术结合3D VANE序列在肝脏MR检查中的可行性。

结果发现A组中3D Vane序列与mDixon序列图像SNR和CNR分别为39.21±11.65、41.62±23.98、39.12±10.08、38.87±21.84，差异均无统计学意义(P>0.05)，结果与魏强等^[14]在探讨结合压缩感知技术与敏感度编码的3D mDixon序列以及3D Vane序列对肝脏成像的影响的对比研究相反，其结果可能与其未使用膈肌导航技术有关。应用膈肌导航技术，在呼气末采集数据，进一步减小呼吸运动对图像的影响，其缺点是扫描时间会增加，系统会自动放弃呼吸幅度大或不稳定的时间采集窗。在主观评分上，两名医师对3D Vane自由呼吸序列和mDixon屏气序列图像评分一致性较好，实验A组3D Vane序列两名医师主观评分分别为5(4,5)、5(5,5)，mDixon序列主观评分为5(5,5)、5(5,5)，两组得分的差异无统计学意义(P>0.05)，提示膈肌导航技术结合3D Vane序列在自由呼吸状态采集的肝脏图像与屏气所采集图像无显著差异，临床上两种扫描方法可互相替代。

B组中30位受试者屏气时间均小于18s，应用mDixon序列屏气扫描主观评分为3(2,3)，2(2,2)，图像质量均不能满足临床诊断，与3D Vane序列比较，差异有统计学意义。客观评价方面，mDixon序列的SNR低于3D Vane序列，差异有统计学意义，其结果与王丹等^[15]探讨3D Vane序列和eThrive、mDixon序列在磁共振胎儿脑部检查中的图像质量的对比研究一致，本研究通过B组的实验对比发现，对于屏气困难的患者，应用3D VANE序列结合膈肌导航技术扫描可以获得满足临床诊断的影像。

本研究具有一定的局限性：第一，样本量不足，需累积扩大样本量。第二，该方法不能用于增强扫描，由于采集受到呼吸频率影响，该方法扫描时间不确定，由于腹部增强扫描要求时间分辨率较高^[16]，扫描时间过长不能准确获取肝脏动脉期图像，故不能用于增强检查。第三，本研究3D VANE序列图像的SNR较高，降低采集覆盖百分比(radial percentage)可以减少K空间采集的数量减少扫描时间，后期可以探讨降低采集覆盖百分比，在确保图像质量的前提下缩短扫描时间，提高扫描效率。

综上，膈肌导航技术结合3D Vane序列可用于腹部T1WI中扫描。对于屏气欠佳或无法屏气配合的患者可在自由呼吸下扫描，获得满足诊断要求的影像。

参考文献

[1] 曲源,路青,蒋杰.磁共振成像运动伪影控制方法及技术进展[J].中国医疗设备,2022,37(11):164-169.

[2] Lee M H,Kim Y K,Park M J,et al.Gadoxetic acid-enhanced fat suppressed three-dimensional T1-weighted MRI using a multiecho dixon technique at 3 tesla:Emphasis on image quality and hepatocellular carcinoma detection[J].Journal of Magnetic Resonance Imaging,2013,38(2):401-410.

[3] Kajita K,Goshima S,Noda Y,et al.Thin-slice free-breathing pseudo-golden-angle radial stack-of-stars with gating and tracking T1-weighted acquisition:an efficient gadoxetic acid-enhanced hepatobiliary-phase imaging alternative for patients with unstable breath holding[J].Magnetic Resonance in Medical Sciences,2019,18(1):4-11.

[4] Lorna P.B,Ladonna J.M,Erin K.E,et al.Free-breathing magnetic resonance imaging with radial k-space sampling for neonates and infants to reduce anesthesia[J].Pediatric Radiology,2022(7):52(7):1326-1337.

[5] 郭启勇,石喻.磁共振成像在肝病的应用及进展[J].磁共振成像,2014(S1):10-14.

[6] 刘亚涛,郑桂林,包尚联.水、脂分离磁共振成像Dixon方法[J].中国医学物理学杂志,2012,29(6):3759-3768,3792.

[7] Morani AC,Vicens RA,Wei W,et al.CAIPIRINHA-VIBE and GRAPPA-VIBE for Liver MRI at 1.5 T[J].Journal of Computer Assisted Tomography,2015,39(2):263-269.

[8] 张晖.MRI腹部成像门控技术的比较[J].医疗卫生装备,2013,34(1):103-104.

[9] 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.

[10] 中国医学装备协会磁共振应用专业委员会.冠状动脉MR血管成像临床应用专家共识(第一版)[J].中华放射学杂志,2021,55(9):895-902.

[11] 魏志民,宋玉坤,韩海伟,等.对比分析屏气三维梯度-自旋回波与呼吸门控触发三维快速自旋回波MR胰胆管成像[J].中国医学影像技术,2020,36(8):1234-1238.

[12] 王刚,郑晓林,吴依芬,等.自由呼吸磁共振成像在胸部结节/肿块样病变检查中的应用价值研究[J].实用医技杂志,2019,26(7):836-838.

[13] 谢定祥,陈笑芳,张印宏,等.3D Vane XD mDixon序列在胸椎增强MRI中的应用效果评价[J].岭南现代临床外科,2023,23(5):405-409

[14] 魏强,王家正,伊东娜,等.结合压缩感知技术与敏感度编码的3D mDixon序列以及3D Vane序列对肝脏成像的影响的对比研究[J].磁共振成像,2020,11(9):781-785.

[15] 王丹,席建宁,路莉,等.3D Vane序列和eThrive、mDixon序列在磁共振胎儿脑部检查中的图像质量的对比研究[J].中国医学计算机成像杂志.2023,29(4):423-426.

[16] Li H,Xiao Y,Wang S,et al.TWIST-VIBE five-arterial-phase technology decreases transient severe motion after bolus injection of Gd-E0B-DTPA[J].Clinical Radiology,2017,72(9):800.e1-800.e6.

(收稿日期: 2024-07-15)
(校对编辑: 江丽华)